



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA

Autor: Santaella Navarro, Pelayo
Director: Solano Fernández, Juan Pedro

Cartagena, junio de 2021



Universidad
Politécnica
de Cartagena

I. ÍNDICE

I. ÍNDICE.....	3
II. INTRODUCCIÓN.....	7
III. OBJETIVOS.....	8
IV. CONTEXTUALIZACIÓN.....	9
V. HARDWARE E INSTALACIONES.....	16
1. LOCALIZACIÓN.....	16
2. CIRCUITO DE RECEPCIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR...	16
3. ZONA DE CONTROL Y ELECTRÓNICA.....	20
VI. SOFTWARE.....	24
VII. PROCEDIMIENTOS Y DESARROLLO.....	26
1. CONOCIMIENTO DEL PROGRAMA.....	26
2. CONTROL DE BOMBAS Y PARAMETROS.....	29
3. PROTOCOLO DE INICIO Y AYUDA.....	30
4. MEJORA SISTEMA AUTOMÁTICO Y MANUAL.....	32
5. ARRANQUE TELEMATICO.....	34
6. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	35
7. MEJORA DE INTERFAZ.....	39
VIII. ENSAYOS, ERRORES Y ALTERNATIVAS.....	41
IX. ESTUDIOS DERIVADOS DE ESTE TRABAJO.....	43
X. CONCLUSIONES.....	45
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	47

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

Índice de figuras:

Fig. 1- Variación diaria de radiación solar en promedio anual en España [5]	10
Fig. 2- Esquema del lecho de agua y distribución de termopares [11].....	11
Fig. 3-Diseño conceptual, configuraciones y aplicaciones del sistema[11].....	13
Fig. 4-Configuración de comunicación y canales previa a este trabajo[15].....	14
Fig. 5-Fracción líquida en ensayos por convección natural[16].....	15
Fig. 6-Imagen tomada por Google Earth en Cartagena, Murcia, España.	16
Fig. 7- Esquema de la distribución y montaje de los colectores.....	17
Fig. 8- Imagen real tomada de los colectores en el tejado del ELDI (Edificio de Laboratorios De Investigación).	17
Fig. 9- Esquema de actuadores y colectores.....	18
Fig. 10- Imagen del circuito de actuadores y colectores	19
Fig. 11-Mesa de diseño con ordenador y adquisidor de datos, junto a PLC e instalación de control (variadores, relés, circuitos...)	20
Fig. 12-Acumulador de espuma metálica en fase de montaje	22
Fig. 13 PLC CompactRio, módulos de entradas y salidas, y circuito con convertidor de intensidad/tensión y relés.	23
Fig. 14 Captura de panel frontal en archivo VI nuevo en LabView 2019.....	24
Fig. 15-Captura de diagrama de bloques en archivo VI nuevo en LabView 2019.....	25
Fig. 16-Captura de panel frontal en el VI del programa principal desarrollado para controlar las instalaciones.....	26
Fig. 17-Primera tabla de datos, se actualiza en tiempo real.	27
Fig. 18-Segunda tabla de datos con títulos de variables.....	27
Fig. 19-Lectura de termopares en el acumulador aleatorio.....	28
Fig. 20-Pantalla de configuración de alarmas.	28
Fig. 21-Configuración de bombas en panel de control.....	29
Fig. 22-Diagrama de bloques para el control de las bombas manual.....	30
Fig. 23-Programación de protocolo de inicio	31
Fig. 24-Primer mensaje de protocolo de inicio	31
Fig. 25-Segundo mensaje de protocolo de inicio	32
Fig. 26-Estructura case programación horaria en configuración de bombas (diagrama de bloques).	33
Fig. 27-Estructuras case encargadas de habilitar panel y elegir modo de arranque, llamar las subrutinas VI asociadas para su debida conexión y activación de actuadores.....	33
Fig. 28-Subrutina VI dedicada a la configuración del vector de actuadores.....	34
Fig. 29-Distribución de salidas físicas asociadas al programa	35
Fig. 30-Configuración de la instrumentación de lectura	36
Fig. 31-Parte del circuito secuencial de lectura de instrumentación	37
Fig. 32-Imagen con zoom out de parte central del programa de manipulación de actuadores y adquisición de datos	38

Fig. 33-Esquema interactivo de la instalación en interfaz grafico	40
Fig. 34-Diagrama de control de temperaturas en acumulador aleteado	40
Fig. 35-Energía almacenada durante ensayo utilizando el software desarrollado.....	42
Fig. 36 Control de temperatura durante ensayo en acumulador de calor liso	42
Fig. 37 Evolución de la fusión de parafina en ensayo (fracción líquida)[18]	43

RESUMEN

Este Trabajo Final de Grado se enmarca en un proyecto de acumuladores de calor por energía solar, centrado en el estudio de mejorar la eficiencia y viabilidad, a través de distintos acumuladores con parafina.

La instalación pertenece a un proyecto internacional de la universidad incluido en el proyecto ACCUSOL “Elaboración de un sistema novedoso para la climatización de edificios con la aplicación de células fotovoltaicas, colectores solares térmicos y acumuladores de calor (2017-2021)” (*Ref PCIN-2017-059*) consistente en el diseño y construcción de un sistema de almacenamiento de energía térmica latente (*LTES, latent thermal energy storage*) con diferentes técnicas de mejora de transferencia de calor y distintas distribuciones mecánicas mediante un material de cambio de fase (*PCM, phase change material*). Además, en el trabajo se presentan unos primeros resultados que permiten caracterizar el funcionamiento de este sistema de acumulación. Estos resultados muestran la capacidad de almacenamiento de energía térmica del sistema de acumulación desarrollado. En nuestro caso como material de cambio de fase utilizamos parafina comercial en distintos modelos de distribución térmica para comprobar su eficiencia en cada caso.

Este trabajo se centra en el diseño y mejora del software de control y adquisición de datos, a través del uso del software LabView, hardware CompactRIO y otros componentes electrónicos. Desarrollando programación y control para poder controlar las bombas, válvulas y actuadores tanto de forma manual como automática, adquisición de datos, lectura en tiempo real, control de temperaturas, alarmas y protocolos.

Palabras clave: acumulador térmico, material de cambio de fase, energía solar, programación, interfaz gráfica y control automático.

ABSTRACT

This Final Degree Project is in a solar energy heat storage project, centred on the study of improving the efficiency and viability of different paraffin heat storage systems.

The installation belongs to an international project of the university consisting of the design and construction of a latent thermal energy storage (*LTES*) system with different enhancement heat transfer techniques and different mechanical distributions by means of a phase change material (*PCM*). In addition, the work presents first results to characterise the performance of this storage system. These results show the thermal energy storage capacity of the developed storage system.

This work is focused on the design and improvement of the control and data acquisition software, through the use of LabView software, CompactRIO hardware and other electronic components, developing programming and control to be able to control pumps, valves and actuators both manually and automatically, data acquisition, real time reading, temperature control, alarms and protocols.

Keywords: thermal storage tank, phase change material, solar energy, programming, graphical interface and automatic control.

II. INTRODUCCIÓN

La energía solar es una enorme fuente energética con grandes proyecciones y posibilidades, pero también con graves inconvenientes como sería su rendimiento, intermitencia, acumulación e inestabilidad, sobre todo durante horario nocturno [1]. Para mejorar o suavizar dichos inconvenientes utilizaremos sistemas de acumulación de energía basado en el uso de cambios de fase, en este caso parafina por su curva de temperatura, rendimiento y bajo coste [2] se decantó por el uso de parafina. El uso de estos nuevos sistemas requieren mayor control, diseño y programación que permiten no solo aumentar el rendimiento sino además lidiar con mayor eficiencia con otros inconvenientes esporádicos como pueden ser días con baja radiación solar (días nublados, con lluvia...) días más largos o más cortos o incluso excesiva temperatura que puede perjudicar a la parafina. Este trabajo está centrado en la programación, adquisición de datos, control de actuadores y diseño de la interfaz gráfica.

De entre los posibles cambios de fase, el más interesante es el de sólido a líquido, ya que aunque la cantidad de energía almacenada es inferior que entre otros cambios de estado (sólido↔gas), la variación de volumen es menor. Los materiales de cambio de fase líquido-sólido más comunes en el rango de temperaturas 20 °C y 80 °C son las ceras de parafina, sales hidratadas, mezclas eutécticas y ácidos grasos. Las ceras de parafina están disponibles en el mercado, pero su calor latente (hasta 200 kJ/kg.) es sólo la mitad del de las sales hidratadas. Las sales hidratadas son más baratas que las ceras de parafina y también están disponibles en el mercado, pero tienen algunas desventajas como las bajas temperaturas de fusión o la corrosión en contacto con metales [3].

Las instalaciones constarán con distintos tipos de acumuladores para comparar rendimiento de conducción térmica. Toda la instalación vendrá representada en la interfaz gráfica de LabView (National Instrument) mostrando los cuatro colectores, los acumuladores, los actuadores (mostrando su estado en tiempo real), interruptores y selectores de actuación sobre el programa, además de gráficas, tabla de datos, configuración...

LabView utiliza una programación en dos niveles, el nivel superior más gráfico se centra en aspectos básicos y estética; en cambio el nivel subordinado es realmente donde se desarrollan todas las funciones a través de un tipo de programación mixta bloques, cableado lógico y configuración adicional más avanzada en un lenguaje más bajo (se consideran tres tipos de niveles de programación: lenguaje máquina es el más bajo, lenguajes de bajo nivel como el RISK, Basic o C y lenguajes de alto nivel como Java, C++ o Python) [4].

III. OBJETIVOS

Al comenzar la colaboración en el proyecto, había varios objetivos prioritarios:

- Incluir y adaptar el tercer acumulador en el programa e interfaz.
- Cableado de segundo variador y relés.
- Desarrollar la adquisición de datos.
- Mejorar la representación de los termopares en la interfaz.
- Crear un protocolo de inicio.
- Mejorar el sistema de funcionamiento automático y crear la función “programación horaria” para así poder preparar el inicio y fin de ensayos, a unas horas previstas o por control remoto.
- Desarrollo de almacenamiento de datos estructurados en Microsoft Excel.
- Adaptación de válvulas e interfaz al ampliar la instalación.
- Alarmas y control de temperatura.

El principal objetivo es mejorar la adquisición y control de datos de una planta de almacenamiento de calor a través de una instalación solar térmica y unos acumuladores de calor latente cuya principal innovación es el uso de materiales de cambio de fase, en nuestro caso la parafina un tipo de hidrocarburos alcanos que hace de cera sintética, y que permite a partir de cierta temperatura un almacenamiento de calor constante. También se deberá adaptar y acoplar cuatro acumuladores de calor latente y su respectiva ampliación tanto a nivel de hardware como de software, mejorar la regulación y control del PLC e implementar sistemas de control para regular la temperatura en el circuito de solidificación, y de la interfaz gráfica.

Es vital para el proyecto una labor de refinamiento y mejora de software, que permita una buena implementación tanto del control como de futuras ampliaciones o mejoras, dejando una interfaz gráfica en LabView y un software en el PLC de National Instruments, que sea claro, eficiente y funcional.

Lograr la implementación en el software del nuevo acumulador, control de bombas y sus parámetros, protocolo de inicio y ayuda donde venga detallada la información básica para el operario pertinente, mejora del sistema automático y manual especialmente la ampliación en el programa automático con nuevas funciones y mejoras, adaptación de la interfaz para poder acceder y funcionar más eficientemente desde escritorio remoto, diseñar y programar el bloque de adquisición de datos además de su correcto almacenamiento y puesta en marcha, por último, mejorar la interfaz gráfica y estética.

IV. CONTEXTUALIZACIÓN

Cada vez son más utilizados para cumplir con distintas funciones los almacenadores de calor por energía sola, en edificios de viviendas, casas particulares, uso en hospitales y ámbito sanitario, residencias e incluso en ámbito industrial.

Supone a largo plazo una alternativa ecológica y económica, para reducir el consumo eléctrico a través de una vía sostenible como es LTES con PCM, en un principio (utilizando agua en los almacenadores en vez de materiales de cambio de fase) constituían varios problemas como alto coste, instalaciones muy voluminosas y demasiado dependientes del clima (gran cantidad de horas de sol) para un buen funcionamiento.

Con los continuos avances tanto en eficiencia en la recepción de la energía solar, circuitos hidráulicos, software, materiales de cambio de fase y control térmico, además del aumento de la demanda de estos tipos de sistemas de almacenamiento de calor. Se han logrado abaratar costes, reducir considerablemente el volumen de la instalación (llegando en los almacenadores de calor con materiales de cambio de fase a reducirse en más de un 50% en algunos casos respecto a sus precedentes con agua) y lograr no tener una dependencia tan rigurosa del clima, pues se necesita menor cantidad de radiación solar para su correcto funcionamiento.

Basándonos en otros estudios como precedentes o contemporáneos según el caso:

En el exterior de la atmósfera el sol envía, en forma de radiación, una energía total del orden de 1400 W/m^2 con un 8% en el ultravioleta, un 41% en el visible y un 51% en el infrarrojo. Una vez atravesada la atmósfera y para una inclinación de unos 30° la energía recibida es de unos 650 W/m^2 de media diaria, de los que corresponden un 1% en el ultravioleta, un 42% en el visible y un 57% en el infrarrojo. Este dato de entre 900 y 1250 W/m^2 (Fig. 1) corresponde en nuestras latitudes a unos $5\text{-}6 \text{ kWh/día}$ y m^2 en una superficie convenientemente orientada. Se puede apreciar que esta es una densidad relativamente baja y además variable en el tiempo.[5]

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

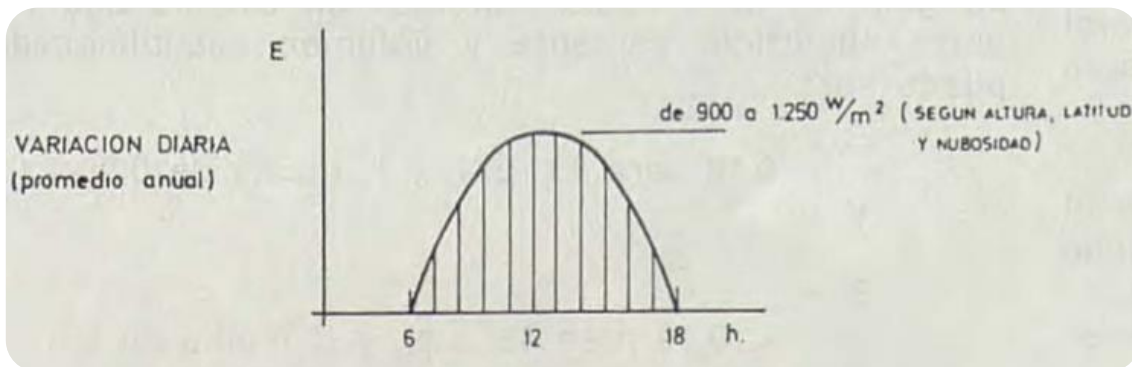


Fig. 1- Variación diaria de radiación solar en promedio anual en España [5]

En sistemas de calentamiento de agua se utilizan el efecto invernadero sobre un colector metálico, preferentemente de cobre o aluminio, pintado en negro y con tubos de agua soldados a la placa o formando parte de la misma.

El rendimiento en cuanto a energía captada puede ser de un 33% del incidente en el vidrio. El calor recogido en la placa es transportado con tuberías de agua caliente que salen por la parte superior de la misma hasta el almacenamiento (tanque).

El agua retorna a la parte inferior del colector por conducción natural o forzada, según que su situación respecto al almacenamiento permita o no esta circulación. El calor se almacena en el tanque de agua caliente aislado y de gran capacidad. De acuerdo con la superficie del colector y el intercambio de calor previsto en el mismo se consiguen incrementos de temperatura del agua de unos 25 °C.

A través de este estudio de 1975 se podría mostrar los claros antecedentes a nuestro caso utilizados en viviendas principalmente.

En las aplicaciones de sistemas solares, la demanda de energía por lo general no coincide con el período de abastecimiento de energía solar, siendo indispensable por lo tanto el uso de acumuladores de calor. En caso de utilizar energía térmica es conveniente su almacenamiento como calor sensible de un fluido o de un sólido o como calor latente de un material cuando éste sufre un cambio de fase. El almacenamiento de energía como calor sensible puede ser de un líquido, generalmente agua o de un sólido que comúnmente se utiliza la piedra. Si en el proceso es agua la que se calienta, la forma más lógica de almacenar la energía es como calor sensible del agua. En este caso la energía es agregada y renovada por transporte del mismo medio que la almacena y se evita así la caída de temperatura que se produce entre el medio de transporte y el fluido que acumula.[6]

Para calcular la eficiencia de estos acumuladores existen numerosos modelos.[7]. Se ha demostrado por otro lado que la estratificación de la temperatura en

los tanques generalmente conduce a una ganancia en la eficiencia de acumulación de calor entre un 6 y un 15% respecto a sistema mezclados [8].

Cuando el fluido que transporta la energía es aire se utilizan acumuladores en lecho de piedra. Entre las ventajas que presentan estos acumuladores se pueden mencionar:

1. La disponibilidad y costo relativamente bajo del material de almacenamiento.
2. El contacto directo entre el fluido y el material sólido, lo que resulta en un gradiente pequeño de temperatura
3. La baja conductividad térmica de los sólidos en la dirección radial que reduce los requerimientos de aislación.
4. No hay límite para la temperatura de almacenamiento.
5. Estratificación térmica.

La acumulación en lechos de piedra presenta la desventaja que se requieren grandes volúmenes de almacenamiento debido a la baja capacidad calorífica de la piedra.

Para este tipo de lecho (Fig. 2) existen varios análisis teóricos que permiten definir parámetros operacionales tales como flujo de masa de aire, fracción de huecos, tamaño de lecho, propiedades del sólido, etc.[9]. Se ha comprobado que la estratificación del calor aumenta la eficiencia del sistema en un 5% y la cantidad de calor almacenado por día en 25%. [9], [10] Hicieron consideraciones sobre aspectos relacionados con el costo y la efectividad, ya que el costo del equipo solar juega un papel importante a la hora de definir el diseño del sistema.

En este tipo de estudios se pone de manifiesto las alternativas y modelos utilizados antes de los materiales de cambio de fase.

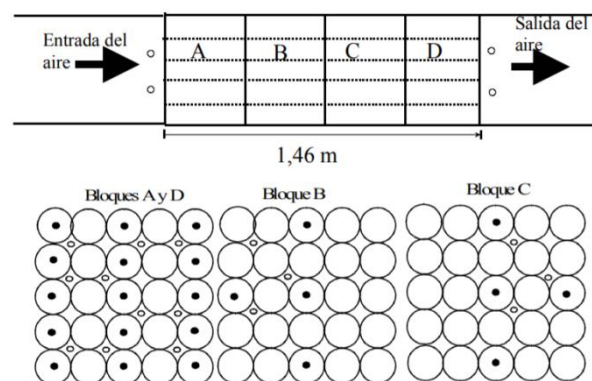


Fig. 2- Esquema del lecho de agua y distribución de termopares [11]

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

El trabajo realizado por Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP) [12] expone el desarrollo de un sistema acumulador / amortiguador de calor solar térmico de diseño modular y tecnología industrializable. Se trata de un sistema de funcionamiento pasivo y aplicación versátil, orientada a satisfacer requerimientos de climatización y/o estabilización térmica tanto de espacios residenciales como de espacios productivos del sector agropecuario.

Se muestra el estudio de antecedentes, el proceso de diseño y los prototipos desarrollados teniendo en cuenta componentes constructivos, geometrías y materialidades. Se presentan los resultados de ensayos de operación del sistema, instalado sobre dos tipos de espacios. En un primer ensayo, se demostró un comportamiento térmico favorable en un espacio productivo tipo invernadero, donde se registró una reducción de la amplitud térmica en su interior, en comparación a la situación del invernadero sin el sistema. Asimismo, se disminuyeron los picos de calentamiento diurno y se estabilizaron las temperaturas de base durante el período nocturno, evitando el fenómeno de inversión térmica. En un segundo ensayo, se instaló el sistema configurado como muro acumulador de calor en un box de ensayos de 9 m², equiparable a un dormitorio. Se obtuvieron valores de rendimiento de carga superiores al 60% y tiempos de retardo en la onda térmica para calefacción, entre 4 y 4,3 horas. De esta forma el sistema demostró su aptitud para proporcionar un paquete de energía de base para la climatización de este tipo de espacios.[11]

El diseño contempló el desarrollo de dos tipos de piezas en función de la materialidad mixta planteada (hormigón + agua). Por un lado, piezas sólidas pre moldeadas de hormigón pigmentado (se incorporó negro de humo en un 2%), y por otro, para contener el agua se diseñaron vainas plásticas estancas conformadas a partir de tubos comerciales de PVC de 160 mm de diámetro y sus correspondientes tapas ciegas.

Las mismas pueden combinarse permitiendo la conformación de muros acumuladores de calor (MAC) o también diversas morfologías de masas de acumulación térmica. En cuanto a sus aplicaciones, su diseño permite implementar en su armado diferentes configuraciones orientadas tanto a espacios residenciales como al sector agro-productivo. El sistema podría en tanto, formar parte de una vivienda, constituyendo un sistema pasivo de climatización tipo MAC incorporado a la fachada o a la cara norte de la misma; o bien podría incorporarse dentro de la misma, para su empleo como acumulador térmico en función de un planteo de ganancia solar directa.

Asimismo, en espacios agro-productivos como invernáculos, parideras y criaderos, entre otros, puede instalarse como masa de acumulación térmica. Sus

diferentes configuraciones dependerán de los requerimientos de operación del espacio de producción, y del recurso helio-energético disponible, entre otros factores (Fig. 3).

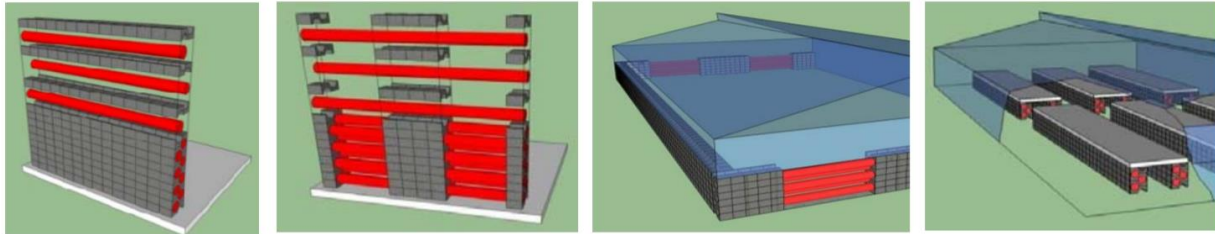


Fig. 3-Diseño conceptual, configuraciones y aplicaciones del sistema[11].

En este estudio vemos otros diseños y alternativas contemporáneas a nuestro proyecto, en el que ya se plantean tecnologías relativamente similares.

En estudios más recientes se demuestran con ensayos y análisis numéricos que es funcional y posible, rediseñando los acumuladores de calor para mejorar sus eficiencia a través de distintos materiales de cambio de fase y probando con distintos métodos de propagación de calor, como en el estudio de “Itamar A. Harris Bernal , Arthur M. James Rivas , María De Los A. Ortega Del Rosario y M. Ziad Saghir; A Redesign Methodology to Improve the Performance of a Thermal Energy Storage with Phase Change Materials: A Numerical Approach”[13] o en “Sistema acumulador/amortiguador térmico solar pasivo para para el acondicionamiento de espacios agro-productivos de Juan Jodra, Graciela Viegas, Gustavo San Juan y Carlos Discoli”[12] donde, en este último se prueba la viabilidad incluso en el sector agroalimentario manteniendo en ensayos con un invernadero pero para ello, durante el período diurno, con el sistema Mixto, fue registrada una estabilización de la temperatura interior con una disminución en el valor de “pico” que alcanzó un 90%, en la variable de temperatura relativa interior/externo. Este aspecto resulta de especial interés al permitir proteger los cultivos de daños por altas temperaturas sin necesidad de ventilar, al tiempo que se acumula dicho calor para ser liberado en la fase nocturna.

Al ser los objetivos principalmente en implementación de software se comprobó previamente la viabilidad y las posibilidades con artículos como “Real Time Intelligent Controller Design for Heat Exchanger Using LabVIEW de Paul, Rajarshi; Shreesha, C; Shinde, Sumit” [14]. Aunque finalmente se determinó por un desarrollo personalizado sin utilizar software reciclado debido a las características especiales del proyecto se decidió realizar una programación desde cero, centrada en ir cumpliendo los objetivos por etapas.

Dentro de la contextualización cabe destacar que en el departamento de ingeniería Térmica y de Fluidos de la Universidad Politécnica de Cartagena, se inició con el proyecto ACCUSOL en el año 2017 una nueva línea de investigación asociada al almacenamiento de energía térmica mediante PCMs. Durante este tiempo se han

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

defendido numerosos Trabajos de Fin de Estudios contemporáneos al mío, entre los que destacan:

- *Diseño de una instalación solar térmica para el abastecimiento energético de acumuladores de calor latente de tipo PCM de Antonio Zamora Jiménez, un estudio fundamental en los orígenes del proyecto basado en el diseño y el montaje de la instalación. Sentó el precedente más directo a este trabajo siguiendo sus tendencias de trabajo pero enfocándose en el software, adquisición de datos (descripción de la imagen Fig. 4 a continuación) e interfaz gráfica.[15]*

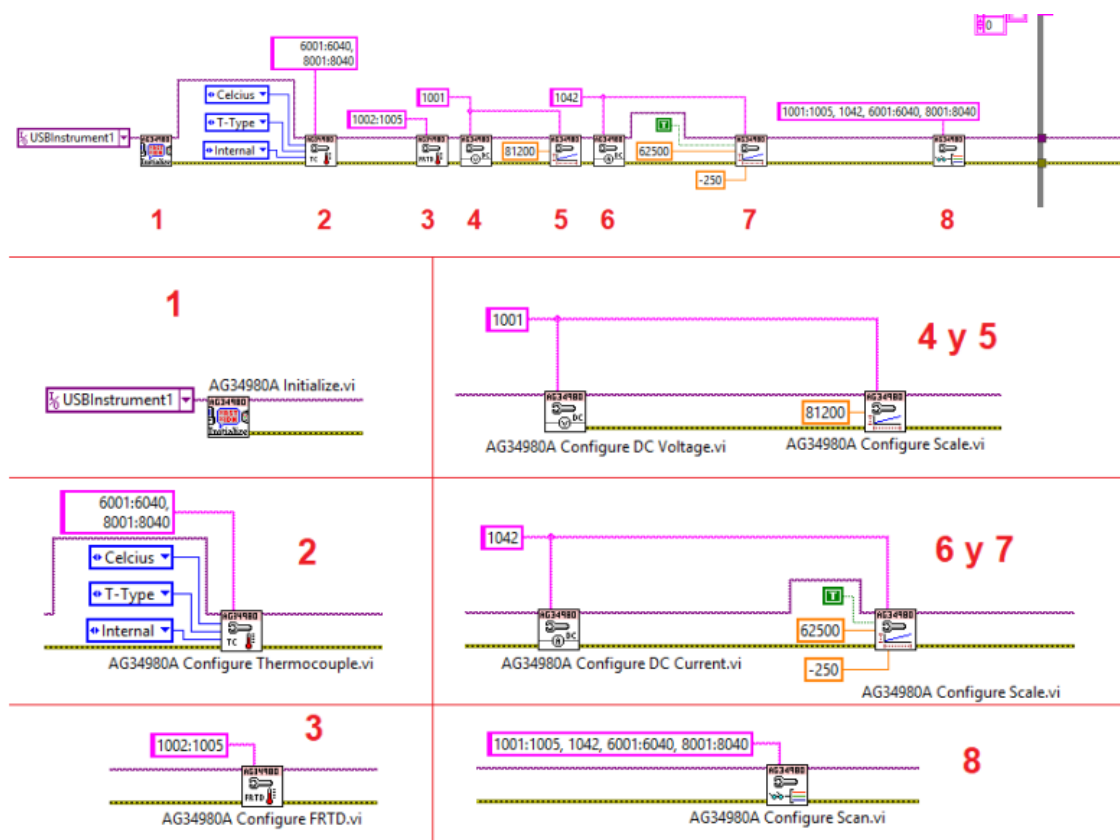


Fig. 4-Configuración de comunicación y canales previa a este trabajo[15]

- El primer icono es la selección del puerto de comunicación, en este caso es uno de los puertos USB del ordenador.
- El segundo icono configura los canales de termopares, en rosa se asignan los canales (desde el canal 6001 al canal 6040, es decir canales del 1 al 40 de la tarjeta 6 y desde el canal 8001 al canal 8040). También se seleccionan la unidad de medida, tipo de termopar y tipo de unión.
- El tercer icono configura los canales de las RTD de cuatro hilos, la medida viene dada por defecto en grados Celsius. • Los iconos cuatro,

cinco, seis y siete son de caudalímetros de Coriolis y ruedas respectivamente. Se configuran como señales ADC y VDC que posteriormente se escalan.

- Por último, una vez configurados todos los canales, el último icono es el que configura los canales para ser escaneados. Se debe indicar todos los canales previamente configurados.[15]
- *Estudio de la transferencia de calor mediante convección natural durante la fusión de materiales de cambio de fase de Domingo Fernández Esquiva, basado en el estudio de la transmisión del calor en la instalación original, conlleva algunos de los primeros cálculos y análisis de ensayos mediante convección natural (Fig. 5) antes de probar con nuevos modelos de acumuladores de calor.[16]*

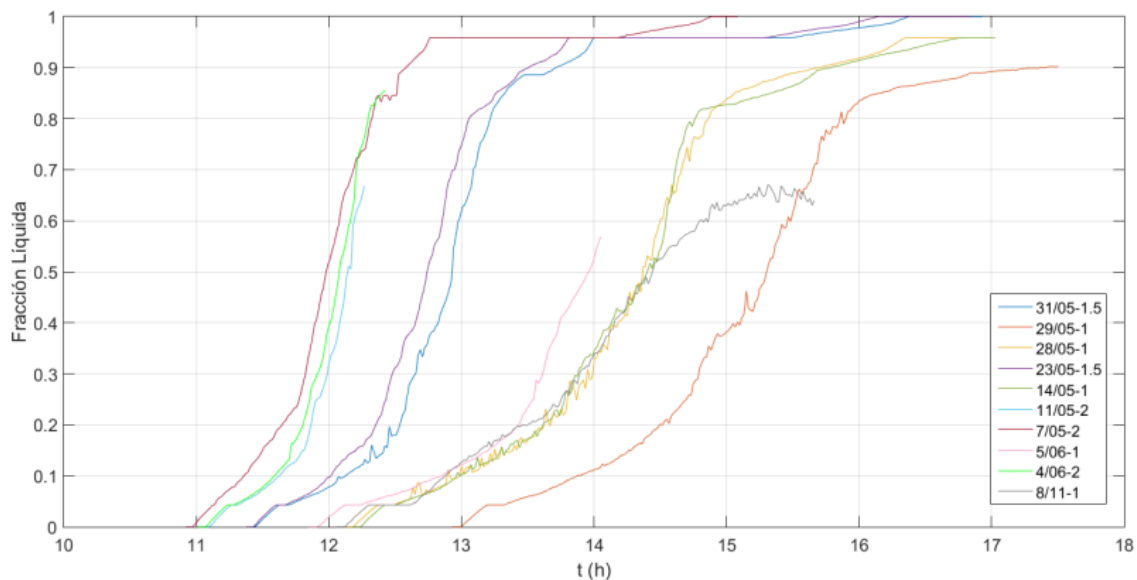


Fig. 5-Fracción líquida en ensayos por convección natural[16]

- También cabe citar el trabajo y los estudios realizados por otros miembros anteriores o contemporáneos que hicieron posible este trabajo, entre estos autores destacan: Juan Pedro Solano Fernández, Alberto García Pinar, Alberto Egea Villareal, Fernando Roig, Francisco García Bermejo y Mario Belmonte.

V. HARDWARE E INSTALACIONES

1. LOCALIZACIÓN

El emplazamiento seleccionado es la azotea del edificio ELDI de la UPCT, sobre el Laboratorio de Energías Renovables (Fig. 6), lugar donde se llevará a cabo la monitorización y control de la instalación y el seguimiento y planificación de las tareas de diseño y montaje. La instalación solar se ha construido junto a otra instalación ya existente.

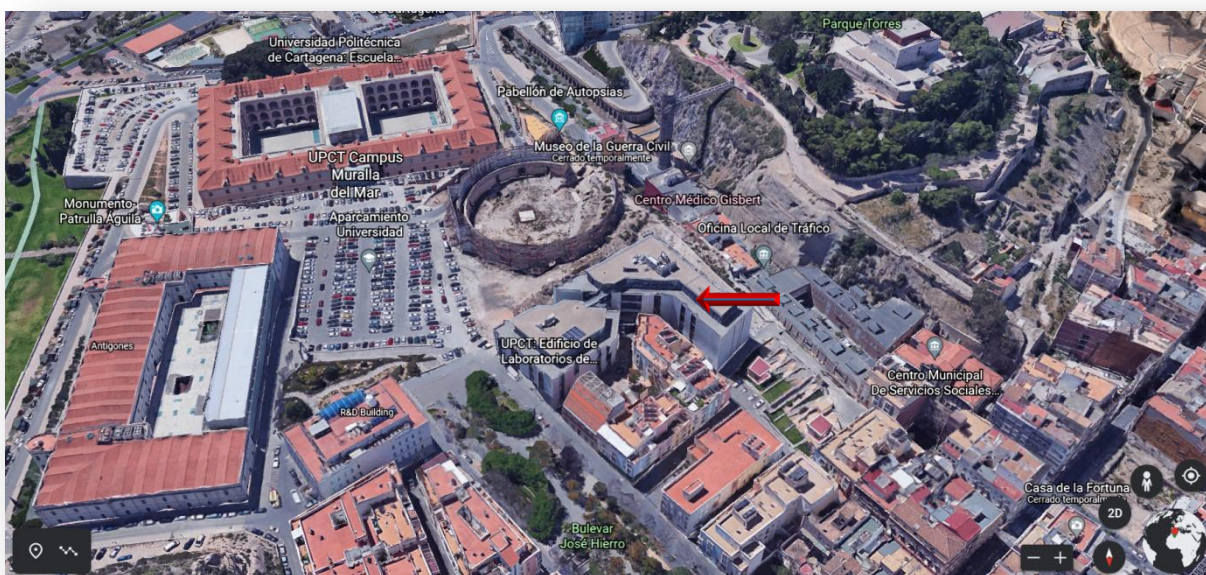


Fig. 6-Imagen tomada por Google Earth en Cartagena, Murcia, España.

2. CIRCUITO DE RECEPCIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Puesto que se trata de una instalación destinada a investigación, no debe cumplir los requisitos específicos de la norma UNE-EN 806-1:2001 (Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios). Aunque no debe perderse de vista el motivo de su concepción y que tratamos de emular un uso doméstico de los acumuladores.

Por otro lado, debe garantizarse el equilibrado en la fase de diseño y, aunque el sistema de válvulas se puede emplear para regular la carga, en cualquier caso, el trazado de tubería debe estar equilibrado.

Inicialmente se contemplaba el uso de una distribución de colectores dispuestos uno detrás de otro en forma de hilera. Sin embargo, este sistema no optimizaba la distribución del espacio, que debe ser capaz de contener 4 colectores y 4 acumuladores.

Además, el diseño en hilera dificultaría el entramado de tuberías si contempláramos un diseño flexible en cuanto a las configuraciones que adaptasen la producción-acumulación a la climatología. Por ello, se realiza un diseño en el que se contempla una distribución en forma de paralelogramo (Fig. 7 y Fig. 8).

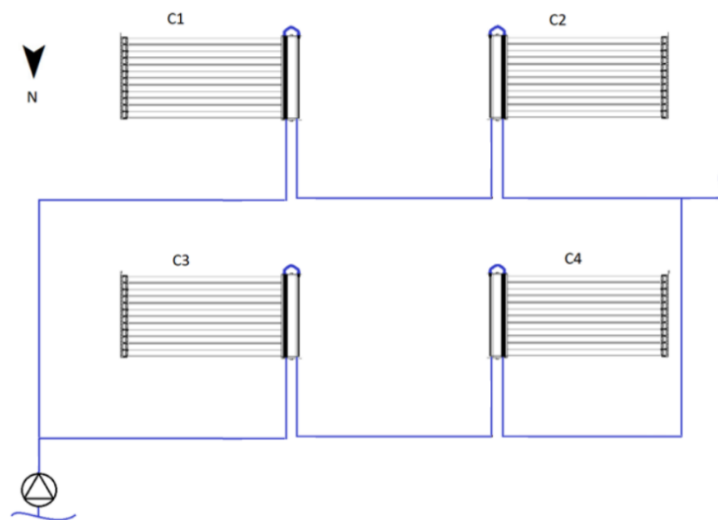


Fig. 7- Esquema de la distribución y montaje de los colectores.



Fig. 8- Imagen real tomada de los colectores en el tejado del ELDI (Edificio de Laboratorios De Investigación).

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

En este punto, trabajamos en busca del objetivo de poder variar la capacidad de captación. La idea que surge es la de un sistema de válvulas que permita seleccionar entre uno a cuatro colectores de forma individual o combinadas en distintas distribuciones en serie y paralelo (Fig. 9).

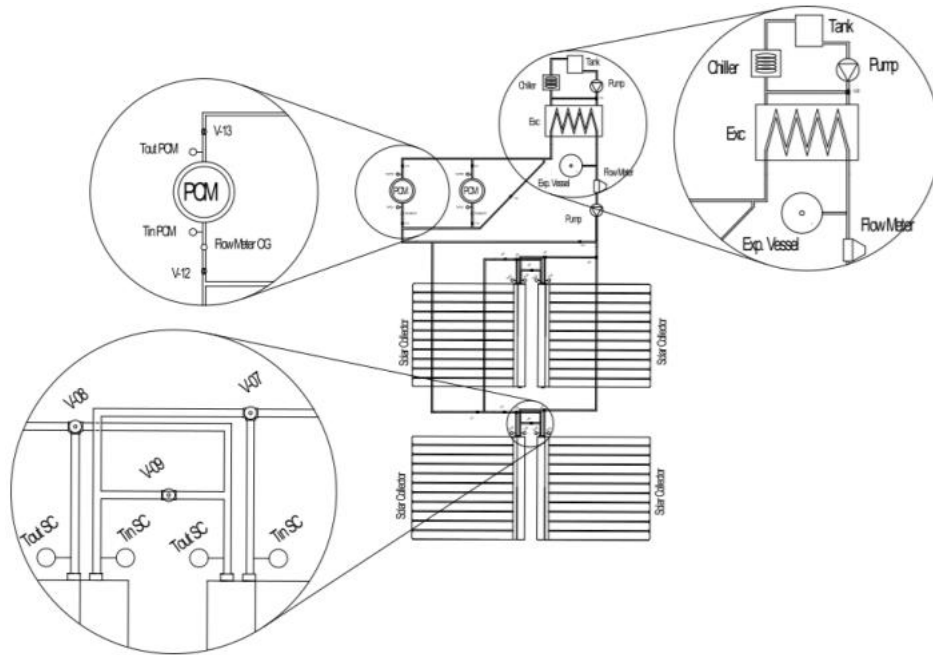


Fig. 9- Esquema de actuadores y colectores.

Esta instalación se ha desarrollado a partir de una instalación previa ya existente, con los elementos principales de una instalación solar térmica ya instalados en la que se desarrollaron varios estudios como el de A. García, R. H. Martín, and J. Pérez-García [17]. El fluido portador de calor (HTF, heat transfer fluid) empleado en la instalación es agua. El desarrollo de la instalación instalada se recoge en los TFE de Zamora y Egea [15], [18].



Fig. 10- Imagen del circuito de actuadores y colectores

Los elementos principales de la instalación solar térmica (Fig. 10), tal y como se recoge, en el TFE de Alberto Egea Villareal [18], son los siguientes:

- **Colector solar:** subsistema encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía térmica.
- **Subsistema de acumulación:** sistema encargado de acumular la energía térmica. Esto sirve tanto para establecer una temperatura de consigna en el consumo como para desacoplar el consumo de la producción.
- **Circuito hidráulico:** permite el transporte del fluido calorportador desde el subconjunto de captación al subconjunto de almacenamiento. Debe estar correctamente aislado.
- **Sistema de regulación y control:** permite ajustar la capacidad de producción a la radiación disponible.
- **Sistema de adquisición:** por la naturaleza del proyecto, será necesario dicho sistema con el objetivo de obtener información para estudiar los fenómenos de transmisión de calor.
- **Sistema de aprovechamiento de la energía térmica acumulada:** encargado de simular el consumo doméstico. Aunque en este proyecto todavía no se encuentra definido, se espera el uso de un circuito de enfriamiento para simular dicho consumo gracias a un intercambiador de calor que conecte ambos circuitos.



Fig. 11-Mesa de diseño con ordenador y adquisidor de datos, junto a PLC e instalación de control (variadores, relés, circuitos...)

3. ZONA DE CONTROL Y ELECTRÓNICA

Tras una investigación y posterior selección de posibles materiales, el grupo de investigación de Mecánica de Fluidos, encargado del proyecto en la UPCT, decidió por utilizar instrumentación de National Instrument además de otros elementos necesarios para el correcto funcionamiento, como el ordenador, la zona de trabajo, adquisidor de datos...(Fig. 11).

A raíz de su selección y la instalación previa, se pudo hacer el diseño y montaje de un convertidor de intensidad a tensión, y también convertir señales de mando/control a potencia para la manipulación de los variadores de frecuencia de las bombas, además de adaptar otras salidas.

Los principales instrumentos/elementos utilizados son:

- **Controlador CompactRIO, CPU Dual-Core 1.30 GHz, 2 GB DRAM, Almacenamiento 4GB, -20 °C a 55 °C, FPGA Kintex-7 70T, 4**

Ranuras—El cRIO-9040 es un controlador embebido, robusto, personalizable y de alto rendimiento que ofrece procesamiento dual-core Intel Atom, soporte de NI-DAQmx y una ranura para tarjeta SD para registro de datos, monitoreo y control embebidos. Incluye un FPGA Kintex-7 70T con soporte para el Módulo LabVIEW FPGA para control avanzado y co-procesamiento. El controlador proporciona una sincronización precisa y sincronizada, y comunicaciones determinísticas mediante Time Sensitive Networking (TSN), que es ideal para mediciones altamente distribuidas. Este controlador ofrece varios puertos de conectividad, incluidos puertos Gigabit Ethernet, USB 3.1, USB 2.0, RS232 y RS485. Puede usar los puertos USB 3.1 para agregar una interfaz de humano-máquina local y programar, implementar y depurar software, lo que simplifica el desarrollo de la aplicación.

- **Módulo de Salida de Corriente de la Serie C, 4 Canales**—El NI-9265 es ideal para establecer una interfaz y controlar actuadores industriales de corriente a altas velocidades. El módulo tiene detección integrada de lazo abierto, lo cual genera una interrupción en el software cuando un lazo abierto es detectado así como salidas a cero para reforzar la seguridad y prevenir que se envíen señales a los actuadores cuando el sistema se enciende. El NI-9265 requiere una fuente de alimentación externa e incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad e inmunidad a ruido.
- **Módulo de Salida de Voltaje de la Serie C, 100 kS/s/canal Simultáneo, ± 10 V, 4 Canales**—El NI-9263 es un módulo de salida analógica de actualización simultánea. Cuenta con protección de sobrevoltaje, protección de cortocircuito, baja interferencia entre canales (crosstalk), rápida velocidad de respuesta, alta precisión relativa y certificados de calibración trazable expedidos por el NIST. Este módulo incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad e inmunidad a ruido.
- **S3H-12-1C SHORI ELECTRIC Relé: electromagnético; SPDT;**
Uinductor: 12VCC; 7A/277VCA; 360mW, utilizados para pasar señales de control a potencia.
- **Resistencias de película metálica.**
- **Transmisor para caudalímetros electromagnéticos SITRANS FM,**
con display alfanumérico incorporado en varios idiomas. Los

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

transmisores evalúan las señales moduladas por los sensores electromagnéticos correspondientes y realizan además la función de una fuente de alimentación que abastece a las bobinas de excitación con corriente constante. Error de medición máx. $\pm 0,2 \pm 1$ mm/s (incl. el sensor) en MAG 6000.

- **Variador de frecuencia trifásico básico SINAMICS V20 - 6SL3210-5BE21-5CV0** de Siemens funciona con una tensión de 380...480 V AC y es ideal para uso en aplicaciones estándar en la industria, donde es altamente versátil. Fácil de usar, rápida puesta en marcha y económico. El variador de frecuencia SINAMICS V20 - 6SL3210-5BE21-5CV0 es adecuado para unidades con potencia nominal hasta 1,5 kW. Gracias al filtro integrado C3-EMV-F se permite el uso según la norma DIN EN 61800-3. Dentro de los posibles usos están: bombas, ventiladores, compresores y cintas transportadoras.
- **Adquisidor de datos conmutador / medidor multifunción Keysight 34980 a** - admite hasta ocho módulos, DMM incorporado con $6\frac{1}{2}$ dígitos (22 bits) de resolución, se integra en sistemas de prueba y adquisición de datos con conectores estándar y controladores de software, conectividad estándar LAN, USB y GPIB al PC, compatible con LXI, velocidades de exploración de hasta 1000 canales/segundo.



Fig. 12-Acumulador de espuma metálica en fase de montaje

Para poder adaptar todas las salidas necesarias se tuvieron que utilizar todas las salidas de los dos módulos de entradas/salidas. Adaptando para ello las salidas de intensidad con un convertor de tensión para mandar la señal al variador.

Para ello se diseñó y construyó este circuito convertidor intensidad/tensión básico, a través de un divisor de tensión, pero teniendo en cuenta la impedancia de entrada e intensidad mínima del relé (Fig. 13).

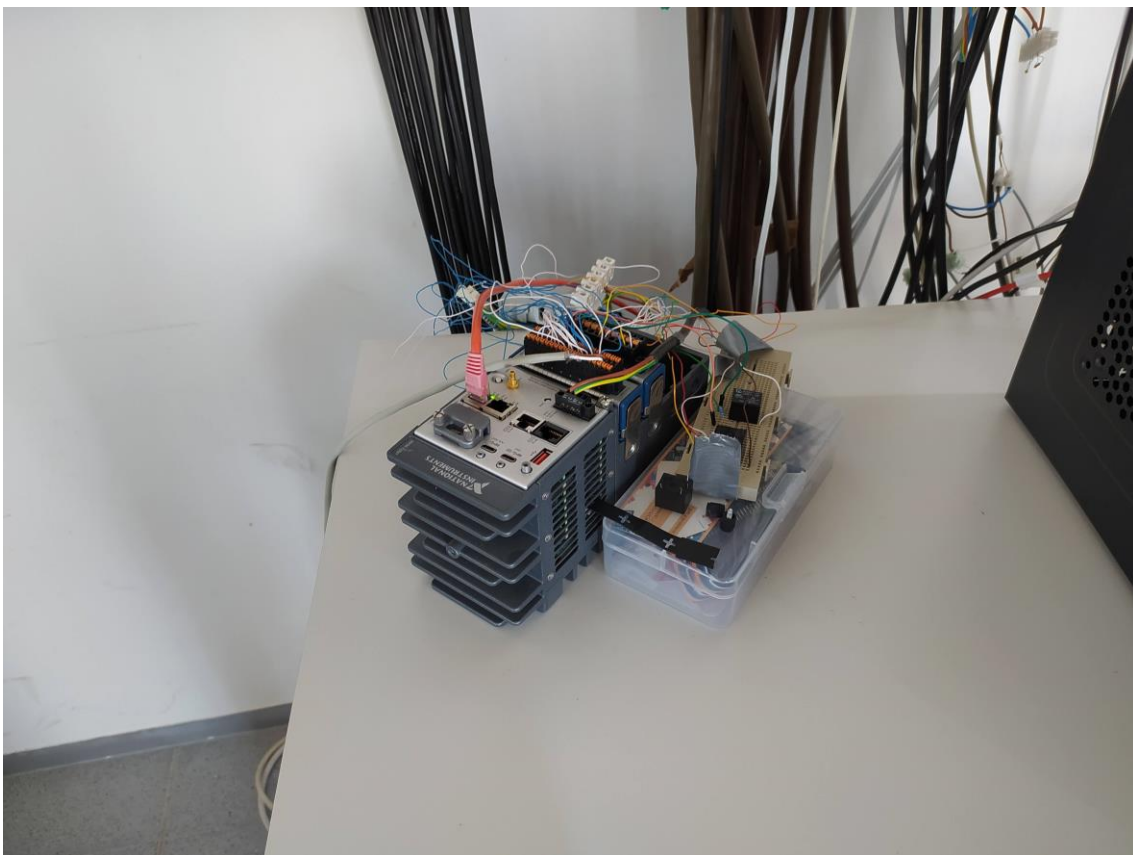


Fig. 13-PLC CompactRio, módulos de entradas y salidas, y circuito con convertor de intensidad/tensión y relés.

VI. SOFTWARE

Para el desarrollo de nuestra programación utilizaremos LabView de National Instrument, la programación se realiza a partir del programa realizado por distintos compañeros del proyecto, ampliando nuevas funciones y mejorando o depurando algunas ya existentes.

LabView es un software de ingeniería de sistemas para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos. Ofrece un enfoque de programación gráfica que le ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración del hardware, datos de medidas de cualquier proveedor, representa una lógica compleja en el diagrama, desarrolla algoritmos de análisis de datos y diseña interfaces de usuarios de ingeniería personalizadas. Consta de dos niveles cada uno con sus propios menús y características, que te permiten modificar los distintos aspectos de tu programa:

- Interfaz Gráfica/Panel frontal: es la parte que vera el usuario, suele tener fondo gris. Sera donde se aprecie los resultados, indicadores y elementos de actuación (tales como botones, selectores, potenciómetros, cajas de dialogo interactivas, mensajes de error o alarma...) del programa, una vez terminado el operario trabajara únicamente en este panel frontal (Fig. 14).

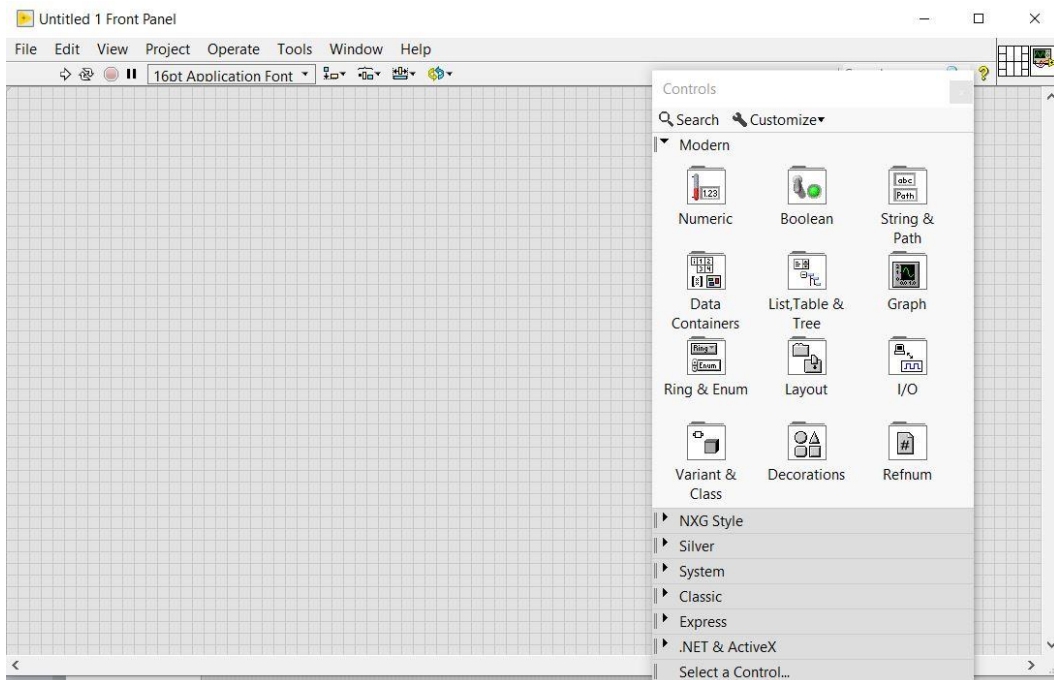


Fig. 14-Captura de panel frontal en archivo VI nuevo en LabView 2019.

- **Diagrama de bloques/Subpanel de programación:** Es donde se realizará la programación y suele tener fondo blanco. Entorno de programación por bloques pero que permite mayor profundidad para programadores experimentados, dentro del diagrama se utilizan distintos tipos de cables y colores para mostrar los distintos tipos de datos (booleanos, bits, string, dinámicos ...)[19] (Fig. 15).

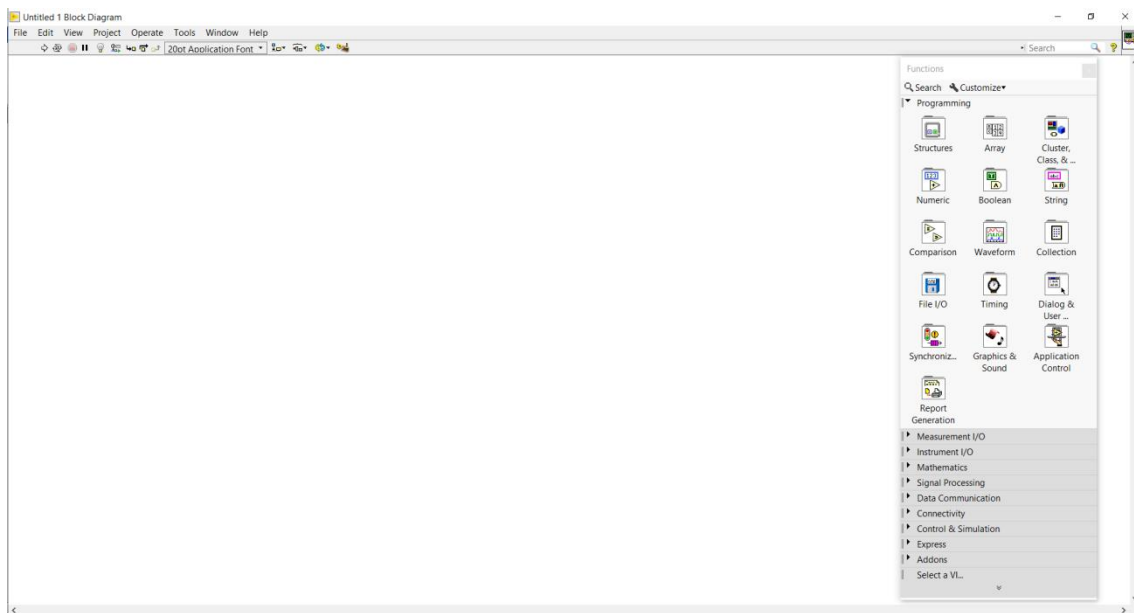


Fig. 15-Captura de diagrama de bloques en archivo VI nuevo en LabView 2019.

En nuestro caso hemos estructurado en el panel frontal distintas pantallas superpuestas, para que el operario/encargado de los ensayos en laboratorio pudiera controlar de manera intuitiva las distintas funciones e indicadores del programa. En un futuro se restringiría el acceso a distintas pantallas según el nivel de cualificación de operario, pero en este momento se utiliza únicamente para ensayos por operarios cualificados por lo que no es necesario.

En el diagrama de bloques se ha organizado en distintos bloques las funciones y diseños, en un bloque la comunicación, en otro alarmas, comportamiento de actuadores, bombas, etc. Dentro de esa clasificación también se pueden discernir los distintas estructuras entre ellas la más utilizada “While loop” una estructura que repite la lectura y escritura programada en cada ciclo del PLC de todo lo que haya dentro de dicha estructura.

VII. PROCEDIMIENTOS Y DESARROLLO

1. CONOCIMIENTO DEL PROGRAMA

Primero describiremos de manera general el programa, para más tarde ir especificando los avances más importantes desarrollados durante mi periodo de trabajo, en primer lugar se encuentra el panel de control que muestra diversas pantallas superpuestas, con las que se podría monitorear y controlar la instalación.

La primera pantalla “Configuración” (Fig. 16) se trata de la pantalla donde se tiene el manejo y configuración del ensayo que se va a realizar, como veremos más adelante, detalladamente, gracias a las mejoras podrá ser tanto telemáticamente como presencialmente, constara en la sección izquierda de habilitador/deshabilitador de panel frontal, además de la elección de modo “carga/descarga” para poner en funcionamiento el ensayo o en caso contrario refrigerar la estación, modo de arranque manual o automático, configuración de circuito de colectores y acumuladores, configuración de bombas, configuración de programación horaria.

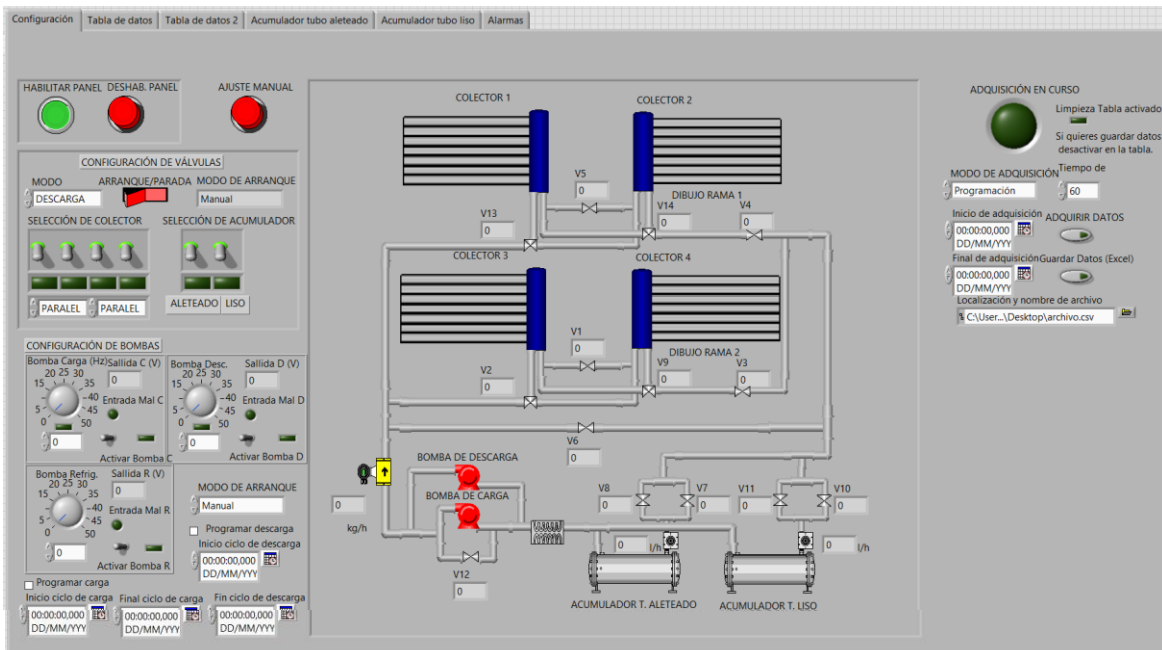


Fig. 16-Captura de panel frontal en el VI del programa principal desarrollado para controlar las instalaciones.

En el sector central se muestra un esquema dinámico de las instalaciones, que mostrara en funcionamiento con tonos verdes y cambios de color, las bombas, actuadores, acumuladores y tuberías que están en funcionamiento durante el ensayo, además de monitorear el caudalímetro.

En la sección derecha se observa la configuración de adquisición de datos y los parámetros de configuración automática horaria también además de donde se quieren almacenar (Fig 13). En las dos siguientes pantallas “Tabla de datos” y “Tabla de datos 2” se muestran la lectura de los más de 250 elementos de lectura (termopares, caudalímetros, sensores...) por eso para mayor facilidad de búsqueda y monitores en tiempo real se añadieron dos tablas de datos semejantes (Fig. 17, Fig. 18).

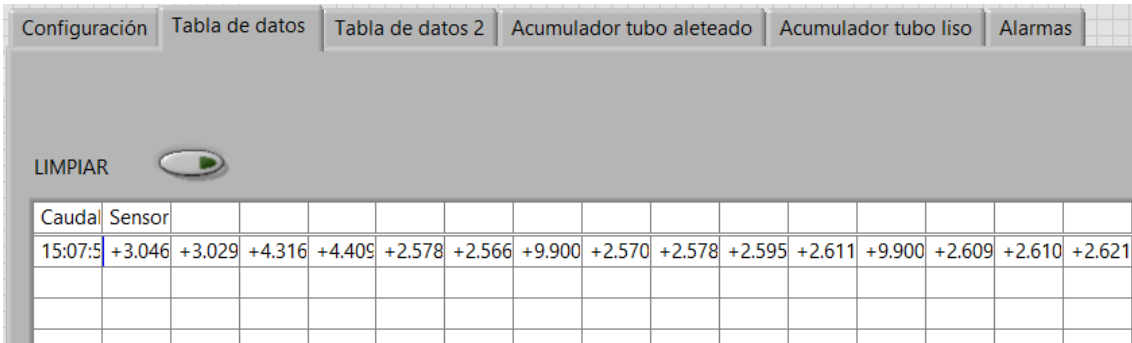


Fig. 17-Primera tabla de datos, se actualiza en tiempo real.

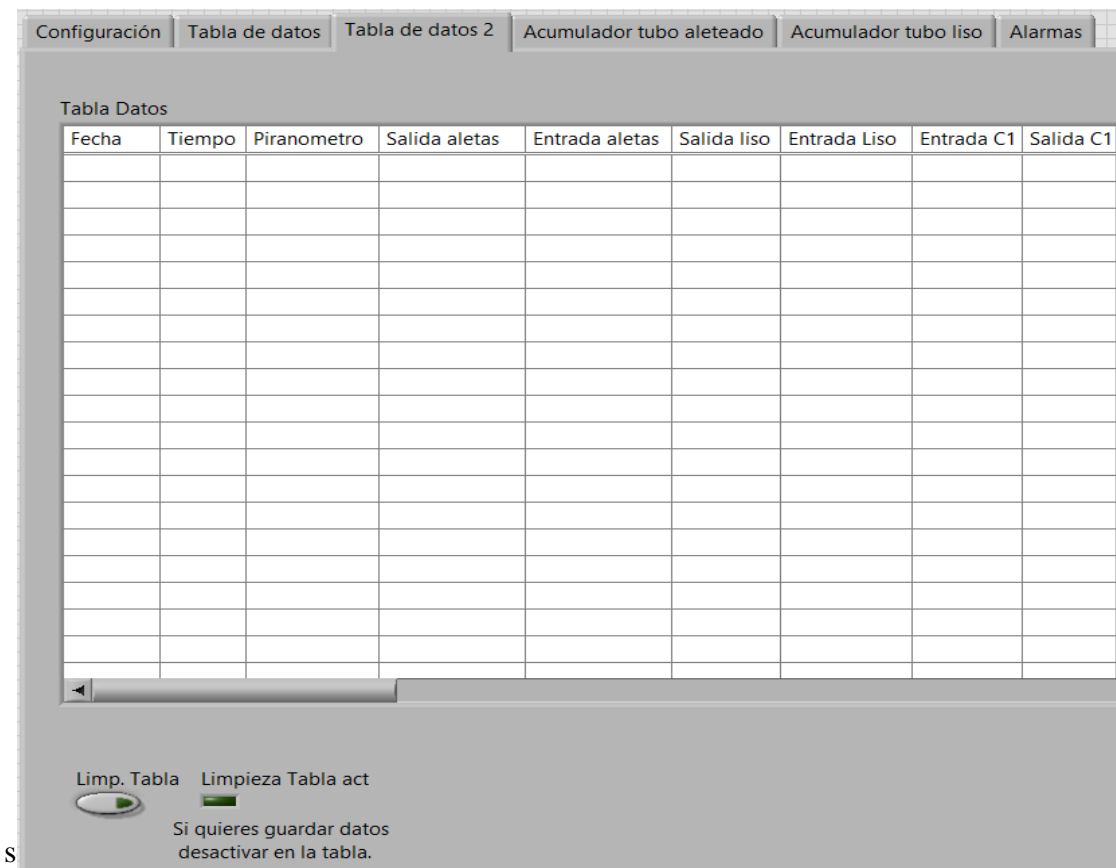


Fig. 18-Segunda tabla de datos con títulos de variables.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

En la pantalla “Acumulador tubo aleteado” (Fig. 19) y “Acumulador tubo liso” se utiliza para monitorear en tiempo real los termopares en los acumuladores.

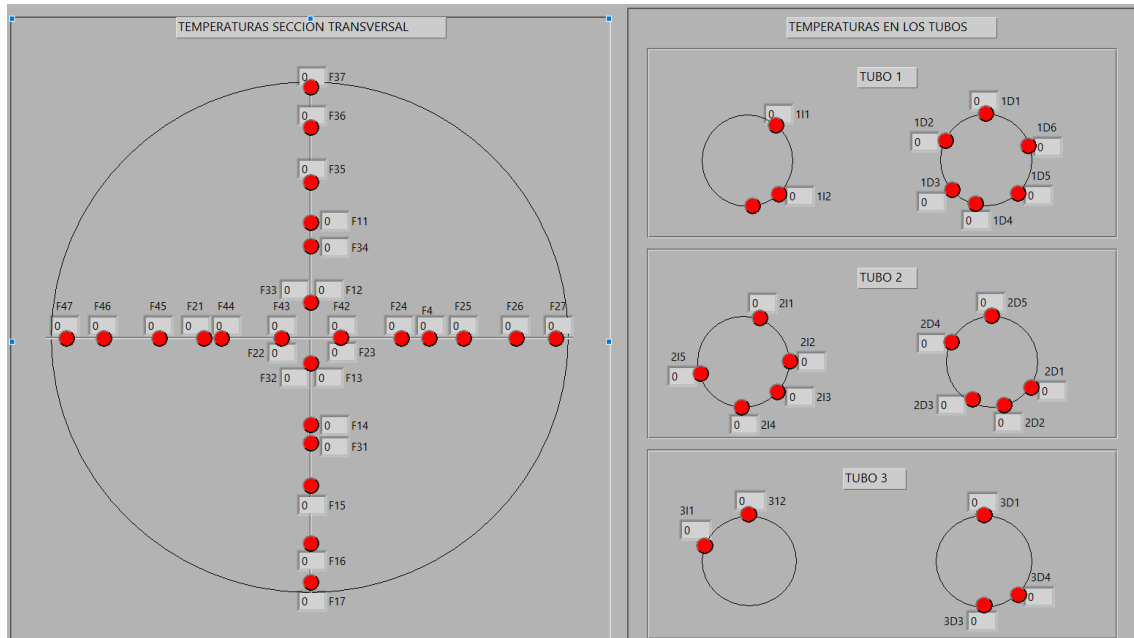


Fig. 19-Lectura de termopares en el acumulador aleteado.

Por último nos encontramos con la pantalla “Alarmas” (Fig. 20) donde se nos muestra la configuración de las alarmas, y temperatura en la entrada a los acumuladores.

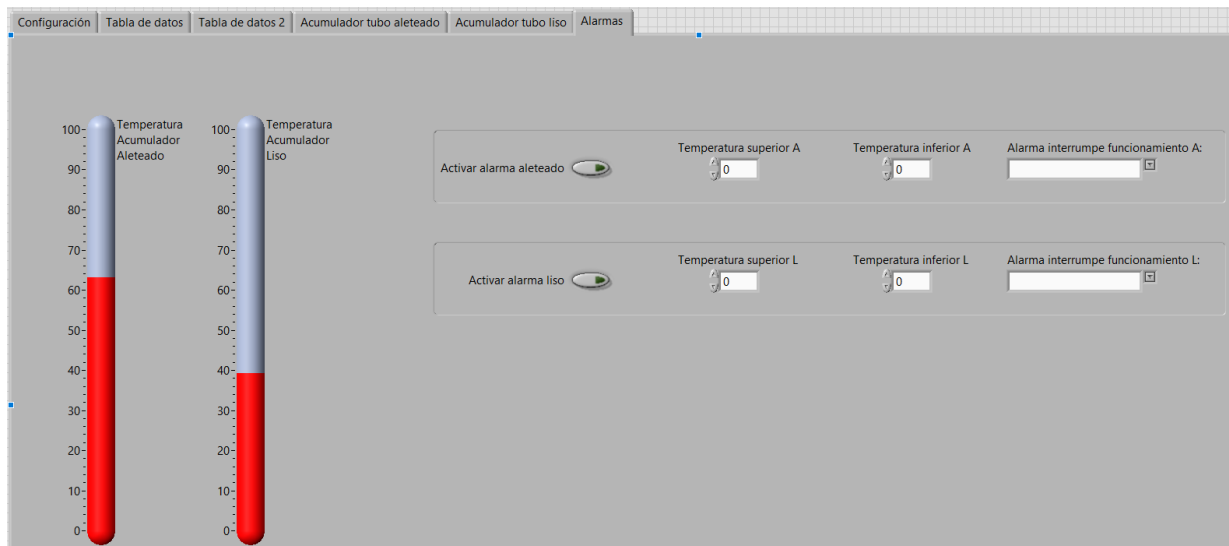


Fig. 20-Pantalla de configuración de alarmas.

2. CONTROL DE BOMBAS Y PARAMETROS

En primera instancia, el control de bombas era rudimentario, de forma manual y presencial a través de los controles del variador. El primer paso fue diseñar y montar circuito para el control de las bombas desde el PLC, para ello se utilizó un circuito sencillo teniendo en cuenta la baja potencia de salida del PLC lo cual le afectaba a la impedancia de entrada de los relés.

Tras esto, se propuso el diseño de la programación del control de bombas (Fig. 21) a través de LabView. La interfaz gráfica está formada por tres potenciómetros y display de entrada que controlan la frecuencia de las bombas, un selector que habilita o deshabilita por completo el variador y la bomba.

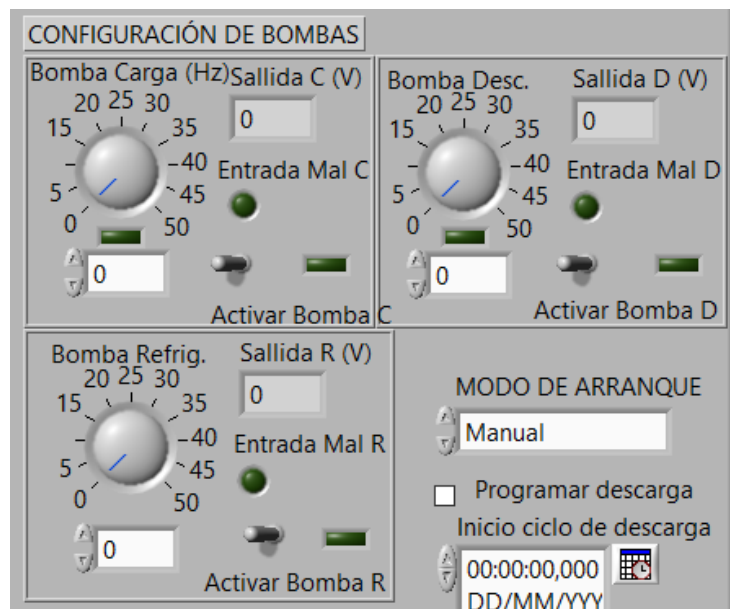


Fig. 21-Configuración de bombas en panel de control.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

En el diagrama de bloques se realizó en primer lugar la programación manual de las bombas y su asociación a las salidas utilizadas, incluyendo eso en una estructura “Case” (estructura basada en dos pantallas superpuestas que se alternan según el valor de un booleano externo a esa estructura, en este caso con la salida de modo de arranque manual o programación horaria). El valor de los potenciómetros se ve primero anulado en caso de no estar activada esa bomba, tras eso se utiliza una delimitación de valores entre 0 y 50 Hz, por último se utiliza una adaptación a la salida del PLC en el caso de la bomba de carga y descarga, es una salida de tensión de 0-10 V, por eso se adaptó para que correspondiese el 0 al 0 y el 50Hz a los 10V, en cambio en el caso de la bomba refrigeradora es una salida de intensidad (4-20 mA) por lo cual se llevó una adaptación diferente, y luego en el montaje se utilizó un circuito divisor de tensión para utilizar el voltaje pertinente (0Hz serían 4 mA, y 50 Hz serían 20 mA) (Fig. 22).

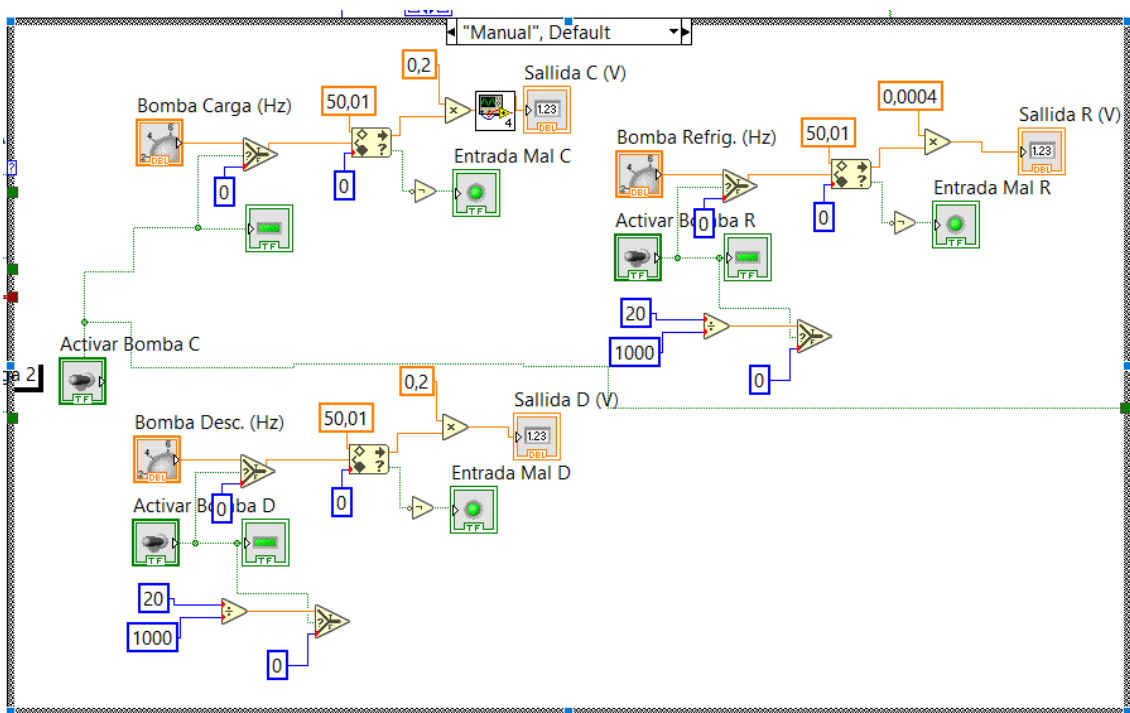


Fig. 22-Diagrama de bloques para el control de las bombas manual.

3. PROTOCOLO DE INICIO Y AYUDA

Para un correcto funcionamiento y utilización del programa, teniendo en cuenta las variaciones en el equipo de laboratorio, se creó un protocolo de inicio y ayuda para evitar en la medida de lo posible errores. En la que se detalla las pautas que se deben seguir de manera secuencial para un correcto funcionamiento. Además de otras ayudas como no activar limpiador de tablas mientras se está almacenando datos de un ensayo, si se utiliza la programación horaria dejar toda la configuración de ensayo, selección de

colector, acumulador, bomba, etc. Antes de la hora programada para su inicio automático.

El protocolo de inicio (Fig. 23) consta de dos mensajes (Fig. 24, Fig. 25) en cadena que te informan del proceso de puesta en marcha adecuado para llevar a cabo un ensayo.

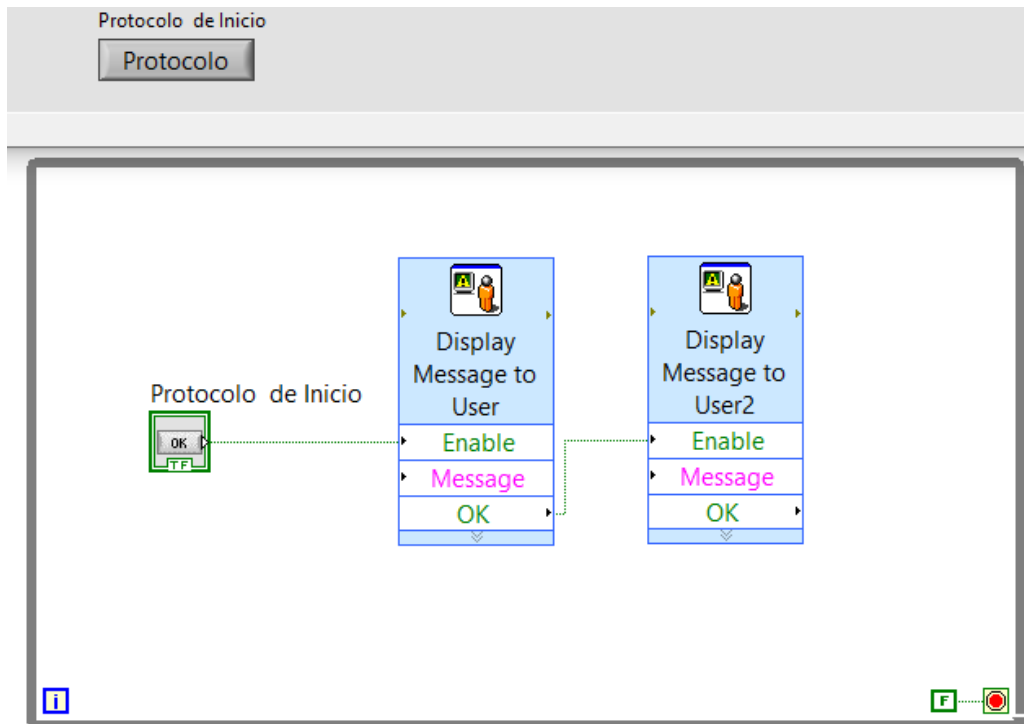


Fig. 23-Programación de protocolo de inicio

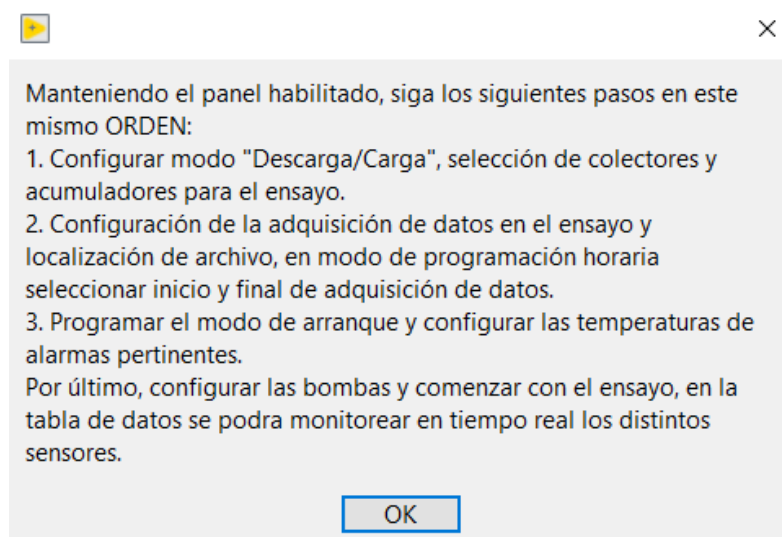


Fig. 24-Primer mensaje de protocolo de inicio

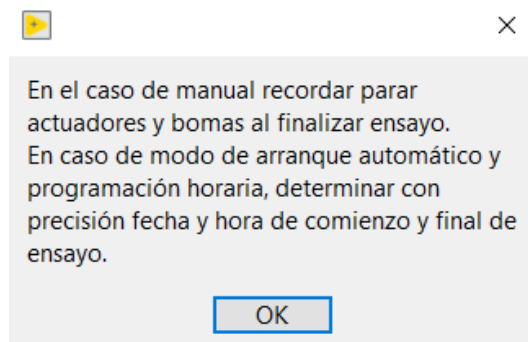


Fig. 25-Segundo mensaje de protocolo de inicio

4. MEJORA SISTEMA AUTOMÁTICO Y MANUAL

En el comienzo, el sistema automático y manual estaba empezado, pero había fallos en el funcionamiento real, el sistema automático de programación horario no estaba hecho y también había que depurar la programación ya hecha. El esquema de válvulas, su representación, salidas reales de las válvulas y su montaje se encontraba ya hecho, por lo que se procedió a su depuración, control desde el panel frontal y diseño de la programación horaria, para todo ellos desarrollamos un sistema de programación conmutacional centrado en la estructura “Case” eso nos permite en un mismo espacio del diagrama de bloques tener más de una estructura según si se elige desde el panel frontal las distintas opciones de acumuladores, selectores, modo de arranque, configuración de bombas...

Logrando así conectar un puzzle secuencial, formado por todas las estructuras “Case” interconectadas. Utilizando los inicios de fin e inicio de ciclo, modo de arranque y el bloque de “fecha y hora actual” logramos crear un bloque superpuesto al de configuración de bombas diseñado para definir los ciclos de funcionamiento de bombas en programación horaria (Fig. 26).

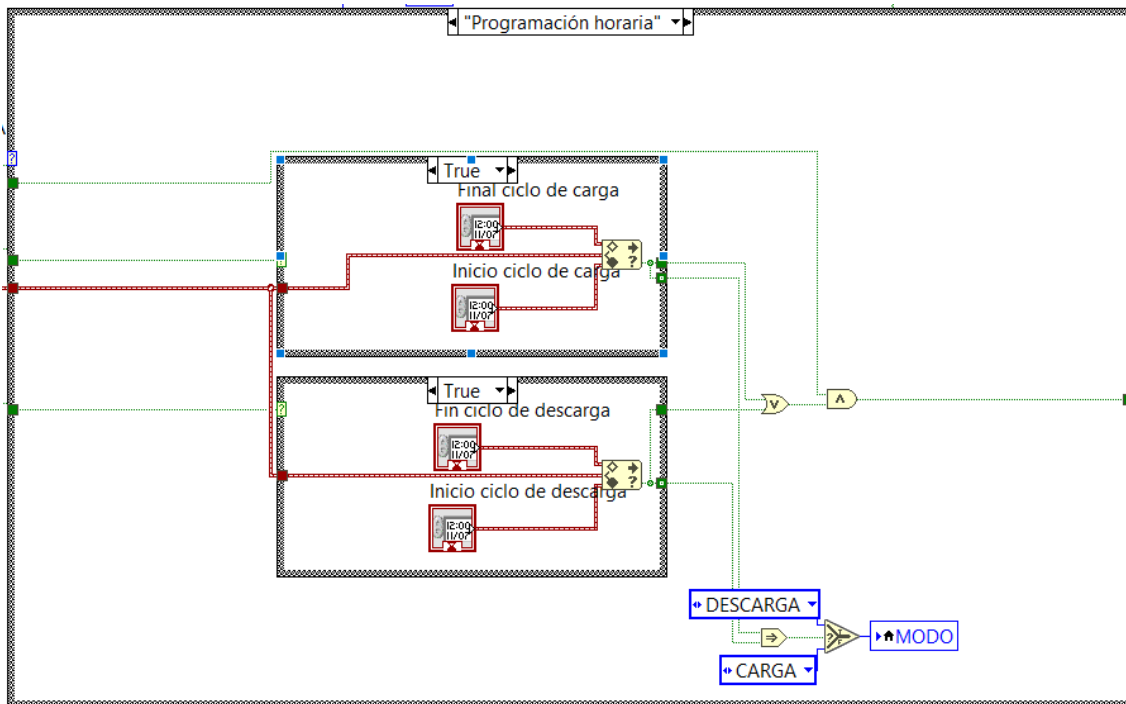


Fig. 26-Estructura case programación horaria en configuración de bombas (diagrama de bloques).

Para la activación de los distintos actuadores encargados de conectar los colectores en serie o paralelo, los acumuladores, etc. Se desarrolló un circuito lógico que iba activando y desactivando salidas según la combinación elegida. El primer boceto era demasiado extenso por lo que se fue depurando en distintas VI externas asociadas al programa principal para mejorar el funcionamiento, reducir memoria y tener una mejor comprensión y modificación para el futuro (Fig. 27).

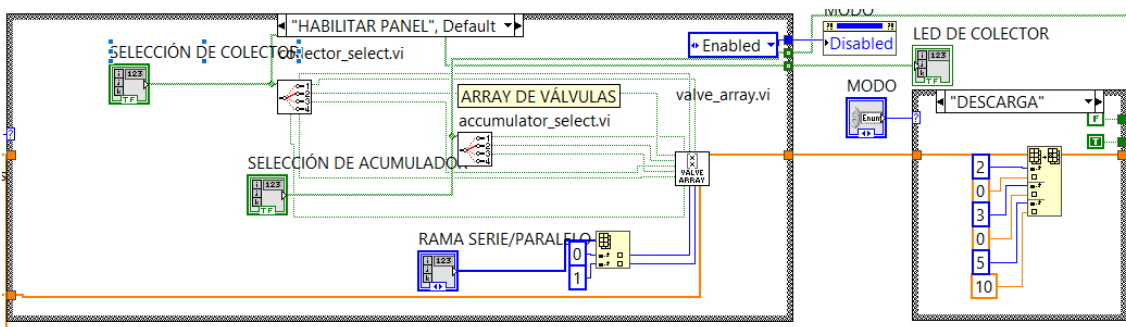


Fig. 27-Estructuras case encargadas de habilitar panel y elegir modo de arranque, llamar las subrutinas VI asociadas para su debida conexión y activación de actuadores.

Utilizando “arrays” o vectores logramos modificar salidas y configuraciones de manera más simplificada y ordenada, asignando dentro de un vector de manera ordenada todos los actuadores del circuito colector/acumulador (Fig. 28).

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

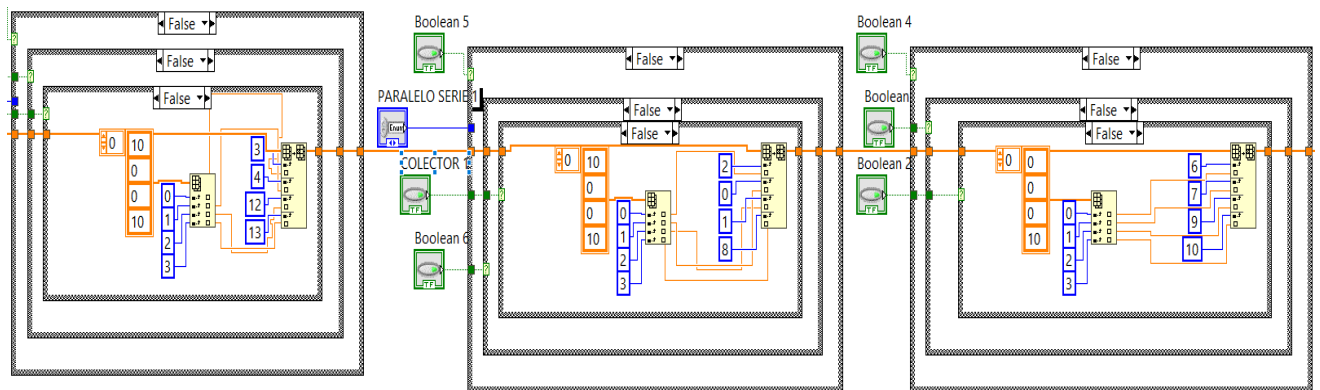


Fig. 28-Subrutina VI dedicada a la configuración del vector de actuadores.

5. ARRANQUE TELEMÁTICO

Uno de los principales problemas a resolver era la necesidad de operarios en las instalaciones para poder llevar a cabo ensayos, gracias al trabajo de Zamora y Belmonte, se incluyeron mejoras necesarias como la utilización de programas de escritorio remoto para controlar el ordenador de manera telemática, y el correcto diseño y cableado de sensores/actuadores que hacen que se pueda monitorear casi por completo toda las actividades del ensayo de forma remota.

Los siguientes pasos fueron los actuadores necesarios para controlar los variadores asociados a las bombas (Como vimos anteriormente en el punto 2), el problema era conseguir accionar con una señal de mando de poca potencia, actuadores como los variadores que son señales de potencia, para ello se diseñó y construyó un circuito con relés, posteriormente se incluyó un protocolo de inicio (Punto 3) y en software lo principal fue asociar esas nuevas salidas que serían habilitador de variador y potenciómetro para regular la frecuencia del variador en cada caso (Fig. 29).

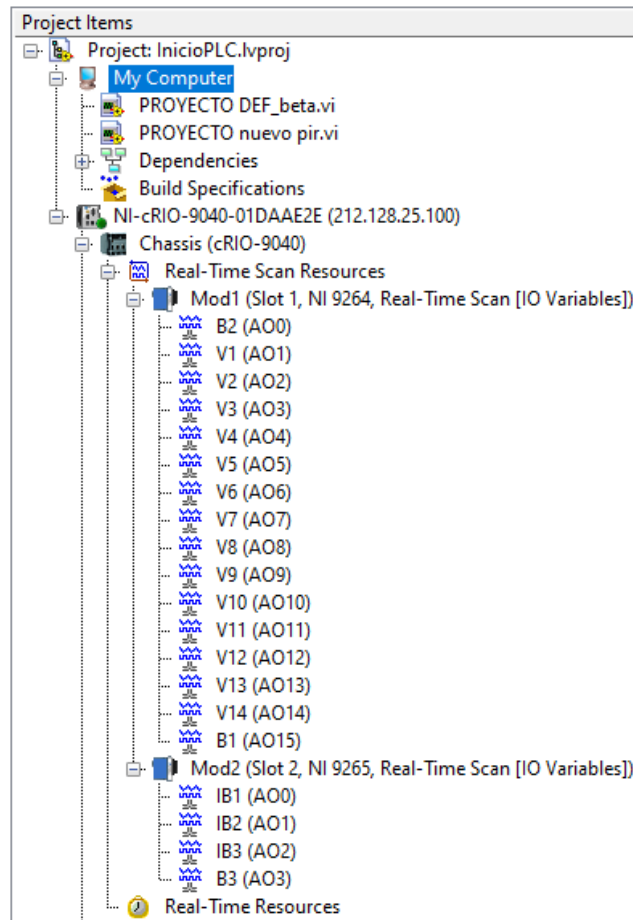


Fig. 29-Distribución de salidas físicas asociadas al programa

Todas estas modificaciones sumadas al diseño de software para la programación horaria (Punto 4) y las mejoras en el arranque automático hacen posible el arranque telemático, aunque para ello se hubo que incluir todas las salidas físicas en el programa.

6. ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos en los ensayos siempre presento problemas, solucionándolo temporalmente con la utilización del programa asociado al adquisidor de datos, esto genera varios inconvenientes:

- Cambio de interfaz gráfica perdiendo de vista la monitorización, y forzando las instalaciones informáticas.
- No comunicación adecuada entre adquisidor de datos y LabView.
- Dificultad para configurar la adquisición de datos, localización, tiempo durante el que se adquieren datos (duración de ensayo), etc...

Todo esto dificultaba la adquisición de datos y aun cuando el funcionamiento remoto se encontró operativo, requería la constante supervisión de un operario, por lo que se llevó

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

a cabo una mejora en la comunicación con el adquisidor de datos, lo que permitió tanto monitorear como más adelante guardar los estados de los sensores y actuadores.

Para ello se diseñó un circuito de estructuras secuenciales que permite respetar la velocidad y tiempos de lectura del adquisidor, y así obtener todos los datos en un ciclo secuencial con el menor retraso/delay posible. Primero se programó la configuración de la adquisición de datos (Fig. 30) donde se declara todos los tipos de actuadores, sus características básicas y la cantidad de registros que necesitan.

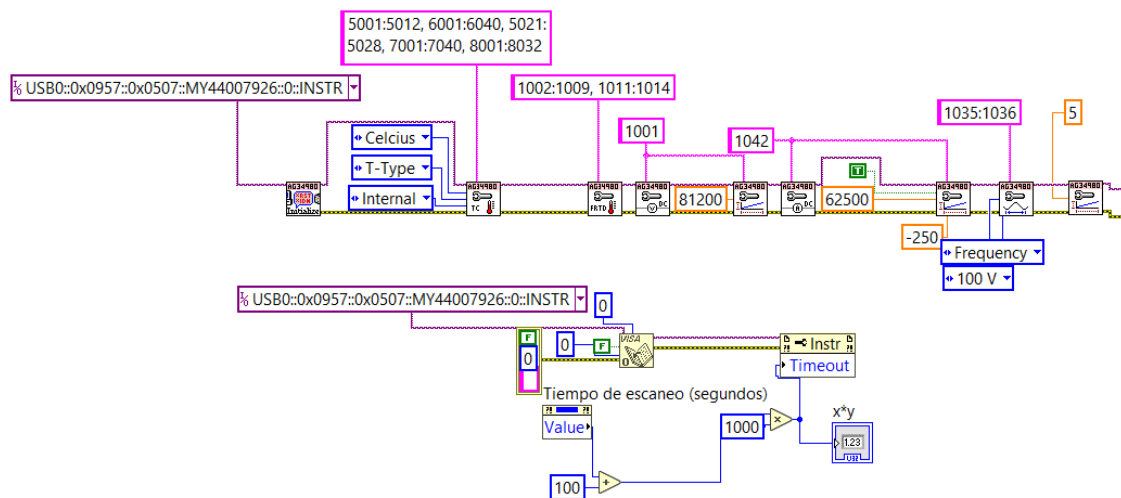


Fig. 30-Configuración de la instrumentación de lectura

Debido a la gran cantidad de sensores y sobre todo termopares, el circuito secuencial (Fig. 31) ocupa demasiado espacio para que se aprecie con precisión en una sola imagen, pero aquí se observa cómo se van repartiendo sensores en los distintos cuadros secuenciales separados por un delay o retraso de tiempo.

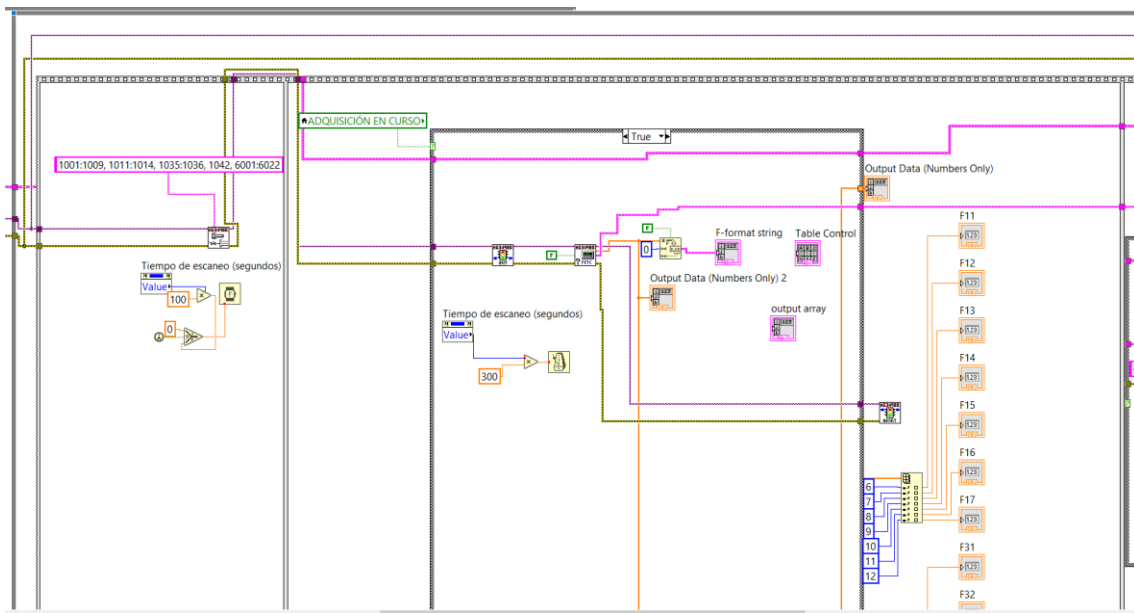


Fig. 31-Parte del circuito secuencial de lectura de instrumentación

Para mejorar la maniobrabilidad del programa se decidió un sistema que permitiese cambiar los tiempos de espera o lo que es lo mismo el tiempo que dedicamos al escaneo de sensores, esto se consiguió dedicando una variable externa “Tiempo de escaneo (segundos)” para poder añadir desde el panel frontal sin incurrir en la programación el tiempo total dedicado a los sensores, esto planteo el problema de cómo repartir ese tiempo ya que cambiar el orden de tal número de sensores se descartó por la magnitud de sensores, así que se preparó una operación aritmética básica para repartir el tiempo y convertirlo a la vez en milisegundos, se utilizó un reparto proporcional directo, a mayor número de sensores en esa etapa mayor porcentaje de tiempo respecto del total asignado en el panel frontal.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

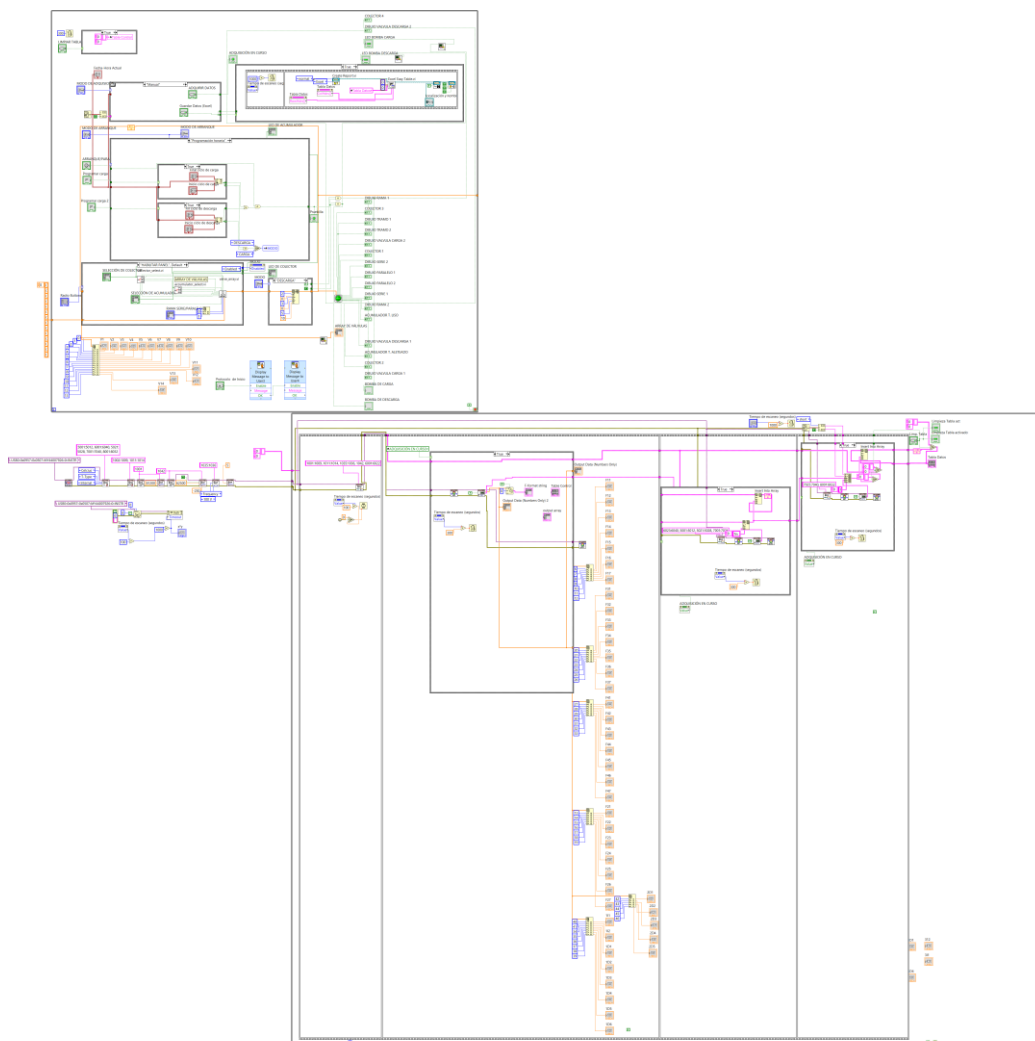


Fig. 32-Imagen con zoom out de parte central del programa de manipulación de actuadores y adquisición de datos

7. MEJORA DE INTERFAZ

Tras la debida depuración de software, corresponde una depuración y mejora estética del panel frontal, intentando lograr que la interfaz gráfica sea intuitiva y manejable por operarios de distinto nivel.

Para ello en primer lugar se separaron las zonas de trabajo en distintos paneles, y dentro de cada uno se hicieron secciones fácilmente diferenciables, ajustar iconos y títulos, además de la ayuda que te ofrece el protocolo de inicio.

Se revisó el código buscando duplicación de variables, o bloques obsoletos o fuera de funcionamiento, logrando así aligerar en cierta medida el programa.

En el panel de configuración se organizó de manera que en la columna izquierda perceptiblemente diferenciado por zonas, se encuentre configuración de válvulas, habilitador de panel, configuración de bombas, modo de arranque y en caso de utilizar el arranque automático con programación horaria, display donde insertar fecha y hora de inicio y fin de ensayo. En el centro el esquema de la instalación, y a la derecha la configuración de adquisición de datos.

Se revisó y actualizo la imagen de esquema de la instalación, es importante la titulación en cada una de las variables y apartados de manera que no se necesiten conocimientos previos para saber interactuar con el programa, y ver en todo momento a tiempo real los actuadores, colectores, acumuladores y circuito activo, utilizando para ello variables booleanas asociadas a los iconos logrando que cambien de color cuando su variable asociada este activa (Fig. 33).

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

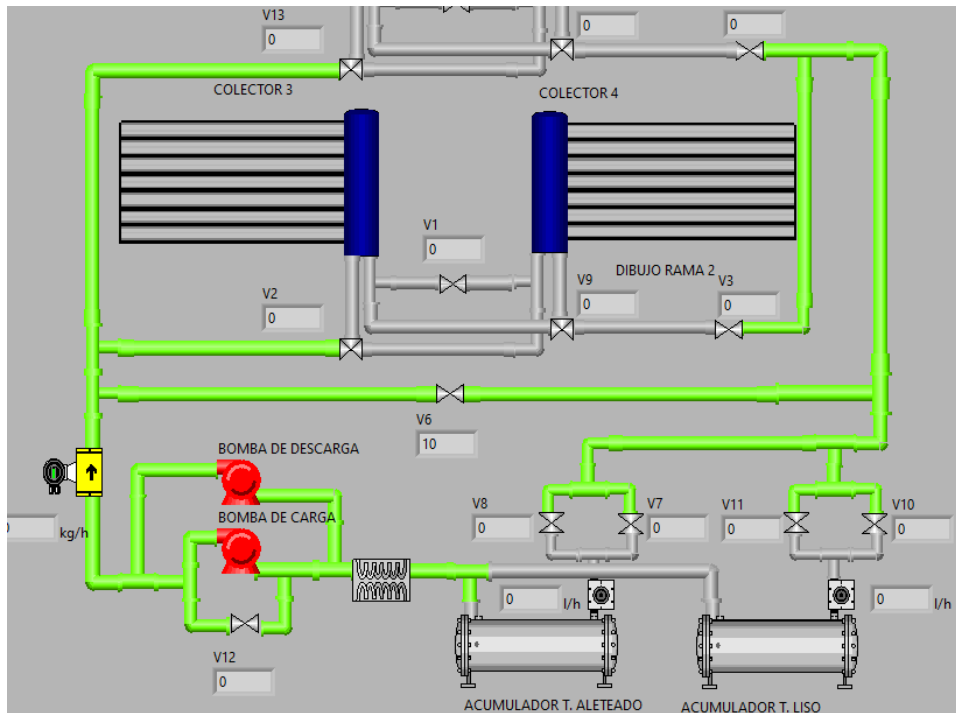


Fig. 33-Esquema interactivo de la instalación en interfaz gráfico

Como se puede apreciar en el panel “Acumulador tubo aleteado” (Fig. 34) se dibujó una serie de diagramas para representar tanto la sección transversal como los tubos que atraviesan el acumulador etiquetando en cada punto los termopares más representativos en tiempo real, logrando así en un solo panel tener información suficiente para saber el estado en tiempo real del acumulador aleteado.

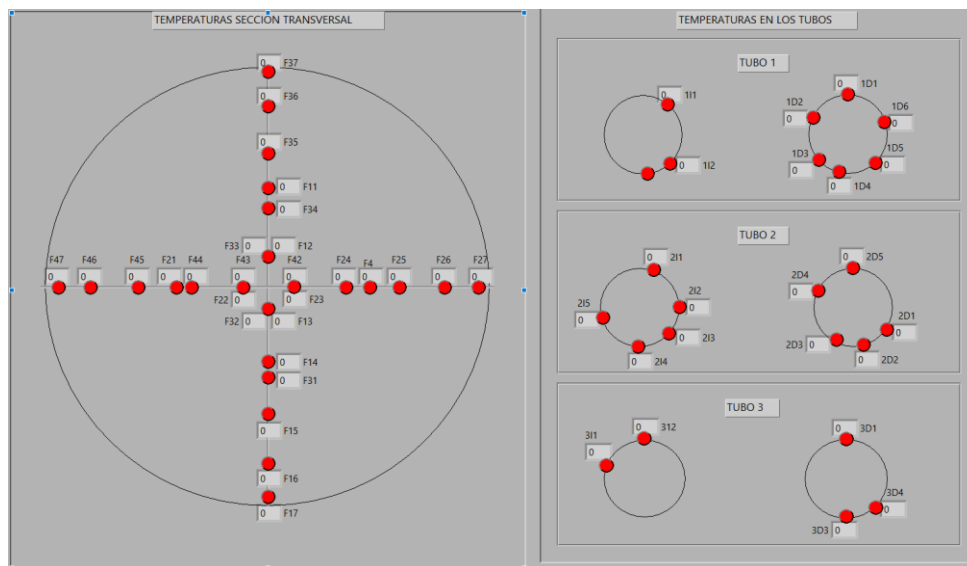


Fig. 34-Diagrama de control de temperaturas en acumulador aleteado

VIII. ENSAYOS, ERRORES Y ALTERNATIVAS

La tendencia en los ensayos, siguió un orden primero comprobación de funcionamiento de las zonas de trabajo por separado (válvulas, bombas, variadores, PC, electrónica,...), en segundo lugar empezar los ensayos generales, con menos software y de manera más manual, sacando los datos directamente del adquisidor de datos y requiriendo mucho trabajo manual y presencial de los técnicos de laboratorio.

Con el tiempo y desarrollo del proyecto se fue depurando tanto la instalación como la programación logrando ensayos más completos, eficientes y telemáticos, depurando software y solucionando errores, como se percibe en las gráficas obtenidas durante uno de los ensayos con el acumulador de espuma metálica, logrando evaluar la energía almacenada en función del tiempo (Fig. 35) o con el control en tiempo real durante los ensayos a través de la interfaz gráfica de cada uno de los acumuladores (Fig. 36).

Uno de los primeros errores surgió en las salidas, no habían suficientes salidas de tensión, una vez que se utilizaron las de intensidad algunos relés y actuadores presentaron problemas de impedancia de entrada, que solucionamos con un divisor de tensión, y cambiando la configuración de entrada en los variadores.

En la adquisición de datos surgieron varios problemas, el primero fue la gran acumulación de datos hizo que el tiempo de lectura excediese el tiempo máximo de ciclo creando problemas desajuste, en algunas ocasiones se rompía los ciclos de funcionamiento del programa (watchdog) creyendo que se había metido en un bucle cierra el programa, en otras faltaban datos por leer.

La solución a dicho problema fue crear una estructura secuencial con retrasos (delays), de manera que le diera tiempo a leer todos los datos controlando los tiempos para ello, se separaron los datos en distintas secuencias, y se les descompuso el tiempo total de manera proporcional al número de datos que había dentro de esa secuencia.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

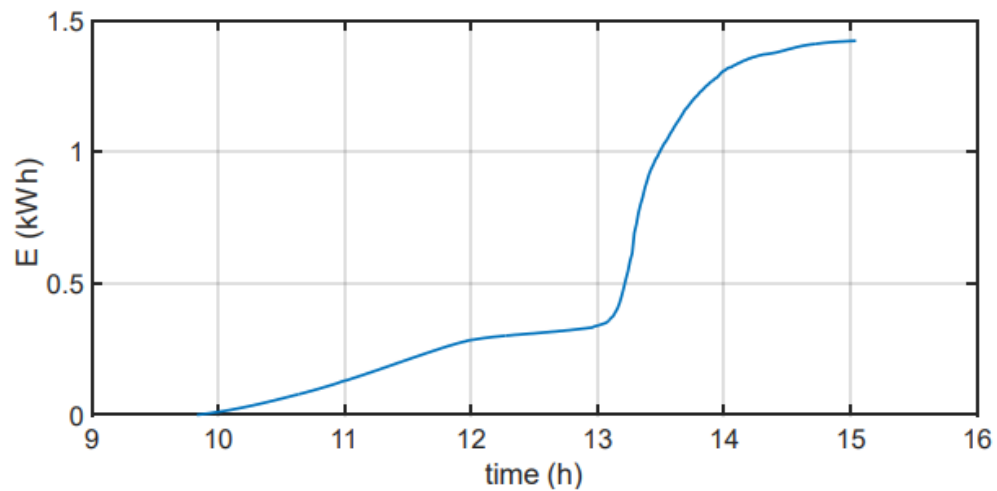


Fig. 35-Energía almacenada durante ensayo utilizando el software desarrollado

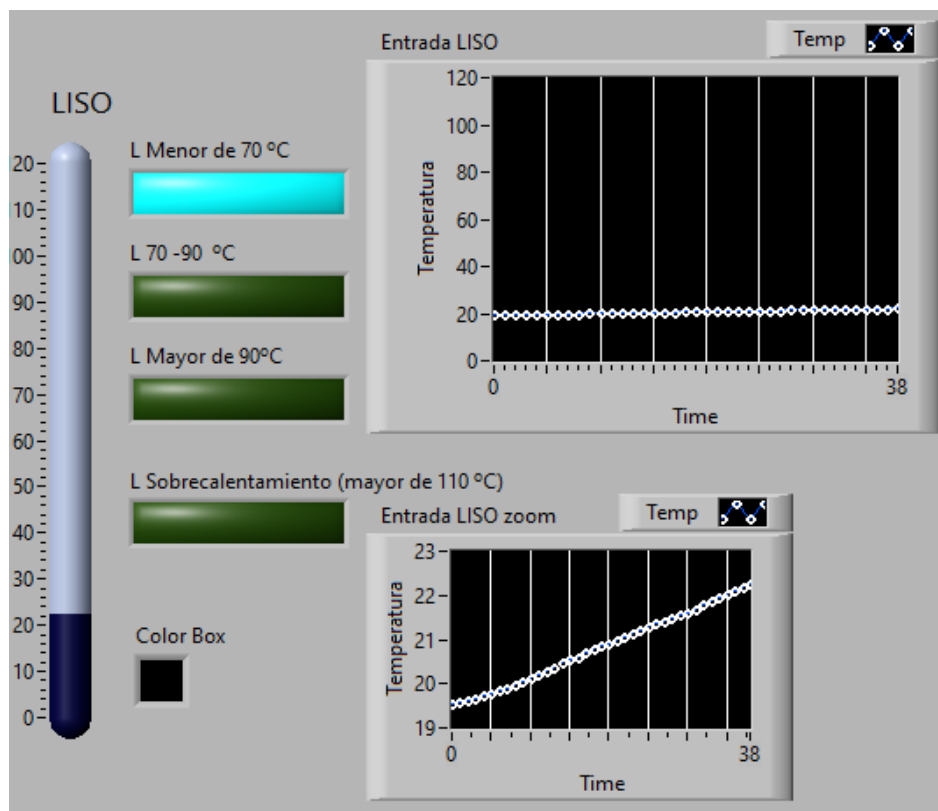


Fig. 36-Control de temperatura durante ensayo en acumulador de calor liso

IX. ESTUDIOS DERIVADOS DE ESTE TRABAJO

Gracias al trabajo del equipo de investigación de mecánica de fluidos y transmisión del calor, y a los avances durante el desarrollo de este trabajo, han sido posibles otros proyectos y estudios entre los que se destacan:

- *Diseño, construcción y ensayo de un sistema de acumulación de calor latente de origen solar térmico basado en el empleo de espumas metálicas de aluminio* de Alberto Egea Villareal, en este estudio se puede observar la utilización de las mejoras anteriormente citadas para desarrollar y comparar el funcionamiento de un acumulador de calor relleno de espuma metálica con el fin de mejorar la difusión y transmisión del calor (Fig. 37). [18]

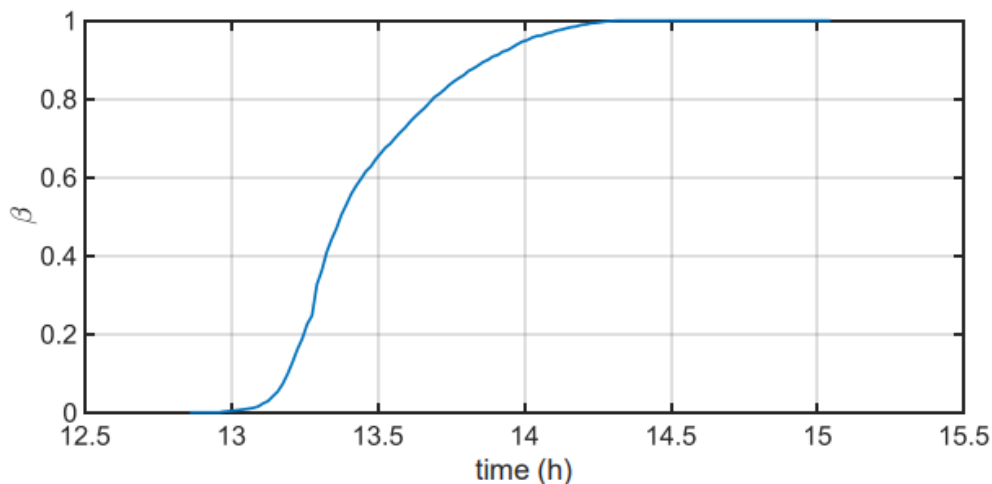


Fig. 37-Evolución de la fusión de parafina en ensayo (fracción líquida)[18]

Como se muestra en la Fig. 37, la utilización de espuma metálica logra un proceso de fusión relativamente alto en comparación con otros acumuladores de calor probados durante el mismo proyecto (ACCUSOL), para realizar mediciones más precisas para estos ensayos fue clave la disposición secuencial en la adquisición de datos como vimos anteriormente, también integrar en la programación la posibilidad de un nuevo acumulador. Además de aumentar la facilidad de ensayo y control de las instalaciones a través del modo automático y telemático. Objetivos específicos de este trabajo.

- *Caracterización de un sistema de almacenamiento latente pasivo* de Alejandro Gil Morales, centrado en la viabilidad de utilizar el proyecto al que pertenece este trabajo como una solución constructiva viable para integrarla en un banco de captadores solares térmicos de baja y media temperatura.[20]

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

- *Caracterización de un sistema de almacenamiento latente pasivo mejorado* de José Alberto Cros Pérez, basado en la comparación de distintas tecnologías para la acumulación de calor, y a través de ensayos medir la eficiencia de estos.[21]
- *Evaluación experimental de la mejora en el almacenamiento de energía solar con materiales PCM mediante modificaciones en el diseño de los intercambiadores de calor en condiciones de irradiancia baja y media* de Laura Muñoz García, especialmente desarrolla el análisis de ensayos realizados con diferentes acumuladores, condiciones climatológicas y número de colectores.[22]

X. CONCLUSIONES

La principal conclusión de este TFG es que ha conseguido completar los objetivos propuesto de depurar y mejorar el software, y funcionamiento del control de ensayos este objetivo se ha llevado a cabo implementando hardware y software que permita más versatilidad en el control (telemático/presencial y manual/automático) y mayor precisión y cantidad de datos, mejorando así la capacidad de realizar ensayos satisfactorios.

- Incluir y adaptar el tercer acumulador en el programa e interfaz.

El tercer acumulador (acumulador de espuma metálica) se incluyó para comparar su eficiencia al ampliar la superficie de transmisión de calor en contacto con la parafina.

- Cableado de variadores y relés.

La conexión del primer variador era rudimentaria pues no estaba contemplada la automatización desde el programa, y faltaba la conexión del segundo variador al completo, y también el variador de la bomba de refrigeración (manual), se utilizó para ello una configuración de variador basado en el control de la frecuencia (0 a 10V) y una señal habilitadora de 24V. Para la primera utilizaremos la señal de control del NI-9263 “Modulo de salida de voltaje” y la controlaremos por el software anteriormente comentado, logrando insertar valores en Hz tanto por display como en un potenciómetro desde la interfaz, que internamente se transforman para lograr una salida adecuada y proporcional al nivel de voltaje necesario para lograr la frecuencia requerida.

Para el segundo, la señal habilitadora de 24V, consiste en una señal que activa la salida trifásica del variador a la bomba con la frecuencia que en ese momento le llegue desde la otra señal de mando. Al ser una señal de 24V el módulo de salida de voltaje NI-9263 (0...10V) o el módulo de salida de corriente NI-9265 (0...20mA) consideradas señales de control con poca potencia no eran suficientes, por ello recurrimos a un circuito básico de paso de control a potencia por medio de un relé cuya fuente de tensión de 24V sería el propio variador, y la activación por medio de los módulos, aunque para corregir en el caso de la salida de corriente un problema de impedancia de entrada, se decidió crear un circuito divisor de tensión teniendo en cuenta dicha impedancia. Logrando así controlar por completo de forma telemática desde la interfaz gráfica todos los aspectos de la bomba gracias al software.

- Desarrollar la adquisición de datos.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

La adquisición de datos era uno de los objetivos principales, mejorar la captación, agregar más elementos de lectura, lograr la lectura en tiempo real de grandes cantidades de datos, programar la configuración para que sea más intuitiva, elegir ruta de guardado, modo de adquisición y tiempo dedicado a la adquisición.

Para ello se añadió una configuración de lectura de hardware más amplia y con más espacio dedicado, para solucionar el problema de lectura de datos se diseñó unas estructuras secuenciales que permiten separar el tiempo de lectura de manera adecuada y proporcional a la cantidad de datos leído en cada secuencia. Programación de una configuración intuitiva, también un modo de programación horaria creada a través de comparadores con la hora real y un circuito lógico, logrando que empezara a adquirir datos y a finalizar en la fecha y horas señaladas.

Los datos se guardan en un documento Microsoft Excel en orden cronológico logrando que sea fácil de organizar y tratar los datos posteriormente, para interpretar los ensayos de manera eficiente. Los datos para agilizar se trasladaron en bancos de datos organizados por vectores que se definen en la configuración de datos a adquirir en la subpanel de programación o diagrama de bloques. La configuración se define en el primer ciclo.

- Mejorar la representación de los termopares en la interfaz.

Para cumplir este objetivo, con ayuda de Alberto Egea Villareal y Antonio Zamora Jiménez se diseñó una vista de sección transversal de los tubos de intercambio de calor y otros con los tres tubos por separado.

- Crear un protocolo de inicio.
- Mejorar el sistema de funcionamiento automático y crear la función “programación horaria” para así poder preparar el inicio y fin de ensayos, a unas horas previstas o por control remoto.
- Desarrollo de almacenamiento de datos estructurados en Microsoft Excel.
- Adaptación de válvulas e interfaz al ampliar la instalación.
- Alarmas y control de temperatura.

A partir del trabajo desarrollado en este TFG se han hecho otros estudios recogidos en el TFM de Alberto Egea y los TFGs de Victor Lorente, Alejandro Gil, José Alberto Cros, Hajar Hammou y Laura Muñoz.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. J. Quispe, O. C. Balboa, J. O. García, and O. M. Morales, “Diseño y construcción de acumulador solar térmico mediante cambio de fase para optimizar el secado en un secador solar Quispe, K. J., Balboa, O. C., García, J. O., & Morales, O. M. (2019). Diseño y construcción de acumulador solar térmico mediante cambio d,” *Investigación*, vol. 27, no. 1, pp. 155–164, 2019.
- [2] M. Escobar, S. Cuervo, and S. Rincon, “Metodología para el diseño de un módulo de acumulación térmica usando materiales de cambio de fase (PCM) para un secador solar de túnel,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 17, no. 1, pp. 9–20, 2017.
- [3] A. Oliver, F. J. N. González, and A. G. Santos, “Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica,” *Mater. construcción*, no. 305, pp. 131–140, 2012.
- [4] F. G. Bellas, R. M. Unanue, and V. D. F. Fernández, *Lenguajes de programación y procesadores*. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces SA, 2016.
- [5] R. S. Florensa, “La energía solar en los edificios,” *Cuad. Arquít. Urban.*, pp. 29–37, 1975.
- [6] S. Bistoni, A. Iriarte, and L. Saravia, “Modelización de un acumulador de calor en lecho de agua,” *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 6, 2002.
- [7] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes: Fourth Edition*. 2013.
- [8] E. A. E. Eldessouky, “A long term system performance for a stratified solar storage container,” *Renew. energy*, vol. 3, no. 6–7, pp. 633–643, 1993.
- [9] J. B. Bates *et al.*, “Fabrication and characterization of amorphous lithium electrolyte thin films and rechargeable thin-film batteries,” *J. Power Sources*, vol. 43, no. 1, pp. 103–110, 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(93\)80106-Y](https://doi.org/10.1016/0378-7753(93)80106-Y).
- [10] M. M. El-Kassaby and A. A. Ghoneim, “Comparison of measured and predicted performance of different heat storage systems,” *Renew. energy*, vol. 3, no. 8, pp. 849–856, 1993.
- [11] J. I. Jodra, G. M. Viegas, G. A. San Juan, and C. A. Discoli, “Tecnologías modulares de climatización solar pasiva para el hábitat residencial y el de la producción,” 2018.
- [12] J. Jodra, G. Viegas, G. S. Juan, and C. Discoli, *Sistema acumulador/amortiguador térmico solar pasivo para para el acondicionamiento de espacios agro-productivos*. 2017.
- [13] H. Bernal *et al.*, “A Redesign Methodology to Improve the Performance of a

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE UNA INSTALACIÓN DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA MEDIANTE TECNOLOGÍA PLC

- Thermal Energy Storage with Phase Change Materials: A Numerical Approach,” *Energies* 2022, Vol. 15, Page 960, vol. 15, no. 3, p. 960, Jan. 2022, doi: 10.3390/EN15030960.
- [14] R. Paul, C. Shreesha, and S. Shinde, “Real time intelligent controller design for heat exchanger using labVIEW,” *Adv. Sci. Lett.*, vol. 22, no. 10, pp. 2623–2627, Oct. 2016, doi: 10.1166/ASL.2016.7025.
- [15] A. Zamora, “Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial Diseño de una instalación solar térmica para el abastecimiento energético de acumuladores de calor latente de tipo PCM,” 2019.
- [16] D. Fernández Esquivá, “Estudio de la transferencia de calor mediante convección natural durante la fusión de materiales de cambio de fase,” 2020.
- [17] A. García, R. H. Martín, and J. Pérez-García, “Experimental study of heat transfer enhancement in a flat-plate solar water collector with wire-coil inserts,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 61, no. 2, pp. 461–468, 2013.
- [18] A. Egea Villarreal, “Diseño, construcción y ensayo de un sistema de acumulación de calor latente de origen solar térmico basado en el empleo de espumas metálicas de aluminio,” 2020.
- [19] J. R. L. Vizcaíno and J. P. Sebastián, *LabView: entorno gráfico de programación*. Marcombo, 2011.
- [20] A. Gil Morales, “Escuela Técnica Superior de Ingeniería Caracterización de un sistema de almacenamiento latente pasivo,” 2021.
- [21] J. A. Cros, “Escuela Técnica Superior de Ingeniería Caracterización de un sistema de almacenamiento latente pasivo mejorado,” 2021.
- [22] L. Muñoz García, “Evaluación experimental de la mejora en el almacenamiento de energía solar con materiales PCM mediante modificaciones en el diseño de los intercambiadores de calor en condiciones de irradiancia baja y media.,” p. 266, 2021, [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg3-sum-vol-sp.pdf>.