



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Desarrollo de un programa de LabVIEW de adquisición de datos y control para bombas de calor agua-agua y aire-aire.

TRABAJO FIN DE MASTER

MASTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: HUASCAR R. MARTINEZ JAQUEZ
Director: FRANCISCO J. SANCHEZ VELASCO
Codirector: JOSE RAMÓN GARCÍA CASCALES



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 16/01/2020

Índice de Contenido

| | |
|--|----|
| Índice de Ilustraciones..... | 2 |
| Índices de Tablas..... | 4 |
| 1. Introducción..... | 5 |
| 1.1. Energías Renovables y Eficiencia Energética..... | 5 |
| 1.2. Marco de Referencia..... | 7 |
| 1.2.1. Bombas de Calor..... | 7 |
| 1.2.2. Bombas de Calor Aire-Aire..... | 13 |
| 1.2.3. Bombas de Calor Agua-Agua..... | 14 |
| 1.2.4. Refrigerantes..... | 15 |
| 1.2.5. Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)..... | 20 |
| 1.2.6. LabVIEW..... | 21 |
| 2. Objetivo..... | 24 |
| 2.1. Objetivo General..... | 24 |
| 2.2. Objetivos Específicos..... | 24 |
| 3. Descripción de la Instalación..... | 25 |
| 3.1. Bomba de Calor Aire-Agua..... | 25 |
| 3.2. Circuitos de la instalación experimental..... | 27 |
| 3.2.1. Circuito de Agua Fría..... | 27 |
| 3.2.2. Circuito de Agua Caliente..... | 28 |
| 3.2.3. Circuito de Aire..... | 29 |
| 3.2.4. Circuito de Refrigerante (Bomba de Calor)..... | 32 |
| 3.3. Instalación eléctrica y protecciones..... | 33 |
| 3.4. Instrumentación, equipos de, medición y adquisición de datos..... | 35 |
| 3.4.1. Equipos de Medición..... | 35 |
| 3.4.2. Equipos de Control..... | 37 |
| 4. Programa Base..... | 40 |
| 4.1. Descripción General Visual Programa en LabVIEW..... | 40 |
| 4.1.1. Control Ensayo..... | 40 |
| 4.1.2. Temperaturas del aire (conducto/cámara/ambiente)..... | 41 |
| 4.1.3. Temperaturas en el Coil..... | 42 |
| 4.1.4. Graficas..... | 42 |
| 4.1.5. Control PIDs..... | 44 |
| 5. Programas Secundarios de Bomba de Calor..... | 45 |
| 5.1. Programación Bomba de Calor Agua-Agua..... | 46 |
| 5.1.1. Panel Frontal de la configuración Agua-Agua..... | 49 |
| 5.1.2. Diagrama de Bloque..... | 53 |
| 5.2. Programación Bomba de Calor Aire-Aire..... | 58 |
| 5.2.1. Panel Frontal de la configuración Aire-Aire..... | 61 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.2.2. | Diagrama de Bloques | 65 |
| 5.3. | Controladores PIDs de los programas..... | 68 |
| 5.3.1. | Controladores PIDs requeridos por los programas..... | 68 |
| 5.3.2. | Programa auxiliar EZ-ZONE Configurator..... | 69 |
| 6. | Resultados: Pruebas y Ensayos | 71 |
| 6.1. | Prueba de “Interface de Ensayo”..... | 72 |
| 6.2. | Prueba de “Circuito de Aire” | 76 |
| 6.3. | Prueba de “Intercambiadores”..... | 78 |
| 6.4. | Prueba de “Gráficos”..... | 79 |
| 7. | Conclusiones | 81 |
| 8. | Anexos..... | 82 |
| 8.1. | Anexo A. Configuración Bomba de Calor Agua-Agua..... | 82 |
| 8.1.1. | Código fuente de la ventana de bloques de la configuración agua-agua..... | 82 |
| 8.1.2. | Datos complementarios de la configuración agua-agua..... | 90 |
| 8.2. | Anexo B. Configuración Bomba de Calor Aire-Aire..... | 91 |
| 8.2.1. | Código fuente de la ventana de bloques de la configuración aire-aire..... | 91 |
| 8.2.2. | Datos complementarios de la configuración aire-aire..... | 101 |
| 9. | Bibliografía | 103 |

Índice de Ilustraciones

| | | |
|----------------|---|----|
| Ilustración 1 | Energía primaria para calefacción y refrigeración, (European Commission, 2016) | 6 |
| Ilustración 2 | Eficiencia de distintos equipos de climatización, (European Commission, 2016)..... | 6 |
| Ilustración 3 | Esquema simplificado de una bomba de calor (Elaboración propia)..... | 9 |
| Ilustración 4 | Esquema simplificado de una bomba de calor en modo de calefacción (Elaboración propia). | 10 |
| Ilustración 5 | Esquema de Bomba de Calor Agua-Agua (Asociacion de Fabricantes de Equipos de Climatizacion, 2018)..... | 11 |
| Ilustración 6 | Esquema simplificado de una bomba de calor en modo de refrigeración..... | 12 |
| Ilustración 7 | Esquema simplificado de una bomba de calor aire-aire (Elaboración propia)..... | 13 |
| Ilustración 8 | Esquema simplificado de una bomba de calor agua-agua (Elaboración propia)..... | 14 |
| Ilustración 9 | Ejemplos de Refrigerantes en sus distintos contenedores. Recuperado de (Wikipedia, 2019). | 15 |
| Ilustración 10 | Progreso de las generaciones de los refrigerantes..... | 18 |
| Ilustración 11 | Interface de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos para una bomba de calor Aire-Agua. (Mompeán, 2018)..... | 20 |
| Ilustración 12 | Interface de sistema SCADA hecho en LabVIEW para bomba de calor Aire-Agua (Mompeán, 2018)..... | 21 |
| Ilustración 13 | Logo de LabVIEW de (National Instruments, 2000)..... | 21 |
| Ilustración 14 | Icono de Escritorio (Windows) de un VI de LabVIEW..... | 21 |
| Ilustración 15 | Diagrama de Bloques (Izquierda) y Panel Frontal (Derecha) de LabVIEW..... | 22 |
| Ilustración 16 | Ejemplo de SubVI (Elaboración propia)..... | 22 |
| Ilustración 17 | Diagrama de Bloques (izquierda) y Panel Frontal (Derecha) de un SubVI. (Elaboración propia) | 23 |
| Ilustración 18 | Panel Frontal de un sistema SCADA hecho en LabVIEW para una bomba de calor Aire- Agua (Mompeán, 2018) | 23 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 19 Fotografía del Circuito de Refrigerante y Circuito de Aire de la instalación..... | 25 |
| Ilustración 20 Circuito de Refrigerante de la Instalación..... | 25 |
| Ilustración 21 Unidad de Tratamiento de Aire y parte del conducto de salida. | 26 |
| Ilustración 22 Depósito de Agua del Circuito de Agua Fría y la máquina de refrigeración de la Instalación. | 27 |
| Ilustración 23 Intercambiador Agua-Refrigerante del Circuito de Refrigerante. | 28 |
| Ilustración 24 Depósitos de 750 y 50 litros del Circuito de Agua Caliente de la Instalación. | 28 |
| Ilustración 25 Unidad de Tratamiento de Aire, Conducto de Retorno y Cámara Climática del Circuito de Aire de la Instalación..... | 29 |
| Ilustración 26 Intercambiador Aire-Refrigerante dentro de la Cámara Climática. | 30 |
| Ilustración 27 Unidad Auxiliar de Refrigeración dentro de la Cámara Climática. | 31 |
| Ilustración 28 Unidades Auxiliares de Calefacción dentro de la Cámara Climática..... | 31 |
| Ilustración 29 Unidad Humectadora fuera de la Cámara Climática (Izquierda) y su entrada dentro de ella (Derecha)..... | 31 |
| Ilustración 30 Circuito de Refrigerante visto desde atrás..... | 32 |
| Ilustración 31 Válvula de Cuatro Vías del Circuito de Refrigerante de la Instalación. | 32 |
| Ilustración 32 Caja de Interruptores eléctricos de protección de la Instalación. | 33 |
| Ilustración 33 Contactor 1 de la Instalación..... | 34 |
| Ilustración 34 Contactor 2 (Derecha) y 3 (Izquierda) de la Instalación. | 34 |
| Ilustración 35 Caudalímetro de tipo Coriolis instalado en el Circuito de Refrigerante. | 35 |
| Ilustración 36 Caja de Controladores PIDs de la Instalación. | 37 |
| Ilustración 37 Pantalla de Control de Ensayo del Panel Frontal | 40 |
| Ilustración 38 Pantalla de Temperaturas del aire. | 41 |
| Ilustración 39 Pantalla de Temperaturas en el Coil..... | 42 |
| Ilustración 40 Pantalla de Graficas del sistema..... | 42 |
| Ilustración 41 Pestaña de Control PIDs..... | 44 |
| Ilustración 42 Configuración Agua-Agua en modo calefacción (arriba) y refrigeración (abajo). | 46 |
| Ilustración 43 Panel Frontal de la configuración Agua-Agua..... | 49 |
| Ilustración 44 Control de Ensayo..... | 49 |
| Ilustración 45 Activación de la palanca para Calefacción a la izquierda (true) y Refrigeración a la derecha (false)..... | 50 |
| Ilustración 46 Ejemplo de las 3 etapas del "Indicador de Etapa" del Ensayo | 51 |
| Ilustración 47 Interface de Ensayo con variables. Configuración Agua-Agua | 52 |
| Ilustración 48 Interface de Gráficos (Temperaturas). Configuración Agua-Agua..... | 53 |
| Ilustración 49 Configuración Aire-Aire en modo calefacción (arriba) y refrigeración (abajo) | 58 |
| Ilustración 50 Interface de Ensayo con variables. Configuración Aire-Aire | 61 |
| Ilustración 51 Circuito de Aire con sus variables. Configuración Aire-Aire | 62 |
| Ilustración 52 Diagrama de Ducto de Ventilación para Modo Calefacción (izquierda) y Refrigeración (derecha)..... | 62 |
| Ilustración 53 Diagrama de Red de Sensores para Modo Calefacción (izquierda) y Refrigeración (derecha)..... | 62 |
| Ilustración 54 Diagrama de Cámara Climática para Modo Calefacción (izquierda) y Refrigeración (derecha)..... | 63 |
| Ilustración 55 Intercambiadores con sus variables. Configuración Aire-Aire | 63 |
| Ilustración 56 Diagramas de Intercambiador 1 (calefacción) e Intercambiador 2 (refrigeración) en la izquierda. Diagrama Intercambiador 2 (calefacción) e Intercambiador 1 (refrigeración) en la derecha..... | 63 |
| Ilustración 57 Gracias con sus variables. Configuración Aire-Aire..... | 64 |
| Ilustración 58 EZ-ZONE CONFIGURATOR mostrando los 5 PIDs conectado a la instalación experimental..... | 69 |
| Ilustración 59 Pantalla de configuración de setpoint del PID 1 del EZ-ZONE Configurator | 70 |
| Ilustración 60 Interface de Keysight Connection Expert 2019 mostrando los dos dataloggers utilizados para la instalación experimental..... | 71 |
| Ilustración 61 Interface MAX de LabVIEW mostrando los dos dataloggers. | 72 |
| Ilustración 62 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa Original..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 63 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Agua-Agua (Sección de Circuito Agua Caliente (Arriba) y Circuito de Agua Fría (Abajo)). | 73 |
| Ilustración 64 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Sección de Depósitos de Agua). | 74 |
| Ilustración 65 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Agua-Agua (Sección de Circuito de Refrigerante). | 74 |
| Ilustración 66 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Secciones de Circuito Refrigerante y Fuente de Aire 2 (Ambiente)). | 75 |
| Ilustración 67 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Sección de Fuente de Aire (UTA)). | 75 |
| Ilustración 68 Muestra de datos en Temperaturas del aire (conducto/cámara/ambiente) del programa Original (Sección de Fuente de Aire (UTA)). | 76 |
| Ilustración 69 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Secciones de Ducto de Aire (Arriba) y de Red de Sensores y Cámara Climática (Abajo)). | 77 |
| Ilustración 70 Muestra de datos en Temperaturas en el Coil del programa Original. | 78 |
| Ilustración 71 Muestra de datos en Intercambiadores del programa de la configuración Aire-Aire. | 78 |
| Ilustración 72 Muestra de datos en Graficas del programa Original para el Intercambiador cámara (Aire) y el Intercambiador placas (Agua). | 79 |
| Ilustración 73 Muestra de datos en Gráficos del programa de la configuración Agua-Agua (Sección de Temperaturas). | 79 |
| Ilustración 74 Muestra de datos en Gráficos del programa de la configuración Aire-Aire. | 80 |

Índices de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Clasificación de eficiencia según SCOP. | 11 |
| Tabla 2 Clasificación de Eficiencia según SEER. | 13 |
| Tabla 3 Clasificación de seguridad de los refrigerantes. | 16 |
| Tabla 4 Resumen de Sensores Instalados en la Instalación Experimental. Datos extraídos de (Mompeán, 2018). | 35 |
| Tabla 5 Controladores PID de la Instalación. Datos extraídos de (Mompeán, 2018). | 37 |
| Tabla 6 Modo de funcionamiento de los PIDs en cada modo de funcionamiento de la instalación en el programa original (Mompeán, 2018). | 39 |
| Tabla 7 Variables introducidas por circuito en la Configuración Agua-Agua. | 48 |
| Tabla 8 Variables introducidas por circuito en la Configuración Aire-Aire. | 60 |
| Tabla 9 Controladores PIDs requeridos por la configuración Agua-Agua. | 68 |
| Tabla 10 Modo de funcionamiento de los PIDs en cada modo de funcionamiento de la configuración Agua-Agua. | 68 |
| Tabla 11 Controladores PIDs requeridos por la configuración Aire-Aire. | 69 |
| Tabla 12 Modo de funcionamiento de los PIDs en cada modo de funcionamiento de la configuración Aire-Aire. | 69 |

1. Introducción

1.1. Energías Renovables y Eficiencia Energética

En los últimos 30 años demanda de la energía primaria, en la que se incluye la eléctrica, por el ser humano ha ido en considerable aumento, yendo desde cifras de aproximadamente 8.561 hasta los 13.978Mtoe (millones de toneladas equivalentes de barriles de petróleo) (Enerdata, 2019) en el 2018.

El constante aumento de la demanda de energía trae a su vez un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales son algunos de los principales responsables del calentamiento global (Comisión Europea, s.f.), lo que trajo la necesidad de la regulación y el control del aumento de esta demanda y la producción de esta energía que produce gases de efecto invernadero.

Entre las principales iniciativas establecidas para esta regulación y control de la producción de emisiones están el Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998) y el Acuerdo de Paris (Union Europea, 2016). A su vez, la Unión Europea desarrollo el Paquete de medidas sobre clima y energías hasta 2020 (Comisión Europea, 2019), donde los países miembros al plan deberán cumplir con 3 pautas claves para el año 2020, entre estas siendo:

- **20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (comparado con 1990)**
- **20% de energías renovables en la UE**
- **20% de mejora de la eficiencia energética.**

Según análisis hechos en IRENA, la adopción de soluciones de energías renovables combinados con estrategias de eficiencia energética y la electrificación de distintas energías constituyen una fuerte y confiable alternativa capaz de reducir más del 90% de las reducciones establecidas por los acuerdos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que están relacionados con la producción de energía. (IRENA, 2019)

La Real Academia Española (Real Academia Española, 2019) define energía renovable se puede definir como:

“Energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable”

Al aprovechar los recursos sostenibles provienen de la naturaleza, se puede obtener energía útil sin la necesidad de la quema de recursos fósiles. Según el Tribunal de Cuentas Europeo, el suministro y consumo de energía representa el 79% de las emisiones de gas de efecto invernadero de la unión europea, por lo que resulta interesante el reemplazo de las tecnologías de producción de energía por tecnologías de producción de energía con usos renovables, los cuales no requieren la quema de combustibles fósiles, en el lado de suministro, mientras que en el lado de consumo se electrifique los equipos de utilización (como la calefacción) y se mejore la eficiencia de los equipos a utilizar, resultando en una reducción de la demanda de energía.

Una de las formas más efectivas para la reducción del consumo de energía es con la utilización de equipos más eficientes, los cuales puedan producir la misma cantidad de trabajo utilizando menor cantidad de energía.

Según el libro Comprar Eficiencia Energética (CPOnet, 2015), la eficiencia energética se puede definir de la siguiente forma:

“Relación o ratio entre las actividades, bienes o servicios de una organización y el gasto de energía”

También, el libro extrae un principio desde la norma ISO 50001 (CPOnet, 2015) el cual dice lo siguiente:

“La forma más rentable de reducir el consumo energético es el aumento de la eficiencia energética”

Diciendo que no solo significa una reducción del consumo (o demanda eléctrica) el aumentar la eficiencia de los equipos que se utilizan, sino que también trae consigo un ahorro monetario, aumentando así su importancia para cumplir con las medidas de la UE

Según el comunicado publicado en el 2016 por la Unión Europea, el 50% del consumo final de energía en la Unión, el cual equivale a 546Mtoe, está destinado a la calefacción y a la refrigeración. Dicho comunicado también expresa que de la energía consumida por la calefacción y a la refrigeración en la unión europea, el 18% provino de fuentes de energía renovable, mientras que el 75% fue producida con la utilización de combustibles fósiles, esta se distribuyó en un 45% al sector residencial, un 37% al industrial y un 18% al sector de servicios. (European Commission, 2016). La **Ilustración 1** presenta una grafica con estos datos:

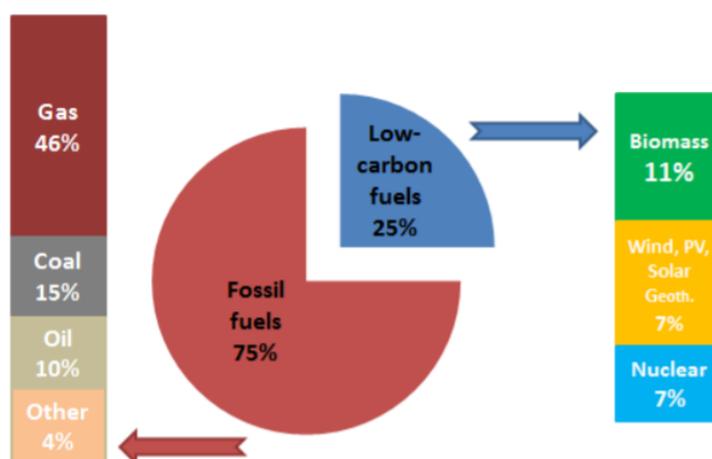


Ilustración 1 Energía primaria para calefacción y refrigeración, (European Commission, 2016)

La constante necesidad de la utilización de equipos de calefacción para temporadas frías y de refrigeración para temporadas calientes, así como la climatización de un cuarto frío o de la climatización de una piscina, hacen interesante se revise los métodos utilizados para la climatización.

La **Ilustración 2** muestra una tabla que muestra los métodos para la climatización de los espacios ordenadas por eficiencia realizada por la Comisión Europea en el 2010:

| Clase de Eficiencia | Best Available Technology (BAT) class for space heaters (including packages) |
|---------------------|--|
| A+++ | Packages using renewables |
| A++ | Heat pumps (renewable) Best biomass boiler (renewable) |
| A+ | Gas cogeneration |
| A | Condensing gas boilers |
| B | |
| C | Non-condensing gas boilers |
| D | Electric resistance |

Ilustración 2 Eficiencia de distintos equipos de climatización, (European Commission, 2016)

Como se puede apreciar, uno de los equipos más eficientes para la climatización de los espacios, es el Heat Pump (Bomba de Calor en español), el cual puede brindar tanta calefacción y refrigeración como también alimentar circuitos de agua caliente sanitaria (A.C.S.).

1.2. Marco de Referencia

1.2.1. Bombas de Calor

Una bomba de calor es una máquina que transfiere calor desde una fuente a otra utilizando un ciclo de generación (Hepbasli & Kalinci, 2008). Estas máquinas utilizan un sistema de compresores y evaporadores, para transportar la energía térmica desde un lugar a otro utilizando un fluido de trabajo, logrando, por ejemplo, la refrigeración de una habitación caliente al expulsar el calor hacia afuera o calentando una habitación fría al introducir el calor desde el exterior hasta el interior de un espacio.

Como expresa (Forsén, 2005) las bombas de calor resultan ser de los métodos más eficientes para la climatización de espacios y para la producción de agua caliente sanitaria A.C.S. , siendo estos especialmente populares para los países del norte de Europa debido a la necesidad de métodos de calefacción eficientes, amigables del medio ambiente y de poco consumo eléctrico (Forsén, 2005).

Las bombas de calor se consideran equipos eficientes debido a que pueden proveer de dos a tres veces más energía térmica que la cantidad equivalente de energía que consumen en electricidad (Omer, 2006).

Según (Forsén, 2005) la medición de la eficiencia de equipos de calefacción toma el nombre de Coeficiente de Rendimiento (COP en inglés) y se obtiene mediante de la división de la temperatura de salida (T_1) sobre la diferencia entre la temperatura de salida y la de entrada (T_2) resultando en la siguiente formula (Forsén, 2005):

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Esto quiere decir que la eficiencia de un equipo de calefacción, como es la bomba de calor, está muy influenciada por la temperatura de la fuente de calor de donde se está extrayendo la energía, por eso es recomendable (Forsén, 2005) la correcta selección de una fuente de calor adecuado para las condiciones ambientales del lugar de trabajo.

Para las bombas de calor, el concepto con el que se mide la eficiencia global es el Factor Rendimiento Medio Estacional (o Seasonal Performanc Factor – **SPF** -) y ese se define como que cantidad de energía eléctrica (en kWh) que necesita absorber la bomba de calor para obtener cierta cantidad de energía térmica en un cierto periodo de tiempo o temporada (Tabatabaei & Treur, 2016). Y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$SPF = \frac{\text{Energía Entregada (kWh)}}{\text{Energía Usada (kWh)}}$$

Debido a que las bombas de calor utilizan energía eléctrica para alimentar al compresor, la Unión Europea solo considera como energía renovable a la energía producida por las bombas de calor que tengan un SPF correspondiente a la siguiente comparación (Parlamento Europeo y el Consejo de la Union Europea, 2009):

$$SPF > 1.15 * \frac{1}{\eta}$$

Donde **SPF** tendría el siguiente significado según la (Comisión Europea, 2013):

“factor de rendimiento medio estacional estimativo, que se refiere al «coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo» (SCOPnet), en el caso de las bombas de calor accionadas eléctricamente...”

Mientras que η está definida según el (Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2009) cómo:

“el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, y se calculará como una media de la UE basada en datos de Eurostat.”

Según (Comisión Europea, 2013) el valor de η está fijado como 45.5% lo que provoca que para que se considere como energía renovable la energía producida por una bomba de calor (según la Unión Europea), esta bomba de calor debe de tener un SPF de un mínimo de 2.5

Existen diferentes tipos de bombas de calor, diferenciándose estas dependiendo de la fuente de calor y de del fluido secundario donde depositan dicho calor. Las bombas de calor que son más utilizadas para el área residencial son las siguientes (Omer, 2006) :

- **Aire-Aire** – Estas bombas de calor intercambian energía térmica con el aire que se encuentra en el ambiente y para climatizar un espacio en específico por medio de ventiladores. Esta es una de las aplicaciones más utilizadas en el mercado, más para ser utilizados para refrigeración que para calefacción (Forsén, 2005).
- **Agua-Agua/Aire** - Estas extraen la energía térmica desde fuentes de agua, las cuales podrían ser cuerpos de agua subterráneos, ríos o lagos mediante intercambiadores de calor y entrega dicha energía por medio de ventiladores (Agua-Aire) o por medio de intercambiadores en un acumulador agua (Agua-Agua). Estos son más utilizados para sectores comerciales (Forsén, 2005).
- **Suelo-Agua/Aire** – Estas funcionan similar a las bombas de calor Agua-Agua/Aire, con la diferencia de que estos extraen la energía térmica de trabajo desde el la corteza terrestre y entregándolos por medio de ventiladores o acumuladores de agua.

Más adelante se habla en profundidad de las bombas de calor Aire-Aire y Agua-Agua, las cuales son el centro focal de este proyecto.

Los equipos básicos que requiere una bomba de calor para su funcionamiento son 4, los cuales son los siguientes:

- **Intercambiador Exterior** – Este es la parte de la bomba de calor que interactúa con la energía encontrada en el aire del ambiente, agua del depósito o bajo tierra. Puede funcionar tanto como Evaporador o como Condensador, absorbiendo o cediendo energía térmica, dependiendo del uso del equipo.
- **Válvula de Expansión**– Este equipo se encarga de reducir la presión del fluido de trabajo para reducir así su temperatura y así este pueda aceptar la energía térmica en los procesos siguientes.
- **Intercambiador Interior** – Este se encarga de interactuar con la energía térmica que se encuentra en el espacio a climatizar. Al igual que el Intercambiador Exterior, este puede ser utilizado como Evaporador cuando el otro funciona como Condensador, y viceversa.
- **Compresor** – El compresor se encarga de aplicar presión en el fluido de trabajo, aumentando así la entalpía del fluido y permitiendo que su extracción en los procesos siguientes sea más sencilla.

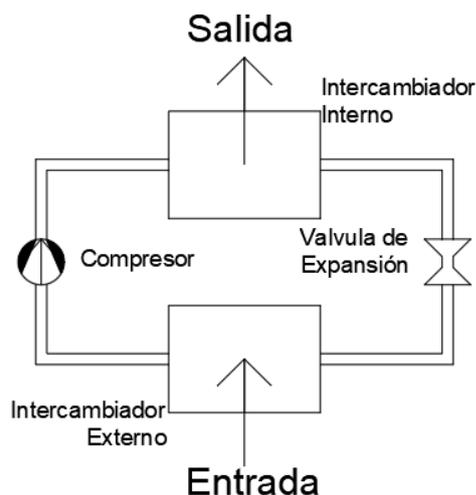


Ilustración 3 Esquema simplificado de una bomba de calor (Elaboración propia).

Las bombas de calor tienen la capacidad de trabajar en dos estados, Calefacción y Refrigeración. En el estado de calefacción trae energía térmica desde el intercambiador exterior y lo entrega al espacio por medio del intercambiador interior. Mientras que el modo de refrigeración extrae la energía desde el espacio a climatizar y los expulsa por medio del intercambiador exterior.

Este cambio es posible gracias a la implementación de una válvula de 4 vías instalada en las salidas del compresor, la cual hace que este cambie de sentido el movimiento del fluido de trabajo que va desde el intercambiador interior al exterior (en modo refrigeración) o viceversa (en modo calefacción.)

1.2.1.1. Modo calefacción

En modo calefacción, el ciclo del sistema inicia en el intercambiador exterior realizando un circuito pasando por el compresor, intercambiador interior y luego el evaporador para volver al intercambiador exterior.

A continuación, se describe de manera simplificada el proceso de modo de calefacción:

- 1) El **Intercambiador exterior** extrae la energía térmica de una fuente de calor y lo introduce al fluido de trabajo, el cual está a una temperatura menor a la de él (que está a una temperatura menor que el ambiente), generalmente con el uso de un ventilador (para el sistema de aire) o con un intercambiador de calor introducido en la fuente de calor (como un acumulador de agua o bajo tierra), para luego enviar el fluido de trabajo al compresor.
- 2) El fluido de trabajo ligeramente pasa por el **Compresor**, el cual, al aumentarle su presión, aumentando la temperatura del fluido y por lo tanto la energía térmica que este contiene y luego este es enviado al intercambiador interior.
- 3) El **Intercambiador interior** luego expulsa la energía térmica almacenada en el fluido de trabajo, utilizando los mismos métodos que el intercambiador exterior, para calentar el espacio requerido por este.
- 4) Después de su recorrido por el intercambiador interior, el fluido de trabajo caliente pasa por la **Válvula de expansión** la cual aumenta su volumen enfriándolo a temperaturas inferiores a la de la fuente de calor exterior para que así pueda otra vez absorber energía en el intercambiador exterior.

En la **Ilustración 4** se presenta un esquema simplificado de una bomba de calor con sus cuatro componentes en modo de calefacción:

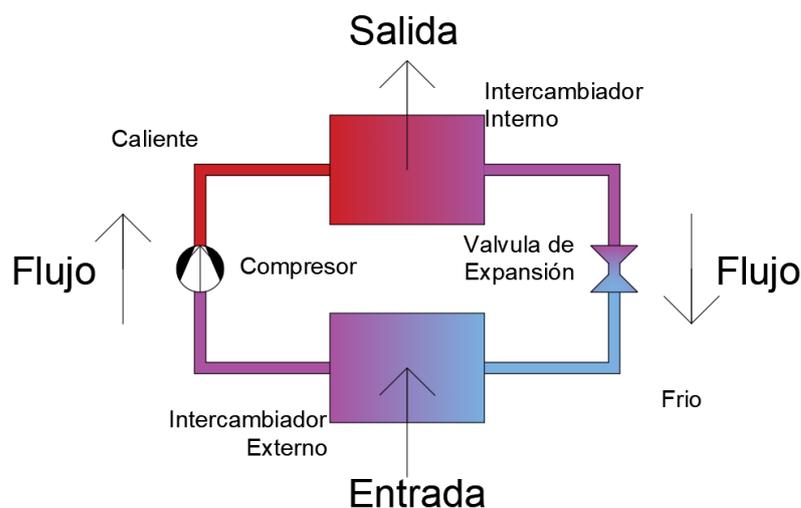


Ilustración 4 Esquema simplificado de una bomba de calor en modo de calefacción (Elaboración propia).

Cuando una bomba de calor está en modo de calefacción, su eficiencia se mide utilizando el **COP** que también puede ser calculada con la siguiente ecuación (Dincer & Rosen, 2013), esto se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{\text{Calor Producido}}{\text{Energía Eléctrica Utilizada}}$$

Normalmente las bombas de calor pueden alcanzar COP en el rango de 2 a 4, produciendo entre 2 a 4 veces más energía de la que consumen (Dincer & Rosen, 2013). Por ejemplo, una bomba de calor moderna puede alcanzar niveles de COP de entre 4 y 5 en condiciones en las que la fuente de calor está a una temperatura de 0°C y se busca entregar temperaturas de 35°C

Pero debido a que la eficiencia de las bombas de calor (o el COP) varía dependiendo de la temperatura de la fuente de calor y que la cantidad de energía suplementaria requiere, se realiza los cálculos de eficiencia por temporadas para obtener valores más exactos.

Un inconveniente del COP es que se calcula cuando el equipo está operando en carga plena (100% de su capacidad) las cuales ocurre en condiciones que no siempre están presentes en lugar de operación. Por este motivo la actualización de EN 14825:2012 que es la EN 14825:2016 estandariza un método de obtenciones más preciso de medición de la eficiencia de estos equipos. Uno de estos métodos es el cálculo del COP mientras se mantiene una temperatura interior fija y se varía la temperatura exterior.

Al utilizar los métodos de EN 14825: 2016 el COP cambia y se utilizan distintos conceptos como el Coeficiente de Rendimiento Estacional (Seasonal Coefficient of Performance o **SCOP** por sus siglas en inglés) o el Factor de Rendimiento de la Temporada de Calefacción (Heating Season Performance Factor o **HSPF** por sus siglas en inglés). Ambos conceptos se calculan como totalidad de calor producido dividido sobre la totalidad de la energía eléctrica requerida en un cierto periodo de tiempo o “estación” (Dincer & Rosen, 2013). La ecuación siguiente correspondiente para HSPF es la siguiente (Dincer & Rosen, 2013):

$$HSPF = \frac{\text{Total de Calefacción Estacional Producida}}{\text{Total de Energía Eléctrica Utilizada}}$$

Según la norma EN 14825:2016, el SCOP medio obtenido por ensayos se puede utilizar como el SPF de la bomba de calor (IDAE , Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014) ensayos.

En la **Tabla 1** se pueden ver como se clasifica la eficiencia de los equipos de climatización para distintos rangos de SCOP (Comisión Europea, 2011):

Tabla 1 Clasificación de eficiencia según SCOP

| Clase de Eficiencia energética | SCOP |
|--------------------------------|-------------------------|
| A+++ | $SCOP \geq 5,10$ |
| A++ | $4,60 \leq SCOP < 5,10$ |
| A+ | $4,00 \leq SCOP < 4,60$ |
| A | $3,40 \leq SCOP < 4,00$ |
| B | $3,10 \leq SCOP < 3,40$ |
| C | $2,80 \leq SCOP < 3,10$ |
| D | $2,50 \leq SCOP < 2,80$ |
| E | $2,20 \leq SCOP < 2,50$ |
| F | $1,90 \leq SCOP < 2,20$ |
| G | $SCOP < 1,90$ |

En la **Ilustración 5** se presenta un diagrama de funcionamiento de una bomba de calor agua-agua para A.C.S. y una básica presentación de su flujo de energía:

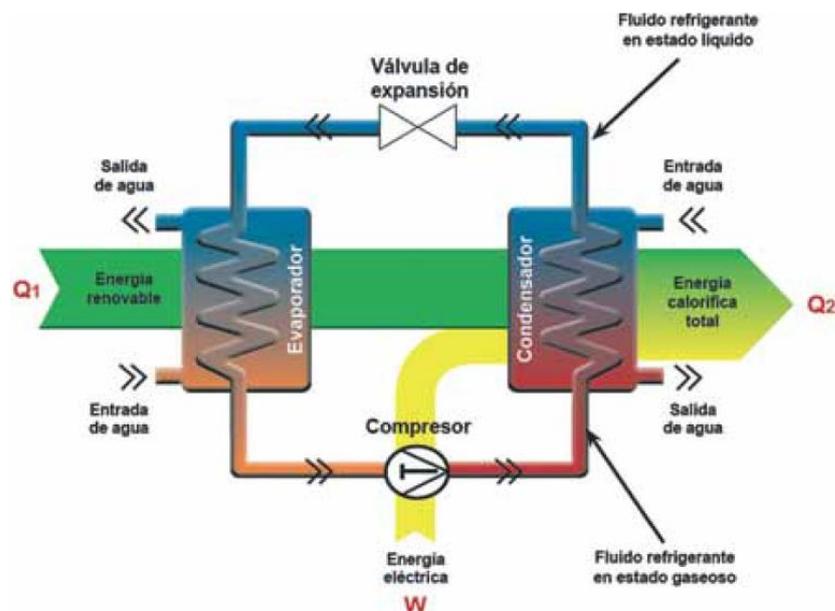


Ilustración 5 Esquema de Bomba de Calor Agua-Agua (Asociacion de Fabricantes de Equipos de Climatizacion, 2018)

1.2.1.2. Modo refrigeración

El modo de refrigeración de una bomba de calor extrae energía térmica de una habitación, en un espacio o de un fluido y lo expulsa al exterior. Esto se logra con un circuito inverso al de la modalidad de calefacción, iniciando por el intercambiador interior, pasando por el compresor, el intercambiador exterior y por último el evaporador.

A continuación, se describe de manera simplificada el proceso de modo de refrigeración:

- 1) El **intercambiador interior** extrae la energía térmica desde el espacio a climatizar o el cuerpo de agua por medio de ventiladores o intercambiadores, respectivamente, entregándoselo al fluido de trabajo el cual está a una temperatura inferior a la de la fuente de calor, para luego pasar al compresor.
- 2) El fluido de trabajo ligeramente pasa por el **compresor**, el cual, al aumentarle su presión, aumentando la temperatura del fluido y por lo tanto la energía térmica que este contiene y luego este es enviado al intercambiador exterior.
- 3) El **intercambiador exterior** luego expulsa la energía térmica almacenada en el fluido de trabajo, utilizando los mismos métodos que el intercambiador exterior, con el uso de ventiladores o intercambiadores.
- 4) Al final, luego pasar por el intercambiador exterior, el refrigerante pasa por la válvula de expansión el cual aumenta su volumen, reduciendo así su densidad energética y enfriando el refrigerante a temperaturas inferiores a las de la habitación para que así pueda otra vez absorber energía de el en el intercambiador interior.

En **Ilustración 6** presenta un esquema simplificado de una bomba de calor con sus cuatro componentes en modo de refrigeración:

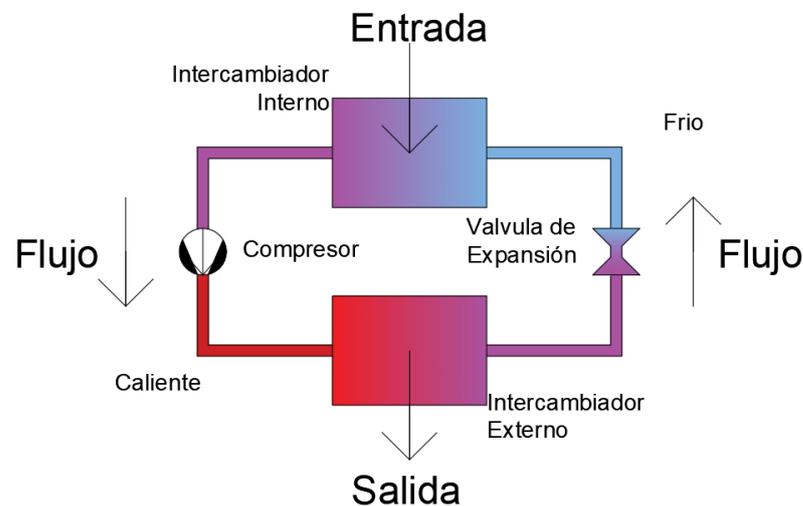


Ilustración 6 Esquema simplificado de una bomba de calor en modo de refrigeración.

Cuando la bomba de calor está en modo de refrigeración, el concepto para la medición de su eficiencia recibe el nombre de Factor de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Ratio o **EER**) y se calcula de manera similar al COP de calefacción con la siguiente ecuación (Dincer & Rosen, 2013):

$$EER = \frac{\text{Capacidad de Enfriamiento}}{\text{Energía Eléctrica Utilizada}}$$

Pero al igual que en el modo de calefacción, el EER se calcula en plena carga, por lo que EN 14825:2016, aplica el concepto de Factor de Eficiencia Energética Estacional (Seasonal Energy Efficiency Ratio o **SEER**) para obtener mediciones más reales. Al igual que el SCOP, el SEER se determina con la Capacidad de enfriamiento anual dividido sobre la energía eléctrica utilizada anual mientras se realizan ensayos fijando la temperatura del interior mientras que se varia la exterior.

En la **Tabla 2** se pueden ver como se clasifica la eficiencia de los equipos de climatización para distintos rangos de SEER (Comisión Europea, 2011):

Tabla 2 Clasificación de Eficiencia según SEER.

| Clase de Eficiencia energética | SEER |
|--------------------------------|---------------------------|
| A+++ | SEER \geq 8,50 |
| A++ | 6,10 \leq SEER $<$ 8,50 |
| A+ | 6,10 \leq SEER $<$ 8,50 |
| A | 5,10 \leq SEER $<$ 5,60 |
| B | 4,60 \leq SEER $<$ 5,10 |
| C | 4,10 \leq SEER $<$ 4,60 |
| D | 3,60 \leq SEER $<$ 4,10 |
| E | 3,10 \leq SEER $<$ 3,60 |
| F | 2,60 \leq SEER $<$ 3,10 |
| G | SEER $<$ 2,60 |

1.2.2. Bombas de Calor Aire-Aire

Como su nombre lo indica, las bombas de calor Aire-Aire son aquellas que absorben la energía térmica que se encuentra en el aire o en el ambiente para transportarla de un extremo del sistema al otro donde se extraerá al ambiente que ocupe ese espacio.

Básicamente, esta bomba de calor utiliza un ventilador que empuja el aire del ambiente para que este interactúe con el fluido de trabajo que se encuentran en los intercambiadores (tanto en el exterior como en el interior) por medio de un serpentín, ya sea para absorber su calor o para entregarlo.

En invierno, cuando las temperaturas bajan a niveles menores de -1.1°C , este tipo de bomba de calor emplea el uso de una resistencia eléctrica para compensar la falta de energía en el ambiente (Hepbasli & Kalinci, 2008).

En la **Ilustración 7** se presenta un esquema simplificado de una bomba de calor con sus cuatro componentes en modo de calefacción:

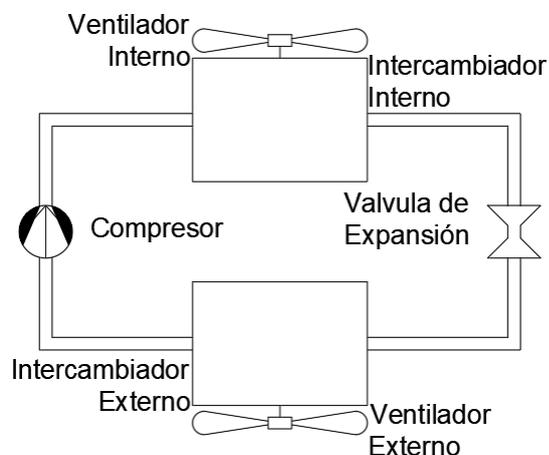


Ilustración 7 Esquema simplificado de una bomba de calor aire-aire (Elaboración propia).

Este es el tipo de bomba de calor más común para uso doméstico y puede ser considerado como una bomba de calor convencional (Hepbasli & Kalinci, 2008). Esto se debe a la alta disponibilidad del recurso térmico (aire del ambiente) y la sencilla instalación que requieren estos sistemas (Forsén, 2005).

Uno de los inconvenientes que tienen este tipo de sistemas es que su rendimiento se verá reducido al aumentar la demanda de energía térmica, o cuando la diferencia entre la temperatura del ambiente y la temperatura de la demanda es muy alta, como, por ejemplo, cuando el aire del ambiente se encuentra en el rango de -15 a -20°C . En este caso la bomba de calor dejará de funcionar lo que hará que sea requerido un sistema auxiliar de calefacción que pueda proveer la totalidad de la energía térmica requerida por la residencia o el espacio a climatizar (Forsén, 2005). Otro inconveniente también se encuentra en el intercambiador de calor exterior, que, al estar expuesto al ambiente, podría sufrir de congelación en climas fríos aumentando la resistencia térmica de éste y, por lo tanto, reduciendo la eficiencia del sistema (Forsén, 2005). Este congelamiento se puede combatir revirtiendo el ciclo de la bomba de calor (modo refrigeración) lo que transfiere calor del interior al exterior, resultando en la descongelación de las tuberías expuestas al exterior o por medio de resistencias eléctricas, lo cual reduciría la eficiencia global de la bomba de calor al aumentar la demanda eléctrica de éste (Forsén, 2005).

La eficiencia de este sistema depende altamente de las temperaturas del ambiente donde se encuentra el intercambiador exterior. Si la temperatura ambiente es muy alta y se acerca a la temperatura de condensación del refrigerante a la presión de salida del compresor puede reducirse considerablemente la transferencia de calor del condensador al ambiente. Análogamente, si la temperatura exterior es muy baja en invierno, puede reducirse la capacidad de absorber calor del ambiente para enviarlo al espacio donde está el intercambiador interior.

Estas bombas de calor son sencillas de instalar y recuperan su inversión más rápido que las de sistema Agua-Agua, pero sufren la desventaja de que requieren más mantenimiento y son más sensibles a los cambios de temperatura del ambiente que las antes dichas.

1.2.3. Bombas de Calor Agua-Agua

Estas bombas de calor se diferencian de las de Aire-Aire porque su principal objetivo es transportar energía térmica desde un cuerpo de agua hasta otro cuerpo utilizando intercambiadores de calor o serpentines en ambos lados del sistema.

En la **Ilustración 8** se presenta un esquema de una bomba de calor agua-agua con sus 4 componentes principales:

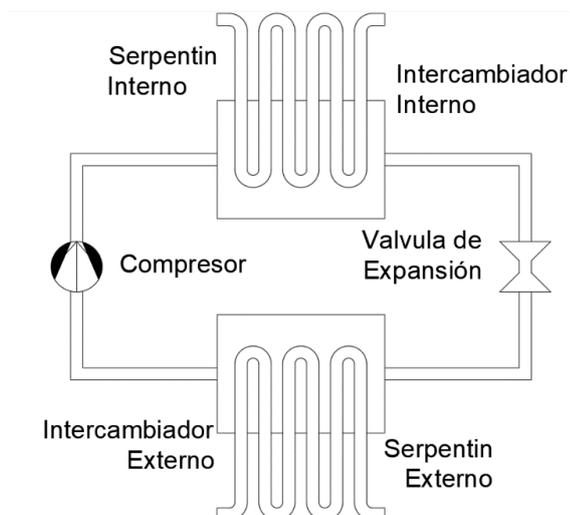


Ilustración 8 Esquema simplificado de una bomba de calor agua-agua (Elaboración propia).

Por uso de bombas, se mueve el contenido de un cuerpo de agua hasta los intercambiadores de calor (o inter-acumuladores) donde calienta o enfría el refrigerante encontrado en el circuito secundario el cual luego pasa por el compresor o por el evaporador dependiendo del modo en que esté operando para llegar al segundo intercambiador de calor para llegar al circuito terciario que puede ser otra masa de agua para la utilización de A.C.S. o para el uso de equipos de calefacción de emisión reducida.

Los cuerpos de agua utilizado para este tipo de bombas suelen ser subterráneos, aunque se dan casos en que se utiliza al agua de lagos o ríos. La ventaja que tiene estos sistemas es que la temperatura encontrada en los acuíferos subterráneos se mantiene más o menos constantes a lo largo del año, por lo que la eficiencia de este sistema no es tan propensa a los cambios como el de la **bomba de calor aire-aire**.

Pero, aunque este sistema tiene menos partes móviles y requiere menos mantenimiento que el sistema de aire-aire, la inversión inicial para su instalación es mayor debido a la necesidad de cavar pozos, la utilización de acumuladores y los circuitos hidráulicos de entrada y retorno de agua.

1.2.4. Refrigerantes

La sociedad americana de ingenieros de calor, refrigeración y aire acondicionado (American Society of Heating, Refrigeration And Air-Conditioning Engineers, INC., 1994) define los refrigerantes de la siguiente forma:

“Fluido utilizado para la transferencia de calor en un sistema de refrigeración; el refrigerante absorbe calor y lo transfiere a una mayor temperatura y a una mayor presión, usualmente con un cambio de estado”

Los refrigerantes son los fluidos utilizados para transferir el calor desde una de las partes de interacción con el ambiente de las bombas de calor con la otra.

En la **Ilustración 9** se presenta un ejemplo de distintos refrigerantes utilizados comercialmente:



Ilustración 9 Ejemplos de Refrigerantes en sus distintos contenedores. Recuperado de (Wikipedia, 2019).

1.2.4.1. Clasificación de Refrigerantes

Se utilizan varias maneras de clasificar las diferentes clasificaciones de los refrigerantes que se han utilizado para máquinas de climatización. Entre estas clasificaciones están por la forma de transferencia de calor, por sus niveles de seguridad (flamabilidad y toxicidad), y por su generación de utilización.

Por modo de transferencia de calor:

- **Fluidos refrigerantes primarios:** Estos son los refrigerantes que experimentan un cambio de fase al absorber el calor que deben transferir de un lugar a otro. Se considera que utilizan una transferencia de calor latente.

Estos refrigerantes son más caros que los secundarios y tienen efectos negativos en el medio ambiente cuando son liberados en la atmósfera (SWEP International AB, 2019).

- **Fluidos refrigerantes secundarios:** Estos refrigerantes se utilizan en un circuito secundario y transfieren el calor de un extremo a otro del circuito sin la necesidad de experimentar un cambio de fase. Estos transfieren calor de manera sensible.

Estos fluidos son mayormente utilizados cuando se requiere distribuir una gran cantidad de esto para climatizar mayores espacios, normalmente son menos caros y más amigables al medio ambiente que los refrigerantes primarios y por lo tanto pueden estar en más proximidad a los usuarios. (SWEP International AB, 2019).

Por sus niveles de seguridad (flamabilidad y toxicidad):

Los refrigerantes entran dentro de una casilla que describe el nivel de toxicidad y de flamabilidad expresando que tan seguro es el refrigerante. El nivel de toxicidad está separado en dos niveles, Baja Toxicidad y Alta Toxicidad, mientras que el nivel de flamabilidad está separado en 3, No inflamable, Ligeramente inflamable y Altamente inflamable.

A continuación, se muestra la **Tabla 3** realizada por el (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011) donde se expresan las categorías antes expresadas:

Tabla 3 Clasificación de seguridad de los refrigerantes.

| | | Grupo de seguridad | |
|------------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|
| Inflamabilidad creciente ↑ ↑ | Altamente Inflamable | A3 | B3 |
| | Ligeramente Inflamable | A2 | B2 |
| | No inflamable | A1 | B1 |
| | | Baja Toxicidad | Alta Toxicidad |
| | | → → Toxicidad creciente | |

Tomando en cuenta sus niveles de toxicidad y flamabilidad, los refrigerantes son agrupados en 3 grupos según lo estipulado en el **Real Decreto 138/2011** (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011):

- **Grupo de alta seguridad (L1):** Son refrigerantes no inflamables y de acción toxica ligera o nula. Son los refrigerantes que se encuentran en la posición **A1**.
- **Grupo de media seguridad (L2):** Refrigerantes de acción toxico o corrosiva o inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior a 3,5 por cien. Son los refrigerantes que se encuentran en las posiciones **A2, B1 y B2**.
- **Grupo de baja seguridad (L3):** Refrigerante inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen inferior al 3,5 por cien. Son los refrigerantes que se encuentran en las posiciones **A3 y B3**.

Por generación de utilización:

- **1ra Generación:** Estos refrigerantes se utilizaron mayormente entre los años 1830 y 1930. Estos refrigerantes eran mayormente solventes, combustibles y otros fluidos volátiles, eran *“cualquier cosa que funcionara”* (Calm & Hourahan, 2007), eran conocidos por tener altos niveles de toxicidad y flamabilidad. Algunos ejemplos de estos son CO₂, NH₃, SO₂, H₂O, entre otros.
- **2da Generación:** Estos refrigerantes se utilizaron mayormente entre los años 1931 y 1990. Empezaron a ser utilizados cuando se empezó a comercializar los equipos de climatización y se requería el uso de refrigerantes que estuvieran enfocados en la *“seguridad y durabilidad”* de los usuarios y los equipos de climatización (Calm & Hourahan, 2007). Estos refrigerantes aportaban a la destrucción de la capa de ozono. Algunos ejemplos de estos son CFCs, HCFCs, HFCs, H₂O, entre otros.
- **3ra Generación:** Estos refrigerantes se utilizaron mayormente entre los años 1990 y 2010. Debido a la influencia que tenían los refrigerantes de 2da generación en la destrucción de la capa de Ozono, se empezó a producir y utilizar refrigerantes enfocados a la *“protección del ozono”*, dejando de utilizarse refrigerantes del tipo CFC y apoyándose más en los de tipo HCFS (Calm & Hourahan, 2007). Algunos ejemplos de estos son HCFCs, HFCs, NH₃, CO₂ entre otros.
- **4ta Generación:** Estos refrigerantes son predominantemente utilizados desde el 2010 hasta la actualidad. Debido al desafío ambiental inminente que resultó ser el *“calentamiento global”*, los refrigerantes de la 4ta generación se enfocan a la mitigación del cambio climático. Los refrigerantes que se consideran aptos para evitar el cambio climático son aquellos con poco potencial de agotamiento de ozono (ODP en inglés), bajo potencial de calentamiento global (GWP en inglés), bajo tiempo de vida en la atmosfera (τ_{atm}) y que conserven una alta eficiencia.

La **Ilustración 10** presenta una gráfica que muestra lo expresado anteriormente, extraído del artículo de (Calm & Hourahan, 2007):

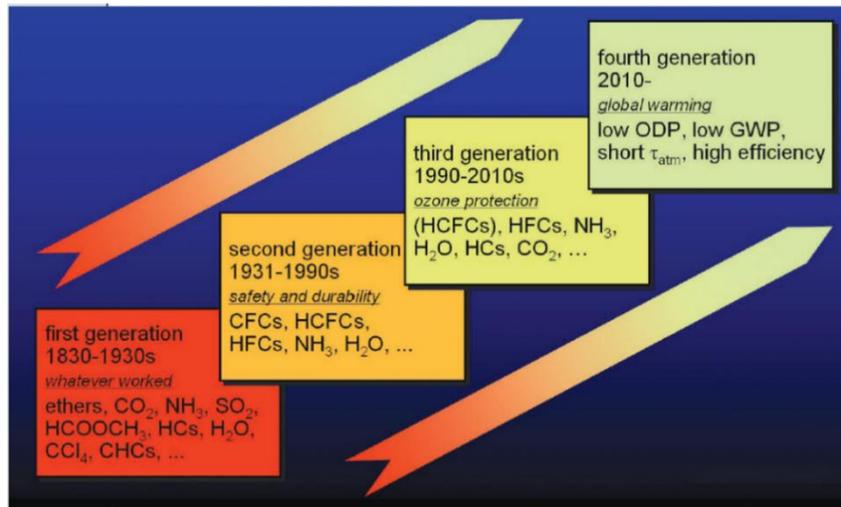


Ilustración 10 Progreso de las generaciones de los refrigerantes.

1.2.4.2. Propiedades de los refrigerantes

Los diferentes refrigerantes presentan diversos tipos de propiedades dando como resultado que esto puedan utilizarse para diversas aplicaciones donde un específico tipo de refrigerante resulte más beneficioso de utilizar que otro.

Según (Aguilar Alcantara, 2007) a la hora de realizar un diseño de un equipo de climatización se tienen que tener en cuenta las propiedades Termodinámicas y Físicas y Químicas de los distintos refrigerantes disponibles, tomando en cuenta como estos refrigerantes absorben, transportan y rechazan el calor del sistema. El autor expresa las propiedades de la siguiente manera:

Propiedades Termodinámicas:

- **Presión:** Debe operar con presiones positivas. Aquí se toma en cuenta la **Presión de Evaporación** (baja) y la **Presión de Condensación** (alta).
 - **Presión de Condensación** alta produce que se necesite un equipo más robusto y resistente, aumentando el costo de este.
 - **Presión de Evaporación** debe de ser mayor a la atmosférica para que en caso de fuga, no entre aire del ambiente dentro del equipo, reduciendo eficiencia y un potencial daño al equipo de trabajo.
- **Temperatura:** Esta propiedad toma en cuenta tres temperaturas de referencia, la **Temperatura de Ebullición**, **Temperatura Crítica** y **Temperatura de Congelación**.
 - **Temperatura de Ebullición:** Temperatura que provoca que la presión de vapor de un líquido iguale la presión de vapor del medio en cuestión (Definición, 2015). En otras palabras, la temperatura en donde el líquido empieza a evaporarse.
 - **Temperatura Crítica:** Es la temperatura por la cual, al sobrepasarse, un gas no se puede condensar, sin importar la presión aplicada (Biodic, 2019).
 - **Temperatura Congelación:** Es la temperatura en la cual la sustancia en estado líquido pasa a encontrarse en estado sólido (Definición, 2013).

- **Volumen:** Debe tener un valor bajo de Volumen específico en fase vapor, y un valor alto de volumen en fase líquida.
- **Entalpia:** Es la cantidad de energía que un sistema termodinámico intercambia con su medio ambiente (absorbiendo o liberando) (Concepto, 2018). Debe tener un valor alto de calor latente de vaporización. Entre los tipos de entalpía se puede encontrar la **Entalpía de cambio de fase:**
 - **Entalpía de cambio de fase:** Es Aquella que implica la absorción o liberación de energía cuando una sustancia pasa de un estado de agregación a otro, es decir, de gas a sólido o líquido y puede ser de Solidificación, Vaporización y Fusión (Concepto, 2018).

Propiedades Físicas y Químicas:

- **No debe ser tóxico ni venenoso.**
- **No debe ser explosivo ni inflamable.**
- **No debe tener efecto sobre otros materiales.**
- **Fácil de detectar cuando se fuga.**
- **Debe ser miscible con el aceite.**
- **No debe reaccionar con la humedad.**
- **Debe ser un compuesto estable.**

Cabe destacar que no existe un refrigerante que cumpla con todas las propiedades termodinámicas, físicas y químicas ideales, por lo que depende de cada diseñador de elegir el refrigerante más óptimo para cumplir con la función requerida por la instalación en la manera más segura, fiable y económica posible.

1.2.5. Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)

En general, el acrónimo SCADA responde a **Supervisory, Control and Data Acquisition** o **Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos** en español, este es un sistema que, como el nombre lo explica, adquiere datos relevantes de un sistema o proceso con el propósito de poder supervisar dichos procesos y poder cambiar los parámetros requeridos en el momento de ejecución de estos.

En la **Ilustración 11** se puede apreciar un ejemplo de una interface de un sistema SCADA realizado en el software de programación LabVIEW. En el lado izquierda de la ilustración se puede ver la parte de control con los indicadores de tiempo y fecha y los botones interruptores, mientras que en la parte derecha se puede ver un diagrama en donde se puede supervisar y adquirir datos del sistema en cuestión.

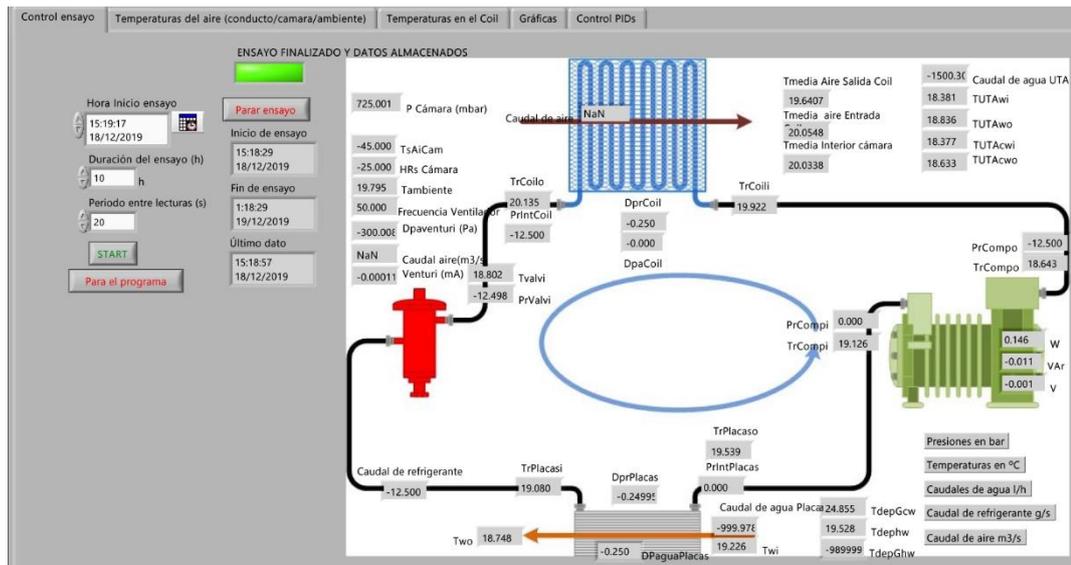


Ilustración 11 Interface de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos para una bomba de calor Aire-Agua. (Mompeán, 2018)

En concreto, mediante una interface hombre-máquina (HMI en inglés) o con la utilización de un software, se puede supervisar y controlar un proceso o sistema para que este pueda trabajar en la manera más eficiencia posible o poder identificar o determinar los fallos que este pueda tener de manera rápida y sencilla.

Para que un proceso pueda controlarse de manera eficiente, se debe medir correctamente el mayor número posible de variables que puedan estar participando en dicho proceso. Esto permite que el usuario tenga la mayor cantidad posible de información para que pueda tomar la mejor decisión en el momento.

Para el caso objeto de estudio en este Trabajo Final de Master, se tiene una instalación de bomba de calor, la cual funciona actualmente en modo Aire-Agua, a la que se le instalarán los equipos necesarios para modificarla a un sistema de bomba de calor de tipo Aire-Aire o de tipo Agua-Agua al que se le correrán distintas ensayos y pruebas, Por lo que se requerirá un sistema SCADA capaz de realizar mediciones, cálculos y resultados relevantes para los sistemas de Aire-Aire y Agua-Agua.

En la **Ilustración 12** se puede ver, en modo de ejemplo, la interface de gráficas y recolección de datos del sistema SCADA hecho en LabVIEW para la bomba de calor Aire-Agua.

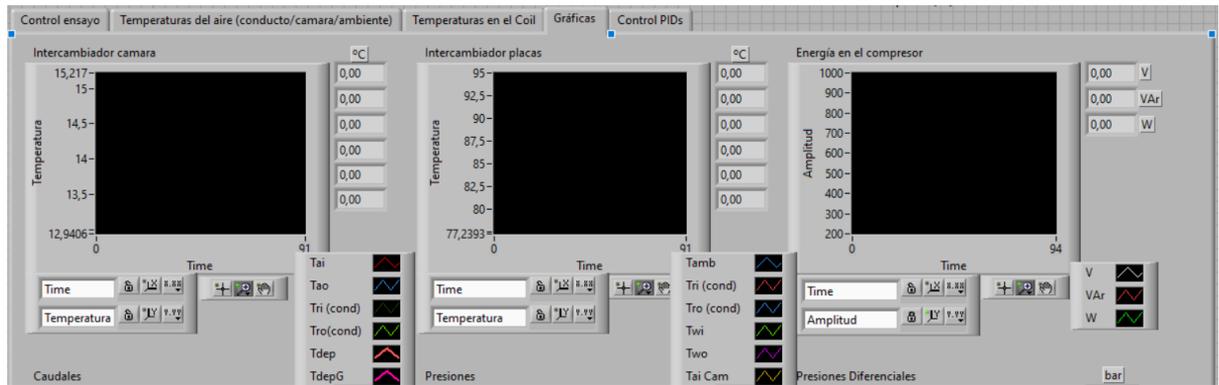


Ilustración 12 Interface de sistema SCADA hecho en LabVIEW para bomba de calor Aire-Agua (Mompeán, 2018).

Para realizar este sistema, se utilizará el software de programación por bloques de National Instruments, LabVIEW

1.2.6. LabVIEW

LabVIEW es un software de realización de programación el cual utiliza un lenguaje grafico o por bloques para crear aplicaciones dinámicas e interactivas por el usuario.

En la **Ilustración 13** se presenta el logo del software LabVIEW:



Ilustración 13 Logo de LabVIEW de (National Instruments, 2000).

Los programas desarrollados por este software reciben el nombre de Instrumentos Virtuales (VI) y nos permiten enviar y recibir señales desde otros equipos exteriores de adquisición de datos como dataloggers para poder realizar mediciones de instrumentos o controlar ciertos equipos conectados a dichos equipos. Una imagen del archivo de VI se puede ver en la **Ilustración 14**.



Ilustración 14 Icono de Escritorio (Windows) de un VI de LabVIEW.

El desarrollo de los VI de LabVIEW se realiza en dos ventanas distintas, una de estas siendo el Panel Frontal y el otro el Diagrama de Bloques:

- **Panel Frontal:** Este es la ventana la cual es interactiva por el usuario. Se pueden crear diseños con botones/interruptores, leds, graficas e indicadores para simular un panel de control de algún sistema o proceso. Este panel nos permite introducir datos y visualizar resultados de los procesos realizados.
- **Diagrama de Bloques:** En esta ventana se realiza el código fuente de la aplicación, por medio de una programación en bloques se producen procesos, se ingresan valores desde los equipos de adquisición de datos y se realizan cálculos que podrían o no ser dependiente de los controles ubicados en el panel frontal.

En la **Ilustración 15** se presenta un ejemplo de las ventanas del Panel Frontal y el Diagrama de Bloques de LabVIEW:

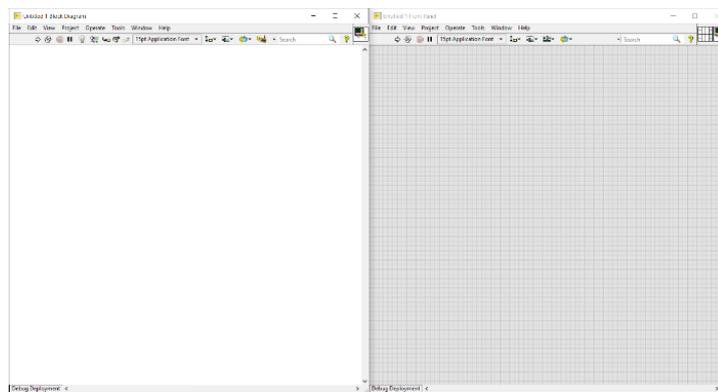


Ilustración 15 Diagrama de Bloques (Izquierda) y Panel Frontal (Derecha) de LabVIEW.

LabVIEW también hace uso de los **SubVIs**, que son programas (VIs) que fueron comprimidos para ser utilizados dentro de un VI principal o proyecto ubicándolos dentro del diagrama de bloque del VI principal, interactuando con este gracias a sus puntos de entradas y de salida. En la **Ilustración 16** se muestra un ejemplo de como las variables de entrada (de color naranja) y de salida interactúan con un SubVI.

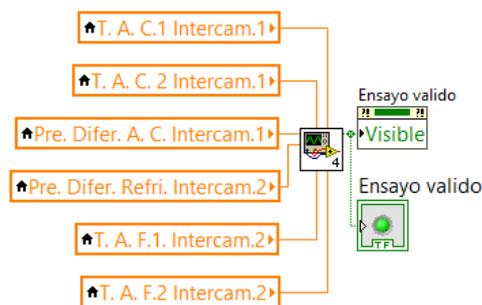


Ilustración 16 Ejemplo de SubVI (Elaboración propia).

Cada SubVI, al tratarse originalmente de un VI que se ha comprimido para ser introducido en el VI principal, cuenta con su propio Panel Frontal y Diagrama de Bloque. El Panel Frontal y el Diagrama de Bloques de SubVI utilizado en el ejemplo puede verse en la **Ilustración 17**.

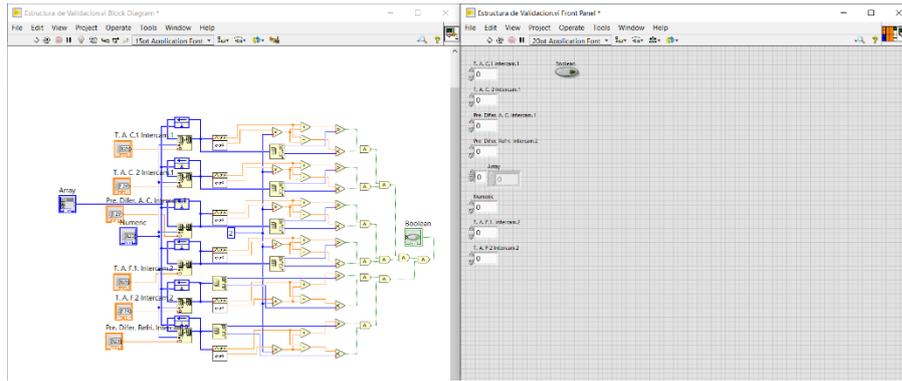


Ilustración 17 Diagrama de Bloques (izquierda) y Panel Frontal (Derecha) de un SubVI. (Elaboración propia)

Los SubVI son altamente personalizables, y cuentan con la disponibilidad de contener recomendaciones y comentarios, los cuales son de utilidad para el entendimiento rápido del objetivo de dichos SubVI dentro del proyecto principal, y además, al ser versiones comprimidas de VI, ayudan a mejorar la organización y la limpieza del código del proyecto en cuestión.

La importancia que tiene LabVIEW es que es un programa fácil de manejar, y gracias a su estilo de programación gráfica, fácil de desarrollar aplicaciones en ella, además de que tiene la capacidad de lograr diseños en el panel frontal intuitivos para los usuarios que tengan que utilizar la aplicación realizada, haciendo de LabVIEW un buen recurso para el desarrollo de sistemas SCADA.

Para este trabajo, se realizarán dos aplicaciones diferentes utilizando LabVIEW, uno de estos será para la supervisión, medición y control de una bomba de calor del tipo Aire-Aire y la segunda para una bomba de calor del tipo Agua-Agua. En la **Ilustración 18** se presenta el Panel Frontal para una bomba de calor aire-agua:

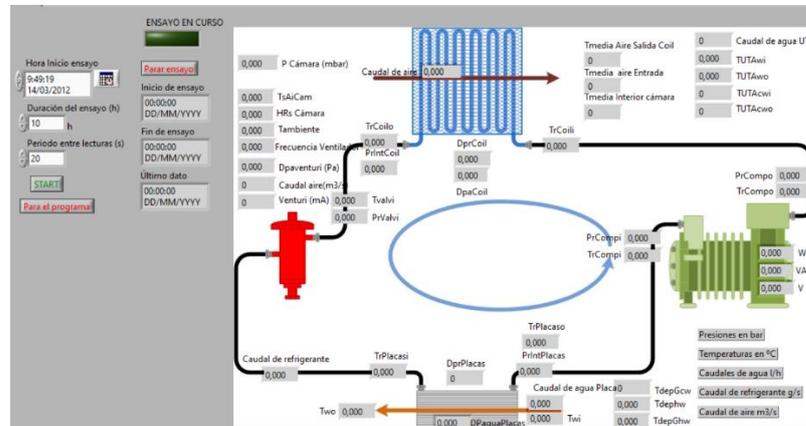


Ilustración 18 Panel Frontal de un sistema SCADA hecho en LabVIEW para una bomba de calor Aire-Agua (Mompeán, 2018)

2. Objetivo

En este capítulo se exponen el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto.

2.1. Objetivo General

- Desarrollar una interface interactiva a partir del software LabVIEW para la medición, control y monitorización de un sistema de bomba de calor de Agua-Agua y Aire-Aire, utilizando datos obtenidos de ensayos que son canalizados por medio de dataloggers y extraídos por instrumentos de medición ubicados en el sistema térmico. En concreto, la interface a desarrollar servirá para controlar la instalación experimental de bomba de calor del Laboratorio de Frío y Calor del Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la UPCT.

2.2. Objetivos Específicos

- Conocer los procesos de caracterización de una bomba de calor y la instrumentación requerida para la adquisición de datos relevantes obtenidos en ensayos.
- Crear una interface en el software de LabVIEW capaz de interactuar con el sistema térmico de bomba de calor ubicado en el Laboratorio de Frío y Calor de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Adaptar la interface del software LabVIEW para trabajar con una bomba de calor Agua-Agua y Aire-Aire tanto para trabajo en modo de calefacción como en modo de refrigeración.
- Medir y monitorizar los valores representativos y relevantes para el correcto funcionamiento de una bomba de calor de Agua-Agua y Aire-Aire utilizando equipos de mediciones físicos canalizados por medio de equipos de dataloggers.
- Analizar los datos obtenidos por los dataloggers con el propósito de poder determinar la configuración más efectiva del sistema térmico en disposición.
- Poder controlar los parámetros primarios del sistema térmico por medio de la introducción de datos en el software LabVIEW y así poder manipular su funcionamiento.

3. Descripción de la Instalación

En este capítulo se describe la instalación principal para la cual plantea definir la interface de adquisición de datos. Esta fue desarrollada para cumplir con distintos ensayos necesarios para demostrar las hipótesis de una tesis doctoral realizada en el 2018, y fue financiado por el Ministerio de Económica y Competitividad del Gobierno de España (Mompeán, 2018).

Más adelante se explica con detalle los componentes que forman la instalación experimental, describiendo los diferentes circuitos requeridos para la realización de los ensayos, así como los equipos de medición necesarios para la realización de estos.

3.1. Bomba de Calor Aire-Agua

La instalación fue desarrollada con la finalidad de hacer comparaciones de eficiencia y rendimiento entre el modelo convencional de una bomba de calor, la cual usa un intercambiador de monotubo aleteado, y el modelo foco del proyecto, utilizando un intercambiador de tubo multipuesto (Mompeán, 2018). Esta instalación se encuentra en el Laboratorio de Frio y Calor de la Universidad Politécnica de Cartagena.

En la **Ilustración 19** se puede apreciar una fotografía de la instalación:



Ilustración 19 Fotografía del Circuito de Refrigerante y Circuito de Aire de la instalación.

El modelo de bomba de calor utilizado para la tesis es el de Aire-Agua, su diseño se basó en recomendaciones encontradas en el proyecto final de master “Diseño de una instalación para el ensayo de bombas de calor” realizado en 2010 (Mompeán, 2018).

La bomba de calor que también será referenciada como el **Circuito de Refrigerante**, es capaz de intercambiar su funcionamiento entre el modo calefacción y el de refrigeración (Mompeán, 2018). La **Ilustración 20** corresponde a dicho circuito:



Ilustración 20 Circuito de Refrigerante de la Instalación.

Para mantener las condiciones estables de medición, la instalación requirió métodos artificiales de obtención de energía y de un espacio controlado a la cual climatizar y donde se realiza las mediciones, llamada **Cámara Climática**. Mientras que el intercambio de energía se realiza en los dos intercambiadores del **Circuito Refrigerante**, siendo uno de estos el intercambiador agua-refrigerante, el cual interactúa directamente con ambos circuitos de agua, y el intercambiador aire-refrigerante el cual interactúa con el retorno de la cámara climática.

El funcionamiento de esta bomba de calor se compone de climatizar (enfriar o calentar) la cámara climática absorbiendo calor o expulsándolo, desde el circuito de agua caliente o agua fría, respectivamente, para expulsarlo o volver a absorberlo del aire que sale de la cámara climática, el cual está climatizado gracias al circuito de agua que no está siendo utilizado por la bomba de calor.

Esto quiere decir, que cuando la bomba de calor está en estado de calefacción, utiliza el **Intercambiador Agua-Refrigerante** como **Evaporador** con el **Circuito de Agua Caliente**, y llevará ese refrigerante caliente al **Intercambiador Agua-Refrigerante**, que estará siendo utilizado como **Condensador**, expulsando su energía al aire frío que sale de la Cámara Climática, el cual está recibiendo este aire desde una **Unidad de Tratamiento de Aire** que, cuando la bomba de calor está en modo calefacción, hace un intercambio de calor con el circuito de agua fría. Esta unidad de tratamiento de aire puede ser vista en la **Ilustración 21**.



Ilustración 21 Unidad de Tratamiento de Aire y parte del conducto de salida.

Cuando la bomba de calor está en modo refrigeración, los circuitos de agua, tanto el de fría como el de caliente, cambian de intercambiador, para así enfriar en el intercambiador agua-refrigerante, el cual pasa a ser un condensador (mientras que el aire-refrigerante se convierte en evaporador) y a calentar el aire que sale de la unidad de tratamiento de aire en dirección a la cámara climática.

Para que el sistema funcione de manera estable y puedan obtenerse buenas mediciones es necesario que se mantengan estables las condiciones de entrada de los intercambiadores aire-refrigerante y agua-refrigerante, así como también la alimentación eléctrica del compresor y las condiciones ambientales de la instalación (Mompeán, 2018).

Más adelante, se detalla de manera más profunda los circuitos que componen la instalación experimental y los equipos de mediciones utilizados.

3.2. Circuitos de la instalación experimental

En este apartado se entra en detalle de cada circuito que compone de la instalación experimental, así como también la cámara climática, y se explora los equipos de medición y alimentación utilizados.

Los circuitos y espacios que componen la instalación experimental son los siguientes:

- **Circuito de Agua Fría**, este circuito se encarga de interactuar con el circuito de aire cuando la instalación esté en modo de refrigeración para así enfriar la cámara climática y de ser un cuerpo a calentar por el circuito de refrigerante cuando la instalación este en modo calefacción.
- **Circuito de Agua Caliente**, sirviendo como circuito inverso al de agua fría, su propósito es calentar el circuito de aire cuando la instalación este en modo calefacción o ser un cuerpo al cual enfriar cuando por el circuito de refrigerante cuando la instalación este en modo refrigeración.
- **Circuito de Aire**, este circuito, se encarga de climatizar la Cámara Climática mediante una unidad de tratamiento de aire, enfriándola con ayuda del circuito de agua fría en el modo de refrigeración o calentándola con la ayuda del circuito de agua caliente en el modo de calefacción para que el circuito refrigerante pueda realizar el efecto contrario sobre la Cámara Climática.
- **Circuito de Refrigerante**, este es el circuito que compone la bomba de calor, se encarga de servir como puente entre la cámara climática y el circuito de agua con el que este interactuando, gracias al uso de los componentes principales que han sido explicados anteriormente.

Además de los circuitos mencionados, también se encuentran circuitos eléctricos, de medición y de control, los cuales son detallados de manera resumida en los siguientes apartados.

3.2.1. Circuito de Agua Fría

Este circuito de agua fría es el encargado, junto a la máquina de refrigeración encontrada en el circuito de aire, de extraer el calor que se encuentra en la instalación.

El circuito consiste en un **depósito de inercia de 750 litros** de agua, y se enfría por medio de una **máquina de refrigeración de 30,9kW**, la cual funciona con una mezcla de agua glicolada, que permite que enfriar fluidos a temperatura de hasta -8°C . En la **Ilustración 22** se puede apreciar el depósito principal del circuito de agua fría junto con el equipo de refrigeración auxiliar de este



Ilustración 22 Depósito de Agua del Circuito de Agua Fría y la máquina de refrigeración de la Instalación.

Este circuito está conectado al circuito de aire, con el objetivo de interactuar con los intercambiadores de calor que este tiene (tanto el de modo calefacción como el de modo refrigeración) y se conecta al circuito de refrigeración compartiendo las tuberías del circuito de agua caliente que conecta con el intercambiador de agua-refrigerante. En la **Ilustración 23** se puede apreciar el intercambiador agua-refrigerante:



Ilustración 23 Intercambiador Agua-Refrigerante del Circuito de Refrigerante.

En el punto de succión de las bombas de agua que se encuentran antes del intercambiador de Agua-Refrigerante y del intercambiador de calor de la unidad de tratamiento de aire se encuentran válvulas de tres vías o válvulas triples, las cuales se encargan de mezclar, en proporción a lo requerido, el agua fría con el agua “tibia” de retorno que sale de dichos intercambiadores, para así ayudar a alcanzar y mantener la temperatura requerida por el ensayo que se esté realizando.

Las tuberías utilizadas en este circuito son de polietileno de dimensiones de 1 y 1/4” con aislamiento de coquilla elastomérica de Armaflex.

Las magnitudes que son medidas en este circuito son las siguientes:

- **Caudal**
- **Temperatura**
- **Presión Diferencial**

3.2.2. Circuito de Agua Caliente

Este circuito, al contrario que el de agua fría, es el encargado de suministrar el calor a la instalación experimental.

El circuito consta de dos depósitos de inercia, siendo uno de **750 litros**, que sirve como deposito principal y otro de **50 litros** que es de donde se extrae el agua caliente para los ensayos que al retornar de intercambiador agua-refrigerante, se dirige al depósito de agua principal, que desde el cual el depósito pequeño extrae su agua. Ambos depósitos son calentados mediante sendas resistencias de caldeo que en conjunto alcanzan los **8,5kW** en potencia. Ambos depósitos se pueden apreciar en la **Ilustración 24**.



Ilustración 24 Depósitos de 750 y 50 litros del Circuito de Agua Caliente de la Instalación.

Como parte del sistema regulador, entre ambos depósitos se encuentra un vaso de expansión y una válvula de alivio, y al igual que en el circuito de agua fría, en la sección de succión de la bomba (la cual está conectada al intercambiador agua-refrigerante), hay una válvula de tres vías, que conecta la alimentación principal de agua con el retorno del intercambiador antes mencionado para regular la temperatura de entrada a esta y así obtener los parámetros requeridos por el ensayo.

Este circuito está conectado al circuito de agua cliente por medio de un juego de válvulas en la línea de entrada y salida de los depósitos de ambos circuitos, siendo la entrada del depósito principal y la salida del depósito pequeño para este circuito ya que el circuito de agua fría solo tiene un depósito. El juego de válvulas se encarga de que, dependiendo del modo de operación de la instalación, cada circuito de agua este dirigido a su área de funcionamiento, siendo conectado, por ejemplo, el circuito de agua caliente al circuito de aire y el circuito de agua fría al circuito de refrigerante cuando la instalación está en modo de calefacción y viceversa cuando se requiere lo contrario.

Cabe destacar, que, aunque ambos circuitos, el de agua caliente y el de agua fría, sean circuitos independientes de uno y el otro, ambas usan la misma agua por lo que requieren un cierto porcentaje de glicol para poder trabajar a temperaturas próximas a los 0°C..

Las magnitudes que son medidas en este circuito son las siguientes:

- **Caudal**
- **Temperatura**
- **Presión Diferencial**

3.2.3. Circuito de Aire

El circuito de aire es el encargado de crear las condiciones que se requieren simular para realizar los ensayos propuestos para las pruebas de la instalación. En la **Ilustración 25** se puede apreciar el conducto de retorno de la unidad de tratamiento de aire, el cual está conectado a la Cámara Climática y es a su vez donde está instalado el Intercambiador Aire-Refrigerante:



Ilustración 25 Unidad de Tratamiento de Aire, Conducto de Retorno y Cámara Climática del Circuito de Aire de la Instalación.

Este circuito se puede dividir en dos segmentos, tomando en cuenta sus dos partes principales, siendo estos los siguientes:

- **Unidad de tratamiento de aire**, el cual se encarga de tanto enfriar o calentar, mediante ayuda de los circuitos auxiliares de agua, la cámara climática.
- **Cámara Climática**, esta cámara representa un espacio cerrado al cual se requiere que el circuito de refrigerante (o bomba de calor) climaticice para la realización de los ensayos requeridos para las pruebas.

Estos dos segmentos que comprenden el circuito de aire se detallan en el próximo apartado.

3.2.3.1. Unidad de tratamiento de aire

Esta unidad de tratamiento de aire es un equipo que consta de un ventilador el cual se encarga de movilizar el aire que entra y sale de la cámara climática. Este ventilador está regulado mediante un variador de frecuencia, el cual se encarga de regir y variar el caudal de aire que se requiere dentro de la Cámara Climática para cumplir con los parámetros de los ensayos y para por medir que efecto tiene la variación de este caudal en los experimentos (Mompeán, 2018).

Este cuenta con dos baterías de intercambiadores, uno que interactúa con el circuito del agua caliente y otro que interactúa con el circuito de agua fría, dependiendo del modo de funcionamiento en el que esté trabajando la instalación. La unidad de tratamiento de aire esta referencia en la **Ilustración 21** y en la **Ilustración 25**.

Los conductos utilizados para la conexión entre la unidad de tratamiento de aire y la cámara climática son de chapa de acero galvanizado electrosoldado de 0,8mm de espesor y 30cm de diámetro. Este conducto se conecta directamente desde la unidad de tratamiento de aire hasta la cámara climático para la entrada, mientas que en la salida, se encuentra el intercambiador Aire-Refrigerante del Circuito de Refrigerante y una cámara de mezclado, el cual se encarga de uniformizar la humedad y la temperatura del flujo de aire que sale de la cámara (Mompeán, 2018).

Dependiendo del modo de funcionamiento de la instalación, los conductos de retorno y de entrada a la cámara climática cambian, siendo aquel que interactúa con el intercambiador Aire-Refrigerante el conducto de retorno cuando la instalación está en modo refrigeración y es el de entrada cuando está en modo calefacción.

Las magnitudes que son medidas en ellos conductos de la unidad de tratamiento de aire son las siguientes:

- **Caudal**
- **Temperatura**
- **Presión Diferencial**
- **Humedad relativa**

3.2.3.2. Cámara Climática

La cámara climática, es el espacio el cual se quiere climatizar para la realización de los ensayos, esta realizara la función del medio ambiente, de donde se extrae la energía térmica para climatizar un espacio. Interactúa con la unidad de tratamiento de aire por medio de los conductos y con el Circuito de Refrigerante por medio del intercambiador aire-refrigerante que se encuentra en el retorno de la unidad antes comentada. Este intercambiador aire-refrigerante se puede apreciar desde la parte interior de la cámara de climática como se referencia en la **Ilustración 26**.

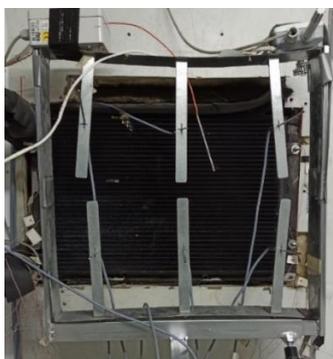


Ilustración 26 Intercambiador Aire-Refrigerante dentro de la Cámara Climática.

La cámara climática está limitada por paredes conformados por paneles en capas dobles de 10cm cada una, conteniendo una plancha de lana de roca de 3cm entre ellas, manteniendo así asilado el espacio de trabajo con el ambiente exterior de la instalación.

Cabe destacar también, que en el interior de la cámara climática se encuentran tres equipos auxiliares, **uno de refrigeración, uno de calefacción y un equipo humectador**. Los equipos térmicos sirven para aumentar o disminuir la temperatura interior de la cámara climáticas, ayudándola así a alcanzar las temperaturas requeridas por los ensayos en un menor tiempo que utilizando solo la unidad de tratamiento de aire y también para alcanzar temperaturas que la unidad de tratamiento de aire no puede alcanzar por sí sola, mientras que el equipo humectador sirve para los ensayos en modo calefacción en los que el intercambiador aire-refrigerante produce condensación. Estos tres elementos se observan en las ilustraciones **Ilustración 27, Ilustración 28, Ilustración 29** respectivamente.



Ilustración 27 Unidad Auxiliar de Refrigeración dentro de la Cámara Climática.



Ilustración 28 Unidades Auxiliares de Calefacción dentro de la Cámara Climática.



Ilustración 29 Unidad Humectadora fuera de la Cámara Climática (Izquierda) y su entrada dentro de ella (Derecha).

Las magnitudes que son medidas en este circuito son las siguientes:

- **Caudal**
- **Temperatura (Exterior e Interior)**
- **Presión**
- **Humedad relativa**

3.2.4. Circuito de Refrigerante (Bomba de Calor)

El circuito de refrigerantes es una bomba de calor aire-agua delimitado por dos intercambiadores de calor, uno agua-refrigerante para la interacción con los circuitos auxiliares de agua, y otro aire-refrigerante para interactuar con la unidad de tratamiento de aire y la cámara climática. En la **Ilustración 30** se puede apreciar el circuito de refrigerante viéndose desde una perspectiva posterior.



Ilustración 30 Circuito de Refrigerante visto desde atrás.

Gracias a una válvula de cuatro vías, el circuito refrigerante puede alternar el sentido de traslado del refrigerante cambiando así el modo en el que trabaja, siendo este calefacción o refrigeración.

Cuando este está en modo refrigeración, el fluido comienza el trayecto en el intercambiador aire-refrigerante que en este caso funciona como condensador, extrayendo el calor contenido en el fluido de trabajo, para luego pasar por uno un visor de líquido, un filtro, una válvula de expansión termostática y un depósito separador de líquido, el cual en paralelo tiene instalada una válvula antirretorno. Continuando el trayecto, el fluido pasa por el intercambiador agua-refrigerante, el cual está funcionando como evaporador, entregándole calor al fluido de trabajo, pasando finalmente por la válvula de cuatro vías y el compresor para cerrar el ciclo otra vez en el intercambiador aire-refrigerante (Mompeán, 2018). Esta válvula se muestra en la **Ilustración 31**:



Ilustración 31 Válvula de Cuatro Vías del Circuito de Refrigerante de la Instalación.

El visor de líquido, la válvula de expansión termostática, el depósito separador de líquido y la válvula antirretorno están duplicadas de manera inversa, para que esta bomba de calor pueda funcionar correctamente también en modo calefacción.

El objetivo de este circuito es dependiente del modo en el que esté funcionando:

- **Modo Calefacción.** En este modo, la unidad de tratamiento de aire está calentando la cámara climática con la ayuda del circuito de agua caliente y los equipos auxiliares. El fluido de trabajo absorbe el calor encontrado en la cámara climática mediante el intercambiador de calor aire-refrigerante, para mover ese calor hasta el intercambiador agua-refrigerante donde interactúa con el circuito de agua fría.
- **Modo Refrigeración.** En este modo, contrario al de calefacción, la unidad de tratamiento de aire enfría la cámara climática haciendo uso del circuito de agua fría. El fluido de trabajo entrega su calor en el intercambiador aire-refrigerante a la cámara climática, para absorberlo otra vez en el intercambiador agua-refrigerando donde interactúa con el circuito de agua caliente.

Las magnitudes que son medidas en este circuito son las siguientes:

- **Caudal**
- **Temperatura**
- **Presión**
- **Presión Diferencial**

3.3. Instalación eléctrica y protecciones.

La instalación eléctrica de la instalación experimental, la cual trabaja a un voltaje de 230V y una frecuencia de 50Hz, viene regida por una serie de interruptores magnético térmico y de protección diferencial, de la marca LG, los cuales protegen los equipos individuales de la instalación además de los equipos de control y adquisición de datos. La caja de interruptores se puede visualizar en la **Ilustración 32**:



Ilustración 32 Caja de Interruptores eléctricos de protección de la Instalación.

Además del sistema de protección, se hace uso de 3 contactores para el arrancado y el detenido de la instalación, logrando una secuencia segura para los equipos. La distribución de los tres contactores es la siguiente:

- **Contactador 1.** Este contactador está conectado a los calefactores y máquina de refrigeración auxiliar y las resistencias de los depósitos del circuito de agua caliente. Esta configuración permite preparar las temperaturas de trabajo de la cámara climática y del circuito de agua caliente en anticipación al momento de realización de los ensayos. También se emplea un mecanismo de interrupción para evitar que la máquina de refrigeración auxiliar y los calefactores de la cámara climática trabajen al mismo tiempo abriendo su circuito. En la **Ilustración 33** se muestra una fotografía de dicho contactador.



Ilustración 33 Contactador 1 de la Instalación.

- **Contactador 2.** Este contactador está conectado a las bombas de agua, a humidificadora, la unidad de tratamiento de agua y la enfriadora del circuito de agua fría. Adicional a esto, también alimenta al contactador 3.
- **Contactador 3.** Por sistemas de seguridad y protección de los equipos, este contactador está siendo alimentado por el Contactador 2, es requerido que las bombas de agua estén en funcionamiento antes de la puesta en marcha del compresor.

La **Ilustración 34** representa a los Contactadores 2 y 3 de la instalación:

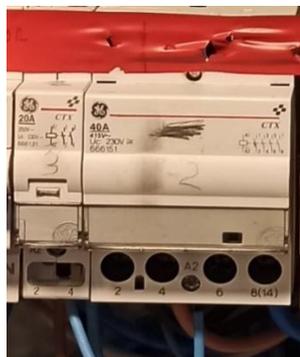


Ilustración 34 Contactador 2 (Derecha) y 3 (Izquierda) de la Instalación.

3.4. Instrumentación, equipos de, medición y adquisición de datos.

La instalación cuenta con un sistema de instrumentos y equipos de medición capaz de obtener los parámetros requeridos por los ensayos a los que se expone dicha instalación. Un ejemplo de esto es la **Ilustración 35** que muestra un tipo de caudalímetro instalado en el circuito de refrigerante:



Ilustración 35 Caudalímetro de tipo Coriolis instalado en el Circuito de Refrigerante.

Esta instalación también cuenta con equipos de control físicos, PIDs, que trabajan mediante actuadores que se activan dependiendo de los datos que son recogidos mediante los equipos de medición y en colaboración con el software de control del sistema SCADA realizado en LabVIEW.

Más adelante, se detalla los equipos de medición y las magnitudes requeridas de la instalación experimental.

3.4.1. Equipos de Medición

Los equipos para la medición de los parámetros están distribuidos por los diferentes circuitos antes mencionados. Se han colocado para obtener los datos requeridos para los diferentes ensayos necesarios para las pruebas de la instalación.

A modo de resumen, se presenta la **Tabla 4**, la cual hace un listado de los distintos sensores instalados, el fluido sobre el cual trabaja y la precisión de su medición:

Tabla 4 Resumen de Sensores Instalados en la Instalación Experimental. Datos extraídos de (Mompeán, 2018).

| ID | Variable medida | Tipo de Sensor | Circuito | Precisión de Sensor |
|----|---------------------|-----------------------------|-------------|---------------------|
| 1 | Temperatura | Pt100 RTD 4W | R / Ai / Ag | ±0,0055°C |
| 2 | Temperatura | Pt100 RTD 3W | Ai / Ag | ±0,0055°C |
| 3 | Temperatura | Termopar Tipo T Clase 1 | R / Ai / Ag | ±0,5°C |
| 4 | Caudal | Efecto Coriolis | R / Ai / Ag | ±0,10% |
| 5 | Caudal | Efecto Electromagnético | Ag | ±0,25% |
| 6 | Presión | Efecto Piezorresistivo | R / Ai / Ag | ±0,15% |
| 7 | Presión | Efecto Piezorresistivo | R / Ai / Ag | ±1% |
| 8 | Presión | Efecto Piezorresistivo | Ai | ±0,4 mbar |
| 9 | Presión Diferencial | Efecto Capacitivo | R / Ag | ±0,15% |
| 10 | Presión Diferencial | Efecto Capacitivo | Ai | ±0,15% |
| 11 | Humedad Relativa | Efecto Capacitivo | Ai | ±3% |
| 12 | Humedad Relativa | Efecto Capacitivo | Ai | ±3% |
| 13 | Caudal | Venturi + Efecto Capacitivo | Ai | ±2% |
| 14 | Tensión | Vatímetro | R | ±0,2% |
| 15 | Potencia Activa | Vatímetro | R | ±0,5% |
| 16 | Potencia Reactiva | Vatímetro | R | ±0,5% |

Donde:

R = Refrigerante, Ai = Aire y Ag = Agua.

A continuación, se detalla información acerca de dichos instrumentos mediante un resumen.

3.4.1.1. Circuitos de Agua Auxiliares

En este apartado se ve un resumen de los distintos equipos de medición que se encuentran en los dos circuitos de agua de la instalación experimental.

Para la descripción de los instrumentos, se separan los circuitos en dos situaciones, siendo una el circuito que está conectado a circuito de aire y el otro que está conectado al circuito de refrigerante por medio del intercambiador agua-refrigerante.

Para el **circuito de agua conectado con el circuito de aire**, no se requiere instrumentación para medición, debido a que sus parámetros no son requeridos para el desarrollo de los ensayos, pero si son requeridos ciertos datos para el control de esta sección de la instalación.

Esta instrumentación se compone de un **caudalímetro de efecto electromagnético** en la salida de la bomba de agua y **cinco termorresistencias Pt-100**, estando una en la salida de la válvula de tres vías y las otras cuatro en las entradas y salidas de los intercambiadores de calor ubicados dentro de la unidad de tratamiento de aire (Mompeán, 2018).

Mientras que en el **circuito de agua conectado al intercambiador agua-refrigerante**, se han conectado una mayor cantidad de instrumentos para la correcta realización de los ensayos.

La instrumentación que lleva esta sección del circuito se compone de un **caudalímetro de efecto electromagnético** en la salida de la bomba, un **sensor de presión diferencial de efecto capacitivo** en el intercambiador, para medir la caída de presión ocurrida en este. Además, el circuito cuenta con **tres termorresistencias tipo Pt-100** colocadas en la salida de la válvula de tres vías y en la salida y entrada del intercambiador, siendo estas dos últimas duplicadas para se utilizadas en la conexión de los PID de control. Por último, en los depósitos de agua hay instalados resistencias termoeléctricas para medir si la temperatura medida en ellos es suficiente para los ensayos a realizarse (Mompeán, 2018).

3.4.1.2. Circuitos de Aire

Este circuito, al igual que con los circuitos de agua auxiliar, está dividido en dos partes, siendo uno de estos el respectivo a la unidad de tratamiento de aire y el otro a la cámara climática.

La sección de la unidad de tratamiento de aire cuenta con **seis termorresistencias tipo Pt-100** instaladas en una parrilla ubicada en el conducto de entrada del intercambiador aire-refrigerante, con el objetivo de sacar un promedio de temperaturas, el cual es el que se utiliza para los ensayos. También cuenta **otra termorresistencia tipo Pt-100** para la conexión con un PID controlador para regular la temperatura de la cámara climática. En esta sección también hay un **barómetro de efecto piezorresistivo** y un **sensor de humedad relativa**. Hay instalado un **sensor de presión diferencial de efecto capacitivo** entre la entrada y la salida del intercambiador aire-refrigerante para medir la caída de presión, mientras que en la salida del intercambiador se encuentra otra parrilla, la cual tiene instalada **diecisiete termorresistencias tipo Pt-100**, el cual se utiliza junto a un **caudalímetro de efecto Venturi**, que consiste en un tubo Venturi un manómetro de presión diferencial, para calcular así el valor medio ponderado en función del caudal del aire para obtener el promedio que se utiliza como dato para el ensayo. Por último, hay **dos sensores de humedad relativos** instalados verticalmente en el conducto para medir la humedad media que recorre por él. (Mompeán, 2018).

La cámara climática cuenta con **doce termorresistencias Pt-100** instaladas en pareja de cada pared, techo y suelo de la cámara, con separaciones de 15cm a excepción de la pareja del suelo, ya que una está conectada en el punto medio del suelo mientras que el otro está ubicado en el suelo del laboratorio. El objetivo de estos sensores es el de conocer las temperaturas interiores y exteriores y el salto térmico entre ambas temperaturas (Mompeán, 2018).

3.4.1.3. Circuito de Refrigerante

El circuito de refrigerante, resulta ser el segmento más importante al cual hay que realizarle un mayor número de mediciones y de controles para la correcta realización de los ensayos.

Este circuito tiene instalado **seis manómetros de efecto piezorresistivo** ubicados en la entrada de ambos intercambiadores (el aire-refrigerante y el agua-refrigerante), en la entrada de ambas válvulas de expansión y en la entrada y salida del compresor. Además, como en otros circuitos, se tiene instalado **dos sensores de presión diferencial de efecto capacitivo** ubicados en la entrada y la salida de ambos intercambiadores. También hay instalado **un caudalímetro de tipo Coriolis** en la línea de líquido, entre la duplica de los depósitos de refrigerante (que sirven como visor de líquido). El circuito también cuenta con **ocho termorresistencias Pt-100**, instaladas en la entrada y salidas de ambos intercambiadores, en la entrada y salida del compresor y en la entrada de ambas válvulas de expansión termostática. Por último, el circuito tiene instalado **diez termopares tipo T de Clase 1** en todos los codos de los tubos de paso del intercambiador, con el objetivo de medir la distribución de temperatura de la fase líquido y la fase de vapor en esta. Mientras que con **un vatímetro** se mide la tensión, potencia activa y reactiva de la alimentación eléctrica del compresor.

3.4.2. Equipos de Control

Con el objetivo de realizar los ensayos de manera fiel a los requerimientos de estos, se ha instalado una serie de controladores tipo PID que llevan y mantienen los parámetros de los diferentes datos que requieren los ensayos para su correcta realización. Estos PID son controladores físicos del modelo PM6 de la marca **WATLOW**, 5 de estos mostrados en la parte inferior de la **Ilustración 36**.



Ilustración 36 Caja de Controladores PIDs de la Instalación.

Los parámetros de control de los PIDs pueden ser configurados mediante el sistema SCADA hecho para la instalación, y para la correcta medición de los datos configurables de algunos PIDs (2, 3 y 4), se utiliza equipos de medición duplicados para reducir la incertidumbre (Mompeán, 2018).

Los diferentes PIDs actúan sobre los equipos presentados en la **Tabla 5**:

Tabla 5 Controladores PID de la Instalación. Datos extraídos de (Mompeán, 2018).

| ID | Variable a Controlar | Actuador |
|-------|--|-------------------------------------|
| PID 1 | Temp. Agua a la entrada de la UTA | Válvula de tres vías UTA |
| PID 2 | Temp. Agua a la entrada del int. agua-refrigerante | Válvula de tres vías intercambiador |
| PID 3 | Temp. Agua a la salida del int. agua-refrigerante | Bomba de agua intercambiador |
| PID 4 | Temp. Ambiente en el interior de la cámara climática | Bomba de agua UTA |
| PID 5 | Caudal de aire | Variador de frecuencia UTA |
| PID 6 | Humedad relativa en el interior de la cámara climática | Humectadora |

Las funciones de cada PID y su forma de actuación son detalladas a continuación:

- **PID 1.** Este PID funciona midiendo la temperatura del agua de entrada del intercambiador de turno encontrado dentro de la unidad de tratamiento de aire para luego ser comparado con la temperatura ambiente en el interior de la cámara climática. El objetivo es el de regular la temperatura de entrada del intercambiador de turno (intercambiador frío en modo refrigeración e intercambiador caliente en modo calefacción) para que esta sea menor (en modo refrigeración) o mayor (en modo calefacción) que la temperatura de la cámara climática. Este controlador trabaja en conjunto con el PID 4, ya que este último controla la bomba de agua que transporta el agua a los intercambiadores.

Este PID funciona sobre un servomotor ubicado en la válvula de tres vías de la unidad de tratamiento de aire para que alcance las temperaturas adecuadas mediante las mezclas del agua proveniente del depósito de inercia con la del retorno del intercambiador de la unidad de tratamiento de aire.

- **PID 2.** Este PID funciona midiendo la temperatura del agua a la entrada del intercambiador agua-refrigerante, actuando sobre el servomotor de la válvula de tres vías ubicada en el circuito, el cual mezcla el agua proveniente del retorno de este intercambiador con el del depósito de inercia para obtener las temperaturas requeridas por el ensayo.
- **PID 3.** Este PID funciona midiendo la temperatura de salida del intercambiador agua-refrigerante, actuando sobre el variador de frecuencia de la bomba de agua conectada al intercambiador agua-refrigerante, el cual debe de variar el caudal del agua que pasa por este intercambiador para alcanzar las temperaturas requeridas por el ensayo a realizar.

Por medidas de seguridad, el PID tiene una alarma que se activa cuando la temperatura del agua baja a niveles inferiores de 1,5 °C, con el objetivo de que, mediante un juego de relés accionado por el sistema controlador, este pueda detener el compresor del circuito de refrigerante, evitando así daños a este y los equipos vecinos.

- **PID 4.** Este PID funciona midiendo la temperatura del aire en el interior de la cámara climática y actúa sobre el variador de frecuencia de la bomba de agua que rige a la unidad de tratamiento de aire, de modo que la variación del caudal de agua logre que se alcance las temperaturas requeridas por el ensayo.

De no ser posible alcanzar las temperaturas necesarias utilizando el PID 1 y 4, se hace uso de los equipos auxiliares de climatización dentro de la cámara climática para alcanzar los valores requeridos de manera más rápida y sin la necesidad de forzar la bomba de agua.

- **PID 5.** Este PID funciona midiendo el caudal de aire del circuito de aire y actúa sobre el variador de frecuencia del ventilador de la unidad de tratamiento de aire ajustando el caudal al nivel correspondiente requerido por el ensayo.
- **PID 6.** Este PID funciona midiendo la humedad del aire dentro de la cámara climática y actúa sobre la humectadora encontrada en el exterior de esta cámara, con el fin mantener en niveles estables la humedad en el interior de la cámara.

Los parámetros proporcionales, integrales y derivativos de los PID antes mencionados se han ajustado por medio de la función de autoajuste propio de dichos PIDs, a excepción del PID 4, el cual está ajustado de manera manual con solo el valor proporcional debido a que el método de autoajuste del PID no es compatible con los procesos que deben de realizarse en la por medio de dicho PID.

Se puede agregar también que el tipo de PID utilizado tienen dos modos de utilización, el de acción directa y el de acción inversa, referidos como modo COOL y HEAT respectivamente. Cuando el PID está en modo COOL, este aumenta el valor de la señal de salida cuando el valor de entrada es mayor a la constante estipulada (set point), pasando en forma contraria cuando está en modo HEAT, ya que el PID disminuye el valor de salida cuando el de entrada es mayor. En la **Tabla 6** se presenta el modo de funcionamiento de los PIDs dependiendo de si la instalación está en modo Refrigeración o Calefacción.

Tabla 6 Modo de funcionamiento de los PIDs en cada modo de funcionamiento de la instalación en el programa original (Mompeán, 2018).

| ID | Modo Calefacción (MC) | Modo refrigeración (MR) |
|-------|-----------------------|-------------------------|
| PID 1 | Acción Directa (COOL) | Acción Inversa (HEAT) |
| PID 2 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |
| PID 3 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |
| PID 4 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |
| PID 5 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |
| PID 6 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |

Las constantes de los PIDs fueron calculados y archivadas de manera que siempre se pueda repetir los ensayos sin tener que volver a realizar los procesos de cálculos.

Para finalizar con los equipos de control, también se puede mencionar a un variador de frecuencia conectado en serie con el compresor del circuito de refrigeración para la realización de ensayos donde se requieran frecuencias distintas a las de 50Hz. Este variador de frecuencia solo es conectado para estos casos, y se desconecta cuando el ensayo puede ser realizado perfectamente con una frecuencia eléctrica de 50Hz.

Estos controladores, y sus mediciones van conectados por medio de dos dataloggers a la PC del laboratorio donde se encuentra el sistema SCADA de la instalación hecho con LabVIEW, y que se detalla en el siguiente capítulo.

4. Programa Base

En este capítulo se habla de las características y las pantallas del que componen el sistema SCADA realizado por medio del software **LabVIEW** para la caracterización y control de la instalación experimental.

Este programa se utilizará como base para sus modificaciones con el fin de realizar dos sistemas para la instalación experimental, una para cuando la configuración de la instalación sea **Agua-Agua** y otro para cuando este sea **Aire-Aire**.

4.1. Descripción General Visual Programa en LabVIEW

El sistema fue realizado por medio de LabVIEW, el cual utiliza un lenguaje de programación visual, facilitando así su manejo y su comprensión.

El sistema trata de una pantalla principal con cinco pestañas, las cuales responden a los siguientes nombres:

- **Control Ensayo**
- **Temperaturas del aire (Conducto/Cámara/Ambiente)**
- **Temperaturas en el Coil**
- **Graficas**
- **Control PIDS**

Además de estas, también contiene casillas indicadoras numéricas que presentan los valores del caudal de aire en metros cúbicos sobre hora y la caída de presión en pascales además de una gráfica indicadora que muestra el cambio en la velocidad del aire en los conductos del circuito correspondiente.

En la siguiente parte, se detallan las pestañas antes mencionadas y se describe su función para la realización de los ensayos requeridos.

4.1.1. Control Ensayo

Esta pestaña corresponde a la pantalla principal para la realización de ensayos de la instalación experimental. Desde esta pantalla se puede iniciar el programa y también iniciar o detener el ensayo, definiendo la duración de este y el tiempo en el que se debe recoger las lecturas, también se pueden ver datos como a qué hora inició y finalizó el ensayo, así como también el último dato que ha sido recogido de este.

En la **Ilustración 37** se presenta la pantalla de control de ensayo encontrada en el panel frontal del sistema:

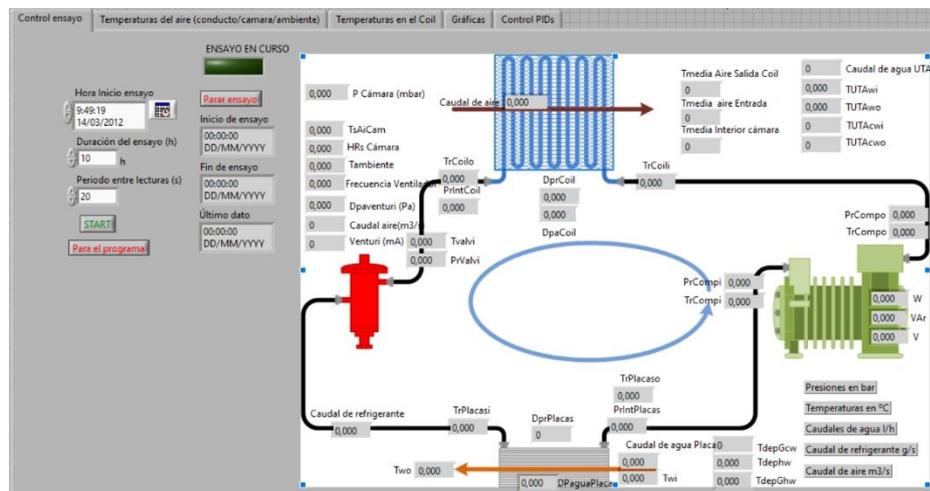


Ilustración 37 Pantalla de Control de Ensayo del Panel Frontal

Como se puede apreciar en la ilustración anterior, esta pantalla representa de forma gráfica los cuatro componentes principales de una bomba de calor, en particular, la bomba de calor aire-agua de la instalación, mostrando la **Válvula de Expansión** (izquierda), el **Intercambiador Aire-Refrigerante** (arriba), el **Compresor** (derecha) y el **Intercambiador Agua-Refrigerante** (debajo), además de estos, también se representan las tuberías que conectan dichos equipos.

En las tuberías que se encuentran entre los equipos, se expresan por **indicadores numéricos** los valores relevantes obtenidos por los sensores detallados en el capítulo anterior, como por ejemplo la **temperatura de entrada y de salida del fluido** del intercambiador aire-refrigerante y también la **diferencia de presión** producida por el trabajo realizado en dicho intercambiador. Adicional a esto se presentan otros datos de los sensores que no intervienen directamente con el circuito de refrigerante, como, por ejemplo, la **presión** dentro de la cámara, la **frecuencia** en el que trabaja el ventilador, el **caudal** del aire producido por dicho ventilador, **temperatura media** en el interior de la cámara climática, entre otros. Esto tiene el objetivo de mostrar en todo momento los datos instantáneos que se recogen de los sensores.

4.1.2. Temperaturas del aire (conducto/cámara/ambiente)

Esta pestaña del diagrama frontal del sistema corresponde a una pantalla secundaria que sirve para mostrar los datos recolectados por los sensores de temperaturas ubicados en el conducto de aire, en la cámara climática y en laboratorio, siendo este último el encargado de tener los datos de la temperatura ambiente.

La **Ilustración 38** corresponde a la pantalla de Temperaturas de aire, la cual se está describiendo:

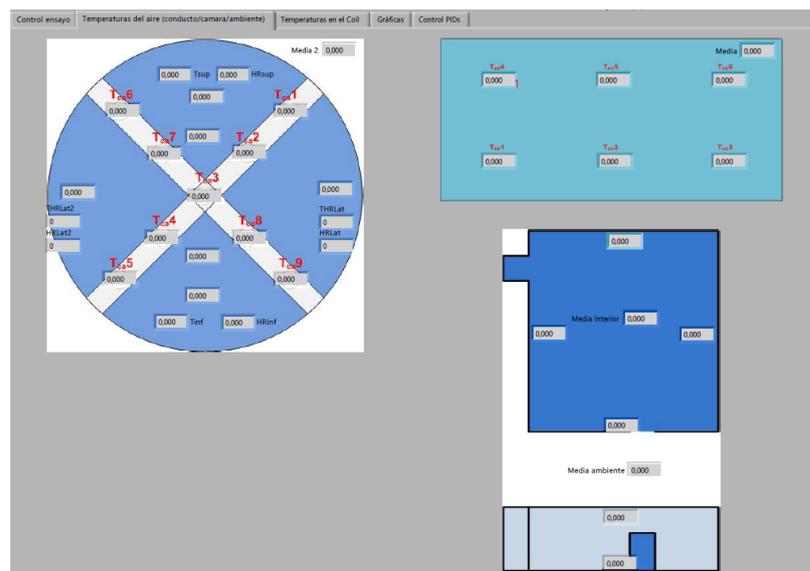


Ilustración 38 Pantalla de Temperaturas del aire.

En esta pantalla se representan tres áreas diferentes. Estas áreas son: el conducto de aire de entrada del circuito de aire el cual interactúa con el intercambiador aire-refrigerante (izquierda), las temperaturas presentadas por los seis sensores de temperaturas ubicadas en las paredes exteriores y techo de la cámara climática y del suelo del laboratorio (superior-derecha) y las temperaturas de los sensores en las paredes interiores, techo y suelo de la cámara climática (inferior-derecha).

Esta pantalla permite monitorizar las medidas de los sensores de temperaturas a partir de los cuales se calcula la temperatura media de las distintas áreas. Estas temperaturas medias se usan para la realización de los ensayos y los cálculos requeridos por esto.

4.1.3. Temperaturas en el Coil

Esta pestaña contiene una representación gráfica del intercambiador aire-refrigerante, el cual corresponde a un intercambiador de multicanales, por el cual se desarrolló dicho programa y la instalación experimental. La **Ilustración 39** es una muestra de dicha representación.

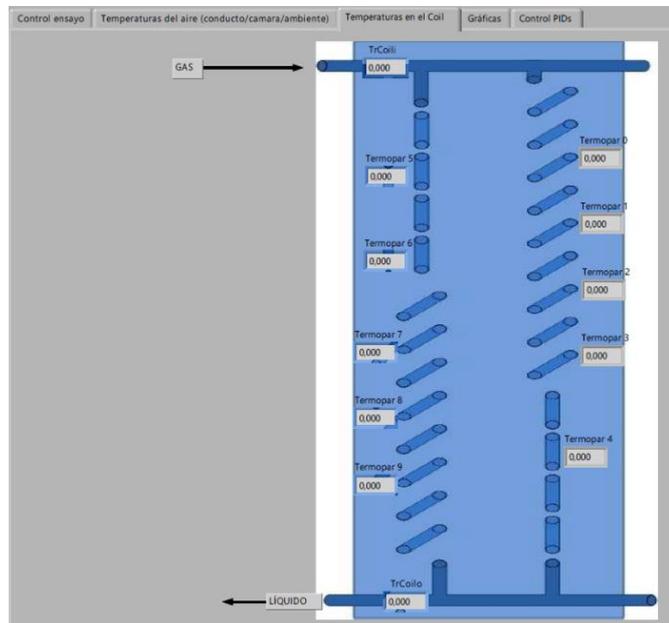


Ilustración 39 Pantalla de Temperaturas en el Coil.

En el intercambiador se instalaron un total de doce sensores de temperatura con la razón de monitorizar y caracterizar el cambio de la temperatura del fluido de trabajo que pasa por dicho intercambiador.

4.1.4. Graficas

En esta pestaña se muestra un total de ocho indicadores de gráficas, teniendo cada una el objetivo de mostrar de manera gráfica los cambios de los valores de entradas en el tiempo en el que está ocurriendo el ensayo. Una imagen de estas graficas se pueden encontrar en la **Ilustración 40**:

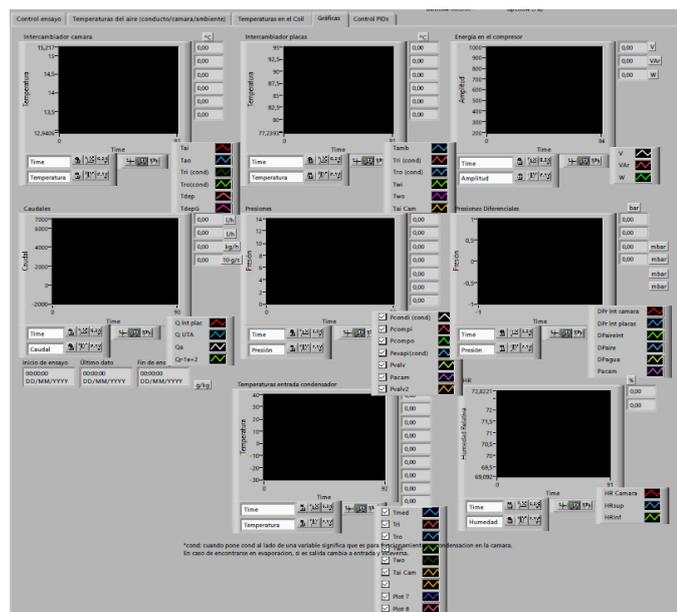


Ilustración 40 Pantalla de Graficas del sistema.

Las gráficas que se encuentra en esta pantalla y los valores que miden son los siguientes:

- **Intercambiador Cámara.** Este agrupa las temperaturas medidas en el intercambiador aire-refrigerante. Estas temperaturas son las de entrada y salida de aire, entrada y salida de refrigerante en el intercambiador y las temperaturas de los depósitos, tanto el principal de 750 litros como el pequeño de 50.
- **Intercambiador Placas.** Este agrupa las temperaturas medidas en el intercambiador agua-refrigerante. Muestra las temperaturas ambientes, de entrada y salida del refrigerante, temperatura de agua de entrada y salida del intercambiador y la temperatura interna media de la cámara.
- **Energía en el compresor.** Esta grafica muestra el consumo de eléctrico del compresor en todo momento, mostrando tanto el voltaje como la potencia real y reactiva.
- **Caudales.** En este display se muestran los caudales de la instalación, iniciando con el caudal del refrigerante en el circuito de refrigerante, el caudal de aire que sale de la unidad de tratamiento de aire, el caudal de agua que se dirige al intercambiador agua-refrigerante y el que se dirige al intercambiador de la unidad de tratamiento de aire.
- **Presiones.** En este display se agrupan las diferentes presiones en la que está trabajando el sistema, mostrando la presión en el condensador y el evaporador, los cuales son los dos intercambiadores que se intercambian de papel dependiendo del modo de funcionamiento de la instalación, la presión tanto de entrada como de salida del compresor, la presión de ambas válvulas de expansión y la presión de la cámara.
- **Presiones Diferenciales.** Aquí se muestran las diversas presiones diferenciales, como la del interior cambiador aire-refrigerante, la del intercambiador agua-refrigerante, la del aire al pasar por el intercambiador aire-refrigerante, la del lado de agua del intercambiador agua-refrigerante, así como la del lado de agua del intercambiador de la unidad de tratamiento de aire y de la cámara climática.
- **Temperaturas entrada condensador.** Esta otra grafica muestras distintas temperaturas, como la media ambiental, la de salida y entrada de intercambiador aire-refrigerante, la de salida y entrada del intercambiador del lado de agua y la temperatura interna de la cámara climática.
- **HR.** Esta muestra el cambio que la humedad relativa de la cámara climática experimenta a través del tiempo, enseñando tanto su valor medio, como el valor superior e inferior.

4.1.5. Control PIDs

En esta pestaña se muestran y controlan los parámetros a los que deben de llegar los valores que están siendo controlados por los PIDs de la instalación.

Consiste en tres columnas principales, el primero mostrando un botón de encendido y apagado para cada PID, el segundo mostrando el valor actual al cual el PID intentara llegar al estas realizándose un ensayo y la segunda columna es en donde se ingresa el valor en caso de querer cambiar el primero. En la **Ilustración 41** se puede observar la pestaña descrita.

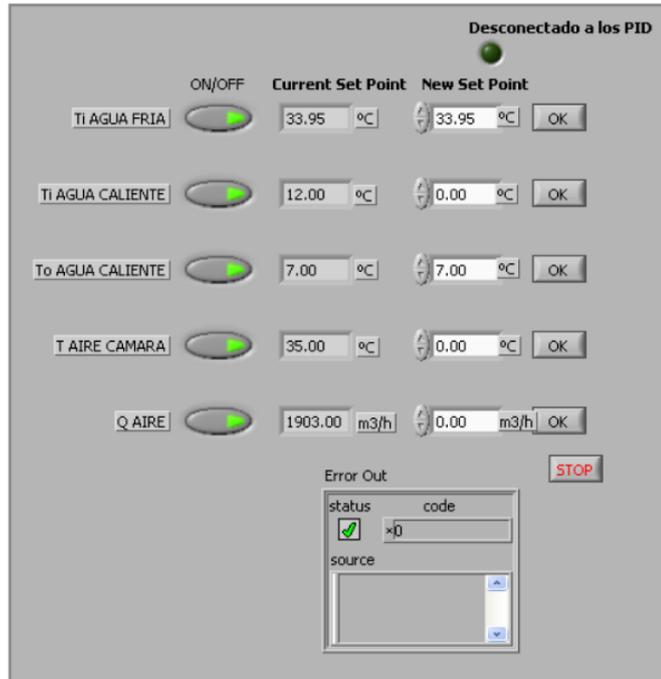


Ilustración 41 Pestaña de Control PIDs

Descrito el sistema base, se procede a describir las modificaciones realizadas para poder desarrollar los dos sistemas, el Aire-Aire y el Agua-Agua.

5. Programas Secundarios de Bomba de Calor

En este capítulo se describen ambos programas realizados para el documento, dándole más peso al diagrama del panel frontal del programa, que al código base que se encuentra detrás.

Ambos programas están basados en el programa original utilizado para la tesis doctoral “*Evaluación Experimental y Numérica del Reemplazo de un Intercambiador de Tubo Aleteado Monopuerto por Tubo Multipuerto en una Bomba de Calor Reversible Aire/Agua*” y se utiliza un diseño de elaboración propio como referencia para la colocación e identificación de las variables básicas requeridas para instalaciones básicas de Agua-Agua y Aire-Aire.

Al igual que el diseño original, ambos programas están separados en circuitos, facilitando así la identificación de variables y el posicionamiento de estos en el código fuente, para brindar una lectura limpia y fácil de modificar en caso de que se requieran hacer futuras mejoras e implementaciones al programa.

Para el programa correspondiente a la configuración **Agua-Agua**, los circuitos a utilizar son:

- **Circuito de Agua Caliente**
- **Circuito de Agua Fría**
- **Circuito de Refrigerante**

Mientras que para el programa para la configuración **Aire-Aire**, los circuitos son:

- **Circuito de Agua Caliente**
- **Circuito de Aire**
- **Circuito de Agua Fría**
- **Circuito de Refrigerante**
- **Sección de Medio Ambiente**

Siendo este último opcional y dejado abierto en caso de que se implemente un segundo circuito de aire que sirva para el segundo intercambiador multipuerto a instalarse.

La utilización de cada circuito se detalla en el apartado específico de cada programa.

5.1. Programación Bomba de Calor Agua-Agua

Este es el programa más sencillo de los dos, ya que solo requiere la implementación de 3 circuitos, siendo uno el circuito vinculado a la absorción de calor de la masa de agua a menor temperatura, otro el vinculado a la aportación de calor a la masa de agua a mayor temperatura y el circuito refrigerante que interactúa entre ambos.

Como base, se identificaron las variables a medir en los circuitos de agua caliente y de agua fría del trabajo original, así como las variables encontrada en el lado del intercambiador agua-refrigerante (intercambiador de placas) y fueron introducidas a un nuevo proyecto de **LabVIEW**.

A continuación, se realizó un diagrama sencillo en **AutoCAD** de tres secciones, siendo cada una de estas los circuitos a utilizarse en una instalación experimental de Agua-Agua. A continuación, en la **Ilustración 42** se aprecian los tres circuitos de dicha la configuración, tanto en modo calefacción como en modo refrigeración:

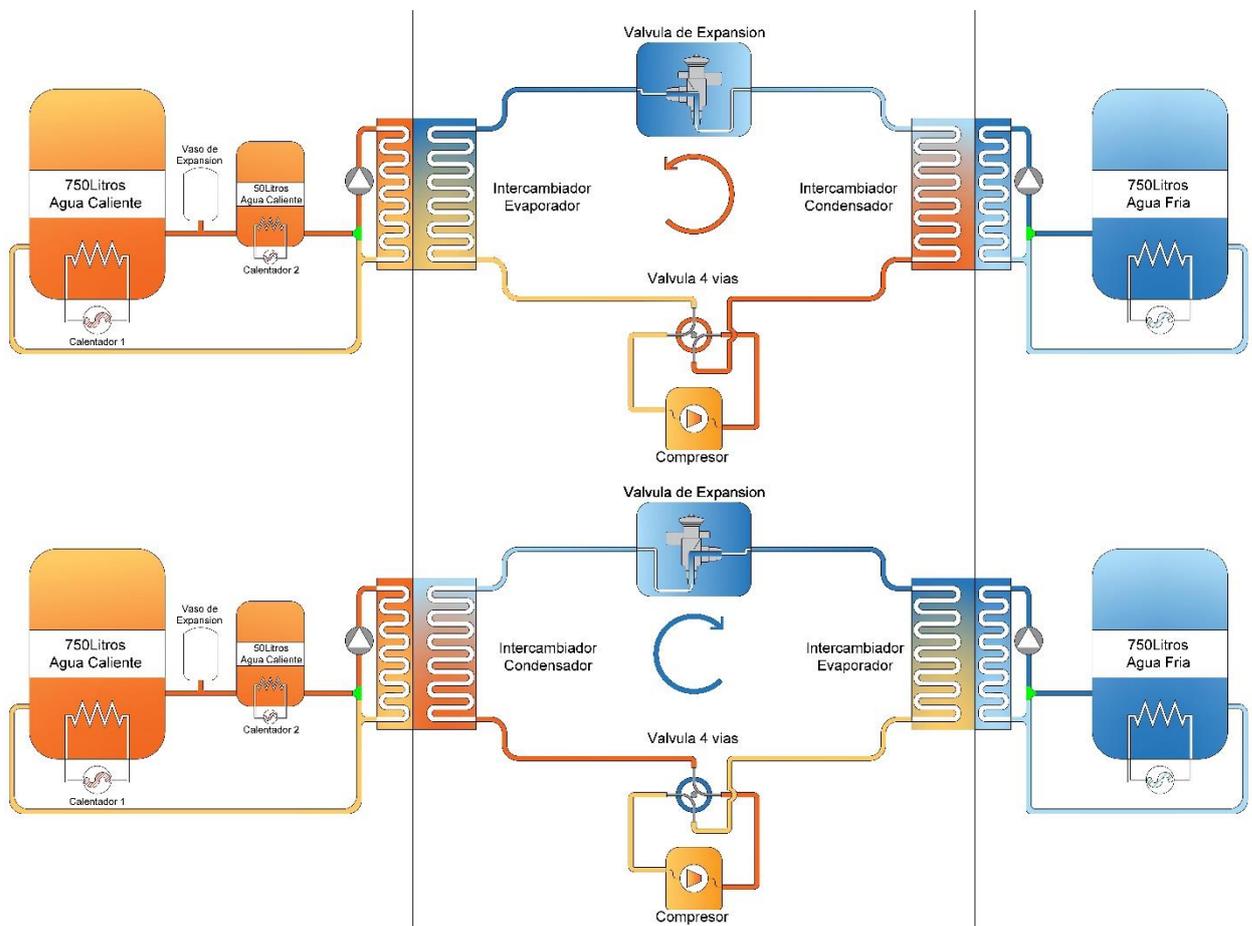


Ilustración 42 Configuración Agua-Agua en modo calefacción (arriba) y refrigeración (abajo).

Estos diagramas se utilizan como panel del programa, donde se muestran la mayor parte de las variables requeridas de los equipos principales de esta configuración. Los equipos están separados por cada uno de los circuitos identificados.

Circuito de Agua Caliente:

- **Depósito de Agua Caliente Grande**
- **Depósito de Agua Caliente Pequeño**
- **Bomba de Agua Caliente**
- **Intercambiador Agua-Refrigerante (1)**

Circuito de Refrigerante:

- **Válvula de Expansión**
- **Intercambiador Agua-Refrigerante (1)**
- **Intercambiador Agua-Refrigerante (2)**
- **Compresor**

Circuito de Agua Fría:

- **Depósito de Agua Fría Grande**
- **Bomba de Agua Fría**
- **Intercambiador Agua-Refrigerante (2)**

Cabe destacar, que, dependiendo del funcionamiento de la instalación, los intercambiadores agua-refrigerante 1 y 2, pasarán a ser Evaporador y Condensador, respectivamente para el modo calefacción y viceversa en el modo refrigeración.

A cada uno de los equipos mencionados anteriormente se les ha agregado una variable indicadora, la cual representa numéricamente la medición obtenida mediante los dataloggers. A continuación, en la **Tabla 7** se muestran, clasificado por circuito y por equipo, las variables que son medidas en cada configuración.

Tabla 7 Variables introducidas por circuito en la Configuración Agua-Agua.

| Configuración de Bomba de Calor Agua-Agua | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| Circuito | Nombre de Equipo | Magnitud a Medir | Nombre de Variable | Descripción |
| Circuito Agua Caliente | Deposito Agua Caliente Grande | Temperatura | T. Deposito C. | Temperatura en el Depósito Grande de agua caliente |
| | Deposito Agua Caliente Pequeño | Temperatura | T. deposito C. | Temperatura en el Depósito pequeño de agua caliente |
| | Intercambiador Agua-Refrigerante (1) | Temperatura | T. A. C.1 Intercam.1 | Temperatura de agua en entrada de intercambiador agua-refrigerante 1 |
| | | Temperatura | T. A. C.2 Intercam.1 | Temperatura de agua en salida de intercambiador agua-refrigerante 1 |
| | | Presión Diferencial | Pre. Difer. A. C. Intercam.1 | Diferencia de presión entre la entrada y la salida del agua en el intercambiador agua-refrigerante 1 |
| Bomba de Agua Caliente | Caudal | Caudal A. C. | Caudal de agua que llega el intercambiador agua-refrigerante 1 | |
| Circuito de Refrigerante | Válvula de Expansión | Temperatura | T. Valv. | Temperatura de refrigerante a la entrada/salida de la válvula de expansión |
| | | Presión | Pre. Valv. | Presión de refrigerante a la entrada/salida de la válvula de expansión |
| | | Caudal | Caudal Refri. | Caudal de refrigerante a la entrada/salida de la válvula de expansión |
| | Intercambiador Agua-Refrigerante (1) | Temperatura | T. Refri.1 Intercam.1 | Temperatura de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador agua-refrigerante 1 |
| | | Temperatura | T. Refri.2 Intercam.1 | Temperatura de refrigerante a la salida/entrada de intercambiador agua-refrigerante 1 |
| | | Presión | Pre. Refri. Intercam.1 | Presión de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador agua-refrigerante 1 |
| | | Presión Diferencial | Pre. Difer. Refri. Intercam.1 | Diferencia de presión entre la entrada y la salida del refrigerante en el intercambiador agua-refrigerante 1 |
| | Otros | Temperatura | T. Ambiente | Temperatura del aire en el ambiente del laboratorio |
| | Compresor | Temperatura | T. Entrada Compr. | Temperatura de refrigerante en la entrada del compresor |
| | | Temperatura | T. Salida Compr. | Temperatura de refrigerante en la salida del compresor |
| | | Presión | Pre. Entrada Compr. | Presión de refrigerante en la entrada del compresor |
| | | Presión | Pre. Salida Compr. | Presión de refrigerante en la salida del compresor |
| | | Potencia Activa | Potencia Activa | Potencia activa que consume el compresor al trabajar |
| | | Potencia Reactiva | Potencia Reactiva | Potencia reactiva que consume el compresor al trabajar |
| | Intercambiador Agua-Refrigerante (2) | Voltaje | Voltaje | Voltaje al cual está trabajando el compresor |
| | | Temperatura | T. Refri.1 Intercam.2 | Temperatura de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador agua-refrigerante 2 |
| | | Temperatura | T. Refri.2 Intercam.2 | Temperatura de refrigerante a la salida/entrada de intercambiador agua-refrigerante 2 |
| | | Presión | Pre. Refri. Intercam.2 | Presión de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador agua-refrigerante 2 |
| | Presión Diferencial | Pre. Difer. Refri. Intercam.2 | Diferencia de presión entre la entrada y la salida del refrigerante en el intercambiador agua-refrigerante 2 | |
| | Circuito Agua Fría | Deposito Agua Frío | Temperatura | T. Deposito F. |
| Intercambiador Agua-Refrigerante (2) | | Temperatura | T. A. F.1 Intercam.2 | Temperatura de agua en entrada de intercambiador agua-refrigerante 2 |
| | | Temperatura | T. A. F.2 Intercam.2 | Temperatura de agua en salida de intercambiador agua-refrigerante 2 |
| | | Presión Diferencial | Pre. Difer. A. F. Intercam.2 | Diferencia de presión entre la entrada y la salida del agua en el intercambiador agua-refrigerante 2 |
| Bomba de Agua Caliente | | Caudal | Caudal A. F. | Caudal de agua que llega el intercambiador agua-refrigerante 2 |

Las variables de temperatura entrada y salida de los intercambiadores son llamados como 1 y 2, y no utilizando la denominación “entrada” y “salida” como en el caso del compresor, debido a que, al cambiar el modo de trabajado, de calefacción a refrigeración y viceversa, estas entradas y salidas son invertidas, por lo que se mantiene el uso de los números “1” y “2” para evitar confusiones.

Utilizando los diagramas de la configuración como referencia para la colocación de las variables requeridas, se inició la estructuración del Panel Frontal del programa. El Panel Frontal y el Diagrama de Bloque se detallan brevemente en los siguientes apartados.

5.1.1. Panel Frontal de la configuración Agua-Agua

La configuración de Bomba de Calor Agua-Agua es la más sencilla de las dos configuraciones. Teniendo un panel frontal separado en tres partes; una sección para el control del ensayo, una sección reservada de las consignas que se asignan a los PIDs de la configuración y, por último, un panel de tres pestañas que componen la secciones donde se muestran los datos. La **Ilustración 43** muestra el panel frontal de la configuración.

Las pestañas son llamadas de las siguientes formas:

- **Interface de Ensayo**
- **Gráficos**
- **Control PIDs**

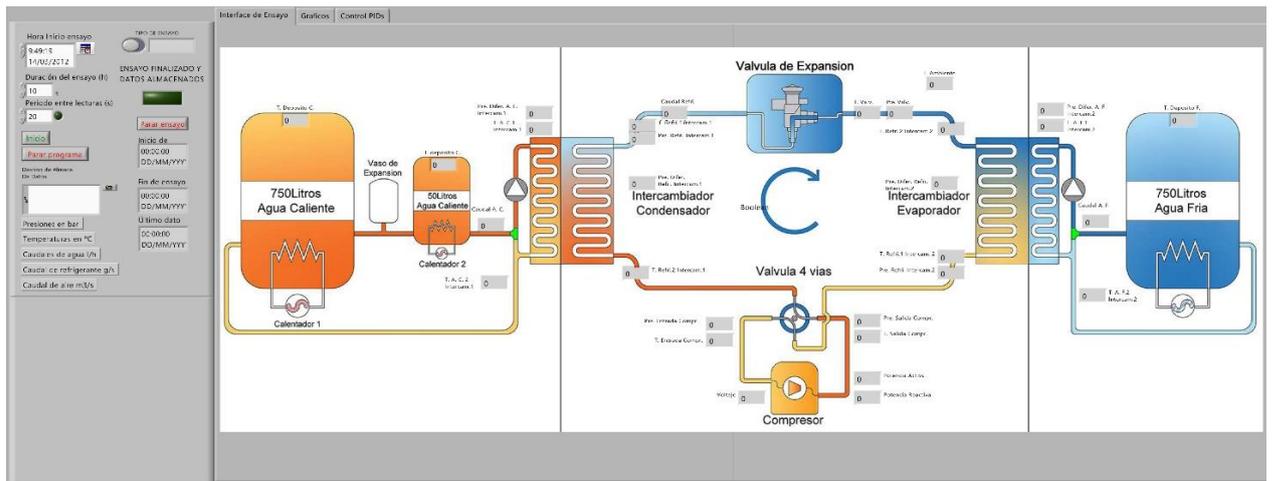


Ilustración 43 Panel Frontal de la configuración Agua-Agua

Estos apartados se detallan en los siguientes apartados.

5.1.1.1. Control de Ensayo

La primera sección del panel frontal, llamada “**CONTROL DE ENSAYO**”, la cual se puede apreciar en la **Ilustración 44**, contiene los controles necesarios para la operación del programa.



Ilustración 44 Control de Ensayo.

Describiendo de izquierda a derecha y de arriba abajo, están los siguientes controladores;

- **Hora Inicio Ensayo.** Aquí se muestra la fecha y la hora actual a la cual está configurado este hito en el ordenador que se encarga de correr el programa de LabVIEW. Se usa para guardar registro de la hora y la fecha en la que se inicia el ensayo.
- **Duración del ensayo (h).** En esta casilla se ingresa la cantidad de horas requeridas por el ensayo a realizarse. Al transcurrir estas horas, el ensayo se detendrá.
- **Periodo entre lecturas (s).** En esta casilla se ingresa la cantidad de segundos que deben de pasar entre muestreo de los datos instantáneos para su registro.
- **Start.** Al presionar este botón, se da inicio al programa y a la operación de este con las condiciones de duración (Duración del ensayo) y lectura (periodo entre lecturas).
- **Para el Programa.** Al presionar este botón, se detendrá de manera inmediata el programa, guardando en el registro, el último dato muestreado.
- **Destino de Almace. De Datos.** Esta casilla abre un explorador en ordenador que corre el programa, para seleccionar el archivo de Excel o de texto en el cual se quiere que se registren los datos del ensayo.
- **Tipo de Ensayo.** Esta casilla muestra el modo en el cual la configuración operara para el ensayo a realizarse. La activación de la palanca cambia entre el Modo Refrigeración y el Modo Calefacción, cambiando consigo los diagramas y los nombres de algunas variables para hacer la interface más acorde (de manera estética) con el modo de operación de la instalación. La **Ilustración 45** muestra un ejemplo de esto.

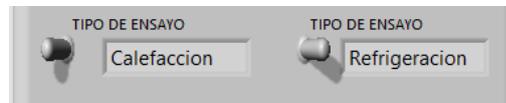


Ilustración 45 Activación de la palanca para Calefacción a la izquierda (true) y Refrigeración a la derecha (false).

La activación de esta palanca solo puede realizarse antes de dar inicio al ensayo.

- **Indicador de Etapa.** Trata de un indicador de iluminación que parpadea (mostrando que el programa está corriendo y no está congelado) e indica en qué etapa se encuentra el programa luego de haber presionado el botón “**Start**”. En total hay 3 etapas.
 1. Iniciando con la primera que es “**ENSAYO PROGRAMADO**”, con la cual inicia el ensayo y se crean los títulos de las variables que pasan a inicio en el documento de Excel y se guarda la información de cuando ha iniciado el ensayo.
 2. El segundo indicador es “**ENSAYO EN CURSO**”, en esta etapa se realizan las lecturas de los datos encontrados en los canales invocados de los dataloggers. Realizándose una actualización de datos cada vez que se cumpla el tiempo introducido en la casilla de “**Periodo entre Lectura (s)**”
 3. Por último, está el indicador llamado “**ENSAYO FINALIZADO Y DATOS ALMACENADOS**”, el cual indica que los datos de las muestras fueron guardados en el documento correspondientes y que el ensayo ha terminado de manera correcta, lo cual significa que se han pasado la cantidad de horas introducidas en la casilla de “**Duración de ensayo (h)**” o que se ha presionado el botón de “**Para Ensayo**”.

En la **Ilustración 46** se muestra un ejemplo de este indicador en sus tres etapas.

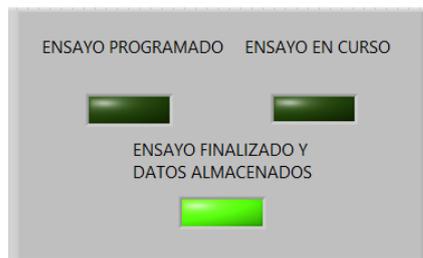


Ilustración 46 Ejemplo de las 3 etapas del "Indicador de Etapa" del Ensayo

- **Para Ensayo.** Este botón al ser presionado envía una señal al código, indicándole al programa que la orden de detener la recopilación de los datos de muestra, deteniendo el programa luego de que el próximo muestreo sea completado.
- **Inicio de ensayo.** Este indicador guarda una copia del dato proporcionado por el indicador de “Hora inicio Ensayo” para indicar luego en qué hora se inició el ensayo que se está realizando o que fue realizado anteriormente.
- **Fin de Ensayo.** Este indicador muestra la hora y fecha en la cual el ensayo esta supuesto a finalizar, siendo este la suma entre el dato introducido en el indicador “Hora Inicio ensayo” y “Duración del ensayo (h)”. También muestra los datos en el cual se presionaron los botones “Para el programa” o “Para ensayo”
- **Último dato.** Este indicador muestra la hora y fecha en el cual se realizó el último registro de muestras. Este indicador se actualiza cada vez que se realiza una actualización de los datos registrados por los dataloggers. Este dato puede coincidir o no con el que se indica en “Fin de ensayo” dependiendo de lo ingresado en “Duración del ensayo (h)” o de si se presiona los botones de detenido del programa o ensayo.
- **Otros.** Por último, se muestra las magnitudes en las que se expresan los distintos datos de temperatura, presión y caudal que se presentan en el panel frontal.

5.1.1.2. Interface de Pestañas

La tercera entrada en el panel frontal del programa es la interface de pestañas, las cuales sirven para visualizar las distintas variables requeridas de la instalación, utilizando el diagrama propuesto y distintas gráficas.

- **Interface de Ensayo**
- **Gráficos**
- **Control PIDs.**

En la primera pestaña se encuentra el “Interface de Ensayo”, aquí es donde se puede visualizar la implementación de los diagramas vistos en la **Ilustración 42**. Sobre el diagrama se colocaron las variables indicadoras sobre el equipo en donde ocurre la medición de dicha variable. En la **Ilustración 47** se puede ver la primera pestaña.

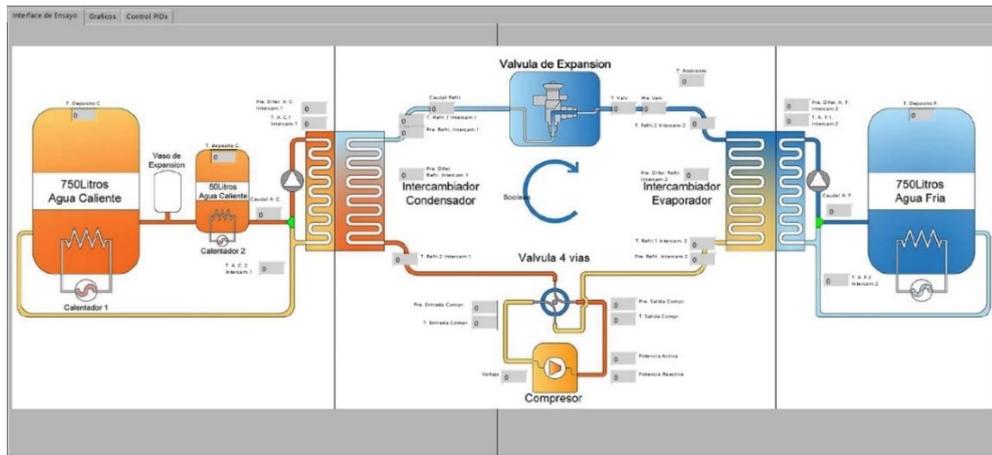


Ilustración 47 Interface de Ensayo con variables. Configuración Agua-Agua

Las variables de encontradas en esta pestaña corresponden a todas las variables mostradas en la **Tabla 7** de este documento. El diagrama este separado en tres secciones, siendo el de la izquierda correspondiente al del circuito de agua caliente donde se encuentra el intercambiador 1, el del centro al circuito de refrigerante y el derecho al circuito de agua fría, donde se encuentra el intercambiador 2.

En la segunda pestaña, llamada “**Gráficos**”, se presentan los valores de las variables principales a través del tiempo utilizando los módulos de gráficos encontrados en el LabVIEW. Para esta configuración, las gráficas se han separado en tres secciones diferenciado por tipos; **Temperaturas, Presiones, Otros.**

Dentro de la sección de “**Temperaturas**” se encuentran tres gráficas;

- **Temperaturas Generales.** Aquí se encuentran las variables de temperaturas que son de carácter general, como, por ejemplo, las temperaturas del agua contenida en los diferentes depósitos y las temperaturas con la que entra y sale el refrigerante del compresor.
- **Temperaturas Interc.1.** Aquí se encuentran la temperatura de entrada y salida del agua proveniente del circuito de agua caliente y del refrigerante que interactúa con este intercambiador.
- **Temperaturas Interc.2.** En forma similar al apartado anterior, en esta grafica se ven los valores de temperatura de entrada y salida del agua del circuito de agua fría y del refrigerante

En la sección de “**Presiones**” se encuentran dos graficas:

- **Presiones.** Como su nombre lo indica, aquí se agrupan todos los valores de las variables de presión del sistema.
- **Presiones Diferenciales.** Al igual que con la presión, en este apartado se agrupan los valores medidos por todos los sensores de presión diferencial encontrados en el sistema.

Por último, en la sección de “**Otros**” se encuentran las variables restantes del programa. Hay dos graficas:

- **Compresor.** Aquí se ven los valores medidos desde el compresor que no son ni de temperatura ni de presión, como lo son el Voltaje en el que opera y la Potencia Activa y Reactiva que se consume en él.
- **Caudales.** En esta grafica se agrupan los valores de Caudales encontrados en el sistema.

En la **Ilustración 48** se presenta una imagen de la sección de “**Temperaturas**” de la pestaña de Gráficos del programa de la configuración Agua-Agua.

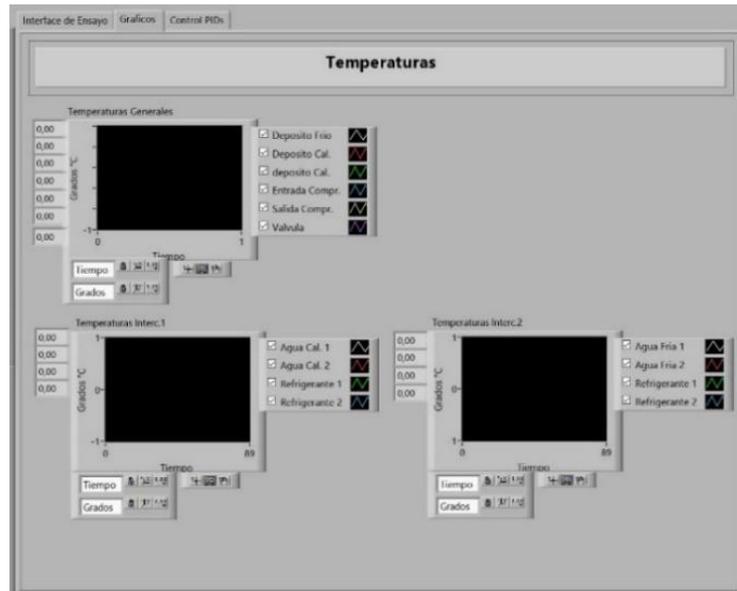


Ilustración 48 Interface de Gráficos (Temperaturas). Configuración Agua-Agua

Por último, se encuentra la pestaña “**Control PIDs**”, esta pestaña esta pensada la futura implementación de los controladores PIDs dentro del programa LabVIEW para ambas configuraciones.

5.1.2. Diagrama de Bloque

En el diagrama de bloque es donde se encuentra la programación del software en cuestión. Utilizando un lenguaje de bloques, se crearon los controladores y las operaciones necesarias para la recopilación de los datos de los dataloggers y su presentación en el panel frontal.

El Diagrama de bloque está conformado de una gran estructura, el cual recibe el nombre de “**Cuadro Principal**”, siendo este el encargado de organizar el código principal del programa, que a su vez está dentro de un **Ciclo tipo While**, que le permite correr libremente con la posibilidad de que el usuario pueda interactuar con el código por medio de interruptores y botones.

5.1.2.1. Cuadro Principal

Como se comentó anteriormente, este es el cuadro donde se encuentra la programación principal del software.

Este cuadro esta realizado en varias capas, siendo la primera capa un **Bucle tipo While**, utilizado para como parte de una buena práctica, que permite a los programas codificados el iniciar o detenerse por medio de condiciones programados y no por medio del cerrado completo del software.

Dentro de este **Ciclo tipo While**, se encuentra una **Estructura de Secuencia Plana** (Flat Sequence Structure), la cual nos permite, al añadir más secciones a esta estructura, realizar operaciones que ocurren en sucesión directa. Esto sirve para realizar operaciones en un orden determinado. La Segunda secuencia no inicia sin que la primera haya completado todas sus operaciones.

La configuración Agua-Agua, cuenta con cinco secuencias dentro de su Estructura de Secuencia Plana. A continuación, se detallan cada una de estas.

- **1ra Secuencia**

Esta secuencia contiene tres operaciones, siendo la primera de estas la obtención de la fecha y hora en el que se activa la primera secuencia para ingresarla en la variable de **“Hora Inicio ensayo”**.

Las segunda y tercera operación se encuentran dentro de un **Bucle tipo While**. La primera de estas operaciones trata de un activador que cambia el modo de funcionamiento de la configuración, cambiándolas entre **Modo Calefacción** y **Modo Refrigeración** (que traen consigo cambios estéticos a la interface del panel frontal), mientras que la segunda se trata de la representación de los botones **“Start”** y **“Para Ensayo”**, los cuales están conectados a un **Operador Lógico tipo OR** que a su vez se conecta al botón de **Detenido** este **Bucle tipo While**. Al presionar uno de los dos botones antes presionados, finaliza este **Bucle tipo While**, dando fin a la **1ra Secuencia** y dando paso a la **2da Secuencia**.

Adicional a esto, el botón **“Para Ensayo”**, está conectado al botón de Detenido del **Bucle tipo While** del **Cuadro Principal**, por lo que presionarlo no solo finalizara el bucle que se encuentra en la **1ra Secuencia**, sino que también detiene todas las otras cuatro secuencias al finalizar con el bucle donde se encuentran estas.

Esta Secuencia se muestra en el **Anexo 2**.

- **2da Secuencia**

Esta secuencia registra los datos ingresados en **“Periodo entre lecturas (s)”**, **“Hora inicio ensayo”**, **“Duración el ensayo (h)”** y **“Destino de Almace. De Datos”** para su utilización posterior. Se muestra en **Anexo 3**.

Al ser registrados estos datos, se finaliza la **2da Secuencia** y se da inicio a la **3ra Secuencia**.

- **3ra Secuencia**

Esta secuencia tiene solo dos operaciones, siendo la primera un **Bucle tipo While** que contiene una función de para la obtención de fecha y hora para ser comparada con el valor encontrado en la variable **“Hora Inicio ensayo”**. Este bucle solo se da como finalizado cuando el valor de fecha y hora obtenido en esta secuencia es mayor o igual a la de la variable **“Hora Inicio ensayo”**.

Esta operación sirve para programar ensayos a una hora diferente a la actual, ya que iniciar el programa luego de haber ingresado manualmente una hora y fecha en la variable **“Hora Inicio ensayo”** superior a la que se encuentre en el momento de operación del equipo, este se quedara congelado en la **3ra Secuencia** hasta que la función encontrada en este bucle detecte que la hora en el ordenador sea igual o mayor a la registrada en **“Hora Inicio ensayo”**, dando fin al bucle y dejando continuar la realización de la secuencia.

Además de este bucle, se encuentra una estructura llamada **“In Place Element Structure”** (de ahora en adelante, **“Estructura”**) la cual nos permite agrupar distintas variables y operaciones, para facilitar la lectura y la organización del código.

Dentro de esta estructura se encuentra la operación llamada **“Asignación de Nombres”**, esta operación permite ingresar (en un orden específico) los nombres de las variables para la primera fila del documento de Excel. En orden, se introduce primero el nombre **“Fecha”**, luego se ingresan los nombres de las variables del **Circuito Refrigerante**, **Circuito de Agua Fría**, **Circuito de Agua Caliente** y **“T. Ambiente”**. Cabe añadir que la operación donde se ingresan los nombres de las variables de los tres circuitos mencionados fueron convertidos en **SubVI**, para reducir el consumo de espacio de la operación.

Estos nombres, son convertidos en una matriz de una fila, y se registra, por medio de una función, al documento Excel seleccionado.

Se muestra en **Anexo 4**.

Al realizarse este registro, se da como finalizado la **3ra Secuencia** y da inicio a la **4ta Secuencia**.

- **4ta Secuencia**

En esta secuencia se encuentran las operaciones de recopilación de datos desde los dataloggers y su posterior registro en el documento de Excel.

Las variables en esta secuencia se encuentran dentro de un **bucle tipo While**, agrupados en Estructuras que los diferencias dependiendo de funcionalidad, circuito en el que se encuentra y el equipo al que está midiendo. Estas estructuras son las siguientes:

- **Validación de Ensayo.** Esta Estructura agrupa las seis variables que se consideran como principales (Temperatura de entrada y salida de ambos intercambiadores y sus presiones diferenciales), ingresando sus valores en un **SubVI** que saca como resultado un valor True si ninguno de esta variable presenta un valor con una alta desviación con respecto a la media presentada hasta el momento.

Esta operación sirve para determinar las muestras que son válidas y diferenciarlas de las que no, ya que para ciertos ensayos se consideren como exitosos, se requieren de una cantidad específica de lecturas válidas.

Se muestra en **Anexo 5**.

- **Circuito de Agua Caliente (Intercambiador 1).** En esta Estructura se encuentran las variables correspondientes al circuito de agua caliente presentado en el diagrama del panel frontal.

Este circuito es el que interactúa con el Intercambiador 1, debido a que es el único, en el momento, al que se le puede sacar datos en calidad de prueba, ya que corresponde al Intercambiador de Placas del programa original.

Se muestra en **Anexo 6**.

- **Circuito de Refrigerante.** Dentro de esta estructura se encuentran cuatro subestructuras más que corresponden a los equipos que están dentro del circuito refrigerante. Estos equipos son la válvula de expansión, el Intercambiador 1 (circuito agua caliente), el Compresor y el Intercambiador 2 (circuito agua fría). Dentro de estos se encuentran las variables que corresponden a dicho equipo.

Además de las subestructuras y sus variables, en esta Estructura también se encuentra la variable del caudal del líquido refrigerante ("**Caudal Refri.**")

Se muestra en **Anexo 7**.

- **Adquisición de Datos.** En esta Estructura se encuentran dos subestructuras, una asignada para el **Datalogger A** y la otra para el **Datalogger B**, que corresponden a los dos dataloggers encargados de la adquisición de datos de los distintos sensores colocados en la instalación experimental.

Dentro de la subestructura del **Datalogger A** se encuentra la función de llamada de Dataloggers de **Agilent (AG34970)** a la cual se le asigna el equipo correspondiente mediante una variable de ingreso (**DLA**). Esta función está conectada a cinco funciones de lectura, las cuales se componen de tres funciones de temperatura (una normal, la segunda para los sensores de cuatro hilos y la tercera para los termopares), una función de voltaje (paralelo) y una de amperaje (serie).

A cada función de lectura se le asignan los “canales” del datalogger en donde se encuentra la señal de medida por medio de una constante (separando los diferentes canales con una coma). La función convierte estos datos en una matriz con el mismo orden en el que se encuentran dentro de la constante escrita. Por último, estas funciones son conectadas a las variables correspondientes a cada canal, las cuales toman los datos encontrados en la matriz de la función de lectura, llamando al dato que se encuentra en la posición correspondiente.

Por ejemplo, si a una función de lectura de temperatura se le asigna los canales “100, 101”, de donde se registran los valores de temperatura “X” y “Y” respectivamente, esta función creará una matriz tipo [X, Y]. Posteriormente, cada dato de la matriz puede ser extraído al ser llamado por medio de funciones de matrices, las cuales requieren el conocimiento de la posición en donde se encuentran en la matriz, siendo la posición “0” para el valor “X” y el “1” para el “Y”.

Al final de las funciones de lectura se encuentra la función de cerrado para el datalogger y una función de error, para dar fin a la conexión con el equipo.

Por otro lado, en la subestructura del **Datalogger B**, a la cual se ingresa por medio de la función de llamada con la variable de ingreso correspondiente (**DLB**), se encuentran solamente dos funciones de lectura, siendo estas dos funciones de amperaje, las cuales siguen el mismo procedimiento de operación antes explicado para el **Datalogger A**. Se muestra en **Anexo 8**.

- **Pendientes de Asignar.** Aquí se encuentran las variables que se han colocado en el diagrama de la interface principal, pero que aún no cuentan con canales asignados dentro de ninguno de los dos dataloggers disponibles. Se ha utilizado una **Estructura** para mantenerlos agrupados.

Las variables pendientes a asignar para esta configuración son las siguientes:

- **Circuito de Agua Fría**
 - **T. A. F.1. Intercam.2** (Temperatura agua fría entrante)
 - **T. A. F.2. Intercam.2** (Temperatura agua fría saliente)
 - **Pre. Difer. A. F. Intercam.2** (Diferencia de presión en el intercambiador)
- **Intercambiador 2**
 - **T. Refri.1 Intercam.2** (Temperatura de refrigerador entrante)
 - **T. Refri.2 Intercam.2** (Temperatura de refrigerador saliente)
 - **Pre. Refri. Intercam.2** (Presión entrante al intercambiador)
 - **Pre. Difer. Refri. Intercam.2** (Diferencia de presión en el intercambiador)

Se muestra en **Anexo 9**.

- **Graficas.** En esta estructura se encuentran las funciones de graficas de **LabVIEW** para los valores de correspondientes a caudales, compresor, temperaturas generales, presiones, presiones diferenciales, Temperaturas en el intercambiador 1 y Temperaturas en el intercambiador 2.

A cada grafica se le ingresan los valores de las variables correspondientes haciendo uso de la función de “variable local” en modo de lectura y no mediante la conexión directa con la variable en cuestión, para ayudar a la fácil lectura e identificación del código.

Se muestra en **Anexo 10**.

- **Asignación de Nombres.** En esta estructura, al igual que la estructura del mismo nombre en la **3ra Secuencia**, se realiza una operación que se encarga de registrar los valores que se recogen en las variables medidas en cada lectura, para ser colocado como la siguiente fila en el documento de **Excel**.

Se requiere que el orden entre el “valor de la variable” (**4ta Secuencia**) y el “nombre de la variable” (**3ra Secuencia**) coincidan.

Se muestra en **Anexo 11**

- **Otros.** En esta Estructura solo se encuentra la variable para la temperatura ambiente (“**T. Ambiente**”). Se muestra en **Anexo 12**.

Debido a que todas estas operaciones suceden dentro de un **bucle While**, las llamadas a los canales de los Dataloggers, las lecturas y los registros se realizaran de una manera indefinida hasta que este bucle se interrumpa. Las condiciones para la finalización de este bucle son el presionar uno de los dos los botones de “**Para el programa**” y “**Para ensayo**”, o que se cumpla el tiempo ingresado en la variable de “**Duración del ensayo (h)**”. Mientras que no se cumplan esas condiciones, el bucle se actualizará cada vez que se cumpla un periodo de tiempo igual al ingresado en la variable de “**Periodo entre lecturas**”.

Al finalizar este bucle, se dará como finalizado la **4ta Secuencia** y se inicia la **5ta Secuencia**.

- **5ta Secuencia**
Esta secuencia solo se usa para indicar al usuario del programa que el ensayo ha finalizado y que los datos han sido almacenados en el documento correspondiente, haciendo uso del “**Indicador de Etapa**”, como se muestra en la parte inferior de la **Ilustración 46**.

Al finalizar esta secuencia, se dará como finalizada todas las operaciones encontradas dentro del **bucle While** principal del Cuadro Principal, haciendo que, por lo tanto, vuelva a iniciarse en la **1ra Secuencia** colocando el programa en espera de activación nuevamente.

Se muestra en **Anexo 13**.

El orden en el cual están organizado tanto los canales como el orden de ingreso en las estructuras de **Asignación de Nombres** (tanto en la **3ra Secuencia** como en la **4ta Secuencia**) están presentadas en la encontrada en el Anexo 1.

Mas información acerca de las variables encontradas en estas secuencias se puede encontrar en el **Anexo 14**.

5.2. Programación Bomba de Calor Aire-Aire

La configuración de Bomba de Calor Aire-Aire es la más complicada de las dos, ya que, al basar su funcionamiento en la obtención de energía por medio de dos fuentes de aire, se deben cumplir ciertos controles y operaciones adicionales que no se realizan en la configuración de Agua-Agua.

Al igual que la configuración Agua-Agua, a esta configuración cuenta con un diagrama realizado en **AutoCAD** para representar los circuitos que lo comprenden y el modo en el cual está trabajando. Dichos diagramas se pueden apreciar en la **Ilustración 49**.

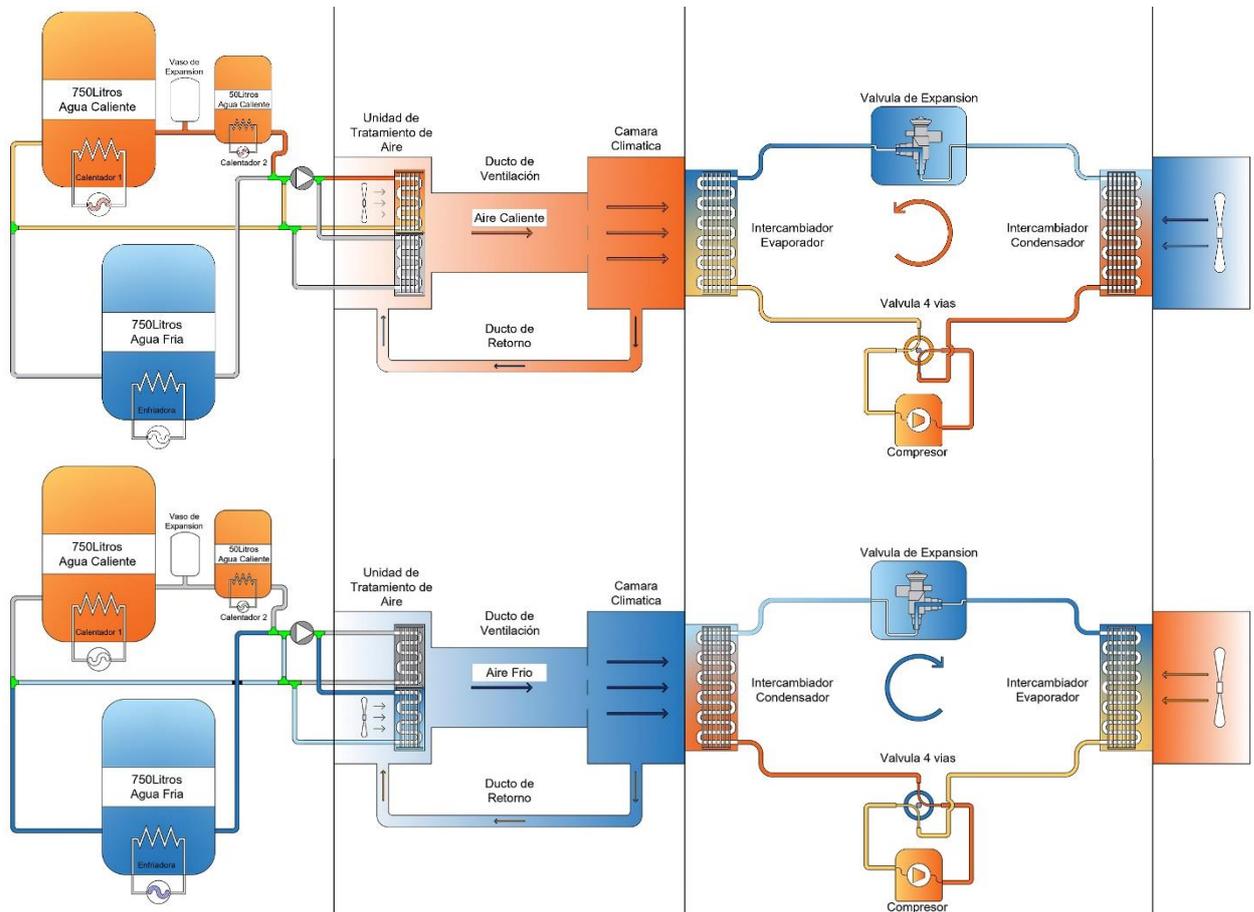


Ilustración 49 Configuración Aire-Aire en modo calefacción (arriba) y refrigeración (abajo)

A diferencia de la configuración Agua-Agua, esta configuración cuenta con cuatro secciones. Cada sección con el equipo correspondiente.

Circuito de Agua

- **Depósito de Agua Caliente Grande**
- **Depósito de Agua Caliente Pequeño**
- **Depósito de Agua Fría Grande**
- **Bomba de Agua**
- **Intercambiador Agua-Aire**

Circuito de Aire

- **Ventilador Circuito Aire (Unidad de tratamiento de aire)**
- **Intercambiador Agua-Aire**
- **Ducto de Ventilación**
- **Ducto de Retorno**
- **Cámara Climática**
- **Intercambiador Aire-Refrigerante**

Circuito de Refrigerante

- **Válvula de Expansión**
- **Intercambiador Aire-Refrigerante (1)**
- **Intercambiador Aire-Refrigerante (2)**
- **Compresor**

Ambiente

- **Ventilador Ambiente**
- **Intercambiador Aire-Refrigerante (2)**

A diferencia de la configuración Agua-Agua, en esta configuración los dos circuitos de agua (El caliente y el frío) se han agrupado en la misma sección, ya que en la configuración Aire-Agua original, ambos circuitos tienen la capacidad de interactuar con los intercambiadores en la unidad de tratamiento de aire, ayudando así a representar de una manera más limpia y compacta.

Adicionalmente, debido a las dificultades que conlleva la instalación de una segunda unidad de tratamiento de aire y/o una cámara climática adicional, se propuso el uso del aire del ambiente del Laboratorio de Frío y Calor del Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la UPCT.

Las variables contenidas en este diagrama, clasificadas por circuito y por equipo, están mostrados en la **Tabla 8**.

Tabla 8 Variables introducidas por circuito en la Configuración Aire-Aire

| Configuración de Bomba de Calor Aire-Aire | | | | |
|---|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------|--|
| Circuito | Nombre de Equipo | Magnitud a Medir | Nombre de Variable | Nombre de Variable |
| Circuito Agua | Deposito Agua Caliente Grande | Temperatura | T. Deposito C. | Temperatura en el Depósito Grande de agua caliente |
| | Deposito Agua Caliente Pequeño | Temperatura | T. deposito C. | Temperatura en el Depósito pequeño de agua caliente |
| | Deposito Agua Fría Grande | Temperatura | T. Deposito F. | Temperatura en el Depósito Grande de agua fría |
| | Bomba de Agua | Caudal | Caudal A. C. | Caudal de agua que llega el intercambiador agua-refrigerante 2 |
| Circuito de Aire | Intercambiador Agua-Aire Caliente | Temperatura | T. Agua C. UTA1 | Temperatura de agua en entrada de intercambiador agua-aire caliente |
| | | Temperatura | T. Agua C. UTA2 | Temperatura de agua en salida de intercambiador agua-aire caliente |
| | Intercambiador Agua-Aire Frio | Temperatura | T. Agua F. UTA1 | Temperatura de agua en entrada de intercambiador agua-aire fría |
| | | Temperatura | T. Agua F. UTA2 | Temperatura de agua en salida de intercambiador agua-aire fría |
| | Ducto De Ventilación | Temperatura | T. Media Aire1 Duc.1 | Temperatura media del aire en el ducto de ventilación |
| | | Frecuencia | Frec. Ventilador | Frecuencia en el cual está funcionando el ventilador de la unidad de tratamiento de aire |
| | | Caudal | Caudal de aire | Caudal del aire que pasa por el Ducto de ventilación |
| | | Velocidad | Media. Vel. Aire | Velocidad media del aire que pasa por el ducto de ventilación |
| | | Presión Diferencial | Caída de Presión (Ducto) | Caída de presión del aire dentro del ducto de ventilación |
| | Ducto de Retorno | Temperatura | T. Media Aire2 | Temperatura media del aire en el ducto de retorno |
| | Cámara Climática | Temperatura | T. Media Ext. CC. | Temperatura media en el exterior de las paredes de la cámara climática |
| | | Temperatura | T. Media Int. CC. | Temperatura media en el interior de las paredes de la cámara climática |
| | | Temperatura | Ts Ai Cam. | Temperatura media ambiente en el interior de la cámara climática |
| | | Presión | Pre. CC. | Presión del aire dentro de la cámara climática |
| | | Presión Diferencial | Dife. Pre. Aire Intercam.1 | Diferencia de presión del aire cuando interactúa con el intercambiador aire-refrigerante 1 |
| | | Humedad Relativa | HRs Cámara | Humedad relativa dentro de la cámara climática |
| Circuito de Refrigerante | Válvula de Expansión | Temperatura | T. Valv. | Temperatura de refrigerante a la entrada/salida de la válvula de expansión |
| | | Presión | Pre. Valv. | Presión de refrigerante a la entrada/salida de la válvula de expansión |
| | | Caudal | Caudal Refri. | Caudal de refrigerante a la entrada/salida de la válvula de expansión |
| | Intercambiador Aire-Refrigerante (1) | Temperatura | T. Refri.1 Intercam.1 | Temperatura de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador aire-refrigerante 1 |
| | | Temperatura | T. Refri.2 Intercam.1 | Temperatura de refrigerante a la salida/entrada de intercambiador aire-refrigerante 1 |
| | | Presión | Pre. Refri. Intercam.1 | Presión de refrigerante a la entrada/salida de de intercambiador aire-refrigerante 1 |
| | | Presión Diferencial | Pre. Difer. Refri. Intercam.1 | Diferencia de presión entre la entrada y la salida del refrigerante en el intercambiador aire-refrigerante 1 |
| | Otros | Temperatura | T. Ambiente | Temperatura del aire en el ambiente del laboratorio |
| | Compresor | Temperatura | T. Entrada Compr. | Temperatura de refrigerante en la entrada del compresor |
| | | Temperatura | T. Salida Compr. | Temperatura de refrigerante en la salida del compresor |
| | | Presión | Pre. Entrada Compr. | Presión de refrigerante en la entrada del compresor |
| | | Presión | Pre. Salida Compr. | Presión de refrigerante en la salida del compresor |
| | | Potencia Activa | Potencia Activa | Potencia activa que consume el compresor al trabajar |
| | | Potencia Reactiva | Potencia Reactiva | Potencia reactiva que consume el compresor al trabajar |
| | Intercambiador Aire-Refrigerante (2) | Voltaje | Voltaje | Voltaje al cual está trabajando el compresor |
| | | Temperatura | T. Refri.1 Intercam.2 | Temperatura de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador aire-refrigerante 2 |
| | | Temperatura | T. Refri.2 Intercam.2 | Temperatura de refrigerante a la salida/entrada de intercambiador aire-refrigerante 2 |
| | | Presión | Pre. Refri. Intercam.2 | Presión de refrigerante a la entrada/salida de intercambiador aire-refrigerante 2 |
| | | Presión Diferencial | Pre. Difer. Refri. Intercam.2 | Diferencia de presión entre la entrada y la salida del refrigerante en el intercambiador aire-refrigerante 2 |
| Ambiente | Ventilador Ambiente | n/a | n/a | n/a |
| | Intercambiador Aire-Refrigerante (2) | Presión Diferencial | Dife. Pre. Aire. Intercam.2 | Diferencia de presión del aire cuando interactúa con el intercambiador aire-refrigerante 2 |

5.2.1. Panel Frontal de la configuración Aire-Aire

El panel frontal de esta configuración está separado en dos partes, similar a la configuración agua-agua. Estas dos partes son “Control de Ensayo” y la “Interface de Pestañas”.

Para la configuración Aire-Aire, la parte de “

Control de Ensayo” permanece igual a la presentada para la configuración agua-agua, con sus doce variables colocadas de igual forma.

En cambio, las parte de la “Interface de Pestañas”, ha sido expandida para corresponder a la mayor cantidad de variables que maneja esta configuración.

5.2.1.1. Interface de Pestañas

La interface de pestaña del panel frontal de la configuración Aire-Aire es más grande que la encontrada en la configuración Agua-Agua debido a la mayor cantidad de variable y equipos que esta configuración maneja.

Las pestañas encontradas en esta interface son las siguientes:

- **Interface de Ensayo**
- **Circuito de Aire**
- **Intercambiadores**
- **Gráficos**
- **Control PIDs**

En la primera pestaña, “Interface de Ensayo” se encuentran plasmados los diagramas mostrados en la **Ilustración 49**. En este diagrama, se colocaron las variables descritas en **Tabla 8** en las posiciones de circuitos y equipos correspondientes. La **Ilustración 50** muestra una imagen de la **Interface de Ensayo**.

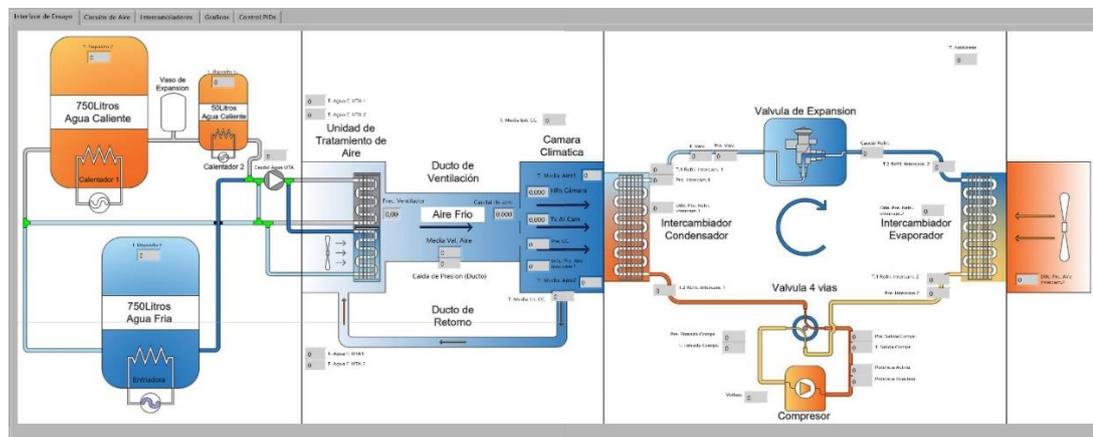


Ilustración 50 Interface de Ensayo con variables. Configuración Aire-Aire

En la pestaña de Circuito de Aire, mostrada en la **Ilustración 51** se encuentran las variables que representan a los valores medidos por los sensores de temperatura y humedad relativa colocados en el **Ducto de Ventilación**, en las inmediaciones del intercambiador aire-refrigerante dentro de la cámara climática y los sensores en las paredes interiores y exteriores de la cámara climática. Para cada agrupación de variables se realizó un esquema por medio del software de **AutoCAD**.

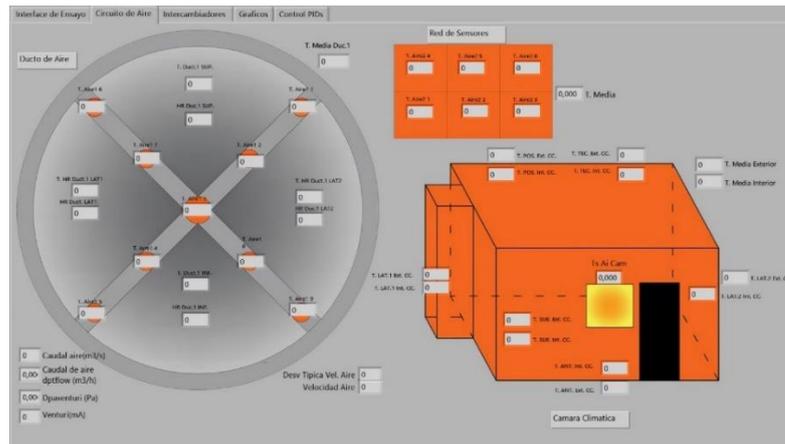


Ilustración 51 Circuito de Aire con sus variables. Configuración Aire-Aire

Para las variables encontradas en el Ducto de Ventilación, se utilizó una reversión de la imagen encontrada en el programa original, con la única diferencia de que tiene dos versiones, correspondiendo una para el modo calefacción y la otra para el modo refrigeración cuando la unidad de tratamiento de aire este manejando aire caliente o aire frío, respectivamente. La **Ilustración 52** presenta estas dos versiones.

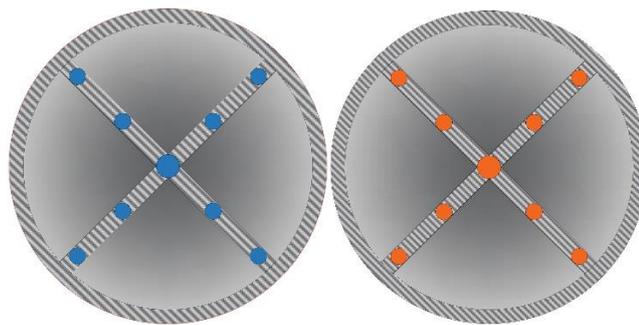


Ilustración 52 Diagrama de Ducto de Ventilación para Modo Calefacción (izquierda) y Refrigeración (derecha).

Para las variables representantes de los sensores encontrados en la red colocada luego del intercambiador aire-refrigerador, se realizó un esquema sencillo, similar al encontrado en el programa original, solo que, al igual que con el diagrama del Ducto de Ventilación, se realizaron dos versiones para el modo calefacción y el modo refrigeración. La **Ilustración 53** muestra estas dos versiones.



Ilustración 53 Diagrama de Red de Sensores para Modo Calefacción (izquierda) y Refrigeración (derecha).

Por último, para los sensores colocados en las paredes de la cámara climática, se empleó un diagrama original que representa una estructura en tres dimensiones en donde se colocaron las variables en las paredes correspondientes. Al igual que las partes anteriores, este diagrama cuenta con dos versiones diferentes como se presenta en la **Ilustración 54**.

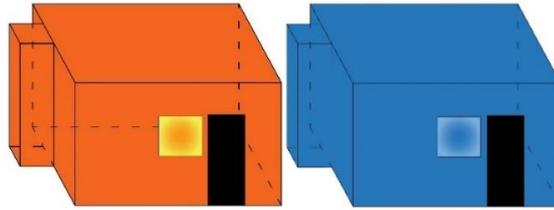


Ilustración 54 Diagrama de Cámara Climática para Modo Calefacción (izquierda) y Refrigeración (derecha).

En la tercera pestaña, llamada “**Intercambiadores**”, se realiza una representación gráfica de los dos intercambiadores aire-refrigerante del circuito de refrigerante. En estos diagramas se encuentran las variables de entrada y salida de temperatura de refrigerante y de los sensores de termopares que se instalaron en puntos definidos de las tuberías de los intercambiadores. Una captura de esta pestaña se muestra en la **Ilustración 55**

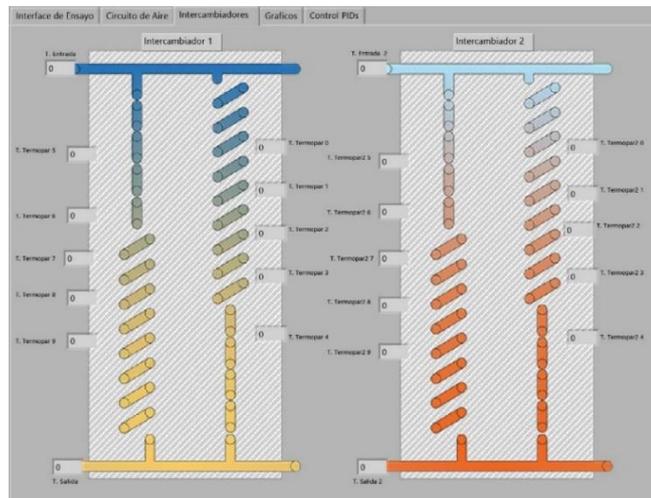


Ilustración 55 Intercambiadores con sus variables. Configuración Aire-Aire

Al igual que los diagramas anteriores, los diagramas de cada intercambiador cuenta con versiones para el modo de refrigeración y para el modo de calefacción. Estos son presentados en la **Ilustración 56**.

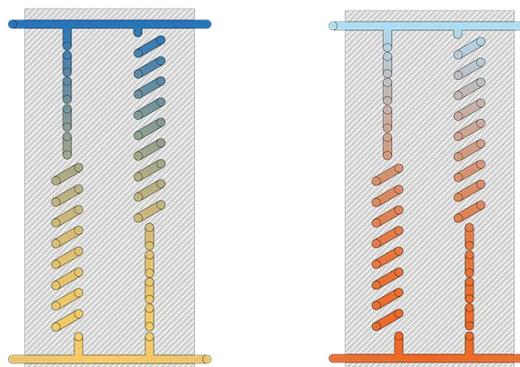


Ilustración 56 Diagramas de Intercambiador 1 (calefacción) e Intercambiador 2 (refrigeración) en la izquierda. Diagrama Intercambiador 2 (calefacción) e Intercambiador 1 (refrigeración) en la derecha.

La cuarta pestaña, llamada “**Gráficos**”, funciona de igual manera que la pestaña homónima de la configuración Agua-Agua. En este caso, al igual que el anterior, las gráficas se agrupan en tres grupos, **Temperaturas, Presiones, Otros**. La **Ilustración 57** muestra una captura de la sección de graficas de la configuración.

Dentro de la sección de “**Temperaturas**” se encuentran tres gráficas;

- **Temperaturas Generales.** Esta grafica contiene las mismas variables encontradas en la gráfica de mismo nombre en la configuración Agua-Agua, con la adición de las temperaturas medias medidas en el ducto de ventilación, el ducto de retorno y el interior y exterior de la cámara climática.
- **Temperaturas Cámara Climática 1.** En esta grafica se encuentran las variables de temperatura medidas por los sensores instalados en el interior y exterior de las paredes, techo y suelo de la cámara climática.
- **Temperaturas Interc.1.** Aquí se encuentran la temperatura del refrigerante a la entrada y la salida del intercambiador aire-refrigerante 1, además de los valores medidos por los termopares instalados en estos.
- **Temperaturas Interc.2.** Aquí se encuentran la temperatura del refrigerante a la entrada y la salida del intercambiador aire-refrigerante 1, además de los valores medidos por los termopares instalados en estos.

En la sección de “**Presiones**” se encuentran dos graficas:

- **Presiones.** Como su nombre indica, aquí se agrupan todos los valores de las variables de presión del sistema.
- **Presiones Diferenciales.** Al igual que con la presión, en este apartado se agrupan los valores medidos por todos los sensores de presión diferencial encontrados en el sistema.

Por último, en la sección de “**Otros**” se encuentran las variables restantes del programa. Hay dos graficas:

- **Compresor.** Aquí se ven los valores medidos desde el compresor que no son ni de temperatura ni de presión, como lo son el Voltaje en el que opera y la Potencia Activa y Reactiva que se consume en él.
- **Humedad Relativa.** Aquí se encuentran los valores de las variables de humedad relativa medidas por los sensores encontrados en el ducto de ventilación y la cámara climática.
- **Velocidad del Aire.** En esta grafica se visualiza la variación a través del tiempo de la velocidad del aire medida en el ducto de ventilación.
- **Caudales.** En esta grafica se agrupan los valores de caudales encontrados en el sistema.

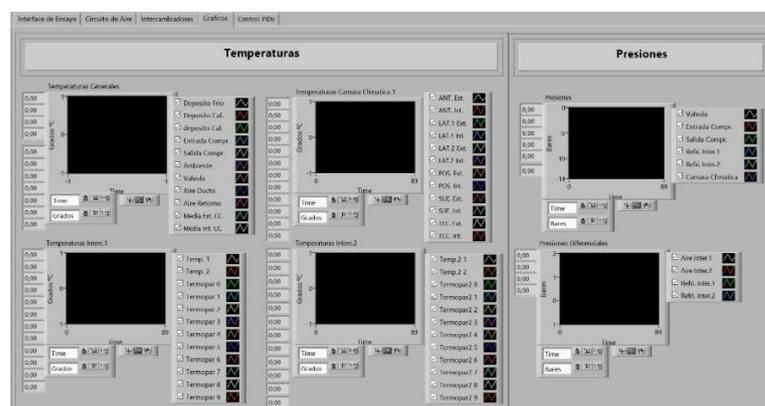


Ilustración 57 Gracias con sus variables. Configuración Aire-Aire

Por último, está la pestaña dedicada a la inserción de los controles de PIDs de la configuración, “**Control PIDS**”. Esta tiene el mismo objetivo que la encontrada en la configuración de Agua-Agua.

5.2.2. Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques de la configuración Aire-Aire está programada y distribuido de manera similar a la de la configuración Agua-Agua, conteniendo ligeras diferencias para ser adaptado al aumento de variables y equipos que requiere esta configuración.

De igual manera que lo visto anteriormente, este Diagrama de Bloques contiene dos partes o “cuadros”. Estos cuadros están hechos basados en los encontrados en la configuración Agua-Agua, por lo que solo se dará importancia a la diferencia que tiene una de la otra.

5.2.2.1. Cuadro Principal

El cuadro principal de esta configuración está estructurado similar a la de la configuración Agua-Agua, con un **Bucle tipo While** principal, al que se le coloca adentro una **Estructura de Secuencia Plana** de cinco Secuencias.

Debido a que la **1ra Secuencia**, la **2da Secuencia** y **5ta Secuencia** son secuencias genéricas para la para la utilización del programa, se han mantenido iguales a las encontradas en la configuración Agua-Agua.

La 1ra, 2da y 5ta Secuencia se muestran en **Anexo 16**, **Anexo 17** y **Anexo 31** respectivamente.

La **3ra Secuencia** y la **4ta Secuencia**, fueron adaptadas a esta configuración, siendo la primera en menor magnitud comparada con la segunda. A continuación, se detallan las principales diferencias entre estas dos secuencias con sus homónimas en la configuración Agua-Agua.

- **3ra Secuencia**

La diferencia entre esta secuencia y la encontrada en la configuración Agua-Agua es la operación contenida dentro de la **Estructura** llamada “**Asignación de Nombres**” debido a que esta operación se adaptó a las cantidades y variaciones de variables encontradas en esta configuración.

El orden de la fila propuesta para el registro de datos comienza con “**Fecha**”, para luego empezar con los **SubVI** de los circuitos mencionados anteriormente, empezando por **Circuito de Refrigerante**, **Circuito de Agua**, **Circuito de Aire** y finalizando con la entrada de “**T. Ambiente**”

Se muestra en **Anexo 18**.

- **4ta Secuencia**

La estructura de esta secuencia se mantiene de manera similar a la de la configuración Agua-Agua, cambiando solo las Estructuras encontradas dentro del **Bucle tipo While** dentro de esta secuencia.

Las Estructuras propuestas para esta secuencia de la configuración son las siguientes:

- **Validación de Ensayo.** Esta estructura sigue la misma operación para validar los datos registrados que en la configuración Agua-Agua, utilizando las variables de temperatura de entrada y salida de refrigerante en ambos intercambiadores y las diferencias de presiones que sufre el refrigerante al pasar por dichos intercambiadores. Se muestra en **Anexo 19**.
- **Circuito de Agua.** En esta agrupación, se encuentran las temperaturas del agua en la entradas y salidas de los intercambiadores encontrados en la unidad de tratamiento de aire, además de la variable de medición del caudal del agua que llega a dicha unidad. Se muestra en
-
- **Anexo 20.**

- **Depósitos de Agua.** En esta estructura se encuentran las variables de las temperaturas de los tres depósitos de agua de la instalación. Se muestra en **Anexo 21**.
- **Intercambiador 1.** En esta agrupación se encuentran todas las variables relacionadas con el Intercambiador aire-refrigerador. Aquí se encuentran las variables temperatura de entrada y salida del refrigerante en el intercambiador, los valores de la presión diferencial del aire y del refrigerador al pasar por el intercambiador y la presión de entrada/salida del refrigerante. Se muestra en
- **Anexo 22.**
- **Cámara Climática.** Esta estructura contiene tanto las variables de temperatura del ambiente interior de la cámara climática como las variables de humedad relativa y la presión dentro de la cámara.

Además, cuenta con dos subestructuras, una para las Sondas de Temperaturas Exteriores y otra para las Sondas de Temperaturas Interiores, que agrupan todas las variables de temperatura de las paredes interiores y exteriores de la cámara climática.

Se muestra en

Anexo 23.

- **Fuente de Aire 1.** Esta estructura agrupa todo lo relacionado con la fuente de aire número 1, que en este caso corresponde a la unidad de tratamiento de aire en el circuito de aire disponible para la instalación.

Dentro de esta agrupación se encuentran cuatro subestructuras. Siendo la primera **Temperatura Aire 1**, donde se agrupan las variables de los sensores de temperaturas ubicados en el ducto de ventilación, seguido por la subestructura de **HR Ducto 1**, donde están las variables de Humedad Relativa ubicados en los extremos del ducto de ventilación. La tercera subestructura es llamada **Temperatura Aire 2**, agrupándose en ellas las variables de temperaturas correspondientes a la red instalada posterior al intercambiador aire-refrigerador 1.

Por último, está la agrupación llamada "**Otros Datos de Conducto1**", donde se contiene las variables de velocidad y caudal del conducto de ventilación.

Se muestra en

Anexo 24.

- **Circuito de Refrigerante.** A diferencia que en la configuración Agua-Agua que contiene menos variables, las subestructuras que representan las variables de los intercambiadores han sido removidas, y solo permanecen las subestructuras para la **Válvula de Expansión** y para el **Compresor** con sus respectivas variables de presión, temperatura y potencia. Se muestra en **Anexo 25**.
- **Adquisición de Datos.** Funcionando de igual manera que su contraparte de Agua-Agua, esta estructura contiene las funciones de llamada, lectura y cierre de los dataloggers requeridos para la obtención de los datos medidos por los sensores de la instalación.

Al igual que la anterior, esta se divide en **Datalogger A** y **Datalogger B**. El A cuenta con una función de lectura de la intensidad, una de voltaje y cuatro de temperatura (dos normales, una para las termocuplas y uno para el sensor de cuatro líneas). Mientras que el B cuenta con uno de intensidad, uno de voltaje y uno de temperatura.

Se muestra en **Anexo 26**.

- **Pendientes de Asignar.** Aquí se encuentran las variables que aun requieren que se les asigne un canal dentro de los **Dataloggers A y B**.

En este caso, contiene la subestructura de las variables correspondientes al Intercambiador Aire-Refrigerante 2, el cual no cuenta con mediciones, aunque si cuentan con su ubicación en la pestaña de “**Intercambiadores**”, del panel frontal.

Estas variables son:

- **Termopares.** Estos corresponden a los termopares del 1 al 9
- **Temperatura Refrigerante.** Medida en la entrada y la salida del intercambiador
- **Temperaturas.** Tanto de entrada y de salida del aire que interactúa con el intercambiador.
- **Presión.** Presión de entrada/salida del intercambiador.
- **Presión Diferencial.** Para las diferencias de presiones en el refrigerante y en el aire del ambiente.

Se muestra en **Anexo 27**.

- **Graficas.** Al igual que lo descrito en la configuración Agua-Agua, aquí se encuentran agrupados cada grafica utilizada en la interfaz del panel frontal. Utilizando variables locales de lectura para proporcionar los datos requeridos por las gráficas en cuestión. Se muestra en **Anexo 28**.
- **Asignación de Nombres.** De manera similar, esta estructura guarda los datos registrados de todas las variables encontradas en el panel frontal y las que pueden ser leídas en las gráficas, respetando el mismo orden en el cual se ingresaron sus nombres en la Estructura del mismo nombre en la **3ra Secuencia**. Se muestra en **Anexo 29**.
- **Otros.** Esta estructura se reserva para las variables que no miden magnitudes relacionadas con un equipo en específico. En esta ocasión, e igual a la anterior, aquí se encuentra la temperatura medida en el ambiente (“**T, Ambiente**”). Se muestra en **Anexo 30**.

El orden en el cual están organizado tanto los canales como el orden de ingreso en las estructuras de **Asignación de Nombres** (tanto en la **3ra Secuencia** como en la **4ta Secuencia**) están presentadas en la encontrada en el Anexo 1.

Mas información acerca de las variables encontradas en estas secuencias se puede encontrar en el **Anexo 32**.

5.3. Controladores PIDs de los programas.

En este segmento se habla a detalle de los controladores PIDs requeridos por el programa de la configuración Agua-Agua y el de la configuración Aire-Aire, como también del programa utilizado para la realización del control de dichos PIDs.

5.3.1. Controladores PIDs requeridos por los programas.

El programa original al cual está basado los otros dos programas, utiliza un total de seis PIDs diferentes, detallados anteriormente en la **Tabla 6**.

Debido a que las configuraciones Agua-Agua y Aire-Aire tienen diferentes equipos que los encontrados en la configuración original Aire-Agua, estos requieren una cantidad diferentes de controladores PIDs para la correcta realización de los ensayos.

Para la **Configuración Agua-Agua**, se tienen dos circuitos auxiliares al Circuito de Refrigerante, los cuales son el Circuito de Agua Caliente y el Circuito de Agua Fría, para la correcta realización de los ensayos, es de conveniencia controlar la temperatura del agua en la entrada y la salida de ambos intercambiadores de la instalación.

Esto quiere decir que de manera esencial la configuración Agua-Agua requiere cuatro controladores PIDs, los cuales se describen en la **Tabla 9**.

Tabla 9 Controladores PIDs requeridos por la configuración Agua-Agua.

| ID | Variable a Controlar | Actuador | Disponible |
|-------|--|---|------------|
| PID 1 | Temp. Agua a la entrada del Intercambiador 1 | Válvula de tres vías intercambiador 1 | Si |
| PID 2 | Temp. Agua a la salida del Intercambiador 1 | Bomba de agua Circuito de Agua Caliente | Si |
| PID 3 | Temp. Agua a la entrada del Intercambiador 2 | Válvula de tres vías intercambiador 2 | No |
| PID 4 | Temp. Agua a la salida del Intercambiador 2 | Bomba de agua Circuito de Agua Fría | No |

De los controladores descritos en la tabla anterior, actualmente solo se cuentan con los controladores con ID **PID 1** y **PID 2**, que corresponden a los controladores **PID 2** y **PID 3** de la **Tabla 5**. Se requiere la instalación de los dos controladores adicionales a la hora de realizar completamente los ensayos para esta configuración.

Mientras que el modo de funcionamiento de cada PID de la configuración Agua-Agua se indica en la **Tabla 10**.

Tabla 10 Modo de funcionamiento de los PIDs en cada modo de funcionamiento de la configuración Agua-Agua.

| ID | Modo Calefacción (MC) | Modo Refrigeración (MR) |
|-------|-----------------------|-------------------------|
| PID 1 | Acción Directa (COOL) | Acción Directa (COOL) |
| PID 2 | Acción Directa (COOL) | Acción Directa (COOL) |
| PID 3 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Inversa (HEAT) |
| PID 4 | Acción Directa (COOL) | Acción Directa (COOL) |

Por otro lado, para la **Configuración Aire-Aire**, al ser más complejo que la configuración Agua-Agua, requiere un número mayor de controladores ya que requiere controlar los valores de temperatura y humedad dentro de la cámara climática. Tomando en cuenta de que se utiliza el aire del ambiente como segunda fuente de Aire para la configuración Aire-Aire y no otra cámara climática, los PIDs para esta configuración están indicados en **Tabla 11**.

Tabla 11 Controladores PIDs requeridos por la configuración Aire-Aire.

| ID | Variable a Controlar | Actuador | Disponible |
|-------|--|----------------------------|------------|
| PID 1 | Temp. Agua a la entrada de la UTA | Válvula de tres vías UTA | Si |
| PID 2 | Temp. Ambiente en el interior de la cámara climática | Bomba de agua UTA | Si |
| PID 3 | Caudal de aire UTA | Variador de frecuencia UTA | Si |
| PID 4 | Humedad relativa en el interior de la cámara climática | Humectadora | Si |

Para el modo de funcionamiento de los controladores de la configuración Aire-Aire mostrados en la tabla anterior, se puede usar como referencia la **Tabla 12**.

Tabla 12 Modo de funcionamiento de los PIDs en cada modo de funcionamiento de la configuración Aire-Aire.

| ID | Modo Calefacción (MC) | Modo Refrigeración (MR) |
|-------|-----------------------|-------------------------|
| PID 1 | Acción Directa (COOL) | Acción Inversa (HEAT) |
| PID 2 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |
| PID 3 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |
| PID 4 | Acción Inversa (HEAT) | Acción Directa (COOL) |

Cabe destacar, que dependiendo de cuál sea la Fuente de Aire 2 definitiva para la configuración Aire-Aire, sea el aire del ambiente del laboratorio, la inclusión de otra cámara climática u otra fuente funcional, la cantidad y tipos de controladores PIDs que requiere la configuración Aire-Aire cambiara.

5.3.2. Programa auxiliar EZ-ZONE Configurator.

Para el control de los PIDs de los programas realizados, se hizo uso del programa auxiliar **EZ-ZONE Configurator de Watlow**, la casa productora de los PIDs disponibles en el laboratorio.

Se intento implementar el control de los PIDs por medio de LabVIEW, pero debido a la incompatibilidad de los recursos disponibles con la versión de LabVIEW del 2017, el cual corre en una arquitectura de 64bits (incompatibles con los controladores disponibles que corren en arquitectura de 32bits), se tomó la decisión, por el momento de contar con el programa de Watlow, **EZ-ZONE Configurator**.

EZ-ZONE Configurator es un programa simple, ideado para realizar la comunicación entre una PC y PIDs conectados a ella mediante adaptadores de tipo Universal Serial Bus (USB). Al abrir el programa, se elige el puerto en donde están conectados los PIDs y el programa realiza un escaneo de los dispositivos que estén conectados a la PC, que, para este caso, corresponde a los cinco PIDs que se utilizan para la configuración original. Un ejemplo de esto se puede ver en la **Ilustración 58**.

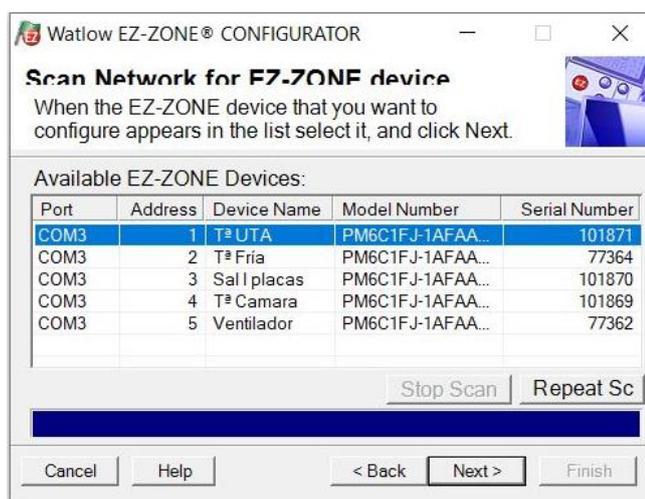


Ilustración 58 EZ-ZONE CONFIGURATOR mostrando los 5 PIDs conectado a la instalación experimental.

Por medio de **EZ-ZONE** se puede ingresar a cada uno de estos PIDs para ver, modificar e ingresar el valor de la consigna que se requiere de ellos para los ensayos que se quieran realizar, como también permite realizar configuraciones avanzadas y el proceso de ajuste de los PIDs. Un ejemplo de esta página de configuración se puede ver en la **Ilustración 59**.

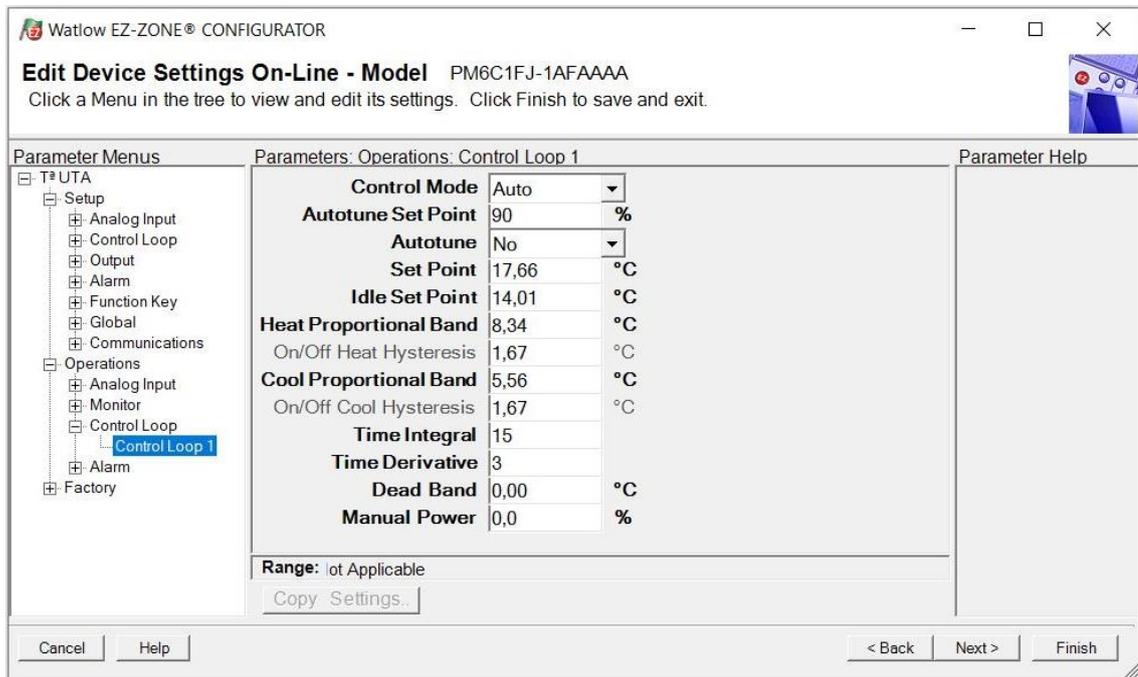


Ilustración 59 Pantalla de configuración de setpoint del PID 1 del EZ-ZONE Configurator.

El inconveniente de la utilización de este programa comparado con una implementación directa en el programa de **LabVIEW**, es el hecho que para ver y modificar las consignas de cada PIDs, se debe ingresar a la página de modificación de cada uno de ellos uno por uno, esto quiere decir que si se está monitoreando los valores de consigna del PID 1, y se requiere ajustar el valor para el PID 2, se tiene que salir de la página de configuración de PID 1 y entrar al 2, perdiendo así la monitorización de los datos encontrados en la página del PID a favor de los encontrados en la página del PID 2.

La ventaja que tiene una implementación directa en LabVIEW es la posibilidad de poder modificar y monitorizar todos los PIDs requeridos por el ensayo en cualquier momento, siendo un procedimiento más efectivo y seguro, ya que en todo momento se puede supervisar los cambios en los controladores PIDs.

6. Resultados: Pruebas y Ensayos

Debido a que, a fecha de la realización de este documento, la instalación experimental aun no cuenta con todos los equipos y sensores requeridos para realizar los ensayos de “prueba” de los dos programas realizados, la prueba de su funcionamiento se verá confirmada por la capacidad que tienen estos programas de recibir y transmitir los datos de las variables utilizando como referencia los datos obtenidos mediante una prueba con el programa original de referencia.

Para la conexión de los dataloggers a los programas de las dos configuraciones, se utilizaron dos programas auxiliares, el **Keysight Connection Expert 2019** y el **MAX** (Measurement & Automation Explorer) de LabVIEW. Es importante la utilización del **Keysight Connection Expert 2019**, ya que este programa de la casa productora de los dataloggers **AGILENT 34970A**, utilizados para la instalación, permite la correcta instalación de los controladores para permitir que la PC del usuario pueda trabajar con dichos dataloggers, por otro lado, este programa también proporciona los permisos para que el programa MAX, pueda interactuar con los dataloggers. La interface de Keysight Connection Expert 2019 se muestra en la **Ilustración 60**

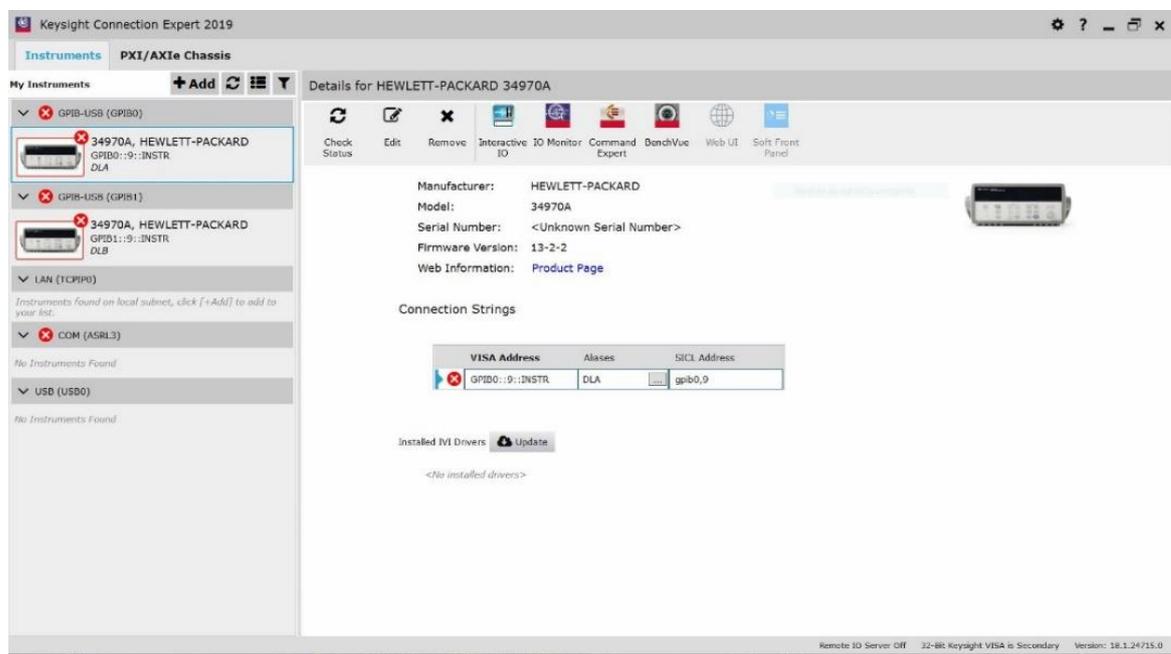


Ilustración 60 Interface de Keysight Connection Expert 2019 mostrando los dos dataloggers utilizados para la instalación experimental.

Una vez teniendo los permisos de utilización para el uso de los dataloggers proporcionados por Keysight Connection Experte 2019, se abre el programa auxiliar de automatización de LabVIEW, el MAX, para cerciorar que LabVIEW está recibiendo comunicación con los dataloggers requeridos. En esta pantalla mostrada en la **Ilustración 61**, se encuentra el **VISA Resource Name**, el cual es nombre que utiliza los bloques de comunicación de datalogger dentro de los programas de LabVIEW para comunicarse con los dataloggers físicos. Esta dirección fue introducida en el bloque dedicado al Datalogger A (DLA) y al Datalogger B (DLB).

Finalmente, teniendo todos los equipos en estado neutro (apagados) y solo encendiendo los dataloggers, conectados por medio de la interface **MAX**, se prosiguió a iniciar los ensayos uno por uno para cada uno de los tres programas disponibles y se realizaron capturas de cada una de las interfaces de los tres programas para comparar los datos obtenidos por cada uno de ellos.

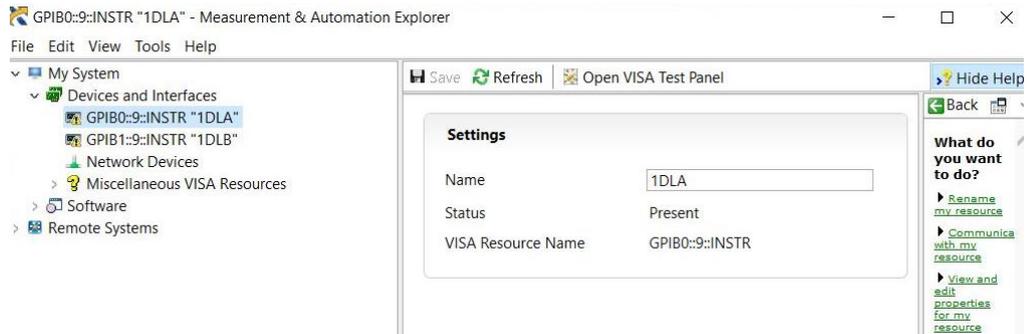


Ilustración 61 Interface MAX de LabVIEW mostrando los dos dataloggers.

6.1. Prueba de “Interface de Ensayo”

Para la interface de Ensayo, se realizó un único muestreo y se realizó una impresión del panel frontal de cada uno de los programas.

Para el programa original se presenta particularmente el diagrama principal donde se muestran la mayor cantidad de datos. Como se puede apreciar en la , muchas de las temperaturas permanecen constantes y cercanas a 20°C, el cual corresponde a la temperatura ambiente del laboratorio al momento de realizar el “ensayo”.

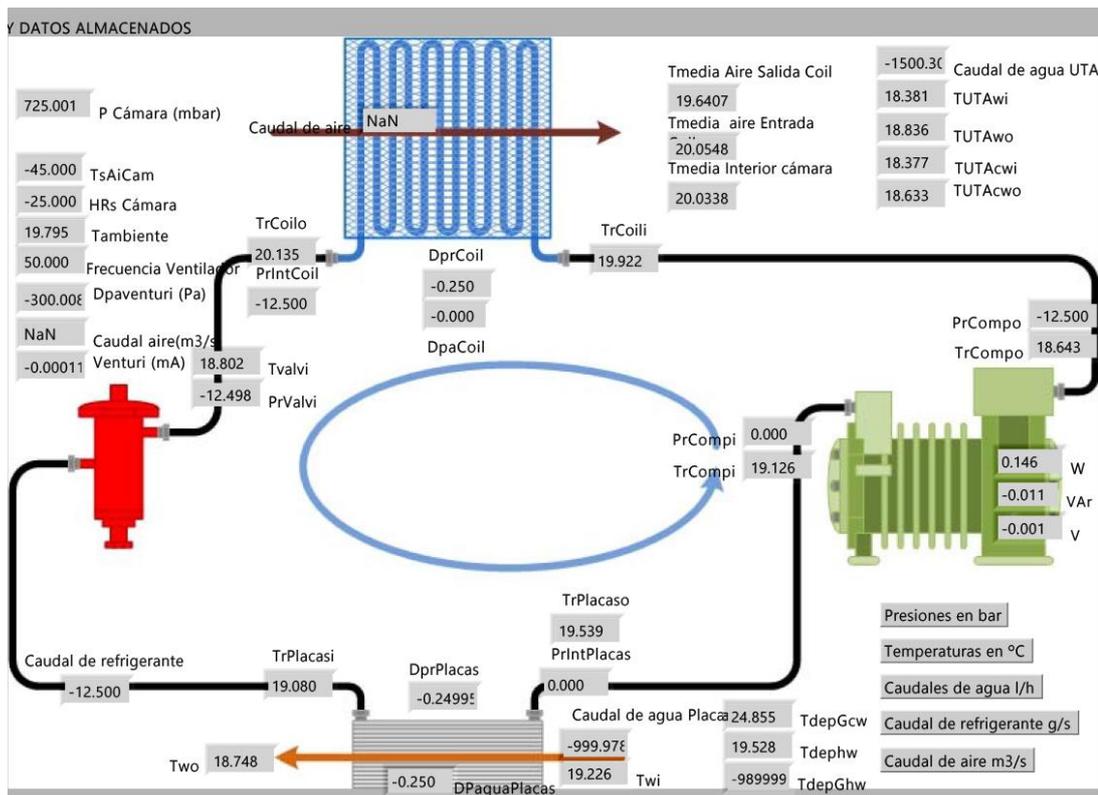


Ilustración 62 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa Original.

Por otro lado, debido a la diferencia de tamaños entre el diagrama original y los diagramas de los dos programas realizados para este documento, los dos siguientes son mostrados por secciones para facilitar la vision de los datos encontrados en las capturas.

En la parte superior de la **Ilustración 63** se pueden ver los depósitos de Agua caliente del Circuito de Agua Caliente para la configuración Agua-Agua, el cual comparte datos similares para la temperatura del agua de los depósitos, como para la temperatura de entrada y de salida de agua caliente en el intercambiador de placas. Mientras que en la parte inferior se aprecia el Circuito de Agua Fría de la misma configuración, que muestra los datos de temperatura del depósito de Agua Fría similares al del programa original, pero no presenta datos para la entrada ni la salida del agua que interactúa con el intercambiador, ya que en el momento no está instalado este equipo.

En la **Ilustración 64** se pueden ver los depósitos de agua para la configuración Aire-Aire mostrando mediciones de temperatura similares para cada depósito.

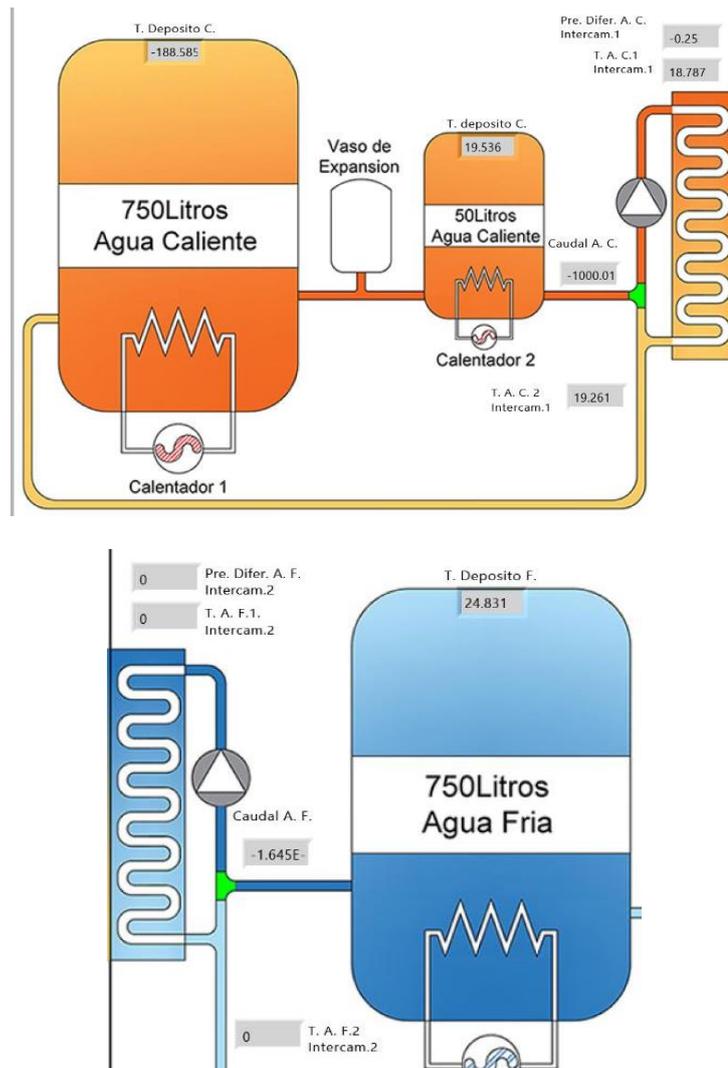


Ilustración 63 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Agua-Agua (Sección de Circuito Agua Caliente (Arriba) y Circuito de Agua Fría (Abajo)).

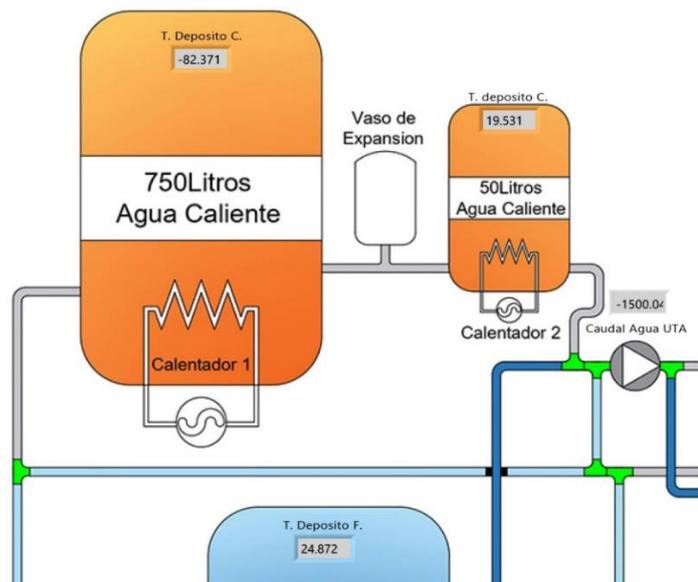


Ilustración 64 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Sección de Depósitos de Agua).

En la **Ilustración 65** y la **Ilustración 66**, se presentan capturas del circuito de refrigerante de ambas configuraciones, mostrando datos similares entre sí y con el programa original.

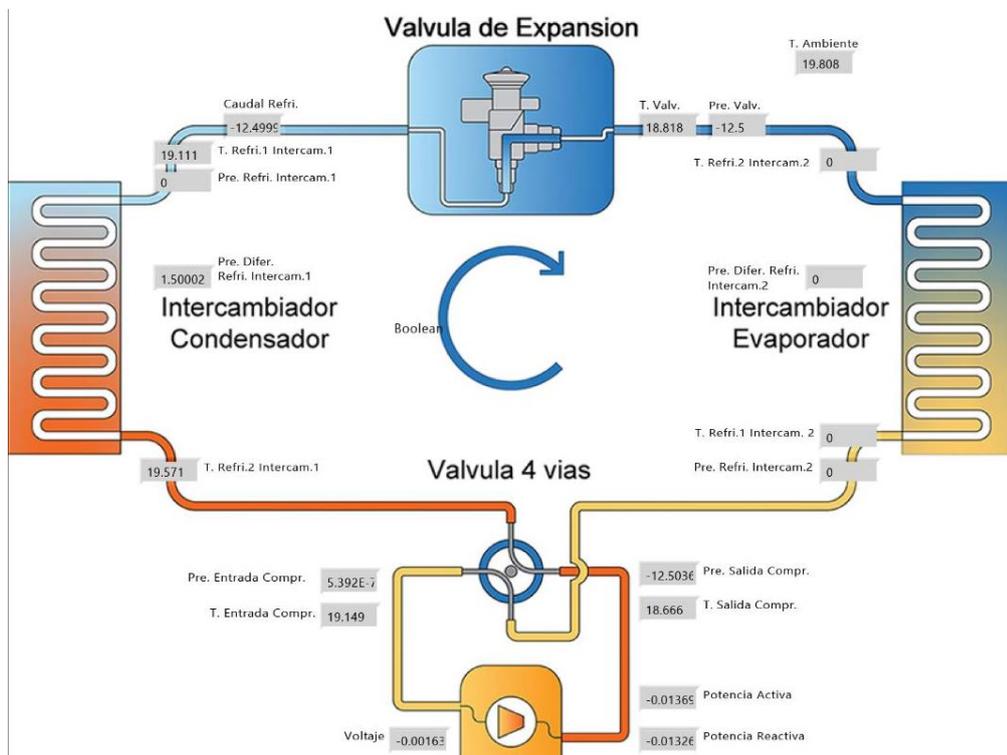


Ilustración 65 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Agua-Agua (Sección de Circuito de Refrigerante).

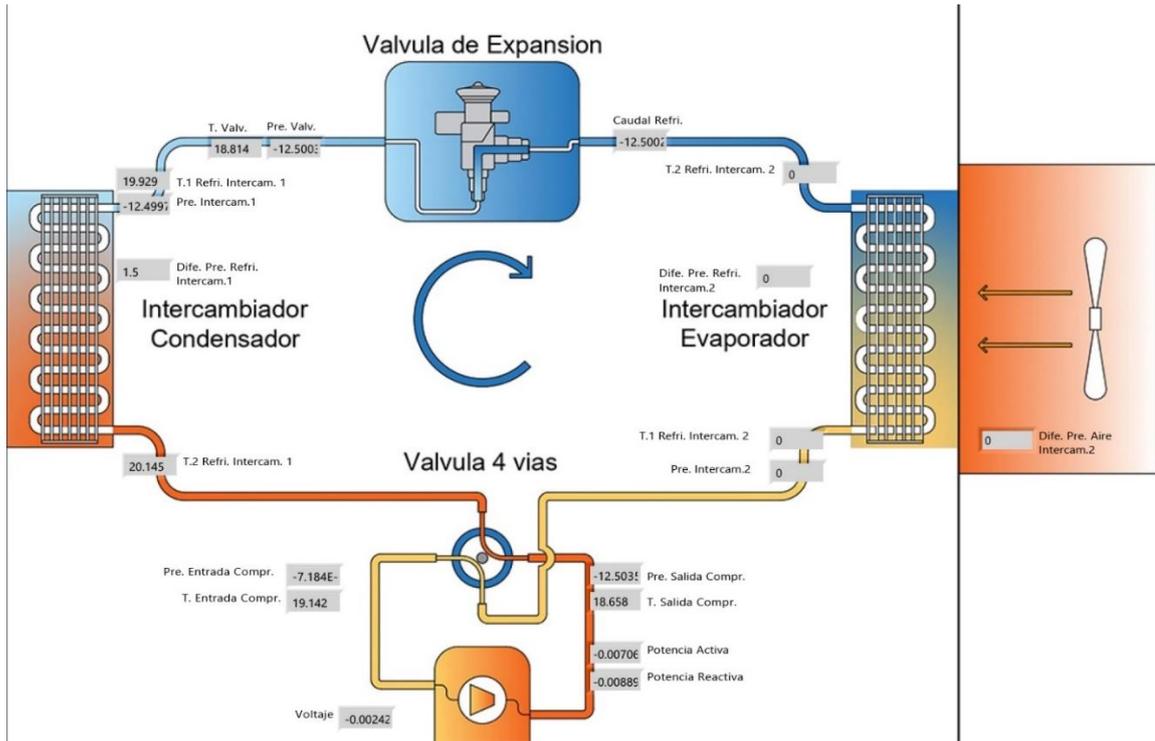


Ilustración 66 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Secciones de Circuito Refrigerante y Fuente de Aire 2 (Ambiente)).

Por último, la **Ilustración 67** muestra la Fuente de Aire 1 de la configuración Aire-Aire, donde muestran las temperaturas y los datos de presión dentro del a cámara climática, similares a las encontradas en el programa original.

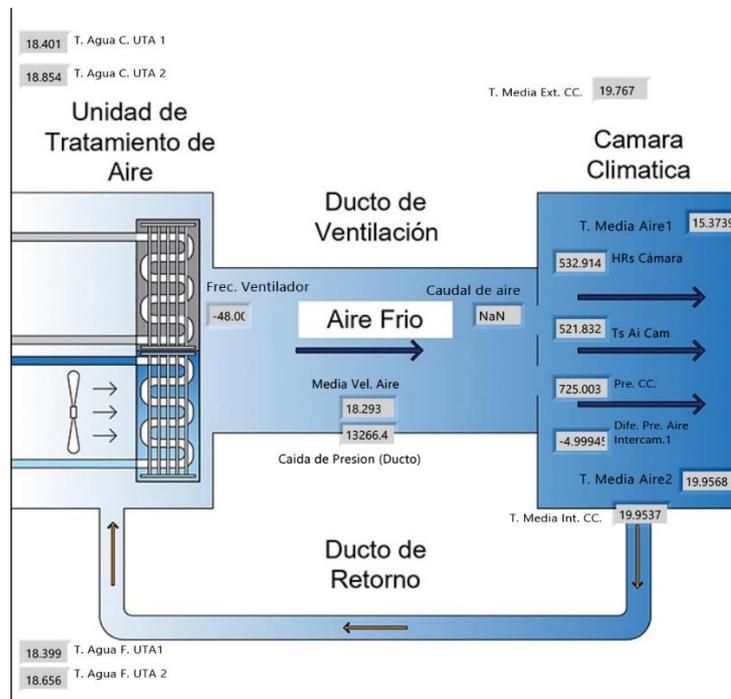


Ilustración 67 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Sección de Fuente de Aire (UTA)).

6.2. Prueba de “Circuito de Aire”

Para la pestaña de “Circuito de Aire” de la configuración Aire-Aire se hizo la comparación de las muestras de datos encontrados en esta pestaña con los encontrados en la pestaña “Temperaturas del aire (conducto/cámara/ambiente).

En la **Ilustración 68** se muestra la pestaña mencionada del programa original, con las muestras de los datos de las variables encontradas en el ducto de aire, la red de sensores y las temperaturas de la cámara climática.

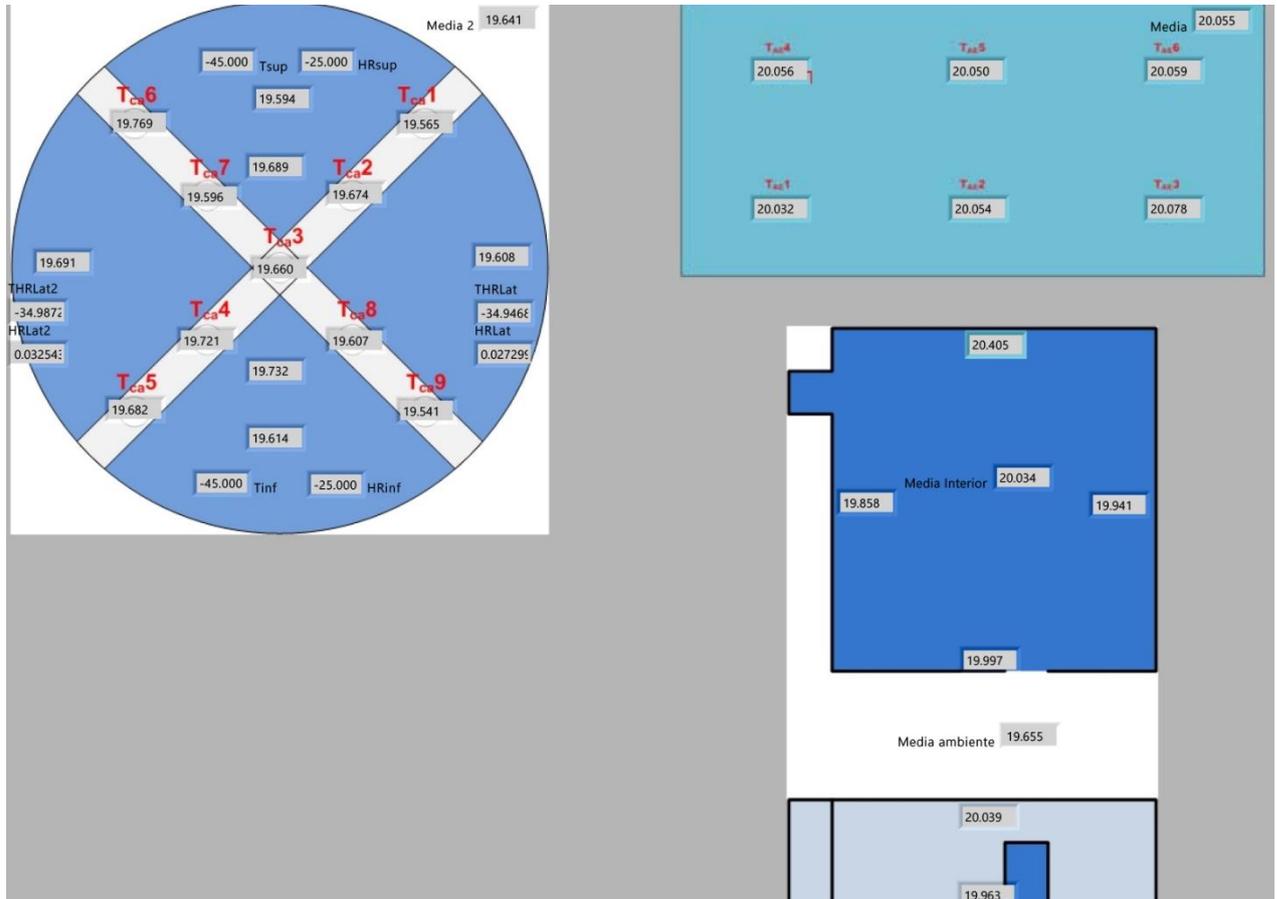


Ilustración 68 Muestra de datos en Temperaturas del aire (conducto/cámara/ambiente) del programa Original (Sección de Fuente de Aire (UTA)).

Mientras que en la **Ilustración 69** se pueden apreciar las dos secciones del Ducto de Aire y la de la Red de Sensores y de la Cámara Climática, respectivamente. En estas imágenes se pueden apreciar al similitud entre los datos obtenidos en ambos ensayos.

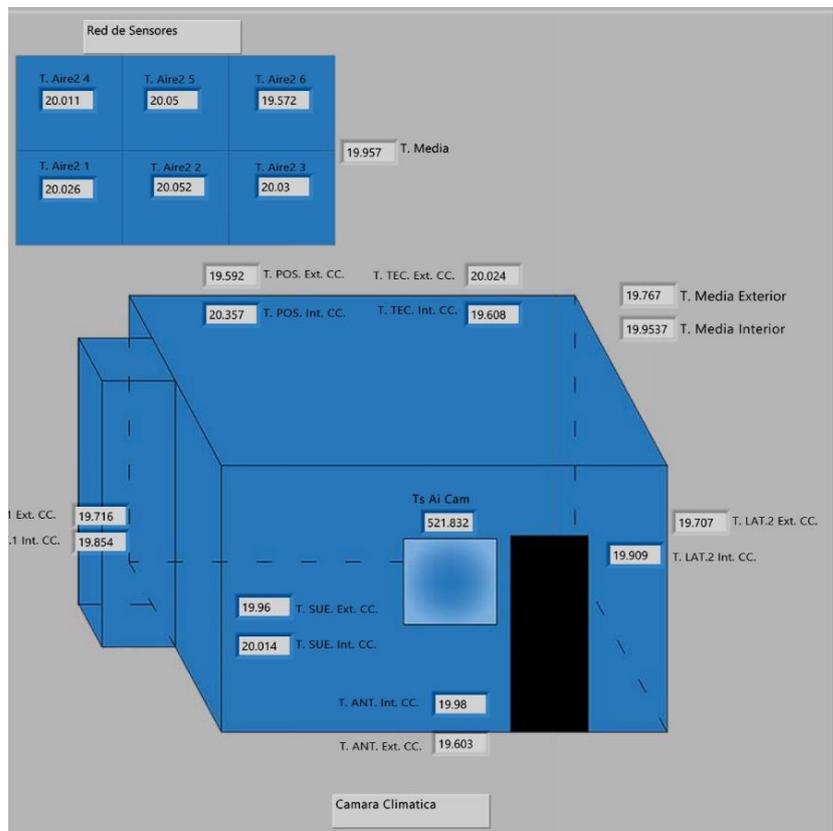
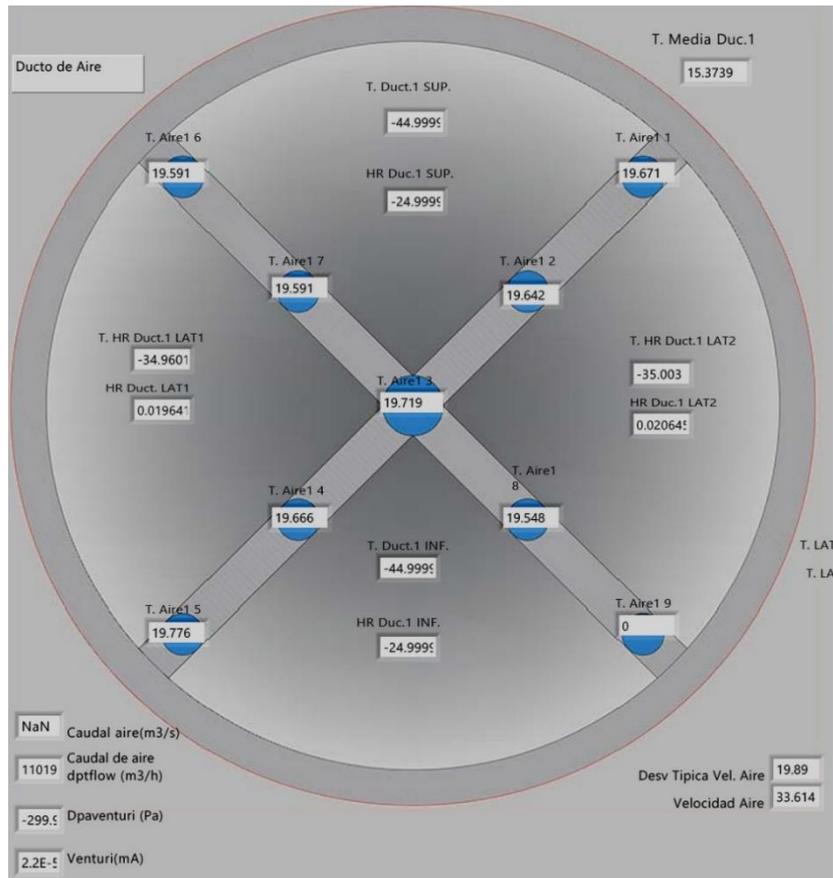


Ilustración 69 Muestra de datos en Interface de Ensayo de programa de la configuración Aire-Aire (Secciones de Ducto de Aire (Arriba) y de Red de Sensores y Cámara Climática (Abajo)).

6.3. Prueba de “Intercambiadores”

Para la pestaña de los intercambiadores, se comparan los resultados encontrados en el programa original con el de la configuración Aire-Aire. En la se muestra la pestaña correspondiente al programa original con el intercambiador encontrado dentro de la cámara climática de la instalación experimental. Mientras que en la se muestra los dos intercambiadores de la configuración Aire-Aire, el **Intercambiador 1** es aquel que corresponde al instalado en la cámara climática, mientras que le **Intercambiador 2** aún no está instalado en la instalación experimental, por lo que no cuenta con valores medidos.

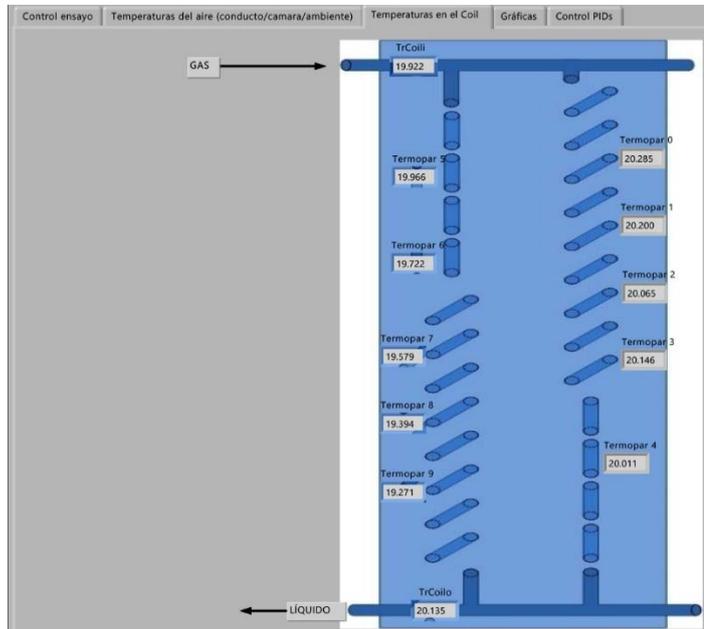


Ilustración 70 Muestra de datos en Temperaturas en el Coil del programa Original.

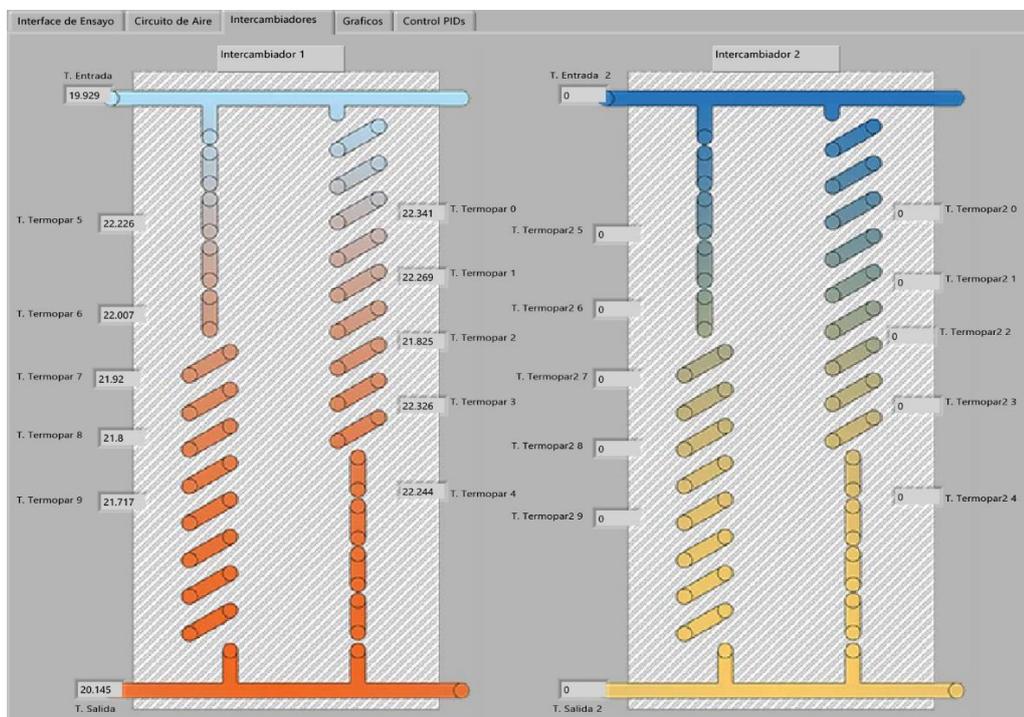


Ilustración 71 Muestra de datos en Intercambiadores del programa de la configuración Aire-Aire.

Como se puede apreciar en ambas ilustraciones, los valores mostrados son similares, con ligeras diferencias atribuyéndose a la diferencia de horario en que se realizaron los ensayos para las capturas.

6.4. Prueba de “Gráficos”

Finalmente, para la parte de los gráficos, se muestran las pestañas correspondientes a los tres programas. Para las pestañas de la configuración Agua-Agua y Aire-Aire, solo se muestran los gráficos correspondientes a el valor de “Temperatura”, mientras que para el programa original se tomaran en cuenta los valores medidos en los intercambiadores instalados.

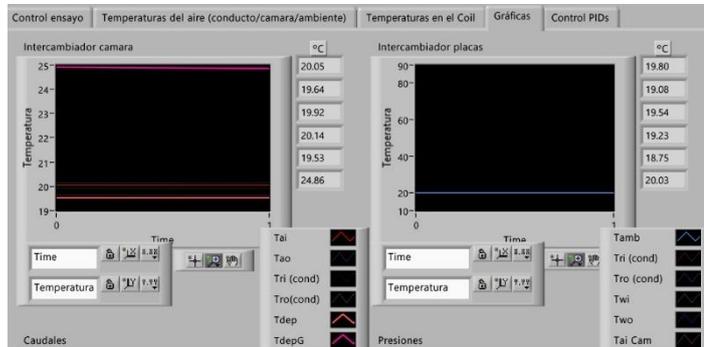


Ilustración 72 Muestra de datos en Graficas del programa Original para el Intercambiador cámara (Aire) y el Intercambiador placas (Agua).

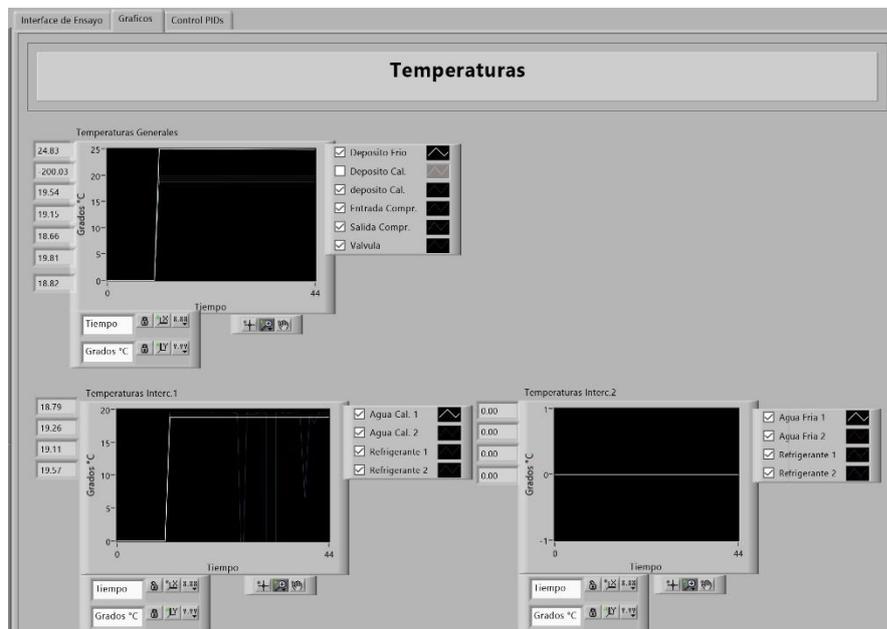


Ilustración 73 Muestra de datos en Gráficos del programa de la configuración Agua-Agua (Sección de Temperaturas).

Como se aprecia en la **Ilustración 73**, los valores correspondientes al grafico de **Intercambiador 1** son similares a los encontrados en el gráfico de Intercambiador placas del programa original, mostrado en la **Ilustración 72**. Mientras que los valores para el Intercambiador 2 de la configuración Agua-Agua se mantiene en cero debido a que, como se ha mencionado anteriormente, este intercambiador aún no se ha instalado a fecha de creación de este documento.

7. Conclusiones

El objetivo general de este trabajo es el de desarrollar dos interfaces o programas interactivos a partir de LabVIEW, una que pueda realizar ensayo a una instalación experimental de bomba de calor con una configuración Agua-Agua, y otra, que haga lo mismo, pero para una bomba de calor con una configuración Aire-Aire.

En este documento se ha cumplido correctamente con este objetivo, desarrollando dos interfaces requerida para los futuros ensayos realizados a la instalación experimental en el Laboratorio de Frio y calor del Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la UPCT.

Aunque lamentablemente, no se hayan podido probar a profundidad las interfaces realizadas para este documento, ya que la instalación experimental aun no cuenta con todos los equipos y sensores requeridos para actuar correctamente como una configuración Agua-Agua o como una configuración Aire-Aire, por lo que una revisión compleja de los programas con el objetivo de eliminar cualquier inconveniente que pueda haber en el código, aun no se es posible de realizar a la fecha de entrega de este documento.

Pero, el hecho de que estos dos programas ya estén preparados para su uso, puede servir como guía para las futuras implementaciones que puedan agregarse a la instalación experimental. Además de lo anterior, en su estado actual, estos dos trabajos pueden servir como base para que estos sean modificados acordes a las necesidades futuras que pueda requerir la instalación.

Para futuras mejoras de este programa, al tener un diseño definitivo de la instalación experimental, en el cual se tenga claro todos los componentes relacionados a esto para su completo funcionamiento en la configuración Aire-Agua, Agua-Agua y Aire-Aire, resulta interesante unir los tres programas o interfaces en una sola, capaz de alternar su configuración de entre las tres posibles combinaciones y también su modo de funcionamiento entre calefacción y refrigeración.

La manera en que los “circuitos” que componen las configuraciones están diseñados, cada uno con su propia sección, da la ventaja de que cada “sección” pueda ser intercambiable por otra, dando como posibilidad la inclusión de un mayor número de configuraciones en una sola interface sin tener que cambiar de manera impactante el código fuente de los mismos programas.

Pero, por ahora, resulta más conveniente que estos programas se mantengan en su versión individual, ya que, de esta manera, resulta más fácil su modificación y corrección, en estas etapas tempranas del proyecto en el que la instalación experimental aun no cuenta con la capacidad de funcionar como las configuraciones requeridas.

Por otro lado, también para modificaciones futuras, es conveniente realizar la implementación de los controladores PIDs de cada configuración para que estas funcionen dentro del mismo programa de LabVIEW en ordenadores que funcionen con el sistema operativo de Windows 10 y no se requiera el uso del software EZ-ZONE Configurator debido a, aunque fácil y sencilla, limitante forma de funcionamiento. Mientras que ya se ha podido probar dicha implementación para ordenadores más antiguos que utilizan la versión de LabVIEW 8.6 y el sistema operativo de Windows XP que funciona con una arquitectura de 32x, siendo ya obsoleta. El hecho de que la utilización de los controladores PIDs está limitada a una versión antigua de LabVIEW limita la propagación y el fácil uso del programa en otros ordenadores de la actualidad.

8. Anexos

En este capítulo se insertan los anexos al documento, se presentan detalles e imágenes que muestran el código utilizado para las dos configuraciones, así como también tablas que buscan ayudar identificar y modificar las variables contenidas

8.1. Anexo A. Configuración Bomba de Calor Agua-Agua

8.1.1. Código fuente de la ventana de bloques de la configuración agua-agua.

En este segmento se insertan imágenes del código fuente de la configuración agua-agua para expandir el entendimiento a como se programó la interface.

Para mostrarlo de la manera más limpia posible, primero se presenta una imagen general de la programación y luego una imagen por “**Secuencias**” de la estructura de secuencia.

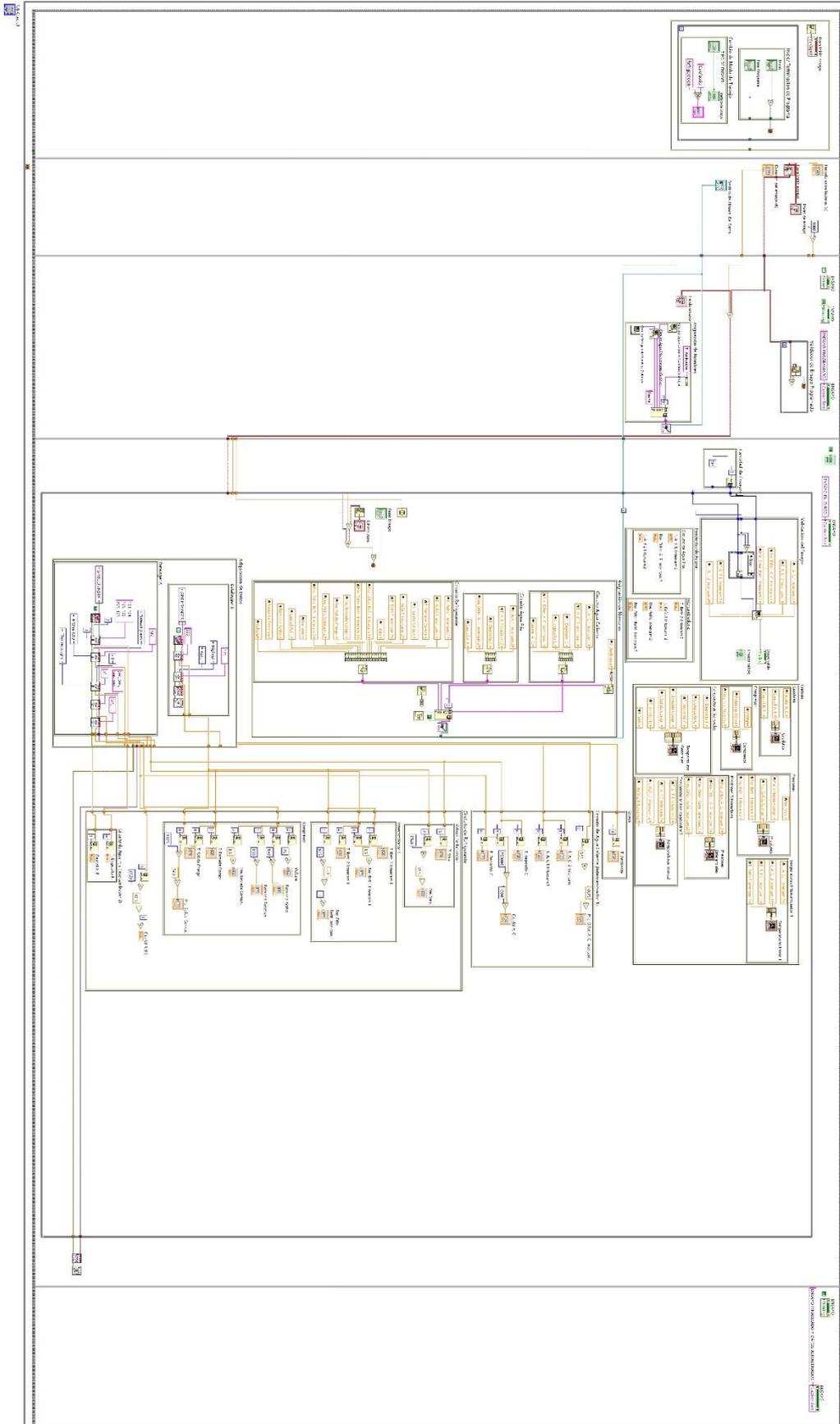
En los siguientes anexos se mostrarán las siguientes imágenes:

- **Código fuente general**
- **1ra Secuencia**
- **2da Secuencia**
- **3ra Secuencia**
- **4ta Secuencia**
- **5ta Secuencia**

Para la sección de “Código fuente general”, se muestra la estructura de secuencia completa, mientras que para cada una de las secuencias en detalle, se muestran cada uno de las “Estructuras” que los componen al en imágenes dedicadas.

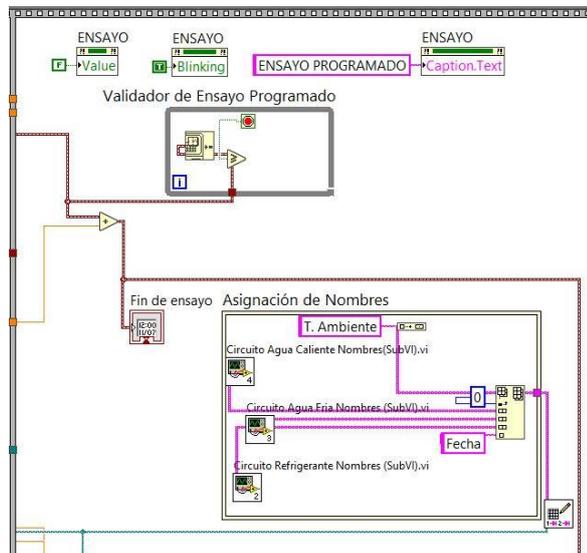
8.1.1.1. Código fuente general

Anexo 1 Código fuente general configuración Agua-Agua extraído de LabVIEW. (Vista Horizontal)



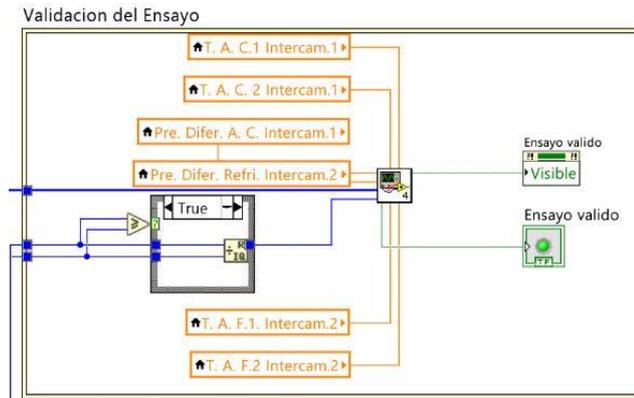
8.1.1.4. 3ra Secuencia

Anexo 4 Bloques de cambio de estado del ensayo, "Validador de Ensayo Programado" y Estructura de Asignación de Nombres de la configuración Agua-Agua.

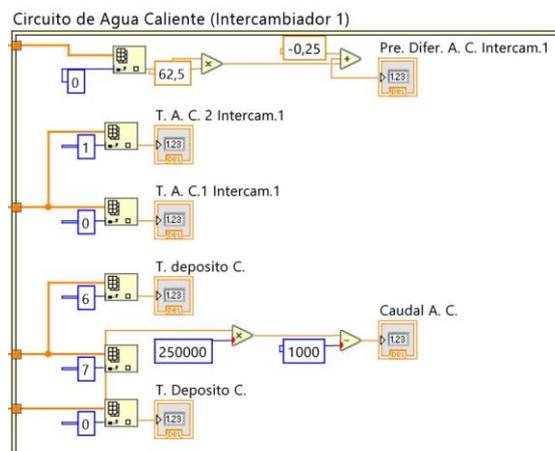


8.1.1.5. 4ta Secuencia

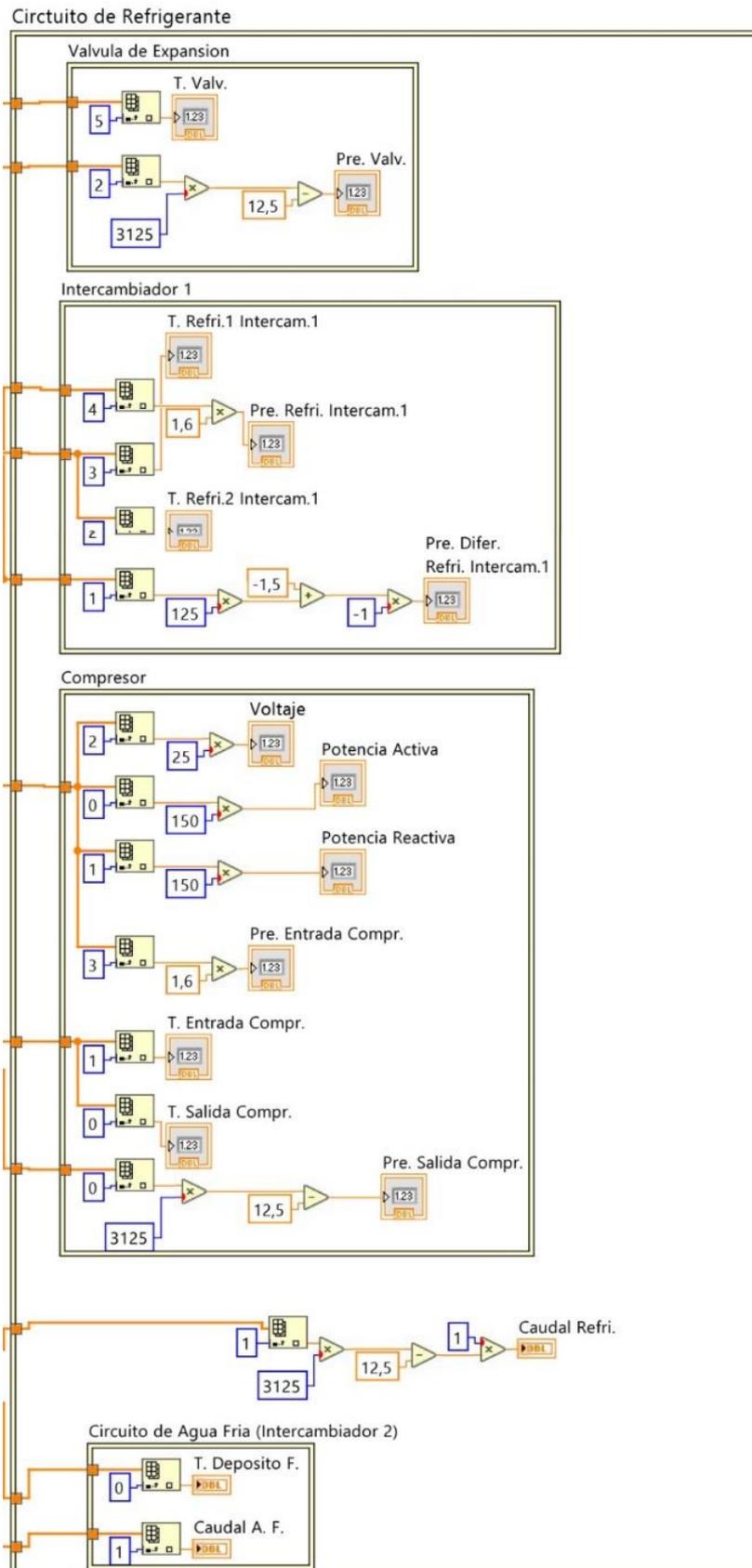
Anexo 5 Estructura de "Validación de Ensayos" de la configuración Agua-Agua.



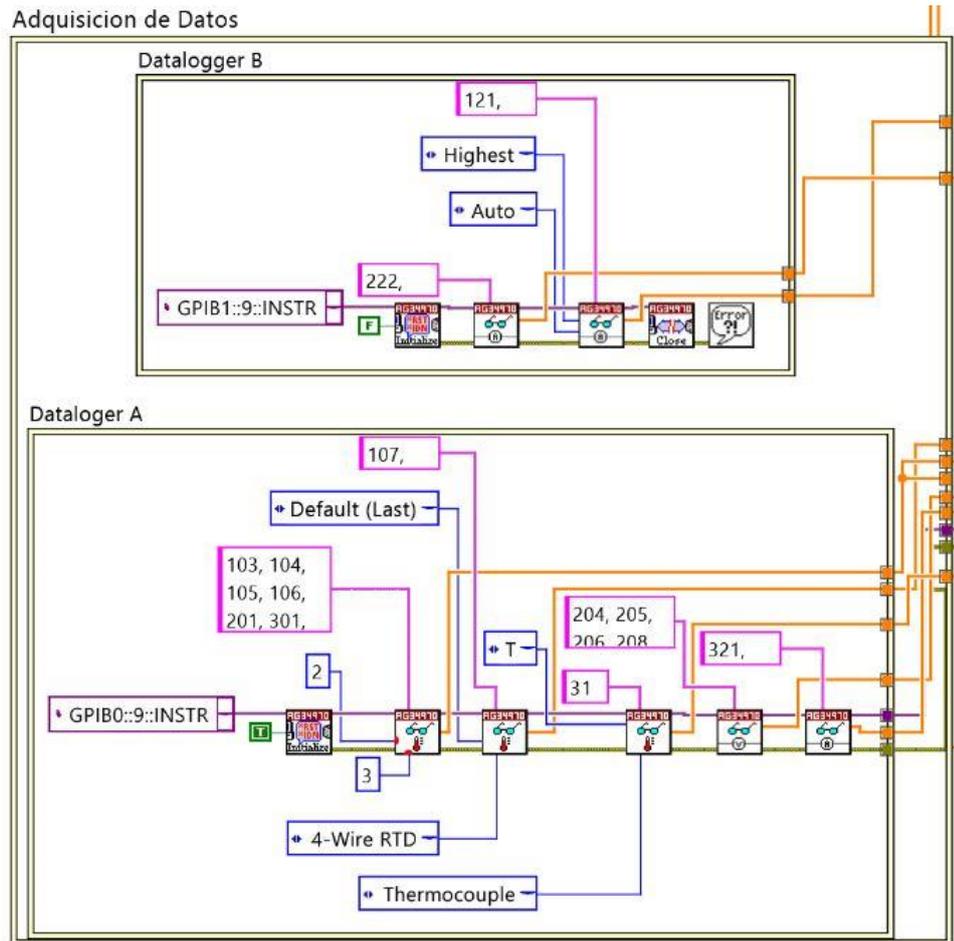
Anexo 6 Estructura que agrupa las variables del "Circuito de Agua Caliente (Intercambiador 1)" de la configuración Agua-Agua. A



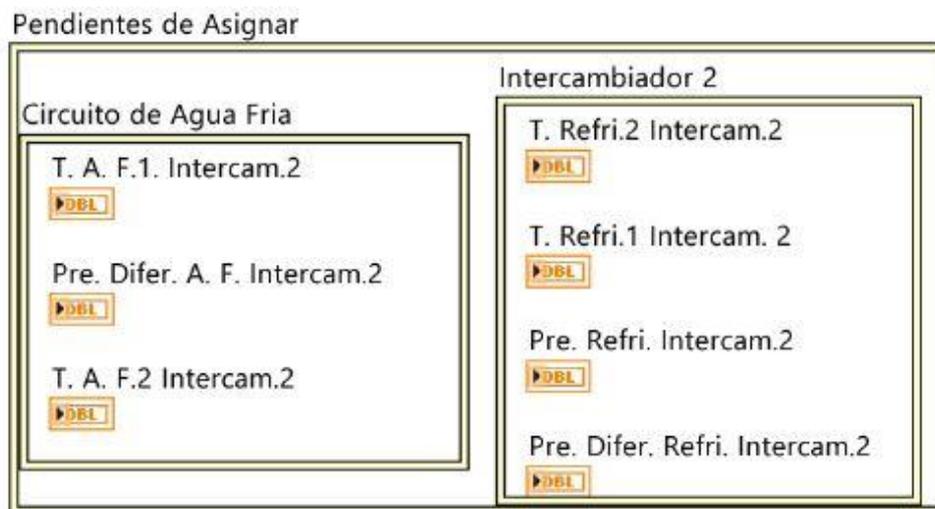
Anexo 7 Estructura que agrupa las variables del "Circuito de Refrigerante" de la configuración Agua-Agua.



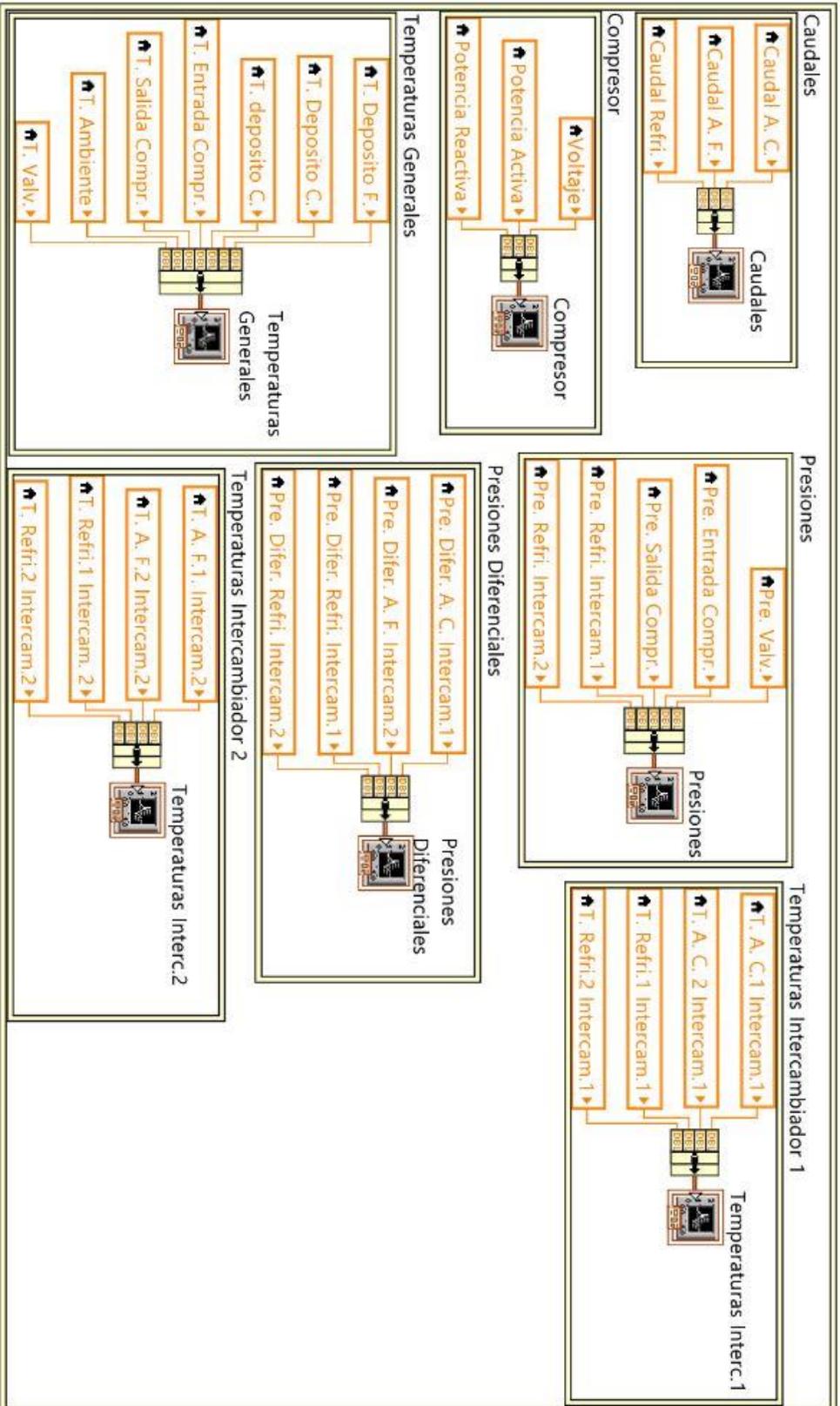
Anexo 8 Estructura de "Adquisición de Datos" donde se encuentran los bloques correspondientes a los Dataloggers de la configuración Agua-Agua.

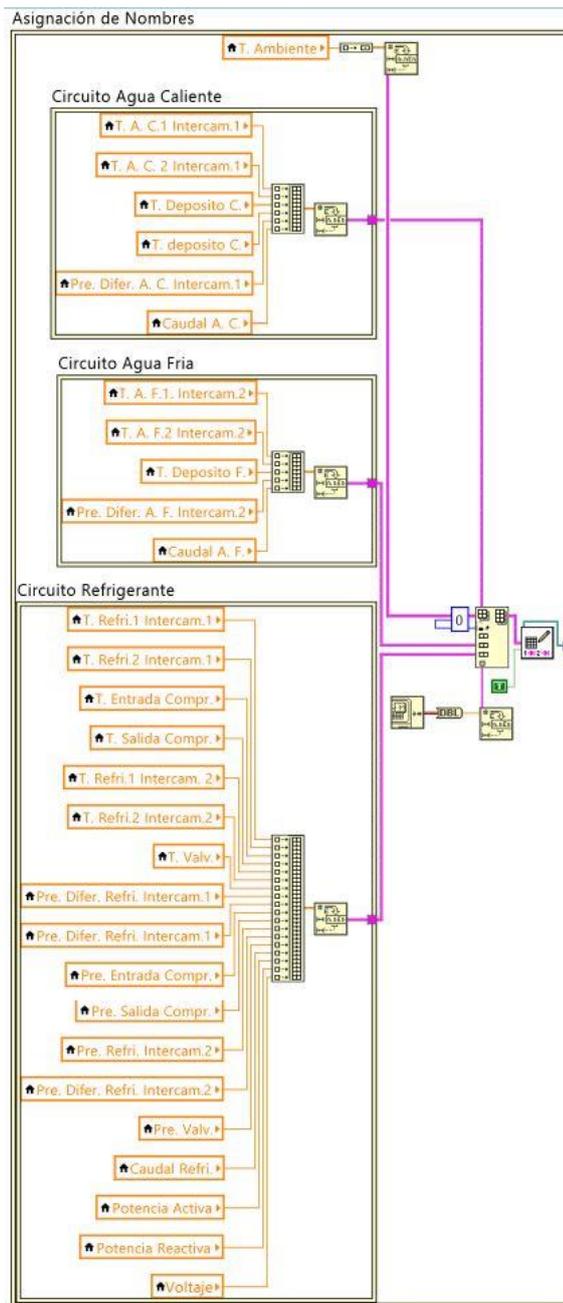


Anexo 9 Estructura de variables "Pendientes de Asignar" de la configuración Agua-Agua.

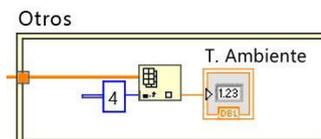


Graficas





Anexo 12 Estructura de "Otros" de la configuración Agua-Agua.



8.1.1.6. 5ta Secuencia

Anexo 13 Bloques de cambio de estado del ensayo de la configuración Agua-Agua.



8.1.2. Datos complementarios de la configuración agua-agua.

En este segmento se mostrarán tablas con datos e información complementaria para el código del programa.

Anexo 14 Información sobre las variables encontradas en la configuración Agua-Agua.

| Nombre Original | Datalogger | Nombre de variable | Orden | Canal |
|-----------------|------------|--------------------------------|-------|-----------|
| Fecha | N/A | Fecha | 1 | n/a |
| TeRIntPlaca | A | T. Refri.1 Intercam.1 | 2 | 106 |
| TsRIntPlaca | A | T. Refri.2 Intercam.1 | 3 | 105 |
| TeComp | A | T. Entrada Compr. | 4 | 104 |
| TsComp | A | T. Salida Compr. | 5 | 103 |
| Nuevos | | T. Refri.1. Intercam.2 | 6 | n/a |
| Nuevos | | T. Refri.2. Intercam.2 | 7 | n/a |
| TeValv | A | T. Valv. | 8 | 301 |
| PsIntPlaca | A | Pre. Refri. Intercam.1 | 9 | 212 |
| Nuevos | | Pre. Difer. Refri. Intercam.1 | 10 | 122 |
| PeComp | A | Pre. Entrada Compr. | 11 | 208 |
| PsComp | B | Pre. Salida Compr. | 12 | 222 |
| Nuevos | | Pre. Refri. Intercam.2 | 13 | Pendiente |
| Nuevos | | Pre. Difer. Refri. Intercamb.2 | 14 | Pendiente |
| PeValExp | B | Pre. Valv. | 15 | 322 |
| CaudalRe | A | Caudal de Refri. | 16 | 322 |
| WatimetroA | A | Potencia Activa | 17 | 204 |
| WatimetroB | A | Potencia Reactiva | 18 | 205 |
| WatimetroC | A | Voltaje | 19 | 206 |
| Nuevos | | T. A. F.1. Intercam.2 | 20 | Pendiente |
| Nuevos | | T. A. F.2 Intercam.2 | 21 | Pendiente |
| Nuevos | | T. Deposito F. | 22 | 310 |
| Nuevos | | Pre. Difer. A. F. Intercam.2 | 23 | Pendiente |
| Nuevos | | Caudal A. F. | 24 | Pendiente |
| TeAgIntPlaca | A | T. A. C.1. Intercam.1 | 25 | 108 |
| TsAgIntPlaca | A | T. A. C.2 Intercam.1 | 26 | 107 |
| TdepGraAgCal | A | T. Deposito C. | 27 | 306 |
| TdepAgCal | A | T. deposito C. | 28 | 303 |
| DPAgua | B | Pre. Difer. A. C. Intercam.1 | 29 | 121 |
| CaudalAgCal | A | Caudal A. C. | 30 | 321 |
| TAmb | A | T. Ambiente | 31 | 201 |

Las columnas de la tabla anterior se describen de la siguiente manera:

- **Nombre Original.** Se muestra el nombre original que recibía la variable en el programa de base.
- **Datalogger.** Muestra el datalogger que proporciona la medición de dicha variable.
- **Nombre de variable.** Es el nombre que recibe cada variable encontrada en la configuración.
- **Orden.** Es el orden en el que está ingresada cada variable dentro de la estructura “Asignación de Nombres”. Es importante usar como referencia esta orden cuando se haga una modificación a dicha estructura.
- **Canal.** Es el canal donde se encuentra dicha variable dentro del datalogger correspondiente.

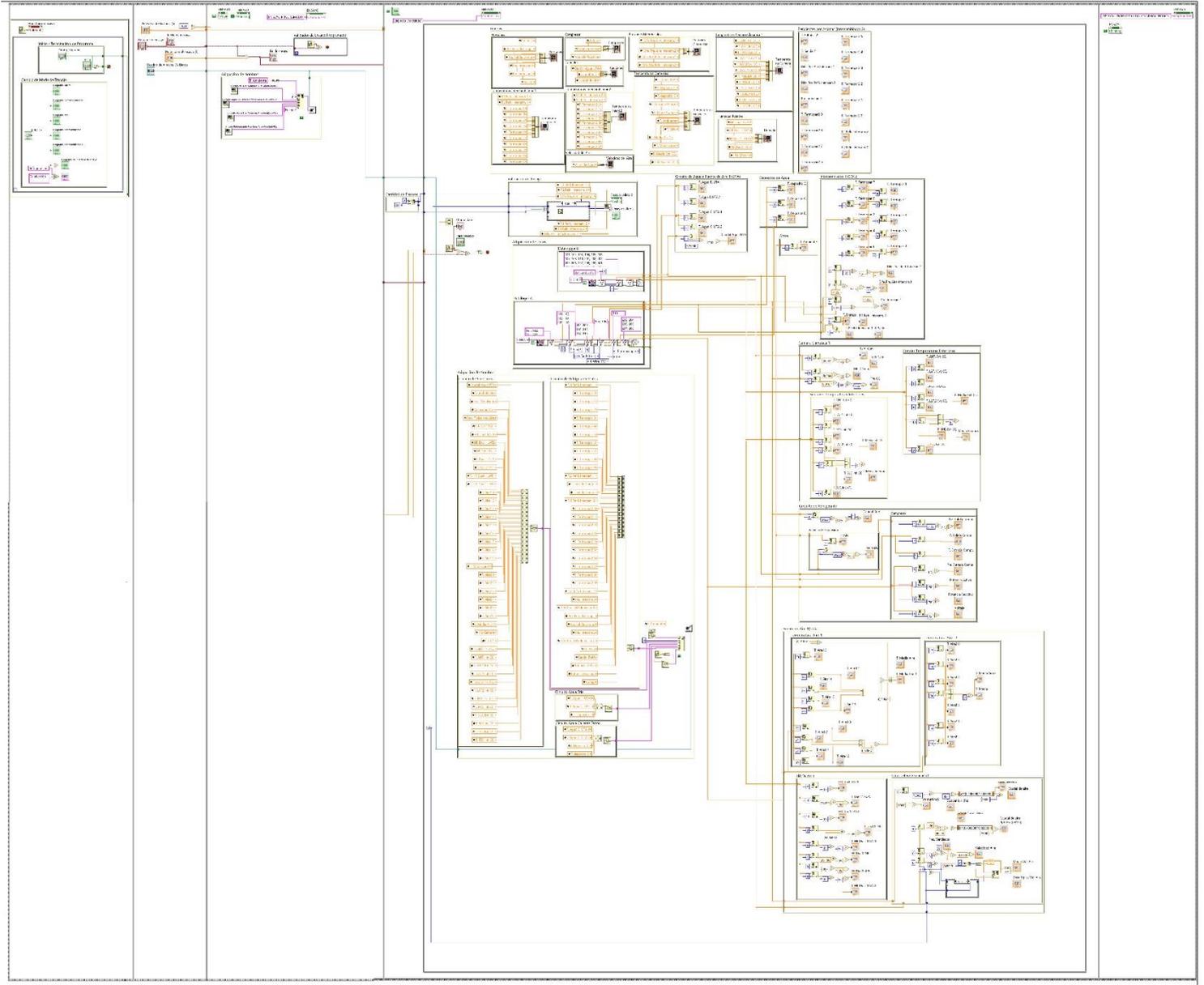
8.2. Anexo B. Configuración Bomba de Calor Aire-Aire

8.2.1. Código fuente de la ventana de bloques de la configuración aire-aire.

Al igual que con el segmento anterior, aquí se presentan imágenes de los bloques utilizados para programar la configuración aire-aire.

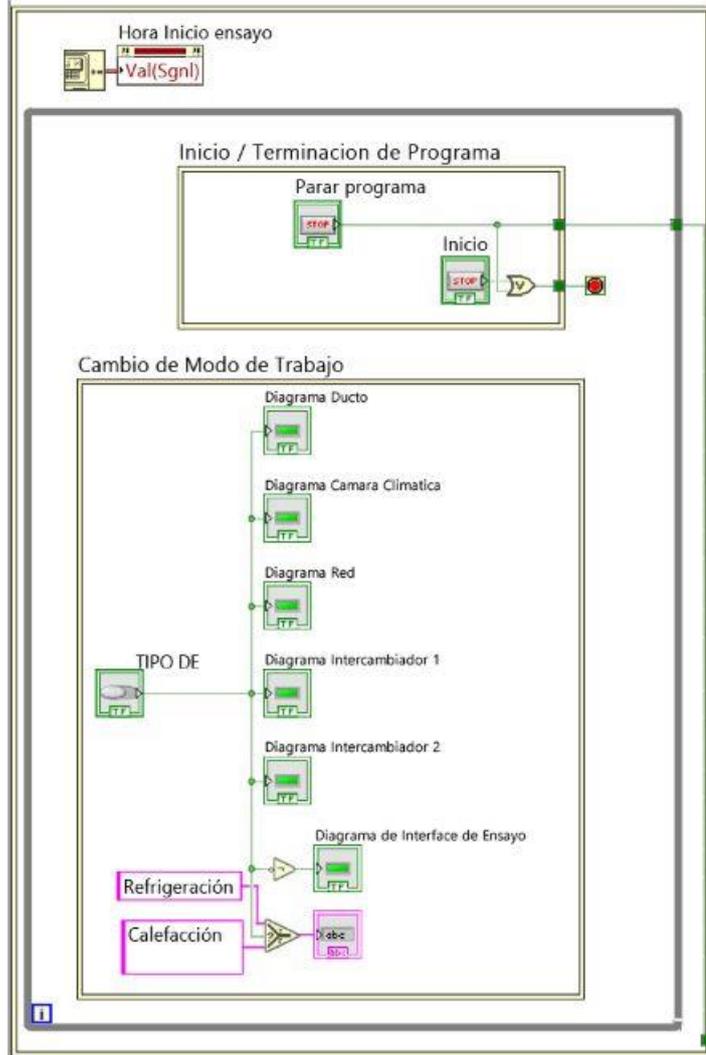
8.2.1.1. Código fuente general

Anexo 15 Código fuente general configuración Aire-Aire extraído de LabVIEW. (Vista Vertical)



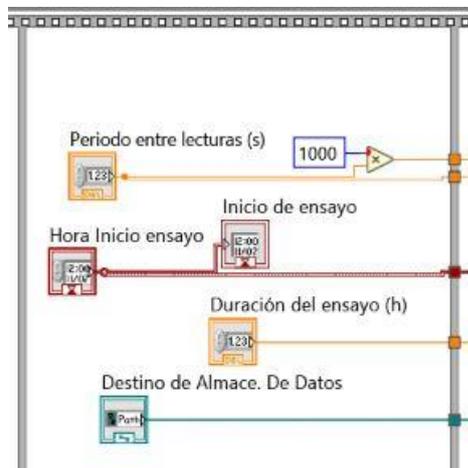
8.2.1.2. 1ra Secuencia

Anexo 16 Código de Inicio/Terminación de Programa y Cambio de Modo de Trabajo de la configuración Aire-Aire



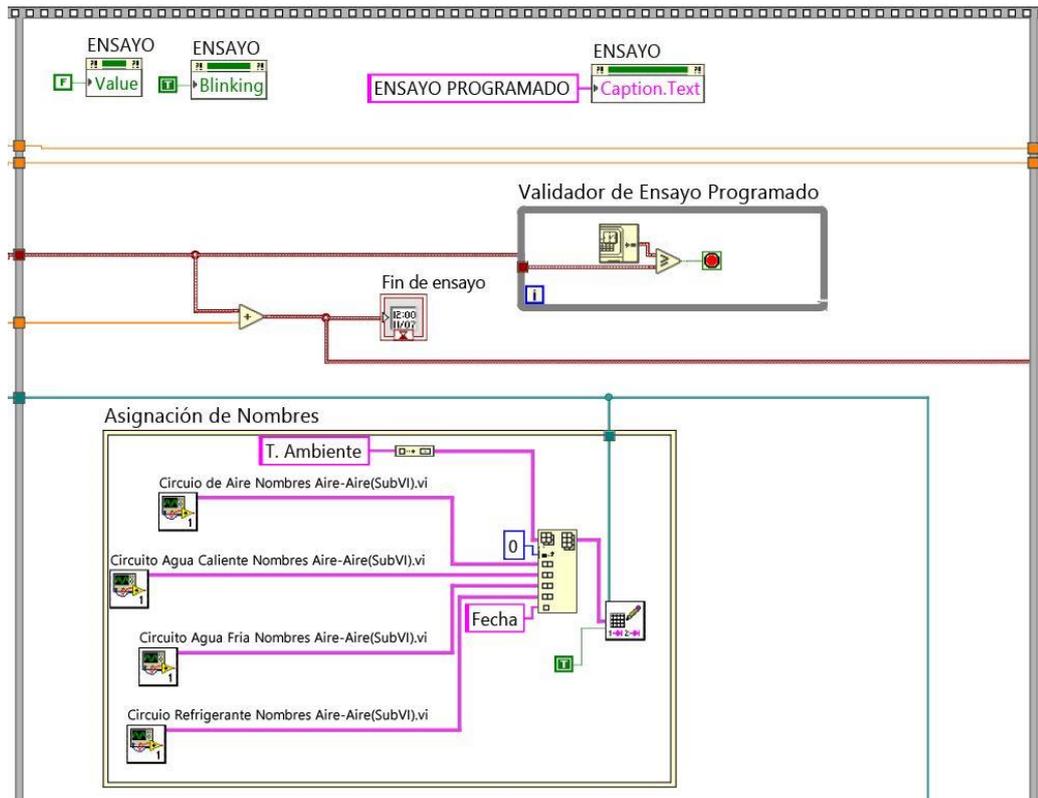
8.2.1.3. 2da Secuencia

Anexo 17 Bloques para ingresar "Periodo entre lecturas (s)", "Hora inicio de ensayo", "Duración del ensayo (h)" y "Destino de Almac. De Datos" de la configuración Aire-Aire



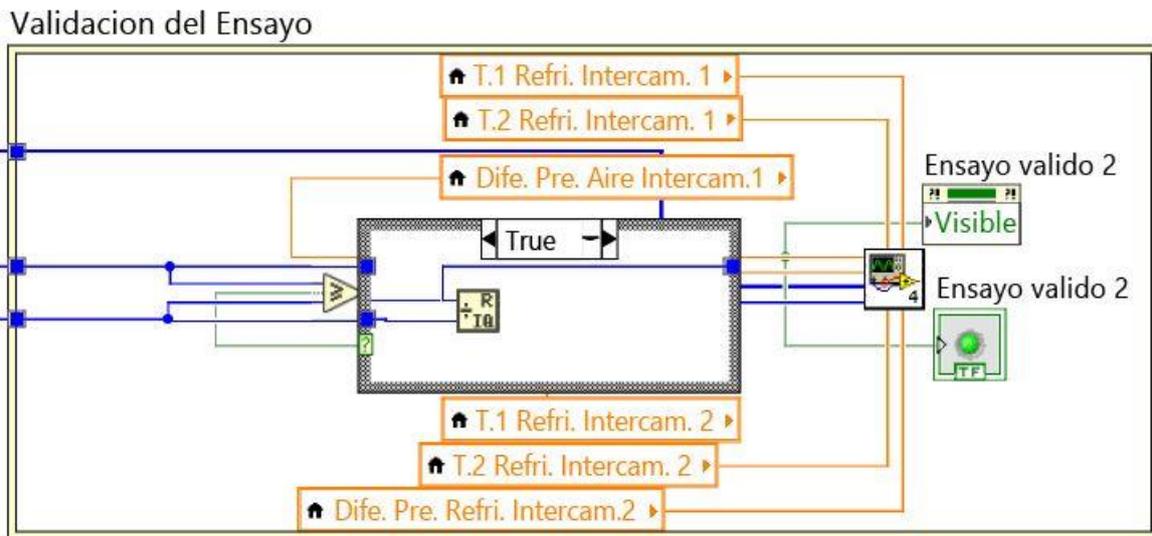
8.2.1.4. 3ra Secuencia

Anexo 18 Bloques de cambio de estado del ensayo, "Validador de Ensayo Programado" y Estructura de Asignación de Nombres de la configuración Aire-Aire.

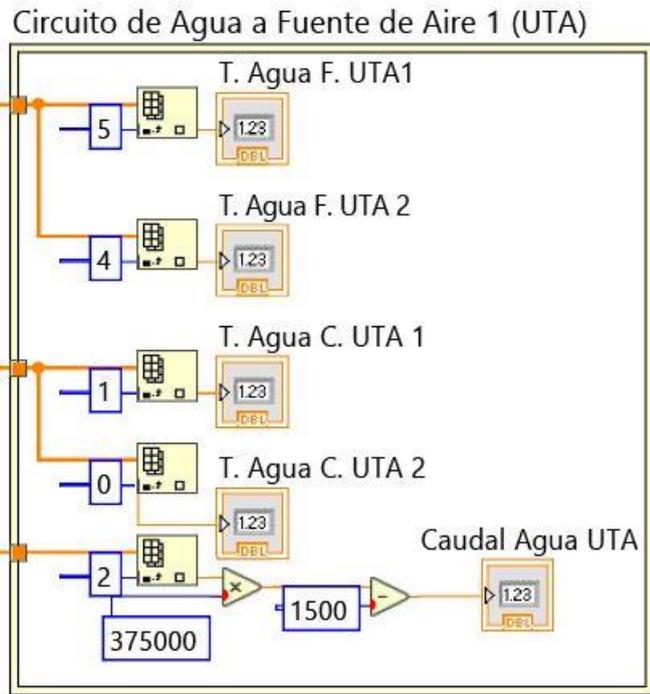


8.2.1.5. 4ta Secuencia

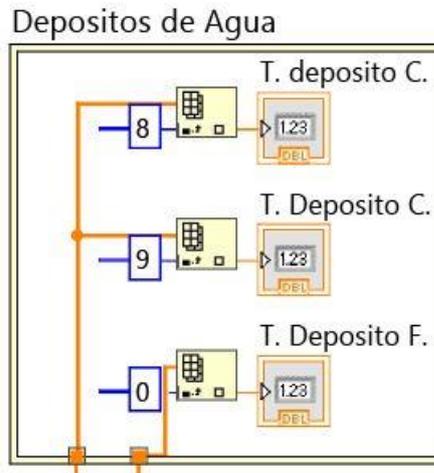
Anexo 19 Estructura de "Validación de Ensayos" de la configuración Aire-Aire



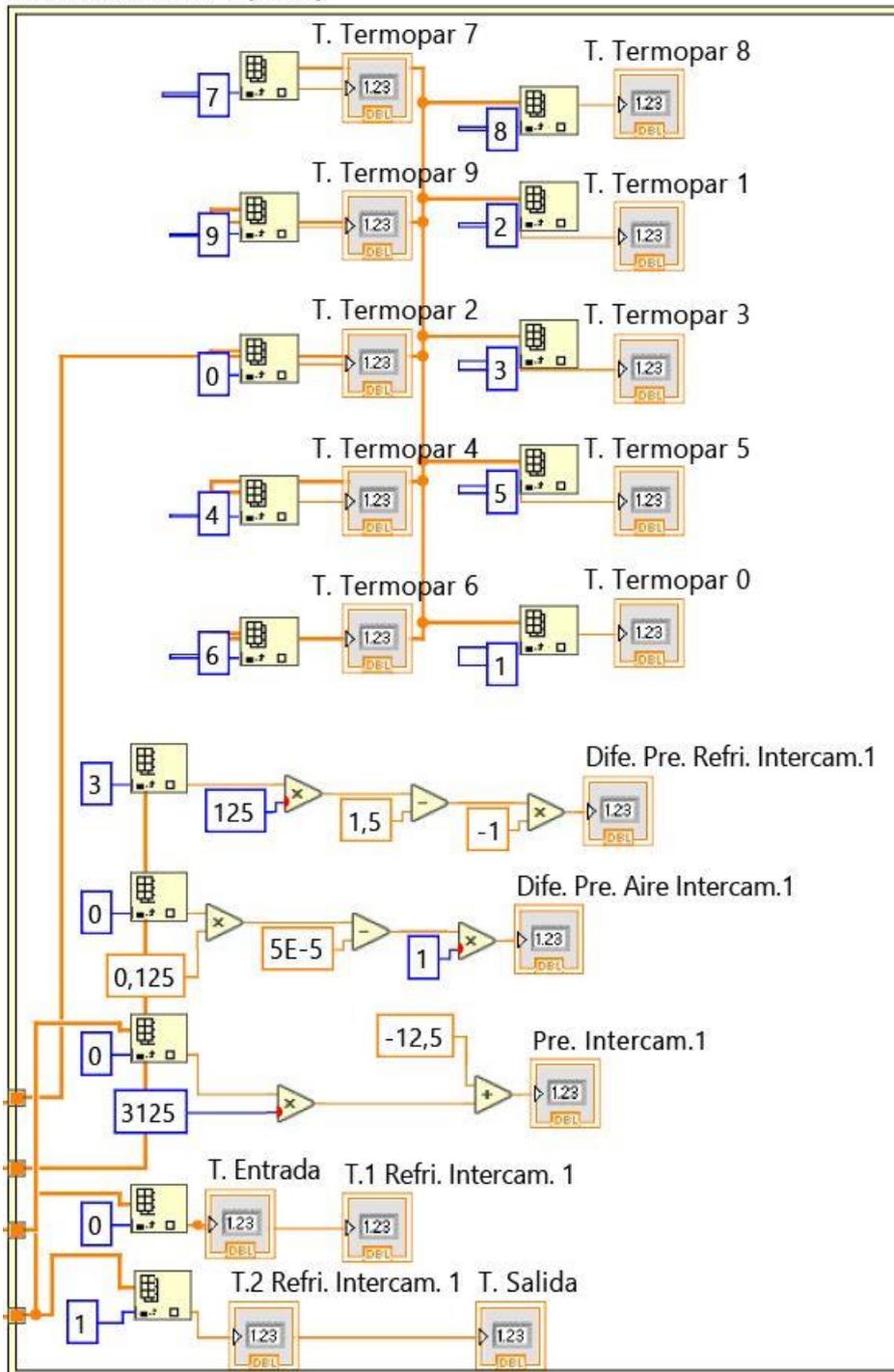
Anexo 20 Estructura que agrupa las variables del "Circuito de Agua a Fuente de Aire 1 (UTA)" de la configuración Aire-Aire



Anexo 21 Estructura que agrupa las variables de los "Depósitos de Agua" de la configuración Aire-Aire

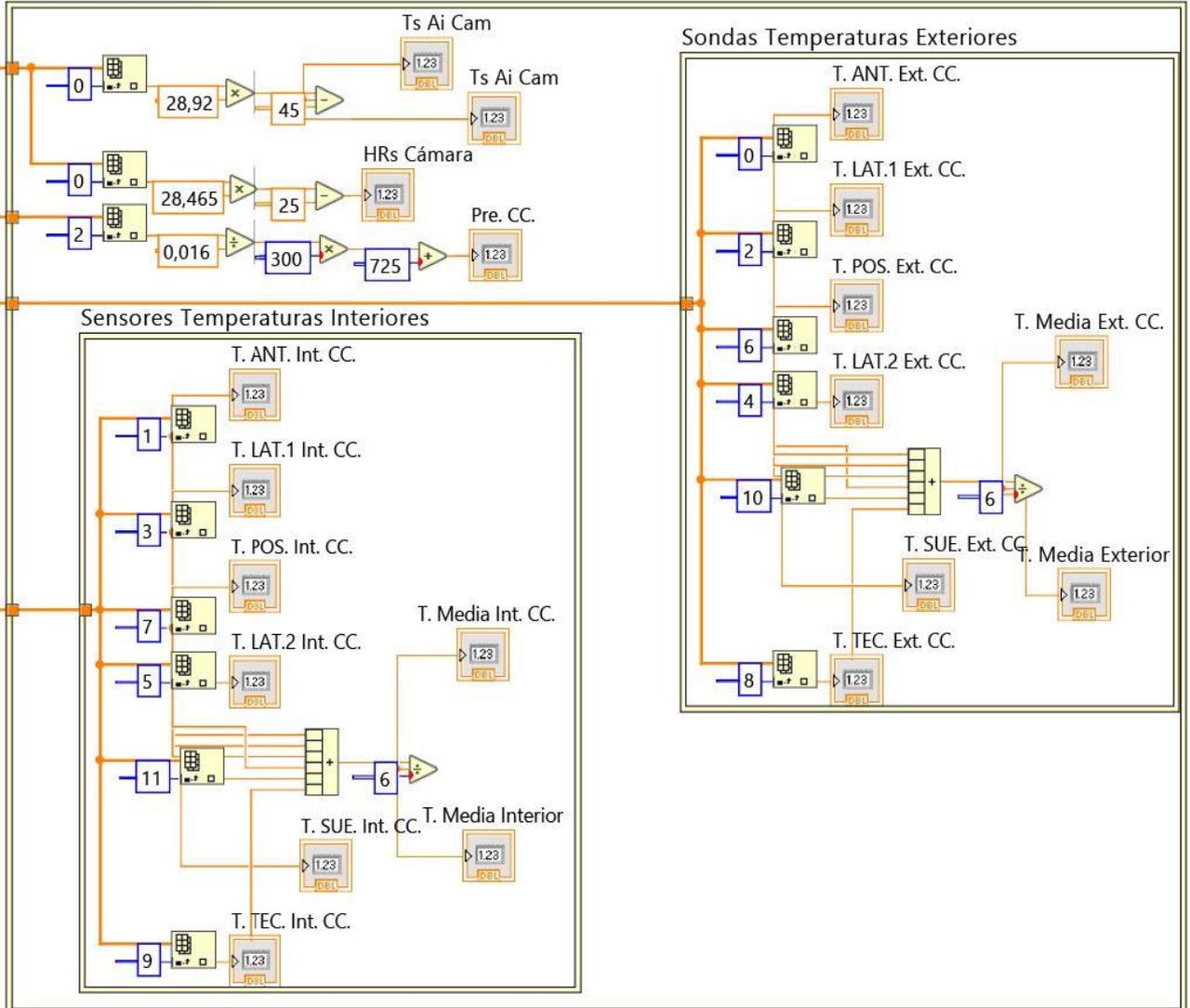


Intercambiador 1 (COIL)



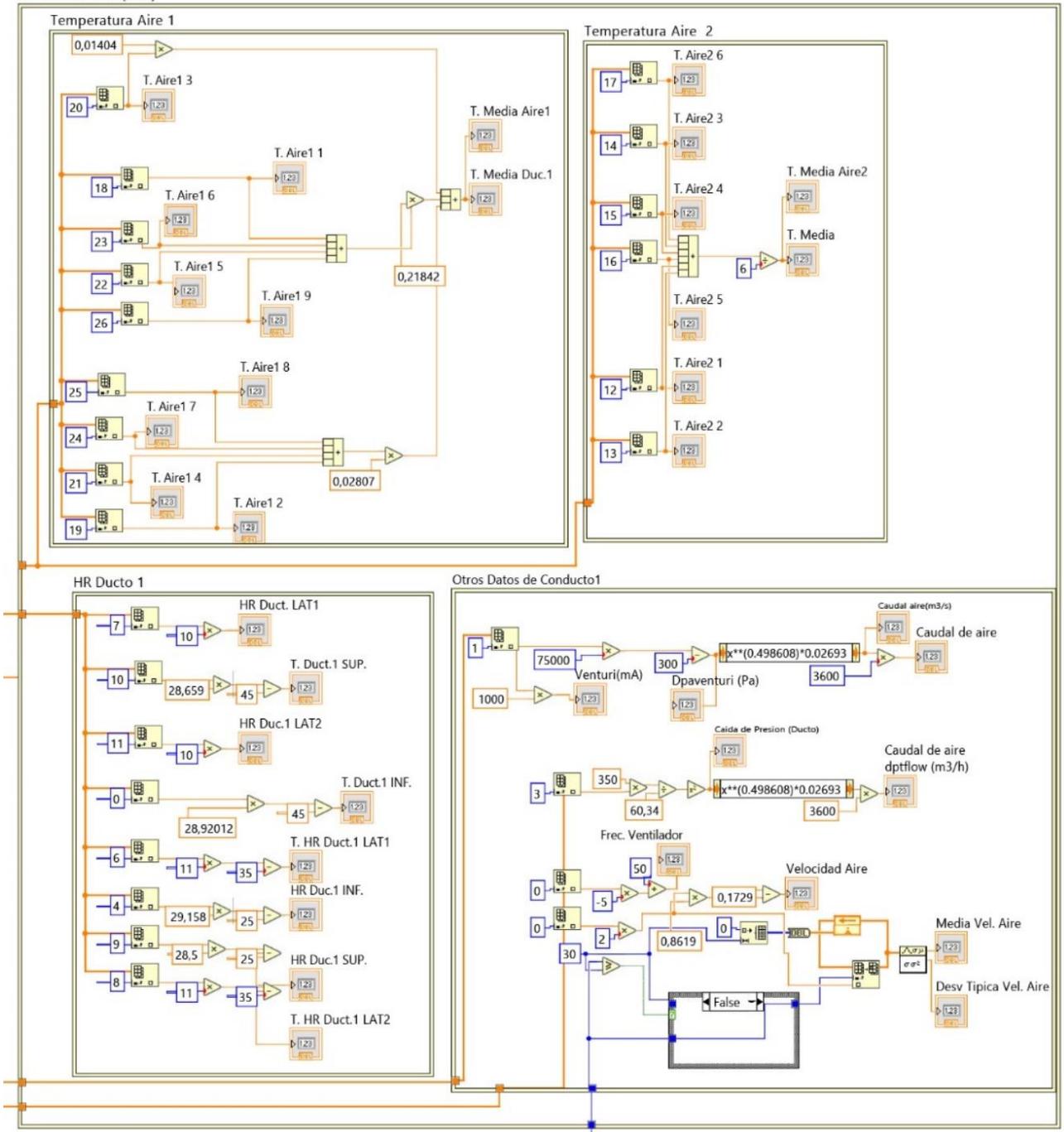
Anexo 23 Estructura que agrupa las variables de la "Cámara Climática 1" de la configuración Aire-Aire.

Camara Climatica 1

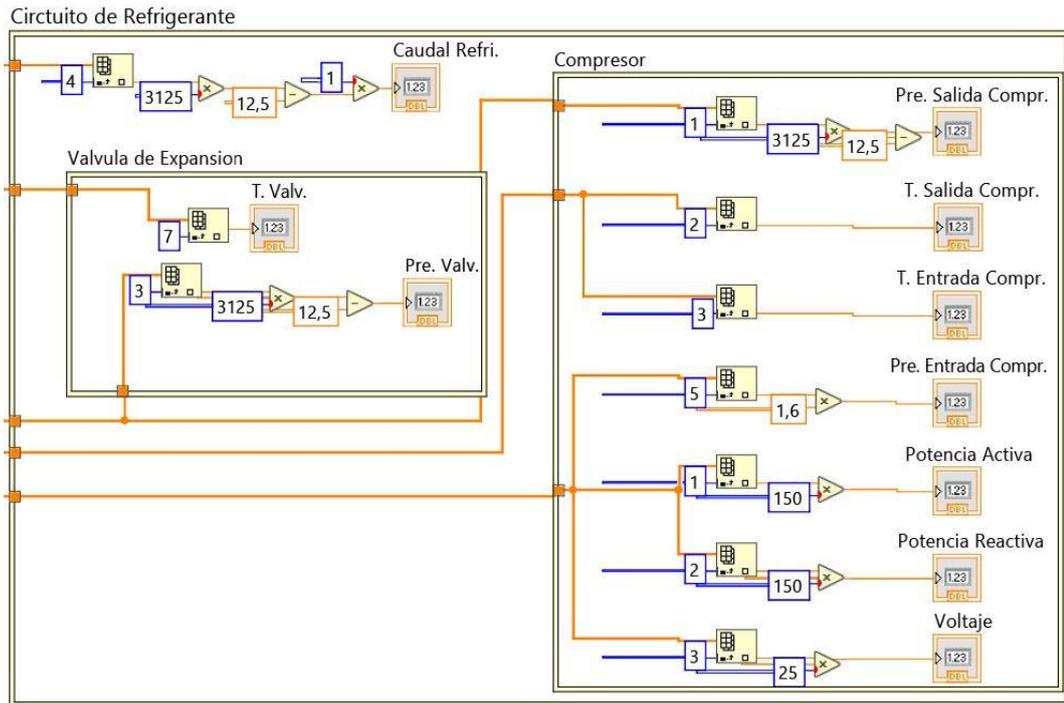


Anexo 24 Estructura que agrupa las variables de la "Fuente de Aire 1 (UTA)" de la configuración Aire-Aire.

Fuente de Aire 1(UTA)

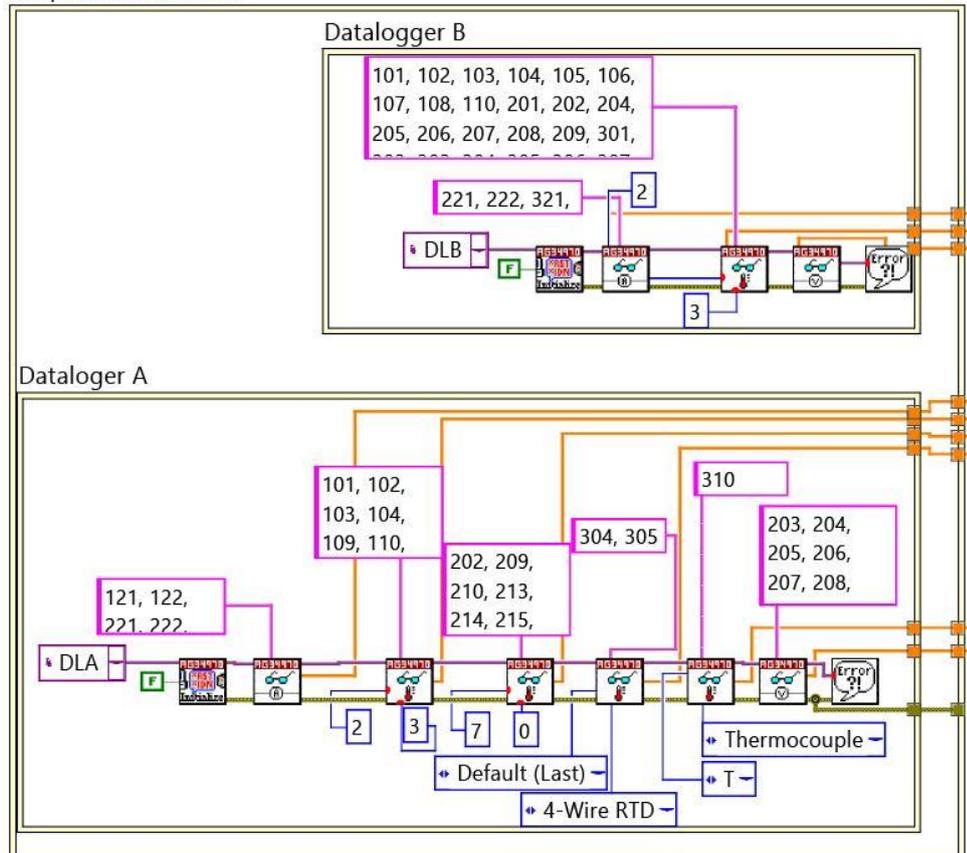


Anexo 25 Estructura que agrupa las variables del "Circuito de Refrigerante" de la configuración Aire-Aire

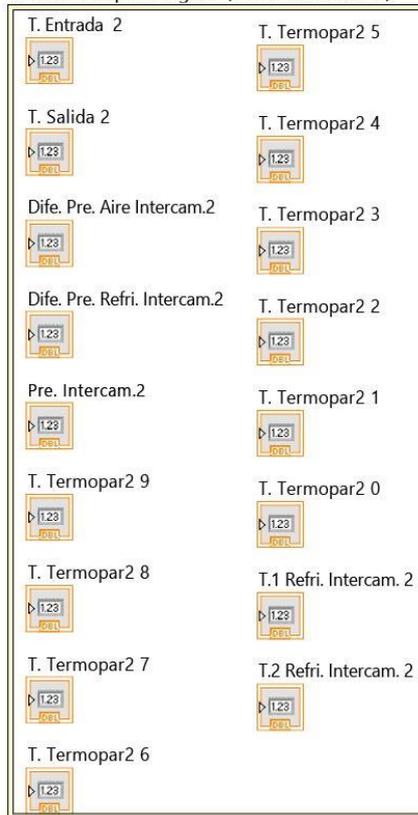


Anexo 26 Estructura que agrupa las variables de "Adquisición de Datos" de la configuración Aire-Aire

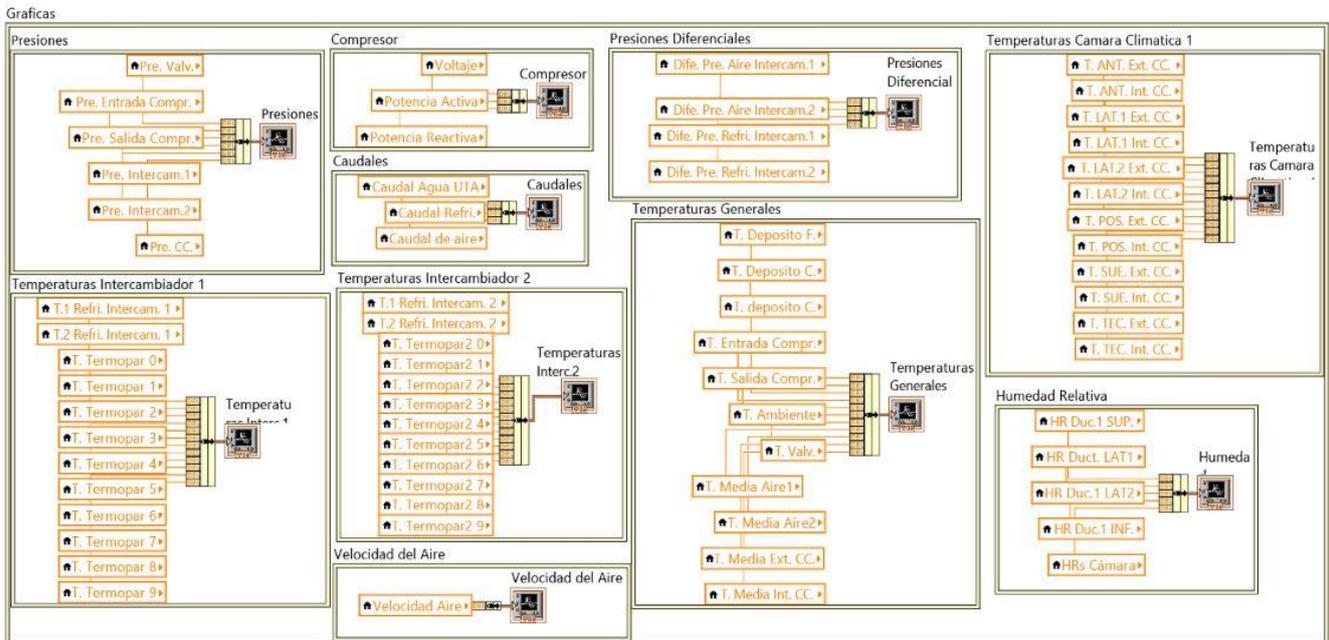
Adquisición de Datos

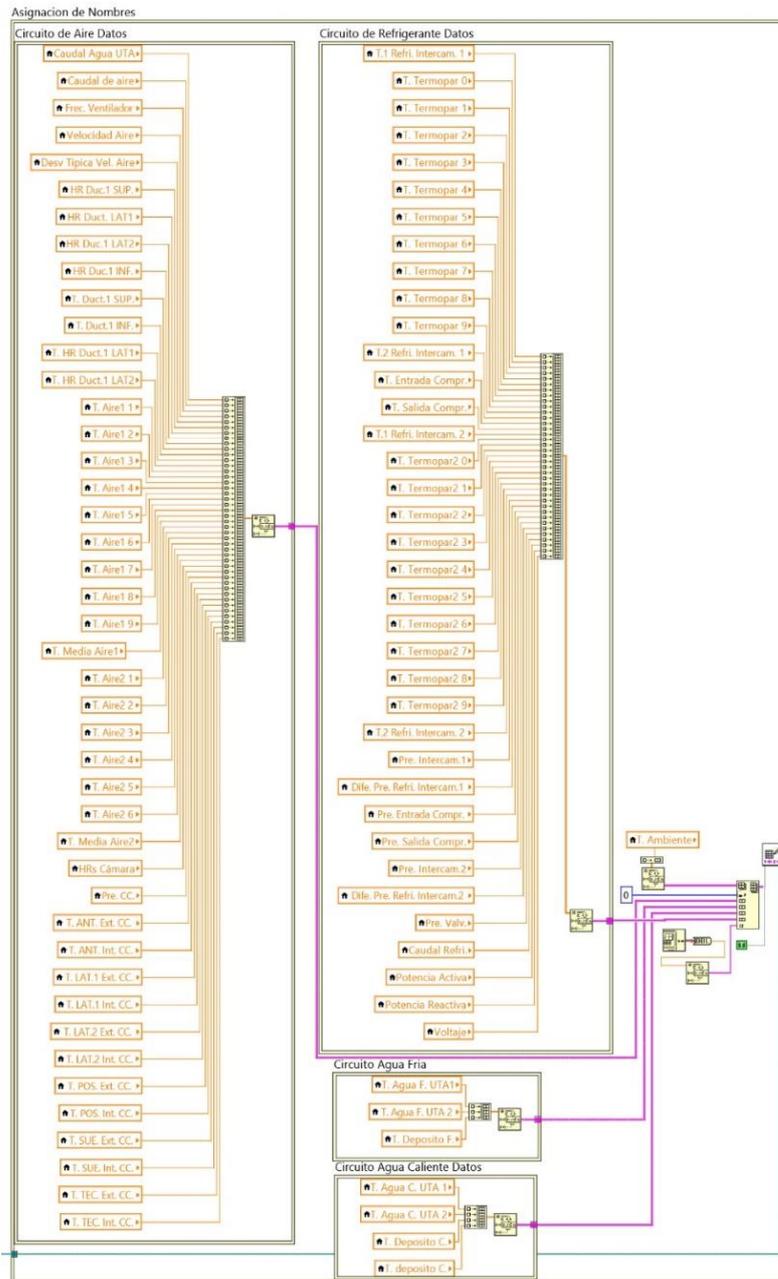


Pendientes por Asignar (Intercambiador 2)

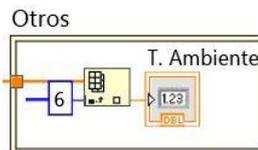


Anexo 28 Estructura de "Graficas" de la configuración Aire-Aire.



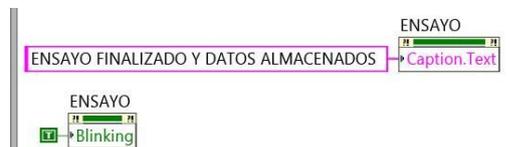


Anexo 30 Estructura de "Otros" de la configuración Aire-Aire



8.2.1.6. 5ta Secuencia

Anexo 31 Bloques de cambio de estado del ensayo de la configuración Aire-Aire.



8.2.2. Datos complementarios de la configuración aire-aire.

En este segmento se mostrarán tablas con datos e información complementaria para el código del programa.

Anexo 32 Información sobre las variables encontradas en la configuración Aire-Aire

| Nombre Original | Datalogger | Nombre de variable | Orden | Canal | Nombre Original | Datalogger | Nombre de variable | Orden | Canal |
|-----------------|------------|-------------------------------|-------|-----------|-----------------|------------|-----------------------------|-------|-----------|
| Fecha | n/a | Fecha | 1 | n/a | Nuevos | | Caudal del Aire | 48 | Pendiente |
| TeIntTubo | A | T.1 Refri. Intercam.1 | 2 | 101 | FrecVent | B | Frecuencia del Ventilador | 49 | 203 |
| T0 | A | T. Termopar 0 | 3 | 209 | VelocidadAire | B | Velocidad del Aire | 50 | 310 |
| T1 | A | T. Termopar 1 | 4 | 210 | Nuevos | | Desv. Típica. Vel. Aire | 51 | Pendiente |
| T2 | A | T. Termopar 2 | 5 | 202 | DPaire2 | A | Pre. Difer Aire Intercam.1 | 52 | 121 |
| T3 | A | T. Termopar 3 | 6 | 213 | HRaSupDuc | A | HR Duc.1 SUP. | 53 | 312 |
| T4 | A | T. Termopar 4 | 7 | 214 | HLat | A | HR Duc.1 LAT1 | 54 | 307 |
| T5 | A | T. Termopar 5 | 8 | 215 | HLat2 | A | HR Duc.1 LAT2 | 55 | 320 |
| T6 | A | T. Termopar 6 | 9 | 216 | HRInfDuc | A | HR Duc.1 INF. | 56 | 207 |
| T7 | A | T. Termopar 7 | 10 | 217 | TaSupDuc | A | T. Duc.1 SUP. | 57 | 317 |
| T8 | A | T. Termopar 8 | 11 | 218 | TaInfDuc | A | T. Duc.1 INF. | 58 | 203 |
| T9 | A | T. Termopar 9 | 12 | 219 | THRLat | A | T. HR Duc.1 LAT1 | 59 | 302 |
| TsIntTubo | A | T.2 Refri. Intercam.1 | 13 | 102 | THRLat2 | A | T. HR Duc.1 LAT2 | 60 | 308 |
| TeComp | A | T. Entrada Compr. | 14 | 104 | Tca1 | B | T. Aire1 1 | 61 | 301 |
| TsComp | A | T. Salida Compr. | 15 | 103 | Tca2 | B | T. Aire1 2 | 62 | 302 |
| Nuevos | | T.1 Refri. Intercam.2 | 16 | Pendiente | Tca3 | B | T. Aire1 3 | 63 | 303 |
| Nuevos | | T. Termopar2 0 | 17 | Pendiente | Tca4 | B | T. Aire1 4 | 64 | 304 |
| Nuevos | | T. Termopar2 1 | 18 | Pendiente | Tca5 | B | T. Aire1 5 | 65 | 305 |
| Nuevos | | T. Termopar2 2 | 19 | Pendiente | Tca6 | B | T. Aire1 6 | 66 | 306 |
| Nuevos | | T. Termopar2 3 | 20 | Pendiente | Tca7 | B | T. Aire1 7 | 67 | 307 |
| Nuevos | | T. Termopar2 4 | 21 | Pendiente | Tca8 | B | T. Aire1 8 | 68 | 308 |
| Nuevos | | T. Termopar2 5 | 22 | Pendiente | Tca9 | B | T. Aire1 9 | 69 | 309 |
| Nuevos | | T. Termopar2 6 | 23 | Pendiente | Nuevos | | T. Media Aire1 | 70 | Pendiente |
| Nuevos | | T. Termopar2 7 | 24 | Pendiente | Tae1 | B | T. Aire2 1 | 71 | 204 |
| Nuevos | | T. Termopar2 8 | 25 | Pendiente | Tae2 | B | T. Aire2 2 | 72 | 205 |
| Nuevos | | T. Termopar2 9 | 26 | Pendiente | Tae3 | B | T. Aire2 3 | 73 | 206 |
| Nuevos | | T.2 Refri. Intercam.2 | 27 | Pendiente | Tae4 | B | T. Aire2 4 | 74 | 207 |
| TeValv | A | T. Valv. | 28 | 301 | Tae5 | B | T. Aire2 5 | 75 | 208 |
| PsIntTubo | B | Pre. Refri. Intercam.1 | 29 | 221 | Tae6 | B | T. Aire2 6 | 76 | 209 |
| TsAgIntPlaca | A | Pre. Difer. Refri. Intercam.1 | 30 | 222 | Nuevos | | T. Media Aire2 | 77 | Pendiente |
| PeComp | A | Pre. Entrada Compr. | 31 | 208 | HRCamara | B | HRs Camara | 78 | 210 |
| PsComp | B | Pre. Salida Compr. | 32 | 222 | PCamara | A | Pre. CC. | 79 | 221 |
| Nuevos | | Pre. Intercam.2 | 33 | Pendiente | Tca10 | B | T. ANT. Ext. CC. | 80 | 101 |
| Nuevos | | Pre. Difer. Refri. Intercam.2 | 34 | Pendiente | TaEntInt | B | T. ANT. Int. CC. | 81 | 102 |
| PeValExp | B | Pre. Valv. | 35 | 322 | Tca11 | B | T. LAT.1 Ext. CC. | 82 | 103 |
| CaudalRe | A | Caudal de Refrigerantes | 36 | 322 | TaUTaInt | B | T. LAT.1 Int. CC. | 83 | 104 |
| WatimetroA | A | Potencia Activa | 37 | 204 | Tca12 | B | T. LAT.2 Ext. CC. | 84 | 105 |
| WatimetroB | A | Potencia Reactiva | 38 | 205 | TaParInt | B | T. LAT.2 Int. CC. | 85 | 106 |
| WatimetroC | A | Voltaje | 39 | 206 | Tca13 | B | T. POS. Ext. CC. | 86 | 107 |
| TeUTAAgFria | A | T. Agua F. UTA 1 | 40 | 110 | TaTrasInt | B | T. POS. Int. CC. | 87 | 108 |
| TsUTAAgFria | A | T. Agua F. UTA 2 | 41 | 109 | Tca17 | B | T. SUE. Ext. CC. | 88 | 201 |
| DPAgua | | T. Deposito F. | 42 | 310 | TaSueInt | B | T. SUE. Int. CC. | 89 | 202 |
| TeUTAAgCal | A | T. Agua C. UTA 1 | 43 | 305 | Tca14 | B | T. TEC. Ext. CC. | 90 | 109 |
| TsUTAAgCal | A | T. Agua C. UTA 2 | 44 | 304 | TaTecInt | B | T. TEC. Int. CC. | 91 | 110 |
| TdepGraAgCal | A | T. Deposito C. | 45 | 306 | TAmb | A | T. Ambiente | 92 | 201 |
| TdepAgCal | A | T. deposito C. | 46 | 303 | Nuevos | | Pre. Difer. Aire Intercam.2 | 93 | Pendiente |
| CaudalAgFria | B | Caudal Agua a UTA | 47 | 321 | | | | | |

Las columnas de la tabla anterior se describen de la siguiente manera:

- **Nombre Original.** Se muestra el nombre original que recibía la variable en el programa de base.
- **Datalogger.** Muestra el datalogger que proporciona la medición de dicha variable.
- **Nombre de variable.** Es el nombre que recibe cada variable encontrada en la configuración.
- **Orden.** Es el orden en el que está ingresada cada variable dentro de la estructura “Asignación de Nombres”. Es importante usar como referencia esta orden cuando se haga una modificación a dicha estructura.
- **Canal.** Es el canal donde se encuentra dicha variable dentro del datalogger correspondiente.

9. Bibliografía

- Aguilar Alcantara, G. F. (2007). *Tecnología Empleada en el Congelamiento del Camaron y Alimentos*. Ciudad de Mexico: Universidad Autonoma Metropolitana Iztapalapa. Recuperado el Septiembre de 2019
- American Society of Heating, Refrigeratin And Air-Conditioning Engineers, INC. (1994). *Safety Code for Mechanical Refrigeration*. Atlanta: ASHRAE. Recuperado el Septiembre de 2019
- Asociacion de Fabricantes de Equipos de Climatizacion. (2018). Produccion de ACS con Bombas de Calor. *Climaeficiencia*. Recuperado el Octubre de 2019
- Biodic. (Octubre de 2019). *Temperatura Critica*. Obtenido de Biodic: <https://www.biodic.net/palabra/temperatura-critica/#.XaInckYzZPY>
- Calm, J. M., & Hourahan, G. C. (2007). Refrigerant Data Update. *HPAC Engineering*. Recuperado el Septiembre de 2019
- Comisión Europea. (2013). *Decision de la Comision de 1 de marzo de 2013*. Diario Fociail de la Unión Europea. Recuperado el Agosto de 2019
- Comisión Europea. (2019). *Paquete de medidas sobre clima y energia hasta 2020*. Recuperado el Agosto de 2019, de Comisión Europea: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es
- Comisión Europea. (s.f.). *Causas del cambio climático*. Recuperado el Agosto de 2019, de Comisión Europea: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_es
- Comisión Europea. (2011). *Reglamento Delegado (UE) Numero 626/2011 de la Comisión de 4 de mayo de 2011 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire*. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado el Agosto de 2019
- Concepto. (2018). *Entalpia*. Recuperado el Octubre de 2019, de Concepto: <https://concepto.de/entalpia/>
- Concepto. (Octubre de 2018). *Entropia*. Recuperado el Octubre de 2019, de Concepto: <https://concepto.de/entropia/>
- CPOnet. (2015). *Comprar Eficiencia Energética*. CPOnet. Recuperado el Agosto de 2019
- Definicion. (2013). *Definicion de Punto de Congelacion*. Recuperado el Octubre de 2019, de Definicion: <https://definicion.de/punto-de-congelacion/>
- Definición. (2015). *Definicion de Punto de Embullición*. Recuperado el Octubre de 2019, de Definicion.de: <https://definicion.de/punto-de-ebullicion/>
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2013). *Exergy ; Energy, Environment and Sustainable Development* (2nd ed.). Elsevier Ltd. Recuperado el Agosto de 2019
- Enerdata. (2019). *Global Energy Statistical Yearbook 2019*. Retrieved Agosto 2019, from <https://yearbook.enerdata.net>: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>
- European Commission. (2016). *And EU Strategy on Heating and Cooling*. Brussels: European Commission. Recuperado el Agosto de 2019
- Forsén, M. (2005). *Heat Pumps Tecnology and Environmental Impac*. Swedish Heat Pump Association. Recuperado el Agosto de 2019
- Grupo Banco Mundial. (2019). *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. Recuperado el Agosto de 2019, de <https://datos.bancomundial.org/>: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>
- Guerrero Esteve, S. E., Casado Polo, E., & Espuig Bru, J. (2010). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios*. Generalitat Valenciana. Recuperado el Agosto de 2019
- Hepbasli, A., & Kalinci, Y. (2008). A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19. Recuperado el Agosto de 2019
- IDAE , Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para produccion de calor en edificios*. Madrid: IDAE , Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Recuperado el Agosto de 2019
- IRENA. (2019). *Climate Change and Renewable Energy: National Policies And The Role Of Communities Cities And Regions*. IRENA.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2011). *Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para las intalaciones frigorificas y sus intruccionen tecnicas complementarias*. Boletin Oficial del Estado. Recuperado el Septiembre de 2019

- Mompeán, D. F. (2018). *Evaluación Experimental y Numérica del Reemplazo de un Intercambiador de Tubo Aleateado Monopuerto por Tubo Multipuerto en una Bomba de Calor Reversible Aire/Agua*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el Octubre de 2019
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Kioto: Naciones Unidas.
- National Instruments. (2000). *Using External Code LabVIEW*. National Instruments. Recuperado el Octubre de 2019
- Omer, A. M. (Octubre de 2006). Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 28. doi:10.1016/j.rser.2006.10.003
- Parlamento Europeo y el Consejo de la Union Europea. (2009). *Directiva 2009/28/CE*. Diario Oficial de la Union Europea. Recuperado el Agosto de 2019
- Real Academia Española. (2019). *Energía*. Recuperado el Agosto de 2019, de Real Academia Española.
- Secretaría de Estado de Energía. (2013). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios; Versión Consolidada*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Recuperado el Agosto de 2019
- SWEP International AB. (2019). *Secondary Refrigerants*. Recuperado el Septiembre de 2019, de Swep Company: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/5.-refrigerants/sd/>
- Tabatabaei, S. A., & Treur, J. (2016). Comparative analysis of the efficiency of air source heat pumps in different climatic areas of Iran. *Procedia Environmental Sciences*. Recuperado el Agosto de 2019
- Tribunal de Cuentas Europeo. (2017). *Acción de la UE en materia de energía y cambio climático*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Union Europea. Recuperado el Agosto de 2019
- Union Europea. (2016). Acuerdo de París. (U. Europea, Ed.) *Diario Oficial de la Union Europea*. Recuperado el Agosto de 2019, de [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=ES](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=ES)
- Watlow Electric Manufacturing Company. (2018). *EZ-ZONE® Configurator Software - Specification Sheet*. Recuperado el Enero de 2020
- Wikipedia. (31 de Agosto de 2019). *Refrigerante*. Recuperado el Septiembre de 2019, de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigerante#cite_ref-1