



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

Después de estos años de esfuerzo y perseverancia en el trabajo, me gustaría agradecer a todos aquellos que me han ayudado y apoyado en el día a día. En especial a mi familia; en la que he podido apoyarme incondicionalmente, amigos y compañeros, y, sobre todo, a Juan; por animarme en todo momento a seguir adelante y hacerme cada día más fácil. Agradecer también a todos los profesores que me han dedicado su tiempo y sus ganas de enseñar, en especial, a mi tutor, por el esfuerzo, ánimo y tiempo invertido en este proyecto.

Muchas gracias a todos.

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

RESUMEN

En el presente Trabajo de Final de Grado se ha realizado el estudio de una instalación en un gimnasio, que permita reducir el uso de combustibles fósiles mediante la autogeneración de energía limpia en las salas de spinning y, además, suponga un ahorro económico para el centro que lo implante. En el documento que se presenta se ha desarrollado el estudio de viabilidad, tanto económica como energética, de una instalación diseñada para la recuperación de energía producida por el pedaleo de un conjunto de bicicletas en una clase de spinning. La energía generada se utilizará para la activación de termos eléctricos destinados a la producción de agua caliente sanitaria. El estudio consta de todo el diseño de la instalación, abordando desde la integración y control de los componentes necesarios para la conversión de energía mecánica en energía eléctrica, hasta la automatización del sistema que activa los termos eléctricos. También se ha valorado el uso de protecciones para garantizar la seguridad de la instalación y de los usuarios.

Para realizar el control y automatización de la instalación, se hará uso del sistema SCADA empleando un autómata programable que reciba, desde el circuito eléctrico, la señal para activar los termos eléctricos. Gracias a este sistema, el usuario tiene la capacidad de visualizar, desde una pantalla, el estado de la instalación, así como de realizar el encendido y el apagado manualmente.

El estudio finaliza obteniendo la rentabilidad del gimnasio en términos energéticos y económicos, considerando la instalación como una alternativa limpia y eficiente de generación de energía.

Palabras Clave: Recuperación de energía, Motor síncrono, Automatización y control, SCADA, autómata programable, Energía alternativa.

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

RESUM

En el present Treball de Final de Grau s'ha realitzat l'estudi d'una instal·lació en un gimnàs, que permet reduir l'ús de combustibles fòssils mitjançant l'autogeneració d'energia neta a les sales de spinning i, a més, supose un estalvi econòmic per al centre que ho implante. En el document que es presenta s'ha desenvolupat l'estudi de viabilitat, tant econòmica com a energètica, d'una instal·lació dissenyada per a la recuperació d'energia produïda pel pedaleig d'un conjunt de bicicletes en una classe de spinning. L'energia generada s'utilitzarà per a l'activació de termos elèctrics destinats a la producció d'aigua calenta sanitària. L'estudi consta de tot el disseny de la instal·lació, abordant des de la integració i control de tots el components necessaris per a la conversió d'energia mecànica a energia elèctrica, fins a l'automatització del sistema que activa els termos elèctrics. També s'ha valorat l'ús de proteccions per a garantir la seguretat de la instal·lació i del usuari.

Per realitzar el control i automatització de la instal·lació, es farà ús del sistema SCADA emprant un autòmat programable que reba, des del circuit elèctric, el senyal per a activar els termos elèctrics. Gràcies a aquest sistema, l'usuari te la capacitat de visualitzar, des d'una pantalla, l'estat de la instal·lació, així com de realitzar l'encès i l'apagat manualment.

L'estudi finalitza obtenint al rendibilitat del gimnàs en termes energètics i econòmics, considerant la instal·lació com una alternativa neta i eficient de generació d'energia.

Paraules Clau: Recuperació d'energia, Motor síncron, Automatització i control, SCADA, Autòmat programable, Energia alternativa.

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

ABSTRACT

In the current TFG, a study has been conducted into a gym installation, which allows a reduction of the use of fossil fuels through the self-generation of clean energy in spinning rooms and, in addition, it supposes financial saving for centers that implement it. In the presented document, a feasible study, both economic and energetic has been developed of an installation designed for the recovery of energy of a set of bicycles in a spinning class. The energy generated will be used to activate water heaters intended to produce domestic hot water. The study consists of the whole installation design, starting from the integration and control of the necessary components for the conversion of mechanical energy into electrical energy, to the automation of the system that activates the water heaters. The use of protections has also been evaluated to guarantee the safety of the installation and of the users.

To perform the control and automation of the installation, the SCADA system will be used using a programmable automaton that receives, from the electrical circuit, the signal to activate the water heaters. Thanks to this system, the users have the ability to view, from a screen, the status of the installation, as well as to power or power off manually.

The study finishes obtaining profit for the gym in energetic and economic terms, considering the installation as a clean and efficient alternative way of energy generation.

Keywords: Recovery of energy, Synchronous motor, Automation and control, SCADA, Programmable automata, Alternative energy.

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

1. DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA
2. DOCUMENTO II: PRESUPUESTO
3. DOCUMENTO III: ANEXOS

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

DOCUMENTO I:

MEMORIA DESCRIPTIVA

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2. MOTIVACIÓN	2
1.3. ANTECEDENTES	3
1.4. FACTORES A CONSIDERAR	6
1.4.1. Utilización de las instalaciones del gimnasio	6
1.4.2. Automatización y control del sistema.....	7
CAPÍTULO 2: MEMORIA DESCRIPTIVA	11
2.1. INTRODUCCIÓN	11
2.2. ALTERNATIVAS	11
2.2.1. Elección del motor	11
2.2.2. Finalidad de la energía generada.....	13
2.3. SOLUCIÓN ADOPTADA	14
2.3.1. Conversión de energía mecánica a energía eléctrica	14
2.3.2. Diseño del esquema hidráulico.....	16
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN	17
2.4. CONTROL DE LA INSTALACIÓN	20
2.4.1. Dispositivos empleados para la automatización.....	20
2.4.2. Programación Zelio Soft 4.5.....	22
2.4.3. Diseño de la pantalla mediante Vijeo Designer	34
2.4.4. Estudio de control mediante MATLAB/ Simulink	49
2.5. CÁLCULOS	56
2.5.1. Cálculos energéticos	56
2.5.2. Cálculos sistema de acumulación	57
2.5.3. Cálculo de la sección de los cables empleados.....	58
2.5.4. Protecciones necesarias	68
CAPÍTULO 3: CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
FUENTES	75

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Evolución del consumo de energía primaria en el mundo [1]	2
Ilustración 2: Estructura de una bicicleta de spinning [2]	3
Ilustración 3: Volante de inercia [3]	4
Ilustración 4: Sistema mecánico de regulación de frenado [3]	4
Ilustración 5: Sistema de frenado magnético [3]	5
Ilustración 6: Sistema de transmisión [3]	5
Ilustración 7: Partes de un sistema SCADA conectado a un proceso automatizado.	8
Ilustración 8: Funcionamiento de una máquina eléctrica como motor o generador [4]	12
Ilustración 9: Esquema básico de un convertidor Boost [5]	15
Ilustración 10: Esquema de funcionamiento eléctrico	15
Ilustración 11: Esquema de conexión de los componentes hidráulicos	16
Ilustración 12: Componente eléctrico de la instalación: Servomotor síncrono Schneider [6] ...	17
Ilustración 13: Componente de la instalación: rectificador [7]	18
Ilustración 14: Componente de la instalación: diodo [8]	18
Ilustración 15: Componente de la instalación: Condensador [9]	19
Ilustración 16: Componente de la instalación: Transistor Mosfet [10]	19
Ilustración 17: Componente de la instalación: Termo eléctrico [11]	20
Ilustración 18: Estructura del dispositivo gráfico XBT [12]	21
Ilustración 19: Apariencia del relé inteligente Zelio Logic [13]	21
Ilustración 20: Esquema de conexiones entre dispositivos	22
Ilustración 21: Esquema de funcionamiento propuesto para realizar con el autómeta	23
Ilustración 22: Esquema eléctrico de conexión de dispositivos al autómeta	25
Ilustración 23: Esquema eléctrico de conexión de dispositivos al autómeta	26
Ilustración 24: Selección del módulo y las características de la programación	26
Ilustración 25: Pantalla para la programación en lenguaje FBD	27
Ilustración 26: Variables de entrada situadas en el programa	27

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Ilustración 27: Salidas indicadoras del estado de la instalación	28
Ilustración 28: Conexión del potenciómetro en el programa	28
Ilustración 29: Comparadores utilizados para la correcta activación del grupo de termos y resistencias.....	29
Ilustración 30: Programa de activación para el termo 1.....	30
Ilustración 31: Esquema de conexión para la activación de la resistencia 1	31
Ilustración 32: Esquema de conexión para la activación de la resistencia 2	32
Ilustración 33: Programa de activación de la señal de alarma.....	32
Ilustración 34: Conexión de los elementos CNA a la salida	33
Ilustración 35: Configuración del controlador y equipo para pantalla	34
Ilustración 36: Selección de las diferentes opciones en el programa	35
Ilustración 37: Variables utilizadas para el diseño de la pantalla mediante Vijeo Designer.....	38
Ilustración 38: Configuración del grupo de alarmas	38
Ilustración 39: Historial de alarmas ofrecido por el software de diseño de pantalla	39
Ilustración 40: Diseño de la pantalla de inicio	40
Ilustración 41: Diseño del panel de INSTALACIÓN	41
Ilustración 42: Diseño del panel de ALARMAS	42
Ilustración 43: Diseño del panel del POTENCIÓMETRO	43
Ilustración 44: Esquema del programa diseñado para acceder a los paneles	43
Ilustración 45: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: piloto Q0 activado .	44
Ilustración 46: Captura del programa Zelio Soft para la salida Q4 activada	44
Ilustración 47: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0 y Q1 activadas.....	45
Ilustración 48: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, Q1 y Q2 activadas.....	45
Ilustración 49: Captura del programa Zelio Soft para las salidas Q4, Q1, y Q2 activadas	46
Ilustración 50: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R1 y Q2 activadas.....	46
Ilustración 51: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R1, Q2 y Q3 activadas.....	47
Ilustración 52: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R2 y Q3 activadas.....	47

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Ilustración 53: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R1 y R2 activadas.....	48
Ilustración 54: Captura del programa Zelio Soft para las salidas Q0, R1 y R2 activadas	48
Ilustración 55: Diseño del circuito de recuperación de energía mediante Simulink	50
Ilustración 56: Gráficos tensión (V) y corriente (A) en función del tiempo (s) en Simulink.....	52
Ilustración 57: Gráficos par (Nm) y velocidad (rpm) en función del tiempo (s) en Simulink	52
Ilustración 58: Diseño del circuito de control del bus de continua.....	53
Ilustración 59: Gráficas de la evolución de variables del bus de continua (de arriba abajo: corriente consumida por el termo (A), tensión en el bus de continua (V), salida del regulador de tensión y entrada al modulador PWM (V) y corriente aportada por las bicicletas	55
Ilustración 60: Circuito equivalente para el cálculo de caída de tensión.....	62
Ilustración 61: Diagrama vectorial de la caída de tensión en el circuito de la figura 60.....	63
Ilustración 62: Esquema de distribución de la sala de ciclo indoor	65

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de entradas en la programación del autómata	24
Tabla 2: Resumen de salidas en la programación del autómata	25
Tabla 3: Tabla de verdad de activación de resistencias según el número de termos conectados	29
Tabla 4: Variables procedentes de la entrada J1 XT1 del programa Zelio Soft.....	35
Tabla 5: Variables procedentes de la salida O1 XT1 del programa Zelio Soft.....	36
Tabla 6: Variables procedentes de la salida O3 XT1 del programa Zelio Soft.....	37
Tabla 7: Variables procedentes de la salida O2 XT1 del programa Zelio Soft.....	37
Tabla 8: Variables independientes al programa Zelio Soft	37

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ley de Joule.....	59
Ecuación 2: Resistencia de un conductor en DC.....	59
Ecuación 3: Resistividad de un material en función de la temperatura.....	59
Ecuación 4: Cálculo de la corriente I_1 para el dimensionamiento por criterio térmico.....	60
Ecuación 5: Cálculo de la corriente admisible para dimensionamiento por criterio térmico.....	60
Ecuación 6: Energía almacenada en un condensador.....	61
Ecuación 7: Expresión de la caída de tensión para línea trifásica.....	63
Ecuación 8: Expresión de la caída de tensión en función de la potencia.....	63
Ecuación 9: Expresión de la caída tensión porcentual.....	64
Ecuación 10: Expresión de la caída de tensión para líneas monofásicas.....	64
Ecuación 11: Expresión del momento eléctrico para líneas monofásicas.....	64
Ecuación 12: Expresión para el cálculo de secciones por momento en cargas uniformemente repartidas en líneas monofásicas.....	64

Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como principal objetivo realizar un estudio de viabilidad tanto económico como energético de una instalación de recuperación de energía aplicable a un gimnasio. Se deberá realizar la automatización del sistema mediante el uso de la tecnología de los PLC's.

La generación de energía eléctrica se realizará a través de la energía mecánica producida por el pedaleo del usuario en una clase de spinning con bicicletas de ciclo indoor. La energía eléctrica generada se invertirá en la alimentación de termoeléctricos para la producción de ACS (agua caliente sanitaria).

Para automatizar este proceso se hará uso de la programación de un PLC (programmable Logic Controller) que controlará las variables que harán funcionar los termoeléctricos en función de la corriente generada por las bicicletas.

Será necesario realizar un SCADA, es decir, un control de supervisión y adquisición de datos en tiempo real con el que se controlarán de forma óptima los equipos y los procesos de la automatización.

Con todo esto, se trata de una instalación innovadora para un gimnasio, con un presupuesto de inversión aceptable y recuperable en un tiempo de retorno accesible. El beneficio principal se encuentra en la factura de combustible, de esta forma es sustituido por el pedaleo del usuario, lo que reducirá los costes del gimnasio además de convertirlo en una instalación sostenible. Por ello, este proyecto podría ofrecerse como una herramienta de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) para la empresa que decida implantarlo. La RSC es un conjunto de políticas, programas y acciones que incorpora la empresa para llevar a cabo de forma responsable con la sociedad. Es un compromiso ético que asume la empresa para contribuir con el desarrollo sostenible de la sociedad a nivel económico, social y ambiental.

Con este proyecto se persigue encontrar una solución sostenible que permita, de la mano de los usuarios, disminuir el consumo de combustibles fósiles y contribuir a la generación de energía limpia. Se trataría de un sistema híbrido que garantice disponibilidad y fiabilidad dentro de un escenario complejo que evalúe la gestión de los recursos, integración y control de los diferentes componentes y su automatización.

1.2. MOTIVACIÓN

Actualmente, tanto a nivel mundial como particular, la sociedad está siendo partícipe de un denominado problema energético.

El problema energético actual es debido a diferentes causas las cuales se presentan a continuación.

- El aumento cuasi-exponencial de la demanda de energía. La sociedad cada vez está más desarrollada y necesita más energía para satisfacer sus necesidades. Desde los años setenta el consumo de energía se ha duplicado.
- Fuentes de energía primaria limitadas. La energía primaria es aquella cuyo contenido energético no ha sido tecnológicamente tratado y serían: carbón, petróleo, renovables, gas natural y nuclear. Así pues, el 85% de la energía que se consume se trata de combustibles fósiles y sólo el 9% corresponde a las energías renovables.
- Concentración de las reservas de energía en zonas políticamente inestables. Las reservas de combustibles fósiles han sido motivo de conflicto desde hace años por estar desigualmente distribuidas.
- Impacto ambiental debido tanto a la generación como al transporte.

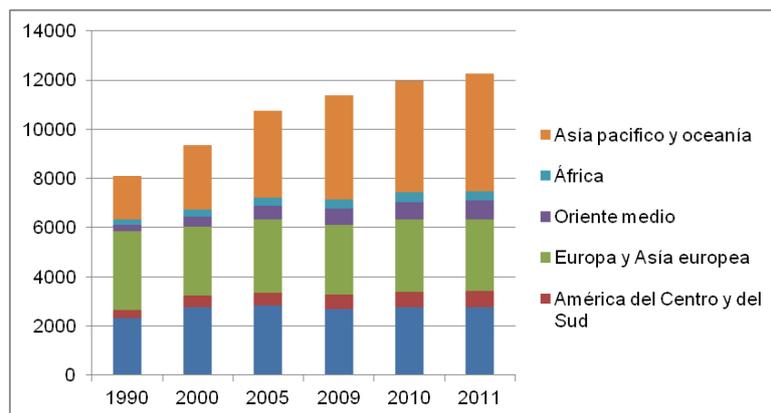


Ilustración 1: Evolución del consumo de energía primaria en el mundo [1]

El consumo de energía crece con el tiempo y las proyecciones prevén que esta tendencia se mantenga. Aun teniendo en cuenta este concepto, la mayoría de las naciones no disponen de suficiente energía para alcanzar un valor aceptable de IDH (índice de desarrollo humano). El índice de desarrollo humano hace referencia al nivel de vida que predomina en cada nación de forma estadística. Por ello, es necesario a nivel global, aumentar la generación de energía.

Dentro del campo de la energía, debemos garantizar escenarios nuevos que se comprometan con el desarrollo sostenible. Esto quiere decir, que abastezcan las necesidades actuales teniendo en cuenta las generaciones futuras y el medio ambiente en el que se establece. Conseguir la sostenibilidad energética empieza por resolver el actual problema energético y proponer soluciones sostenibles que estén al alcance de todos.

De la necesidad de proponer soluciones sostenibles surge la idea de utilizar el pedaleo humano y la conversión de energía mecánica en electricidad. Es un proyecto ambicioso que

busca una forma limpia de obtener energía a la par que saludable para las personas que lo están realizando.

1.3. ANTECEDENTES

En pleno siglo XXI, con la mentalidad de la sociedad actual podría decirse que los gimnasios se encuentran en un momento de apogeo en los países desarrollados. Se pueden ver varios gimnasios en una misma zona, y todos ellos con un gran número de usuarios. Con la evolución de las diferentes máquinas adaptadas a las necesidades de la sociedad aparecen las bicicletas estáticas. Estas bicicletas simulan el ejercicio normal de una bicicleta mediante el empleo de un freno artificial que puede ser de accionamiento mecánico o magnético. Este freno hace que el usuario no pedalee en vacío, y simula la existencia de rampas y de rozamiento en el trayecto con la bici. Existen varios tipos de bicicletas, centrándonos en nuestro caso en las bicicletas de spinning que es la que aparece en la figura 2.



Ilustración 2: Estructura de una bicicleta de spinning [2]

El spinning es una actividad de ejercicio aeróbico, dirigida por un monitor y muy adaptable a la persona que está realizando el ejercicio. En ella influyen la frecuencia de pedaleo y la resistencia al movimiento, todo ello en función de la intensidad que quiera darle el usuario. La resistencia al movimiento es regulable a través de un variador de carga que se encuentra disponible en la bicicleta. De esta forma la bicicleta consta de:

- **Volante de inercia.** Se trata de un disco, de entre 13 y 25kg de peso, que produce la resistencia al pedaleo. De esta forma se puede regular la velocidad y la fuerza para realizar el movimiento de pedaleo.



Ilustración 3: Volante de inercia [3]

- **Freno.** Se trata de un factor importante ya que de éste depende la fuerza del usuario para pedalear. Existen varios tipos de freno en función del modelo de bicicleta del que hablemos. Por un lado, tenemos el sistema mecánico y por otro, el magnético.
- - El sistema mecánico consta de unas zapatas que ejercen presión sobre el volante de inercia y producen su detención. En caso de un volante de inercia muy pesado también se utiliza el denominado sistema a patín, que sujeta la superficie del volante de inercia por ambos lados. Este sistema es muy económico y permite la aplicación de un amplio rango de resistencias, sin embargo, el freno debe reemplazarse debido al desgaste, tiene poca precisión en la frenada y es ruidoso.



Ilustración 4: Sistema mecánico de regulación de frenado [3]

- El sistema magnético se realiza mediante dos imanes situados en lados opuestos del volante de inercia. Cuando la rueda de inercia comienza el movimiento se induce un campo eléctrico entre los imanes y como consecuencia de éste una fuerza en sentido contrario al movimiento del volante. Al contrario del sistema anterior, este no produce desgaste debido a que no hay fricción y por tanto tampoco ruido, sin embargo, es mucho más costoso. Además, también cabe la posibilidad de automatizarlo.



Ilustración 5: Sistema de frenado magnético [3]

- **Transmisión.** Permite transmitir la fuerza que realiza el usuario para pedalear al volante de inercia. Consta de una correa o cadena mediante la que transfiere la fuerza.



Ilustración 6: Sistema de transmisión [3]

El motivo por el que se escoge una actividad como es el spinning es debido al potencial energético que se pierde en una de sus clases. Se puede decir que la potencia generada por una persona promedio en una bicicleta oscila entre 270 W a 400W. Esta potencia es uno de los principales motivos por los que se pretende utilizar un ejercicio como el spinning para darle un uso más allá del físico. Además, es un ejercicio con grandes beneficios para el cuerpo humano que van más allá del simple hecho de ir al gimnasio a cultivar el cuerpo. Elimina estrés, aumenta la resistencia cardiovascular y disminuye la presión arterial, fortalece la espalda, piernas, brazos y huesos, tonifica músculos, reduce el riesgo de sufrir lesiones, quema calorías (llegando a

quemar 700kcal en una sesión, equivalentes a una potencia de poco más de 800W para una sesión de una hora) y fomenta la sociabilidad y la motivación.

Todo esto ligado a la aparición de las nuevas tecnologías y a la necesidad de encontrar nuevas formas de generación de energía da lugar a una idea como es este proyecto.

1.4. FACTORES A CONSIDERAR

En este apartado se van a tratar los diferentes condicionantes que se han tenido en cuenta al realizar el estudio de la instalación. Estos factores abarcan, por un lado, la instalación en la que se va a implantar el sistema de recuperación y, por otro lado, en qué consiste el método de automatización que va a utilizarse.

1.4.1. Utilización de las instalaciones del gimnasio

En primer lugar, se deberá tener en cuenta que la instalación va a llevarse a cabo en un gimnasio ya en funcionamiento. Con esto se quiere remarcar que algunos componentes ya estarán incorporados y se podrá prescindir de su coste en la inversión inicial. Los gimnasios para los cuales está pensado este proyecto son aquellos con un alto número de usuarios que dispongan de variedad de actividades a realizar a parte del spinning. Sin embargo, aquellos gimnasios que contengan en sus instalaciones piscina y derivados de ésta quedarían fuera del alcance debido a que consumen una gran cantidad de ACS y el sistema no sería capaz de abastecer tal nivel.

Dicho esto, los elementos principales de los que debe disponer el gimnasio serán: una sala apta para clases de spinning junto con las bicicletas de ciclo indoor, una caldera para la producción de ACS y el conjunto de duchas para la higiene de los usuarios. Para este estudio se han tomado datos de un gimnasio de la zona norte de Valencia llamado “Forma Sport” siendo contrastadas las instalaciones con otros gimnasios. En este caso, dispone de una caldera de gas para la producción de ACS, por lo que es ideal para el estudio de la reducción de consumo del combustible.

Con todo ello, la sala en la que vaya a desarrollarse la actividad debe cumplir una serie de requisitos que se exponen a continuación:

- **La distribución de las bicicletas.** El habitáculo deberá estar dotado de suficiente espacio para albergar al conjunto de bicicletas. Según el Manual de Ciclo Indoor Nivel I de la Federación Española de Aeróbic y Fitness: “El espacio mínimo necesario es de aproximadamente 2m² por cada bicicleta que este en la sala”. Además, debe tenerse en cuenta la distribución de las bicicletas para la visión del cliente al técnico de sala.
- **Los cerramientos** son otro elemento clave, ya que la sala está dotada de ambientación musical. La insonorización debe ser la adecuada para que la música no trascienda al exterior.
- **La climatización** es otro aspecto esencial es un gimnasio. Puede ser climatización natural o forzada mediante un elemento mecánico que introduzca el aire frío a la sala y extraiga el caliente. Será necesario incorporar algún sistema de enfriamiento puesto que según el Manual de Ciclo Indoor Nivel I de la Federación Española de Aeróbic y Fitness: “La sesión debe desarrollarse a una temperatura de alrededor 18 ° C”.
- **La Iluminación** suficiente y adecuada a las características de la sala.

- **Equipamiento de la sala.** La sala debe estar dotada de:
 - Equipo de sonido
 - Bicicletas
 - Luces
 - Tarima para que el técnico de sala pueda ser visto.
- **La instalación eléctrica,** que es una de las partes innovadoras de este proyecto. El siguiente apartado se basa, principalmente, en el desarrollo de la instalación eléctrica que se va a llevar a cabo.

1.4.2. Automatización y control del sistema

Dentro del proyecto debe destacarse la importancia de la automatización. En procesos industriales y sobre todo a partir de los años 60, la automatización ha adquirido una posición notable y ha ido desarrollándose y estando presente cada vez más. La sustitución de personas por máquinas en el control de instalaciones ofrece una gran precisión y mayor velocidad, lo que supone un aumento del rendimiento y la eficiencia de los procesos. De esta forma, y gracias a la automatización, cada vez son más procesos los que están siendo realizados mediante sistemas computerizados. Además de todas las ventajas que ofrece con respecto al aumento de la competitividad de las instalaciones, también cabe destacar la disminución o erradicación de los riesgos sobre las personas. Dentro del control de los procesos industriales existen tres elementos básicos capaces de llevarlo a cabo, estos elementos son: el autómat programable (PLC), el ordenador industrial y los reguladores industriales

Los reguladores industriales son dispositivos capaces de controlar procesos en los que se requiere, por ejemplo, el control de temperatura, caudal o presión. Con los avances en la electrónica digital y la informática industrial se han convertido en controladores digitales autónomos que disponen de bloques lógicos de programación de manera que pueden hacer frente a sistemas secuenciales.

El ordenador industrial aparece en el control de procesos industriales a mediados de la década de los años cincuenta, como una forma de control centralizado. Este tipo de estructura se encuentra en desuso hoy en día. Actualmente, mediante la utilización del puerto de comunicaciones RS-232C, el ordenador puede conectarse físicamente al autómat programable, por ejemplo, y de esta forma ampliar las posibilidades de interacción. Uno de los procesos más utilizados consiste en formar redes de ordenadores jerarquizados mediante la utilización de un bus de bajo nivel (bus AS-i), bus de campo (PROFIBUS) o red de área local (Ethernet industrial).

El elemento clave en la automatización va a utilizarse en este proyecto es el autómat programable. Los autómatas programables o también llamados PLC's (Programable Logic Controller) son equipos electrónicos programados en lenguaje no informático diseñados para controlar en tiempo real. Estos autómatas trabajan según la información que reciben los sensores y la programación interna, y actúan sobre los accionadores de la instalación. Esta nueva tecnología permite automatizar procesos más complejos y más difíciles además de crear redes de comunicación.

Dentro de la automatización se deben destacar los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Esto consiste en una aplicación software creada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, permitiendo la comunicación con los dispositivos de campo y pudiendo controlar los procesos desde la pantalla del ordenador. Además, permite obtener toda la información que se está generando en el proceso productivo a diversos usuarios y dar al operador de la planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. La comunicación se realiza mediante buses de datos o redes LAN y se ejecuta en tiempo real. Un sistema de SCADA sigue la siguiente estructura:

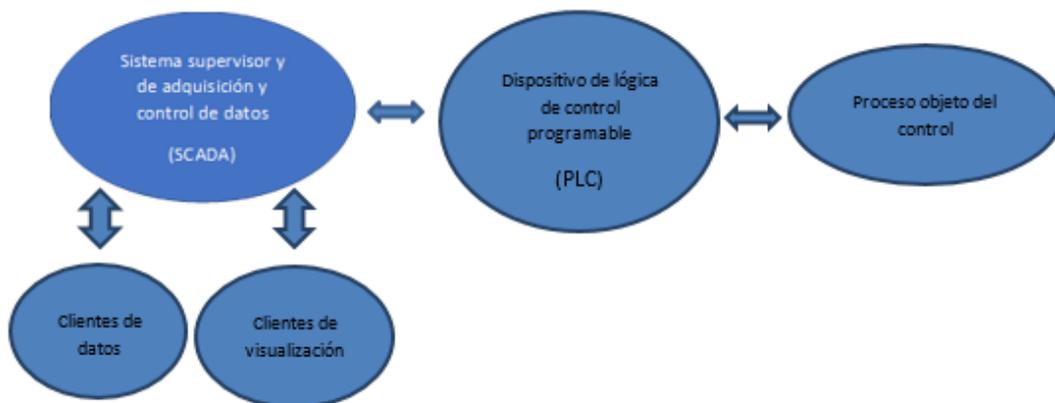


Ilustración 7: Partes de un sistema SCADA conectado a un proceso automatizado.

A continuación, se explica la estructura del sistema:

- **El proceso objeto del control** es el sistema que se desea supervisar.
- **El dispositivo de lógica de control programable** es el conjunto de instrumentos que permite la adquisición de datos. Necesita algún medio de comunicación que permite su interconexión.
- **SCADA** aplicación combinatoria de software y hardware de control de supervisión y adquisición de datos.
- **Los clientes** son aquellas aplicaciones que hacen uso de los datos obtenidos a partir del sistema SCADA.

Los sistemas SCADA además de las ventajas nombradas anteriormente, dotan a la instalación de las siguientes prestaciones:

- Un registro de incidencias que permita al operador identificar una parada o situación de alarma. Se puede crear un panel específico de alarma.
- Almacenar datos y generar un histórico para después ser volcado y utilizado en una hoja de cálculo.
- Ejecutar programas que, bajo ciertas condiciones, permitan modificar, anular o controlar tareas asociadas al autómata.
- Permite realizar cálculos aritméticos de alta fiabilidad sobre el ordenador.

Una aplicación con este sistema debe cumplir una serie de requisitos para que su implantación sea completamente eficiente. Cabe destacar que deben ser sistemas de arquitectura abierta, es decir, deben ser modificables según las necesidades donde está instalado. Su estructura debe ser sencilla de instalar y de comprender para el usuario y la comunicación debe ser fácil y transparente entre el usuario y el resto de la empresa.

CAPÍTULO 2: MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. INTRODUCCIÓN

Una vez expuesta la idea y el contexto en el que va a llevarse a cabo la instalación, se va a desarrollar el cómo y mediante qué medios se piensa alcanzar.

En este sentido, cabría destacar tres secciones independientes pero conectadas entre sí. Por un lado, la zona donde va a realizarse el deporte incorporando el conjunto de bicicletas y equipos necesarios. Esta parte no va a desarrollarse en el trabajo puesto que su distribución depende del gimnasio en que vaya a implantarse y ya se ha tenido en cuenta en el apartado “1.4. Factores a considerar”. Por otro lado, la zona de conversión eléctrico-mecánica. Esta parte de la instalación es la principal que abarca este proyecto. Tratará desde los elementos de conversión de energía hasta la automatización y control del sistema frente a perturbaciones y **cambios de consigna**. La mayor parte de este trabajo está destinada al desarrollo de esta sección. Por último, la zona para la que va a ser destinada la energía producida en la instalación. En esta parte se van a plantear varias posibilidades para las que podría emplearse, y se seleccionará la que más rentable sea.

En este apartado se van a proponer las diferentes alternativas pensadas para llevar a cabo la instalación, y cuáles se ha decidido adoptar. Finalmente se propondrá la solución adaptada tanto para el esquema eléctrico como para la utilización de la energía.

2.2. ALTERNATIVAS

Los principales puntos en los que cabe destacar las diferentes opciones propuestas para desarrollar la instalación son en el tipo de motor y la utilización de la energía generada.

2.2.1. Elección del motor

La elección del tipo de motor es una de las condiciones más decisivas debido a que es uno de los componentes más importantes de la instalación y de los que va a depender el presupuesto en gran medida.

Según el libro *Luís Serrano Iribarnegaray y Javier Martínez Román (2017)*, se entiende por máquina eléctrica rotativa a aquel convertidor electromecánico de energía, bidireccional, que realiza esa interconversión energética de modo continuo y con un elevado rendimiento. Esta bidireccionalidad es denominada “Principio de reversibilidad” e implica que la máquina pueda funcionar en distintos modos de funcionamiento en función del sentido del par interno generado, tal y como se presenta a continuación.

Como se presenta en la imagen siguiente, una máquina rotativa puede funcionar actuando de dos formas distintas:

a) **Funcionamiento como motor:** en el caso en el que se introduzca energía eléctrica desde la fuente, y la máquina genere energía mecánica.

b) **Funcionamiento como generador:** se da en el caso en el que a través del movimiento mecánico se produce una conversión y una generación de energía eléctrica. Se trata del funcionamiento inverso al anterior.

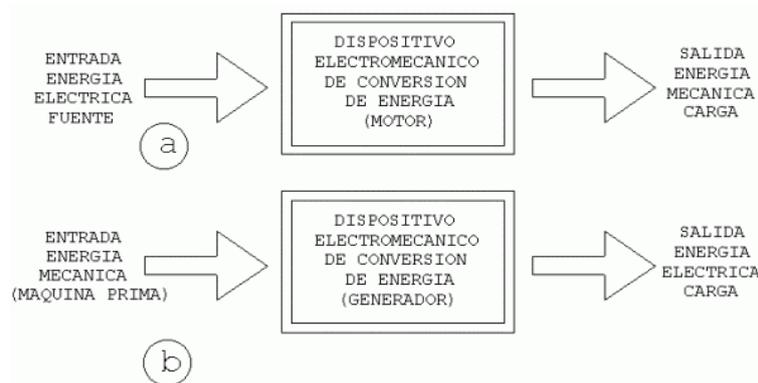


Ilustración 8: Funcionamiento de una máquina eléctrica como motor o generador [4]

Analizando el caso a estudiar, como se pretende que se extraiga energía eléctrica a partir del pedaleo del usuario con las bicicletas, el motor estaría funcionando en modo generador.

Una vez establecido el tipo de funcionamiento del motor, habría que especificar qué tipo de generador sería necesario para la instalación, ya que éste determina en gran medida la calidad y el presupuesto. Dentro de las máquinas rotativas podemos distinguir tres tipos de máquinas:

- a) **Máquinas de corriente continua:** en las que se desea en bornes una tensión continua lo más uniforme posible. Este tipo de máquina está específicamente indicada para el funcionamiento como motor en accionamientos industriales a velocidad variable. Sin embargo, tras los avances en la electrónica de potencia y en las técnicas de control, este tipo de máquina ha perdido importancia y campo de aplicación debido a los importantísimos problemas de coste de ejecución y de mantenimiento asociados a un elemento constitutivo indispensable: el colector de delgas.
- b) **Máquinas síncronas:** son aquel tipo de máquinas que funcionan a una determinada velocidad de sincronismo y, en caso de salirse de este intervalo, indicado por la frecuencia de la corriente y la velocidad de la máquina, no producen una interconversión neta de energía. Debido a la dificultad de arranque y problemas de estabilidad, la máquina síncrona alimentada directamente desde la red industrial resulta poco adecuada para funcionar como motor. Ventajas como: el amplio rango de trabajo en cualquier régimen de carga con factor de potencia igual a la unidad, buen rendimiento, pequeñas repercusiones debidas a la disminución de la tensión y gran seguridad mecánica debida al entrehierro, hacen que el campo de aplicación por excelencia sea el de la generación de energía eléctrica.

- c) **Máquinas asíncronas:** o también denominadas de inducción, se caracterizan porque el motor no gira sincrónicamente con el campo magnético, sino a una velocidad diferente, y las corrientes son creadas por inducción electromagnética. Este tipo de máquina y, en concreto, la de jaula de ardilla, encuentra utilización universal como motor en todos aquellos accionamientos industriales que durante el funcionamiento tienen una velocidad prácticamente constante. Esto es debido a que son de construcción simple, bajo peso y mínimo volumen, costo bajo y mantenimiento inferior al de cualquier otra máquina rotativa. El control electrónico, sin embargo, es mucho más complejo que en el caso de la máquina síncrona, ya que requieren de un sistema de excitación del campo magnético principal concurrente con el control de par o carga.

De entre estos tres tipos de máquinas rotativas, para la instalación será necesaria una que trabaje como generador con un alto rendimiento, buenas características y regulación sencilla, ya que será uno de los elementos en los que habrá que realizar una gran inversión. Por ello, la máquina escogida será una máquina síncrona trabajando como generador. A pesar de que el coste es superior, su buen rendimiento y el sencillo funcionamiento como generador hacen que sea más adecuado el uso de este tipo de máquina.

2.2.2. Finalidad de la energía generada

En este apartado se va a tratar cómo destinar el uso de energía eléctrica producida tras la implantación de la instalación es otro de los condicionantes que debe estudiarse. Puesto que el fin último es el de reducir el consumo de electricidad y con él, el de combustibles fósiles, existen varias opciones con las que conseguirlo.

Por un lado, existe la posibilidad de almacenar la energía eléctrica en baterías para después ser volcada a la red y, de esta forma, reducir el consumo eléctrico. Sin embargo, este tipo de instalación presenta un cuello de botella, las baterías. Estas plantean un desafío para la sociedad actual, son necesarias para almacenar energía eléctrica y ser más eficientes en nuestro consumo, sin embargo, para grandes capacidades presentan elevados costes y una reducida vida útil, por lo que sería necesario plantear un plan de renovación además de la inversión inicial. A todo esto, debemos añadirle que para un correcto funcionamiento se debe tener en cuenta la profundidad de descarga de cada batería. La profundidad de descarga hace referencia a un nivel de mínimo de carga que, en caso de sobrepasarlo, reduciría la capacidad de nuestro acumulador, disminuyendo entonces la eficacia de la instalación. Debido a todo lo expuesto anteriormente, la idea de las baterías se ha desechado.

Por otro lado, visto el inconveniente que suponen las baterías dentro del proyecto, se plantea la posibilidad de realizar un uso de la energía producida de forma inmediata sin necesidad de ser almacenada. Para ello, la energía que se está generando en la clase de spinning debe ser utilizada prácticamente al instante y la aplicación más directa sería para la generación de agua caliente sanitaria (ACS). El procedimiento consistiría en alimentar una serie de termoeléctricos, en función de la cantidad de bicicletas que están en funcionamiento, que calienten el agua que se va a utilizar en las duchas del gimnasio. Los termoeléctricos, conectados haciendo uso de la energía generada, ahorrarían combustible utilizado en la caldera. Esta opción

necesita el planteamiento de un sistema alternativo de calentamiento del agua, en caso de que no estén las bicicletas en funcionamiento, se produzca una avería en el sistema u ocurra cualquier incidencia imprevista, para que los clientes del gimnasio continúen usando las duchas sin ningún problema.

Analizando ambas opciones, se estudian los principales componentes que caracterizan las alternativas. Teniendo en cuenta que el precio de los termoeléctricos es mucho más reducido que el de las baterías y que su vida útil es mayor, la rentabilidad de la segunda opción es mucho más favorable a priori. Tras esto, la opción elegida será la de utilizar la electricidad generada para generar agua caliente mediante un sistema de termoeléctricos con apoyo de una caldera.

2.3. SOLUCIÓN ADOPTADA

Una vez definidas las alternativas principales y la valorada y adoptada la solución más adecuada, se va a llevar a cabo el desarrollo completo de la instalación. Por un lado, se explicará cuáles serían los elementos y circuitos necesarios para la conversión de energía mecánica, producida por el pedaleo, a energía eléctrica necesaria para la activación de los termoeléctricos. Por otro lado, se mostrará el esquema eléctrico general del que constará la instalación. Por último, se hará una aclaración de la disposición de los elementos del esquema hidráulico.

2.3.1. Conversión de energía mecánica a energía eléctrica

La energía mecánica producida mediante el pedaleo por el conjunto de bicicletas, será utilizada para accionar el motor síncrono que actuará a modo de generador. La corriente producida por el conjunto de bicicletas será monofásica, es decir, estará formada por una única fase y en corriente continua. Puesto que el fin último de la energía eléctrica producida será el de alimentar los termoeléctricos, es necesario que se produzcan las mínimas pérdidas posibles. Puesto que estamos tratando con unas longitudes de cables muy pequeñas para el transporte de la electricidad en comparación con la distribución en alta y media tensión, conviene que se utilice la corriente continua, que admite una regulación más sencilla. Para realizar la conversión de corriente alterna a corriente continua se utilizan los denominados rectificadores. Un rectificador es un circuito electrónico de potencia que, mediante diodos y otra serie de componentes, permite convertir la corriente alterna en corriente continua. En este caso se va a hacer uso de un rectificador no controlado, se trata de un tipo que hace uso exclusivamente de diodos, ya que éstos permiten el paso de la corriente en un único sentido de manera que no necesita control.

Una vez obtenida la corriente continua, será necesaria una tensión bastante elevada si se pretende abastecer una serie de termoeléctricos. Para obtener una tensión más elevada en corriente continua, a partir de corriente continua, se utilizan los llamados convertidores y en este caso, el convertidor Boost. Se trata de un convertidor basado en un único transistor, haciendo la función de interruptor conmutado, y al menos un elemento que almacene energía como puede ser un condensador o bobina, tal y como se presenta en la figura 9. Este circuito también es llamado elevador por su característica de elevar la tensión de salida con respecto a la de entrada.

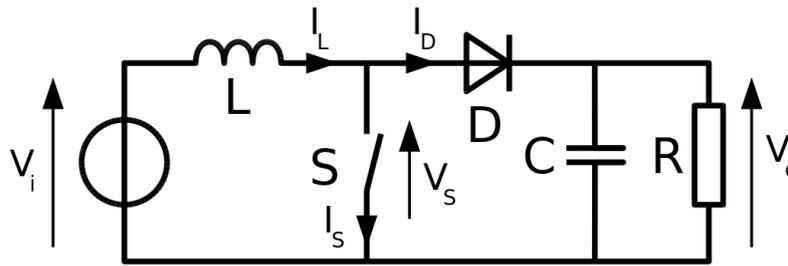


Ilustración 9: Esquema básico de un convertidor Boost [5]

Estos serían los principales elementos y circuitos encargados de realizar la conversión de energía, sin embargo, por hacer uso de corriente continua debe dotarse la instalación de algún tipo de disipador de energía, representado por la resistencia R de la Figura 9, que presentará un valor efectivo ajustable para regular la tensión en el bus de continua. V_o . En este caso se ha optado por hacer uso de un conjunto termoelectrónicos-resistencias que esté en funcionamiento en todo momento, de forma que si se produce en algún momento un aporte de energía pueda eliminarse y no conduzca a un defecto por sobretensión. La siguiente figura sería el esquema de la instalación. En esta figura se puede apreciar cómo en la instalación hay tantos conjuntos generador-rectificador-convertidor Boost como bicicletas mientras que la carga la constituye un termo base (0) empleado para realizar la regulación fina de la tensión en el bus de continua y un conjunto de termos/resistencias utilizados para realizar un ajuste de la carga por escalones. En este esquema, como se ha indicado antes, se han incluido una serie de resistencias fijas con una potencia total igual a la de los termos. Estas resistencias permiten el uso de la instalación para el frenado de las bicicletas incluso en el caso de que el agua en todos los termos haya alcanzado su temperatura máxima y deban permanecer desconectados.

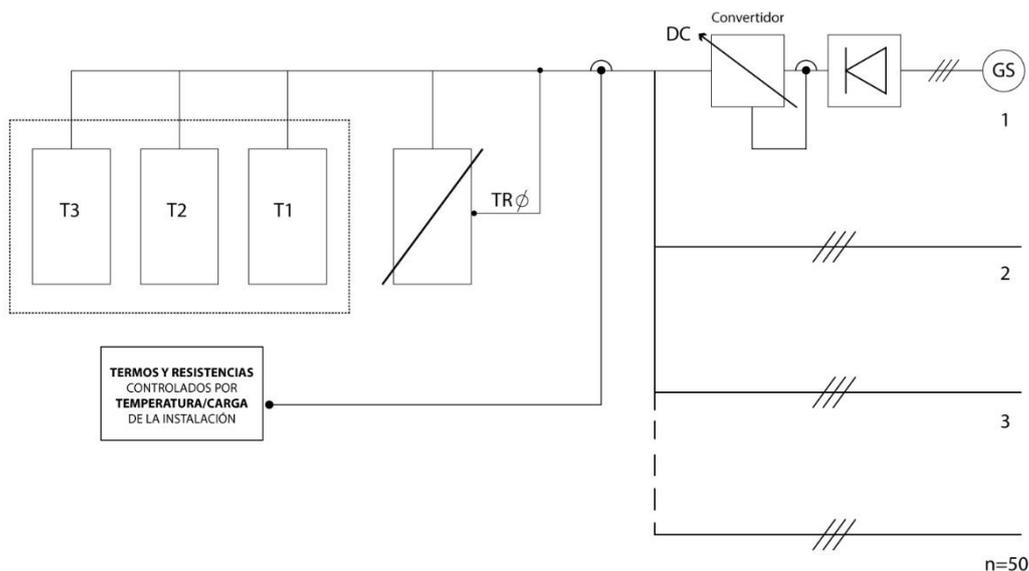


Ilustración 10: Esquema de funcionamiento eléctrico

2.3.2. Diseño del esquema hidráulico

Tras haber obtenido el circuito que generará la corriente necesaria para activar los termoeléctricos, debe diseñarse la disposición de éstos y en qué consistiría el uso de este sistema. La principal idea consiste en emplear la electricidad generada, a partir del pedaleo, en la activación de unos termoeléctricos que calienten el agua destinada a las duchas del gimnasio. El principal ahorro económico, y el motivo por el que se ha implantado esta opción, es que en función del valor de la corriente generada se encenderán un número concreto de termoeléctricos que calentarán el agua, aumentando la temperatura de entrada a la caldera y disminuyendo así el consumo de combustible que sería empleado en la caldera.

Para llevar a término la idea anterior, la disposición entre termos deberá ser en serie. Esto quiere decir que el agua, procedente de la red, circulará de un termo a otro, en función de la demanda de las duchas, y se irá calentando según los termos que estén encendidos. Deberá establecerse un orden de funcionamiento de los termos de manera que cada uno de ellos caliente en un intervalo de temperaturas. La cantidad de termos variará en función de la potencia total de la instalación, esto es, el conjunto de termos debe ser capaz de soportar toda la potencia generada por las bicis. Por todo ello, de cuántos más termos disponga la instalación, más intervalos de temperatura habrá disponibles y más probable será que el agua alcance la temperatura buscada, pero más se encarecerá la instalación.

Como se ha comentado en el apartado “2.1.1.2. Finalidad de la energía generada”, será necesario un sistema alternativo de calentamiento de agua por si se da el fallo de algún termo. Por este motivo se ha optado situar la caldera, ya presente en cualquier gimnasio, justo antes de la salida del ACS hacia las duchas. De esta manera, el agua circulará de un termo a otro, calentándose en función de los termos en funcionamiento, y finalmente llegará a la caldera. En caso de no haber alcanzado la temperatura óptima, la caldera se pondrá en funcionamiento y, además, dispondrá de un acumulador que mantendrá el agua a dicha temperatura hasta ser usada.

En la figura presentada a continuación se muestra el esquema de cómo quedaría este circuito hidráulico. La representación es tan sólo un modelo de cómo se dispondría en caso de utilizar tres termoeléctricos, para la instalación a estudiar el número de termos se indica en el apartado de cálculos.

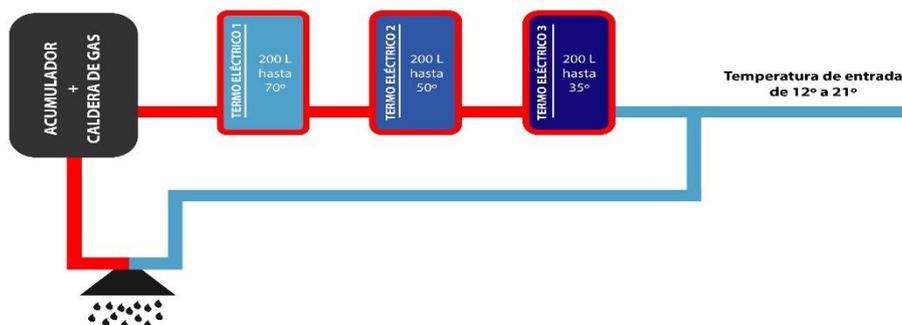


Ilustración 11: Esquema de conexión de los componentes hidráulicos

Como se muestra en la figura, los intervalos de temperatura de funcionamiento de los termos irán disminuyendo conforme se alejan de la caldera. Esto es debido a que el primer termo en ponerse en marcha será el más cercano a la caldera, cuyo intervalo de temperatura será desde la temperatura de entrada del agua (unos 20°C) hasta la temperatura de salida, marcada por legislación. Que el intervalo sea tan amplio supone que este termo estará prácticamente en constante funcionamiento. Conforme estén más bicicletas generando energía, los termos sucesivos se encenderán haciendo que el agua entre a una temperatura superior y, por tanto, tarde menos en calentar en los sucesivos termos.

Dentro de este esquema hidráulico hay que decir que, en todo momento, existe una parte de la potencia que se está disipando. Se ha mencionado el conjunto termoeléctrico-resistencia como disipador constante. Sin embargo, sería recomendable la disposición de resistencias como disipadores de la energía sobrante.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

Los principales componentes de los que está formada la instalación y que deberán incorporarse para que pueda desarrollarse, son los que se exponen a continuación. La justificación de su uso se verá desarrollada en los siguientes apartados de la memoria.

- **Servomotor Schneider 0.2kW.** Se trata de un motor síncrono que trabaja en corriente alterna y que se caracteriza por posicionarse en cualquier ángulo dentro de su intervalo de funcionamiento. El motor es uno de los componentes más importantes de la instalación, tanto por su función dentro de ésta, como por ser uno de los elementos más costosos. Será necesario un motor por bicicleta.



Ilustración 12: Componente eléctrico de la instalación: Servomotor síncrono Schneider [6]

- **Rectificador.** Se trata de un circuito que permite la conversión de corriente alterna en corriente continua. Será necesario debido a que el sistema de recuperación de energía trabaja en corriente continua, mientras que los servomotores generan en corriente alterna. Este componente está formado por un conjunto de diodos, que se explican a continuación.



Ilustración 13: Componente de la instalación: rectificador [7]

- **Diodo.** Se trata de un componente electrónico que se caracteriza por permitir la circulación de la corriente en un único sentido. Se utilizará en el convertidor Boost y para el rectificador por puente de diodos.



Ilustración 14: Componente de la instalación: diodo [8]

- **Condensador 100 μ F.** Un condensador de capacidad 100 μ F y 250V, en este caso de aluminio. Se utilizará como componente del convertidor Boost y, además, será uno de los componentes principales que conecte el circuito donde se produce la corriente eléctrica y el circuito de conexión de los termo eléctricos.



Ilustración 15: Componente de la instalación: Condensador [9]

- **Transistor Mosfet 33A.** Se trata de un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor, también denominado MOSFET que realizará la conmutación de la señal en el convertidor Boost. Su comportamiento es similar al de un interruptor controlado por tensión, en el que la tensión aplicada en la “puerta” permite que circule la corriente o no entre el “drenador” y “surtidor”.

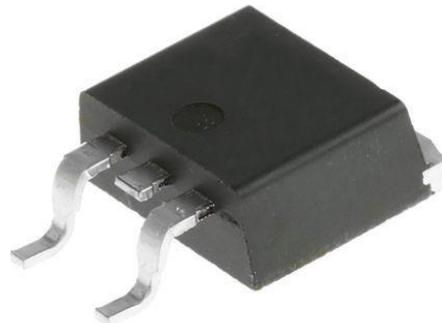


Ilustración 16: Componente de la instalación: Transistor Mosfet [10]

- **Bobina 1mH.** Se trata de un elemento que almacena energía y que también se utiliza para el filtrado de señales. Su papel en el convertidor Boost es almacenar energía mientras el transistor conduce para, una vez el transistor pasa a bloqueo, devolver esa energía, que ahora sólo puede dirigirse a la etapa de salida.

Con respecto al sistema hidráulico, deberán incorporarse una serie de termostatos que realizarán la función de calentar el agua en función de la energía producida por las bicicletas. En caso de que todas las bicis estén en funcionamiento, se ha calculado el número de termos necesarios para que consuman toda la potencia. Por ello se ha decidido el siguiente modelo:

- **Termo eléctrico COINTRA 200I.** Se trata de un termo de posición vertical para suelo, más fácil de instalar que uno de pared, cuya potencia son 2400W.



Ilustración 17: Componente de la instalación: Termo eléctrico [11]

2.4. CONTROL DE LA INSTALACIÓN

En una instalación industrial en la que va a llevarse a cabo la automatización de sus componentes es importante la integración y control de cada uno de ellos. El control consiste en un seguimiento secuencial de estados y transiciones de forma ordenada, que identifica la evolución dinámica del proceso controlado. Debe destacarse que la automatización contribuye al control automático del proceso y a disminuir el trabajo del operario, sin embargo, es importante remarcar que debe haber una cooperación entre el operario y el controlador que reduzca el tiempo de operación, pero siempre supervisado.

El autómata programable ha sido explicado en el apartado “1.4.2. *Automatización del sistema*” y será el tipo de dispositivo que se va a utilizar en el desarrollo de la instalación.

Cuando se pretende resolver un problema de automatización industrial, debe tenerse en cuenta todos los requerimientos de la maniobra, así como la identificación de las variables de entrada y salida, siempre adaptadas al autómata que va a utilizarse. En función de las distintas funciones programables en el autómata, deberá desarrollarse el programa y una vez acabado realizar una simulación.

En el siguiente apartado se explican los diferentes elementos y programas empleados para realizar la automatización del sistema.

2.4.1. Dispositivos empleados para la automatización

Los dispositivos que se presentan a continuación son aquellos mediante los que se ha conseguido realizar la automatización de la instalación.

- **Dispositivo gráfico Magelis XBT GT1335**

Se trata de un terminal gráfico de Schneider Electric, utilizado para la automatización de instalaciones sencillas. Incluye la opción de recibir la información de forma táctil. Es un equipo compacto capaz de instalarse en diferentes estructuras, lo que hace que sea muy versátil. Entre sus características destaca que la pantalla es a color. En la siguiente figura se muestra las funcionalidades que presenta:



Terminal gráfico funcional XBT GT1105/1135/1335

Ofrecen lo siguiente en el panel frontal:

- 1 Pantalla táctil gráfica (3,8" monocroma en modo rojo o ámbar, TFT en color).
- 2 Una luz de control para indicar el modo de funcionamiento del terminal.

En el panel posterior:

- 1 Un bornero con tornillos extraíble para la fuente de alimentación ± 24 V. -
- 2 Un conector RJ45 para la conexión de enlace serie RS 232 C o RS 485 a los autómatas (COM1). -
- 3 Un conector host de tipo USB para la conexión periférica, la transferencia de aplicaciones y la comunicación de puertos terminales Modicon M340. -
- 4 Un conmutador para la polarización del enlace serie, utilizado en Modbus RS 485. -

En XBT GT1135/1335 únicamente

- 5 Un conector tipo RJ45 para enlace Ethernet TCP/IP, 10/100BASE-T.

Ilustración 18: Estructura del dispositivo gráfico XBT [12]

- **Módulo Zelio Logic SR3B261BD**

Se trata de un relé inteligente, o también llamado autómata, formado por 4 grupos principales: entradas, salidas, procesador y memoria. Es de fácil programación y junto a él se presenta un software de alto rendimiento. Se utiliza para la supervisión y control de instalación con la interface de comunicación.



Ilustración 19: Apariencia del relé inteligente Zelio Logic [13]

La conexión entre ambos dispositivos es mediante una vía de comunicación industrial tipo Modbus. A través de esta conexión, la pantalla recibe la información de los diferentes actuadores, sensores y elementos del PLC y éste, en función del estado de las entradas y del programa diseñado para el autómata, activa o desactiva las salidas. Las salidas estarán conectadas a los elementos sobre los que dependerá el funcionamiento de la instalación, como en este caso serían los termoelectrónicos o diferentes componentes. A Modo de resumen se presenta el siguiente esquema de las conexiones a realizar:

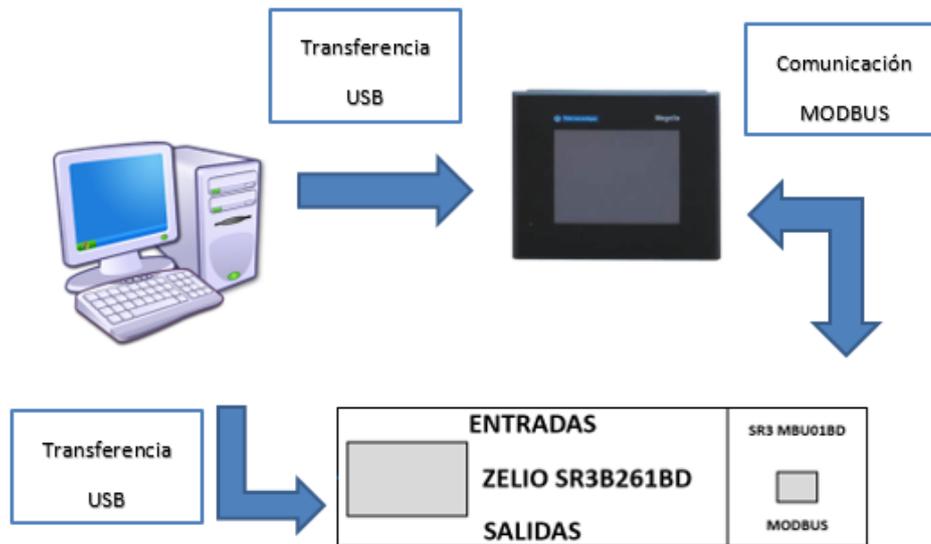


Ilustración 20: Esquema de conexiones entre dispositivos

2.4.2. Programación Zelio Soft 4.5

Se trata del software utilizado para el autómata empleado en la automatización de la instalación. Tiene la posibilidad de realizar la programación mediante diferentes métodos, por ejemplo, el diagrama de bloques de función (FBD) o lenguaje de contactos (LADDER).

Para la realización de este programa se ha hecho uso de los diagramas de bloques funcionales o también llamado FBD. Este tipo de lenguaje de programación está orientado a gráficos y trabaja con una lista de redes formadas por estructuras que representan funciones lógicas. También dispone de temporizadores, contadores, sumadores y diferentes tipos de bloques que dan una gran versatilidad al programa. Puesto que es bastante intuitivo y fácilmente entendible es una buena opción para realizar el proyecto.

Debe destacarse que el programa que se ha realizado y que va a mostrarse a continuación, es tan sólo una representación de cómo sería la automatización del sistema para 3 termoelectrónicos más el conjunto de resistencia y termo eléctrico que actuará como disipador de energía. También se añadirán dos resistencias de valor $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de la potencia nominal de la instalación para disipar energía, y se activarán en función de los termos que estén activados. Es un modelo que, en caso de llevarse a cabo, podría ampliarse para la dimensión real de la instalación. En este caso se ha adaptado al número de entradas y salidas disponibles en el

laboratorio. Para realizar la simulación de la intensidad generada por las bicicletas se utilizará una entrada analógica conectada a un potenciómetro, que será el que marque, según su valor, el aporte de corriente al bus de continua y con ella y la lógica deseada los termos o resistencias que deben activarse.

Mediante la realización del programa se pretende sintetizar el trabajo del operario, de manera que pueda desempeñar su labor de forma más sencilla y eficiente. El esquema de funcionamiento que se quiere alcanzar es el siguiente:



Ilustración 21: Esquema de funcionamiento propuesto para realizar con el autómata

2.4.2.1. Variables empleadas

En primer lugar, para realizar el programa deben identificarse las entradas y salidas de las que estará dotado el sistema. Las entradas se designan por la letra “I” y las salidas por la letra “Q”. Para el modelo utilizado se dispondrá de 8 entradas y 12 salidas tal y como se muestran en las siguientes tablas:

ENTRADAS	TIPO	FUNCIÓN
I1-MARCHA	Discreta	Interruptor que pone en marcha el programa ejecutado por el autómata. Si se produce una avería deberá volver a pulsarse para la puesta en marcha.
I2-PARO	Discreta	Interruptor que debe pulsarse en caso de error en la puesta en marcha o simplemente para detener la ejecución del programa.
I3-P1	Discreta	Señalizador de que los termos eléctricos están conectados a red y listos para trabajar.

I6- F1	Discreta	Sensor indicador de que el termo eléctrico 1 está en marcha y listo para el funcionamiento (temperatura del agua por debajo de su valor máximo).
I7-F2	Discreta	Sensor indicador de que el termo eléctrico 2 está en marcha y listo para el funcionamiento (temperatura del agua por debajo de su valor máximo).
I8-F3	Discreta	Sensor indicador de que el termo eléctrico 3 está en marcha. y listo para el funcionamiento (temperatura del agua por debajo de su valor máximo).
IB- POTENCIÓMETRO	Entera	Intensidad generada por el conjunto de bicicletas
J1-XT1	Hexadecimal/ binario	Señales activadas desde pantalla

Tabla 1: Resumen de entradas en la programación del autómata

SALIDAS	TIPO	FUNCIÓN
Q1-TERMO1	Discreta	Salida que hace referencia a cuando está en marcha del termo eléctrico 1
Q2-TERMO2	Discreta	Salida que hace referencia a cuando está en marcha del termo eléctrico 2
Q3-TERMO3	Discreta	Salida que hace referencia a cuando está en marcha del termo eléctrico 3
Q4-TERMO0	Discreta	Salida que hace referencia a cuando está en marcha del termo eléctrico 0 (conjunto resistencia y termo eléctrico)
Q5-R1	Discreta	Salida que hace referencia a cuando está en marcha la resistencia1
Q6-R2	Discreta	Salida que hace referencia a cuando está en marcha la resistencia2
Q7-ALARMA	Discreta	Salida que hace referencia al piloto de encendido en caso de que salte la alarma por fallo de algún componente

Q8-ESTADO-MARCHA	Discreta	Salida que hace referencia al piloto que se enciende cuando la instalación está en funcionamiento
Q9-ESTADO-PARO	Discreta	Salida que hace referencia al piloto que se enciende cuando la instalación está detenida
O1-XT1	Hexadecimal/ binario	Variables discretas a pantalla
O2-XT1	Entero	Intensidad generada por las bicicletas mostrada por pantalla
O3-XT1	Hexadecimal/ binario	Salidas mostradas por pantalla

Tabla 2: Resumen de salidas en la programación del autómata

La información referente al tipo de variables de entrada y salida se encuentra disponible en el ANEXO I.

2.4.2.2 Esquema de conexión

En el apartado anterior se han comentado las variables que se van a implementar para realizar el programa. Estas variables se descomponen en entradas y salidas al autómata, cuyo esquema de conexión pretende aclararse en este apartado.

Todas las variables de entrada están conectadas a 24V en DC, lo que facilita las condiciones de la instalación ya que pueden conectarse directamente al PLC. A la salida, los diferentes dispositivos empleados estarán conectados a red, por lo que se encontrarán a una tensión de 230V tal y como se muestra en la figura siguiente.

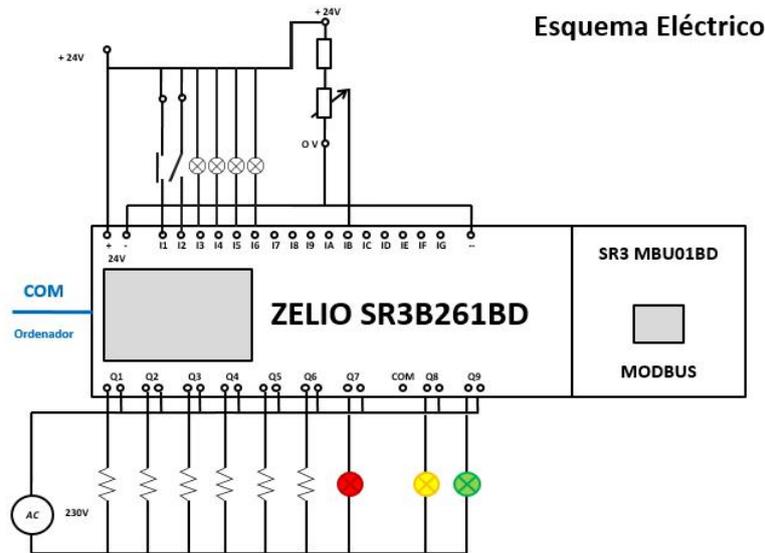


Ilustración 23: Esquema eléctrico de conexión de dispositivos al autómat

2.4.2.3. Implementación del programa

A la hora de crear el programa se va a utilizar el lenguaje FBD, que hace uso del diagrama de bloques funcionales. Para seleccionarlo se elegirá la opción que se presenta en la siguiente ilustración.

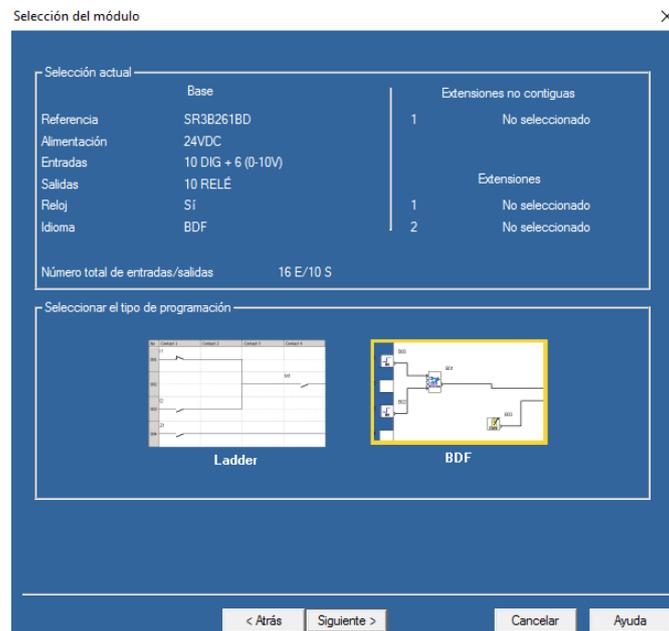


Ilustración 24: Selección del módulo y las características de la programación

Tras esta selección, aparecerá una pantalla como la figura 25 en la que se situarán las entradas a la derecha y las salidas a la izquierda. Para implementar el programa se hará uso de un número variado de bloques funcionales disponibles, que se encuentran en el ANEXO I descritos. Estos bloques pueden agruparse de manera que se reduce el espacio ocupado en pantalla y se forman las denominadas macros. En este caso no se van a utilizar.



Ilustración 25: Pantalla para la programación en lenguaje FBD

De esta forma, las variables que se han descrito en el apartado anterior se situarán en el programa según la estructura anterior, entradas a la izquierda y salidas a la derecha.

Las entradas que ocupan la posición I1-I9 serán aquellas que puedan activarse desde el autómeta. Debe destacarse que el interruptor situado en segunda posición en el autómeta y que hace referencia a la entrada I2 (PARO) es de lógica negada, es decir, por defecto está activado y cuando lo accionas se desactiva, por ello es necesario invertirlo utilizando el bloque NOT. A través de la entrada J1 XT1 se ha conectado el elemento CAN (conversión de palabras a bits), que puede activar las entradas desde pantalla. Por este motivo existen dos métodos de activación de la marcha y el paro y para que cualquiera de las dos formas pueda llevarse a cabo se utiliza la puerta lógica OR. El pulsador P1 estará activo cuando los termos eléctricos estén enchufados a red y por tanto activados. Los interruptores, que hacen la función de sensores: F1, F2 y F3, estarán activos cuando el agua en los termoeléctricos esté suficientemente caliente y entonces se pongan en funcionamiento las resistencias. Todo esto está indicado en la figura 26.

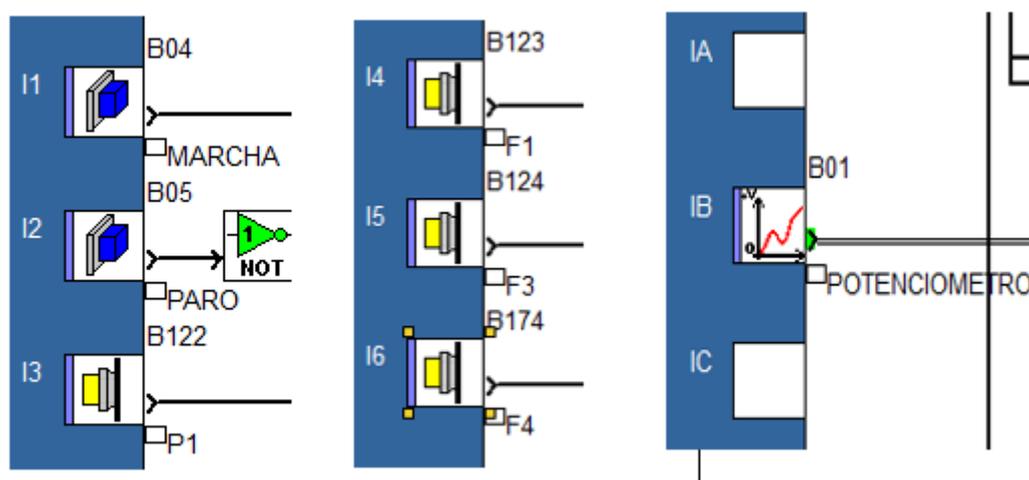


Ilustración 26: Variables de entrada situadas en el programa

A partir de las variables de entrada de MARCHA y PARO, deben activarse dos pilotos presentes en la instalación, y que aparecerán como salidas que indiquen en qué estado se encuentra todo el proceso. Para ello, se ha dispuesto del elemento SET que mantiene activa la variable hasta que se active el RESET. Para el caso de la MARCHA, estará activa la salida hasta que se pulse o se del PARO, que reseteará esta función y apagará la salida de estado-marcha. En caso de que se active el PARO, mediante el elemento SET quedará activado hasta que vuelva a darse la MARCHA, que reseteará esta función.

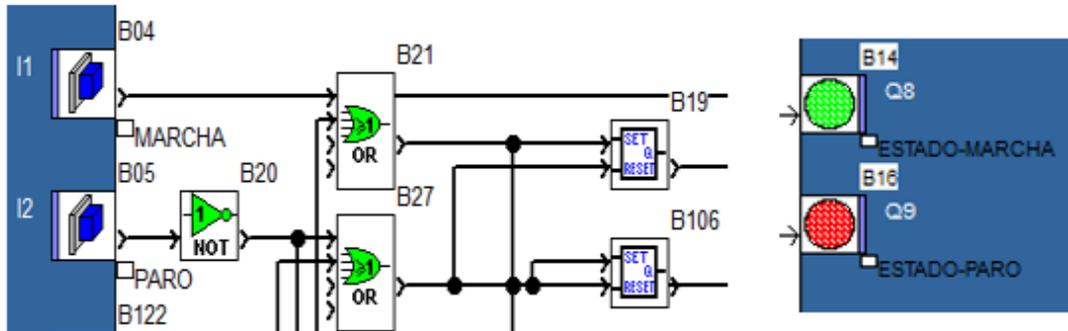


Ilustración 27: Salidas indicadoras del estado de la instalación

De entre todas las entradas faltaría por describir la que hace referencia a la intensidad generada por las bicicletas, que sería simulada por el potenciómetro del autómata. En primer lugar, debe conocerse qué entrada de las analógicas: IA-IC, es la que está conectada al potenciómetro. En este caso se trata de la entrada IB cuyos valores serán mostrados por pantalla mediante la salida O2 XT1, que permitirá mostrar el rango de valores marcado por el potenciómetro. En este caso se va a escalar el potenciómetro de 0 a 100, que hace referencia al porcentaje de la intensidad nominal producida por el conjunto de bicis. Para ello es necesario utilizar el elemento GAIN, o también llamado ganancia. La forma para escalar el potenciómetro se encuentra en el ANEXO I.

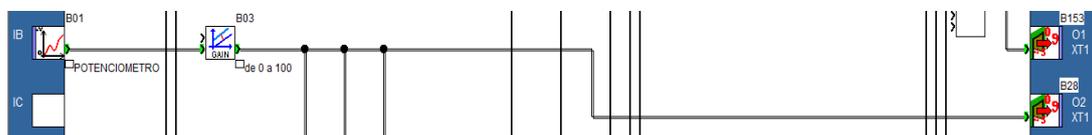


Ilustración 28: Conexión del potenciómetro en el programa

La función principal del programa consiste en activar los grupos de termos de forma organizada según la corriente generada por las bicis. De esta forma, será el potenciómetro el que marque los grupos que deben activarse. Según el valor marcado por el potenciómetro y el uso de elementos como son los comparadores, se activarán las señales siempre que sea verdadera la condición marcada en el comparador. En este caso se ha decidido hacer uso de tres comparadores que activarán la señal correspondiente si se supera un valor del 26, 50 y 75% la

corriente nominal. Se han elegido estos valores para que el grupo de termos pueda activarse de forma equitativa. La referencia con la que se comparará el valor generado por el potenciómetro será un elemento que adopta el valor del número que el usuario quiera. Como se puede observar en la figura 29, aparecen los comparadores y los números de referencia. Cada comparador activa un número de termos al que se ha denominado grupo 1, 2 y 3.

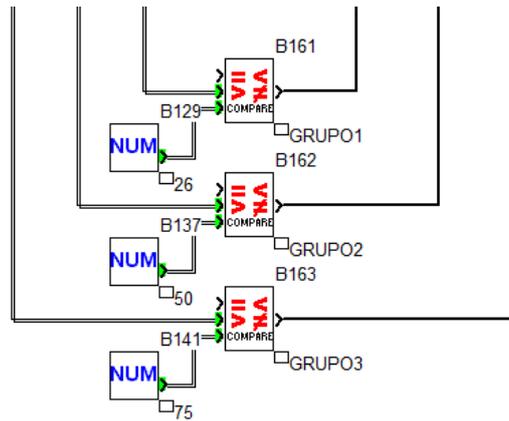


Ilustración 29: Comparadores utilizados para la correcta activación del grupo de termos y resistencias

La asignación de grupos se debe a que, como se ha dicho anteriormente, en función de los termos que deben conectarse, entrarán unas resistencias que tienen la función de compensar la energía que no se está disipando porque no están todos los termos funcionando debido a que el agua ya está suficientemente caliente. A continuación, se muestra una tabla de verdad en la que aparece qué resistencias deben conectarse en función de los termos que deban estar en funcionamiento.

Número de termos conectados	Resistencia 1 (1/4 Wn)	Resistencia 2 (1/2 Wn)
0	Desactivado	Desactivado
1	Activado	Desactivado
2	Desactivado	Activado
3	Activado	Activado

Tabla 3: Tabla de verdad de activación de resistencias según el número de termos conectados

De esta forma quedarán establecidos los grupos que se activarán en función de los termos conectados, teniendo en cuenta que en cada caso o se conectará un termo o las resistencias asignadas.

- Grupo 1: formado por un termo y una resistencia de $\frac{1}{4}$ de la potencia nominal.
- Grupo 2: formado por dos termos y una resistencia de $\frac{1}{2}$ de la potencia nominal.
- Grupo 3: formado por tres termos y las dos resistencias.

Para que se produzca la activación de los diferentes grupos deben cumplirse cuatro condiciones: que esté activada la marcha, que los termos eléctricos en concreto estén enchufados a red (señal activa por las entradas), que la señal dada por el comparador esté activada para el grupo en función y que el termo eléctrico esté en funcionamiento calentando el agua y, por tanto, no esté activado el sensor que se activa por la entrada. Para esta última condición se ha utilizado un interruptor que, en caso de estar desactivado, indica que el termo está en funcionamiento y, por tanto, no ha llegado a su temperatura máxima. Para que las cuatro se cumplan se utilizará la puerta lógica AND. En la figura 30 se ha planteado el esquema de conexión para los diferentes termos y, en concreto, para el termo eléctrico 1, puesto que el único que muestra la señal que viene del comparador. Estas cuatro condiciones conectan en la puerta lógica AND, que una vez activada dará paso a la salida Q1, la del termo eléctrico 1. En la figura también puede verse cómo al ponerse en funcionamiento la instalación se activa el conjunto termo resistencia cuya salida es la Q4 y que se ha definido como termo eléctrico 0. Este hace referencia al conjunto de resistencia y termo que están activos en todo momento como disipador de energía, por ello no pertenecen a ningún grupo.

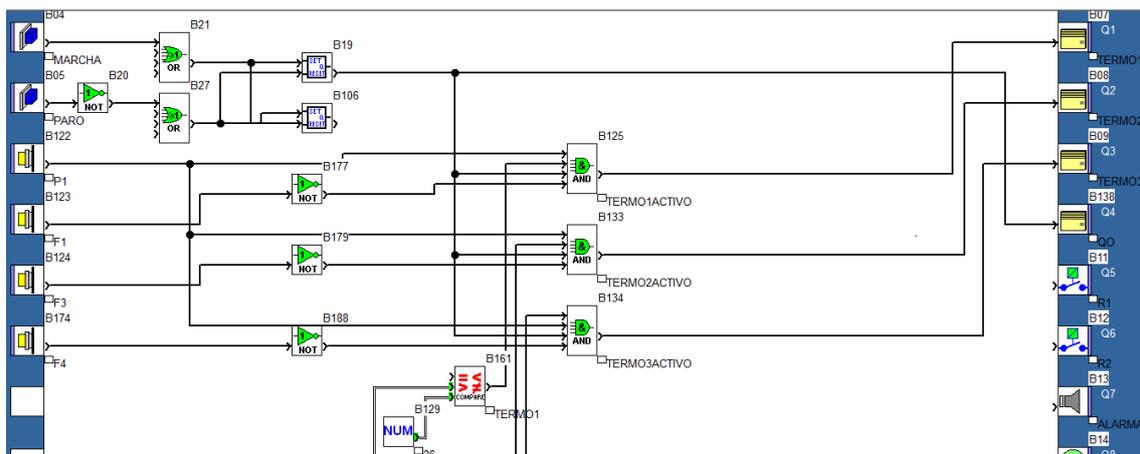


Ilustración 30: Programa de activación para el termo 1

De la misma forma, utilizando las puertas lógicas AND, OR y NOT se realiza el programa para que se cumpla que, en caso de superar el 26% de la corriente nominal de la instalación se active el termo 1, si se supera el 50% se activará el termo 2 y si se supera el 75% se activará el termo 3.

Una vez definidos cómo se conectan los termos, va a mostrarse la conexión de las distintas resistencias en función de los termos que deberían estar conectados.

Comenzando por la resistencia 1, como se ha indicado, sólo se conectará en caso de que un termo eléctrico esté en funcionamiento y pare, debido a que el agua ya esté en su temperatura máxima, o en caso de que se de la misma situación para los tres termos eléctricos simultáneamente. Por tanto, las condiciones de conexión para la resistencia 1 pueden darse de dos formas alternativas que se representan mediante la puerta lógica OR. Por un lado, en

el caso de disipar la potencia de un termo eléctrico, deberá cumplirse que la salida que activa dicho termo esté desactivada y, además, que el sensor que indica que el agua ha llegado a la temperatura máxima esté activado (F1-F3). Estas dos condiciones deben cumplirse simultáneamente puesto que, si no, en caso de que la salida del termo eléctrico 1 esté desactivada, se activaría la resistencia sin que el agua haya llegado a la temperatura máxima del termo. Además, debe cumplirse que en caso de estar conectados dos termos simultáneamente (cualquiera de las combinaciones posibles) y ambos lleguen a la temperatura máxima, no se active dicha resistencia, puesto que debería activarse la del grupo 2. Por otro lado, en caso de disipar la potencia de los tres termos, deberán cumplirse las dos primeras condiciones para cada uno de los termos. Deberán estar desactivadas las salidas que activan cada uno de los termos y, además, estar activados los sensores de temperatura máxima. En la figura 31 se muestra el esquema de conexión para la resistencia 1.

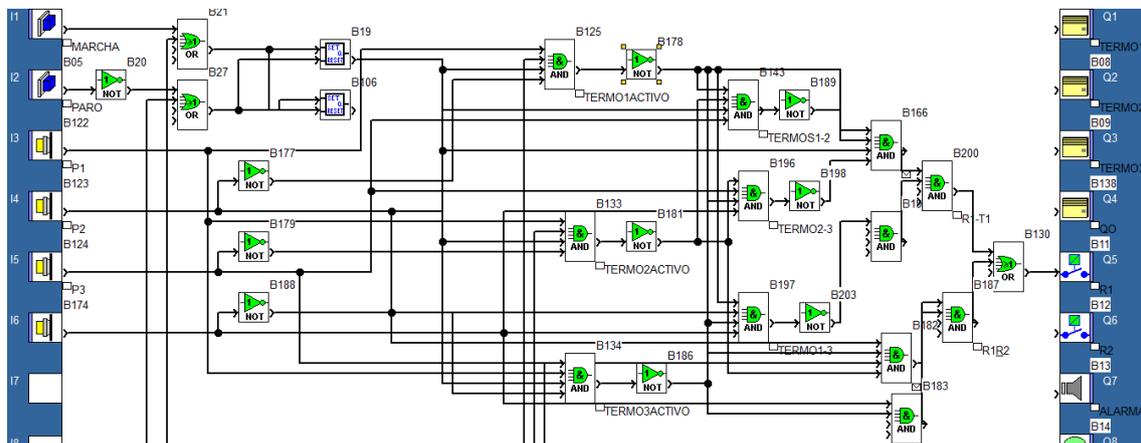


Ilustración 31: Esquema de conexión para la activación de la resistencia 1

Para el caso de la resistencia 2, ésta se conectará siempre que deban estar dos termos en funcionamiento, o también cuando deban estar tres. Igual que en el caso anterior, esta alternativa se representa mediante la puerta lógica OR. Por un lado, para la activación en caso de disipar la potencia de dos termos deberá cumplirse que ambos termos están activados, pero no tienen su señal de salida activada debido a que el agua ha alcanzado la temperatura máxima, estando esta última condición representada por los sensores de entrada (F1-F2-F3) respectivamente. Debe destacarse que cualquiera de las combinaciones para los diferentes termos podría activar la resistencia, siempre que se cumplan ambas condiciones. Por otro lado, para disipar la potencia que deberían disipar los tres termos, debe cumplirse lo anteriormente citado para cada uno de ellos simultáneamente. En la siguiente figura se muestra el esquema de conexión y las condiciones que deben cumplirse para la activación de la resistencia 2.

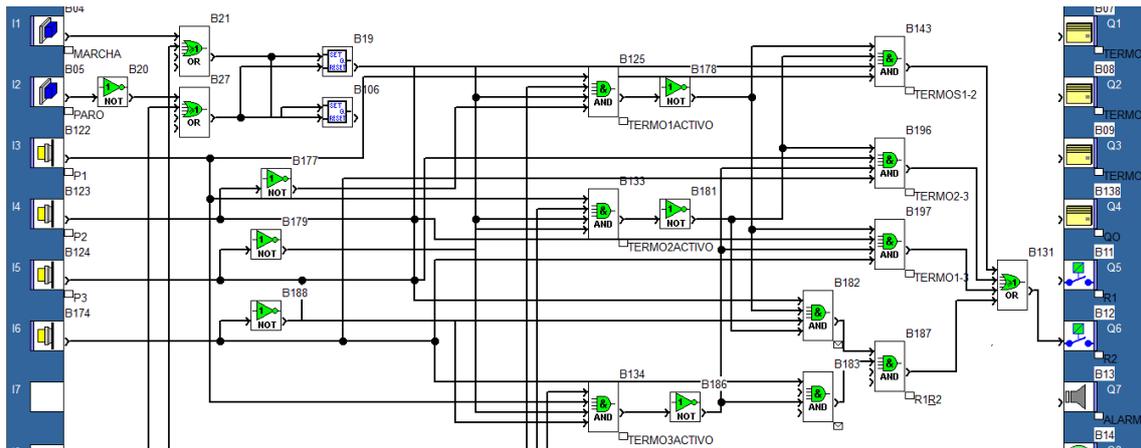


Ilustración 32: Esquema de conexión para la activación de la resistencia 2

Además de los estados de marcha y paro se ha definido un estado de alarma. Este estado se activa en caso de que el operario de la marcha al programa, pero algunos de los termos no estén conectados ya sea por fallo de conexión o de funcionamiento. La señal de entrada que representa el sensor o interruptor de conexión es el P1, que indicará si alguno de los tres termos no está en funcionamiento. Se ha adoptado esta solución por simplicidad, puesto que no existen suficientes entradas en el autómatas como para colocar un indicador de estado en cada termo. Para ello, se ha puesto un temporizador que comience a contar desde que se da la marcha durante 10 segundos y si alguno de los termos no está conectado se activará la señal. Para activar la señal de los termos en caso de que estén inactivos se ha utilizado la puerta lógica NOT que invierte el valor de la señal. Si alguno de los termos, o todos, están apagados, la señal pasará a través de la puerta OR. Cuando se de esta situación sumada a que ha pasado el tiempo indicado en el temporizador, se activará el SET que mantendrá encendida la señal de alarma. Cuando se pulse el PARO se resetearán tanto el temporizador como el SET que activa la señal de alarma. En la figura siguiente se muestra la implementación de todo lo indicado.

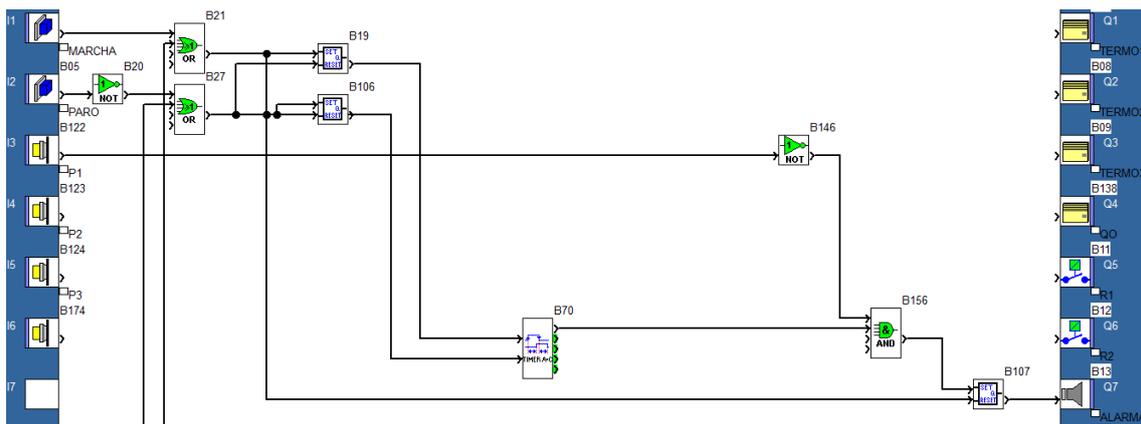


Ilustración 33: Programa de activación de la señal de alarma

El temporizador utilizado para realizar el programa se explicará en el ANEXO I.

Por último, se deben mencionar las salidas O1 XT1 y O3 XT1. Ambas utilizan el elemento CNA, que es similar al CAN mencionado anteriormente. Este tipo de elemento realiza la conversión de bits a palabras, justo lo contrario que se realizaba con el elemento CAN. Ambos elementos permiten que llegue la información de variables discretas de la pantalla (CAN) y la salida de variables discretas hacia la pantalla (CNA). De esta forma se relacionan las variables del PLC y de la pantalla. Por un lado, la pantalla puede emitir y recibir palabras de 16 bits, con las que se indica el estado de los 16 bits que la forman. Si llega un “0” el bit está inactivo mientras que si llega un “1” estará activo. Con respecto a la salida O1 XT1, en este elemento se conectan las variables de entrada que se han definido mientras que en el O3 XT1 se conectarán cada una de las salidas. En la figura 34 se muestran los dos elementos conectados. Al primero de ellos se conectan todas las entradas digitales del programa, mientras que al segundo se conectan todas las salidas digitales.

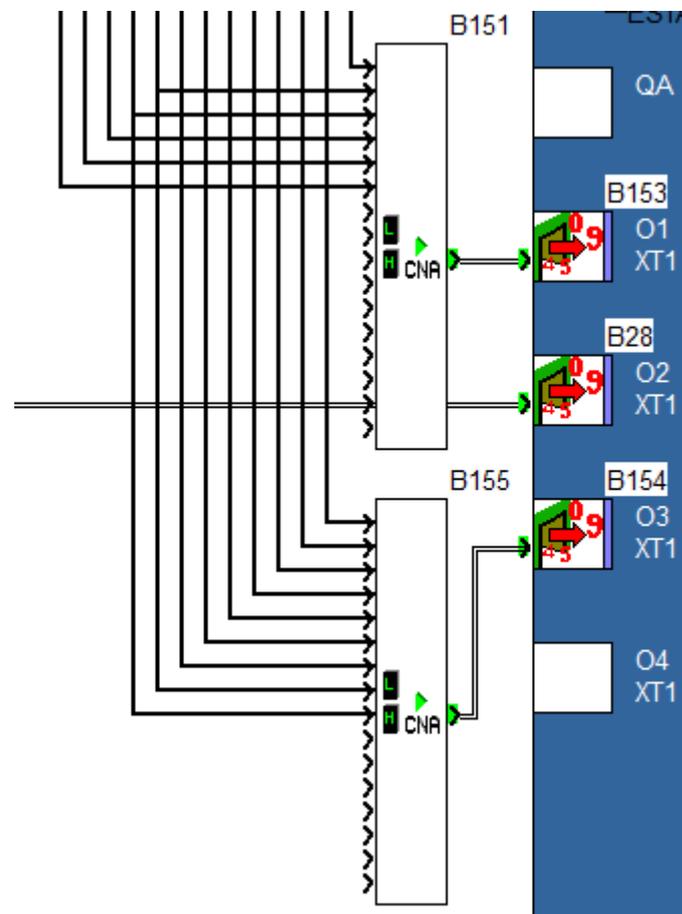


Ilustración 34: Conexión de los elementos CNA a la salida

Este es el desarrollo completo del programa que se ha implementado, explicado por secciones. Debe tenerse en cuenta que está relacionado completamente con las variables utilizadas para el diseño de la pantalla.

Para acceder a una visión del programa entero se debe ver el ANEXO I.

2.4.3. Diseño de la pantalla mediante Vijeo Designer

Se trata del software utilizado para realizar el diseño de la interfaz de operador en la pantalla táctil. Es un programa suministrado por Schneider Electric con necesidad de licencia, pero que ofrece al usuario una gran versatilidad para hacer el diseño de lo que se verá en la instalación. Ofrece una gran amplitud de opciones que ayudan a visualizar lo que realmente está implementándose en la instalación.

Para comenzar, deberá configurarse el equipo y el controlador que se va a utilizar. El tipo de pantalla es XBTGT 1005 (serie) y el modelo del que se va a hacer uso XBTGT 1335. La descarga de datos del PC a la pantalla se realiza mediante USB. Para la configuración del controlador, deberá seleccionarse el fabricante, que también es Schneider Electric, y el controlador utilizado es el Modbus (RTU). También deberá configurarse el equipo seleccionando la dirección que se le asignará al equipo como esclavo, en este caso 1, y deberá activarse el modo de sintaxis para que los programas puedan ser correctamente interpretados.

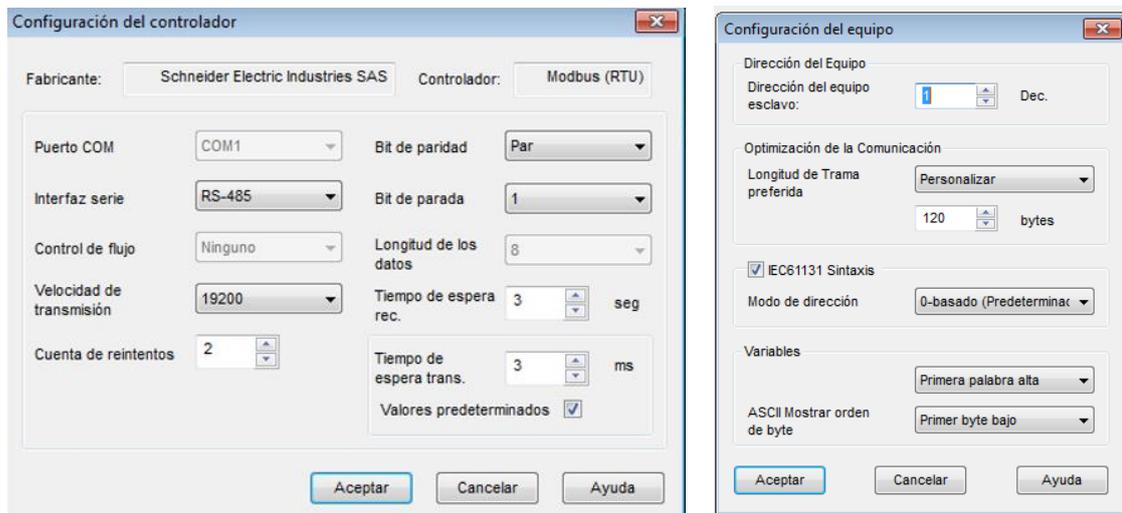


Ilustración 35: Configuración del controlador y equipo para pantalla

Una vez realizada la configuración, puede procederse a realizar el diseño. En primer lugar, debe tenerse claro qué se quiere realizar con el programa y de cuántos paneles se quiere disponer. Aparecerá una selección a la izquierda en la que aparecerá todo lo que se tiene a modo de resumen. En esta barra se añadirán los paneles que se quieren utilizar, que aparecen como paneles base. También pueden establecerse acciones, que se definirán con scripts y que llevan a cabo determinadas tareas que se escriben mediante programación. Definición de alarmas, que aparecen si no se cumple alguna de las condiciones marcadas y las variables a utilizar. Será en la administración de equipos de E/S (entrada y salida) donde se incorporarán nuevos elementos como puede ser un variador de frecuencia, contactores u otros elementos, a los que habrá que asignarles un número de esclavo.

En este caso se van a utilizar 4 paneles que se explicarán a continuación, la definición de alarmas, variables para realizar todo esto y tan solo se incorporará el controlador Modbus (RTU) como se ha dicho anteriormente. En la figura 36 se muestra dónde aparece todo esto.

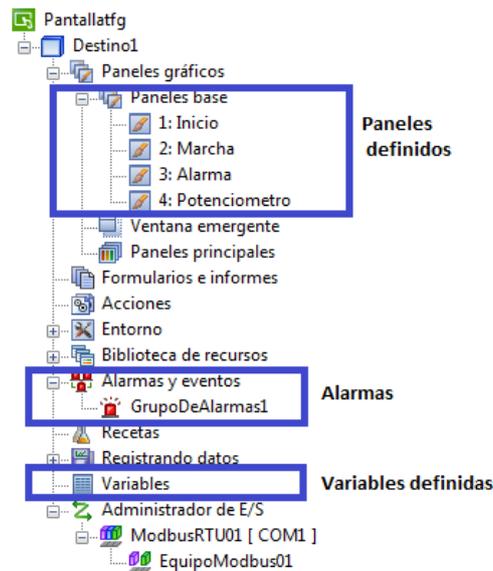


Ilustración 36: Selección de las diferentes opciones en el programa

2.4.3.1. Variables

En ese apartado se van a tratar las variables que se van utilizar en el diseño de la pantalla. Por un lado, están relacionadas con las definidas en el Zelio Soft, y por otro, creadas para realizar alguna función dentro del diseño.

Las variables tienen diferentes funciones dentro del programa más allá de almacenar un valor y mostrarlo dentro de un gráfico, variable o visualizador. Por ejemplo, si se asignan a un grupo de alarmas, éste se desencadenará en función del valor que tome esta variable, o también es posible el uso de recetas, de forma que pueden programarse distintos valores en función de la receta escogida. La dirección de almacenamiento está definida por el programa, y es concreta para cada variable según su función. Existe una tabla, que se puede consultar en el ANEXO II, mediante la que se ha localizado la dirección de almacenamiento de cada variable.

A continuación, se va a dividir el conjunto de variables según la dirección de almacenamiento.

Las variables procedentes de la entrada J1 XT1, que utilizaban el elemento CAN para la conversión de palabras a bits, ahora están definidas como:

Nombre variable	Dirección de almacenamiento	Función
AL_PLC_1	%MW16:X0	Activa la señal de marcha desde pantalla (Variable I1)
AL_PLC_2	%MW16:X1	Activa la señal de paro desde pantalla (Variable I2)

Tabla 4: Variables procedentes de la entrada J1 XT1 del programa Zelio Soft

Las variables que reciben la información de las salidas O1 XT1 y O3 XT1 son las que utilizan los elementos CNA de conversión de bits a palabras. Por un lado, la salida O1 XT1 recibía las variables de entrada y, por otro, la O3 XT1 recibía directamente las de salida. Ahora están definidas como:

Nombre variable	Dirección de almacenamiento	Función
Marche	%MW20:X0	Entrada I1 que envía la orden de encendido al piloto de marcha
Pare	%MW20:X1	Entrada I2 que envía la orden de encendido al piloto de paro
Enchufado	%MW20:X2	Entrada I3 que indica que los termos están enchufados a red. Se utiliza para dar la señal de alarma.
Pulsador 1	%MW20:X3	Entrada I4 que envía la orden de encendido al piloto cuando está activo el temo 1
Pulsador 2	%MW20:X4	Entrada I5 que envía la orden de encendido al piloto cuando está activo el termo 2
Pulsador 3	%MW20:X5	Entrada I6 que envía la orden de encendido al piloto cuando está activo el termo 3

Tabla 5: Variables procedentes de la salida O1 XT1 del programa Zelio Soft

Nombre variable	Dirección de almacenamiento	Función
Termo 1	%MW22:X0	Salida Q1 que activa el piloto cuando está encendido el termo 1
Termo 2	%MW22:X1	Salida Q2 que activa el piloto cuando está encendido el termo 2
Termo 3	%MW22:X2	Salida Q3 que activa el piloto cuando está encendido el termo 3
Termo 0	%MW22:X3	Salida Q4 que activa el piloto cuando está encendido el termo 0
Resistencia 1	%MW22:X4	Salida Q5 que activa el piloto cuando está encendida la resistencia 1

Resistencia 2	%MW22:X5	Salida Q6 que activa el piloto cuando está encendida la resistencia 2
Alarm	%MW22:X6	Salida Q7 que activa el piloto cuando está encendida la alarma
ON	%MW22:X7	Salida Q8 que activa el piloto cuando está encendido el estado marcha
OFF	%MW22:X8	Salida Q9 que activa el piloto cuando está encendido el estado paro

Tabla 6: Variables procedentes de la salida O3 XT1 del programa Zelio Soft

De las variables comunes a los dos programas faltaría por definir la que procede del potenciómetro, cuya salida es la O2 XT1 y se trata de una variable analógica. En este caso la dirección de almacenamiento será la siguiente:

Nombre variable	Dirección de almacenamiento	Función
Intensidad	%MW21	Emite la información del potenciómetro

Tabla 7: Variables procedentes de la salida O2 XT1 del programa Zelio Soft

Por último, se ha definido una variable independiente al programa del PLC y que tiene la finalidad de indicar cuándo el programa se ha transferido correctamente. La variable se presenta a continuación:

Nombre variable	Dirección de almacenamiento	Función
RUN	%MW48	Indica la correcta transferencia del programa

Tabla 8: Variables independientes al programa Zelio Soft

A continuación, se presenta la lista de variables dada por el programa. En la siguiente imagen se muestra el tipo de variables que se han utilizado, todas son booleanas (BOOL) excepto la que proviene de potenciómetro, que es entera (INT). El origen de los datos en este caso es totalmente externo, puesto que no se han definido acciones de ningún tipo ni recetas. Todas las variables proceden del único equipo definido, el Modbus RTU. En este caso, se ha definido un grupo de alarmas que se explicará más adelante.

	Nombre	Tipo de datos	Origen de datos	Grupo de escan...	Dirección d... ▲	Grupo de alarm...	Grupo de registros
1	 AL_PLC_1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW16:X0	Desactivado	Ninguno
2	 AL_PLC_2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW16:X1	Desactivado	Ninguno
3	 Marche	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW20:X0	Desactivado	Ninguno
4	 Pare	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW20:X1	Desactivado	Ninguno
5	 Pulsador1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW20:X2	Desactivado	Ninguno
6	 Pulsador2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW20:X3	Desactivado	Ninguno
7	 Pulsador3	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW20:X4	Desactivado	Ninguno
8	 Intensidad	INT	Externo	EquipoModbus01	%MW21	Desactivado	Ninguno
9	 Termo1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X0	Desactivado	Ninguno
10	 Termo2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X1	Desactivado	Ninguno
11	 Termo3	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X2	Desactivado	Ninguno
12	 Termo0	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X3	Desactivado	Ninguno
13	 Resistencia1	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X4	Desactivado	Ninguno
14	 Resistencia2	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X5	Desactivado	Ninguno
15	 Alarm	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X6	GrupoDeAlarm...	Ninguno
16	 ON	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X7	Desactivado	Ninguno
17	 OFF	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW22:X8	Desactivado	Ninguno
18	 RUN	BOOL	Externo	EquipoModbus01	%MW48:X0	Desactivado	Ninguno

Ilustración 37: Variables utilizadas para el diseño de la pantalla mediante Vijeo Designer

2.4.3.2. Grupo de alarmas

Una de las herramientas más destacables que ofrece este software es la activación de alarmas. Se pueden crear grupos de alarmas asociados a diferentes variables externas o internas indistintamente, que se activan en caso de que se cumpla alguna condición o que alguna variable lo indique.

En este caso, el grupo de alarmas se ha asociado a una variable externa procedente del Zelio, como se ha indicado anteriormente. Cuando se activa esta variable, saltará un mensaje de alarma, que puede modificarse, y que alertará al usuario. El grupo de alarmas para este proyecto saltará en caso de que, como se explicó en el programa, no estén conectados los termos en la instalación y, por tanto, no pueda ponerse en correcto funcionamiento. Para crear el grupo de alarmas, habrá que acceder en el menú y configurarlo como se indica a continuación:

	Variable	Grupo de alarmas	Origen de datos	Dirección de di...	Mensaje
1	Alarm	GrupoDeAlarmas1	Externo	%MW22:X6	Hay termos apagados

Ilustración 38: Configuración del grupo de alarmas

Con la configuración del grupo de alarma realizada, existe una opción para visualizar las alarmas por pantalla dada por este software. Se trata de una tabla que ofrece un historial de las alarmas que se han producido, con su respectivo mensaje y hora a la que se ha producido. Los colores indican si la alarma continua activa (estará en rojo) o si ya ha pasado el estado de alarma (verde). También se da la opción de que el operario tenga que reconocer la alarma para que esta se desactive completamente. En la figura 39 aparece el panel en el que se muestra este resumen de alarmas.

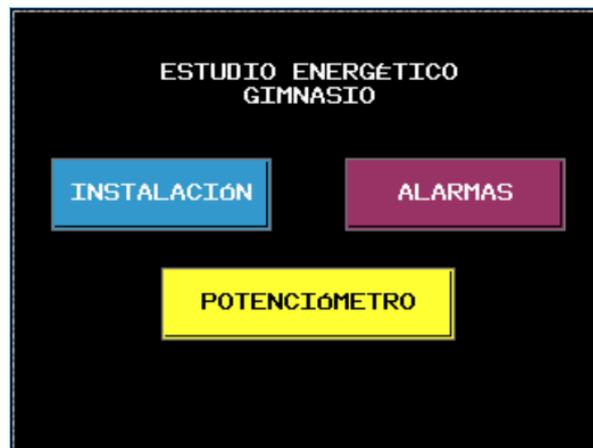


Ilustración 40: Diseño de la pantalla de inicio

Suponiendo que se ha pulsado el interruptor denominado “INSTALACIÓN” se accederá a dicho panel. Este panel tiene la finalidad de mostrar de forma más intuitiva el funcionamiento de la instalación. Es por esto que se muestran los cuatro termoeléctricos y las dos resistencias, definidos como salidas en el programa. Dentro de este panel debe hacerse la distinción entre interruptores y pilotos. Son interruptores aquellos que pueden pulsarse y desencadenan una acción, ya sea asignada a una variable o no. Los pilotos deben estar asociados a una variable y se encienden o parpadean en caso de que la variable esté activa. También existe la posibilidad de crear un interruptor con piloto, este tipo de interruptor debe asignarse a una variable y puede cambiar el color del interruptor diferenciando cuando esté activo o apagado. De entre los elementos que aparecen en el panel faltaría mencionar la barra roja llamada “Alarm Banner”, que sería el tipo de aviso que aparecería en caso de que saltara la alarma mostrando el mensaje definido.

En el panel aparecen tres interruptores cuya función es la siguiente:

- **INICIO:** procede al cambio de panel, en este caso al menú principal. No lleva ninguna variable asignada.
- **MARCHA:** interruptor con piloto que lleva asignado la variable “AL_PLC_1”. Activa el programa desde pantalla.
- **PARO:** interruptor con piloto que lleva asignado la variable “AL_PLC_2”. Activa el paro del programa desde pantalla.

Los pilotos son los elementos de colores que se encuentran en la parte superior de la pantalla y dentro de cada termo. Cada uno de ellos tiene definido el nombre de la salida a la que responde. Cuando estén activas estas salidas, los pilotos parpadearán y los que están dentro de los termos cambiarán de color a verde. De esta forma, por un lado, se presentan los termos que estén en funcionamiento en la instalación y por otro el estado de la instalación. El piloto asociado a “RUN/STOP” parpadeará cuando el programa esté transferido al PLC.

Cada una de las imágenes utilizadas se encuentra disponible en la biblioteca de imágenes del programa, pero también pueden importarse. Las imágenes pueden llevar a cabo acciones o simplemente estar asociadas a variables y parpadear o mostrarse cuando estén activas. En este caso, se han asociado las variables de salida de las resistencias a las imágenes que las representan. Como se puede observar, aparecen dos posiciones para una misma resistencia

(debido a que el programa no se encuentra en funcionamiento). Se mostrará la posición horizontal (desconectando el circuito y, por tanto, no estando en funcionamiento) cuando las variables de las resistencias no estén activas. La posición vertical (activa el circuito y la resistencia disipa energía) se mostrará cuando estén activas las variables de salida de las resistencias.

En caso de que la instalación se encuentre en estado de alarma, se activará el piloto que hace referencia a esta y, además, saltará el banner. El mensaje que se ha introducido es el de “Hay termos apagados” y sólo desaparecerá si el operario reconoce la alarma en el panel de alarmas.

A continuación, se muestra el panel “INSTALACIÓN” que acaba de explicarse:

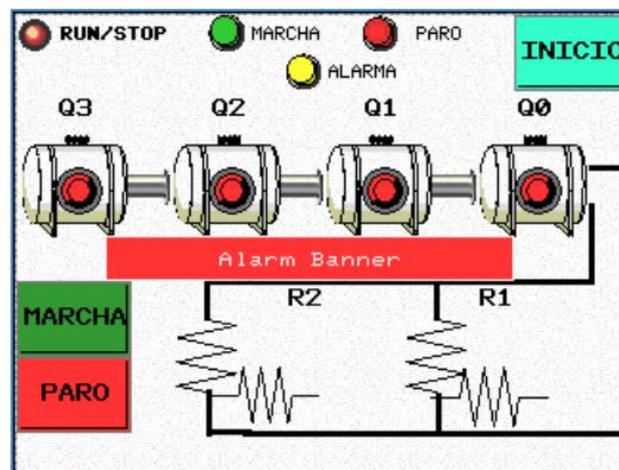


Ilustración 41: Diseño del panel de INSTALACIÓN

El siguiente panel a diseñar es el de “ALARMAS”, cuyo funcionamiento ha sido explicado previamente. Este panel consta del interruptor de cambio de panel al panel principal. El historial de alarmas es una herramienta que se selecciona dentro del menú principal del programa y que se sitúa dentro del panel según la elección del que lo diseña. Las alarmas pueden ordenarse según hora o gravedad. Asociado a esta herramienta están los banners que se sitúan en los otros paneles, y a los que deberá asignárseles el grupo de alarmas en concreto para el que esté definido. Entre las opciones que pueden definirse existe la opción de que desaparezcan los banners siempre que el usuario reconozca la alarma, es decir, que acceda al historial mostrado en el panel y presione el botón en el que aparecen las campanas de alarma.

En este caso solo hay definido un grupo de alarmas y un solo mensaje. En la figura 42 se muestra el diseño del panel de “ALARMAS” que, puesto que es el diseño realizado en el programa, aparecen las letras de mensaje como ejemplo de formato. Una vez transferido al PLC aparecería vacío hasta que se diera una señal de alarma.



Ilustración 42: Diseño del panel de ALARMAS

El último panel del que consta el programa es el denominado “POTENCIÓMETRO”. Este panel pretende mostrar la intensidad generada por las bicicletas, que es el factor determinante que activa los termos o resistencias en función de su valor. Además, permite tener una visión general del estado de la instalación. Por un lado, muestra si los termos están enchufados a red o no, que en caso negativo daría lugar a la activación de la alarma y podría verse cuál es el temo que falla. Por otro lado, muestra en caso de funcionamiento el estado de los termos y resistencias a modo de salida. También presenta, igual que en panel de “INSTALACIÓN”, en qué estado se encuentra el programa: marcha, paro o alarma.

El elemento más importante de este panel es el que muestra el valor del potenciómetro. Para ello, se ha utilizado un gráfico semicircular al que se le ha asignado la variable analógica del potenciómetro. Se puede seleccionar el diseño completo del gráfico, así como su escalado en la imagen. Es importante asignarle el valor mínimo y máximo que representará, en este caso: valor mínimo 0 y valor máximo 100. La flecha indicadora irá variando en función del valor dado manualmente y a su vez activando las salidas correspondientes. Este panel tan sólo consta del interruptor de retorno al panel principal, lo que implica que no se podrá encender desde pantalla el programa.

El resto de elementos utilizados son pilotos. Es importante diferenciar el estado de los termos, y el de funcionamiento de la instalación. Los pilotos del estado de los termos hacen referencia a los sensores que indican si el termo ha llegado a su temperatura máxima o no, llevan asociadas las variables de entrada. En caso de que esté activado el sensor y, por tanto, el termo deje de funcionar porque el agua ha llegado a su temperatura máxima, aparecerá un “ON” a la derecha y si están desactivados “OFF”. En cambio, los pilotos de funcionamiento de la instalación hacen referencia a los termos y resistencias, llevan asignadas las variables de salida. Se observa que, en el estado de los termos, aparece uno que está activado ya, se trata del conjunto termoeléctrico-resistencia que se encuentra activado siempre que se ponga en marcha la instalación.

También se muestran los pilotos de estado del programa de marcha, paro y alarma, y el banner respectivo a la señal de alarma, que desaparecerá acudiendo al historial de alarmas. Por último, el piloto de RUN/STOP indicando que el programa ha sido transferido.

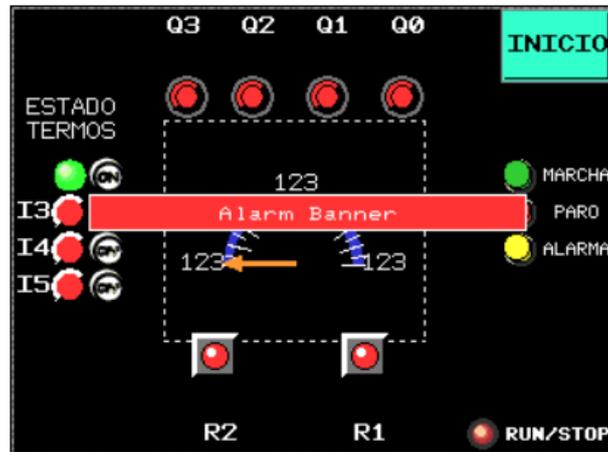


Ilustración 43: Diseño del panel del POTENCIÓMETRO

A modo de resumen, el programa de la instalación diseñado respondería al esquema mostrado en la siguiente figura, pulsando cada uno de los interruptores, se accede a los diferentes paneles pudiendo en todo momento volver al panel de inicio.

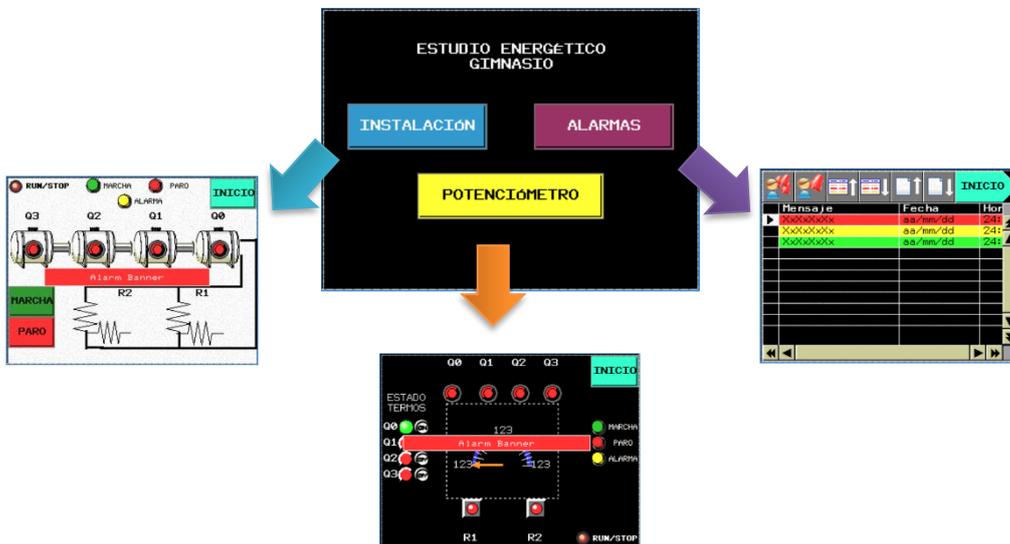


Ilustración 44: Esquema del programa diseñado para acceder a los paneles

2.4.3.4. Implementación del programa

El programa realizado mediante el software Zelio Soft, explicado en el anterior aparatado, se ha implementado en la pantalla utilizando los paneles anteriores. De esta forma, mostrando el panel del potenciómetro se va a mostrar cómo responde la pantalla ante diferentes situaciones simuladas en el programa.

La situación inicial que se va a mostrar a continuación corresponde a la instalación puesta en marcha, pero sin generación de potencia por parte de las bicicletas. Por ello, tan solo está encendido el termo disipador de energía, cuyo indicador está en verde y corresponde a la salida Q0.



Ilustración 45: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: piloto Q0 activado

A continuación, se muestra una captura del programa Zelio Soft que muestra cómo quedaría en caso de estar activada la salida Q4, que hace referencia al piloto Q0 de la figura anterior.

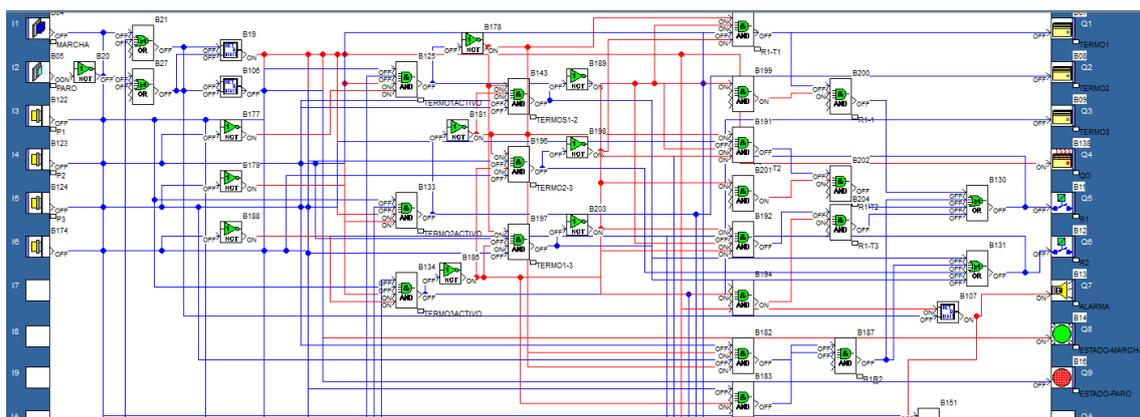


Ilustración 46: Captura del programa Zelio Soft para la salida Q4 activada

Una vez comienzan a funcionar las bicicletas, empiezan a generar potencia que se utiliza para conectar los diferentes termos. En un primer momento, cuando comiencen a pedalear los

usuarios en las bicicletas y la intensidad supere el 25% de la corriente nominal, se conectará el termo cuya salida corresponde a Q1 tal y como se presenta en la siguiente figura:



Ilustración 47: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0 y Q1 activadas

Conforme más bicicletas vayan generando corriente, el potenciómetro aumentará hasta que una vez alcanzado el valor del 50% se activará el siguiente termo, en este caso la salida Q2.



Ilustración 48: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, Q1 y Q2 activadas

Dentro del programa significa que se activan las salidas Q1, Q2 y Q4 mediante las puertas lógicas mostradas en la figura.

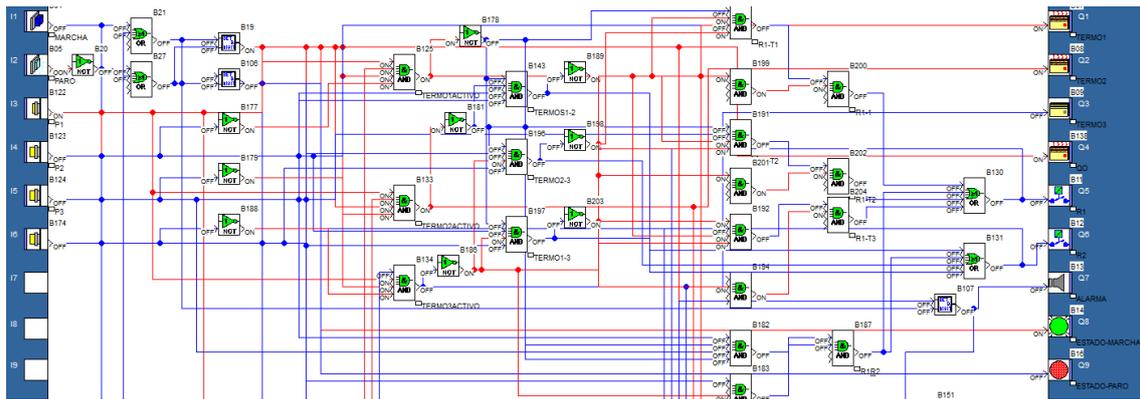


Ilustración 49: Captura del programa Zelio Soft para las salidas Q4, Q1, y Q2 activadas

El estado de los termos presentado a la izquierda mediante pilotos representa si los termos han dejado de funcionar debido a que el agua ya ha alcanzado la temperatura máxima. Muestra si el sensor está activado o desactivado. Suponiendo que el agua en el termo Q1 ya está suficientemente caliente y éste se apaga, se activará su sensor correspondiente y, en su lugar, disipará energía la resistencia R1.



Ilustración 50: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R1 y Q2 activadas

A continuación, el termo Q1 sigue desactivado debido a que el agua ya está suficientemente caliente y, por tanto, la resistencia R1 sigue disipando energía. Sin embargo, la corriente producida por las bicicletas sigue aumentando y supera el 75% de la corriente nominal, por lo que el termo Q3 se activa y el termo Q2 continúa funcionando.



Ilustración 51: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R1, Q2 y Q3 activadas

Tras esta situación, el agua que se encuentra en el termo Q2 está a la temperatura máxima del termo, por ello, salta el sensor indicador y el termo Q2 se apaga. Tras esto, al estar dos termos apagados la resistencia que debe disipar su potencia es la R2. Como consecuencia, la resistencia R1 se apaga y se enciende la R2 como en la siguiente figura:



Ilustración 52: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R2 y Q3 activadas

Por último, el agua que se encuentra en el termo Q3 alcanza la temperatura máxima y se activa el sensor indicador de éste. Simultáneamente, se apaga el termo Q3 y debido a que se encuentran los tres termos apagado, se encienden las dos resistencias R1 y R2 para disipar la energía que éstos no pueden consumir.



Ilustración 53: Implementación del programa en las pantallas diseñadas: pilotos Q0, R1 y R2 activadas

También se presenta cómo responde el programa ante la situación dada en la figura anterior. Se observa cómo se activan las salidas de las resistencias R1 y R2 tras la desactivación de los tres termos.

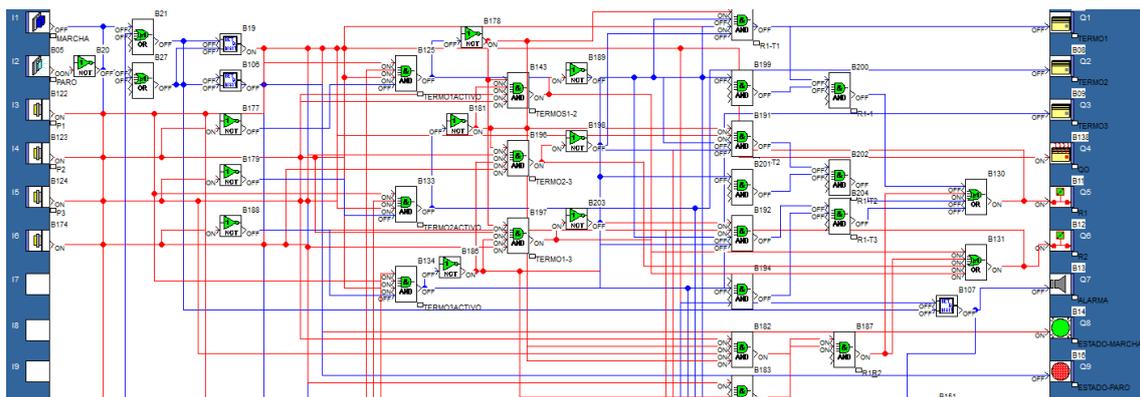


Ilustración 54: Captura del programa Zelio Soft para las salidas Q0, R1 y R2 activadas

De esta manera, se ha podido realizar una simulación de cómo respondería la instalación ante los diferentes aportes de energía. Se trata de una aproximación a la realidad mediante la que se puede ver, de una forma mucho más clara, la función del programa de automatización implementado.

Para utilizar el programa se ha adjuntado un manual en el ANEXO III que instruye al operario sobre su funcionamiento.

2.4.4. Estudio de control mediante MATLAB/ Simulink ©

Para comprobar cómo responde el sistema diseñado ante acciones de control y perturbaciones se va a utilizar MATLAB. Se trata de un software matemático diseñado específicamente para ingenieros y científicos debido a que utiliza un lenguaje de programación adaptado a éstos, además de nombres de funciones y firmas familiares. Este software es utilizado para realizar análisis de datos, procesamiento de imágenes y señales, diseño de control y otras aplicaciones. Dispone de una gran cantidad de aplicaciones interactivas que permiten visualizar los resultados generados. Constituye un gran bloque, ya que integra toda una serie de flujos de trabajo que permiten automatizar todos los procesos, incluyendo la investigación hasta la producción. Se caracteriza por su rápida capacidad de respuesta y su alta fiabilidad.

De entre la infinidad de aplicaciones que ofrece MATLAB, en este caso se va a utilizar el Simulink. Se trata de un espacio de diagramas de bloques para la simulación de diferentes dominios y diseño basado en modelos. Ofrece un editor gráfico, bibliotecas de bloques personalizables y solvers para modelar y simular sistemas dinámicos.

En este proyecto, se va a utilizar específicamente para realizar el diseño de control de la instalación de recuperación de energía del conjunto de bicicletas. Puesto que se trata de una instalación en la que se van a producir muchos cambios de carga, se estudiará la estabilización del sistema frente a cambios en las acciones de control y frente a perturbaciones. Debido a que los conocimientos necesarios para el diseño total del sistema no se han alcanzado totalmente en el grado, se comentará a grandes rasgos las diferentes secciones que compone el sistema y se observará su evolución ante perturbaciones.

2.3.4.1. *Diseño de control de los convertidores para la recuperación de energía*

Para realizar el diseño de control de la instalación de recuperación de energía mediante Simulink, se utilizan bloques que hacen referencia a los diferentes componentes de la instalación. Además, se puede visualizar la respuesta del sistema en diferentes puntos de forma que se observa la evolución de distintas variables al mismo tiempo. La siguiente figura muestra el circuito que debería implementarse en cada bicicleta para llevar a cabo la conversión de energía mecánica a energía eléctrica junto con el control necesario de la instalación. Como se explicó anteriormente, el circuito de conversión de energía consta básicamente de: un motor síncrono, un rectificador de corriente y un controlador Boost. En el diseño mediante Simulink, se han implementado otro tipo de componentes que van a realizar el control de la instalación. Los principales componentes y técnicas que se han utilizado para el circuito de control son: modulación de ancho de pulsos (PWM), un filtro Butterworth y un regulador PI con antiwindup. Además de diversos sensores de tensión y corriente.

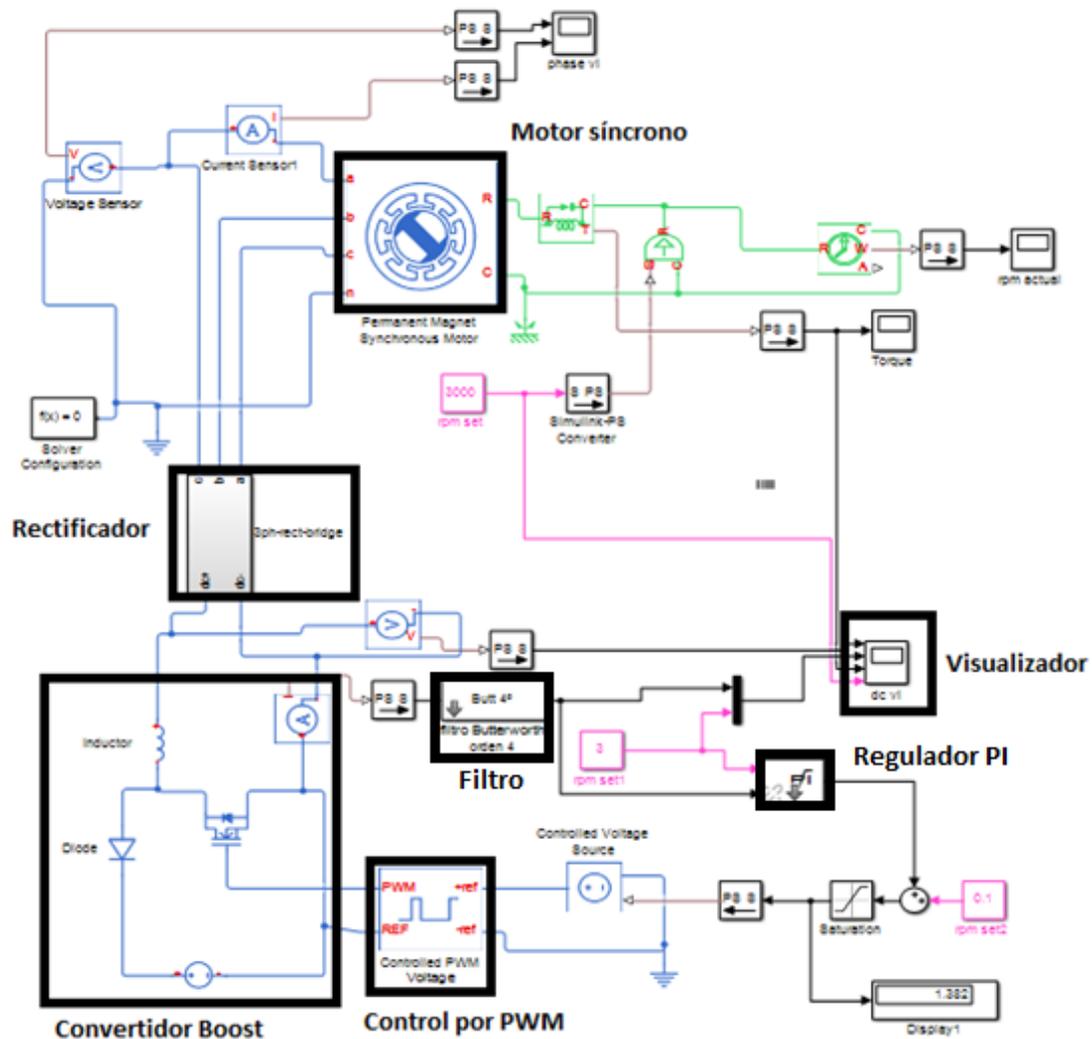


Ilustración 55: Diseño del circuito de recuperación de energía mediante Simulink

Los principales elementos de control utilizados se van a explicar a continuación:

- El controlador mediante la modulación por ancho de pulsos (PWM) consiste en producir el efecto de una señal analógica sobre una carga, variando la frecuencia y el ciclo de trabajo de la señal digital. Este tipo de señales son utilizadas para el control de aplicaciones y se aplican principalmente a motores de corriente continua y alterna. En esta parte de nuestra instalación, el modulador PWM convierte la señal de control del regulador de corriente del generador en pulsos de ancho variable al terminal de puerta del MOSFET de potencia.
- El filtro Butterworth tiene la finalidad de producir la respuesta más plana que sea posible hasta la frecuencia de corte. Con este elemento se pretende reducir el rizado de la señal de corriente ante los cambios de debido a la operación del convertidor BOOST a alta frecuencia, dejando pasar las componentes de señal a frecuencia más baja que son las interesantes desde el punto de vista del control.

- El último de los elementos, el regulador PI con antiwindup. En primer lugar, un regulador PI se trata de un controlador de acción proporcional e integral, esto quiere decir que combina dos tipos de reguladores: primero la acción del regulador proporcional que actúa instantáneamente, y segundo la acción integral que actúan durante un intervalo de tiempo. Esta acción integral almacena el error del pasado de forma que disminuye y elimina el error en estado estacionario provocado por perturbaciones. El objetivo del “Anti-Windup” consiste en evitar la situación llamada “windup integral”. Se trata de un efecto en el que el regulador acumula un error significativo y estropea el funcionamiento de éste. Se trata de una técnica industrial habitual y necesaria para todos los reguladores de tipo PI que van a trabajar saturados. En nuestra instalación este regulador compara la señal de consigna, procedente directamente del usuario y que indica el nivel de frenado deseado por él, con la corriente actual, la que en ese momento circula a la salida del rectificador, para determinar una señal de salida que define la operación del modulador PWM.

Mediante los bloques llamados scope en la figura 55, se puede ver la respuesta del sistema para los distintos componentes que se desee. Por un lado, se obtienen las gráficas de evolución de la tensión (V) entre el rectificador y el Boost de continua y el valor del corriente (A) actual (amarillo) comparado con el valor de la corriente de consigna (azul). Por otro lado, la evolución del par (Nm) y de la velocidad (rpm), la cual también es un valor variable, en función del tiempo. En la instalación pueden producirse variaciones en el sistema por diversos factores: con la variación de la consigna de corriente y por el cambio de velocidades de giro de motor. Estas dos variables van a considerarse en el ensayo realizado mediante este programa. Se realizará una disminución de corriente de 3A (máxima corriente generada por una bicicleta) a 0.6A y una variación de velocidad de 3000rpm a 2000rpm, y de 3000rpm a 1500rpm. Tras estos cambios, el sistema debe volver a su situación de control en el menor tiempo posible para que el usuario perciba una respuesta rápida y precisa a los cambios de carga que solicita además de una estricta independencia de la carga conseguida respecto de la velocidad de pedaleo.

En el gráfico superior de la siguiente figura se muestra la evolución de la tensión que hay aplicada entre el rectificador y el convertidor Boost de la instalación. Debido a la combinación rectificador – convertidor BOOST, nunca alcanza valores negativos, tan sólo varía tomando valores entre 0 y el valor pico. El régimen de variación es muy rápido y, por tanto, no se aprecia prácticamente la evolución de la señal. Observando los valores pico se puede ver que la señal apenas varía cuando se produce un cambio en la consigna de corriente. Al cambiar el régimen de velocidad, los valores pico de la tensión disminuyen y aumenta la frecuencia de la señal.

El gráfico inferior muestra la evolución de la corriente generadas por las bicicletas a la salida del rectificador. En azul se muestra el valor de la consigna de corriente, que será el valor al que tenderá la corriente actual mostrada en amarillo. Se observa que al variar la consigna de corriente de 3A a 0.6A, se estabiliza en menos de 3 milésimas de segundo, por lo que la respuesta del sistema es muy rápida. En la generación de corriente aparece una perturbación al cambiar el régimen de velocidad a los 30 y 38 ms aproximadamente. El sistema considera ese cambio en la velocidad de pedaleo como una perturbación y responde de forma muy rápida, con una diferencia máxima entre corriente actual y consignada algo elevada (de hasta el 60% pero que se compensa de forma tan rápida (menos de 5 ms) que el usuario no sería capaz,

probablemente, ni de percibirla. Conviene indicar además que la comprobación de rapidez del control frente a perturbaciones se ha realizado con saltos instantáneos de la velocidad de hasta el 50%. En una situación real, esos cambios serían muchísimo más lentos debido a la inercia mecánica que supone el volante de inercia, permitiendo una respuesta del control mucho menos sensible a los cambios.

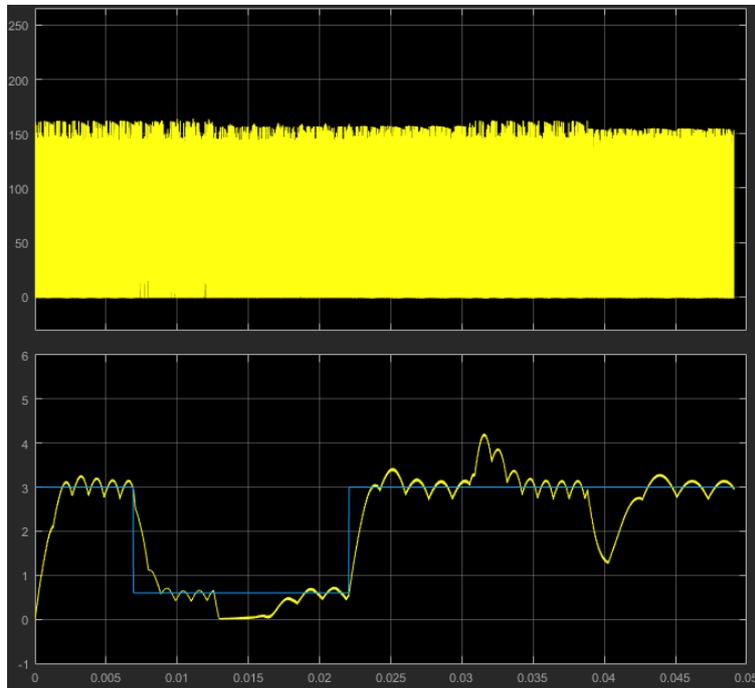


Ilustración 56: Gráficos tensión (V) y corriente (A) en función del tiempo (s) en Simulink

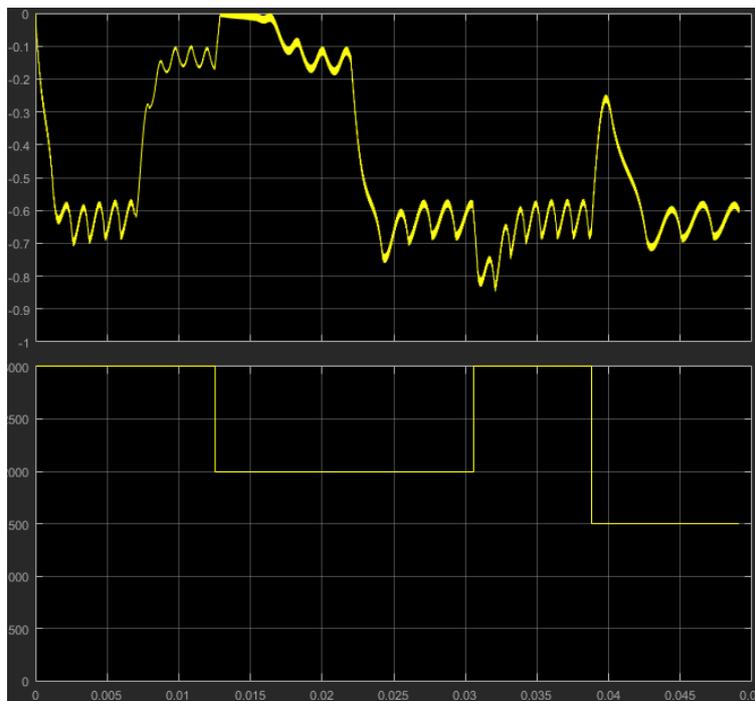


Ilustración 57: Gráficos par (Nm) y velocidad (rpm) en función del tiempo (s) en Simulink

La figura 57 presenta en el gráfico de arriba la evolución del par del motor (Nm), y en el gráfico de bajo la velocidad de giro (rpm).

El paro del motor toma valores negativos debido al régimen generador en el que está funcionando el motor. Se observa que el par varía en función de los valores que toma la corriente, indicando la conveniencia del tipo de máquina eléctrica utilizada (generador síncrono), para la que basta con controlar la corriente a la salida del rectificador para conseguir un par de carga prácticamente proporcional a dicha corriente de forma instantánea. Ante los cambios en el régimen de velocidad sufre una perturbación, como ya se ha indicado al hablar del regulador de corriente, que vuelve a establecerse en milésimas de segundo.

Tras el ensayo realizado, puede concluirse que la respuesta del sistema ante cambios en la consigna de corriente y ante perturbaciones producidas por el cambio de régimen es completamente adecuada a las necesidades del accionamiento.

2.3.4.2. Diseño de control del bus de continua

El siguiente circuito también diseñado en Simulink, tiene la finalidad de realizar el estudio de control de la instalación que incluye el conjunto disipador de energía formado por el termo eléctrico y la resistencia. Incluye cada uno de los componentes definidos en el apartado anterior y para los que se va a verificar que se mantiene el control de la instalación.

Para realizar la simulación de las bicicletas se ha ajustado una entrada cuadrada entre el 25% y el 75% de la potencia nominal de la resistencia. En este caso, se ajusta el sistema a una tensión de 80V como consigna. El circuito queda definido como se presenta a continuación:

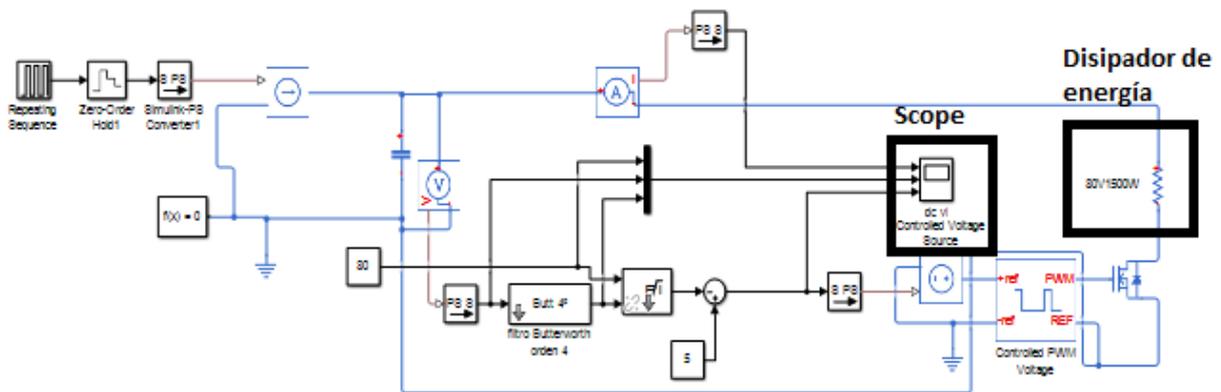


Ilustración 58: Diseño del circuito de control del bus de continua

El ensayo realizado en este caso pretende simular cómo responde el sistema completo una vez se ha obtenido la conversión de energía mecánica en corriente continua. Para el estudio de cómo evoluciona la instalación se han graficado las variables más significativas que serían la corriente que circula en dirección a la conexión del termo, la tensión en bornes del condensador de alisado y a la salida el filtro Butterworth paso bajo (a la entrada del regulador PI). Además, también se mostrará la onda cuadrada que reproduce la entrada al circuito: la corriente generada por las bicicletas para que se desea estudiar la respuesta del sistema ante cambios muy rápidos en ella.

La figura 59 está formada por los distintos gráficos que representan la evolución de las variables. El gráfico superior es la forma de onda correspondiente a la corriente que circula hacia el conjunto disipador de energía: la traza amarilla representa la corriente instantánea consumida por el termo y la traza azul el resultado de un filtrado paso bajo que permite apreciar la evolución de la corriente una vez eliminado el efecto de la modulación PWM. El perfil descrito por esta señal es similar al realizado por la tensión en bornes del filtro, que se corresponde con la segunda gráfica. Se observa que, ante el cambio de la corriente aportada por las bicicletas, se produce una ligera modificación en la tensión del bus de continua que la acción del regulador de tensión del bus estabiliza rápidamente. Con respecto a la tensión en bornes del filtro sucede lo mismo. El valor de consigna marcado son 80V y la perturbación creada por la señal de entrada produce dips de unos 10V. Debido a que, si la tensión disminuye por debajo de la tensión de pico de línea del servomotor se produce conducción espontánea por el diodo y no se puede controlar la corriente, es recomendable subir la tensión de referencia a entre 90 y 100V. La tercera gráfica se corresponde con la salida del regulador PI de tensión. Tras el cambio producido por la señal de entrada, se observa que la tensión se estabiliza en milésimas de segundo. Para valores pequeños de tensión la señal de salida del regulador sufre oscilaciones mayores que para valores más altos debido a que el contenido de armónicos de corriente a la frecuencia de modulación es más elevado al trabajar el modulador con un duty-cycle intermedio.

Con todo esto, puede concluirse que el control diseñado para el bus de continua es suficiente y efectivo para la finalidad que se está buscando. El sistema de control de la tensión del bus de continua presenta una respuesta aceptable ante las posibles perturbaciones y responde de forma rápida para que la instalación y el usuario no sufran las alteraciones debidas a los cambios en la corriente aportada por el conjunto de bicicletas.

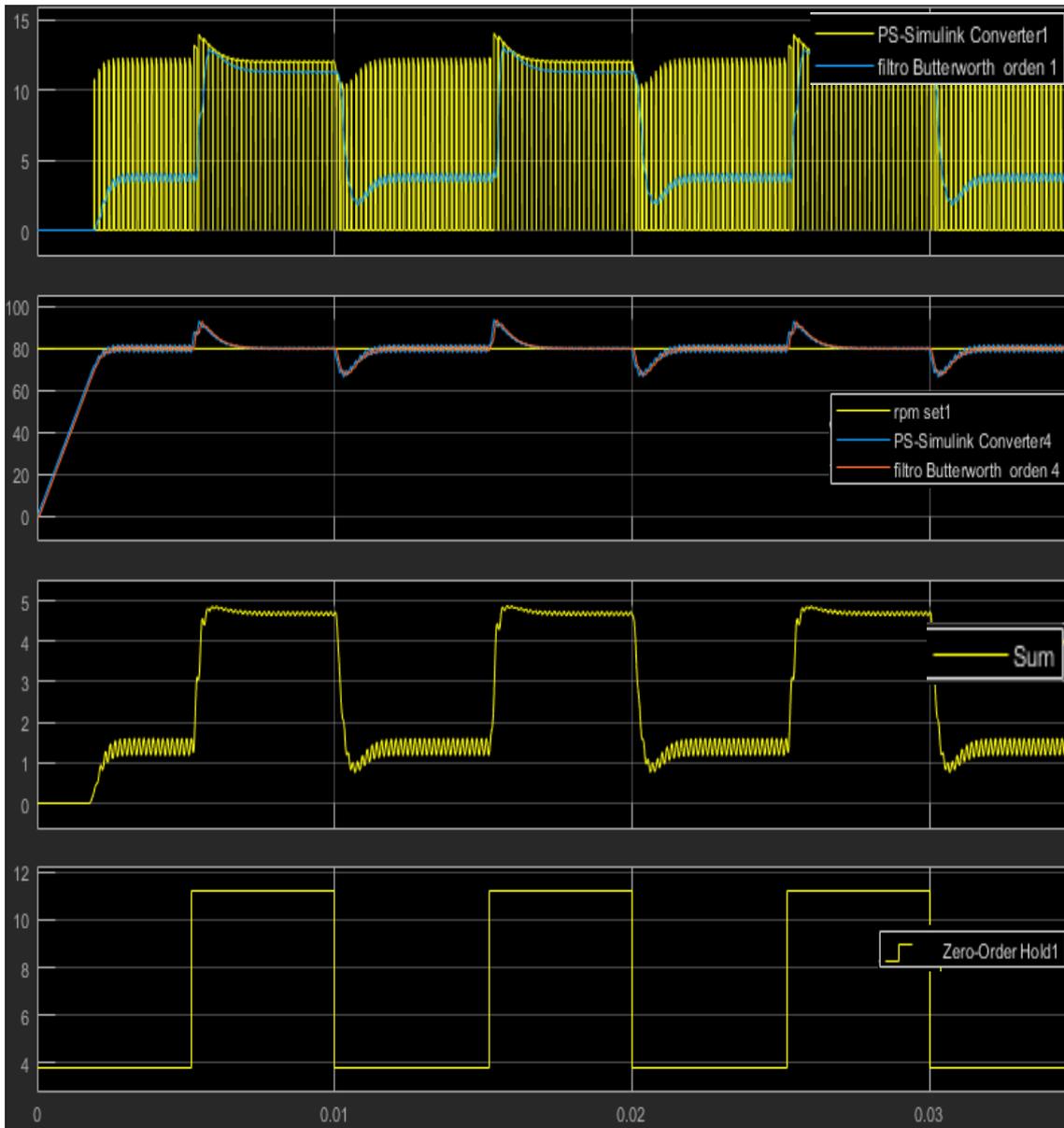


Ilustración 59: Gráficas de la evolución de variables del bus de continua (de arriba abajo: corriente consumida por el termo (A), tensión en el bus de continua (V), salida del regulador de tensión y entrada al modulador PWM (V) y corriente aportada por las bicicletas

2.5. CÁLCULOS

Este apartado está formado por los cálculos técnicos realizados para una instalación en concreto, basándose en datos reales para tener un soporte sobre el que justificar la rentabilidad de la instalación.

Para realizar los cálculos, se tomaron datos de un gimnasio que cumpliera las características requeridas para la instalación. Debía ser de gran tamaño, con un buen número de usuarios y con sala de ciclo indoor con un número considerable de bicicletas. Para realizar un buen estudio, debía carecer de piscina y otros posibles usos a los que destinar el ACS, ya que el consumo de combustible en esos casos sería muy elevado. Para producir el ACS, interesaba el uso de una caldera de gasoil o un combustible semejante, puesto que al final el fin último es el de reducirlo.

Tras realizar un estudio de mercado y analizar los gimnasios de Valencia que cumplen estas características, se consideró conveniente tomar la información del centro “Forma Sport Alboraya”. Este centro está situado en la zona norte de Valencia y consta de una superficie de $2000m^2$ de instalaciones.

A continuación, se van a llevar a cabo los cálculos energéticos que aproximarán todo este proyecto a una instalación real. Se realizará el cálculo de la sección de los cables necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación, así como el diseño de las protecciones para evitar fallos de funcionamiento y el consiguiente peligro para el usuario.

2.5.1. Cálculos energéticos

Constituyen los cálculos energéticos todo el conjunto de información necesaria para conocer cuánta potencia sería posible abastecer en un gimnasio real y, por tanto, ahorrar y contribuir al consumo responsable.

Para realizar los cálculos, el primer dato necesario es cuánta energía consume un gimnasio de las características requeridas. Para ello, es necesario saber cuál es el consumo de ACS, puesto que sabiendo este dato y el combustible empleado puede calcularse la energía consumida en un mes.

En este caso, para el gimnasio Forma Sport se preguntó el consumo de ACS que tenía la instalación y el tipo de caldera que utilizaban. Se trata de una caldera de gas natural con un consumo bimensual aproximado de 800€, restándole el 21% del IVA a la factura y considerando unos 32€ de alquiler de equipos cada dos meses, el consumo de combustible queda en 600€ bimensuales.

Para calcular la energía consumida que supone este coste, se buscó el precio del gas natural por kilovatio hora, cuyo precio en ese momento era de: 0.0467€. Para un coste de 600€ bimensuales, la energía consumida por el gimnasio es de: $12.847,97 \frac{kWh}{bimensual}$. Por tanto, al mes serán $6.423,99 \frac{kWh}{mes}$ y considerando que el gimnasio funciona 25 días al mes, su consumo diario es de $514 \frac{kWh}{día}$.

Una vez obtenidos los datos que aporta el gimnasio, y que por tanto ajustan el proyecto a la realidad, queda definir qué potencia puede instalarse en el gimnasio de manera que sea rentable la instalación de recuperación de energía.

Realizando una estimación de los equipos de los que dispone el gimnasio, y también de las bicicletas disponibles que están en funcionamiento, se justifica que dispone de un aula de ciclo indoor con 50 bicicletas. Las bicicletas pueden utilizarse durante la clase de spinning o, si no se está realizando ninguna actividad, de modo libre. Con todo esto, se toma una media de funcionamiento de 8h al día siendo durante las clases de spinning cuando se obtiene el mayor rendimiento.

Como se explicó anteriormente, durante una clase de spinning el usuario produce una media de 300W durante una hora. Cuando estén las 50 bicicletas en uso, trabajando durante 8h al día, los 25 días al mes que abre el gimnasio, la energía producida será de: $3.000 \frac{kWh}{mes}$.

Por tanto, siendo la energía consumida de: $6.424 \frac{kWh}{mes}$ y la producida de: $3.000 \frac{kWh}{mes}$, sería capaz de aportar aproximadamente la mitad de energía consumida mensualmente, lo que quiere decir que supondría un ahorro de energía de $3.000 \frac{kWh}{mes}$.

A modo de conclusión, mediante la implantación del sistema de recuperación de energía en el gimnasio, con una potencia instalada de 15 kW, con el uso de 50 bicicletas trabajando durante 8h al día, 25 días al mes, se obtendría un ahorro energético de la mitad del gasto consumido mensualmente.

2.5.2. Cálculos sistema de acumulación

Una vez obtenida la potencia que podría instalarse y, con ella, el ahorro energético que esto supondría para el gimnasio, faltaría calcular, para el sistema de acumulación, qué termos serían necesarios para consumir toda la potencia producida. Puesto que también se dispone de un sistema de disipación de energía, es poco probable que los termos puedan llegar a consumir toda la potencia que está instalada, sin embargo, se va a dimensionar la instalación del lado de la seguridad asegurándose de que el conjunto de termoeléctricos es capaz de consumir toda la potencia producida.

El conjunto de termos debe ser capaz de consumir los 15kW, para ello se realiza un estudio sobre capacidades y potencia, y junto a estos el coste. Realizando el estudio de mercado se observa que existe una relación proporcional directa entre la potencia y el precio en los termoeléctricos. Es por esto que escoger un termo con mayor potencia, también supone un precio mayor.

Puesto que el gimnasio ya dispone de caldera con acumulador no es necesario tener en cuenta las capacidades de los termos de cara al consumo de ACS por parte del usuario. Pero es recomendable que disponga de una buena capacidad para mantener el agua a la temperatura indicada.

Por todo esto, se seleccionan los termoeléctricos de la marca COINTRA con capacidad de 200l, bastante razonable teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, con una potencia de 2400W. Para abastecer la potencia instalada serán necesarios 7 termos, que consumirán un total de 16.800kW. El conjunto de termos tan sólo se encenderá cuando estén todas las bicicletas en funcionamiento.

2.5.3. Cálculo de la sección de los cables empleados

Según *José Roger Folch, Martín Riera Guasp y Carlos Roldán Porta (2010)* se ha realizado el estudio de este apartado para el cálculo de la sección de los cables. El calentamiento, producido en los cables eléctricos durante el paso de la corriente, es uno de los factores que deben tenerse en cuenta al realizar el diseño de la instalación. Los conductores deben alcanzar temperaturas admisibles por los elementos que constituyen la instalación. Por ello, los reglamentos proporcionan tablas para calcular la intensidad admisible según el tipo de conductor y de aislamiento, y en función del tipo de instalación. En este apartado se va a tratar los tipos de cables utilizados, parámetros a destacar que influyen en el cálculo de la sección y los dos criterios a emplear para calcularla: criterio térmico y de caída de tensión.

2.5.3.1. Materiales

En la actualidad, para realizar el transporte de energía eléctrica en instalaciones de baja tensión se suelen utilizar los cables aislados. Estos cables están formados por un conductor o haz de conductores rodeados por un aislante. También suelen utilizarse otros elementos que mejoran aspectos mecánicos o la resistencia ante agentes atmosféricos.

Conductores

Los principales materiales conductores que se utilizan son el cobre y el aluminio. El cobre destaca por su ductilidad y resistencia mecánica, además de una larga vida útil debida a la resistencia a la corrosión y al ataque de diversos productos químicos. Las propiedades mecánicas del aluminio son inferiores a las del cobre, sin embargo, el peso del aluminio es la mitad que el del cobre. Mientras que la carga de rotura del cobre duro se encuentra entre 37 y 45 kg/mm^2 , la del aluminio es de 15 kg/mm^2 . Todo esto, junto con el precio de ambos materiales, da ventaja económica al uso del aluminio. En este caso, se ha tomado como conductor el cobre debido a la facilidad para realizar las múltiples conexiones sin necesidad de tener en cuenta los problemas de corrosión cuando se combinan con cables de cobre.

Aislantes

Los materiales aislantes que se utilizan se caracterizan por tener una elevada resistividad. Según el tipo de material, se pueden dividir principalmente en: termoplásticos y termoestables.

Se denominan termoplásticos aquellos materiales que, tras calentarse, pierden resistencia mecánica. Los aislantes termoplásticos que más se utilizan son el cloruro de polivinilo (PVC),

sobre todo para baja tensión, y el polietileno (PE), principalmente para alta tensión y comunicaciones. Los termoestables son aquellos materiales que evitan la fusión y deformación tras calentarse. Los principales aislantes termoestables que se utilizan son el polietileno reticulado (XLPE), tanto para alta como para baja tensión, y la goma etileno-propileno (EPR). Además de estos materiales, existen muchos más dentro de los tipos nombrados y otros que no van a utilizarse para desarrollar este proyecto.

Para el caso de instalación va a utilizarse como aislante el termoplástico PVC por su buen funcionamiento para instalaciones de baja tensión y su precio. Será libre de halógenos y no propagador de llama como corresponde a un local de pública concurrencia.

Además del conductor y el aislante, los cables aislados también pueden llevar armaduras y pantallas; para elevar la resistencia mecánica y mejorar la distribución del campo eléctrico, respectivamente. El último elemento del que constan es de la cubierta, cuyo fin es el de proteger al aislante de efectos atmosféricos o daños mecánicos.

Una vez conocidos los materiales de los que pueden estar formados los conductores aislados, y que formarán parte de la instalación, es necesario conocer algunos parámetros eléctricos que caracterizan los conductores.

5.2.3.2. Parámetros eléctricos

Debida a la circulación de corriente eléctrica a través de los cables, es necesario conocer diferentes aspectos que pueden tenerse en cuenta para el cálculo de la sección.

- **Resistencia de los conductores.** Consiste en unas pérdidas de potencia producidas al circular corriente eléctrica por los conductores. El valor viene dado por la ley de Joule:

$$P = R * I^2$$

Ecuación 1: Ley de Joule

Donde P es la potencia en vatios (W), R la resistencia del conductor en ohmios (Ω) e I la intensidad en amperios (A).

Para el caso de la instalación, al tratarse de corriente continua, la resistencia del conductor se calcula como:

$$R = \rho * \frac{l}{S}$$

Ecuación 2: Resistencia de un conductor en DC

Donde ρ es la resistividad del material en $\Omega * mm^2/m$, l la longitud en m y S la sección en mm^2 . Es por este motivo por el que la resistencia que presente el cable, y que por tanto disipe potencia, dependerá en cierto modo de la sección de cable que se obtenga. Además, la resistividad ρ varía con la temperatura del material. Se realiza una aproximación, admitiendo una variación lineal tal y como se presenta a continuación:

$$\rho_{\theta} = \rho_{20}(1 + \alpha * \Delta\theta)$$

Ecuación 3: Resistividad de un material en función de la temperatura

Donde ρ_{θ} es la resistividad a la temperatura θ , ρ_{20} la resistividad a 20°C, $\Delta\theta$ la diferencia de temperaturas entre θ y 20°C y α el coeficiente de temperatura, siendo para el cobre: $\alpha = 0.00393$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) y para el aluminio: $\alpha = 0.00403$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

- **Efecto pelicular.** Consiste en la distribución de corrientes en los conductores de manera no uniforme, de forma que se produce un incremento de pérdidas. Este efecto se produce para corrientes alternas, por lo que, para el proyecto, al trabajar con corriente continua no se tendrá en cuenta.
-

5.2.3.3. Dimensionamiento de conductores: criterio térmico

Este tipo de dimensionamiento consiste en la idea de que, tratándose de un funcionamiento normal, el conductor siempre debe permanecer por debajo de una cierta temperatura, ya que, sobrepasarla acortaría la vida útil del aislante. El paso de corriente a través del conductor produce un calentamiento que debe ser admisible para la canalización. El problema del calentamiento depende de muchos factores, tanto por la generación de calor como por su transmisión. Este aumento rápido de temperatura da lugar a situaciones de sobrecarga, siendo el caso más crítico el de los cortocircuitos. Este criterio es aplicable a aquellos fenómenos que se producen con duraciones menores o iguales a 5 segundos. En caso de producirse un fenómeno como podría ser el de los cortocircuitos, debería tenerse en cuenta las características de las líneas y de las protecciones, de las que se hablará en el siguiente capítulo. Para resolverlo, prácticamente se utilizan unas tablas que proporcionan la intensidad admisible según la sección y el tipo de aislamiento del conductor utilizado. La corriente admisible es aquella que garantiza que la temperatura del conductor no será superior al límite que se establece según su aislamiento.

Las tablas que se emplean están referidas a una temperatura ambiente de 40°C y a conductores formando ternas o duplos aislados, cables unipolares, bipolares o tripolares con unas características de ventilación concretas. Puesto que las condiciones varían según la instalación en la que vaya a realizarse el dimensionado, se utilizan unos coeficientes correctores que tienen en cuenta los aspectos relacionados con el calentamiento de los cables.

El proceso para calcular la sección necesaria del conductor consiste en dividir la corriente demandada I_B entre los factores de corrección k , haciendo estos referencia a las diferencias entre las condiciones de la instalación y las normalizadas. De esta forma, se obtendrá la corriente a I_1 .

$$I_1 = \frac{I_B}{k}$$

Ecuación 4: Cálculo de la corriente I_1 para el dimensionamiento por criterio térmico

Con el valor de corriente obtenido, se debe entrar en las tablas y seleccionar la sección S que corresponda a una intensidad I_T que sea mayor o igual que I_1 .

$$I_Z = k * I_T$$

Ecuación 5: Cálculo de la corriente admisible para dimensionamiento por criterio térmico

De esta forma se obtiene la sección necesaria para que los conductores resistan al calentamiento.

Debe destacarse que al tratarse de una instalación que trabaja en corriente continua, las tablas que se han utilizado y que se adjuntan en el ANEXO IV están diseñadas para corrientes alternas. Esto podría suponer un inconveniente en caso de que perjudicara la seguridad de la instalación. Sin embargo, al tratarse de corriente continua no se produce efecto pelicular, por lo que no afectaría a la instalación. Tan solo habría que asegurarse que de los elementos que constituyen la instalación, los que almacenan energía, no suponen un peligro almacenando mayor energía que la que puede soportar la parte de la instalación afectada por un cortocircuito. En este caso, el elemento que almacena energía que debe estudiarse es el condensador. La energía almacenada en un condensador viene dada por la siguiente expresión:

:

$$W = \frac{1}{2} * C * V^2$$

Ecuación 6: Energía almacenada en un condensador

Donde C es la capacidad del condensador en Faradios (F) y V la tensión que soporta entre sus terminales en voltios (V). En este caso, se dijo que el condensador sería de 100 μ F y la tensión a soportar es la del sistema, es decir 100V. Sustituyendo en la ecuación 6 se obtiene que la energía que almacena el condensador es de 0.5J. Un valor muy pequeño comparado con la energía que es capaz de soportar el sistema, por lo que con esto se concluye que no existe ningún inconveniente para utilizar las tablas en los cálculos.

Las tablas consisten en los diferentes criterios de “*Dimensionado Térmico de Circuitos en instalaciones interiores*” según el ITC-BT019 de instalaciones interiores o receptores, basado en la norma UNE 20460 5.523 (2004). A continuación, se van a explicar los valores determinados para la instalación según cada una de las tablas.

- **Tabla 52-B2: Sistemas de canalización.** De esta tabla se ha seleccionado el método de canalización A1 que hace referencia a conductores aislados o cables unipolares en conductos empotrados en paredes térmicamente aislantes.
- **Tabla 52-1: Métodos de instalación de referencia.** A partir de la canalización seleccionada en la anterior tabla, se indica qué otras tablas deben utilizarse para obtener los factores correctores. En este caso, deben utilizarse las tablas que se indican a continuación.
- **Tabla 52-D1: Factores de corrección para temperaturas ambientes distintas de 30°C.** Puesto que se ha seleccionado como aislante el PVC, para una temperatura ambiente de 25°C se obtiene el factor corrector $k_T = 1.06$
- **Tabla 52-E1: Factor de reducción de agrupamiento.** Como se ha seleccionado que están dispuestos sobre una superficie y tan sólo existe un circuito, se obtiene el valor corrector: $k_A = 1$.

Con todo esto, se obtiene un coeficiente corrector para la instalación:

$$k = k_T * k_A = 1.06$$

Una vez calculada la intensidad I_1 , para obtener la sección del cable determinada faltará consultar la tabla de intensidades admisibles. En este caso, al no tratarse de conductos enterrados la tabla que se consultará será la **Tabla A52-1: Intensidades admisibles**. A partir del método de instalación: A1 (se ha escogido este por ser el más desfavorable y corresponder a parte del trazado de las canalizaciones), el tipo de aislamiento: PVC y la intensidad obtenida, se seleccionará la sección para el conductor escogido: cobre. La intensidad admisible que debe seleccionarse será superior a la obtenida I_1 . De esta forma, se obtendrá una sección normalizada.

5.2.3.3. Dimensionamiento de conductores: caída de tensión

Otro de los métodos mediante el que se puede obtener la sección de los cables utilizados es midiendo la caída de tensión que se produce entre el origen y el extremo de la canalización en concreto. La corriente circula y produce una pérdida de potencia transportada por el cable. El método de cálculo de la sección consiste en que la caída de tensión no debe ser inferior a los límites marcados por el REBT. Como se podrá observar, este criterio se utiliza principalmente para líneas de larga longitud ya que la caída de tensión depende de ésta además de la sección.

La expresión que se utiliza para calcular la caída de tensión que se produce en una línea viene definida por el siguiente circuito equivalente y a su diagrama vectorial.

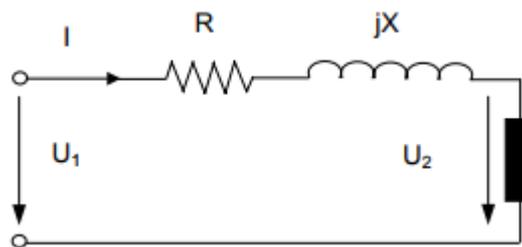


Ilustración 60: Circuito equivalente para el cálculo de caída de tensión

La demostración se da para caídas de tensión en corriente alterna, en las que la variación del campo magnético, asociado a la corriente, con el tiempo da lugar a una fuerza electromotriz inducida en el conductor. Esta fuerza es equivalente a una caída de tensión inductiva. De esta manera, en el siguiente diagrama vectorial asociado al circuito anterior se puede observar la caída que se produce en un conductor. Debido al pequeño valor de θ asociado a la tensión U_1 se puede realizar una aproximación en la que se acepta que la tensión es igual a su proyección horizontal.

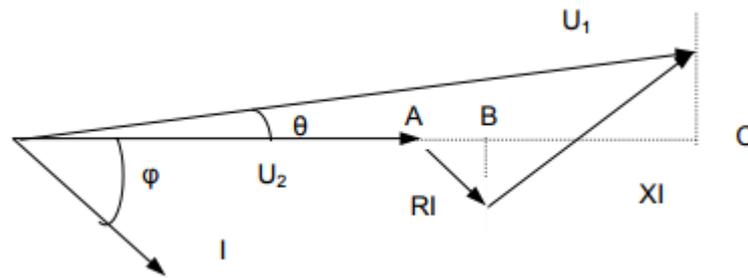


Ilustración 61: Diagrama vectorial de la caída de tensión en el circuito de la figura 60

De esta manera se obtiene la expresión que permite calcular la caída de tensión en conductores para líneas trifásicas:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx A * B + B * C = \sqrt{3} * (R * I * \cos \varphi + X * I * \sin \varphi)$$

Ecuación 7: Expresión de la caída de tensión para línea trifásica

Sin embargo, debido a que el sistema trabaja en corriente continua se utilizará otra ecuación, derivada de esta, para calcular la sección del cable.

El cálculo de la sección del cable dependerá del tipo línea que se haya formado. De esta manera, puede darse dimensionamiento para diferentes líneas como puede ser para múltiples cargas o líneas en anillo. En este caso se va a calcular la sección para una sala estándar de ciclo indoor.

La expresión que se va a utilizar tiene en cuenta la caída de tensión en función de la potencia. Se considera que el valor de la caída de tensión es muy pequeño comparado con la tensión nominal, de manera que para el cálculo se utiliza la tensión nominal y no la tensión en la carga U_2 , como se ha indicado en la figura 61.

$$\Delta U = \frac{L * \rho * P}{U_n * S}$$

Ecuación 8: Expresión de la caída de tensión en función de la potencia

En la que aparece la caída de tensión ΔU y la tensión nominal U_n en voltios (V), la longitud L en metros (m), la resistividad ρ en $\Omega * mm^2 / m$ y la sección S en mm^2 .

Además, la caída de tensión puede expresarse en porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\sum U}{U_n} * 100$$

Ecuación 9: Expresión de la caída tensión porcentual

Resultando para una línea monofásica como la que se presenta en esta instalación:

$$\varepsilon = \frac{L * \rho * P}{S * U_n^2} * 200$$

Ecuación 10: Expresión de la caída de tensión para líneas monofásicas

Para el caso de la instalación, puesto que no tiene sentido aplicar una caída de tensión por cada tramo de la instalación, se aplicará el método de los momentos. Se considera el momento eléctrico de una línea al que se produce por el producto de la carga eléctrica por la distancia hasta el origen. Tratándose para líneas monofásicas de la siguiente expresión:

$$M = L * I$$

Ecuación 11: Expresión del momento eléctrico para líneas monofásicas

Se va a considerar el caso particular de líneas con cargas uniformemente repartidas, para el que se utiliza una expresión correspondiente a líneas monofásicas:

$$S = \frac{200 * \rho}{\varepsilon * U_n^2} (\sum L * P)$$

Ecuación 12: Expresión para el cálculo de secciones por momento en cargas uniformemente repartidas en líneas monofásicas

Los valores máximos de las caídas de tensión están establecidos según el REBT. En el reglamento se distingue instalaciones alimentadas desde redes de distribución de baja tensión y otras desde un centro de transformación propio. En este caso se va a emplear la establecida para una instalación interior, es decir, una caída del 5%.

Como se indicó en el apartado 5.2.3.2. *Parámetros eléctricos*, la resistividad depende de la temperatura a la que se encuentre el conductor. Para el caso de la instalación, se ha tomado una temperatura de 25°C para un conductor de cobre. Interpolando en la tabla que aparece en el libro de *"Tecnología eléctrica"* en el cuadro 5.2. *Resistividad del cobre y del aluminio a distintas temperaturas* se obtiene una resistividad de: $\rho_{25} = 0.01758 \Omega * mm^2 / m$.

5.2.3.4. Solución adoptada

En primer lugar, la sala en la que se van a calcular las dimensiones de los conductores se ha distribuido tal y como se presenta en el siguiente esquema, aportando las longitudes de los tramos:

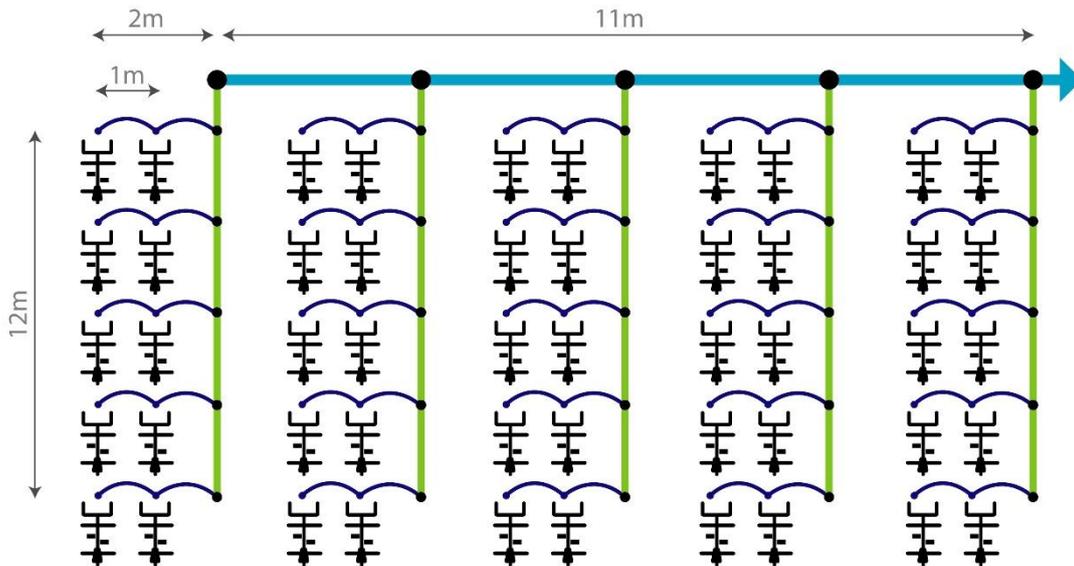


Ilustración 62: Esquema de distribución de la sala de ciclo indoor

De esta forma, el cableado está distribuido desde cada pareja de bicicletas hacia una canalización interior que une toda una sección compuesta por 10 bicicletas. La canalización interior comunica con la canalización más importante, que permitirá el paso hacia el sistema de control. A esta canalización principal llega cada sección de bicicletas, estando formada finalmente por 5 líneas. Por simplicidad y facilidad en el montaje, y debido a que supone un leve incremento del presupuesto, se tomará la misma sección del cable para la zona de bicicletas, la zona de la canalización y la zona de la canalización principal. De esta forma, se calcularán las diferentes secciones por el criterio térmico y se realizará el método de los momentos, específicamente el caso particular de una carga distribuida puntualmente a lo largo de una canalización para el caso más desfavorable, siendo éste el de la bicicleta más alejada. El procedimiento consistirá en, una vez calculada la sección por el criterio térmico, calcular la caída de tensión en cada tramo. Si finalmente la caída de tensión en la instalación es mayor que el límite establecido, en este caso 5%, deberá aumentarse la sección para la zona más desfavorable. Se seleccionará la sección más conservadora, es decir, la mayor, independientemente del criterio utilizado.

Los cálculos, según las zonas nombradas, se presentan a continuación utilizando las ecuaciones que se han presentado en la explicación de los diferentes criterios. Además, se utilizarán los valores ya calculados del factor de corrección $k = 1.06$ y la resistividad del conductor $\rho_{25} = 0.01758 \Omega * mm^2/m$.

Criterio térmico

- Zona de bicicletas

Esta zona tiene una longitud de 2m y considera cada conjunto de dos bicicletas. Por tanto, se repetirá para los 25 pares de bicicletas.

Sabiendo la potencia que genera el sistema y la caída de tensión, se deduce que la corriente que genera cada bicicleta será de 3A. Por este motivo, a través del cable que conecta ambas bicicletas con el sistema de canalización interior circularán 6A. Utilizando la ecuación [4] y el factor de corrección k:

$$I_1 = \frac{I_{B1}}{k} = \frac{6}{1.06} = 5.66 \rightarrow \text{Tabla A52}_1 \rightarrow S = 1.5mm^2$$

Para esta zona de la instalación se seleccionará una sección de $S_1 = 1.5mm^2$.

- Zona de canalización interna

Esta zona comprende cada sección de 10 bicicletas y tendrá una longitud de 12m, cumpliendo con la normativa de separación entre bicis.

En este caso, se va a diseñar la sección del cable para una corriente de 30A, que circulará a través del cable cuando se sumen en serie las diferentes corrientes producidas por los pares de bicicletas. Empleando la ecuación [4]:

$$I_2 = \frac{I_{B2}}{k} = \frac{30}{1.06} = 28.30 \rightarrow \text{Tabla A52}_1 \rightarrow S = 6mm^2$$

La sección que deberá emplearse para esta zona de la instalación será de $S_2 = 6mm^2$.

- Zona de canalización principal

La canalización principal conecta la sala de ciclo indoor con la zona de control establecida para los termoelectrónicos. Por este motivo, se ha calculado una longitud dentro de la sala de 11m, en los cuales irá incorporándose la corriente procedente de los diferentes conjuntos de bicicletas. La corriente que finalmente circulará por el conductor será de 150A. El método de instalación para este tramo es B1 correspondiente a tubo empotrado en pared de mampostería.

Siendo la corriente de 150A, la sección establecida para este conductor, mediante la ecuación [4] será de:

$$I_3 = \frac{I_{B3}}{k} = \frac{150}{1.06} = 141.5 \rightarrow \text{Tabla A52}_1 \rightarrow S = 70\text{mm}^2$$

Por tanto, para la última zona la sección del cableado será de $S_3 = 70\text{mm}^2$.

Método de los momentos

A continuación, se realizará el cálculo de la sección del cable de la instalación por el método de los momentos y, particularmente, para el caso de una carga distribuida puntualmente, como se ha dicho anteriormente. En este caso se considerará el caso más desfavorable, que se trata de la bicicleta más alejada con una longitud total de 34 metros. Se va a calcular la caída de tensión producida en cada zona para la sección calculada por el criterio térmico. Una vez calculada se sumará y se obtendrá la caída de tensión total de la instalación. En caso de que ésta sea superior al 5%, deberá realizarse un aumento de sección en la zona más desfavorable. La fórmula utilizada se trata de la ecuación 11 debidamente despejada para obtener la caída de tensión.

- Zona de bicicletas

Esta zona tiene una longitud total de 2m en la que se generan 300W por bicicleta. Puesto que existen dos bicicletas por tramo, la potencia total será de 600W. La sección obtenida por el criterio térmico es de $S_1 = 1.5\text{mm}^2$. Siendo la tensión nominal de 100V.

$$\varepsilon_1 = \frac{200 * \rho}{S * U_n^2} (\Sigma L * P) = \frac{200 * 0.01758}{1.5 * 100^2} (1 * 300 + 1 * 600) = 0.21\%$$

Por tanto, la caída de tensión en la zona de bicicletas es de $\varepsilon_1 = 0.21\%$

- Zona de canalización interna

La siguiente zona tiene una longitud total de 12 m, en la que se está generando 600W en cada tramo por cinco tramos existentes, 3000W. La sección obtenida en esta zona por el criterio térmico es de $S_2 = 6\text{mm}^2$. La caída de tensión obtenida será de:

$$\varepsilon_2 = \frac{200 * \rho}{S * U_n^2} (\Sigma L * P) = \frac{200 * 0.01758}{6 * 100^2} ((2,4 + 4,8 + 7,2 + 9,6) * 600) = 1,266\%$$

Obteniéndose una caída de tensión porcentual para esta zona de $\varepsilon_2 = 1.266\%$

- Zona de canalización principal

Por último, este tramo es el que está formado por todas las bicicletas y, por tanto, el que más potencia debe soportar. La longitud de este tramo, teniendo en cuenta también el cableado hasta los termos es de 20m. La potencia que debe soportar y que generará el momento eléctrico será de 15000W y la sección obtenida previamente es de $S_3 = 70mm^2$.

$$\varepsilon_3 = \frac{200 * \rho}{S * U_n^2} (\Sigma L * P) = \frac{200 * 0.01758}{70 * 100^2} ((4 + 8 + 12 + 16 + 20) * 3000) = 0,91\%$$

Resultando la caída de tensión para la canalización principal de $\varepsilon_3 = 0.91\%$

De esta manera, la caída de tensión total en la instalación será la suma de las caídas de tensión en las diferentes zonas:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 2,4\%$$

Puesto que la caída de tensión es menor que la marcada por el reglamento, considerada del 5%, las secciones establecidas por el criterio térmico son admisibles.

A modo de conclusión, las secciones de los cables que deben emplearse para llevar a cabo la instalación de recuperación de energía serán las siguientes:

- $S_1 = 1.5mm^2$ para cable de cobre con aislamiento de PVC, longitud 2m.
- $S_2 = 6mm^2$ para cables de cobre con aislamiento de PVC, longitud 12m.
- $S_3 = 70mm^2$ para cables de cobre con aislamiento de XLPE, longitud 20m.

2.5.4. Protecciones necesarias

En este apartado se va a tratar sobre las diferentes protecciones que deben tenerse en cuenta en la instalación para reducir al mínimo el riesgo de electrocución o el daño de componentes. Para ello, se explicarán los posibles fallos que pueden producirse en la instalación y cómo evitarlos, tanto directa como indirectamente.

En una instalación que se encuentra funcionando fuera de su normalidad, se producen corrientes o tensiones mayores que para las que ha sido diseñado. Estas reciben el nombre de sobreintensidades o sobretensiones, y es necesario situar dispositivos de protección para evitar que el defecto afecte al resto de la instalación. A continuación, se explicará en qué consisten y qué se ha optado para solucionarlo:

2.5.4.2. Protección contra sobrecargas

Se dice que un circuito está sometido a una sobrecarga cuando actúa sobre él una corriente mayor que la corriente admisible para el circuito en ausencia de fallo eléctrico. Además de ser peligrosas, producen un envejecimiento de la instalación que puede reducir de manera considerable la vida útil de los componentes. Pueden dividirse en dos categorías en función de su previsión.

Existen sobrecargas momentáneas, o también llamadas previsibles, que se dan durante la utilización normal de la instalación. Esto se debe a diferentes transitorios que se producen en

la instalación y para los cuales se ha debido dimensionar la instalación previamente conociendo duración y frecuencia. Es por esto que no se utilizan dispositivos de protección, simplemente se diseña toda la instalación para soportar este tipo de funcionamiento. Por ejemplo, se ha diseñado la instalación para que en todo momento esté disipando energía mediante el uso de las resistencias, y no se produzca en ningún momento un pico momentáneo que pueda llevar producir un mal funcionamiento en la instalación.

El otro tipo es el de sobrecargas no previsibles, que pueden deberse a causas como fallos en las cargas, sobreutilización de la instalación instalando mayores cargas que las previstas o también accionando mayores cargas de las que están previstas. Por ello, es necesario instalar un sistema de protección. Para el caso de la instalación, la protección frente a sobrecargas se ha tenido en cuenta a la hora de realizar el control de la instalación. Se ha diseñado para estar controlado con tiempos de respuesta muy bajos, por lo que es muy difícil que se produzcan sobrecargas que puedan dañar los componentes de la instalación.

2.5.4.2. Protección contra cortocircuitos

Se dice que una corriente de cortocircuito es una sobreintensidad que tiene su origen en un fallo de aislamiento de impedancia despreciable entre dos puntos que, en su normal funcionamiento, se encuentran a diferentes tensiones. Este tipo de defecto tiene efectos térmicos y electrodinámicos sobre la instalación. Por un lado, los efectos térmicos se producen debido a las corrientes que pueden alcanzar valores como 100kA instantáneamente. Esto quiere decir que el valor de la corriente que circula puede llegar a ser mil veces el valor de la intensidad nominal, que sería la que circula en funcionamiento normal. Esto puede producir la destrucción de los aislantes de la instalación o producir averías. Los efectos electrodinámicos son los que se producen debidos a las fuerzas de atracción o repulsión entre los conductores de distintas fases. En la instalación debe estudiarse la posibilidad de cortocircuitos en diferentes partes.

En el lado destinado a los termos, en caso de producirse un cortocircuito debe tenerse especial cuidado con el elemento que almacena energía, el condensador. Sin embargo, como se estudió previamente, el condensador puede almacenar una energía de 0.5J dada por la ecuación [6] de manera que, en comparación con el diseño de los diferentes elementos, no podría dañar ni el cable que conecta con el resto de circuito. Por tanto, no es necesario colocar ningún dispositivo de protección.

El otro lado que debe estudiarse es en el que se encuentran los diferentes componentes electrónicos, como el diodo utilizado para el convertidor Boost o también el rectificador. En este caso, la corriente tan solo puede circular en un sentido debido al funcionamiento del diodo. Se sabe que para corrientes muy elevadas puede darse el denominado efecto avalancha, en el que al superar cierto valor de la corriente de diseño aparece una corriente negativa que puede producir la rotura del diodo. Para proteger este componente y el rectificador, podría seleccionarse un fusible que actuara frente a los cortocircuitos protegiéndolos. Sin embargo, el estudio de las protecciones frente a estos elementos electrónicos se sale fuera del ámbito estudiado y por tanto tan sólo queda planteado.

2.5.4.3. Protección frente a contactos directos

Se dice que se ha producido un contacto directo en los casos en los que la persona entra en contacto con una parte de la instalación, material o equipo eléctrico que se encuentra bajo tensión debido a un fallo de funcionamiento.

La normativa admite ante este tipo de fallos dos alternativas:

- Intentar que no se produzca el contacto entre las personas y las partes activas de la instalación mediante el uso de barreras físicas o envolventes, o incluso aislamiento de protección.
- Mediante el uso de tensiones que no puedan dañar a las personas, esto se llama protección por utilización de muy baja tensión.

En el caso de la instalación, el principal equipo en el que pueden producirse los contactos directos es en la bicicleta. Si se produce algún fallo en el circuito diseñado, la bicicleta al estar formada por elementos metálicos podría dañar al usuario. La solución que debe adoptarse es la de utilizar envolventes aislantes en las bicicletas o incluso separar suficientemente de las partes activas, por esto se consideran elementos de clase II.

2.5.4.4. Protección frente a contactos indirectos

Los contactos indirectos se dan cuando una persona entra en contacto con alguna parte de la instalación que, en su correcto funcionamiento, no debería encontrarse bajo tensión, pero sí lo está debido a un fallo de aislamiento. En este caso si que se deben prever los sistemas de protección según los siguientes principios:

- Cuando se produce un fallo de aislamiento, deben desconectarse la instalación de la red de forma rápida mediante el uso de dispositivos de protección.
- En caso de defecto, utilizar medidas como el uso de tensiones muy bajas, separar circuitos o utilizar conexiones equipotenciales para que el contacto no sea peligroso.
- Emplear equipos con aislamiento de clase II para que sea prácticamente imposible que aparezcan masas bajo tensión.

De esta forma, pueden producirse contactos indirectos tanto en las bicicletas como en los termoeléctricos. Sin embargo, las bicicletas están consideradas como elementos de tipo II, por lo que ya forman parte de una posible solución ante los contactos indirectos. Por otro lado, los termoeléctricos están formados por envolventes metálicas puestos a la toma de tierra de la instalación. En caso de producirse un defecto, y darse un contacto entre la parte activa y masa, no se crearía ningún circuito por el que pueda circular la corriente ya que los generadores no están puestos a tierra, están considerados como una instalación IT o de neutro aislado. Este tipo de instalación presenta la ventaja de que, en caso de producirse un defecto, la corriente circularía en el mismo sentido y no se produciría ninguna caída de tensión. Ante un segundo defecto en el propio equipo o en otro distinto, se crearía un cortocircuito que debería liberarse mediante la protección establecida para cortocircuitos.

CAPÍTULO 3: CONCLUSIONES

Este apartado constituye la parte final de la memoria, en el que se presentan las conclusiones a las que se ha llegado tras haber realizado todo el estudio.

- El principal objetivo de este proyecto era realizar el diseño de una instalación en la que se genera energía de una forma limpia y eficiente, a partir del pedaleo de bicicletas en una clase de spinning.

Para conseguirlo, se han realizado diferentes estudios con el fin de aproximar este proyecto a una instalación realista y comprobar su rentabilidad tanto económica como energética. Los estudios y procesos que se han llevado a cabo son los siguientes:

- Estudio de alternativas de uso de la energía generada, finalmente definido para la producción del agua caliente sanitaria de las duchas.
- Diseño del circuito de conversión electromecánica y control mediante componentes estudiados y con una alta eficiencia.
- Automatización del sistema formado por termo eléctricos y resistencias mediante un autómatas programable.
- Estudio del control de la instalación.
- Cálculos del ahorro energético mediante el sistema establecido.
- Cálculo y diseño de la sección del cableado y de las protecciones necesarias para diseñar una instalación segura.

Con todo esto, las conclusiones que se pueden obtener tras haber realizado el estudio, a falta del estudio económico son:

- Existe una nueva posibilidad de generar energía de forma alternativa mediante una actividad de ocio, e invertirla en una misma instalación para otro uso.
- El circuito eléctrico diseñado, así como los diferentes elementos integrados, presentan una respuesta estable ante posibles perturbaciones.
- Se puede realizar un seguimiento continuo del funcionamiento de la instalación mediante el sistema SCADA y el uso del autómatas programable y una pantalla. De esta forma, se ha obtenido una aproximación realista y satisfactoria del funcionamiento de la instalación.
- Se asume que, con el sistema de control diseñado, las protecciones necesarias para la instalación quedan muy reducidas, aunque, en un futuro, podrían desarrollarse.

Con todo esto, se obtiene un primer análisis de lo que supondría realizar una instalación de estas características. De esta forma, existe la posibilidad de continuar con el proyecto, ampliando los conocimientos y los estudios, y realizando un análisis más detallado de posibles aspectos que han quedado fuera del alcance del grado.

BIBLIOGRAFÍA

- *Máquinas eléctricas*. Serrano Iribarnegaray, L; Martínez Román, J.A. (2017) [4ªed]. Valencia: Editorial Universitat Politècnica.
- *Tecnología eléctrica*. José Roger, Martín Riera y Carlos Roldán. (2010) [3ªed]. Madrid: Editorial Síntesis
- <http://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-iman-permanentes>
- <http://www.mundospinning.com/consejos/conoce-las-bicicletas-de-spinning-a-fondo/>
- <http://www.milahorro.com/hogar/electricidad/genial-una-bicicleta-que-produce-energia-electrica>
- <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>
- <http://www.automatas.org/redes/scadas.htm>
- <http://spinning-cicloindoor-eljuanan.blogspot.com.es/2008/10/la-sala-donde-se-practica.html>
- http://platea.pntic.mec.es/vgonzalez/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm
- <http://es.rs-online.com/web/p/condensadores-de-aluminio/3052436/>
- <http://es.rs-online.com/web/p/transistores-mosfet/1031994/>
- <http://www.todoprix.com/termos-calentadores-calderas/termos-electricos/termos-150-200-litros/termo-electrico-cointra-tnc-200-nv.html?ofertas=solo-hoy&gclid=CND16fLNrtQCFdYK0wodJS8JYQ>
- <http://es.rs-online.com/web/p/inductores-para-pcb/1068887/>
- <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
- <https://es.mathworks.com/products/simulink.html>
- https://es.mathworks.com/products/matlab/why-matlab.html?s_tid=hp_brand_why matlab
- <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/AA1BDEA4AA224E3E86257CE400707527>
- <http://es.rs-online.com/web/p/diodos-schottky-y-rectificadores/6882233/>
- <http://es.rs-online.com/web/p/rectificadores-de-puente/3953238/>
- <https://es.aliexpress.com/item/DC-current-transformer-hall-current-transducer-100A-DC1T-type/2029088141.html?spm=2114.43010308.4.2.cLsYQA>
- <http://es.rs-online.com/web/p/controladores-pwm-de-modo-de-corriente/8578510/>
- <http://www.forma-sport.com/forma-sport-alborya/>
- <https://www.gasnaturalfenosa.es/>
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/capeng2.html>
- <http://www.pardell.es/aislamiento-electrico.html>
- https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1lculo_de_secciones_de_l%C3%ADneas_el%C3%A9ctricas#Momento_el.C3.A9ctrico_de_una_l.C3.ADnea

FUENTES

- [1]. http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-sector-electrico/consumo-energia-mundo
- [2]. <https://www.diadorafitness.es/media/wysiwyg/diadora/blog-spain/partes-bici-ciclismo-indoor.jpg>
- [3]. <http://www.mundospinning.com/consejos/conoce-las-bicicletas-de-spinning-a-fondo/>
- [4]. <http://www.monografias.com/trabajos36/maquinas-electricas/maquinas-electricas2.shtml>
- [5]. https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost#/media/File:Boost_conventions.svg
- [6]. <http://uk.rs-online.com/web/p/servo-motors/7701429/>
- [7]. <http://es.rs-online.com/web/p/rectificadores-de-puente/3953238/>
- [8]. <http://es.rs-online.com/web/p/diodos-schottky-y-rectificadores/6882233/>
- [9] <http://es.rs-online.com/web/p/condensadores-de-aluminio/3052436/>
- [10] <http://es.rs-online.com/web/p/transistores-mosfet/1031994/>
- [11]. <http://www.todoprix.com/termos-calentadores-calderas/termos-electricos/termos-150-200-litros/termo-electrico-cointra-tnc-200-nv.html?ofertas=solo-hoy&gclid=CND16fLNrtQCFdYK0wodJS8JYQ>
- [12]. <https://www.schneider-electric.es/es/product-range/1434-magelis-xbt-gt>
- [13]. <https://www.schneider-electric.es/es/product-range/531-zelio-logic/>

DOCUMENTO II

PRESUPUESTO

ÍNDICE

<i>PRESUPUESTO</i>	81
INTRODUCCIÓN	81
TIEMPO INICIAL	81
TIEMPO DE RETORNO	84

PRESUPUESTO

INTRODUCCIÓN

En este documento se encuentra reflejado todo lo referente al estudio económico de la instalación. Debe destacarse que, al considerarse un diseño de una instalación de recuperación de energía, su principal fin es el de obtener la rentabilidad producida por la instalación y en cuánto tiempo puede recuperarse el capital invertido. Principalmente por este motivo no se va a tener en cuenta el coste que supondría realizar el estudio en un gimnasio, ni tampoco el de la mano de obra y ejecución de posibles reformas. A continuación, se presenta la inversión que debe realizarse para obtener todo el sistema de recuperación.

INVERSIÓN INICIAL

El capital que debe invertirse inicialmente para realizar la instalación será el coste relativo a los componentes eléctricos y electrónicos, los termo eléctricos a instalar y los cables que deben utilizarse para realizar la instalación. En este caso, podría considerarse también los componentes de automatización de la instalación, aunque al haberse realizado como un estudio se podrían tomar los equipos utilizados en el laboratorio y depreciar este precio. En los ahorros que se han considerado no se ha incluido la reducción del consumo eléctrico en climatización, ya que no se debe extraer el calor asociado a la disipación de energía de los mecanismos de frenado que se encuentran en las bicicletas convencionales.

Se va a dividir el precio según las diferentes secciones de la instalación.

Por un lado, todos los componentes referentes a la instalación eléctrica deberán multiplicarse por las 50 bicis que componen el sistema, excepto el condensador que comunica con la sección de los termos y es único. Debe destacarse que el coste más importante es el de los servomotores. Estos se han seleccionado de catálogo con precios de venta directa por unidad, pero debe tenerse en cuenta que el precio por volumen sería muy inferior e incluso podría llegarse a un acuerdo de fabricación con algún fabricante de menor que reduciría todavía más el importe, estimándose hasta unos 50€ por generador. Además, debido a que el sistema diseñado para cada bicicleta supone una regulación de la carga, permite prescindir del sistema de frenado que encarece en gran medida el precio de las bicicletas. Por esto, se ha realizado una estimación del ahorro que esto supondría para las bicicletas. En la siguiente tabla se adjunta el precio que supondrían los materiales eléctricos, incluyendo el IVA.

ELÉCTRICA	
Unidad	IMPORTE (€)
Servomotor Schneider	196
Controlador PWM	0,342
Transistor Mosfet 33A	5,15
Rectificador puente	6,72
Diodo	0,4
Bobina 1mH	2,38
TOTAL	210,992
Condensador	1,66
TOTAL ELÉCTRICO	212,652
Número de bicis	50
Ahorro SIST FRENADO	100
TOTAL	5551,26

Tabla de presupuesto 1: Precio sistema eléctricos

Por otro lado, deberán instalarse los termo eléctricos del circuito hidráulico, ya que el gimnasio tan sólo dispondrá de una caldera para la producción del ACS. Como se explicó en el apartado “2.5.2. Cálculos sistema de acumulación”, para la estimación de energía producida serán necesarios 7 termo eléctricos de una potencia de 2400W. En la siguiente tabla se adjunta el precio de éstos incluyendo el IVA:

HIDRÁULICA	
Unidad	IMPORTE(€)
Cointra 2400W	370
Número TERMOS	7
TOTAL	2590

Tabla de presupuesto 2: Precio sistema hidráulico

También será necesario tener en cuenta el precio de los cables utilizados para llevar a cabo conexión de los diferentes circuitos. Para esto, se realizaron los cálculos de la sección de los cables en el apartado “2.5.3. Cálculo de la sección de los cables empleados” obteniéndose como solución las siguientes secciones:

- $S_1 = 1.5mm^2$ para cable de cobre con aislamiento de PVC, longitud 2m.
- $S_2 = 6mm^2$ para cables de cobre con aislamiento de PVC, longitud 12m.
- $S_3 = 70mm^2$ para cables de cobre con aislamiento de XLPE, longitud 20m.

De esta forma, se ha calculado el precio final del cableado teniendo en cuenta que deberán utilizarse 2 cables para cada tipo de sección. Uno para el positivo, otro para el negativo y otro para la masa, obteniéndose un precio final de:

Tipo de sección	Coste/unidad (€)	Metros	Número de cables	Precio (€)	Repetición	IMPORTE (€)
1	0,16	2	2	0,64	25	16
2	0,8	12	2	19,2	5	96
3	7,45	20	2	298	1	298
TOTAL						410

Tabla de presupuesto 3: Precio cableado instalación

También se ha tenido en cuenta el precio de los componentes necesarios para la automatización del sistema, aunque como se ha dicho anteriormente podría no haberse contabilizado. El precio del autómatas programable y de la pantalla táctil empleada es de:

AUTOMATIZACIÓN	IMPORTE (€)
Módulo Zelio Logic	161,42
Pantalla Magelis	620
TOTAL	781,42

Tabla de presupuesto 4: Precio componentes automatización

Faltaría por considerar el precio de instalación que hacen referencia al montaje de la instalación o a los equipos auxiliares necesarios:

Concepto	Precio hora (€/h)	Horas (h)	Coste (€)
Estudio y diseño de la instalación	40	40	1600
Mano de obra electrónica	30	25	750
Mano de obra eléctrica	30	3	90
Mano de obra hidráulica	30	3	90
TOTAL			2530

Tabla de presupuesto 5: Precio instalación y equipos auxiliares

Se ha considerado un precio medio para los diferentes técnicos que deben llevar a cabo la instalación. Será necesario un electrónico que realice el montaje en cada bicicleta, un electricista que lleve a cabo la instalación de cableado para los diferentes componentes y un fontanero para la parte de termos.

Por último, los costes completos finales del trabajo serán:

Concepto	Coste (€)
Coste componentes eléctricos	5551,26
Coste componentes hidráulicos	2590
Coste cableado	410
Coste componentes automatización	781,42
Mano de obra eléctrica	90
Mano de obra hidráulica	90
Mano de obra electrónica	750
Estudio de la instalación	1600
Ejecución material (IVA INCLUIDO)	11862,68
Gastos generales (12%)	1423,52
Beneficio industrial (6%)	711,76
Presupuesto base de licitación	13997,96

Tabla 6: Presupuesto final de la instalación

Asciende el presupuesto del proyecto estudiado a:

TRECE MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

TIEMPO DE RETORNO

Una vez obtenido el presupuesto al que asciende la instalación, se pretende calcular el tiempo en el cual se va a amortizar la inversión. Para ello, se ha calculado la energía ahorrada mediante el sistema de recuperación en el apartado “2.5.1. Cálculos energéticos” obteniéndose un ahorro de la mitad de energía consumida mensualmente y siendo de $3.000 \frac{kWh}{mes}$.

Sabiendo el precio del combustible empleado, siendo gas natural, y estando en el momento de los cálculos realizados a $0,00467 \frac{€}{kWh}$, se obtendría un ahorro mensual de 140€. Además, debe tenerse en cuenta que al no consumir combustible no se considera el IVA perteneciente a éste, siendo el ahorro un 21% superior, y ascendiendo a 170€ aproximadamente. Por tanto, el ahorro anual será de 2.040€.

De esta forma, en siete años se obtendría un ahorro de 14.280€, , superando la inversión previa realizada que es de 13.997,96€

A modo de conclusión, se puede decir que la instalación se amortiza a medio plazo en un tiempo razonable que no superaría los siete años. Por tanto, puede decirse que se trata de un proyecto económicamente rentable.

DOCUMENTO III:

ANEXOS

ÍNDICE

ANEXOS.....	89
ANEXO I: ZELIO SOFT.....	89
ANEXO II: VIJEO DESIGNER.....	97
ANEXO III: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA.....	98
ANEXO IV: TABLAS DE DIMENSIONAMIENTO POR CRITERIO TÉRMICO.....	103

ANEXOS

ANEXO I: ZELIO SOFT

- **VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA**

A continuación, se van a describir las variables de entrada y salida que se han empleado para realizar el programa.

- *VARIABLES DE ENTRADA*

- **Entradas digitales**

Permiten seleccionar el tipo de entrada que representan seleccionado un icono. En este caso se han empleado dos iconos diferentes, uno para hacer referencia a los pulsadores de marcha y paro, y otro para los interruptores. El primero de los mostrados en la figura 1 será el pulsador y el segundo el interruptor.

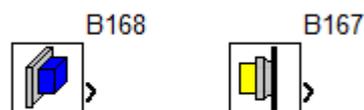


Figura 1: Entradas digitales empleadas en el programa

- **Entradas analógicas**

Admite una entrada de tensión de 0 a 10V, que corresponde con un valor de 0 a 255. Realiza la función de potenciómetro.

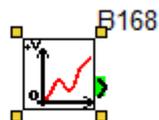


Figura 2: Entrada analógica empleada en el programa

- **Entrada de un entero**

Recibe un entero que será transmitido al programa. Se utiliza para activar variables desde pantalla.

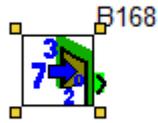


Figura 3: Entrada de un entero empleada en el programa

○ **VARIABLES DE SALIDA**

▪ **Salida digital**

Igual que en el caso de las entradas digitales, se puede seleccionar el icono que hará la función de salida. En este caso se han utilizado cinco tipos: el primero que hará la función de los termos, el segundo el de las resistencias, el tercero el de la señal de alarma, y los últimos serán los indicadores de estado, verde para la marcha y rojo para el paro.



Figura 4: Salidas digitales empleadas en el programa

▪ **Salida de un entero**

Transmite un entero. Es la salida contraria a la entrada nombrada anteriormente.

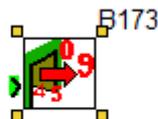


Figura 5: Salida de un entero empleada en el programa

• **BLOQUES FUNCIONALES**

Mediante el uso de bloques funcionales se ha conseguido realizar la programación del sistema. Los bloques funcionales que se han utilizado se presentan a continuación:

○ **NOT**

Este bloque se utiliza para negar la entrada discreta recibida. En caso de recibir 1 colocará un 0, y viceversa.

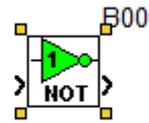


Figura 6: Bloque funcional NOT

- **AND**
Este bloque necesita que todas sus entradas se encuentren activas para activar su salida. En el caso de que alguna entrada tenga un 0, la salida será un 0.

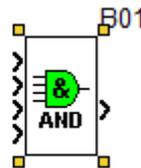


Figura 7: Bloque funcional AND

- **OR**
Para que este bloque active su salida, bastará con que una de sus entradas se encuentra activa. Si una de sus entradas se encuentra a 1, la salida será un 1.

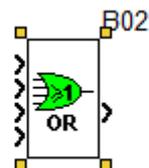


Figura 8: Bloque funcional OR

- **TEMPORIZADOR**
Se trata de uno de los temporizadores que dispone el Zelio. Con este puede realizarse el retardo a la marcha, el paro o ambas opciones. Debe seleccionarse la opción deseada e incluir el tiempo de espera para que se active la señal de salida. Además, también dispone de una opción de puesta a cero.

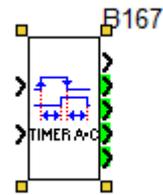


Figura 9: Bloque funcional temporizador

○ **COMPARADOR**

Este bloque se caracteriza por comparar dos entradas analógicas y, en función de la opción deseada, activar la salida. Las opciones que pueden seleccionarse para activar la salida son: cuando los valores sean iguales (=), un valor mayor que el otro (>), uno menor que el otro (<), mayor o igual (>=) o menor o igual (<=).

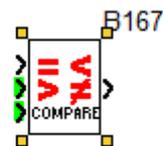


Figura 10: Bloque funcional comparador

○ **GANANCIA**

Este bloque recibe un valor analógico de entrada y, mediante una función que debe introducirse, lo modifica obteniendo así la señal de salida. También dispone de una variable discreta de entrada que permite activar o no esta función.

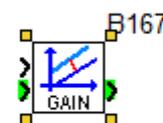


Figura 11: Bloque funcional ganancia

○ **SET & RESET**

Este bloque se caracteriza por mantener activa la salida, en caso de que se active la entrada SET. O desactivar la salida si se activa la entrada

RESET. En caso de que estén ambas activadas, se puede dar la prioridad a una de ellas.

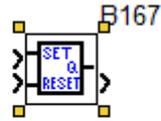


Figura 12: Bloque funcional SET & RESET

- **CONVERSIÓN BITS-PALABRAS**
Este bloque tiene la función de convertir bits en palabras. Es la forma para transmitir la información de las variables discretas a la pantalla. Se compone de 16 bits a partir de 16 entradas discretas.



Figura 13 Bloque funcional conversión bits-palabras

- **CONVERSIÓN PALABRAS-BITS**
Este bloque realiza la operación inversa al anterior. Es la forma para recibir las variables de la pantalla.

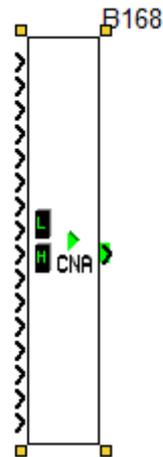


Figura 14: Bloque funcional conversión palabras-bits

- **NÚMERO**
Se trata de un bloque al que se asigna un valor constante numérico.

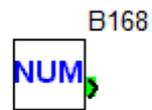


Figura 15: Bloque funcional NUM

- **ESCALADO DEL POTENCIÓMETRO**

En este programa va a utilizarse el potenciómetro, que hará referencia a la intensidad generada por las bicicletas, y con él, el bloque funcional GANANCIA. Con este bloque se pretende conseguir que los valores recibidos estén dentro de un rango de 0 a 100, siendo este el porcentaje de la intensidad nominal de la instalación. Para conseguir este rango es necesario escalarlo previamente. Por ello, dentro del bloque funcional GANANCIA se deberá configurar la función que modificará el valor de entrada para obtener el valor deseado.

Mediante los parámetros A y B se deberá compensar el valor que asigna el potenciómetro por defecto. Como en este caso quiere obtenerse una ganancia de 100, se asigna el valor 100 al parámetro A, siendo B el que se asigna al potenciómetro por defecto. El parámetro C u offset será el valor que aparece en pantalla estando el potenciómetro a 0. Será la desviación que se produce y que debe modificarse.

La banda son los valores máximos y mínimos entre los que puede desplazarse el potenciómetro.

The image shows a software window titled "GAIN (Ganancia = A/B x valor + C)". It has two tabs: "Comentarios" and "Parámetros", with "Parámetros" selected. The window contains two main sections: "Ganancia: y = (A/B) x + C" and "Banda".

Ganancia: y = (A/B) x + C

Numerador de ganancia (A)	=	<input type="text" value="100"/>	(-32768...32767)
Denominador de ganancia (B)	=	<input type="text" value="219"/>	(-32768...32767) y (no nula)
Offset (C)	=	<input type="text" value="0"/>	(-32768...32767)

Banda

Límite superior	=	<input type="text" value="150"/>	(-32768...32767)
Límite inferior	=	<input type="text" value="0"/>	(-32768...32767)

At the bottom left, there is a checkbox labeled "Bloqueo" which is currently unchecked. On the right side of the window, there are three buttons: "OK", "Anular", and "?".

Figura 16: Configuración del potenciómetro

PROGRAMA COMPLETO

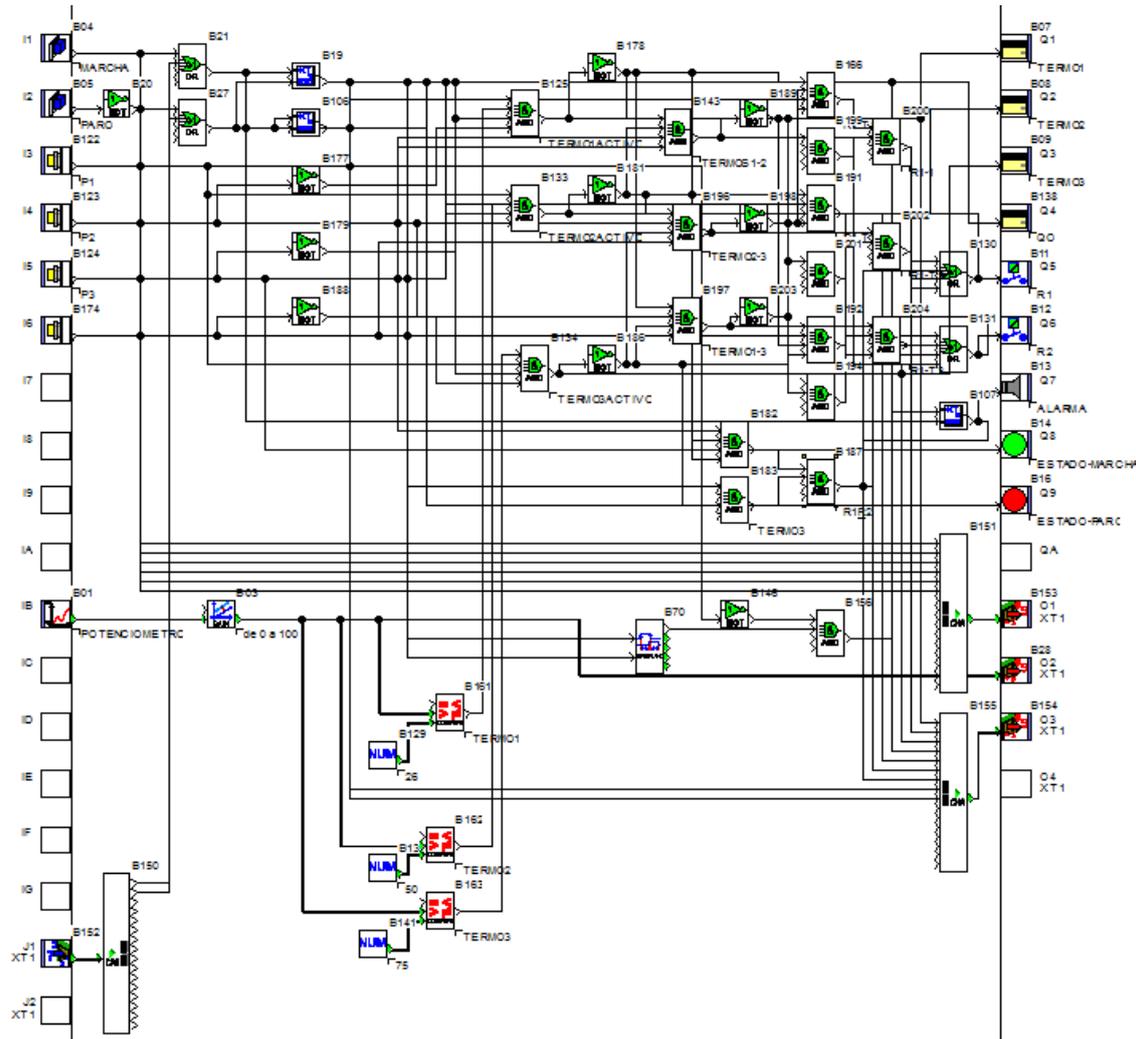


Figura 17: Esquema del programa completo

ANEXO II: VIJEIO DESIGNER

- **TABLA DE DIRECCIÓN DE ALMACENAMIENTO**

La tabla que va a mostrarse a continuación muestra la dirección de almacenamiento de las variables a través del bus de comunicaciones MODBUS. Esta tabla se ha empleado para localizar las distintas variables expuestas en la memoria. Por un lado, muestra las entradas y salidas en Zelio FBD y asigna su dirección de almacenamiento que habrá que utilizar en el Vijeio Designer.

Maitre/Master Modbus address		ZELIO FBD						
IEC	Standard		Word					
% MW 16	4001 + 16	Entrées Inputs	J1XT1		L/E R/W			
% MW 17	4001 + 17		J2XT1					
% MW 18	4001 + 18		J3XT1					
% MW 19	4001 + 19		J4XT1					
% MW 20	4001 + 20	Sorties Outputs	O1XT1		Lecture Read			
% MW 21	4001 + 21		O2XT1					
% MW 22	4001 + 22		O3XT1					
% MW 23	4001 + 23		O4XT1					
			Byte	Byte				
% MW 32	4001 + 32	Horloge Clock	Seconds	Week day	L/E R/W			
% MW 33	4001 + 33		Hours	Minutes				
% MW 34	4001 + 34		Month	Day/month				
% MW 35	4001 + 35		Century	year				
			Status					
% MW 48	4001 + 48	Alarm code	7	3	2	1	0	L/R

↑ 1=Run
0=Stop

↑ 1=Monitoring

↑ 1=Alarm

↑ 1=Error

↑ 1=Time out Default

Tabla 1: Localización de las variables para Vijeio Designer y Zelio FBD

ANEXO III: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

El siguiente documento tiene la finalidad de simplificar al usuario o encargado que vaya a hacer uso del programa realizado, la comprensión y aprendizaje de los diferentes paneles y funciones. El programa consta de cuatro paneles: el de inicio, el de la instalación, el del potenciómetro y el de alarmas. Cada una de ellas tiene una función específica. Además, asociados a estos paneles están asociadas diferentes entradas, para las cuales son de gran interés los pulsadores de marcha y paro. El resto de entradas se trata de sensores que indican diferentes aspectos relevantes para la instalación y, en caso de fallo, deberá remitirse al sensor indicador. A modo de ejemplo, se presentan los siguientes pulsadores que harán la función clave de poner en funcionamiento la instalación o pararla.



Figura 18: Pulsadores de marcha y paro de la instalación

Una vez esté a punto la instalación, el usuario deberá poner en marcha el funcionamiento de la instalación de recuperación de energía apretando el pulsador de marcha. Con este botón se consigue que el pedaleo producido por las bicicletas comience a activar los diferentes termos eléctricos con la finalidad de producir agua caliente.

Cuando se pretenda parar la instalación, ya sea debido a que se pretende hacer una pausa en la instalación o porque no se precisa de su funcionamiento, deberá pulsarse el botón de paro. Una vez pulsado este botón, para poner en marcha la instalación deberá volver a pulsarse el botón de marcha. Ambos botones llevan asociados unos pilotos que permiten ver el estado de la instalación por pantalla, los cuales se presentarán a continuación.

El esquema de funcionamiento de los diferentes paneles es el siguiente:

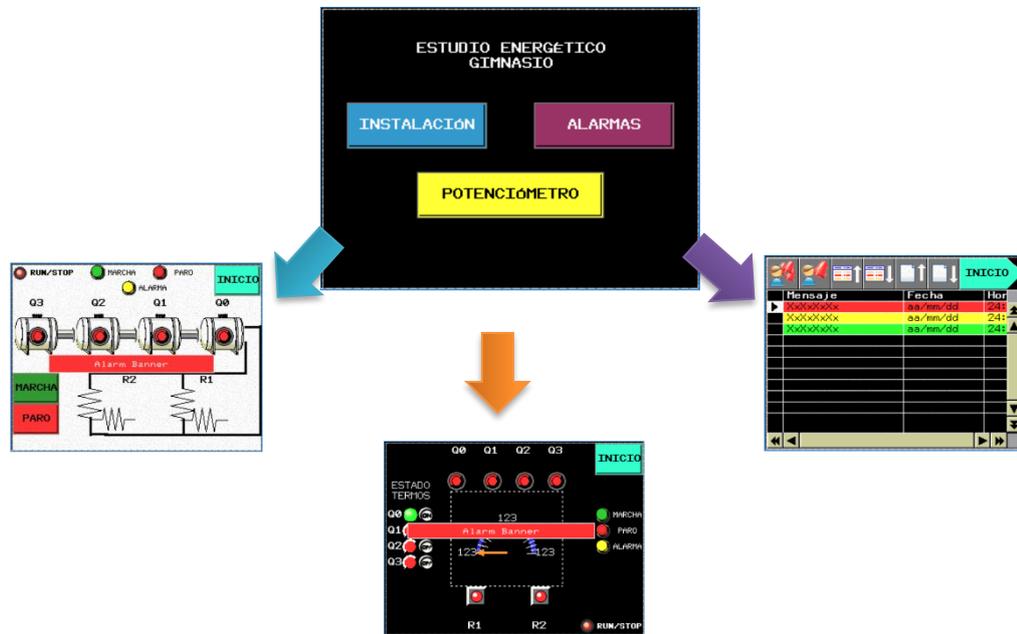


Figura 19: Esquema del programa diseñado para acceder a los paneles

A continuación, se explicará la función de cada panel y qué opciones ofrece:

- **Panel de inicio**

Este panel será el que aparezca por pantalla una vez se encienda esta. A partir de éste se pueden seleccionar los diferentes paneles, y siempre podrá retornarse a este menú de selección.



Figura 20: Diseño de la pantalla de inicio

- Panel de la instalación

La principal finalidad de este panel es la de ofrecer una visión de conjunto de todas las alternativas que ofrece la instalación. En primer lugar, se pretende mostrar los termos y resistencias que están conectados en cada instante. Además, se da la opción alternativa de activar o parar la instalación sin necesidad de recurrir a los botones de marcha y paro fuera de pantalla. Estos botones son los que se presentan abajo a la izquierda y en lo que pone: MARCHA (en un pulsador en verde) y PARO (en un pulsador en rojo) que cambiarán respectivamente una vez estén activos.

Los pilotos que se muestran arriba son los indicadores del estado de la instalación.

En cada uno de los termos está asociado un piloto que dispone de dos colores: rojo y verde. Rojo cuando no está activado y verde parpadeante cuando está activado.

Las resistencias disponen de posiciones que se muestran en la figura de a continuación. En caso de estar conectadas, adoptarán la posición vertical, y si están desconectadas la horizontal.

En caso de que se de la alarma, programada por si algún termo no puede estar en funcionamiento debido a que no está alimentado por la red, el estado alarma se activará y, además, saltará un banner que resalta este estado. Para resolver esta situación debe dirigirse al panel de alarmas.

Por último, el piloto de RUN/STOP indica si el programa que debe realizar la instalación ha sido transferido de forma correcta al autómeta. En este caso parpadeará.

Se puede volver al panel de inicio pulsando el botón INICIO.

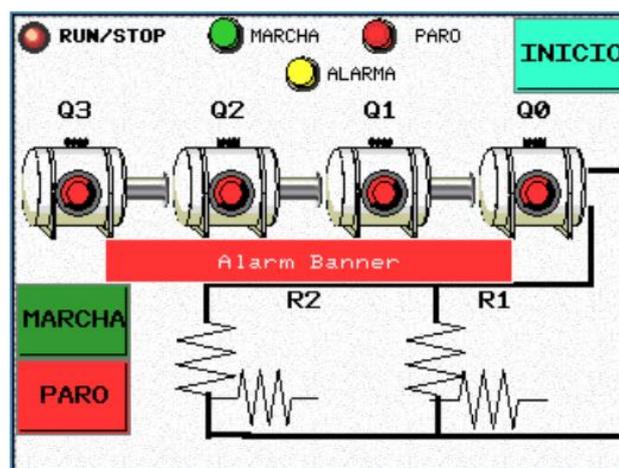


Figura 21: Panel de la INSTALACIÓN

- **Panel de potenciómetro**

Este panel pretende dar una visión más técnica del estado de la instalación. Por esto, se muestra el valor de la intensidad generada por las bicicletas en el gráfico, estando escalado de 0 a 100. Este escalado hace referencia al porcentaje de corriente generado respecto a la intensidad nominal de la instalación.

En función de los valores que tome la corriente, se irán activando una serie de termos. Los pilotos que se muestran en la parte superior son los referidos a los termos. Pueden aparecer dos colores: rojo en caso de que estén desactivados y verde parpadeante en caso contrario.

Los pilotos que se muestran a la izquierda bajo el nombre de ESTADO TERMOS, son los que indican el estado de los sensores de cada termo. El primero hace referencia al conjunto termo resistencia que siempre está activado, por esto sólo presenta un estado. En caso de que alguno de los termos alcance su temperatura máxima, el estado cambiará y se activará mostrándose el piloto verde y con un ON. Si no ha saltado el termostato, el piloto continuará rojo y en OFF.

Si se activan estos pilotos de estado, deberán entonces a disipar energía las resistencias. Abajo se muestran dos pilotos que hacen referencia al estado de las resistencias. Rojo en caso de que estén desactivadas y verde parpadeante si están activadas.

A la derecha se muestra el estado de la instalación.

En caso de que se de la alarma, programada por si algún termo no puede estar en funcionamiento debido a que no está alimentado por la red, el estado alarma se activará y, además, saltará un banner que resalta este estado. Para resolver esta situación debe dirigirse al panel de alarmas.

Por último, el piloto de RUN/STOP indica si el programa que debe realizar la instalación ha sido transferido de forma correcta al autómatas. En este caso parpadeará.

Se puede volver al panel de inicio pulsando el botón INICIO.

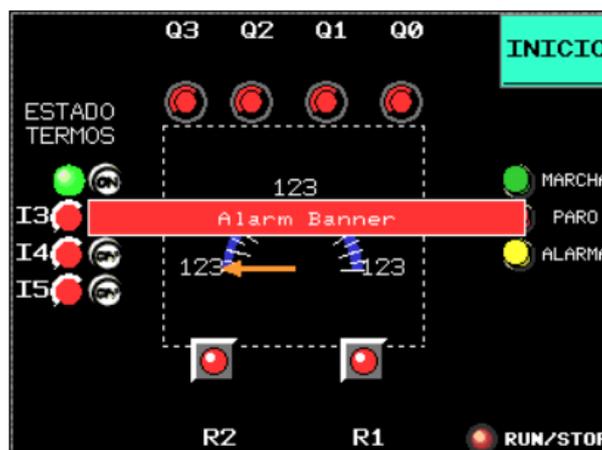
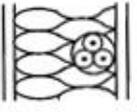
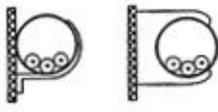
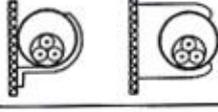


Figura 22: Panel de potenciómetro

ANEXO IV: TABLAS DE DIMENSIONAMIENTO CRITERIO TÉRMICO

A continuación, se van a presentar las tablas que se han empleado para el cálculo de la sección mediante el criterio térmico.

- **Tabla 52-B2: Sistemas de canalización**

Punto n°	Métodos de instalación	Descripción	Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase la tabla 52-B1)
1	2	3	4
1	 local	Conductores aislados o cables unipolares en conductos empotrados en paredes térmicamente aislantes ¹⁾	A1
2	 local	Cable multiconductor en conductos empotrados en una pared térmicamente aislante ¹⁾	A2
3	 local	Cable multiconductor empotrado directamente en una pared térmicamente aislante ¹⁾	A1
4		Conductores aislados o cable unipolar en conductos sobre pared de madera o de mampostería, no espaciados una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conductor de ella	B1
5		Cable multiconductor en conducto sobre pared de madera o de mampostería, no espaciado una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del conducto de ella	B2

1) La capa interior de la pared tiene una conductividad térmica no inferior a 10 W/m².K.

Tabla 2: Sistemas de canalización

• Tabla 52-B1: Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia		Tabla y columna							Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción de agrupamiento
		Intensidad admisible para los circuitos simples								
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		Aislamiento mineral				
		Número de conductores								
		2	3	2	3	1, 2 y 3				
1		2	3	4	5	6	7	8	9	
	Conductores aislados en un conductor en una pared térmicamente aislante habitación (local)	A1	52-C1 Col. 2	52-C3 Col. 2	52-C2 Col. 2	52-C4 Col. 2	-	52-D1	52-E1	
	Cable multiconductor en un conductor en una pared térmicamente aislante habitación (local)	A2	52-C1 Col. 3	52-C3 Col. 3	52-C2 Col. 3	52-C4 Col. 3	-	52-D1	52-E1	
	Conductores aislados en un conductor sobre una pared de madera	B1	52-C1 Col. 4	52-C3 Col. 4	52-C2 Col. 4	52-C4 Col. 4	-	52-D1	52-E1	
	Cable multiconductor en un conductor sobre una pared de madera	B2	52-C1 Col. 5	52-C3 Col. 5	52-C2 Col. 5	52-C4 Col. 5	-	52-D1	52-E1	
	Cables unipolares o multipolares sobre una pared de madera	C	52-C1 Col. 6	52-C3 Col. 6	52-C2 Col. 6	52-C4 Col. 6	Cubierta 70 °C 52-C5 Cubierta 105 °C 52-C6	52-D1	52-E1	
	Cable multiconductor en conductos enterrados	D	52-C1 Col. 7	52-C3 Col. 7	52-C2 Col. 7	52-C4 Col. 7	-	52-D2	52-E3	
	Cable multiconductor al aire libre Distancia al muro no inferior a 0,3 veces el diámetro del cable	E	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10		Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12		Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8	52-D1	52-E1	
	Cables unipolares en contacto al aire libre. Distancia al muro no inferior al diámetro del cable	F	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10		Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12		Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8	52-D1	52-E1	
	Cables unipolares espaciados al aire libre Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable	G	Cobre 52-C9 Aluminio 52-C10		Cobre 52-C11 Aluminio 52-C12		Cubierta 70 °C 52-C7 Cubierta 105 °C 52-C8	52-D1	-	

Tabla 3: Métodos de instalación de referencia

- Tabla 52-D1: Factores de corrección para temperaturas ambientes distintas de 30°C.

Temperatura ambiente °C	Aislamiento			
	PVC	XLPE y EPR	Mineral*	
			Cubierta de PVC o cable desnudo y accesible 70 °C	Cable desnudo e inaccesible 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,87	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

* Para temperaturas ambiente más elevadas, consultar al fabricante.

Tabla 4: Factores de corrección de temperatura

- Tabla 52-E1: Factor de reducción de agrupamiento

Punto	Disposición de los cables (En contacto)	Número de circuitos o de cables multiconductores											Tablas de los métodos de referencia	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16		20
1	Agrupados en el aire sobre una superficie, embutidos o empotrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	52 – C1 a 52 – C12 métodos A a F
2	Capa única sobre pared, suelo o superficie sin perforar	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Sin factor de reducción suplementario para más de nueve circuitos o cables multiconductores	52 – C1 a 52 – C6 método C		
3	Capa única fijada bajo techo de madera	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Capa única sobre bandeja perforada horizontal o vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Capa única sobre escalera, abrazaderas, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	52 – C7 a 52 – C12 métodos E y F			

Tabla 5: Factor corrector de agrupamiento