

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño del sistema de automatización para el sistema de climatización por agua helada para hospitales en Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del título de:

Ingeniería Mecánica

Presentado por:

José Agustín García Zambrano

Alex Antonio Sacoto Machare

GUAYAQUIL- ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

A mi madre que día a día luchó junto a mi para conseguir el objetivo. A mi hermana Jennifer que le encantaba verme estudiar, sé que desde el cielo ella está tan feliz como yo. A mis hermanas Daniela y Andrea que siempre me dieron esas palabras de aliento. A todos mis amigos que supieron entender cuando no podía salir a las reuniones con ellos, a HVAC INGENIERÍA S.A. que me permitió realizar mis pasantías y me brindó todo el apoyo durante la tesis.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermano que siempre me dieron su apoyo en cada paso en todo el trayecto de mí carrera y me incentivaron en cada minuto, a mis amigos por compartir conmigo las alegrías del proceso.

Al ingeniero José Macías por compartir su tiempo y ayudarnos con su conocimiento en la elaboración del proyecto. A nuestro tutor ingeniero Guillermo Soriano por ser nuestro guía y darnos el seguimiento necesario para culminar nuestro proyecto.

Alex Antonio Sacoto Machare

A Dios por brindarnos la oportunidad de vivir este momento maravilloso, nos dio fortaleza para seguir en momentos de debilidad. A todos los maestros tutores que compartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera. A nuestros guías de tesis Msc Daniel Moreira, Ing. Miño, Ing. Macías, Ing. Marcos Sacoto y nuestro tutor de tesis Msc Soriano. A HVAC INGENIERÍA S.A. que nos proporcionó información importante para la realización de la tesis.

José Agustín García Zambrano

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Alex Antonio Sacoto Machare* y *José Agustín García Zambrano* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Alex Antonio Sacoto
Machare



José Agustín García
Zambrano

EVALUADORES

.....
Emérita Delgado P., Ph.D.
PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Guillermo Soriano I., Ph.D.
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Ciertos hospitales de Guayaquil enfrentan un problema de rendimiento en los sistemas de climatización y no logran mantener el confort térmico dentro de las instalaciones. El presente proyecto se enfoca en evaluar la eficiencia térmica y energética de estos hospitales. Además, analiza cómo disminuir el gasto energético al implementar un sistema de control del funcionamiento de los equipos.

Con este fin, se obtuvo la información de los equipos del sistema de climatización. Se analizó su estado, identificando todas las deficiencias del sistema. Entre estas, se encontró enfriadores obsoletos y torres de enfriamiento deterioradas. Además, se siguieron las normas ASHRAE standard 170-2017 para tener presentes los intervalos de temperatura a trabajar dentro del edificio y comprobar el bajo rendimiento.

Al comparar el COP calculado del sistema actual (3.48) con el COP de los equipos bases que existen en el mercado (4.07), se puede evidenciar que efectivamente el sistema presenta un bajo rendimiento. Esto indica que, para cubrir la eficiencia térmica requerida se necesita el respaldo de un enfriador adicional, que generaría un incremento de consumo energético. Además, se examinó que se debe una realizar inversión en un rediseño del sistema de monitoreo y control para optimizar gastos económicos y cubrir el manejo de las cargas térmicas, con el fin de que el sistema pueda volver a brindar el servicio de manera óptima para lo cual fue instalado.

Palabras claves: Coeficiente de rendimiento (COP), cargas térmicas, enfriador, potencia eléctrica, confort término

ABSTRACT

Several hospitals in Guayaquil face a performance problem in air conditioning system equipment and fail to maintain thermal comfort within the facilities. The present project focuses on evaluating the thermal and energy efficiency of these hospitals. Also, analyzing how energy expenditure can decrease by implementing a control system whose elements help to efficiently monitor the operation of equipment.

The purpose was to obtain information about the air condition system equipment. The status was analyzed, identifying all the deficiencies of the system. Among these, we found obsolete chillers and deteriorated cooling towers. In addition, the project followed the ASHRAE standard 170-2017 to keep the temperature intervals to work within the building and to check the low performance.

When we realize the comparison of the COP of the current system (3.48) and contrast with the basic equipment most used in the market (4.07), it can be demonstrated the system has a low efficiency. This means that to cover the thermal efficiency needed the use of an additional chiller, resulting in a higher consumption of energy. Also, we realize the study about the requirement of make an investment to redesign the control system, optimize the economic expenses, and cover the management of thermal loads, so the system once again can provide the service optimally.

Key words: Performance coefficient (COP), thermal loads, chiller, electrical power, thermal comfort

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT | II |
| ABREVIATURAS | V |
| SIMBOLOGÍA | VI |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | VIII |
| ÍNDICE DE PLANOS..... | IX |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. INTRODUCCIÓN | |
| 1.1 Descripción del problema..... | 1 |
| 1.2 Justificación del problema..... | 3 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.4 Marco teórico..... | 4 |
| 1.4.1 Climatización | 4 |
| 1.4.2. Sistema de climatización por expansión directa | 4 |
| 1.4.3 Sistemas de climatización en hospitales | 6 |
| 1.5 Infiltraciones en hospitales..... | 10 |
| 1.6 Recomendaciones para el manejo de sistemas HVAC contra el covid-19..... | 10 |
| 1.7 Soluciones hospitalarias contra el covid-19 en Ecuador..... | 11 |
| 1.8 Normas de seguridad e higiene..... | 12 |
| 1.9 Controles automáticos en la climatización..... | 15 |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. METODOLOGÍA | |
| 2.1 Levantamiento de información..... | 17 |
| 2.1.1 Información de equipos de la planta de agua del hospital | 18 |
| 2.1.2 Diagnóstico general | 20 |
| 2.2 Cargas térmicas del hospital..... | 25 |
| 2.2.1 Registro de cargas sensibles y latentes | 26 |
| 2.2.2 Eficiencia térmica (CHILLER) | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3 Eficiencia térmica (UMAS) | 29 |
| 2.3 Estudio del consumo energético en el chiller | 30 |
| 2.3.1 Eficiencia energética | 32 |
| 2.3.2 COP | 33 |
| 2.4 Propuesta de solución | 33 |
| PRIMERA FASE..... | 34 |
| SEGUNDA FASE | 36 |
| 2.5 Elementos a implementar | 38 |
| 2.6 Configuración del sistema de control..... | 40 |
| CAPÍTULO 3 | |
| 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS | |
| 3.1 Análisis de resultados..... | 52 |
| 3.1.1 Análisis de costos | 53 |
| 3.2 Análisis de consumo energético..... | 59 |
| CAPÍTULO 4 | |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 4.1 Conclusiones..... | 61 |
| 4.2 Recomendaciones | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| APÉNDICE | |

ABREVIATURAS

ATEAAR Asociación Técnica Ecuatoriana de Aire Acondicionado y Refrigeración

REHVA Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations

RITE Regulación de Instalaciones Térmicas en Edificios.

ASHRAE Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

UMA Unidad Manejadora de Aire

SIMBOLOGÍA

| | |
|--------|----------------------------|
| CFM | Pie cubico por minuto |
| TR | Tonelada de refrigeración |
| GPM | Galones por minuto |
| COP | Coeficiente de rendimiento |
| kW | Kilowatts |
| τ | Constante de tiempo |
| kWh | Kilowatts por hora |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Esquema general Planta de agua helada..... | 6 |
| Figura 1.2. Rango de humedad óptimo para la comodidad y salud humana..... | 8 |
| Figura 1.3. Climatización con renovación de aire | 9 |
| Figura 2.2. Diagrama de manejadora de aire (UMA) | 21 |
| Figura 2.3. Serpentines de agua caliente (No operativos)..... | 23 |
| Figura 2.4. Tramo de aislamiento de tubería en mal estado..... | 23 |
| Figura 2.5. Manejadoras adaptadas para suplir demanda..... | 24 |
| Figura 2.6. Tuberías en pésimo estado | 24 |
| Figura 2.7. UMA quirófano en subsuelo con toma de aire fresco | 25 |
| Figura 2.8. Ejemplo de cables desconectados | 25 |
| Figura 2.9. Tabla de temperatura promedio en Guayaquil | 26 |
| Figura 2.10. Gráfico del intervalo de temperaturas en guayaquil. | 27 |
| Figura 2.11. Gráfico de radiación y temperatura de Guayaquil. | 27 |
| Figura 2.12. Funcionamiento del sistema de agua helada (teórico) | 30 |
| Figura 2.13. Datos de consumo chiller dos..... | 32 |
| Figura 2.14. Sistema de control típico por una UMA | 37 |
| Figura 2.15. Diagrama de bloques de la solución para manejadoras | 42 |
| Figura 2.17. configuración de software-planta central de enfriamiento | 45 |
| Figura 2.18. configuración de software-enfriadores y bombas primarias..... | 47 |
| Figura 2.19. Ilustración del lazo de control del chiller bombas primarias..... | 48 |
| Figura 2.20. configuración de software-sistema secundario y de condensado. | 49 |
| Figura 2.21. Ilustración del control de bombas de condensado y secundarias. | 50 |
| Figura 3.1. Presupuesto referencial para fase uno | 57 |
| Figura 3.2. Presupuesto referencial para fase dos | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla1.1 Elementos Principales de la planta de agua helada | 2 |
| Tabla1.2. Guía de diseño y parámetros para ventilación..... | 9 |
| Tabla 1.3 Cuadro comparativo de normas y químico | 13 |
| Tabla 1.4 Estándares de contaminación..... | 14 |
| Tabla 1.5 Guía de filtros según la ASHRAE | 14 |
| Tabla 2.1 Ficha técnica de equipos | 19 |
| Tabla 2.2 Cargas térmicas | 28 |
| Tabla 2.3 Rendimiento térmico (chiller) | 28 |
| Tabla 2.4 Rendimiento térmico (UMAS) | 30 |
| Tabla 2.5 Datos de consumo Chiller | 31 |
| Tabla 2.6 Parámetros del chiller dos | 31 |
| Tabla 2.7 Comparación del consumo energético | 33 |
| Tabla 2.8 Comparación del COP | 33 |
| Tabla 2.9 Comparación de equipos..... | 38 |
| Tabla 2.10 Accesorios de mantenimiento para la fase 2 | 38 |
| Tabla 3.1 Comparación del rendimiento térmico post estudio | 53 |
| Tabla 3.2 Costo de inversión en cada fase..... | 54 |
| Tabla 3.3 Costo anual uniforme equivalente | 55 |
| Tabla 3.4. Comparación de Enfriadores | 59 |
| Tabla 3.5. Comparación de UMAS | 59 |

ÍNDICE DE PLANOS

| | |
|---|----|
| Plano 1 Diagrama P&ID..... | 34 |
| Plano 2 Sistema de refrigeración..... | 84 |
| Plano 3 plano de climatización zona central planta | 85 |
| Plano 5 plano de climatización ala izquierda planta alta..... | 87 |
| Plano 6 plano de climatización zona central pensionado | 88 |
| Plano 7 plano de climatización ala izquierda pensionado..... | 89 |
| Plano 8. Plano de climatización ala derecha del pensionado..... | 90 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los servicios de atención hospitalaria tienen requerimientos estrictos y demandas [2], entre esas la atención a pacientes con COVID-19. Este virus llevó al límite la capacidad de la mayoría de los hospitales, saturando así el servicio de estos. En vista del incremento de pacientes en las diversas salas de salud aparecen problemas anexos, provenientes de la sobreocupación de estos ambientes. Uno de suma importancia es la calidad del aire. Habitualmente, este se regula por normas de climatización que este tipo de edificaciones deben de seguir con rigurosidad para operar. Es más, actualmente, los sistemas de climatización requieren un moderno control de las operaciones de los equipos, ya que, como se mencionó anteriormente, por normas de sanidad se debe procurar que el ambiente de cada habitación ayude en la pronta recuperación de los pacientes.

El presente trabajo se centra en el estudio del sistema de climatización en un hospital de la ciudad de Guayaquil. Se buscó desarrollar un sistema de control óptimo para mejorar la distribución de climatización de todas las salas que lo conforman. En el desarrollo del proyecto, se realizó la selección de accesorios para el sistema de control. Además, se realizó un estudio del estado del sistema de climatización para determinar si es necesario o no el cambio de equipos. Finalmente, se desarrolló una propuesta ingenieril a implementar.

1.1 Descripción del problema

Un ejemplo de climatización en hospitales de Guayaquil es el hospital de niños Roberto Gilbert que cuenta con un sistema de agua helada que abarca el 85% del hospital y un sistema de expansión directa (unidades tipo paquetes, Fan Coils o Split decorativos), que climatiza el área de consulta externa y algunas partes específicas del edificio principal. Los elementos principales con los que cuenta la planta de agua se los detalla en la Tabla 1.1

Tabla1.1 Elementos Principales de la planta de agua helada [Elaboración propia]

| Equipo | Cantidad | Marca | Potencia térmica [TR] | Potencia eléctrica [HP] | Voltaje [V] | Amperaje [A] | Caudal [GPM] |
|-----------------------|--------------|---------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------|-----------------|
| Torre de enfriamiento | 3 | Evapco | - | | | | 4.4 |
| Enfriador (Chiller) | 3 | Carrier | 270 | 324.5 | 400 | 350 | 1126 |
| Bomba primario | sistema 4 | Taco | - | 25 | 208 230 246 | 69 62.6 31.3 | 786 |
| Bomba secundario | sistema 8 | Taco | - | 15 | 208 230 460 | 43.3 40 20 | 647 |
| Bomba de condensado | 4 | Taco | - | 20-15 | 230/460 | 48.2/24.1 36.8/18.4 | 400 |
| Unidad manejadora | 59 | Carrier | - | | 400 | 30 | 150- 13000 |

Inicialmente, cuando se inauguró el hospital, la planta de agua helada constaba de un sistema primario/secundario variable. En la actualidad, todo el sistema de control, que lograba que el sistema secundario sea variable, se encuentra en mal estado. Esto se debe a que los variadores de frecuencia que lograban la regulación y control de las bombas secundarias y el ventilador de las manejadoras no funcionan. Además, los termostatos que medían y configuraban temperaturas de control ya no existen. Lo mismo ocurre con los sensores diferenciales de presión, que medían la caída de presión entre la entrada y salida en la tubería de agua helada; las válvulas de control, que regulaban el flujo de agua en los serpentines y los manómetros y tableros de control, que integraban todas las entradas y salidas.

Esto ha causado que la planta de agua helada trabaje con un sistema primario constante-secundario constante, sin controlar la cantidad de caudal que pasa por las tuberías. Esto causa que las bombas trabajen permanentemente. Por otro lado, tampoco existe un sensor diferencial de presión que conecte con el variador de frecuencia y disminuya las revoluciones de la turbina en cada unidad manejadora, de igual forma, no hay un medidor de temperatura que conecte con la válvula de control y regule el paso del agua en la manejadora.

En general, se observa un sistema de agua helada desactualizado e ineficiente. Esta es la causa de que muchos de los recintos del hospital carezcan de confort y presenten problemas de humedad, principalmente, en invierno. Al respecto, es importante señalar que, en esta época, los encargados de cada área del hospital llaman a los responsables de mantenimiento, comunicando que los aires acondicionados no abastecen.

1.2 Justificación del problema

El directorio ejecutivo junto con el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento Central del HRG han solicitado la revisión integral de los equipos de climatización. Los factores que se han argumentado para ello son el desgaste, la falta de protocolos de *commissioning* y la reducción del rendimiento del sistema, causada por el crecimiento del servicio. Se subraya que algunos equipos bordean los 25 años de funcionamiento continuo.

El diseño de un nuevo sistema de control de la planta de agua helada del Hospital de niños “Dr. Roberto Gilbert” apunta a alcanzar un correcto funcionamiento del sistema de climatización. Este sistema permite un alto confort dentro del edificio y una mejora energética que reduce costos en el servicio eléctrico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Rediseñar el sistema de climatización de agua helada del Hospital de Niños Dr. Roberto Gilbert, mediante la corrección de su funcionamiento e implementación de un sistema de control para el incremento de su eficiencia y la disminución del consumo energético de todo el complejo hospitalario Alejandro Mann.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información del sistema de agua helada, identificando e inspeccionando todos los equipos con los que se cuenta y las áreas que se climatizan.
- Analizar el desempeño energético real del sistema para su comparación con la línea base del diseño original.
- Proponer la implementación de un sistema de control para la mejora de la eficiencia térmica y energética de la planta de agua helada.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Climatización

La ASHRAE (2001) ^[1] define la climatización como el proceso de tratar el aire, de tal manera, que se controle simultáneamente su temperatura, humedad relativa, limpieza y distribución, para que cumpla con los requerimientos del espacio acondicionado. Por otro lado, la climatización es un factor importante para crear ambientes confortables, ya que, permite a las personas realizar sus actividades en una zona interior con excelente calidad de aire.

Esto se debe a que, la climatización involucra factores como la temperatura (calefacción y enfriamiento), humedad (deshumidificación y humidificación) y calidad del aire (filtración y ventilación). Todos estos son componentes fundamentales para mantener el ambiente en condiciones adecuadas. Es por ello que, deben considerarse en el diseño.

Otro aspecto importante con el que está relacionada la climatización es la calidad ambiental interior (IEQ). La IEQ involucra la importancia de mantener un buen entorno interior por temas de bienestar y salud. Otros factores que pueden afectar la calidad ambiental interior son la humedad, calidad de aire y la iluminación, entre otras (The National Institute for Occupational Safety and Health, 2013, ^[2]).

1.4.2. Sistema de climatización por expansión directa

Los sistemas de expansión directa se encargan de enfriar el aire mediante el uso de un serpentín (intercambiador de calor) por donde circula el refrigerante. El aire refrigerado

se conduce a través de los ductos hacia las zonas a climatizar. El diseño de este sistema debe tener en cuenta la temperatura que se desea alcanzar, capacidad del sistema (carga térmica), tipo de refrigerante, equipos y accesorios.

Este tipo de sistemas es comúnmente utilizado para hogares, oficinas y cualquier otro tipo de ambiente que no requiera una mayor eficiencia en su funcionamiento. En cambio, para edificaciones más grandes, que operan con una mayor carga térmica y una mayor demanda de uso, se requiere aplicar otro método, conocido como método indirecto.

Sistema de climatización planta de agua helada

El funcionamiento general del sistema de climatización por agua helada empieza en el enfriador, también llamado chiller, este se encarga de enfriar el agua por medio de un sistema de expansión directa. A continuación, el sistema de bombas secundarias envía el agua helada hacia las unidades manejadoras de aire de cada área que se desea climatizar. En este punto, se realiza un intercambio de calor entre el aire que genera el ventilador de la UMA y el agua helada dentro del serpentín de la manejadora. Finalmente, el agua regresa al enfriador por medio de un sistema de bombeo primario.

Existen 2 maneras de enfriar el condensador del chiller, por aire o por agua. Los chillers enfriados por aire utilizan un ventilador para disipar el calor absorbido por el refrigerante en el serpentín del evaporador. Los chillers enfriados por agua usan un sistema de torres de enfriamiento. Este sistema consiste en bombear agua mediante bombas de condensado hacia el enfriador. Dentro del enfriador, el agua recibe el calor, para luego dirigirse a las torres de enfriamiento. Es ahí donde se produce el intercambio de calor en contraflujo entre el agua a alta temperatura y el aire producido por los ventiladores de las torres, debido al aumento de la superficie de contacto entre el agua y el aire se genera calor latente de evaporación, perdiendo un mínimo porcentaje de agua, mientras que la mayor cantidad de agua disminuye su calor sensible al contacto con el relleno de la torre. El agua sale por la parte inferior de la torre y es extraída por las bombas de condensado, nuevamente, como se muestra en la Figura 1.1:

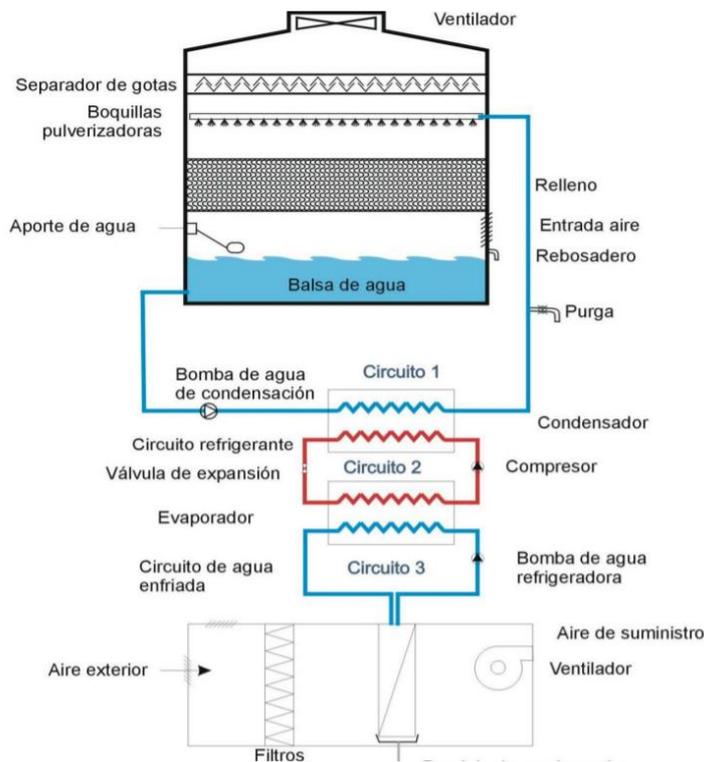


Figura 1.1. Esquema general Planta de agua helada [Elaboración propia]

1.4.3 Sistemas de climatización en hospitales

Dentro de los centros de salud hospitalarios se mantiene un ambiente óptimo bajo los parámetros de temperatura y humedad según el ATEAAR ^[15], tanto para los pacientes que ingresan a las salas de atención, como para el personal de trabajo. A pesar de que los principios de funcionamiento de estos sistemas de climatización coinciden con la mayoría de los sistemas de cualquier otro tipo de edificación, en los hospitales además del confort térmico debe considerarse ciertas normas de higiene (ANSI/ASHRAE ^[9]). Para ello, la calidad del aire es un factor sumamente importante, ya que, con el sistema de climatización se reducen problemas como polvo, olores y microorganismos que afectan a la salud de las personas.

Confort térmico

El confort térmico es un término difícil de definir, puesto que, es muy subjetivo. Depende del entorno en el que se esté y está conformado por factores como calidad del aire, nivel de luz y ruido, entre otros. Según la norma ISO 7730 (Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los

índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local), se define al confort térmico como “esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (Chávez del Valle, 2002, [3]). Por ello, se puede decir que el confort térmico es la sensación de comodidad que se tiene dentro de un ambiente mediante el equilibrio de las condiciones existentes en el mismo entorno. Haciendo referencia al ámbito hospitalario, dicho confort va a depender no solo de los factores antes mencionados, sino que, será influenciado también por condiciones específicas como:

- Número de personas dentro de la sala.
- Calidad de aire requerido para mantener condiciones asépticas.

Inicialmente, se puede relacionar el término confort térmico con la temperatura del entorno. Ahora bien, es preciso redefinir este término de acuerdo con el funcionamiento del espacio donde interactúen las personas. Este aspecto debe considerarse especialmente en ambientes hospitalarios, donde se busca brindar las mejores condiciones para la pronta recuperación de los pacientes.

Humedad

En cuanto a la humedad, Martines (2007) menciona que:

La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes; algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas (pag.1, [4]).

Por ello, la humedad se define como un componente natural de la atmósfera que varía de acuerdo con la temperatura; cuanto mayor es la temperatura, la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener es mayor.

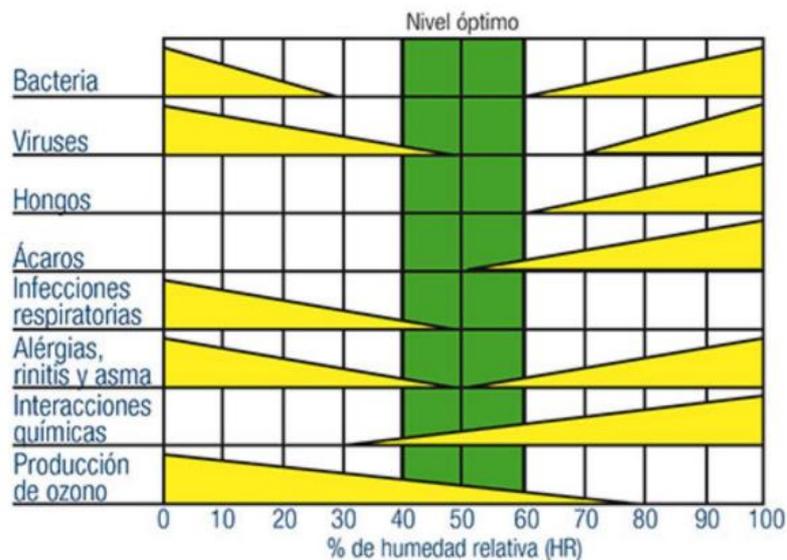


Figura 1.2. Rango de humedad óptimo para la comodidad y salud humana

Fuente: [Adaptado de Sterling et al. 1985]

En la Figura 1.2 se muestra que lo ideal es que el porcentaje de humedad se encuentre en un nivel medio (40-60), es decir, ni demasiado bajo ni demasiado alto. De este modo, se evita problemas como el moho, la corrosión, la descomposición y la condensación.

Renovación de aire

Todo sistema de climatización debe tener cierto porcentaje mínimo de renovación de aire para cumplir con las normativas de calidad de aire interior (IAQ). La norma ASHRAE 61.2-2019 especifica la tasa mínima de ventilación con la que debe contar el sistema de climatización de una edificación para suministrar una IAQ aceptable y no perjudicial para la salud de las personas. La Figura 1.3 evidencia un área climatizada con los diferentes elementos que intervienen en el proceso de climatización, entre ellos, se observa un sistema de renovación de aire.

1.5 Infiltraciones en hospitales

Las presiones en el interior de los centros hospitalarios son sumamente importantes porque a diario ingresan personas de alto riesgo o vulnerables a contraer diferentes tipos de infecciones, virus o bacterias. Por ello, existen áreas clasificadas por el tipo de presión: positiva y negativa. La presión positiva se la utiliza cuando se quiere evitar que pacientes y suministros médicos quirúrgicos se contaminen con patógenos transmitidos por el aire, las áreas que cuentan con presión positiva en hospitales son: los quirófanos, áreas de cuidados intensivos, sala de neonatos, sala de quemados, es decir, las áreas más limpias del hospital. Por su parte, la presión negativa es necesaria en áreas donde hospedan pacientes con enfermedades de alto grado de transmisión por aire, a saber, pacientes con tuberculosis o COVID.

1.6 Recomendaciones para el manejo de sistemas HVAC contra el Covid-19

Con base en el informe realizado el 6 de marzo del 2020, por parte de REHVA, se establecieron consejos que se deben considerar al momento de la instalación de los sistemas de climatización. Como es de conocimiento, la principal vía de transmisión del virus es aérea, ya sea por gotas grandes (>10micras) o gotas pequeñas, que provienen de la evaporación de las grandes (<5micras). Para prevenir que exista una gran concentración del virus, REHVA ha estipulado consejos generales para el manejo de los sistemas HVAC en edificaciones, los cuales no todos pueden ser adaptados para los hospitales, pero sirven como una guía general para tener consideraciones pendientes al momento de realizar los mantenimientos o instalaciones; a continuación, se detallan las siguientes sugerencias.

Asegure la ventilación de los espacios con aire exterior, procure cambiar la ventilación a velocidad nominal al menos 2 horas antes del tiempo de uso del edificio y cambie a velocidad más baja 2 horas después del tiempo de uso del edificio. En las noches y fines de semana, no apague la ventilación, pero mantenga los sistemas funcionando a menor velocidad. Asegure una ventilación regular con ventanas (incluso en edificios con ventilación mecánica). Con respecto a los olores, se debe procurar tener la ventilación funcionando las 24 horas, además, evite abrir ventanas en estos espacios para asegurar la dirección correcta de ventilación. Indique a los ocupantes del edificio que descarguen los olores con la tapa cerrada.

Para las unidades de tratamiento de aire cámbielas por recirculación de aire 100% exterior. Inspeccione el equipo de recuperación de calor para asegurarse de que las fugas estén bajo control. Apague las bobinas del ventilador o actívelas para que los ventiladores estén continuamente encendidos. No cambie los puntos de ajuste de calefacción, refrigeración y posibles humectaciones. Apéguese al plan de mantenimiento con respecto al aire central y cambie los filtros de aire como se está programado, dichos trabajos se deben de realizar con medidas de protección de acuerdo con la edificación en la que se trabaje.

1.7 Soluciones hospitalarias contra el Covid-19 en Ecuador

Dado el momento que vivía el país a inicios del año 2020, se presenciaron situaciones como hospitales abarrotados de pacientes y personal médico, lo que saturó el servicio de salud. Dicho exceso en la capacidad del hospital llevó también a la preocupación del estado de los sistemas de climatización que cada centro de salud maneja, para ellos el ATEAAR realizó un informe en abril del mismo año [15], proponiendo un sistema de aislamiento temporal (antesala) que esencialmente sirva para los cuartos de pacientes apartados, el mismo sistema se lo puede aplicar para áreas comunes en conjunto con las siguientes sugerencias para la descarga de aire.

Descarga a través de una ventana.

Para usar esta opción se debe tener en cuenta aspectos como: usar una ventana del área para descargar el aire filtrado, si hay una distancia prudente donde se descarga el aire al exterior, es decir, si existe 8m de distancia de la zona de descarga con el contacto con personas, se puede colocar extractores en las ventanas en vez de filtros, se puede llegar a necesitar más de una máquina para mantener el diferencial de presión correcto.

Descarga a un espacio adyacente.

Si la descarga de aire va a ser hacia un espacio adyacente hay que tener en cuenta que dicho espacio siempre debe de ser filtrado por HEPA, el aire debe ser descargado fuera de una zona infecciosa dentro del hospital sin climatizar.

Descarga al retorno al sistema de aire.

Cuando se utiliza un sistema de retorno hay que tener presente que el aire a descargar debe de ser un aire filtrado por HEPA, se debe de adaptar un ducto flexible a la rejilla, así también, se debe de tener cuidado con las CFM a descargar.

1.8 Normas de seguridad e higiene

Las instalaciones de sistemas de refrigeración para edificaciones hospitalarias se manejan con rigurosidad debido a que deben de cumplir con ciertos criterios y normas internacionales que corroboren su correcto funcionamiento al público, esto quiere decir que para aprobar el desarrollo del sistema de refrigeración planeado se debe de cerciorar que se cumplan con las siguientes normas basadas en el manual de diseño HVAC para hospitales y clínicas.

- ASHRAE standard 170-2017. Esta norma se la utiliza para diseñar el tipo de ventilación necesaria en los espacios de salud.
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019. Señala un rango permisible de contaminantes provenientes del exterior tolerables dentro de las edificaciones.
- ANSI/ASHRAE Standard 52.2. Método que evalúa los filtros de aire para comparar la eficiencia de eliminación de partículas según su tamaño.
- ANSI/ASHRAE Standard 55. Establece condiciones térmicas aceptables dentro de los edificios, evaluando los parámetros de: temperatura, radiación térmica, humedad, velocidad de aire y actividad y vestimenta de los ocupantes.
- ATEAAR. Recomendaciones de diseño para sistemas de climatización en hospitales y clínicas-emergencia COVID-19 Ecuador.
- RITE. Reglamentos que las edificaciones destinadas a atender el bienestar térmico e higiene deben de cumplir en sus instalaciones de calefacción, climatización y agua sanitaria.

Este conjunto de normas se encarga de certificar que la edificación cumple un mantenimiento óptimo de los siguientes factores, que son imprescindibles considerar al momento del cuidado de la salud de los pacientes.

- Calidad del aire
- Remoción del aire y flujo de este.
- Viabilidad de los organismos.

A continuación, en las Tablas 1.3 y 1.4 se detalla un cuadro comparativo permisible de partículas, contaminantes químicos y microbiológicos, donde se resalta la cantidad máxima que se puede tener en un tiempo determinado según normas primarias mencionadas en el ATEAAR [14].

Tabla 1.3 Cuadro comparativo de normas y químico [Elaboración propia.]

| Químicos/Normas | Canadiense | Europea (WHO) | EPA | NIOSH | OSHA | ACGIH |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------|----------|----------|
| Acroleína | - | - | - | 0.01 ppm | 0.01ppm | 0.1 ppm |
| Acetaldehído | - | - | - | - | 200ppm | 25ppm |
| Benceno | Lo más bajo posible | Lo más bajo posible | - | 1ppm | - | -- |
| Formaldehido | 0.04 ppm | 0.081 ppm | - | 0.016 ppm | 0.75 ppm | 0.3 ppm |
| Dióxido de carbono | - | - | - | 5000 ppm | 5000ppm | 5000ppm |
| Monóxido de carbono | 10 ppm | 6ppm | 9 ppm | 35 ppm | 50 ppm | 25 ppm |
| Ozono | 0.02 ppm | - | 0.07 ppm | 0.1 ppm | 0.01 ppm | 0.05 ppm |

| | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-----------|----------------------------|------|---------------------|---------------------|
| Partículas<25MMAD | Lo más bajo posible | - | 12-15 µg/m ³ | | 5 mg/m ³ | 3 mg/m ³ |
| Dióxido de azufre | - | 0.047 ppm | 0.5 ppm | 2ppm | 5ppm | 0.25 ppm |

Tabla 1.4 Estándares de contaminación [Fuente: ATEAAR]

| Espacio de tiempo | Primario | Secundario | Notas |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Añual | 12 µg/m ³ | 15 µg/m ³ | Promedio en 3 años |
| 24h | 150 µg/m ³ | 150 µg/m ³ | No se debe de exceder más de una vez al año en un promedio de 3 años |

Con base a la información obtenida por el ATEAAR [15] para desarrollar un diseño de sistemas de climatización, la temperatura del aire debe estar en el rango mínimo del bulbo seco, esto para cerciorarse de que no exista proliferación de bacterias debido a que el aire que entra a las UMAS proviene del exterior del hospital donde se encuentra en contacto con polvo y smog. Para ello, el ATEAAR exige que se cumplan las normas hospitalarias definidas por las normas ASHRAE 170-2017 que manejan filtros especiales, ya que, a pesar de que el aire acondicionado esté en el rango del 45% al 55% de humedad, este aún contiene gran índice de bacterias. A continuación, la Tabla 1.5 muestra el tipo de filtros según sus aplicaciones.

Tabla 1.5 Guía de filtros según la ASHRAE [Elaboración propia.]

| Merv | Eficiencia de mancha de polvo | Porcentaje promedio | Rango del tamaño de partículas | Aplicaciones típicas | Tipo de filtro |
|------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|---|
| 1-4 | <20% | 60-80% | >10µm | Residencial, comercial | Paneles desechables, lavables de metal o espuma |

| | | | | | |
|-------|---------|---------|---------------|--|--|
| 5-8 | <20-60% | 80-95% | 3-10 μ m | Cabinas de pintura, industria | Filtro de superficie extendida |
| 9-12 | 40-85% | >90-98% | 1-3 μ m | Edificios comerciales, Alta eficiencia en residencias e industrias | Filtro de bolsillo, celda de cartucho rígida |
| 13-16 | 70-98% | >95-99% | 0.3-1 μ m | Renovación de humo, hospitales | Filtro de bolsillo, celda de cartucho rígida |

1.9 Controles automáticos en la climatización

Los sistemas de control se basan en el desarrollo de dos tipos de secuencias que se las definen de tipo abierto o cerrado, por lo que, de acuerdo con la aplicación que se vaya a desarrollar, se selecciona el tipo de control a diseñar. Para los sistemas de climatización, donde se requiera el uso de un modelo de control, se debe de emplear el sistema de control de lazo cerrado debido a que los valores de salida deberán cambiar constantemente y, para ello, se debe de realizar una comparación con las variables de entrada donde intervienen: el número de personas, luminosidad y temperatura del exterior, factores importantes que aportan con el calor que se debe de extraer de cada sala del hospital. Los elementos que más se utilizan para controlar sistemas de climatización son los siguientes: termostato, sensores de diferencial de presión y variadores de frecuencia.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La información que se obtuvo por medio de las visitas técnicas fue basándose en los requerimientos del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [7], [8]), esta normativa es una guía básica de normativas que se debe de seguir para cumplir con las demandas de bienestar térmico e higiene para las personas. Durante la inspección de los equipos se obtuvieron evidencias fotográficas y se efectuaron las mediciones de las condiciones actuales en las que operan los chillers y las manejadoras, con el fin de comparar su eficiencia térmica y energética con respecto al estado ideal de la maquinaria, la cual se puede ver en la Tabla 2.1 (ficha técnica).

Posterior al levantamiento de información, se estableció un diagnóstico general de los equipos del sistema, adjuntando su evidencia respectiva, dicho diagnóstico es de suma importancia al momento de establecer el mantenimiento correctivo y preventivo que requiere el sistema y que se presenta como parte de la solución en la fase 1. En esta fase no solo se establecieron los mantenimientos, sino que se adjuntaron los elementos y accesorios a reemplazar. Para establecer la fase 2 de la propuesta de solución se realizó un diagrama de P&ID donde se mostraron las instalaciones de las válvulas de control, válvulas reguladoras de flujos, sensores de temperatura, sensores de presión y de más accesorios necesarios, todo esto con base en el diseño original y a la ubicación actual de estos elementos que se encuentran inoperativos.

Finalmente, con la información recolectada y ya procesada se ejecutó una simulación en el programa TRNSYS, donde se representó el funcionamiento del sistema de control actual, dicha simulación mostró la conexión que existe entre los equipos y los parámetros actuales de trabajo. La información más detallada está en la sección de anexos-D, donde se visualizan los resultados de la simulación en las gráficas de funcionamiento actual y las gráficas de funcionamiento con el sistema de control propuesto, es decir, se muestran las curvas que simbolizan un mejor manejo del consumo de energía y curvas que representan el control del flujo de agua helada, el encendido y apagado de los equipos. Esto permitió demostrar que aplicar los cambios sugeridos en la fase 2 tiene un impacto positivo en el ámbito energético y económico del hospital.

2.1 Levantamiento de información

Basado en la información obtenida de la ASHRAE (Procedures for Commercial Building Energy Audits [19]), se realizaron las mediciones con base a las condiciones que establece la sección de mediciones del libro mencionado. El procedimiento que nombra esta sección es: características de operación, condiciones de operación, alto a la medición, es decir, hasta cuándo es conveniente seguir con las mediciones, intervalos de medición, opciones de instrumentos y precisión. Vale resaltar que en cada paso del procedimiento realizado se procuró que vaya de la mano con las normas ASHRAE, que son explícitamente aplicadas para centros de salud, y con los permisos otorgados por la entidad responsable.

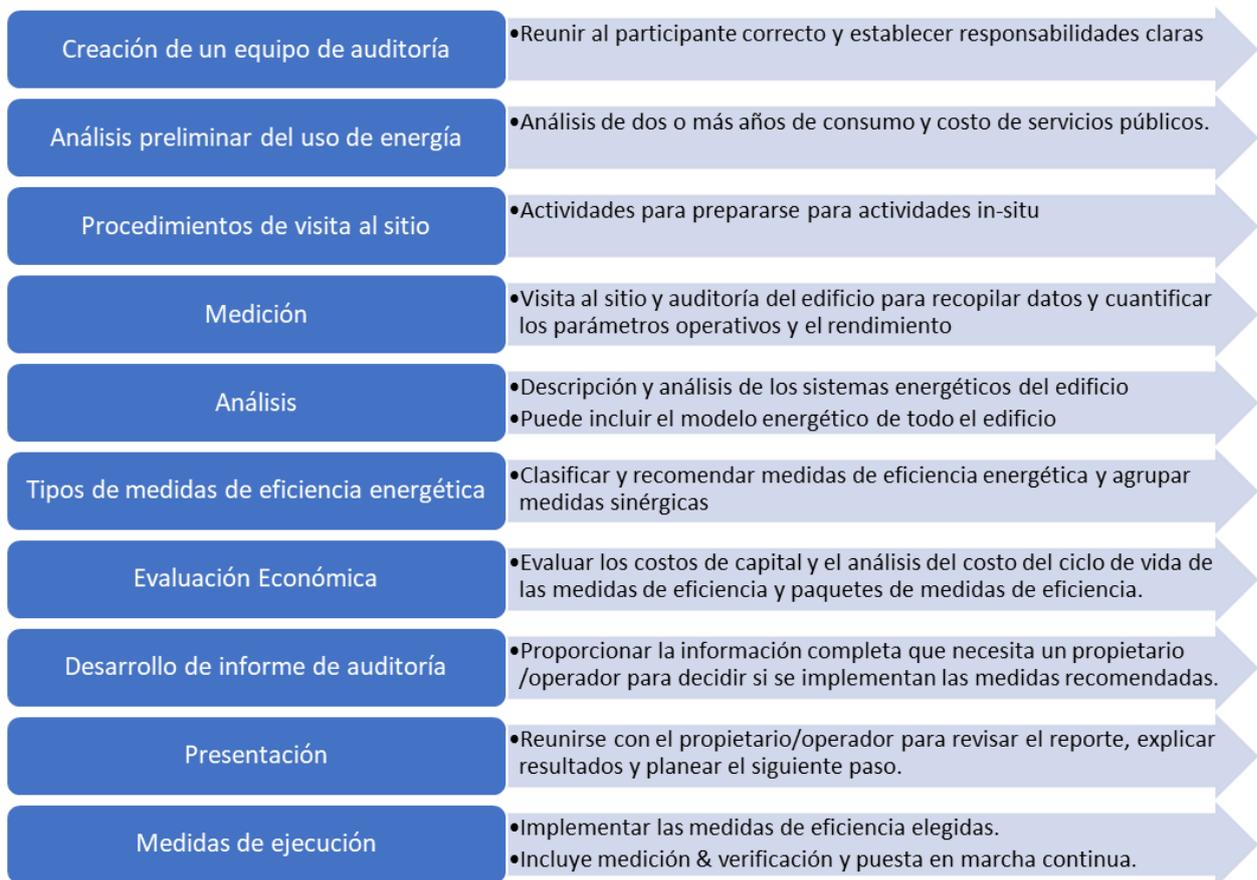


Figura 2.1 Elementos claves para la auditoría [Elaboración propia]

Este procedimiento es útil para registrar las mediciones de punto de trabajo fijo de los equipos (setpoint), las cargas y eficiencia, definir los intervalos de toma de datos y qué instrumentos de medición se pueden utilizar, aquí se incluyen instrumentos de lectura

como manómetros, termómetros, etc. La Figura 2.1 detalla los pasos generales para una mejor auditoria energética para edificios.

En primer lugar, la recolección de datos se obtuvo mediante una inspección a la edificación, se tomaron evidencias del estado actual de los equipos que intervienen en el sistema. Se realizaron mediciones de las temperaturas de entrada y salida de los chillers y manejadoras, además, se registró el caudal que manejan tanto los enfriadores como las manejadoras para conocer si dicho flujo puede satisfacer las necesidades del hospital. Para conocer el consumo energético se registraron las medidas de voltaje y amperaje en un periodo de tiempo determinado de las manejadoras y chillers. Uno de los elementos analizados fueron los serpentines que forman partes de las UMAS, estos elementos ya presentan deterioro en sus tuberías, óxido, así también, los dampers se muestran con obstrucciones, lo cual influye en la eficiencia general del sistema. Los gráficos se pueden observar en la sección A de anexos.

Al realizar la inspección en los otros equipos y accesorios del sistema, se encontraron que las torres estaban en mal estado, los aislamientos de las tuberías presentaban el mismo problema; así mismo, no había existencia de termómetros en tuberías y algunos sensores tanto de temperatura como de presión no servían. Para un mejor entendimiento visual del estado anterior del sistema se puede revisar el anexo A.

2.1.1 Información de equipos de la planta de agua del hospital

El sistema de agua helada que maneja el hospital consta con el siguiente número de equipos:

- 3 torres de enfriamiento
- 3 Chillers
- 4 bombas de condensado
- 4 bombas de sistema primario
- 8 bombas de sistema secundario
- 59 unidades manejadoras de aire

Tabla 2.1 Ficha técnica de equipos [Elaboración propia]

| Equipo | Cantidad | Modelo | Voltaje | Amperaje | Potencia | Capacidad | Caudal |
|-----------------------|----------|-----------------|-----------------|-------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| Torre de enfriamiento | 3 | AT 12-212B | | | AT 12-212B | - | 190 m ³ /h |
| UMAS | 59 | VARIOS | 400 [V] | 30 [A] | VARIAS | - | 1500-13000 CFM |
| CHILLER | 3 | 30HXC271RY-600 | 400[V] | 350 [A] | 242Kw | 270TR | 1126 GPM |
| Bomba condensada | 4 | FE4010E2K1G2L0 | 208 230 246 [V] | 69 62.6 31.3 [A] | 25 HP | - | 786 GPM |
| Bombas primarias | 4 | FE4008E2H1F2E0A | 208 230 460 [V] | 43.3 40 20 [A] | 15 HP | - | 647 GPM |
| Bombas secundarias | 8 | FE3010E2J1F2L0A | 230/460 [V] | 48.2/24.1 36.8/18.4 [A] | 20-15 HP | - | 400 GPM |

2.1.2 Diagnóstico general

El diagnóstico general se lo realizó con base en las evidencias que se observaron en las visitas técnicas. El análisis del funcionamiento de los equipos se efectuó con base en las normas RITE y las normas de salubridad ASHRAE 170-2017_[16], en la sección de anexos C se presentan los planos de instalación de los equipos. Los problemas encontrados se detallan a continuación.

Actualmente, la planta de agua helada trabaja con un sistema primario y secundario constante debido a que el sistema de control que lograba que el sistema secundario sea variable se encuentra en estado deplorable, es decir, las válvulas de control, los sensores diferenciales de presión, los variadores de frecuencia, termostatos, manómetros y actuadores tienen un funcionamiento deficiente en algunos casos, en otros, no se encuentran los accesorios o no están conectados.

En la sección de anexos C se detallan los planos del sistema de climatización y el diagrama de planta, donde se tomó como ejemplo el área de pensionado para mostrar los planos. Los chillers enfriados por agua han presentado fallas continuas en compresores y tarjetas, por su nivel de obsolescencia se han procedido a reparar partes, chiller uno (líder) presenta reparaciones locales de dos compresores, chiller dos, adicional a las reparaciones de compresores, tiene problemas de desbalance de carga en el compresor uno y su arranque debe ser supervisado. De igual forma, el chiller tres tiene un compresor reparado y separador de aceite averiado (sin posibilidad a reparación del sistema 1). En definitiva, el funcionamiento del sistema de agua helada del hospital depende de operaciones manuales en el momento que alguno de los chillers presenta fallas. Estos enfriadores trabajan las 24 horas al día con la siguiente configuración de compresores: chiller uno trabaja con un compresor, chiller dos trabaja con dos compresores, chiller tres trabaja con un compresor.

En las torres de enfriamiento, los aspersores han perdido su alcance de manera que no logran distribuir el agua por toda la extensión del relleno, de la misma manera, gran parte del relleno se encuentra con corrosión.

El arranque y operación de chillers, bombas y torres es manual y no automático, en otras palabras, no está operativo ningún sistema de control en unidades, sean de tipo centralizado o stand alone.

En las unidades manejadoras existen tramos de tubería de agua helada que no se encuentran aisladas correctamente, las válvulas de aislamiento se encuentran en un estado de alta corrosión, además, las tapas laterales (en la mayoría de las manejadoras) por donde se accede a la turbina y al serpentín se encuentran selladas con silicón provisional para evitar filtración de agua y escape de aire.

Las manejadoras AC-Q1, AC-Q2, AC-Q3, AC-Q4, AC-Q5, AC-Q6, AC-Q7, AC-Q8, AC-22, AC-Q13, AC-Q14, AC-Q15 cuentan con un serpentín de agua caliente (estado: no operativo) cuya función es disminuir la humedad de los espacios interiores que son de alto riesgo y las manejadoras AC-1, AC-5, AC-11, AC-12, AC-15, AC-19, AC-20, AC-25, AC-28, AC-33 AC-34, AC-35, AC-LPP1 y AC-LPP2 requieren un cambio urgente del serpentín.

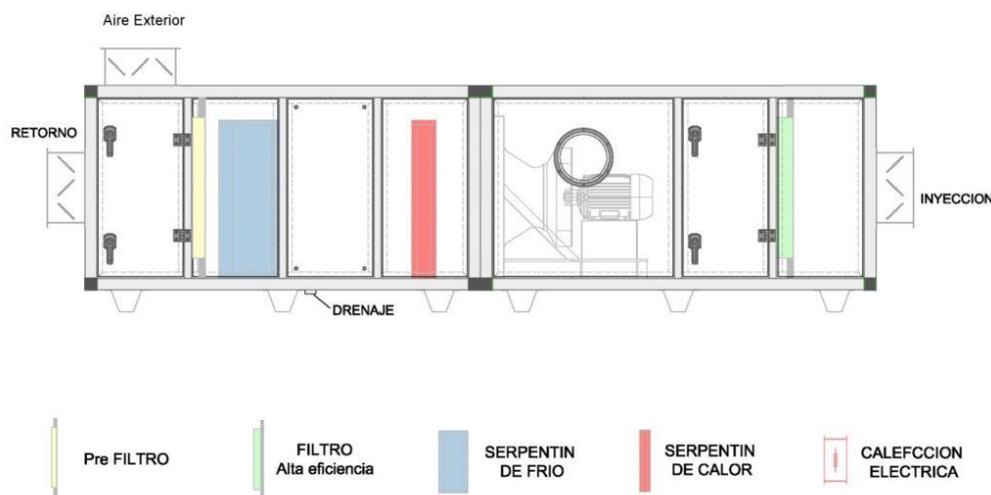


Figura 2.2. Diagrama de manejadora de aire (UMA) [Elaboración propia]

No existe control de temperatura, humedad, nivel de estatus de filtros sucios en ninguna manejadora, el cambio de filtro se lo realiza por cada cierta cantidad de horas de trabajo o cuando el filtro ya se lo ve deteriorado (como lo describen en el registro mantenimientos), lo ideal sería, realizar el cambio de filtros cuando el manómetro o sensor mida un diferencial de presión indicando que el filtro necesita cambio.

En cuanto a las UMAS de los quirófanos, se observó que existen dos cuartos de manejadoras adaptadas para nueve quirófanos, la figura 2.7 muestra la manejadora de un quirófano, estos equipos no están bajo ninguna normativa vigente en eficiencia de calidad de aire o de fabricación de manejadoras hospitalarias. Todas se deben reemplazar de forma urgente y cambiar su ubicación a losa superior. Estas manejadoras se encuentran aisladas del exterior, con dampers cerrados. El problema de la renovación de aire fresco es que no se puede regular el caudal que ingresa al cuarto donde se encuentran todas las manejadoras de los quirófanos.

El aire fresco y la renovación en estas áreas son vitales para el cumplimiento del estándar 170 de ASHRAE [16]. La unidad manejadora AC-6 suministra aire para los quirófanos 10 y 11; este diseño no está aprobado por la normativa, porque el aire de los dos quirófanos retorna a la manejadora.

Las áreas en el interior del hospital donde se siente un bajo confort térmico son en el hall ubicado antes del salón de conferencia, cafetería, convenios (oficina y sala de espera), recepción o hall cerca de administración, servicio social, lobby principal, sala de espera, rayos x, emergencia (recepción y sala de espera), consulta externa y recepción clínica privada; estas zonas tienen una elevada carga térmica producidas por radiación solar en paredes, en los anexos C se pueden ver los planos de la sección de pensionado (clínica privada) como un ejemplo lo mencionado, (cuando se trata de una pared de vidrio se siente con más intensidad la radiación ya que la resistencia térmica del vidrio es mucho menor a la de una pared de bloque y cemento). El sistema de climatización edificio no fue diseñado para la capacidad de personas que actualmente ingresan al hospital. Otra razón por la cual se siente bajo confort térmico dentro del edificio es porque se produce la infiltración de aire del ambiente exterior por los pasillos que conectan el edificio principal y el de consulta externa. Con la toma de mediciones se compró que los chillers están enviando agua helada por debajo de la temperatura normal de trabajo, siendo la salida de 10°C-12°C, cuando debería ser de un rango de 6°C a 7°C. Esto se debe a la deficiencia de los compresores.



Figura 2.3. Serpentines de agua caliente (No operativos) [Elaboración propia]



Figura 2.4. Tramo de aislamiento de tubería en mal estado [Elaboración propia]



Figura 2.5. Manejadoras adaptadas para suplir demanda [Elaboración propia]



Figura 2.6. Tuberías en pésimo estado [Elaboración propia]



Figura 2.7. UMA quirófano en subsuelo con toma de aire fresco [Elaboración propia]



Figura 2.8. Ejemplo de cables desconectados [Elaboración propia]

2.2 Cargas térmicas del hospital

Para un estudio de cargas térmicas se necesita tener en cuenta las condiciones internas y externas del edificio que influyen para el análisis. Dentro de las condiciones internas se tienen las cargas térmicas sensibles y latentes que vienen dado por el número de personas que se encuentran dentro del hospital, a fin de definir la variación de temperatura en el aire y la variación de humedad. El valor de estos factores (temperatura de aire y humedad) pueden variar de acuerdo con las normas ASHRAE, ya que no todas las zonas dentro del hospital deben mantener las mismas condiciones de temperatura y humedad. Los parámetros que influyen en los cálculos son personas, iluminación, equipos y demás dispositivos que generen calor dentro del ambiente.

Por medio del programa “CHVAC-Full Commercial HVAC Loads Calculation Program” se registraron los datos de cargas sensibles y latentes de todo el edificio, para el cual se supuso el día con mayor capacidad. Estas condiciones son: número de personas y su actividad, equipos, luces, calor ganado por las paredes, vidrios, infiltraciones de aire del exterior, además se estudian condiciones externas al hospital como el día de alta radiación solar, usando datos de páginas como ASHRAE CLIMATIC DESIGN CONDITIONS [17], para comprobar si la capacidad instalada es suficiente para cubrir las necesidades del hospital.

2.2.1 Registro de cargas sensibles y latentes

Para el siguiente registro de cargas en el hospital se tomaron los valores provenientes del programa Chvac - Full Commercial HVAC Loads Calculation Program, que el área de mantenimiento del hospital utiliza. Para esto se debe de tomar como día de diseño al día donde se presenten condiciones de trabajo extremas debido a los factores climáticos, es decir, que para obtener un mejor estudio de las condiciones externas al hospital se debe de utilizar el mes de abril, como se observa en la figura 2.7, este mes presenta altas temperaturas.

| Monthly Climatic Design Conditions | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Annual | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| Temperatures, Degree-Days and Degree-Hours | DBAvg | 25.9 | 26.9 | 26.7 | 27.3 | 27.2 | 26.7 | 25.3 | 24.6 | 24.6 | 25.0 | 25.1 | 25.6 | 26.7 |
| | DBStd | 1.66 | 1.43 | 1.31 | 1.25 | 1.18 | 1.33 | 1.46 | 1.50 | 1.41 | 1.39 | 1.18 | 1.22 | 1.35 |
| | HDD10.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | HDD18.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | CDD10.0 | 5819 | 522 | 467 | 535 | 515 | 517 | 459 | 453 | 452 | 449 | 467 | 467 | 517 |
| | CDD18.3 | 2777 | 264 | 233 | 277 | 265 | 258 | 209 | 194 | 194 | 199 | 208 | 217 | 258 |
| | CDH23.3 | 21576 | 2327 | 2006 | 2638 | 2539 | 2281 | 1446 | 1156 | 1124 | 1235 | 1233 | 1439 | 2152 |
| CDH26.7 | 6306 | 727 | 543 | 834 | 808 | 705 | 357 | 254 | 256 | 334 | 316 | 414 | 757 | |
| Monthly Design Dry Bulb and Mean Coincident Wet Bulb Temperatures | 0.4% | DB | 33.9 | 32.9 | 33.2 | 32.9 | 32.9 | 32.0 | 31.8 | 31.2 | 32.1 | 32.0 | 32.2 | 33.8 |
| | | MCWB | 23.1 | 25.6 | 25.2 | 25.0 | 24.7 | 23.9 | 23.7 | 23.8 | 23.6 | 22.8 | 23.1 | 22.8 |
| | 2% | DB | 32.2 | 31.7 | 32.1 | 32.0 | 31.8 | 30.8 | 30.2 | 30.1 | 30.9 | 30.5 | 31.1 | 32.4 |
| | | MCWB | 23.6 | 24.8 | 24.9 | 24.6 | 24.5 | 23.5 | 23.2 | 23.0 | 23.1 | 22.5 | 22.9 | 22.8 |
| | 5% | DB | 31.2 | 30.8 | 31.2 | 31.1 | 31.0 | 29.8 | 29.1 | 29.1 | 29.9 | 29.8 | 30.1 | 31.6 |
| | | MCWB | 23.6 | 24.4 | 24.7 | 24.5 | 24.3 | 23.2 | 22.7 | 22.5 | 22.6 | 22.3 | 22.5 | 22.7 |
| | 10% | DB | 30.2 | 29.9 | 30.6 | 30.2 | 30.1 | 28.9 | 28.1 | 28.1 | 28.8 | 28.4 | 29.1 | 30.5 |
| | | MCWB | 23.4 | 24.2 | 24.5 | 24.2 | 24.0 | 23.0 | 22.2 | 22.1 | 22.1 | 21.9 | 22.1 | 22.5 |

Figura 2.9. Tabla de temperatura promedio en Guayaquil [Elaborado por: ASHRAE CLIMATIC DESIGN CONDITIONS]

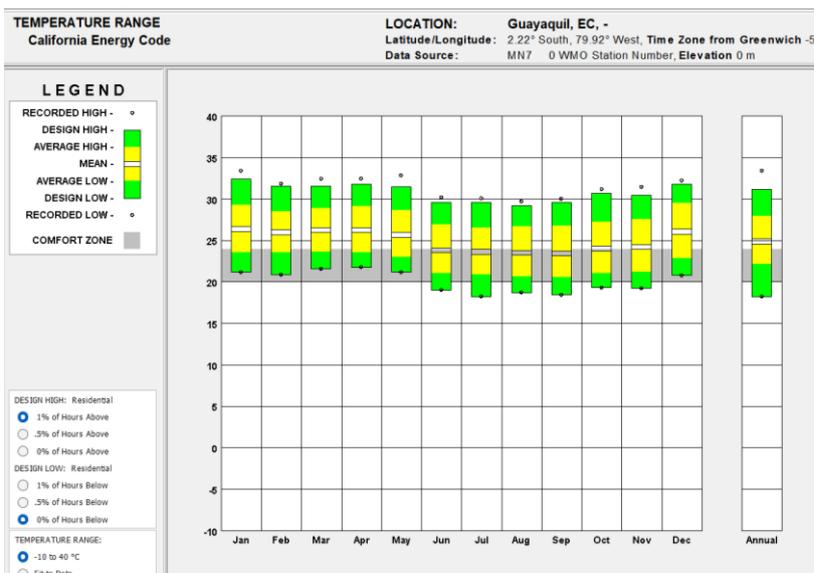


Figura 2.10. Gráfico del intervalo de temperaturas en guayaquil. [Elaborado por: climate consultant]



Figura 2.11. Gráfico de radiación y temperatura de Guayaquil. [Elaborado por: climate consultant]

El periodo de tiempo en el cual se realizó este estudio fue entre los meses de octubre a diciembre, de manera que se buscó la forma en obtener los estudios pasados. Con soporte de HVAC INGENIERÍA se obtuvo la simulación de las condiciones del hospital trabajando a su máxima capacidad, es decir, todas las áreas operando, ocupando la capacidad máxima de personas con todos los equipos y luces encendidos y se trabajó con la temperatura máxima promedio que se registró en el mes de abril que es de 31°C.

A continuación, la tabla 2.2 muestra los valores que se obtuvieron por medio del programa antes mencionado.

Tabla 2.2 Cargas térmicas
[Elaboración propia]

| Cargas | [Btu/h] | [W] |
|-------------------------|---------|-----------|
| Sensibles | 6101570 | 1788.03 |
| Latentes | 1502644 | 440381.5 |
| Equipos | 1725324 | 505642.6 |
| Luces | 1265237 | 370804.4 |
| Personas | 977735 | 286545.8 |
| Carga total del sistema | 7604214 | 2228575.1 |

2.2.2 Eficiencia térmica (CHILLER)

En la tabla 2.1 se tiene la ficha técnica que se mencionó anteriormente y permite conocer el estado ideal que debería trabajar este elemento, debido al déficit que presenta el hospital se procedió a realizar un estudio de cuál sería realmente su eficiencia térmica, es decir, cuál es la carga térmica que cada chiller puede entregar al sistema. Para ello se utilizó la siguiente ecuación (2.1) que basa su resultado en los GPM que demanda cada equipo por individual.

$$TR_1 = \frac{GPM * \Delta T}{24} \quad (2.1)$$

Tabla 2.3 Rendimiento térmico (chiller) [Elaboración propia]

| CHILLER | Temperatura de entrada [°F] | Temperatura de salida [°F] | GPM | Toneladas de refrigeración |
|---------|-----------------------------|----------------------------|---------|----------------------------|
| 1 | 51.08 | 53.24 | 1066.67 | 96 |
| 2 | 49.28 | 53.24 | 1066.67 | 176 |

Los datos de temperatura que se muestran en la tabla 2.3 fueron obtenidos por medio de mediciones que se realizaron para determinar las toneladas de refrigeración, dichas mediciones fueron útiles para determinar la eficiencia térmica exacta. Como se puede observar en la última columna de la tabla 2.3, las toneladas de refrigeración calculadas están muy por debajo de los valores provenientes de la ficha técnica de los equipos, comparando con la tabla 2.1 se evidencia que funcionan a menos del 50% de su eficiencia.

2.2.3 Eficiencia térmica (UMAS)

Otro grupo de equipos importantes en el sistema de climatización son las UMAS en las cuales se analizó la eficiencia actual que poseen los equipos con el fin de comparar y contrastar qué tanto ha decaído su funcionamiento, con el fin de demostrar que su mal estado influye en el excesivo consumo energético y en la defectuosa distribución del aire refrigerado. La tabla 2.4 muestra el rendimiento térmico de las manejadoras. Los resultados van acordes con las principales variables que se muestra en la ficha técnica, pero aun así presenta déficit en los valores de temperatura teóricos, ya que el agua que circula a través de las manejadoras opera en un rango de temperatura de 44°F de entrada y 54°F de salida, como se muestra en figura 2.10. Como se puede ver las temperaturas están fuera de rango, en el último valor de la tabla se obtuvo un dato aberrante porque las tuberías donde se realizaron las mediciones no contaban con un aislamiento térmico en buen estado, lo cual interfiere para tomar la medición real a la que el agua regresa al equipo.

Sistema de Agua Helada con condensador enfriado por agua

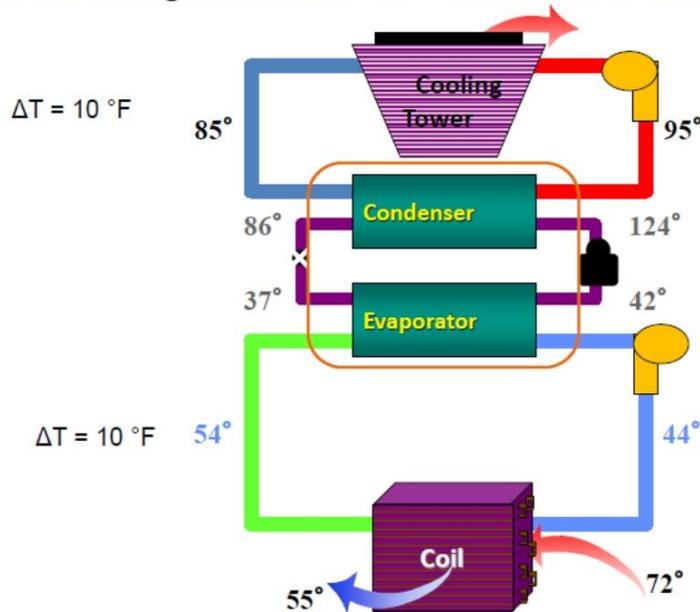


Figura 2.12 Funcionamiento del sistema de agua helada (teórico) [Elaboración propia]

Tabla 2.4 Rendimiento térmico (UMAS) [Elaboración propia]

| Rango de UMA [cfm] | Temperatura de entrada [°F] | Temperatura de salida [°F] | GPM por UMA | GPM total | Toneladas de refrigeración |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------|-----------|----------------------------|
| 1500-2500 | 55.88 | 56.12 | 24.4 | 366 | 3.66 |
| 3000-4000 | 52.70 | 55.88 | 39.1 | 312.8 | 41.45 |
| 44500-5500 | 52.16 | 56.66 | 53.8 | 538 | 100.88 |
| 6500-8500 | 52.88 | 67.46 | 83.1 | 581.7 | Xxxx |
| 10500 | 56.84 | 65.30 | 102.6 | 102.6 | 36 |
| 13000 | 52.70 | 64.94 | 127.1 | 127.1 | 64.82 |

2.3 Estudio del consumo energético en el chiller

Se utilizó el chiller dos como elemento de estudio energético porque es el equipo que se encuentra en mejores condiciones y presenta mayor eficiencia térmica. Actualmente se tiene funcionando dos de sus tres compresores, por ello se plantea como hipótesis que

sea la máquina que más energía consuma de los tres. El estudio que se realiza servirá de base para tener una estimación del gasto y desempeño energético que tendrán los otros dos equipos con idénticas características.

Se realizó las mediciones de energía tomando en cuenta los siguientes días de toma de lecturas: miércoles 30 de junio, 7:25 am; viernes 2 de julio, 10:15 am; lunes 5 de julio, 3:00 pm; martes 6 de julio, 10:00 am; jueves 8 de julio, 10:00 am; lunes 12 de julio, 10:00 am; martes 13 de julio, 10:00 am y lunes 19 de julio 11:00am. Todas las mediciones fueron realizadas en el año 2021.

Tabla 2.5 Datos de consumo Chiller [Elaboración propia]

| Numero de medición | Potencia medida [kW·h] | Potencia total [kW·h] |
|--------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 6639,75 | 6639,75 |
| 2 | 9418,75 | 16058,5 |
| 3 | 2241,75 | 18300,25 |
| 4 | 5299,25 | 23599,50 |
| 5 | 11785,25 | 35384,75 |
| 6 | 3418,75 | 38803,50 |
| 7 | 17185,75 | 55989,25 |

Tabla 2.6 Parámetros del chiller dos [Elaboración propia]

| Voltaje L-L [V] | Amperaje [A] | Potencia media [KW*h] |
|-----------------|--------------|-----------------------|
| 478,78 | 260,75 | 178,62 |

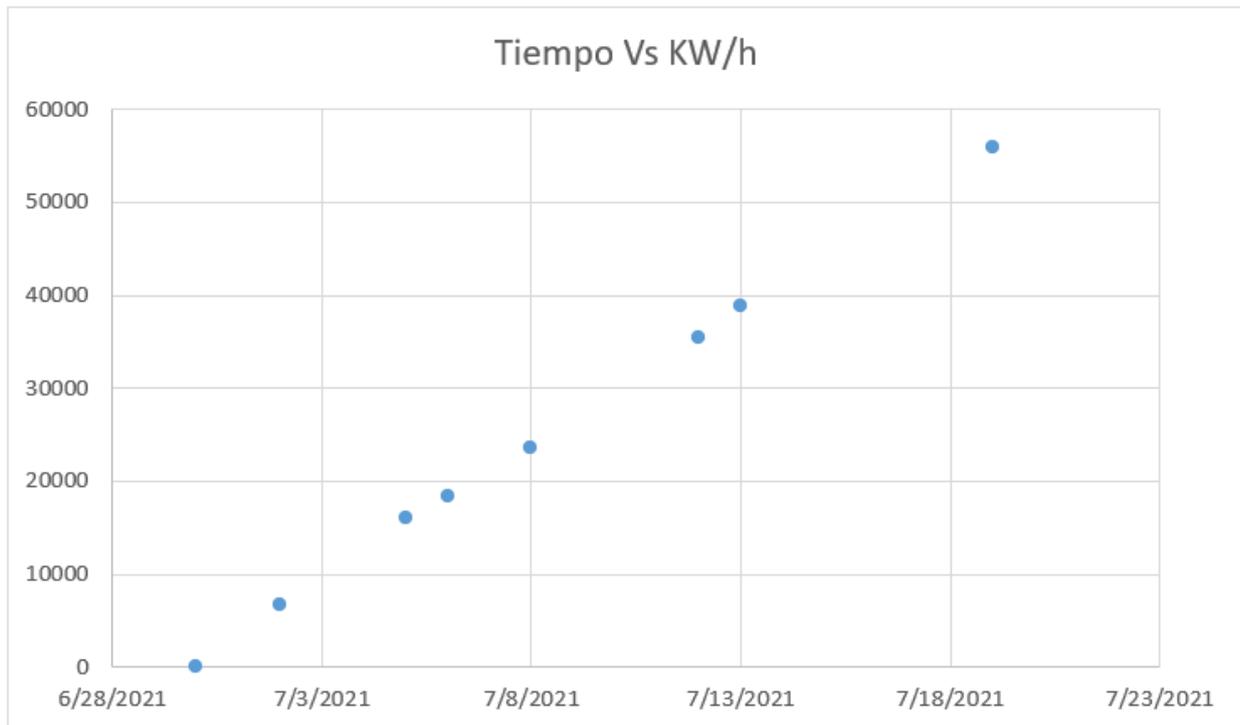


Figura 2.13. Datos de consumo chiller dos [Elaboración propia]

En la figura 2.11 se muestra la curva de consumo progresivo de energía registrado. Se realizó la medición durante diecinueve días, con un seguimiento de dos veces por semana, determinando un kilovatio instantáneo de 178.62, un voltaje entre las líneas R S y T de 478.78V, un promedio de consumo diario de 2940.0 kW·h y un consumo total de 55989.25 kW·h en los 19 días.

2.3.1 Eficiencia energética

La tabla 2.7 muestra un consumo moderado de energía del chiller dos, elemento de estudio, en comparación con la información de la ficha técnica. A pesar de ello el sistema registra un mayor consumo energético debido al funcionamiento de los tres equipos simultáneamente, puesto que el diseño original estaba elaborado para que solo funcionen dos.

El aumento del consumo energético de todo el hospital no se debe a que los equipos estén demandando mayor consumo de energía para su operación, sino que al haber un déficit de confort térmico se necesita un tercer enfriador operando todo el día para cubrir la carga térmica del hospital. Además, las manejadoras; a pesar de tener un consumo mínimo, estas trabajan fuera de su horario de operación.

Tabla 2.7 Comparación del consumo energético [Elaboración propia]

| Potencia | |
|----------|-------|
| Teórico | 242KW |
| Real | 178KW |

2.3.2 COP

La tabla 2.8 a continuación compara los valores del coeficiente de rendimiento real con los que se tiene de la ficha técnica, es decir, el estado ideal de funcionamiento de la maquinaria, para demostrar de forma numérica que la baja calidad de agua helada se debe principalmente a que el chiller ya se encuentra operando por debajo de su eficiencia.

En la sección B de anexos se muestra más detalladamente las ecuaciones utilizadas para el cálculo del COP real del equipo. Se aplicó la ecuación 2.2, que como se muestra utiliza la potencia térmica (Q_L) y la potencia eléctrica real (W_C) mostrada en la tabla anterior.

$$COP = \frac{P_{termica}}{P_{electrica}} \quad (2.2)$$

Tabla 2.8 Comparación del COP [Elaboración propia]

| COP | |
|---------|------|
| Teórico | 4.07 |
| Real | 3.48 |

2.4 Propuesta de solución

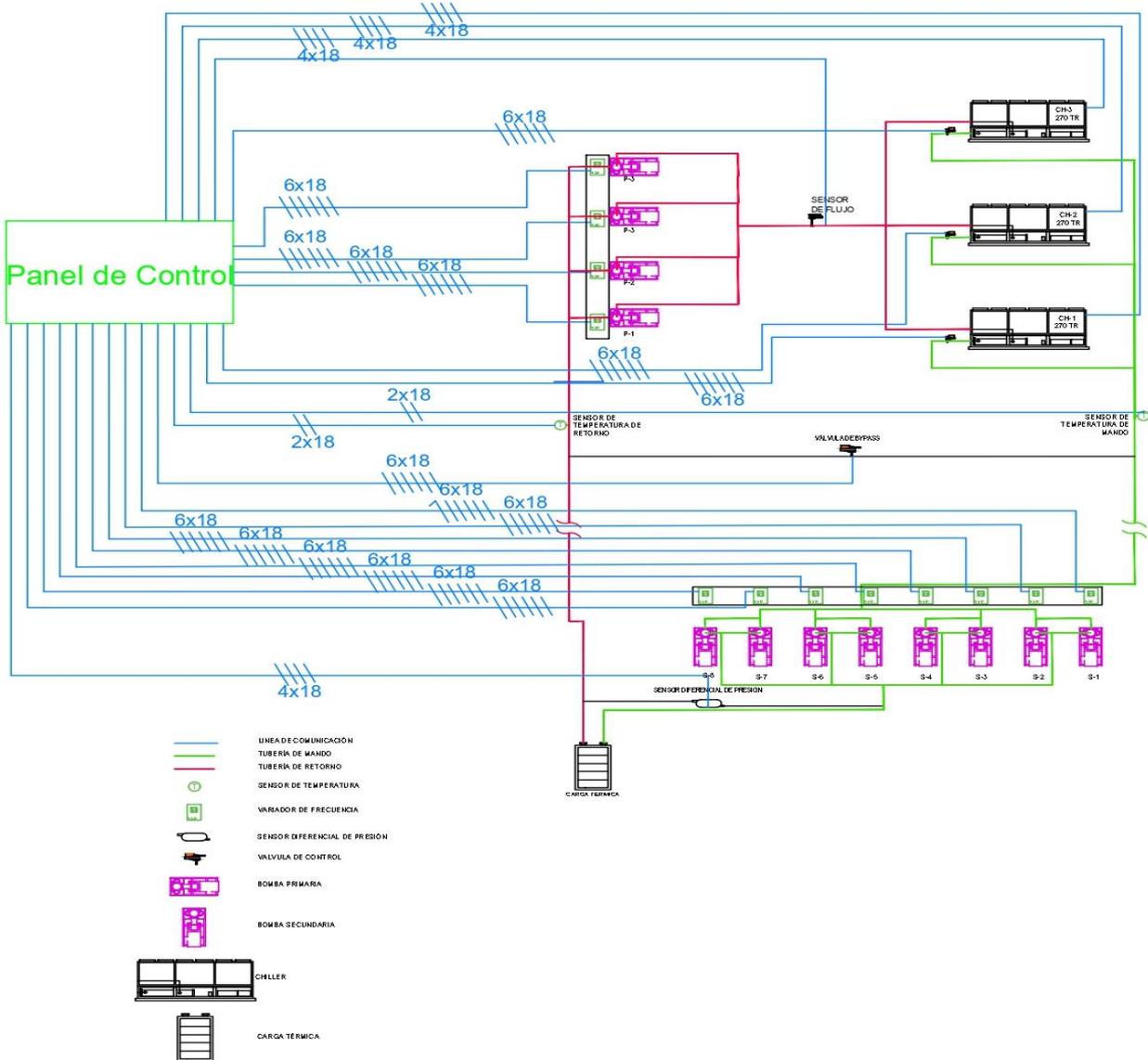
La ejecución de la repotenciación, se la realizará tratando de solventar las necesidades y expectativas del cliente, en este caso, se requiere solucionar los principales problemas que tienen los hospitales en Guayaquil (bajo confort térmico, alta humedad y alto

consumo energético), para ello, se tomó de referencia la norma AHSRAE-170 (HVAC DESIGN MANUAL HOSPITAL AND CLINICS [16]).

Con la finalidad de aumentar la eficiencia del sistema de climatización es necesario dividir el proyecto en dos fases

1. FASE DE MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE AGUA HELADA.
2. FASE DE INVERSIÓN EN EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.

PRIMERA FASE



Plano 1 Diagrama P&ID

El plano 1 muestra la secuencia de los equipos e instrumentos que intervienen en el sistema de climatización. Se detallan los accesorios (sensores de flujo) que intervienen

entre el chiller y las bombas primarias, línea roja, el chiller y las bombas secundarias (sensores de presión y temperatura), línea verde, y la comunicación entre el panel de control y los variadores de frecuencia, línea azul.

En la **primera fase** o fase de mantenimiento se suministrará e instalará válvulas de control tipo Energy Valve, generalmente llamada “válvula inteligente” ya que no solo controla el flujo del agua a través del serpentín, sino que también acumula información que puede ser usada para analizar y optimizar el desempeño del mismo. Además de termómetros, manómetros, filtros tipo Y, aislamiento de poliuretano en secciones de tuberías donde hay ausencia de este y filtros MERV para las manejadoras, también se incluye kit de reparación para el mantenimiento de los equipos.

También se reemplazarán los accesorios que ya han cumplido su tiempo de vida útil como válvulas tipo mariposa o tipo compuerta, se repararán dos torres de enfriamiento, las 2 en mejor estado,, se reemplazará los serpentines de las manejadoras AC-1, AC-5, AC-11, AC-12, AC-15, AC-19, AC-20, AC-25, AC-28, AC-33, AC-34, AC-35, AC-LPP1, ACLPP2, y se reemplazarán las manejadoras de los quirófanos 1,2,3,4,5,6,7,8 y 9. En el anexo C se muestra los planos de climatización del hospital donde se detalla la ubicación y diagrama de las manejadoras.

La metodología de esta fase consta de los siguientes pasos:

1. Instalación de válvulas de control, termómetros, manómetros, válvulas de servicio, termostato análogo (el cual se va a comunicar con el sistema de control debido a que se encuentra en el ducto de retorno) y corrección de aislamiento por manejadora. El termostato digital sirve para fijar la temperatura deseada dentro de la habitación.
2. Instalación de termostato de zona digital no programable para la operación de todas las UMAS.
3. Cambio de serpentines de manejadoras.
4. Reparación de torres de enfriamiento, cambio de aspersores, relleno e implementar el kit de reparación.

5. Se suministrará manejadoras de aire tipo hospitalarias, se caracterizan por la cantidad y tipos de filtros merv que se utilizan para la limpiar el aire basados en las normas ASHRAE 170_[16], externas en los 9 quirófanos, donde actualmente funcionan manejadoras de tipo estándar adaptadas.

Al finalizar la primera fase se logrará conseguir un sistema con un funcionamiento óptimo lo que incluye serpentines trabajando con un caudal necesario para llegar al más alto rendimiento, un aumento de delta T, entre la entrada y salida de agua de las manejadoras.

Al referirnos a un funcionamiento optimo en esta fase, se resalta la mejora en el aspecto mecánico del sistema, es decir, que se espera tener los equipos en mejor funcionamiento. Para la fase 2 lo que se espera es lograr una mejor respuesta para la satisfacción del confort térmico, esto gracias a la aplicación del sistema de control que se explicara a continuación.

SEGUNDA FASE

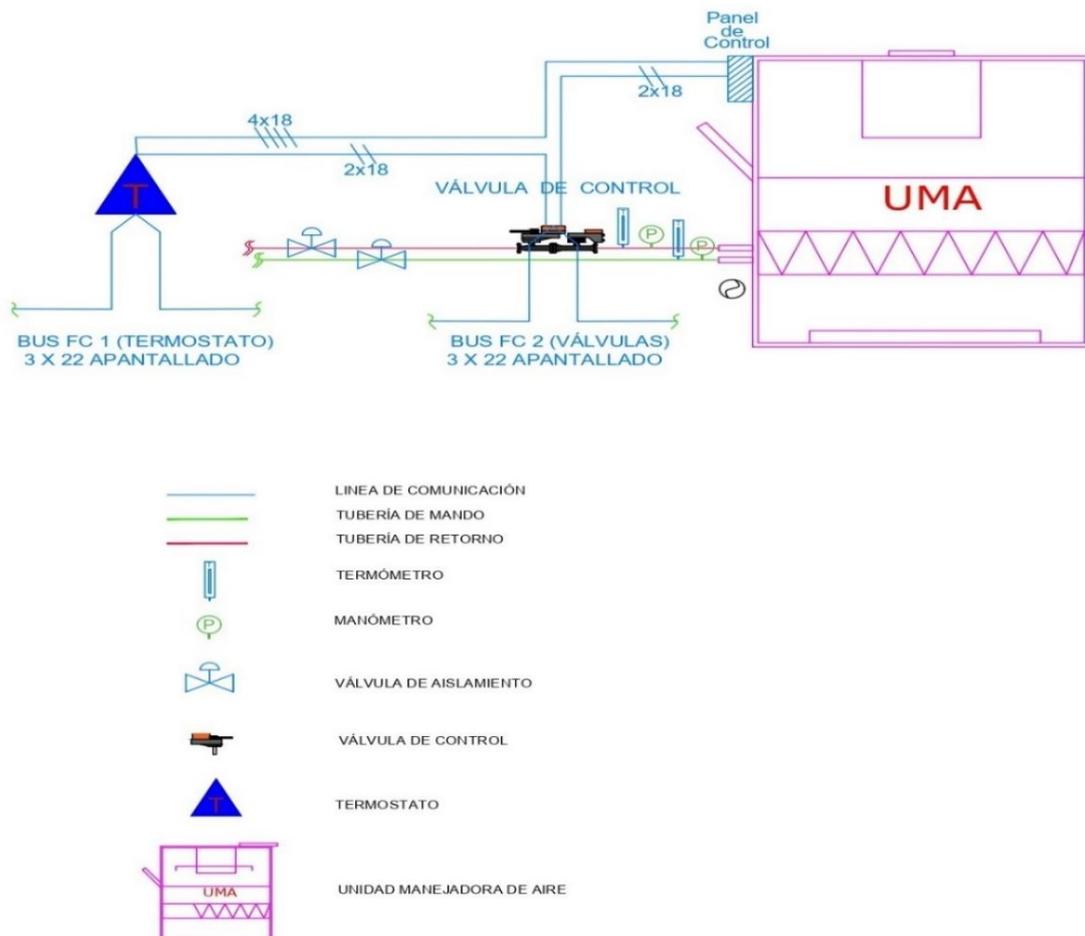


Figura 2.14. Sistema de control típico por una UMA [Elaboración propia]

La segunda fase consiste en la instalación de un nuevo chiller de compresor screw de 270TR, una torre de enfriamiento y la implementación de un sistema de control en la planta de agua helada. Como ejemplo en la figura 2.12 se tiene un sistema de control para las manejadoras.

La metodología consta de los siguientes pasos:

1. Desmontaje de Chiller y la torre de enfriamiento que no se intervino en la primera fase.
2. Instalación de los nuevos equipos (chiller y torre de enfriamiento).
3. Instalación de válvulas de aislamiento en chillers y torres de enfriamiento.
4. Implementación de sistema de control en la planta de agua helada que permita modular las válvulas de control con un protocolo tipo BACnet.
5. Instalación de variadores de frecuencia y sensores diferenciales en bombas secundarias (esto reducirá el consumo del sistema hidráulico).

Selección del chiller

El proceso de selección del chiller fue realizado por la empresa HVAC INGENIERÍA S.A. donde se tomaron en cuenta parámetros recomendados por la ASHRAE [18] como carga de térmica, fluido de enfriamiento y tipo de refrigerante. Se seleccionó un chiller de características similares al chiller a reemplazar, con condensadores enfriados por agua marca Carrier modelo 30XW275 con capacidad nominal de 275 TR, con un valor integrado de carga parcial (IPLV) de 0.17 y compresores tipo screw, la ventaja de estos compresores es larga durabilidad, fácil mantenimiento, poco espacio y alta eficiencia.

Tabla 2.9 Comparación de equipos [Elaboración propia]

| | Modelo | Tipo compresor | Capacidad nominal | No. Chiller | Eficiencia IPLV |
|------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|
| Actual | Carrier 30HCX271 | Scroll | 270 | 2 | 0.4 |
| Propuesta | Carrier 30XW275 | Screw | 275 | 2 | 0.17 |

La implementación del nuevo *chiller* permitió una mejor transferencia de calor y una mejor eficiencia de todo el sistema de climatización; para el efecto, el sistema de control en planta de agua helada se encargó de enviar el suministro de flujo correcto a todas las manejadoras para la temperatura deseada (*setpoint*), disminuyendo las revoluciones de las bombas del sistema secundario y permitiendo que consuman menos energía. En tanto, la red BACnet central permitió una integración automatizada de todos los equipos de climatización que pertenecen a la planta de agua helada. En general, al finalizar la segunda fase se consiguió un aumento de eficiencia en el sistema de climatización por agua helada.

Después de la intervención exitosa del presente proyecto se logró una corrección de funcionamiento y automatización de todo el sistema de agua helada, que se reflejó en el costo del consumo eléctrico y en el confort de las áreas que abastecen las unidades manejadoras.

2.5 Elementos a implementar

Tabla 2.10 Accesorios de mantenimiento para la fase 2 [Elaboración por HVAC INGENIERIA]

| Elementos a suministrar | | |
|---|--------------|-----------------|
| Suministro | UNID. | Cantidad |
| KIT de reparación de torres de enfriamiento, Marca EVAPCO, incluye Nozzles y fill | UNID. | 2 |
| Serpentines de agua helada | UNID. | 2 |

| | | |
|--|-------|-----|
| Suministro de Válvulas de control Marca BELIMO Modelo ENERGY VALVE 2 vías 1 1/2" | UNID. | 29 |
| Suministro de Válvulas de control Marca BELIMO Modelo ENERGY VALVE 2 vías 2" | UNID. | 14 |
| Suministro de Válvulas de control Marca BELIMO Modelo ENERGY VALVE 2 vías 2 1/2" | UNID. | 16 |
| Suministro de válvula tipo compuerta de 1 1/2" | UNID. | 29 |
| Suministro de válvula tipo compuerta de 2" | UNID. | 14 |
| Suministro de válvula tipo compuerta de 2 1/2" | UNID. | 16 |
| Suministro de aislamiento Poliuretano 1 1/2" para reparación en acometida UMA | M | 48 |
| Suministro de aislamiento Poliuretano 2" para reparación en acometida UMA | M | 45 |
| Suministro de aislamiento Poliuretano 2 1/2" para reparación en acometida UMA | M | 95 |
| Suministro de pozos para termómetros estándar de 3-1/2" | UNID. | 118 |
| Suministro de manómetros para agua. Caratula 4" rango 0-150 psig. EA14 | UNID. | 118 |
| Suministro de termómetros 7" 0-120F | UNID. | 118 |
| Suministro de filtros tipo Y para manejadora | UNID. | 59 |
| Termostato análogo no programable para retorno en UMAS | UNID. | 59 |
| Línea de conexión de agua caliente al sistema existente de 1 1/2" (incluye aislamiento y accesorios) | Glob. | 1 |
| Chiller enfriado por agua Compresos Screw, Capacidad 300TR, IPLV 0,30 Certificado AHRI | UNID. | 1 |
| Tubería HN CED 40 sin costura 8" | M | 24 |
| Tubería HN CED 40 sin costura 6" | M | 96 |
| Tubería HN CED 40 sin costura 2" | M | 170 |
| Suministro e instalación de aislamiento Poliuretano 8" | M | 12 |
| Suministro e instalación de aislamiento Poliuretano 6" | M | 48 |
| Suministro e instalación de aislamiento Poliuretano 2" | M | 140 |

| | | |
|---|-------|------|
| Suministro de válvula tipo mariposa de 6" para montaje de chiller nuevo | UNID. | 4 |
| Suministro de soportes para tubería 6" a 12" | UNID. | 40 |
| Suministro de Switch de flujo de diferencial de presión para chiller | UNID. | 4 |
| Suministro de variador de frecuencia bombas secundarias 480/3/60 | UNID. | 8 |
| Suministro de válvulas de aislamiento chillers y torres | UNID. | 12 |
| Suministro UMA para quirófanos, certificada AHRI, de doble pared 2500 cfm, Cap sensible 45700 Btu-hr, Cpa total 88.000 Btu-hr, SP de 2" w.g, Heater coil 35000 btu-hr, Caja de mezcla, prefiltros 30-60% y filtro 90%, 460V, 3 fases, 60 hz | UNID. | 9 |
| Refrigerante R134a para chiller | LB | 892 |
| Elementos sistema de control en Unidad Manejadora de Aire. (Incluye: Controlador de campo BACnet, Interruptor diferencial de presión para filtro, Interruptor diferencial de presión en estatus ventilador, Relay con base riel DIN, Sensor diferencial de presión, Actuador para Damper, de aire, Sensor de temperatura, Tablero de control. | UNID. | 59 |
| Elementos sistema de control central. Incluye Controlador supervisor BACnet, Licencia 100 dispositivos, Tablero de control, Fuente de poder 110/24 VAC | UNID. | 1 |
| Elementos sistema de control en Planta de agua helada primaria. (Incluye: Controlador de campo BACnet, Sensor de temperatura, Switch de corriente de bombas y de torres, Relay con base riel DIN, Tablero de control, Fuente de poder 110/24VAC) | UNID. | 1 |
| Tablero de relay para control de temperatura de ventilador en manejadora. | UNID. | 59 |
| Cableado de señal y comunicación 4x18 | M | 700 |
| Tubería rígida para canalización exterior | UNID. | 1850 |
| Cable de comunicación 33x22 | UNID. | 1500 |
| Cable de señal 2x18 | UNID. | 700 |

2.6 Configuración del sistema de control

La conexión de los elementos de control mostrados en la sección anterior se describe a continuación.

EN LA MANEJADORA

En las UMAS se instaló un panel de control en donde se ubicó el controlador conectado a la válvula de control y al termostato por medio de cables de comunicación. En la figura 2.12 se muestra un diagrama PID con los elementos de control para las manejadoras.

El termostato se ubicó en el retorno de la manejadora, para que mida la temperatura y envíe la señal al controlador. Dependiendo de la temperatura de *Setpoint* el controlador envía la señal al actuador de válvula de control para que regule proporcionalmente el paso de agua helada; la ubicación de la válvula de control está en la tubería de salida de la UMA.

EN LA PLANTA

En la planta de agua helada se instaló un panel de control donde se ubicó un controlador conectado a los sensores diferenciales de presión, válvulas de control, sensores de temperatura y sensores de presión.

El sensor diferencial de presión se colocó en la tubería de salida de las bombas secundarias para que se comunique con el variador de frecuencia por medio del controlador. El variador de frecuencia se encarga de regular el motor de las bombas para trabajar a cargas parciales.

Metodología del sistema de control

Para establecer un sistema de control óptimo en primer lugar se requiere conocer a fondo el proceso que se va a monitorear, es decir, que en el caso de sistemas HVAC se necesita conocer cómo se lleva a cabo el proceso de climatización de las áreas al interior del centro de salud. Lo que se logra con esta información es determinar las variables que se van a regular de manera automática. Basándonos en el estudio realizado en el levantamiento de información se obtiene que la temperatura, flujo de agua helada y humedad son las principales condiciones para automatizar. Una vez que ya se conoce el proceso y ya se tienen claras las variables a controlar se prosigue a seleccionar los elementos o accesorios que permitan realizar el control con mayor eficiencia, la tabla de 2.10 describe los elementos escogidos.

La aplicación del software Johnson Control busca solucionar el déficit de confort térmico mientras que a su vez regula el consumo de energía de las instalaciones. El esquema 1 a continuación representa la lógica a seguir del programa con respecto a su uso en las manejadoras.

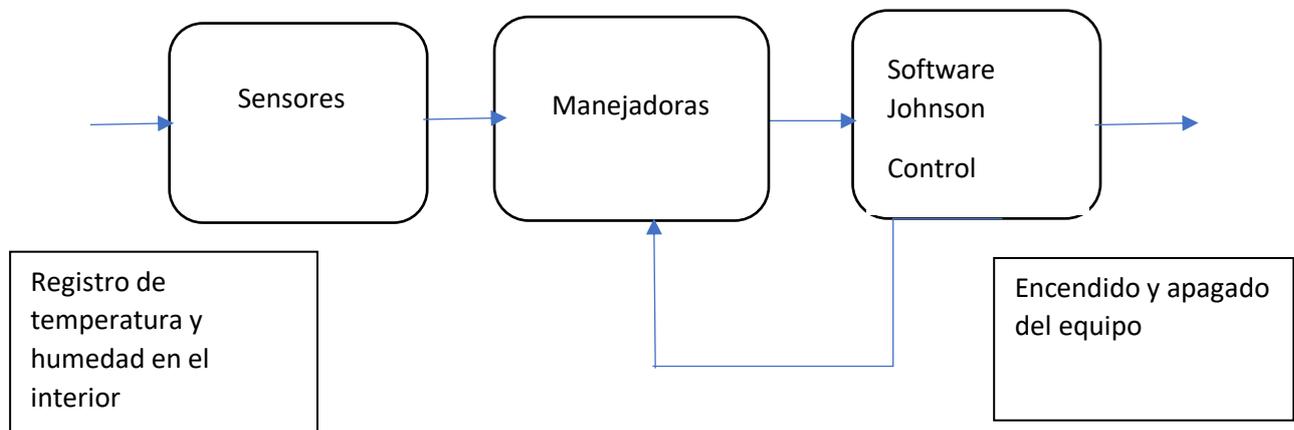


Figura 2.15. Diagrama de bloques de la solución para manejadoras [Elaboración propia]

Lo que permite el programa en mención con respecto a las manejadoras, es controlar el encendido y apagado de los equipos por medio de las señales que recibe el programa en el panel de control, estas señales provienen de los sensores (termómetros digitales) dentro de las diferentes zonas del hospital.

La comunicación que se desarrolla para mantener el confort térmico es la siguiente: dentro de la habitación los termostatos digitales censan la temperatura y si esta cambia del valor establecido en el panel de control, 23°C según normas ASHRAE [16], este envía una señal a los variadores de frecuencia para aumentar o disminuir, según sea el caso, las revoluciones del motor de las bombas con el fin de enviar mayor o menor flujo de agua helada hacia los serpentines de las manejadoras, dando como resultado la conservación del confort térmico.

Este software no solo permite controlar la temperatura y regular el consumo de energía, sino que también se puede llevar un registro de la información del tiempo de operación de los equipos para poder desarrollar un plan de mantenimiento adecuado, además de que permite generar alarmas para advertir acerca de las posibles fallas que puedan ocurrir en cualquier etapa del proceso.

Teniendo en cuenta que el tipo de control que se maneja es un sistema PID de lazo cerrado de retroalimentación negativa, es decir, que compara la información de entrada para poder entregar un valor de salida deseado. La figura 2.13 muestra un ejemplo del diagrama de bloques de dicho control.

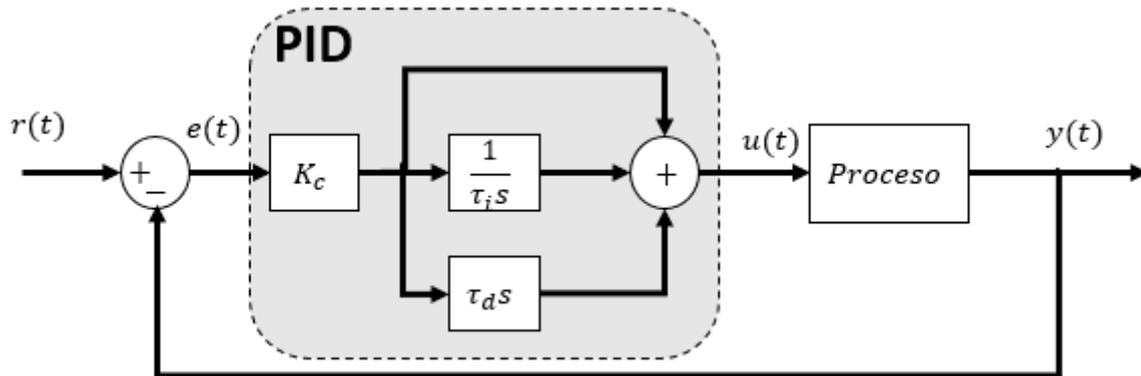


Figura 2.16. Esquema de control de lazo cerrado

El programa lo que se encarga es de llevar a cabo la ejecución de la función de transferencia, encargada de modelar la respuesta de salida, esta función se representa de la siguiente manera.

$$G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} \quad (2.3)$$

Donde X(S) viene a ser la función de entrada y Y(S) la de salida. Para fines de control de temperatura la función de transferencia que se maneja comúnmente es.

$$G(S) = \frac{Ke^{-td*s}}{\tau*s+1} \quad (2.4)$$

Donde K es la ganancia del proceso, td es el tiempo de demora que se obtiene en la señal de salida y τ es la constante de tiempo.

La selección de accesorios de control para el sistema se basó en la norma ASHRAE-BACnet [22], donde se tomaron parámetros como: información horarios, de alarmas y eventos, valores y datos del software, registro de tendencias y eventos, valores binarios de entrada y de salida.

Configuración del software Johnson Control

Una vez instalados los diferentes elementos del sistema de control en la planta de agua helada, se procedió a su configuración para un correcto funcionamiento en conjunto; para ello se utilizó el software Johnson Control PCT 10.2 en el que se introdujeron diferentes parámetros de funcionamiento del sistema.

Procedimiento:

1.- Creación de un nuevo sistema: Se introduce el nombre, tipo de planta, configuración y unidades con las que se trabajará.

2.- Selección del sistema mecánico primario y secundario: Se introducen el número de enfriadores y tipo de secuencia del enfriador. En este caso se cuenta con tres enfriadores que trabajan con el cálculo de carga del edificio. La opción ***Cooling system enable-outdoor air cooling lockout***, es la activación o bloqueo de enfriador por aire exterior; se utiliza cuando en el exterior se registran climas helados por ello no se lo seleccionó.

Se ingresan datos de las bombas primarias, que, en este caso, son cuatro bombas del sistema primario y cuatro en el sistema de condensado, configuradas en paralelo con flujo constante.

A continuación, se presenta un esquema que ilustra los pasos mencionados

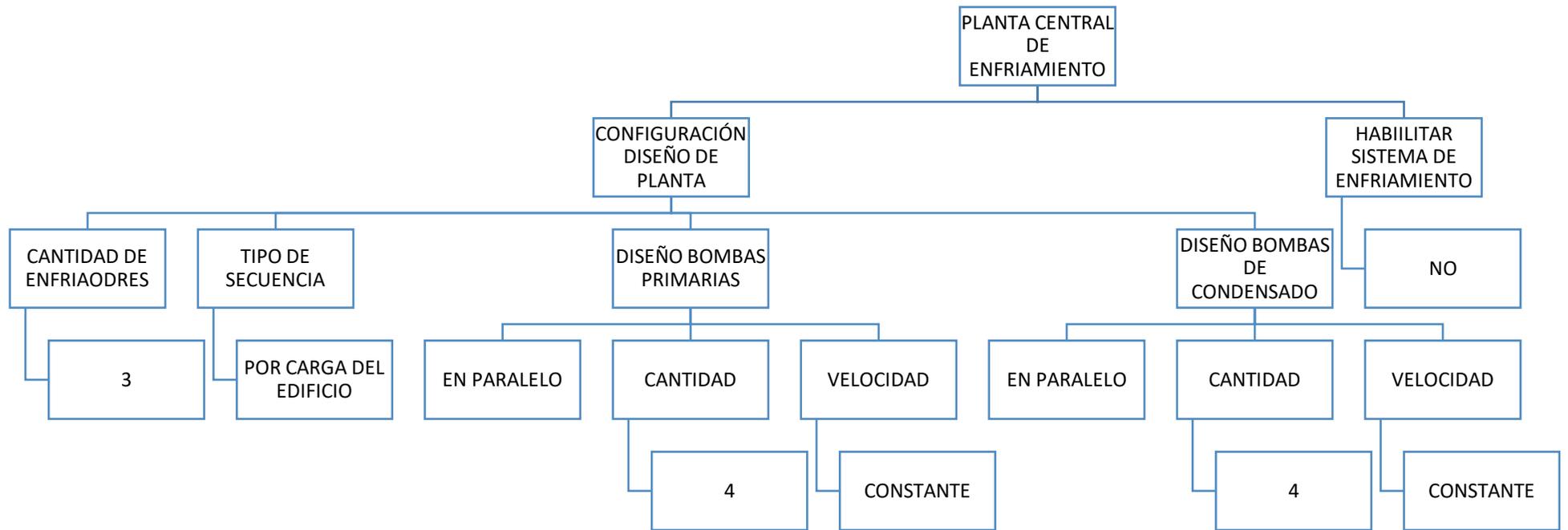


Figura 2.17. configuración de software-planta central de enfriamiento [Elaboración propia]

En cuanto a la relación con la configuración de enfriadores, estos trabajan con flujo constante. Se selecciona la opción de **Chiller status** para que el sistema detecte cuándo los enfriadores se encuentran encendidos o apagados. La opción **rotate in an attempt to balance** es la configuración de rotación de los chillers que se seleccionó para que descansen por horas de trabajo. La opción **Chiller maintenance switch** se activa cuando se quiere saber si el chiller está en operación mientras está en mantenimientos.

La planta de agua helada cuenta con válvulas de aislamiento (**CHW isolation valve**) que sirven para bloquear el paso del agua cuando algún enfriador se encuentra apagado, de lo contrario el agua circulará por todos los chillers innecesariamente, provocando que la eficiencia del sistema disminuya. La opción **pump status** es la que indica el estado de las bombas (encendido/apagado).

La opción **automatic restart** permite que el sistema reinicie las bombas cuando alguna de estas se apaga. Este recurso es ideal para edificios que tienen el cuarto de máquinas muy lejos de los operarios. La opción **Manual restart** es todo lo contrario, el sistema se alertará cuando alguna de las bombas se apague y el operador tendrá que dirigirse al cuarto de máquinas a reiniciar el sistema manualmente. La configuración de rotación de las bombas (**rotate in an attempt to balance**) se seleccionó por horas de trabajo. La gestión de alarma (**Alarm management**) no se utiliza en este caso porque las bombas no tienen sensores.

A continuación, se presenta un esquema que ilustra los pasos mencionados:

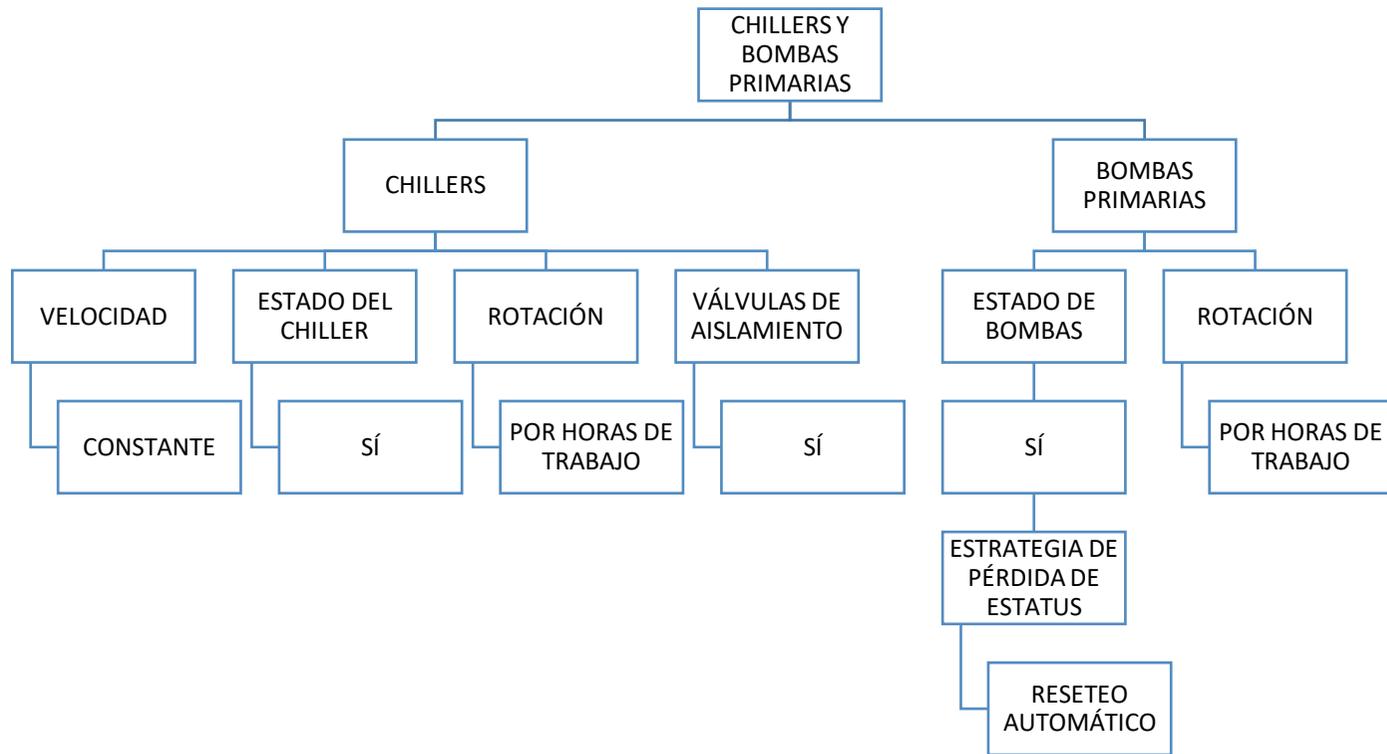


Figura 2.18. configuración de software-enfriadores y bombas primarias [Elaboración propia]

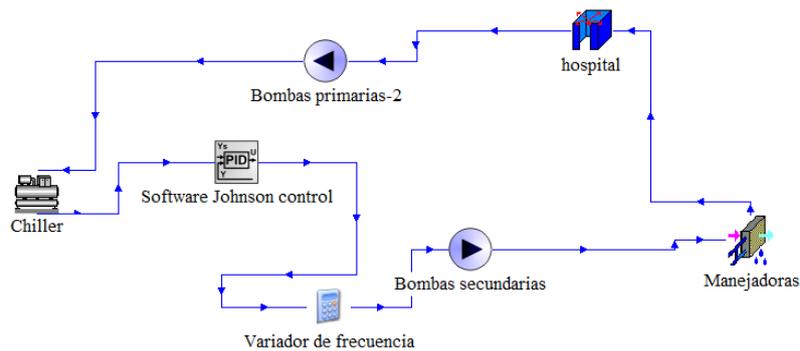


Figura 2.19. Ilustración del lazo de control del chiller bombas primarias [Elaboración propia]

Se ingresan datos de las bombas secundarias que en este caso cuenta con ocho bombas del sistema secundario que trabajan en paralelo con flujo variable.

3.- Selección del sistema mecánico de condensado:

El sistema de condensado cuenta con tres torres de enfriamiento con flujo constante. La opción **Fan Status** indica el estado del ventilador (Encendido/Apagado). **Automatic restart** se utiliza como una estrategia en el caso de que se pierda la señal de encendido del ventilador.

La configuración de rotación de las torres de enfriamiento (**rotate in an attempt to balance**) se seleccionó por horas de trabajo. El sistema de condensado cuenta con válvulas de aislamiento (**CHW isolation valve**), que sirven para bloquear el paso del agua cuando alguna torre se encuentre apagada, de contrario el agua circulará por todas las torres innecesariamente, generando que la eficiencia del sistema disminuya. Luego de haber creado y seleccionado el sistema mecánico primario, secundario y de condensado se procede a realizar los ajustes necesarios en cada elemento de la planta.

Todo este proceso, se presenta en el siguiente esquema:

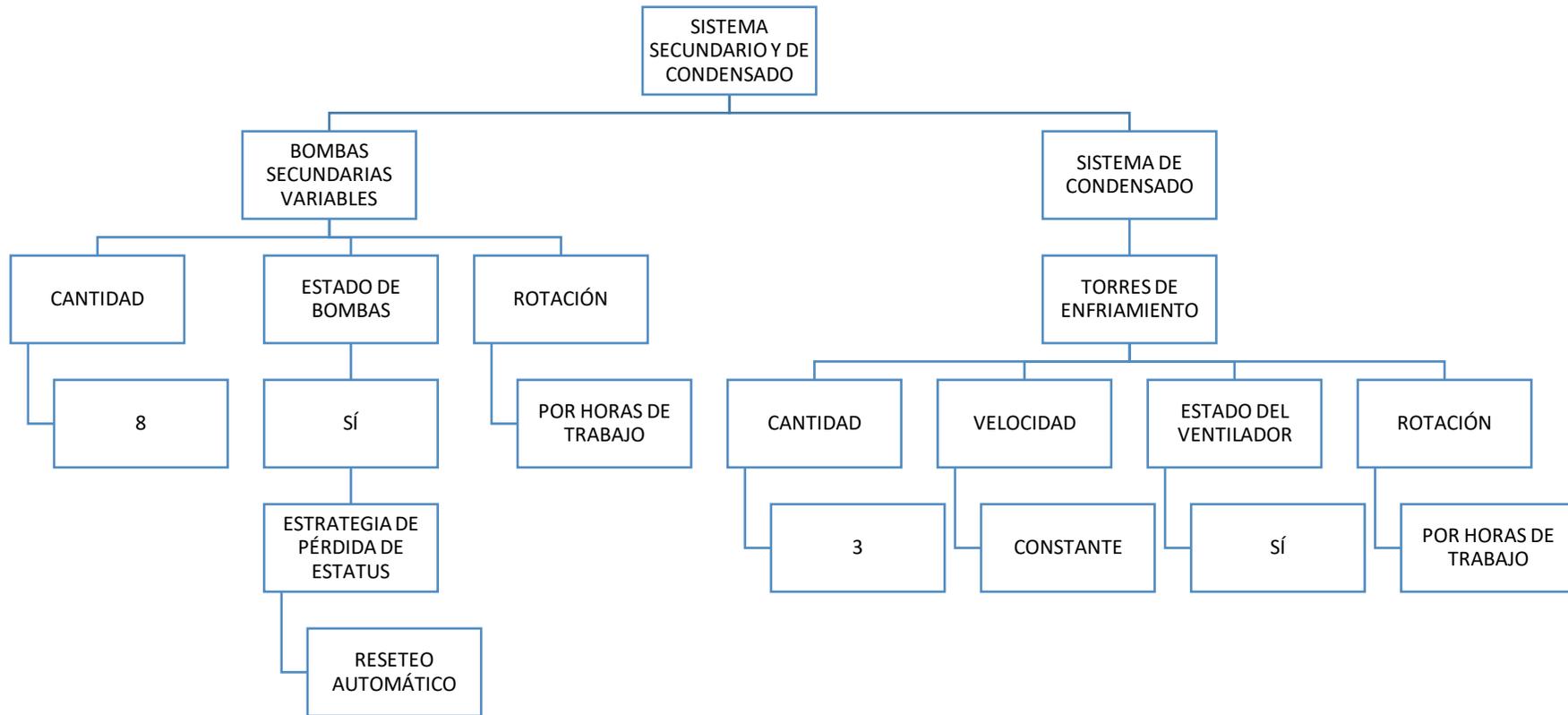


Figura 2.20. configuración de software-sistema secundario y de condensado. [Elaboración propia]

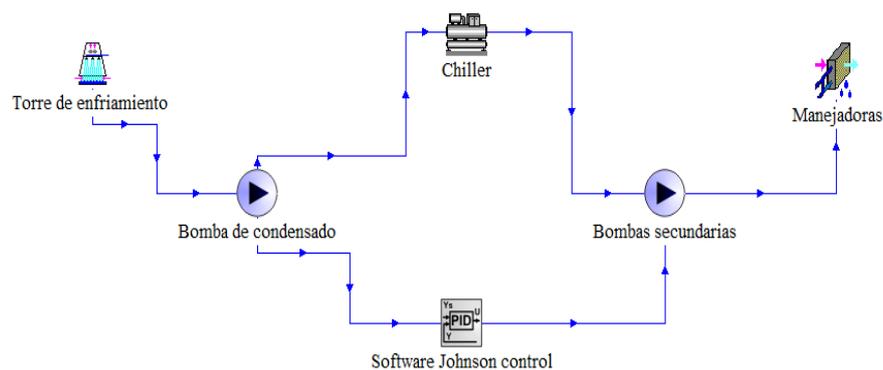


Figura 2.21. Ilustración del control de bombas de condensado y secundarias
[Elaboración propia]

4.- Entradas y salidas del sistema:

El programa establece automáticamente las entradas y salidas con base en el sistema creado previamente.

5.- Setpoint miscellaneous

En este bloque se registran los *setpoints* y tiempo de estabilización de toda la planta.

6.- State generation

En esta sección se puede modificar la lógica que sigue el sistema (bloques de PID).

7.- Output control

En esta sección se introducen las características de los equipos de la planta como GPM de bombas, eficiencia, carga máxima y mínima de equipos, carga base de trabajo de equipos, etc. Como se puede observar en la figura 26 en la sección anexos, se superó la capacidad del sistema con un 114%.

8.- Módulos de entrada y salida

Inicialmente el sistema tiene un controlador PCG-2611 con 6 entradas universales, 0 entradas análogas, 2 entradas binarias, 2 salidas análogas y 3 salidas binarias. Los casilleros rojos muestran las entradas y salidas adicionales que el sistema requiere. Ahora se procede a agregar los controladores: se necesitan 25 entradas binarias, 7

entradas análogas, 31 salidas binarias y 8 salidas análogas. Se agregaron al sistema 4 módulos de expansión PCX-4711.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de resultados

En la sección B de anexos se encontrarán los cálculos relacionados al proceso de datos que se obtuvieron después de haber visitado el hospital donde se registraron valores de las condiciones de operación de los equipos, por medio del uso del piranómetro para conocer la temperatura del agua en cada parte del proceso, es decir, en las entradas y salidas de cada equipo. Se determinó la eficiencia térmica real de los equipos y se los comparó con la información de su ficha técnica, demostrando que los chillers no se encuentran en óptimas condiciones. Por medio de los cálculos realizado, anexos B, se puede afirmar que el confort térmico dentro de los espacios del hospital no siempre es el adecuado debido a que, en un día con una carga térmica elevada, el edificio demanda aproximadamente 3380 GPM de agua helada para poder abastecer todas las habitaciones, pero la capacidad máxima que pueden dar los chillers es de 3200 GPM.

En la tabla 2.8 se muestra que el COP real en comparación con el proveniente de la ficha técnica del equipo ha disminuido. Esto se refleja en el bajo rendimiento al momento de extraer calor al agua helada a distribuir. Se debe a que, el rango óptimo de funcionamiento del equipo es de un $\Delta T = 6^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura de salida del agua 6°C y 12°C de retorno. En la sección de anexos D figura 21, se presenta la simulación del funcionamiento actual del equipo, aquí se puede reafirmar su bajo rendimiento térmico (COP), en curva celeste, aproximadamente 160TR, en la tabla 3.1 se detallan los resultados. Se puede ver que, por el estado de dicho equipo, el hospital tiene problemas para conservar temperaturas adecuadas según el ATEAAR [15], para mejorar dicho problema se requiere implementar un nuevo enfriador, ya que no se puede aplicar un mantenimiento correctivo al equipo porque es un modelo obsoleto, y aplicar un sistema de control solo aportara a una regulación del consumo de energía.

Tabla 3.1 Comparación del rendimiento térmico post estudio [Elaboración propia]

| Real [TR] | Experimental [TR] | Simulación [TR] |
|-----------|-------------------|-----------------|
| 270 | 176 | 160 |

En la sección D de anexos se utilizó la simulación para que sirva de evidencia de que, con un mejor sistema de control, se pueden solucionar problemas como un mejor manejo de encendido y apagado de los equipos, y un consumo de agua helada mejor controlado. No se pudieron realizar mediciones futuras para corroborar los valores de la simulación, debido al largo plazo que toma llevar a cabo este proyecto, a pesar de ello se pueden comparar las mediciones realizadas en el levantamiento de información con las obtenidas por las gráficas de la simulación. En la figura 42 de anexos, la simulación representa la potencia que normalmente demanda el chiller para su funcionamiento, para obtener este favor de la curva se utilizaron los datos de las mediciones obtenidas por la visita técnica, además de que se ingresaron las condiciones de trabajo que el hospital demanda, lo que dio como resultado un valor aproximado de 160 toneladas de refrigeración.

3.1.1 Análisis de costos

La figura 3.1 a continuación, describe con mayor detalle los accesorios a suministrar para la primera fase del proyecto. Aquí se especifica el tipo de válvulas, sensores y demás accesorios a suministrar para los sistemas primarios y secundarios de bombeo. Adicionalmente se describe el mantenimiento a los equipos, como es el caso de la torre de enfriamiento donde se describe la cotización del kit de reparación y accesorios a instalar, y finalmente el costo de la mano de obra directa e indirecta, obreros y supervisores respectivamente. Dando un presupuesto total para esta fase de \$587,487.81. En este rubro, se incluye los siguientes elementos: suministro de válvulas de control, reparación de torres, habilitación de sistema de calentamiento de agua en doce manejadoras, suministro de serpentines en catorce UMAS, corrección de aislamiento de poliuretano, y suministro de termómetros, manómetros y termostatos en todas las manejadoras.

Este detalle de costos fue proporcionado gracias a la empresa, HVAC ingeniería, con la que se estuvo trabajando para realizar el estudio del proyecto, los valores que se ven en la figura son cotizaciones realizadas por su departamento de proyectos y el precio del mantenimiento es un costo fijo establecidos por ellos.

Por su parte la figura 3.2 se muestra una inversión total de \$539,743.97. En esta cifra se incluye cambio de torre e implementación del sistema de control, implementación de control que incluye variadores de frecuencia en bombas secundarias, implementación de controlador de campo BACnet, suministro de interruptores diferenciales de presión para filtros, suministro de Relay con base riel DIN, sensor diferencial de presión y temperatura, actuadores para Damper de aire, licencia para 100 dispositivos, suministro de tablero de control, switch de corriente de bombas y torres y cableado para señal y comunicación.

A continuación, se muestra la tabla 3.2 con el valor total de inversión que requiere para poder realizar las 2 fases del proyecto.

Tabla 3.2 Costo de inversión en cada fase [Elaboración propia]

| | |
|---------------|----------------|
| Fase 1 | \$587,487.81 |
| Fase 2 | \$539,743.97 |
| Total | \$1,127,231.78 |

Con un costo promedio de \$0.06 kWh, valor subsidiado por ser hospital público, se puede determinar que el hospital tiene un gasto innecesario de aproximadamente \$188,000, como se muestra en las tablas 3.4 y 3.5 en la siguiente sección. La tabla 3.3, expuesta a continuación, muestra el desarrollo del costo anual uniforme equivalente (CAUE), en dicha tabla se registran los gastos de la inversión referente a la mano de obra, materiales y equipos. Esta inversión se la compara con el sistema actual para registrar el ahorro obtenido, asumiendo la máxima tasa de descuento comercial en el mercado del 16%. No se puede tener más detalle de los gastos e ingresos del hospital debido a la información limitada que se nos compartió, adicionalmente se trabajó con el supuesto de la vida útil

del nuevo equipo que es de aproximadamente 20 años. Los costos de mantenimiento fueron brindados por parte de la empresa HVAC INGENIERIA.

Tabla 3.3 Costo anual uniforme equivalente [Elaboración propia]

| | | Sistema actual | Sistema propuesto | |
|-------------------|-----|-----------------------|--------------------------|--------------|
| Inversión: | | | \$ 1.127.231,78 | |
| mano de obra | | | \$142.609,00 | |
| equipos | | | \$472.134,00 | |
| materiales | | | \$512.481,00 | |
| Gastos: | | | | |
| consumo eléctrico | | \$360.110,63 | \$171.858,78 | anual |
| mantenimiento | | \$121.000,00 | \$78.000,00 | anual |
| | | | | |
| Anualizar | | | \$24.053,44 | mano de obra |
| | | | \$79.633,44 | equipos |
| | | | \$220.628,53 | materiales |
| | | | | |
| | | \$360.110,63 | \$171.858,78 | |
| | | \$121.000,00 | \$78.000,00 | |
| CAUE | | \$481.110,63 | \$574.174,19 | |
| Tasa de descuento | 16% | | | |
| Ahorro | | | -\$93.063,56 | |

El CAUE es un método que ayuda a analizar si el proyecto es rentable o no mediante el estudio de los de todos los ingresos y los gastos que este represente. La tabla anterior muestra un resultado negativo, este valor responde a una inversión que no ha realizado por 20 años, esto no quiere decir que la inversión deba de ser rechazada ya que existen factores que no se han contemplado en este estudio debido a las limitaciones que se tuvo al momento de adquirir información sobre los ingresos del hospital, además se trabajó baso el supuesto de que se toma la tasa de descuento más alta del mercado y que la vida útil de los equipos y materiales son de 20 y 7 años respectivamente. La tabla anterior busca realizar una comparación entre el sistema propuesto y el actual, relacionando los gastos de mantenimiento y mano de obra, dicho gasto se ve

representado dos veces en la tabla debido a que un valor expresa el monto inicial de la inversión, mientras tanto el siguiente representa el valor anualizado. El ahorro puede variar mediante la reducción de costos de mantenimiento de los equipos y la adquisición de equipos y accesorios de mayor duración. De igual modo vale resaltar que el valor no indica el análisis cualitativo de la inversión, ya que al ser un hospital público tiene mayor afluencia de pacientes, por lo cual se requiere brindar un mejor servicio y confort.

REF: Presupuesto referencial de repotenciación del sistema de climatización del Hospital de niños Dr. Roberto Gilbert. Primera fase (MANTENIMIENTO CORRECTIVO)
De nuestras consideraciones.

A continuación adjuntamos nuestra cotización para el mantenimiento de los equipos de la obra en mención.

| ITEM No. | SUMINISTRO | UNID. | CANT. | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|-----------------|---|-------|-------|-----------------|----------------------|
| 1.1 | Suministro de KIT de reparación de torres de enfriamiento, Marca EVAPCO, incluye Nozzles y fill. | UNID. | 2 | \$ 27,093.02 | \$ 54,186.04 |
| 1.2 | Suministro de serpentines de agua helada | UNID. | 14 | \$ 4,502.00 | \$ 63,028.00 |
| 1.3 | Suministro de Valvulas de control Marca BELIMO Modelo ENERGY VALVE 2 vias 1 1/2" | UNID. | 29 | \$ 1,680.00 | \$ 48,720.00 |
| 1.4 | Suministro de Valvulas de control Marca BELIMO Modelo ENERGY VALVE 2 vias 2" | UNID. | 14 | \$ 1,712.00 | \$ 23,968.00 |
| 1.5 | Suministro de Valvulas de control Marca BELIMO Modelo ENERGY VALVE 2 vias 2 1/2" | UNID. | 16 | \$ 2,180.00 | \$ 34,880.00 |
| 1.6 | Suministro de valvula tipo compuerta de 1 1/2" | UNID. | 29 | \$ 145.32 | \$ 4,214.28 |
| 1.7 | Suministro de valvula tipo compuerta de 2" | UNID. | 14 | \$ 182.44 | \$ 2,554.16 |
| 1.8 | Suministro de valvula tipo compuerta de 2 1/2" | UNID. | 16 | \$ 209.56 | \$ 3,352.96 |
| 1.9 | Suministro de aislamiento Poliuretano 1 1/2" para reparación en acometida UMA | M | 48 | \$ 63.59 | \$ 3,052.32 |
| 1.10 | Suministro de aislamiento Poliuretano 2" para reparación en acometida UMA | M | 45 | \$ 61.31 | \$ 2,758.95 |
| 1.11 | Suministro de aislamiento Poliuretano 2 1/2" para reparación en acometida UMA | M | 95 | \$ 58.06 | \$ 5,515.70 |
| 1.12 | Suministro de pozos para termómetros estandar de 3-1/2" | UNID. | 118 | \$ 48.32 | \$ 5,701.76 |
| 1.13 | Suministro de manómetros para agua. Caratula 4" rango 0-150 psig. EA14 | UNID. | 118 | \$ 96.67 | \$ 11,407.06 |
| 1.14 | Suministro de termómetros 7" 0-120F | UNID. | 118 | \$ 109.32 | \$ 12,899.76 |
| 1.15 | Suministro de filtros tipo Y para manejadora | UNID. | 59 | \$ 99.30 | \$ 5,858.70 |
| 1.16 | Suministro de termostato análogo no programable para retorno en UMAS | UNID. | 59 | \$ 95.00 | \$ 5,605.00 |
| 1.17 | Rehabilitación de sistema de agua caliente para Manejadorass con recalentamiento, incluye auministro de partes y | Glob. | 1 | \$ 7,987.00 | \$ 7,987.00 |
| 1.18 | Suministro UMA para quirofanos, certificada AHRI, de doble pared 2500 cfm, Cap sensible 45700 Btu-hr, Cpa total 88.000 Btu-hr, SP de 2" w.g, Heater coil 35000 btu-hr, Caja de mezcla, prefiltros 30-60% y filtro 90%, 460V, 3 fases, 60 hz | UNID. | 9 | \$ 17,987.00 | \$ 161,883.00 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 457,572.69 |
| IVA | | | | | \$ 54,908.72 |
| TOTAL | | | | | \$ 512,481.41 |
| ITEM No. | MANO DE OBRA | UNID. | CANT. | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| 2.1 | Mano de obra por montaje de kits de reparación torres de enfriamiento. | UNID. | 3 | \$ 2,650.00 | \$ 7,950.00 |
| 2.2 | Mano de obra por desmontaje e instalación de serpentines de agua helada. | UNID. | 2 | \$ 890.00 | \$ 1,780.00 |
| 2.3 | Mano de obra por instalacion de valvulas Energy Valve | UNID. | 59 | \$ 360.00 | \$ 21,240.00 |
| 2.4 | Mano de obra por desmontaje de UMAS de quirofano existente | UNID. | 9 | \$ 2,500.00 | \$ 22,500.00 |
| 2.5 | Mano de obra izado e instalacion de UMA de quirofano en losa | UNID. | 9 | \$ 1,500.00 | \$ 13,500.00 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 66,970.00 |
| IVA | | | | | \$ 8,036.40 |
| TOTAL | | | | | \$ 75,006.40 |
| ITEM No. | RESUMEN | | | | PRECIO TOTAL |
| 1 | Suministro | | | | \$ 457,572.69 |
| 2 | Mano de Obra | | | | \$ 66,970.00 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 524,542.69 |
| IVA | | | | | \$ 62,945.12 |
| TOTAL | | | | | \$ 587,487.81 |

Figura 3.1. Presupuesto referencial para fase uno [Elaboración por HVAC ingeniería]

A continuación adjuntamos nuestra cotización para el mantenimiento de los equipos de la obra en mención.

| ITEM No. | DESCRIPCION | UNID. | CANT. | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|-----------------|---|-------|-------|-----------------|----------------------|
| 1.1 | Suministro de Chiller enfriado por agua Compresos Screw, Capacidad 300TR, IPLV0,30 Certificado AHRI. | UNID. | 1 | \$ 114,069.77 | \$ 114,069.77 |
| 1.1 | Suministro de Torre de enfriamiento condiciones AHRI, bandeja de acero inoxidable, Capacidad 900 gpm, Certificado CETI | UNID. | 1 | \$ 83,020.00 | \$ 83,020.00 |
| 1.2 | Suministro de tubería HN CED 40 sin costura 8" | M | 24 | \$ 192.38 | \$ 4,617.12 |
| 1.3 | Suministro de tubería HN CED 40 sin costura 6" | M | 180 | \$ 157.59 | \$ 28,366.20 |
| 1.4 | Suministro de tubería HN CED 40 sin costura 2" | M | 170 | \$ 110.79 | \$ 18,834.30 |
| 1.5 | Suministro e instalación de aislamiento Poliuretano 8" | M | 12 | \$ 69.13 | \$ 829.56 |
| 1.6 | Suministro e instalación de aislamiento Poliuretano 6" | M | 48 | \$ 66.72 | \$ 3,202.56 |
| 1.7 | Suministro e instalación de aislamiento Poliuretano 2" | M | 140 | \$ 59.35 | \$ 8,309.00 |
| 1.8 | Suministro de válvula tipo mariposa de 6" para montaje de chiller nuevo | UNID. | 4 | \$ 340.11 | \$ 1,360.44 |
| 1.9 | Suministro de soportes para tubería 6" a 12" | UNID. | 40 | \$ 56.68 | \$ 2,267.20 |
| 1.10 | Suministro de Switch de flujo de diferencial de presión para chiller | UNID. | 4 | \$ 321.51 | \$ 1,286.04 |
| 1.11 | Suministro de variador de frecuencia bombas secundarias 480/3/60 | UNID. | 8 | \$ 5,412.42 | \$ 43,299.36 |
| 1.12 | Suministro de válvulas de aislamiento chillers y torres | UNID. | 12 | \$ 1,742.48 | \$ 20,909.76 |
| 1.13 | Suministro de refrigerante R134a para chiller | LB | 892 | \$ 4.87 | \$ 4,344.04 |
| 1.14 | Suministro de elementos sistema de control en Unidad Manejadora de Aire. (Incluye: Controlador de campo BACnet, Interruptor diferencial de presión para filtro, Interruptor diferencial de presión en estatus ventilador, Relay con base riel DIN, Sensor diferencial de presión, Actuador para Damper, de aire, Sensor de temperatura, Tablero de control. | UNID. | 59 | \$ 2,479.75 | \$ 146,305.25 |
| 1.15 | Suministro de elementos sistema de control central. Incluye Controlador supervisor BACnet, Licencia 100 dispositivos, Tablero de control, Fuente de poder 110/24 VAC. | UNID. | 1 | \$ 9,958.10 | \$ 9,958.10 |
| 1.16 | Suministro de elementos sistema de control en Planta de agua helada primaria. (Incluye: Controlador de campo BACnet, Sensor de temperatura, Switch de corriente de bombas y de torres, Relay con base riel DIN, Tablero de control, Fuente de poder 110/24VAC) | UNID. | 1 | \$ 8,682.06 | \$ 8,682.06 |
| 1.16 | Tablero de relay para control de temperatura de ventilador en manejadora. | UNID. | 59 | \$ 130.00 | \$ 7,670.00 |
| 1.17 | Suministro de cableado de señal y comunicación 4x18 | M | 700 | \$ 3.10 | \$ 2,170.00 |
| 1.18 | Suministro de tubería rígida para canalización exterior. | UNID. | 1850 | \$ 9.95 | \$ 18,407.50 |
| 1.19 | Suministro de cable de comunicación 33x22 | UNID. | 1500 | \$ 4.30 | \$ 6,450.00 |
| 1.20 | Suministro de cable de señal 2x18 | UNID. | 700 | \$ 1.80 | \$ 1,260.00 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 421,548.49 |
| IVA | | | | | \$ 50,585.82 |
| TOTAL | | | | | \$ 472,134.31 |

| ITEM No. | MANO DE OBRA | UNID. | CANT. | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|-----------------|--|-------|-------|-----------------|---------------------|
| 2.1 | Mano de obra por montaje de chiller enfriado por agua Compresos Screw, Capacidad 300TR, IPLV0,30 Certificado AHRI. | UNID. | 1 | \$ 7,069.77 | \$ 7,069.77 |
| 2.2 | Mano de obra por instalación de accesorios de chiller. (Incluye tees, codos, y uniones). | GLOB. | 1 | \$ 16,000.00 | \$ 16,000.00 |
| 2.3 | Mano de obra por instalación de accesorios de control. | GLOB. | 1 | \$ 24,480.00 | \$ 24,480.00 |
| 2.4 | Mano de obra por instalación de válvulas tipo mariposa de 6" en chiller nuevo | UNID. | 4 | \$ 75.00 | \$ 300.00 |
| 2.5 | Mano de obra por instalación de soportes para tubería de 6" a 12" | UNID. | 40 | \$ 197.00 | \$ 7,880.00 |
| 2.6 | Mano de obra por instalación de switch de flujo diferencial de presión para chiller | UNID. | 4 | \$ 164.00 | \$ 656.00 |
| 2.7 | Mano de obra por instalación de variador de frecuencia en bombas secundarias 480/3/60 | UNID. | 8 | \$ 235.00 | \$ 1,880.00 |
| 2.8 | Mano de obra por instalación de válvulas de aislamiento en chillers y torres | UNID. | 12 | \$ 175.00 | \$ 2,100.00 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 60,365.77 |
| IVA | | | | | \$ 7,243.89 |
| TOTAL | | | | | \$ 67,609.66 |

| ITEM No. | RESUMEN | PRECIO TOTAL |
|-----------------|--------------|----------------------|
| 1 | Suministro | \$ 421,548.49 |
| 2 | Mano de Obra | \$ 60,365.77 |
| SUBTOTAL | | \$ 481,914.26 |
| IVA | | \$ 57,829.71 |
| TOTAL | | \$ 539,743.97 |

Figura 3.2. Presupuesto referencial para fase dos [Elaboración HVAC ingeniería]

3.2 Análisis de consumo energético

A continuación, se presenta el análisis energético. Este análisis compara el sistema actual, que emplea un delta de temperatura de 10°F con otro con un delta de temperatura de 14°F. Utilizando el software de simulación energética TRNSYS, sección D de anexos, se realiza la representación del funcionamiento del sistema de control en las manejadoras de aire, además, se regula el cambio de serpentines, se incluye el suministro de un *chiller* y se diseña un mantenimiento correctivo. Esto se hace con el fin de lograr una eficiencia a cargas parciales.

En los consumos de energía en el hospital, evidenciados en las planillas de consumo, mostrado en el anexo A, y pago a la CNEL, se observa que el valor de pago promedio es de \$85,000 dólares. De esta cifra, el 54.43% corresponde al hospital, que significa lo que el hospital egresa anualmente. En este caso, se trata de un aproximado de 555,186 dólares. En las tablas 3.4 y 3.5 se resalta el consumo de energía anual que tiene el sistema debido a las manejadoras encendidas fuera de horario y al uso extra del chiller de respaldo. Aplicando las soluciones sugeridas en la fase 2 se esperaría tener un ahorro energético de aproximadamente 2,039,289 kWh.

Tabla 3.4. Comparación de Enfriadores [Elaboración propia]

| | Modelo | Tipo de compresor | Capacidad nominal | No. Chiller | Eficiencia IPLV | kW | Hr/año | kWh/año | Costo | Costo total | Ahorro |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|-----------------|-------|--------|-----------|-----------|-------------|------------|
| Actual | Carrier 30HCX 271 | Scroll | 270 | 2 | 0.4 | 382.9 | 5110 | 1956414.6 | 117384.88 | 352154.628 | 0 |
| Propuesto | Carrier 30XW2 75 | Screw | 275 | 2 | 0.17 | 167.9 | 5110 | 858173.4 | 51490.404 | 168875.28 | 183279.348 |

Tabla 3.5. Comparación de UMAS [Elaboración propia]

| | Manejadoras de aire | Cantidad | kW | Hr/Año | kWh/Año | Costo anual | Ahorro anual |
|------------------|---------------------|----------|-------|--------|---------|-------------|--------------|
| Actual | Sin control | 17 | 21.25 | 6240 | 132600 | 7956 | 0 |
| Propuesta | automatizado | 17 | 21.25 | 2340 | 49725 | 2983.5 | 4972.5 |

Al comparar el consumo promedio de kWh al año del actual *chiller* con el modelo a reemplazar, se obtiene un ahorro de 1098241.2 kWh. En caso de implementarse, generaría un ahorro económico de \$183,279.35 al año, debido a que, el cambio de una unidad enfriadora permitirá que el sistema opere con dos *chillers* en lugar de tres. Por otro lado, en conjunto, todas las manejadoras consumen energía considerable, pues funcionan todo el día. Por lo que, con un sistema de control, al regular el encendido y apagado de los equipos, se obtendrá un ahorro aproximado de 1500kW al día. La causa del ahorro es que las máquinas operarían nueve horas, en vez de veinticuatro; en términos económicos, esto implica ahorrar \$4972.5 al año.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La demanda de GPM que exige el hospital para cubrir la carga térmica calculada en su día de máximo funcionamiento no puede ser cubierta por el sistema actual. Esto se debe a que, el hospital posee una carga instalada de 3200 GPM. Dicha carga produce aproximadamente 100 galones menos que los que demanda el hospital.

Otro inconveniente de las instalaciones es la incapacidad para cubrir los requerimientos energéticos para alcanzar confort térmico. Esto se debe a que los *chillers* no pueden entregar el agua helada a la temperatura correcta, ya que, se encuentran en mal estado. Es por ello que se encienden los tres chillers al mismo tiempo, para compensar los galones que se precisa suministrar al edificio y para lograr el confort térmico dentro de las instalaciones en el menor tiempo posible.

Como se habló en el capítulo 2 en la sección de levantamiento de información donde se realizó la visita técnica para la inspección de los equipos del sistema. Se encontró varios gastos innecesarios del consumo de energía del hospital, ya que cuenta con zonas que no se ocupan las 24 horas del día como bodega, oficinas administrativas, comedores, vestidores, entre otros, dichas zonas también constan con circulación de aire refrigerado distribuido por las UMAS, las mismas que no dejan de trabajar todo el día, instalando elementos de control adecuados se puede manejar de mejor manera el consumo de energía apagando los equipos que no se dispongan su uso.

Usando la guía para auditoria energética para edificaciones comerciales [19] se siguió el proceso para realizar la visita técnica y llevar a cabo la toma de mediciones, con el fin de establecer un mantenimiento correctivo adecuado para la fase 1. Por otro lado, para la selección de equipos se utilizó el libro de la ASHRAE Chiller plant optimized without capital expenditures [18] para basarnos en los parámetros de selección correctos. Para el diseño del sistema de control se tuvo que conocer primero el proceso que ocurre en el sistema de refrigeración, lo cual nos permitió conocer cuáles serán los parámetros por

controlar. Una vez que se conoció las variables a controlar y el proceso a seguir según el funcionamiento del hospital, se realizó la simulación de como operaría el sistema actual con las mejoras establecidas para mostrar así un mejor monitoreo y control del consumo de energía, esto se lo puedo observar en la sección de anexos D donde se muestran las curvas de control para el encendido y apagado del chiller y manejadoras

Comparar los valores de COP de la ficha técnica del chiller con los valores que se calcularon sirven para respaldar el bajo rendimiento que se presencia en el hospital ya que dichas máquinas actualmente no funcionan con todos sus compresores lo que genera un bajo intercambio de calor entre el refrigerante y el agua.

En la tabla 3.3 se mostro un estudio para el análisis de la inversión, el cual no refleja rentabilidad ni viabilidad para desarrollar la inversión, sin embargo esta no debe de ser la razón por la cual se efectuó este gasto ya que la tabla no contempla el análisis cualitativo que se estaría generando, ya que mejorar el confort térmico dentro de las instalaciones es un requerimiento esencial para trabajar bajo las normas debidas, adicionalmente se espera que tener un mejor ambiente en el interior genere un mejor impacto hacia los clientes, lo cual pueda representarse económicamente al hospital en brindar mayor servicios que los actuales.

4.2 Recomendaciones

En primer lugar, para mantener el sistema operando en mejores condiciones es necesario poder realizar un estudio más detallado del mismo para lo cual es importante cambiar los lectores de presión (manómetros) y sensores de temperatura en las entradas y salidas de los equipos ya que no se puede llevar un registro exacto de su funcionamiento.

Para mejorar el confort térmico en el interior de las salas del hospital es preferible invertir en un nuevo chiller ya que los actuales no logran bajar la temperatura del agua lo suficiente para que cuando circule por las UMAS y este al contacto con el aire del exterior, pueda enfriar el aire a la temperatura deseada. Referente al ahorro energético es conveniente instalar accesorios de sistema de control que puedan manejar la operación de los equipos y así no tener maquinas funcionando fuera de hora, además son útiles al momento que el hospital requiera alcanzar temperaturas bajas en un tiempo más corto.

Otra opción que aporta al ahorro energético y a su vez ayuda al confort térmico es la instalación de un tanque de almacenamiento que se localice al retorno de agua de las manejadoras hacia los chillers, este tanque ayudara a mantener una temperatura más baja lo que hará que el chiller trabaje a menor capacidad para lograr bajar alcanzar temperaturas más bajas, esto repercutirá en el consumo de energía de este ya que los compresores realizaran menor trabajo y se consumirá menor amperaje.

El encendido y apagado de las manejadoras están controlados por el valor fijo establecido en el panel de control, por lo cual se recomienda estar pendientes de los días festivos en los cuales el personal este ausente, con el fin de no tener las manejadoras encendidas de manera innecesaria.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ASHRAE. (2001). Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. New York: McGRAW-HILL.
- [2]. Kiersma, M. E. (2014). National Institute for Occupational Safety and Health. In *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition* (pp. 454–455). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00340-7>
- [3]. Chávez del Valle, F. (2002). Conceptos Generales sobre Ambiente y Confort Térmico. *Chávez Del Valle, FJ*, 2, 19–36. Retrieved from <https://www-digitaliapublishing-com.indoamerica.idm.oclc.org/visor/41391>
- [4]. Enrique Martines L. (2007). DEFINICIONES DE HUMEDAD Y SU EQUIVALENCIA (N.o 1). Centro Nacional de Metrología, División de Termometría. <https://www.cenam.mx/dme/pdf/tm02.pdf>
- [5]. Estándar ANSI/AHSRAE 62.1-2019 | ASHRAE Spain Chapter
2020EspañolAshrae Spain ChapterASHRAE Spain Chapter | ASHRAE Spain Chapter
- [6]. MAE. (2011). Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. *Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*, 402–415.
- [7]. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). 2017. Diseño y dimensionamiento. Exigencias de calidad térmica del ambiente. Pag. (15-24). Madrid, España.
- [8]. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). 2017. Diseño y dimensionamiento. Contabilización de consumo. Pag. (86-87). Madrid, España.
- [9]. ANSI/ASHRAE. (2009). Ventilacion para una Calidad Aceptable de Aire Interior. *Estándar, 2007*, 12
- [10] Farrás, J. G., & Hernández, a. (1999). Control ambiental en interiores. *Enciclopedia de La Salud y Seguridad En El Trabajo*, 1–24.

- [11] Fernando Bonilla. 29 de septiembre del 2018. ANSI/ASHRAE Standard 52.2 y filtros de aire. Zona ASHRAE. Revista Mundo HVAC. Número 161. Página 64. <https://www.mundohvacr.com.mx/2018/09/estandar-52-2-y-filtros-de-aire/>
- [12] Vargas Marcos, F., & Gallego Pulgarín, I. (2005). Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 243–251. <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200011>
- [13] INEN. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen-Iso 3960:2013. *Inen*, 2007, 5. Retrieved from <http://181.112.149.204/buzon/normas/nte-inen-iso-3960-ext.pdf>
- [14] Ministerio de industria, t. y. (2008). Plan de energía renovable. Madrid.
- [15] Walter Gamarra Yépez, Ing. Mec. Miembro ASHRAE Eduardo Donoso Pérez, Msc. Ing. Mec. Miembro ASHRAE Jaime Balladares Moreno, Ing. Mec. Miembro ASHRAE Kleber Matamoros Morla, Ing. Mec Colegio de Ingenieros Mecánicos del Guayas, CIMEG Guillermo Soriano Phd. Ing. Mec. Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL. Abril 2020. RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN EN HOSPITALES Y CLINICAS – EMERGENCIA COVID-19 ECUADOR. Pág. 4-19
- [16] ANSI/ASHRAE/ASHE. (2017). ANSI/ASHRAE/ASHE standard 170-2017 Ventilation of Health care facilities. *Engineered Systems*, 1–42.
- [17] ASHRAE. (2017). ASHRAE CLIMATIC DESIGN CONDITIONS. ASHAREA. <http://ashrae-meteo.info/v2.0/>.
- [18] Whalen, K., Brooks, J., & Mobley, E. (2020). Chiller plant optimized without capital expenditures. *ASHRAE Journal*, 62(9), 52–58.
- [19] ASHAREA. (2011). Best practices for conducting energy. Procedures for Commercial Building Energy Audits. Segunda edición. Página 49-57.
- [20] Betancor, C., Cerezo, J., & Vega, A. (2006). Diseño de un sistema de control de temperatura. VII Congreso TAEE-2006, 1–9. Retrieved from <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/taee:congreso-2006-1116/S3F04.pdf>.
- [21] Gene F. Franklin. J. David Powell. Abbas Emami-Naeini. (2010). Dynamic Response. Feedback Control of Dynamic System. Sexta edición. (paginas 69-73).

[22] ISO. (2017). Building automation and control systems (BACS) — Part 5: Data communication protocol. ISO 16484-5:2017.

APÉNDICE

APÉNDICE A: Imágenes de las visitas realizadas



Figura 1 Cubierta del edificio.



Figura 2: Manejadora de Quirófano.



Figura 3. Dámper de renovación de aire en UMA cerrado

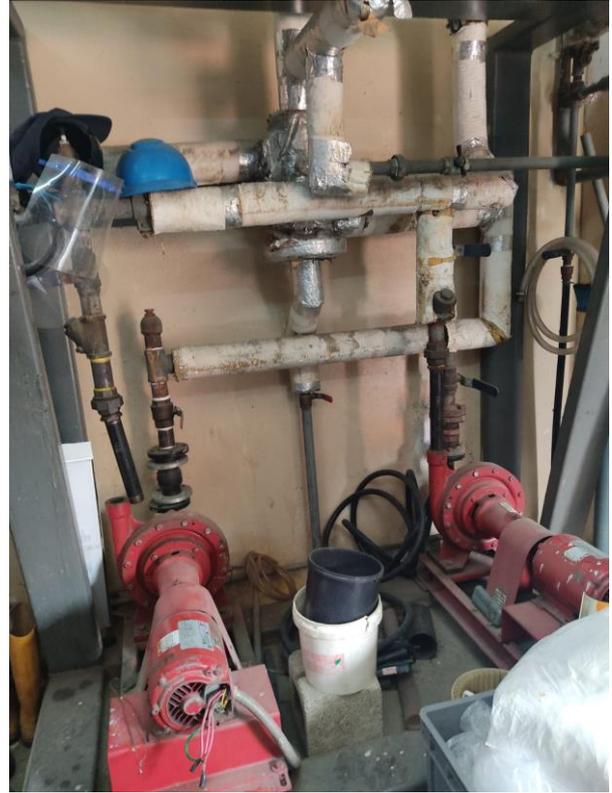


Figura 4 Bombas de Agua caliente en estado no operativo.



Figura 5 Manejadora en mezanine, climatiza cafetería.



Figura 6 Quirófano 11.



Figura 7 Enfriador 3.



Figura 8. Conversación con técnicos sobre estado de equipos



Figura 9 Toma de temperatura de entrada a la bomba de condensado.

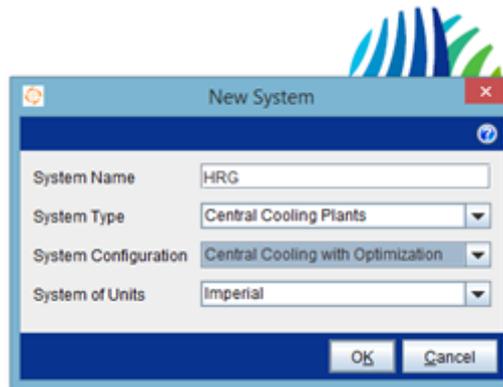


Figura 10. Creando un nuevo sistema en software Johnson Control PCT 10.2. [Elaboración propia]

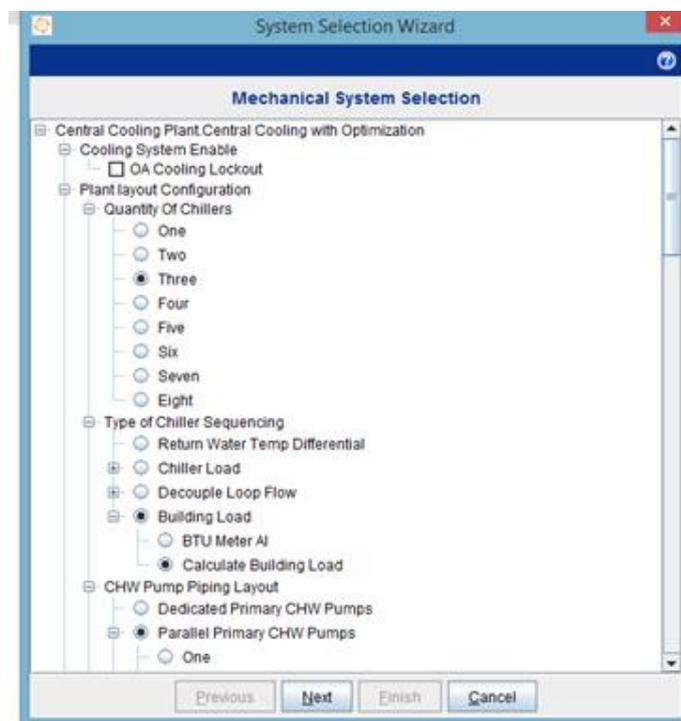


Figura 11. Selección del sistema mecánico primario y secundario [Elaboración propia]

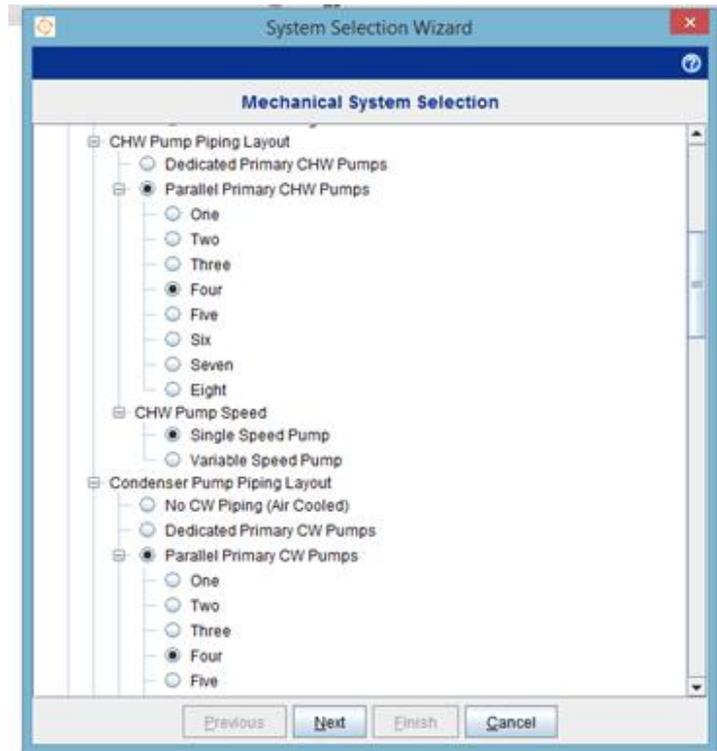


Figura 12. Selección del sistema mecánico primario y secundario [Elaboración propia]

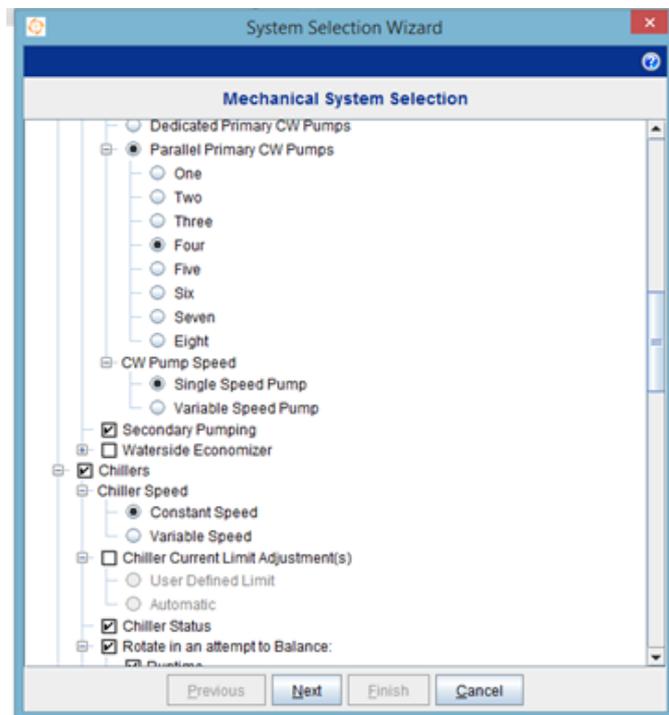


Figura 13 Selección del sistema mecánico primario y secundario [Elaboración propia]

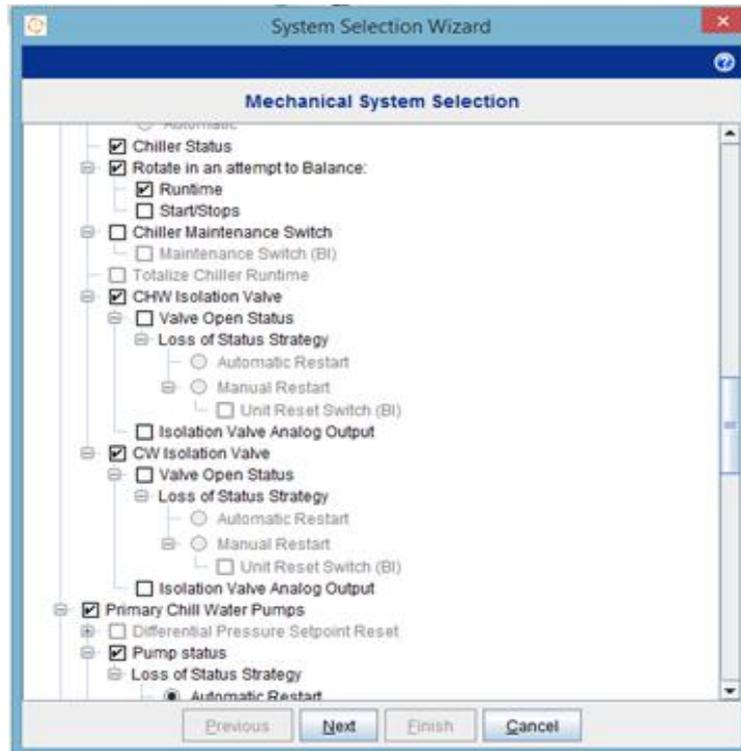


Figura 14. Selección del sistema mecánico primario y secundario [Elaboración propia]

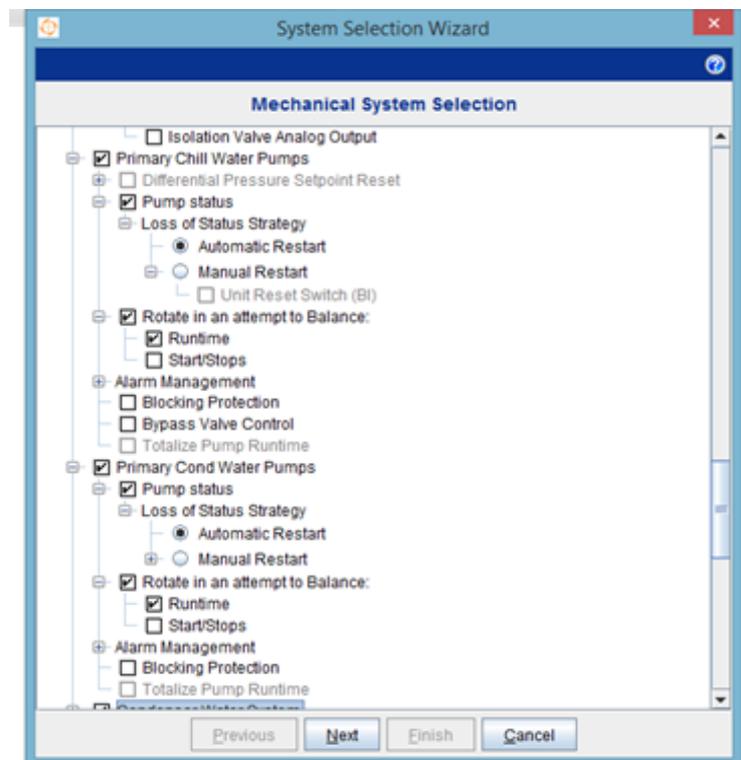


Figura 15. Selección del sistema mecánico primario y secundario [Elaboración propia]

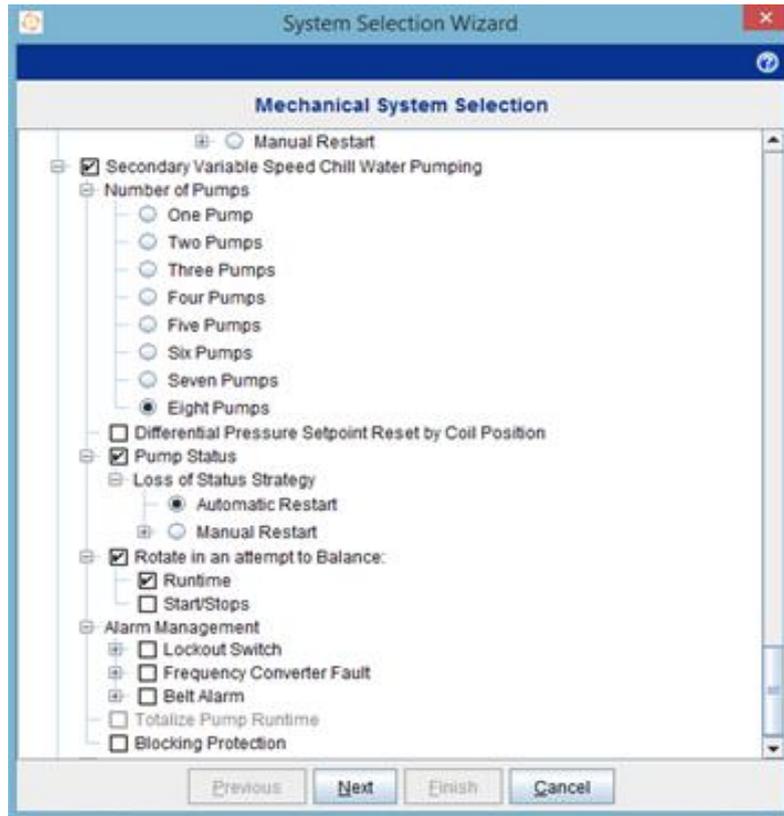


Figura 16. Selección del sistema mecánico primario y secundario [Elaboración propia]

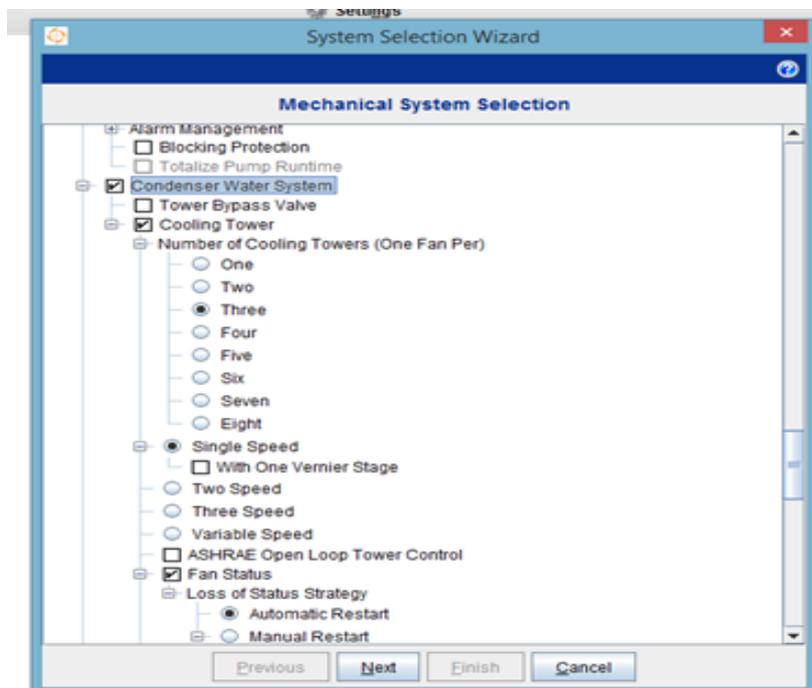


Figura 17 Selección del sistema mecánico de condensado [Elaboración propia]

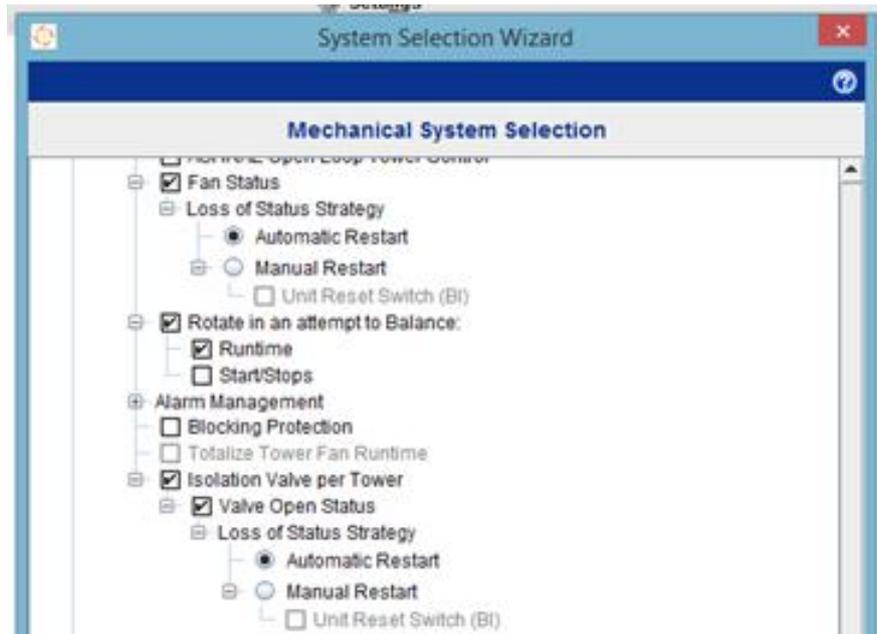


Figura 18 Selección del sistema mecánico de condensado [Elaboración propia]

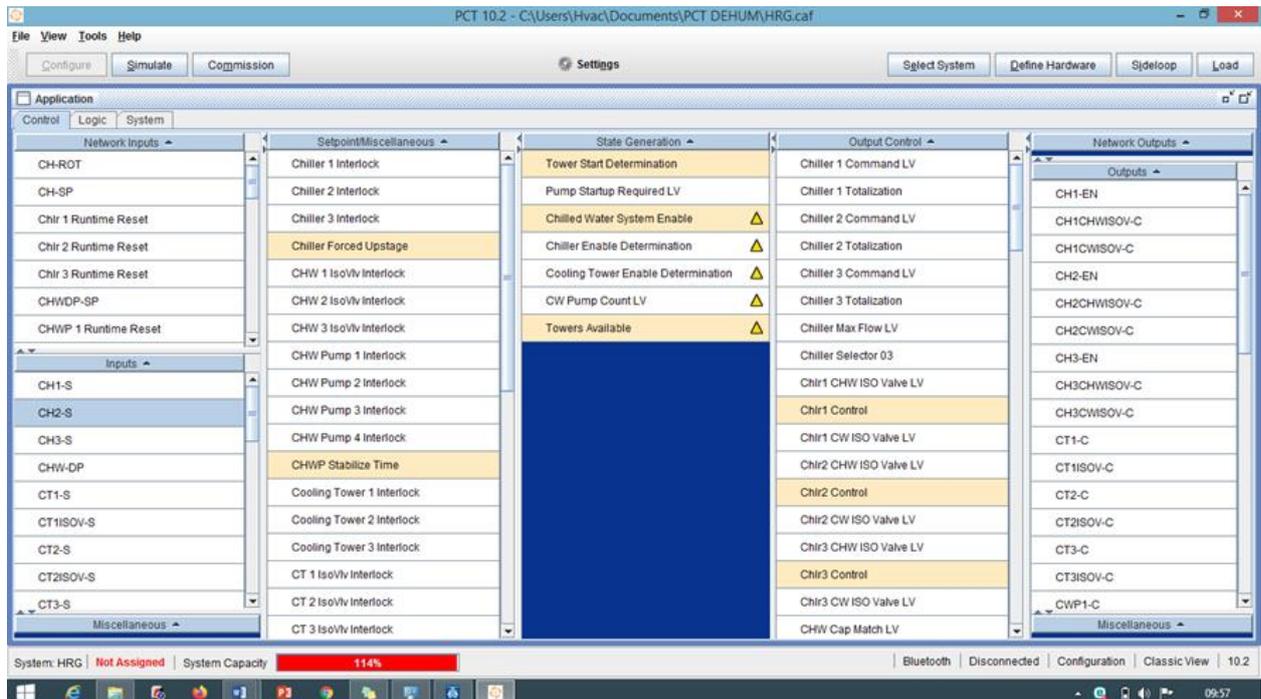


Figura 19 Ventanas para configuración de elementos de control [Elaboración propia]

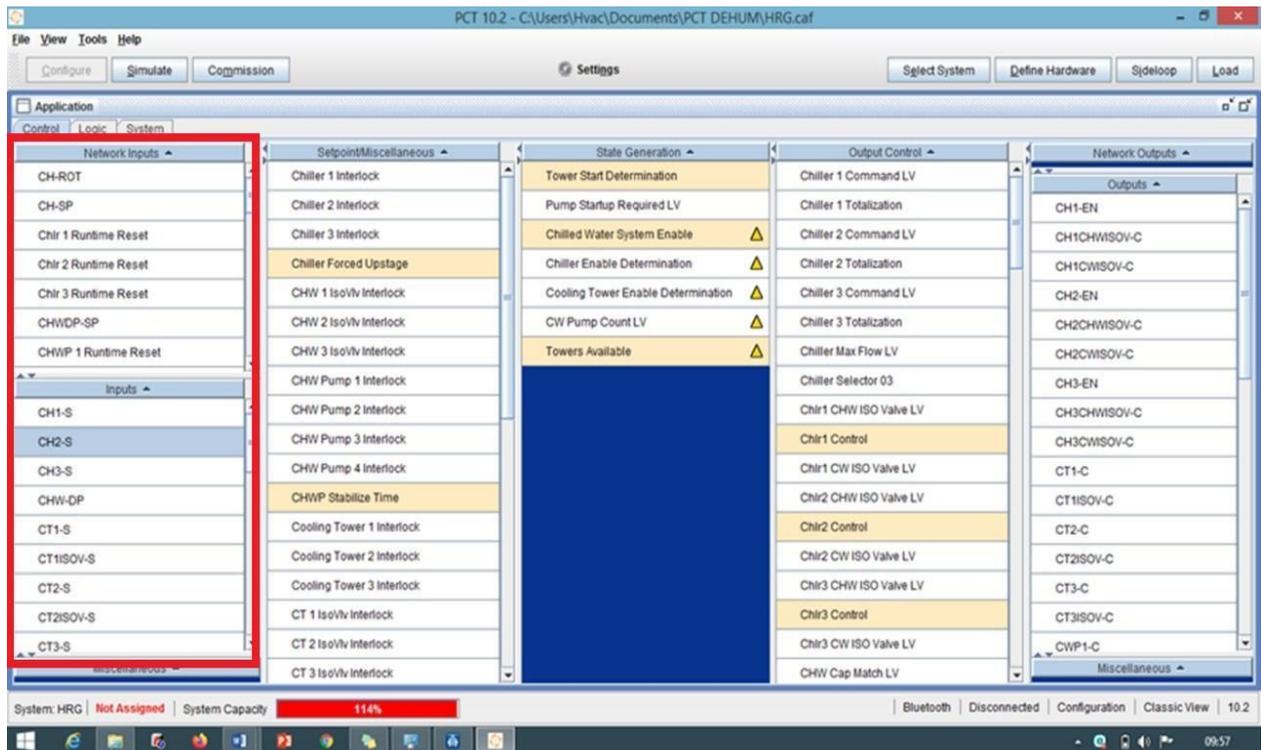


Figura 20 Bloque de entradas del sistema de control [Elaboración propia]

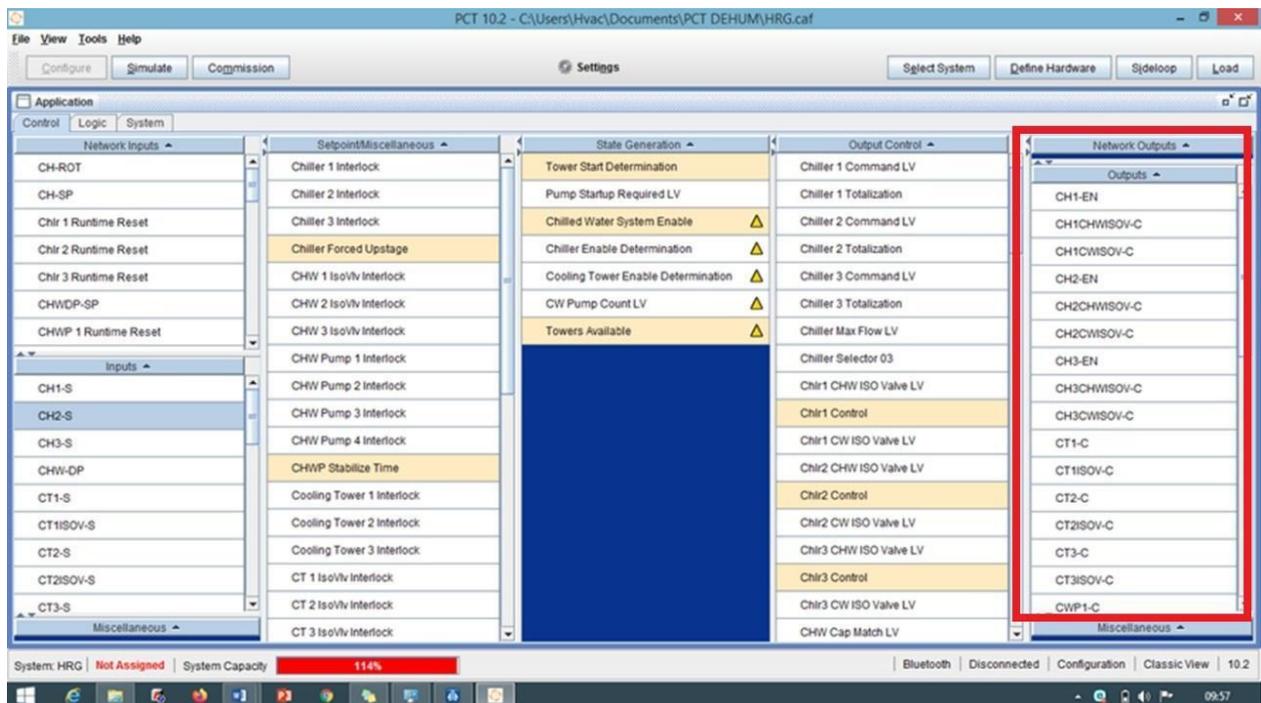


Figura 21 Bloque de salidas del sistema de control [Elaboración propia]

| Controller Label | Name | Description | Signals |
|--------------------------------------|--------------|--------------------|---|
| FX-PCX4711-1 - Input - 01 - UI IN1 | CWS-T | Condenser Wa... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-1 - Input - 02 - UI IN2 | SCHWP1-S | Secondary CH... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-1 - Input - 03 - UI IN3 | PCHWP1-S | Primary CHW P... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-1 - Input - 04 - UI IN4 | CWP4-S | Condenser Wa... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-1 - Input - 05 - UI IN5 | CT2-S | Tower 2 Status | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-1 - Input - 06 - UI IN6 | SCHWP8-S | Secondary CH... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-1 - Input - 07 - BI IN7 | SCHWP3-S | Secondary CH... | Dry Contact Pulsed, Dry Contact Maintained |
| FX-PCX4711-1 - Input - 08 - BI IN8 | PCHWP2-S | Primary CHW P... | Dry Contact Pulsed, Dry Contact Maintained |
| FX-PCX4711-1 - Output - 01 - BO OUT1 | PCHWP2-C | Primary CHW P... | 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop, 24VAC P... |
| FX-PCX4711-1 - Output - 02 - BO OUT2 | CWP4-C | Condenser Wa... | 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop, 24VAC P... |
| FX-PCX4711-1 - Output - 03 - BO OUT3 | CWP2-C | Condenser Wa... | 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop, 24VAC P... |
| FX-PCX4711-1 - Output - 04 - CO OUT4 | SCHWP2-C | Secondary CH... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-1 - Output - 05 - CO OUT5 | PCHWP4-C | Primary CHW P... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-1 - Output - 06 - CO OUT6 | SCHWP5-C | Secondary CH... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-1 - Output - 07 - CO OUT7 | CT3-C | Tower 3 Comm... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-1 - Output - 08 - AO OUT8 | SCHWP7-O | Secondary CH... | 0-10VDC, 4-20mA |
| FX-PCX4711-1 - Output - 09 - AO OUT9 | SCHWP1-O | Secondary CH... | 0-10VDC, 4-20mA |
| FX-PCX4711-2 - Input - 01 - UI IN1 | CH2-S | Chiller 2 Status | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-2 - Input - 02 - UI IN2 | SCHWP4-S | Secondary CH... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-2 - Input - 03 - UI IN3 | SCHWP7-S | Secondary CH... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-2 - Input - 04 - UI IN4 | CT3ISOV-S | Tower 3 Isolati... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-2 - Input - 05 - UI IN5 | CWP2-S | Condenser Wa... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-2 - Input - 06 - UI IN6 | PCHWP4-S | Primary CHW P... | 0-10VDC, Resistive, Nickel 1K RTD, 2 25K NTC... |
| FX-PCX4711-2 - Input - 07 - BI IN7 | CWP3-S | Condenser Wa... | Dry Contact Pulsed, Dry Contact Maintained |
| FX-PCX4711-2 - Input - 08 - BI IN8 | CT1-S | Tower 1 Status | Dry Contact Pulsed, Dry Contact Maintained |
| FX-PCX4711-2 - Output - 01 - BO OUT1 | SCHWP8-C | Secondary CH... | 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop, 24VAC P... |
| FX-PCX4711-2 - Output - 02 - BO OUT2 | CH3CHWISOV-C | Chiller 3 CHW I... | 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop, 24VAC P... |
| FX-PCX4711-2 - Output - 03 - BO OUT3 | CH1-EN | Chiller 1 Enable | 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop, 24VAC P... |
| FX-PCX4711-2 - Output - 04 - CO OUT4 | CH2CHWISOV-C | Chiller 2 CHW I... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-2 - Output - 05 - CO OUT5 | PCHWP3-C | Primary CHW P... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-2 - Output - 06 - CO OUT6 | CT1ISOV-C | Tower 1 Isolati... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-2 - Output - 07 - CO OUT7 | CT2ISOV-C | Tower 2 Isolati... | 0-10VDC, 24VAC Incremental, 24VAC Start Stop |
| FX-PCX4711-2 - Output - 08 - AO OUT8 | | | 0-10VDC, 4-20mA |
| FX-PCX4711-2 - Output - 09 - AO OUT9 | | | 0-10VDC, 4-20mA |

To relocate points, drag and drop to the desired location

Figura 22. Listado de entradas y salidas del sistema de control [Elaboración propia]

The screenshot shows the PCT 10.2 software interface with the 'Setpoint Miscellaneous' block highlighted in red. The interface includes a menu bar (File, View, Tools, Help), a toolbar with buttons for Configure, Simulate, Commission, and Settings, and a main workspace divided into several panes: Network Inputs, Setpoint Miscellaneous (highlighted), State Generation, Output Control, and Network Outputs. The Setpoint Miscellaneous pane lists various interlocks and control points such as Chiller 1 Interlock, Chiller 2 Interlock, Chiller 3 Interlock, Chiller Forced Upstage, CHW 1 IsoVlv Interlock, CHW 2 IsoVlv Interlock, CHW 3 IsoVlv Interlock, CHW Pump 1 Interlock, CHW Pump 2 Interlock, CHW Pump 3 Interlock, CHW Pump 4 Interlock, CHWP Stabilize Time, Cooling Tower 1 Interlock, Cooling Tower 2 Interlock, Cooling Tower 3 Interlock, CT 1 IsoVlv Interlock, CT 2 IsoVlv Interlock, and CT 3 IsoVlv Interlock. The State Generation pane shows Tower Start Determination, Pump Startup Required LV, Chilled Water System Enable, Chiller Enable Determination, Cooling Tower Enable Determination, and CW Pump Count LV. The Output Control pane lists Chiller 1 Command LV, Chiller 1 Totalization, Chiller 2 Command LV, Chiller 2 Totalization, Chiller 3 Command LV, Chiller 3 Totalization, Chiller Max Flow LV, Chiller Selector 03, Chir1 CHW ISO Valve LV, Chir1 Control, Chir1 CW ISO Valve LV, Chir2 CHW ISO Valve LV, Chir2 Control, Chir2 CW ISO Valve LV, Chir3 CHW ISO Valve LV, Chir3 Control, Chir3 CW ISO Valve LV, and CHW Cap Match LV. The Network Outputs pane shows CH1-EN, CH1CHWISOV-C, CH1CWSOV-C, CH2-EN, CH2CHWISOV-C, CH2CWSOV-C, CH3-EN, CH3CHWISOV-C, CH3CWSOV-C, CT1-C, CT1SOV-C, CT2-C, CT2SOV-C, CT3-C, CT3SOV-C, and CWP1-C. The bottom status bar shows System: HRG, Not Assigned, System Capacity: 114%, Bluetooth: Disconnected, Configuration: Classic View, and version 10.2.

Figura 23 Bloque Setpoint Miscellaneous [Elaboración propia]

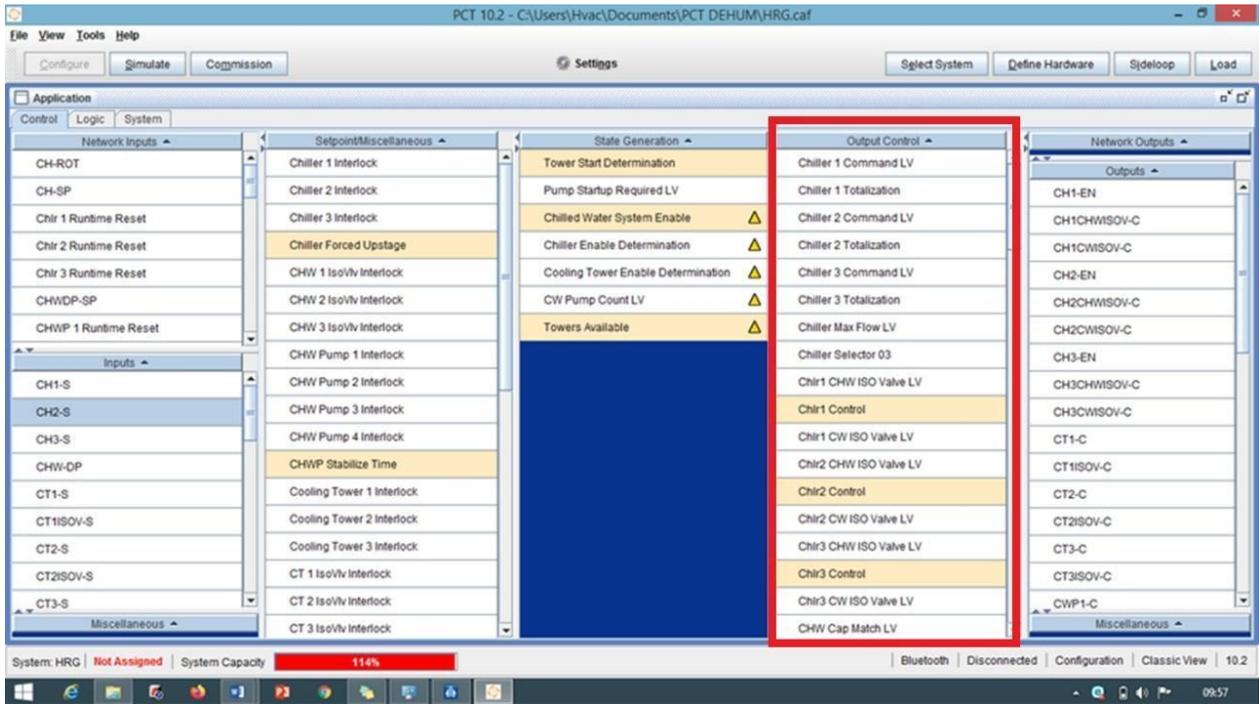


Figura 24 Bloque State generation [Elaboración propia]

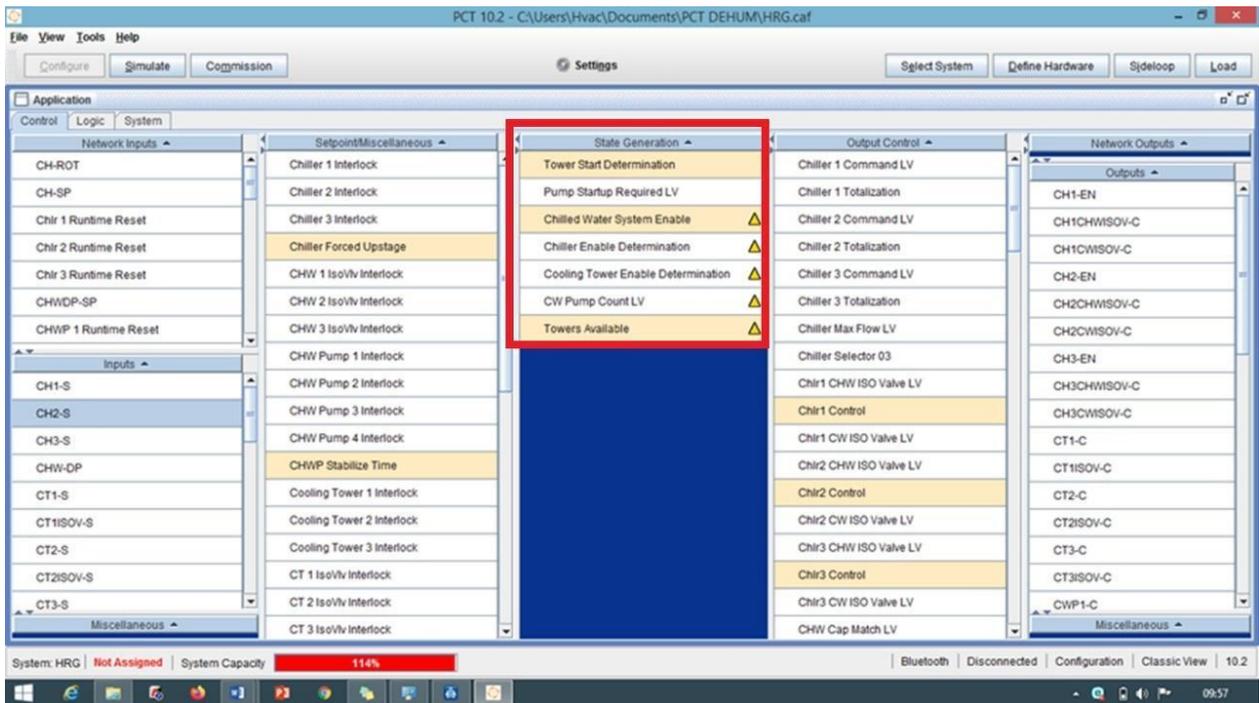


Figura 25 Bloque output Control [Elaboración propia]

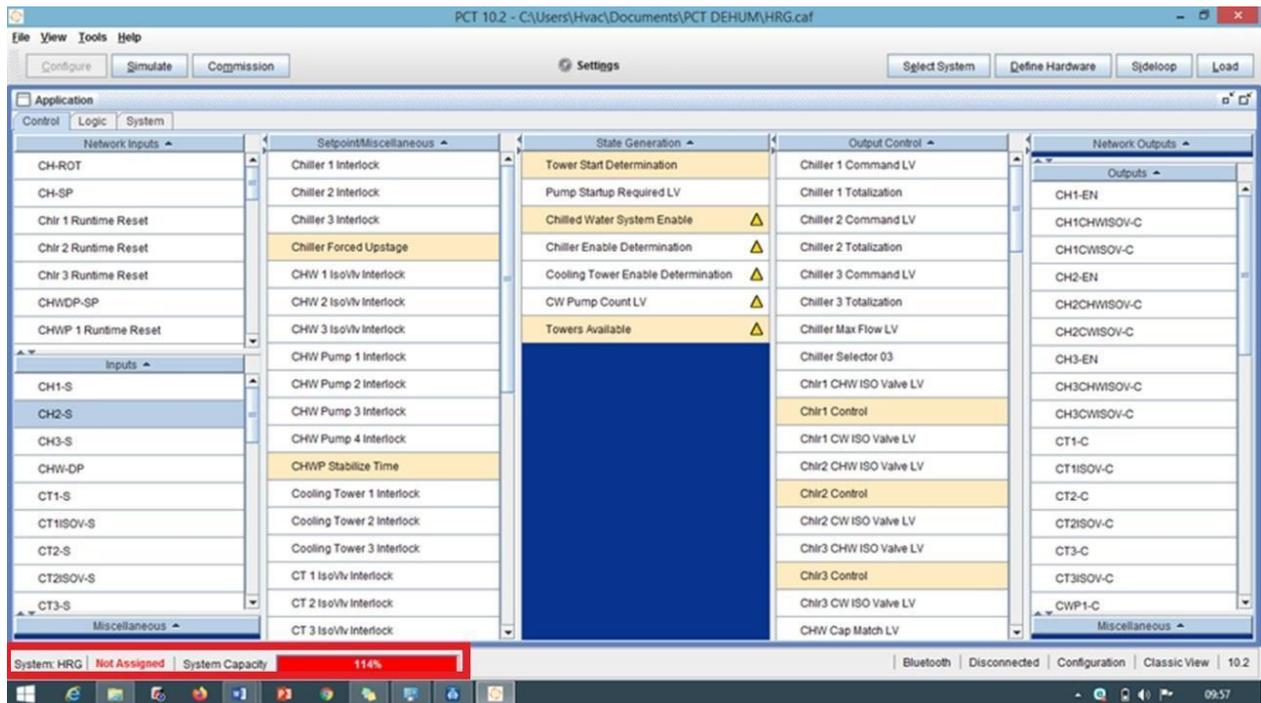


Figura 26 Capacidad del sistema [Elaboración propia]

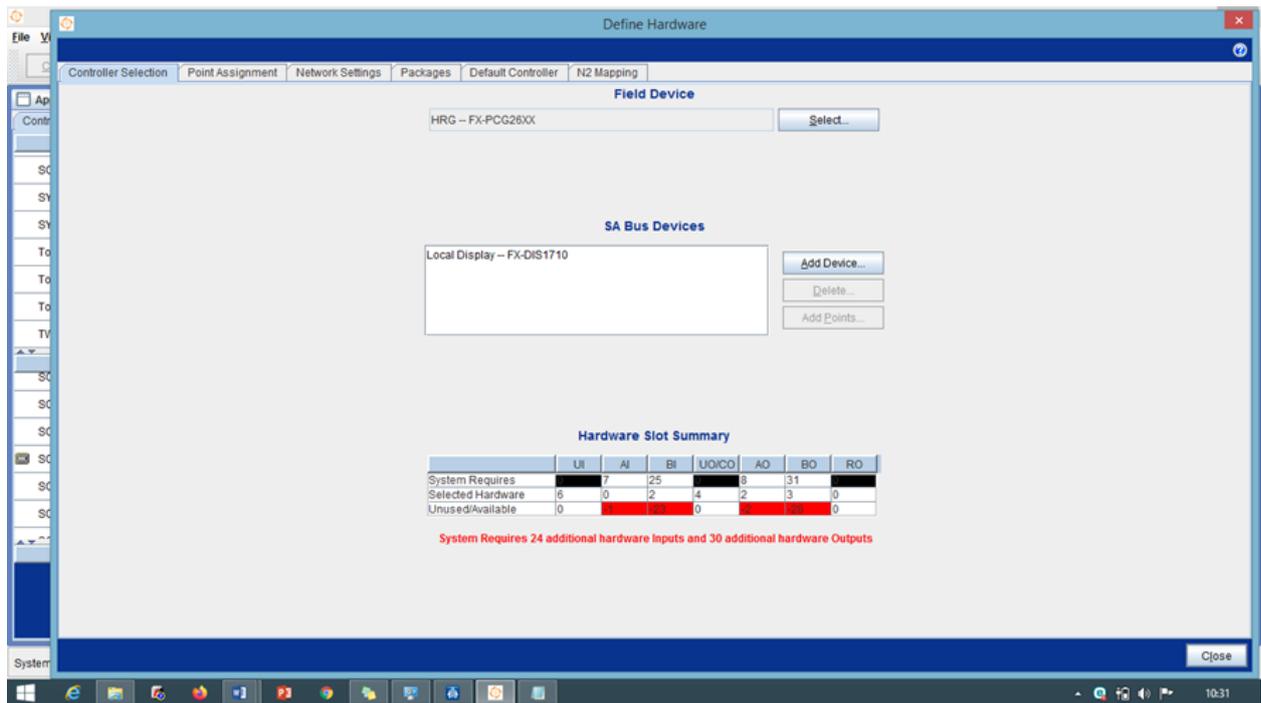


Figura 27 Selección de controlador [Elaboración propia]

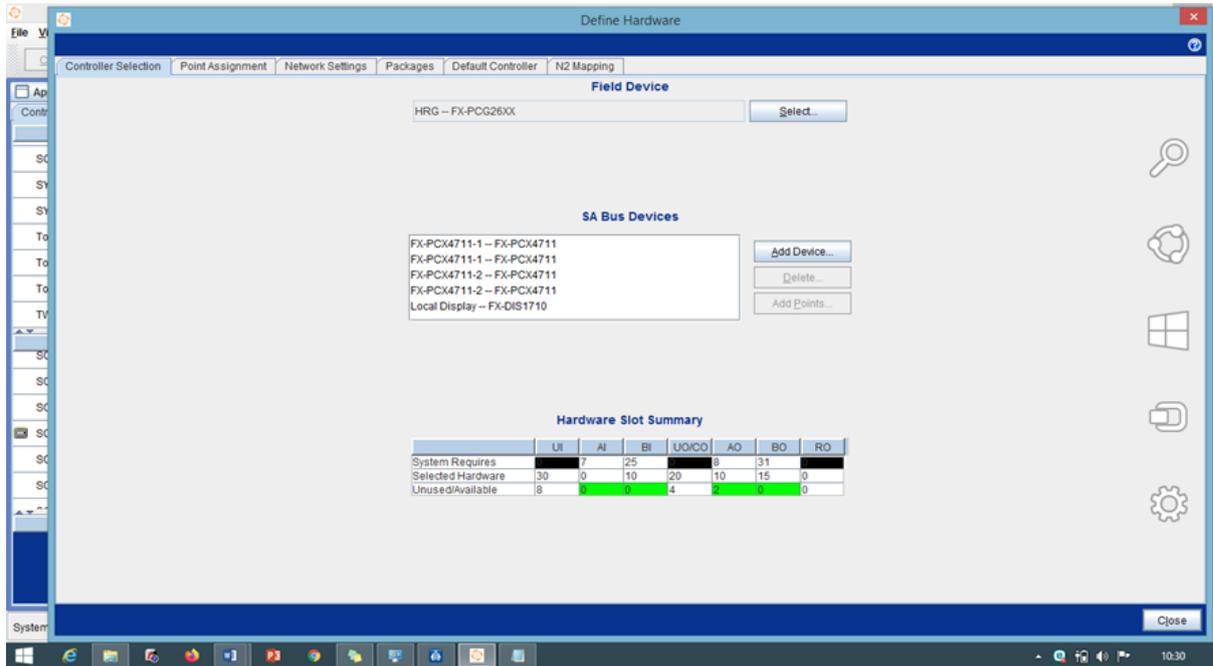


Figura 28 Módulos de expansión agregados [Elaboración propia]

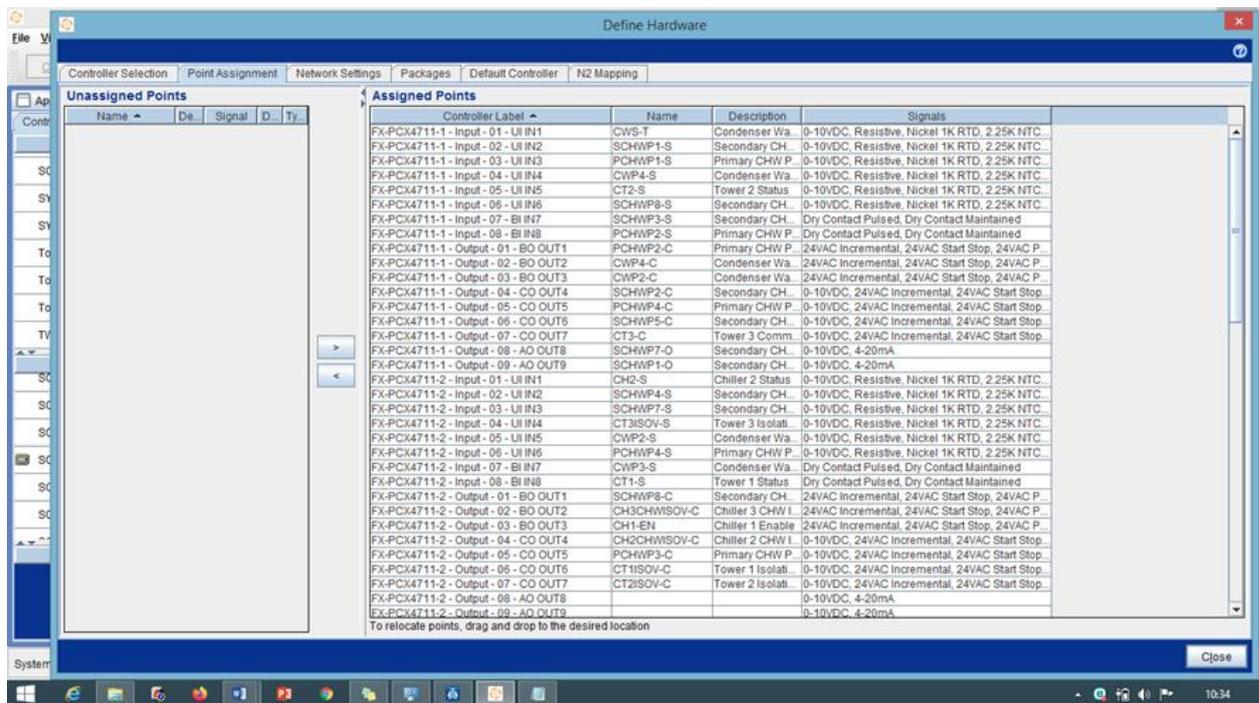


Figura 29 Asignación de entradas y salidas en módulos de expansión [Elaboración propia]

Información del Consumidor

VALOR TOTAL \$85033.56

CUENTA CONTRATO 200016769602 Código Único 0401499187
 Razón Social JUNTA DE BENEFICENCIA DE GUAYAQUIL
 RUC 0990967946001 Tipo de tarifa Arconel MTCGCD08 - MT Asistencia Social con Dem Horaria
 Celular 0999437482 Geocódigo 0422E002000003 Unidad de Lectura 0422E002
 Correo Electrónico mikkp@oteria.com.ec
 Dirección del servicio AV.DEMOCRACIA MZ#138 E.P.M.GILBERT-DR.R. / ATARAZANA / SL#1 / TARQUI - GUAYAQUIL

1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1319032 Factor de multiplicación 7000.00
 Tipo consumo leído Días facturados 31 Factor de corrección 0.8824
 Fecha desde 01-05-2021 Fecha hasta 31-05-2021 Factor de potencia (FP) 0.9434

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo Int. Transfor. | Consumo Total | Unidad Medida | Monto (\$) |
|-----------------------------------|-------------|----------------|------------------|--------------------|------------------|------------------------|---------------|---------------|------------|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 31-05-2021 | 6388.00 | 6295.00 | 0.00 | 651000.00 | 0.00 | 651000.00 | KWH | 39060.00 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 31-05-2021 | 2104.00 | 2071.00 | 0.00 | 231000.00 | 0.00 | 231000.00 | KWH | 13860.00 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 31-05-2021 | 4385.00 | 4309.00 | 0.00 | 532000.00 | 0.00 | 532000.00 | KWH | 26600.00 |
| Energía reactiva total | 31-05-2021 | 3992.00 | 3921.00 | 0.00 | 497000.00 | 0.00 | 497000.00 | KVR | 0.00 |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 31-05-2021 | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.34 | KW | 0.00 |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 31-05-2021 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.30 | KW | 0.00 |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 31-05-2021 | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.29 | 0.00 | 0.29 | KW | 0.00 |
| Demanda facturable | 31-05-2021 | 2380.00 | 0.00 | 0.00 | 2380.00 | 0.00 | 2380.00 | KW | 5506.49 |

Figura 30. Factura de consumo de energía del hospital [Fuente: CNEL-HVAC ingeniería]

APÉNDICE B: Cálculos

Datos

Carga térmica del hospital

Calor sensible = 508.46 TR

Calor latente = 1125.22 TR

Calor total = 633.68 TR

Tabla B.1: Ejemplo de medición de temperaturas de UMAS y chillers [Elaboración propia]

| Equipo | Temp. Entrada°F | Temp. Salida°F |
|---------------------|-----------------|----------------|
| UMA (1500-2500 cfm) | 55.88 | 56.12 |
| UMA (3000-4000 cfm) | 52.70 | 55.88 |
| UMA (4500-5500 cfm) | 52.16 | 56.66 |
| UMA (6500-8500 cfm) | 52.88 | 67.46 |
| UMA 10500 cfm | 56.84 | 65.30 |
| UMA 13000 cfm | 52.70 | 64.94 |
| Chiller#1 | 51.08 | 53.24 |
| Chiller#2 | 49.28 | 53.24 |
| Chiller#3 | 50.36 | 52.70 |

Eficiencia térmica chiller

$$GPM = \frac{TR * 24}{\Delta T}$$

$$GPM = \frac{633.68 * 24}{56.66 - 52.16} = 3379.63$$

$$GPM \text{ para cada chiller} = 1126.5$$

$$TR_1 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(1066.67) * (53.24 - 51.08)}{24} = 96$$

$$TR_2 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(1066.67) * (53.24 - 49.28)}{24} = 176$$

$$TR_3 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(1066.67) * (52.7 - 50.36)}{24} = 104$$

Eficiencia térmica UMAS

$$TR_1 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(366) * (56.12 - 55.88)}{24} = 3.66$$

$$TR_2 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(312.8) * (55.88 - 52.70)}{24} = 41.45$$

$$TR_3 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(538) * (56.66 - 52.16)}{24} = 100.88$$

$$TR_4 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(581.7) * (67.46 - 52.88)}{24} = \text{DATO INCONSISTENTE}$$

$$TR_5 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(102.6) * (65.30 - 56.84)}{24} = 36$$

$$TR_6 = \frac{GPM * \Delta T}{24} = \frac{(127.1) * (64.94 - 52.70)}{24} = 64.82$$

Eficiencia energética

Consumo real

$$I = 260.75 \text{ [A]}$$

$$V = 478.78 \text{ [V]}$$

$$P = \sqrt{3} * I * V \rightarrow \sqrt{3} * (260.75) * (478.78) = 216.23 \text{ KW}$$

Consumo teórico

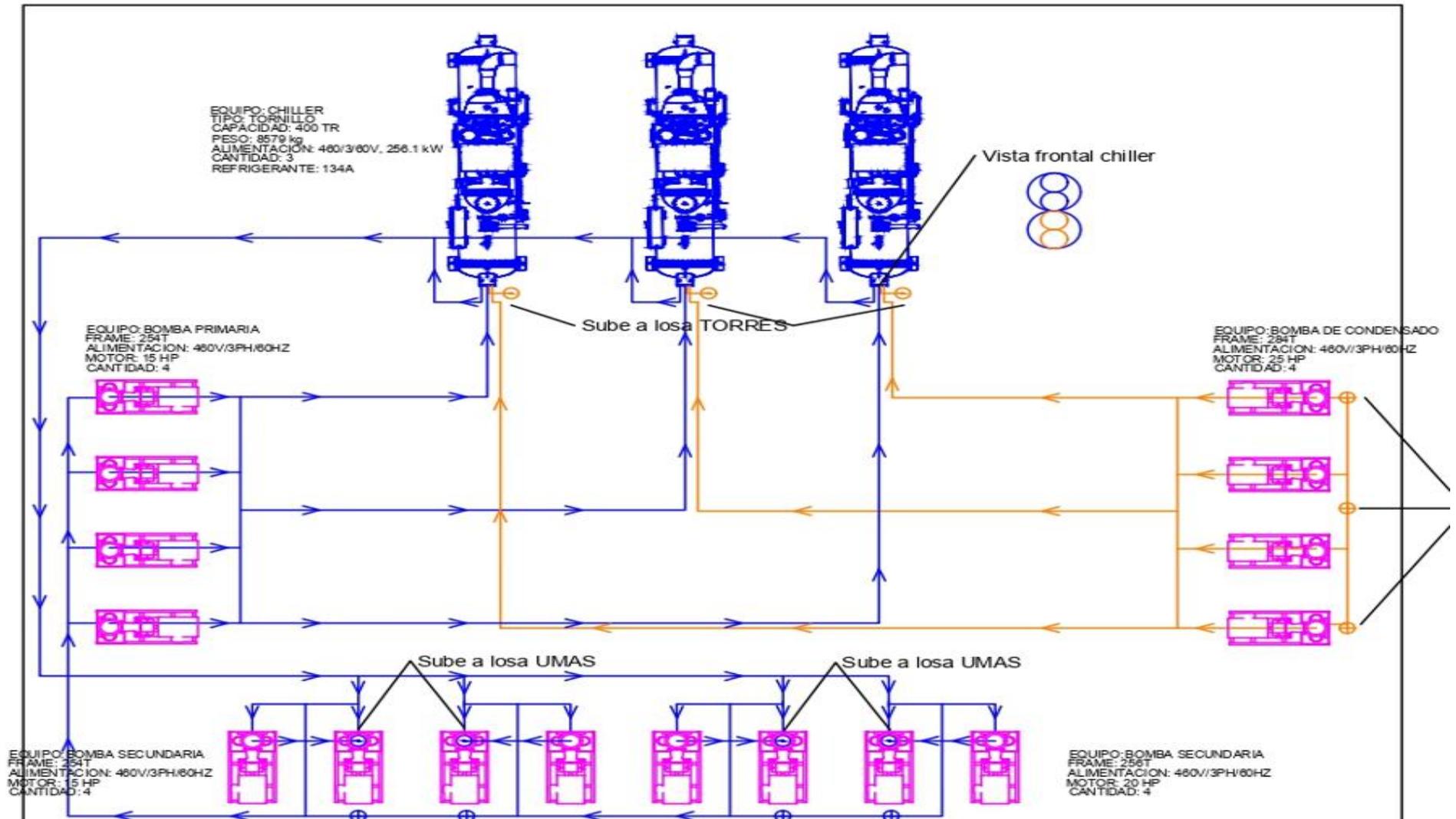
$$P = 242 \text{ Kw}$$

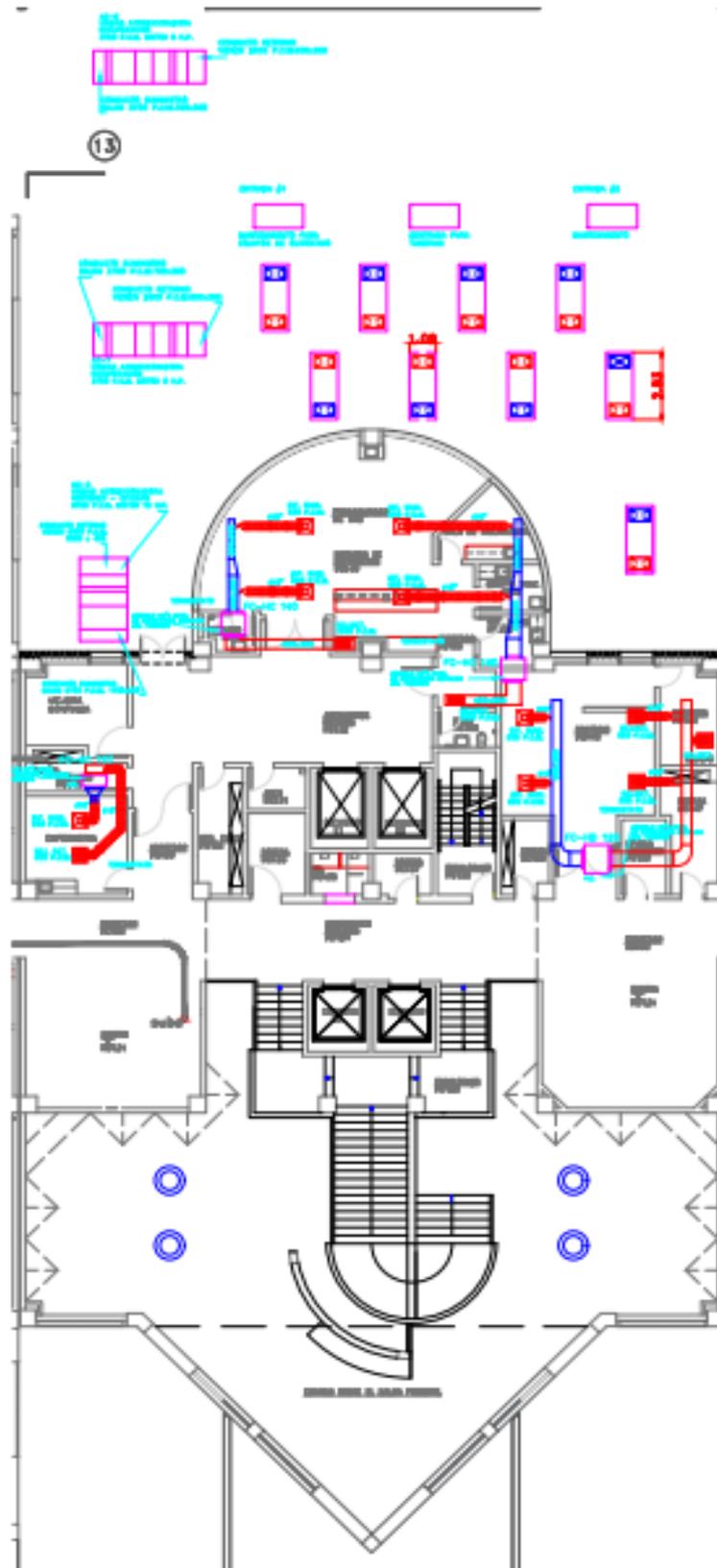
Cálculo del COP de cada chiller

$$COP = \frac{P_{termica}}{P_{electrica}}$$

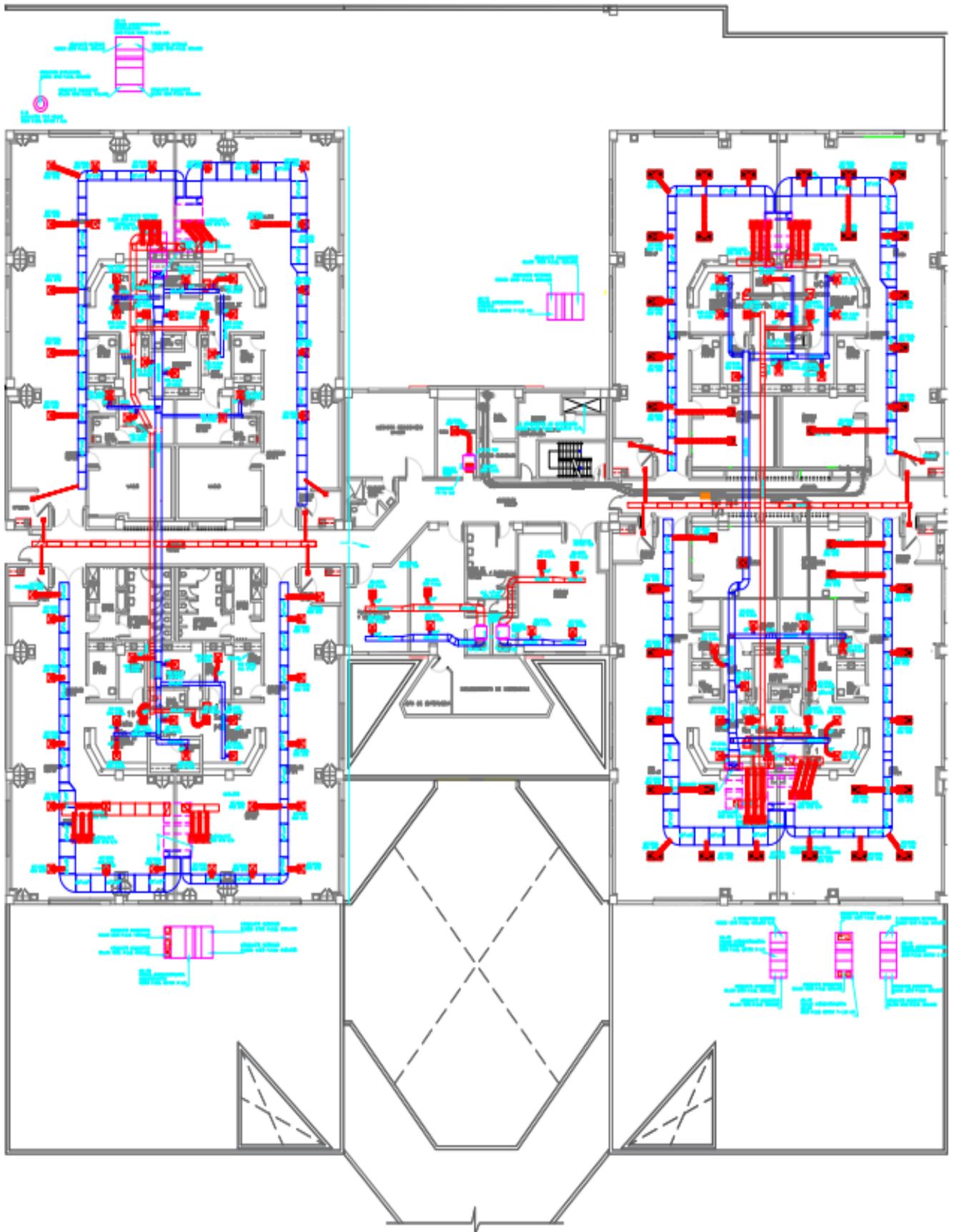
$$COP = \frac{619}{178} = 3.48$$

APÉNDICE C

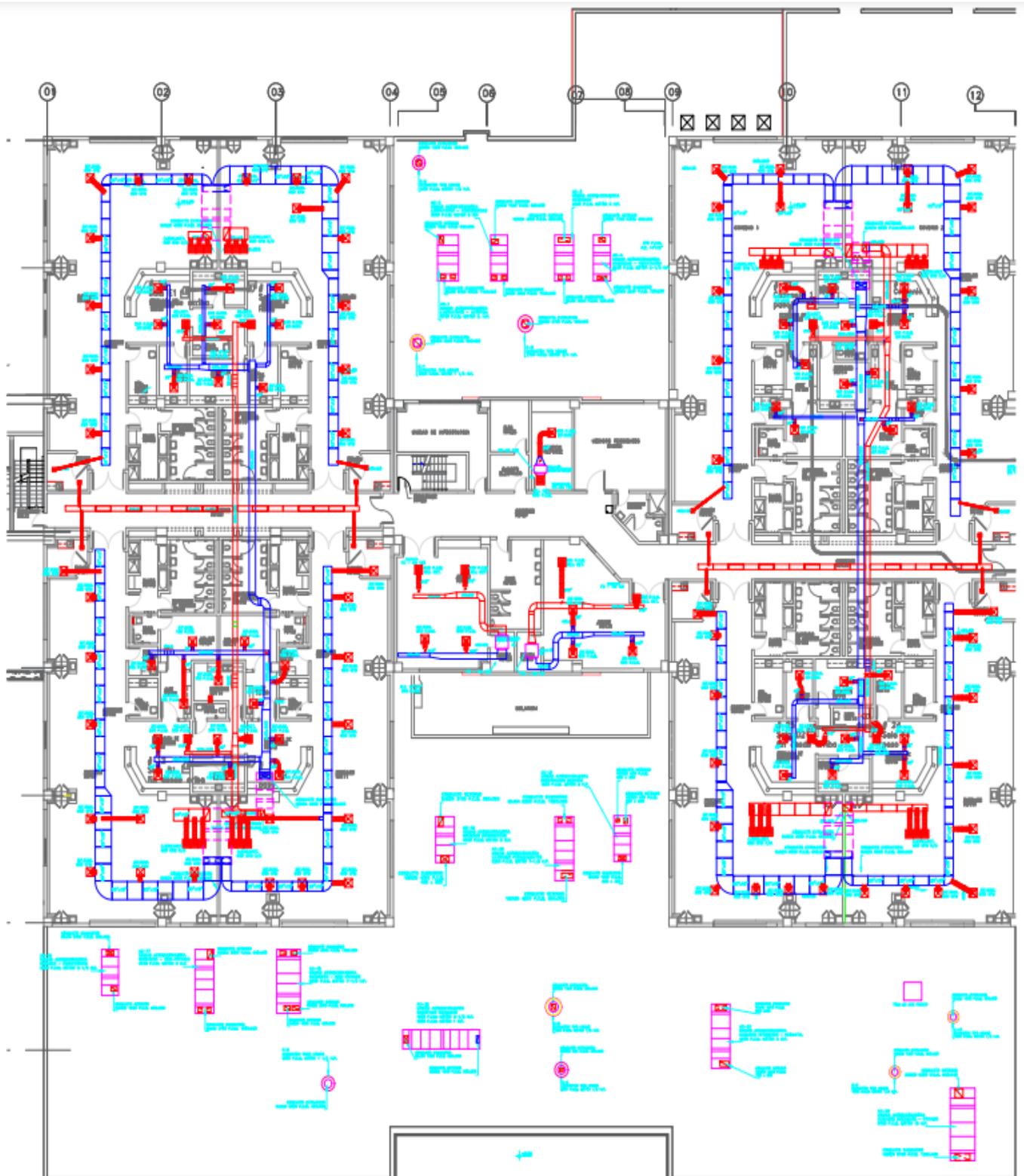




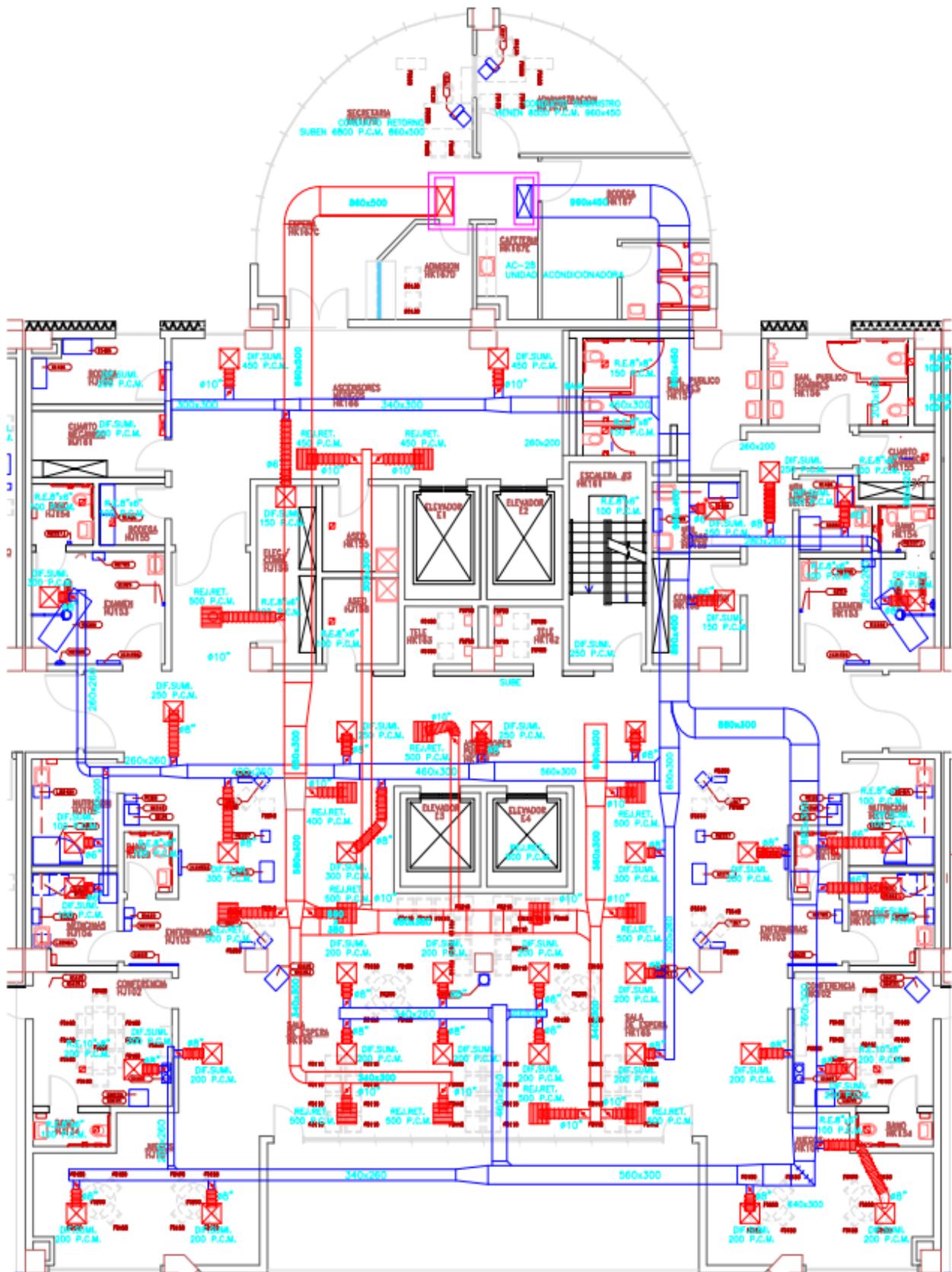
Plano 3 plano de climatización zona central planta alta



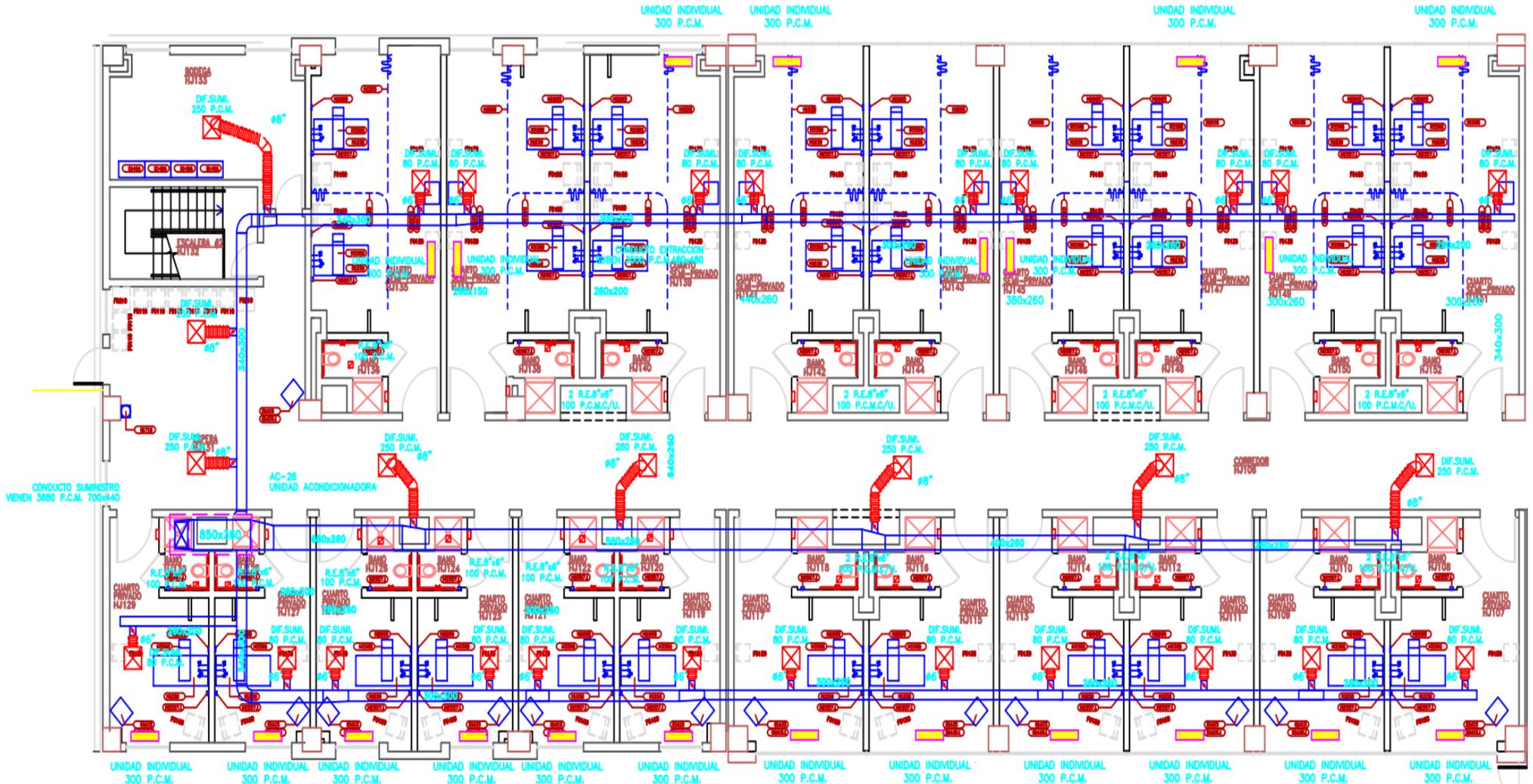
Plano 4 plano de climatización ala derecha planta alta



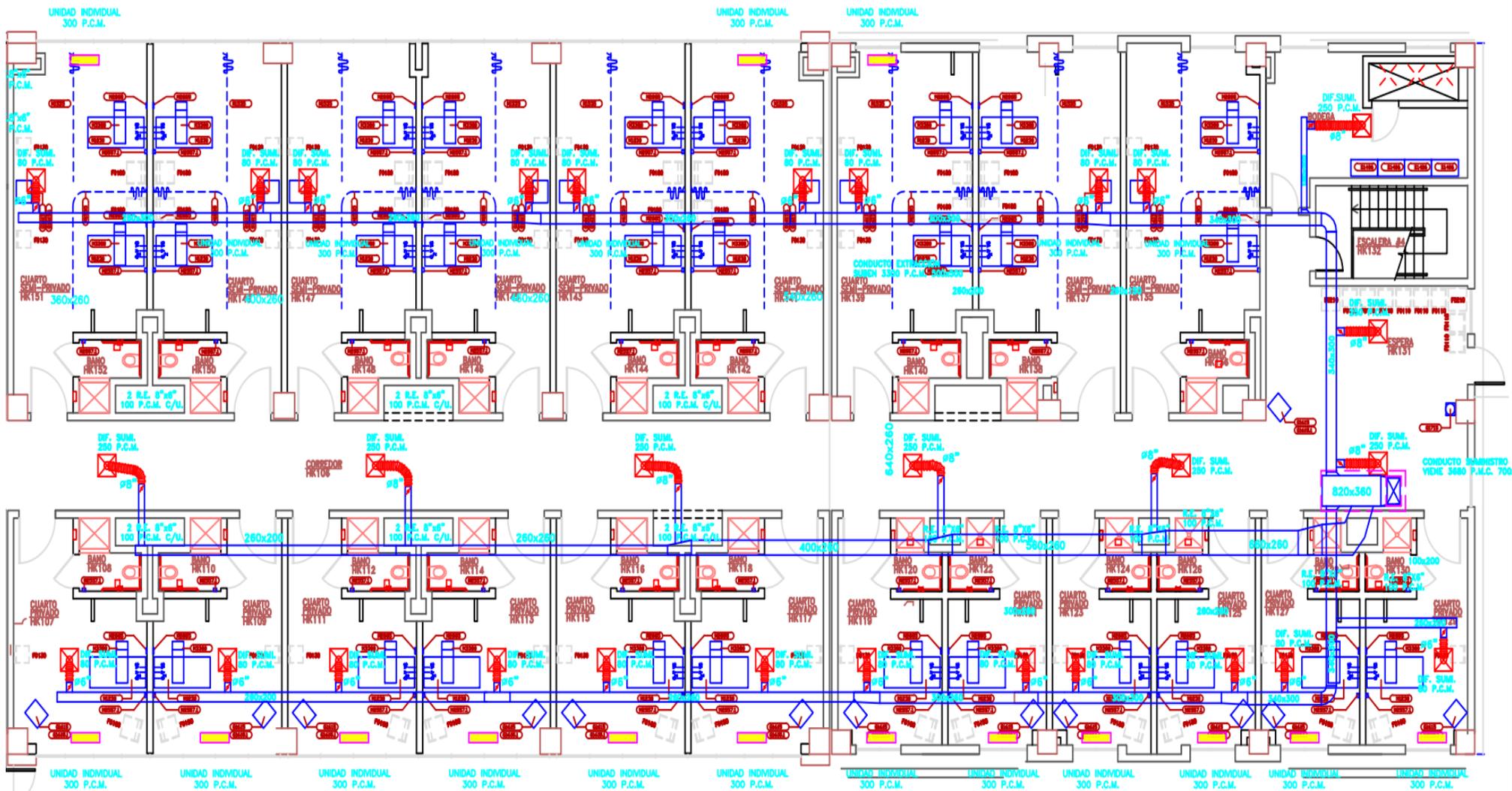
Plano 5 plano de climatización ala izquierda planta alta



Plano 6 plano de climatización zona central pensionado



Plano 7 plano de climatización ala izquierda pensionado



Plano 8. Plano de climatización ala derecha del pensionado.

APÉNDICE D: SIMULACIÓN

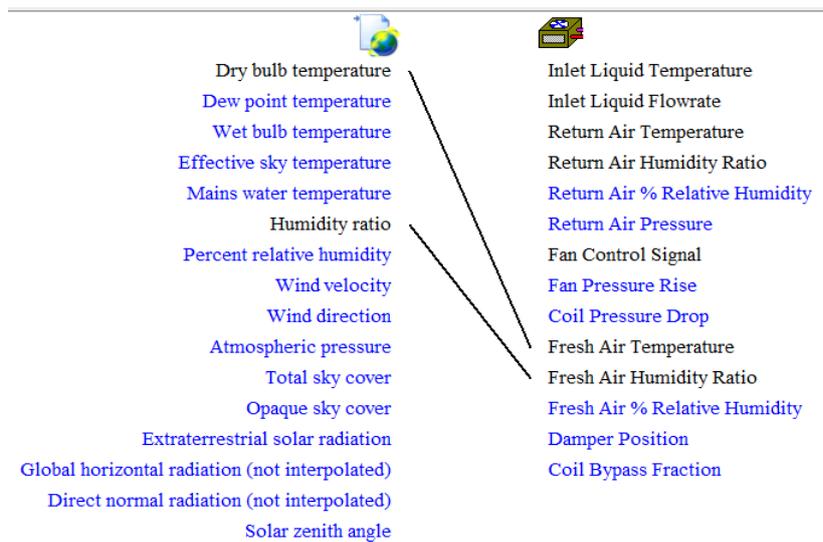


Figura 31 Conexión de parámetros entre el clima y la manejadora de aire [Elaboración propia]

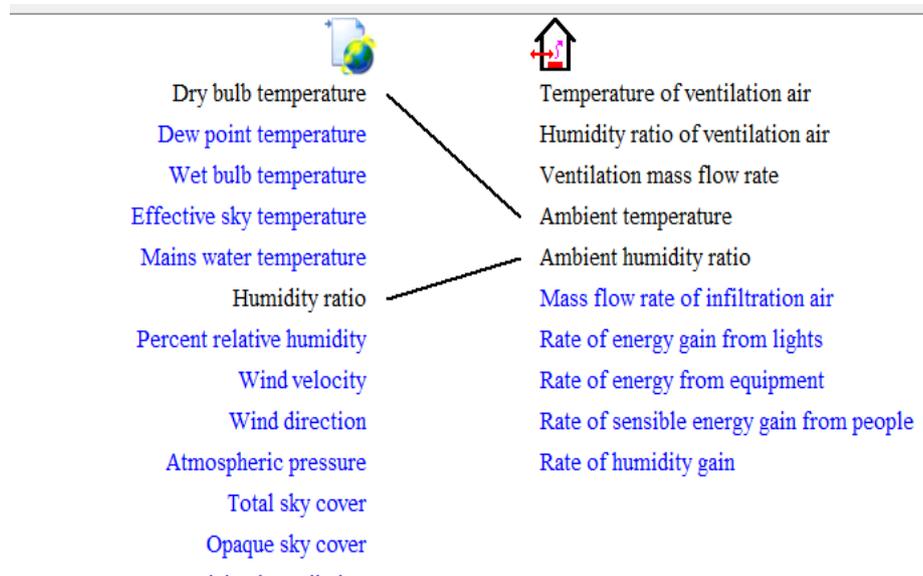


Figura 32. Conexión de parámetros entre el clima y el hospital [Elaboración propia]

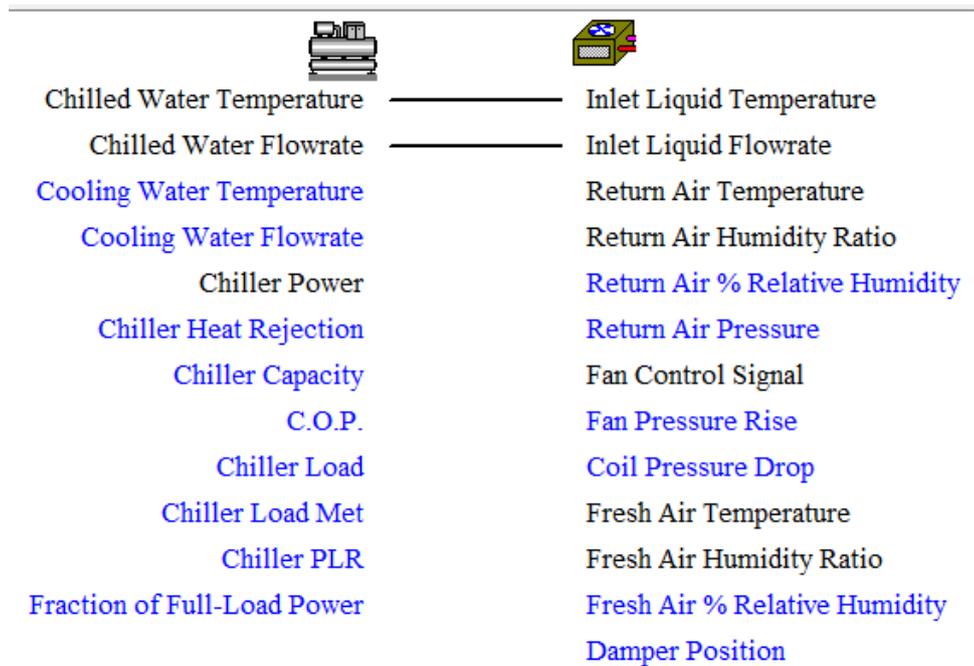


Figura 33. Conexión de parámetros entre el chiller y la manejadora [Elaboración propia]

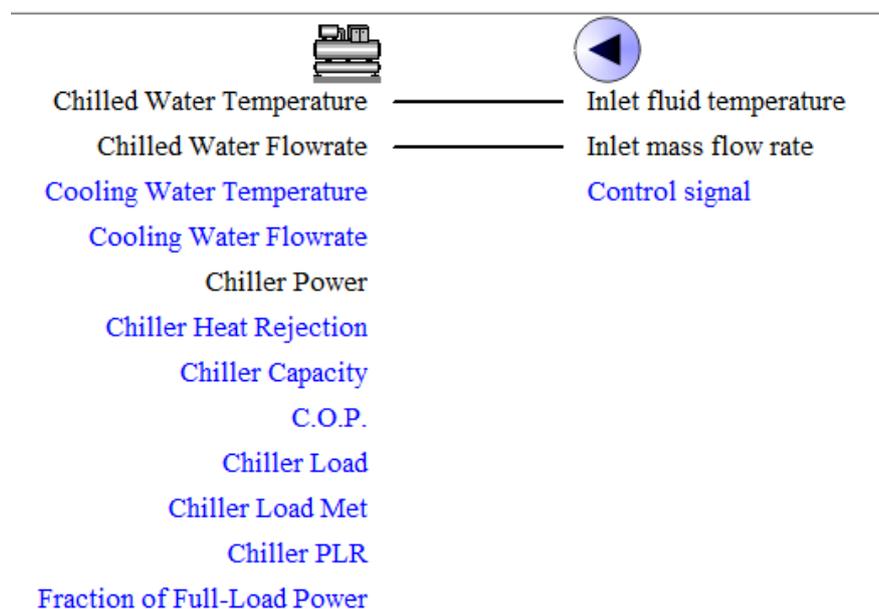


Figura 34. Conexión de parámetros entre el chiller y las bombas [Elaboración propia]

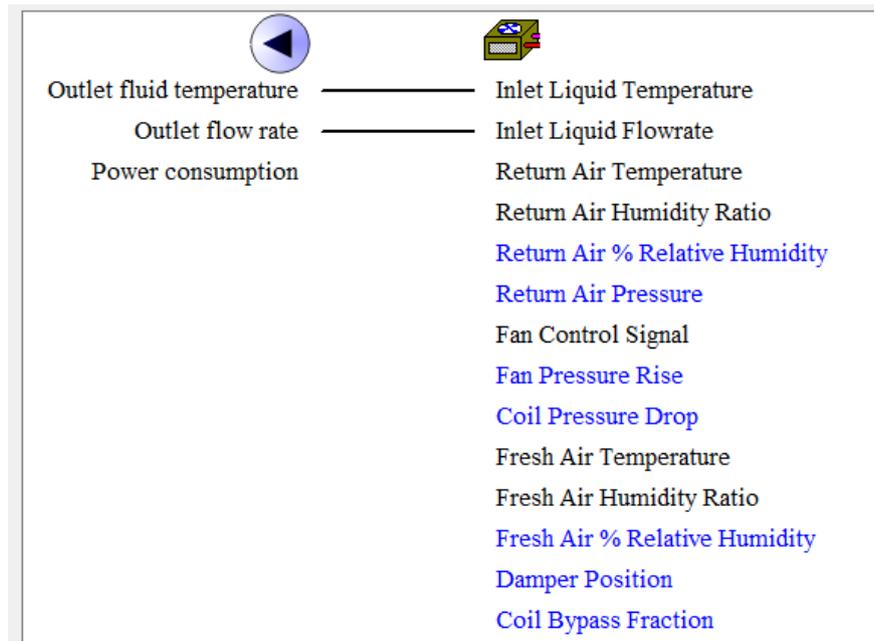


Figura 35 Conexión de parámetros entre las bombas y las manejadoras [Elaboración propia]

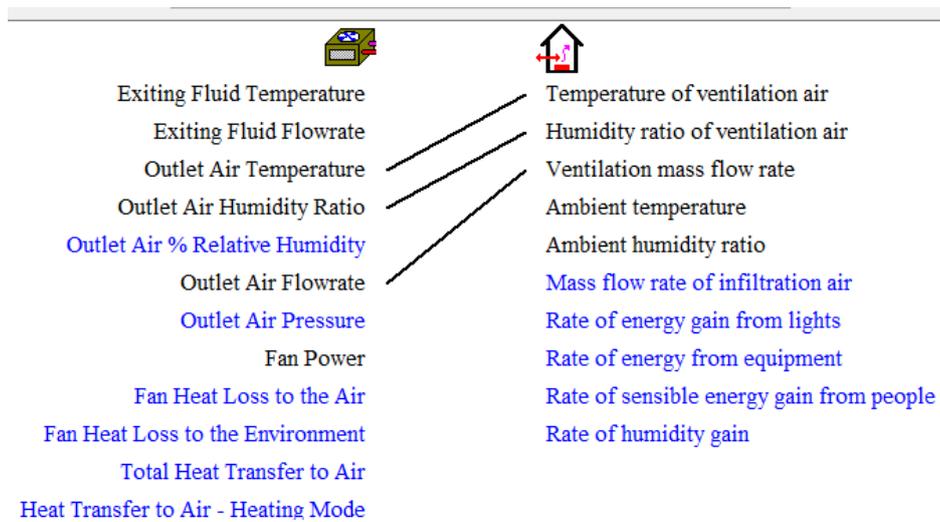


Figura 36. Conexión de parámetros entre la manejadora y el hospital [Elaboración propia]

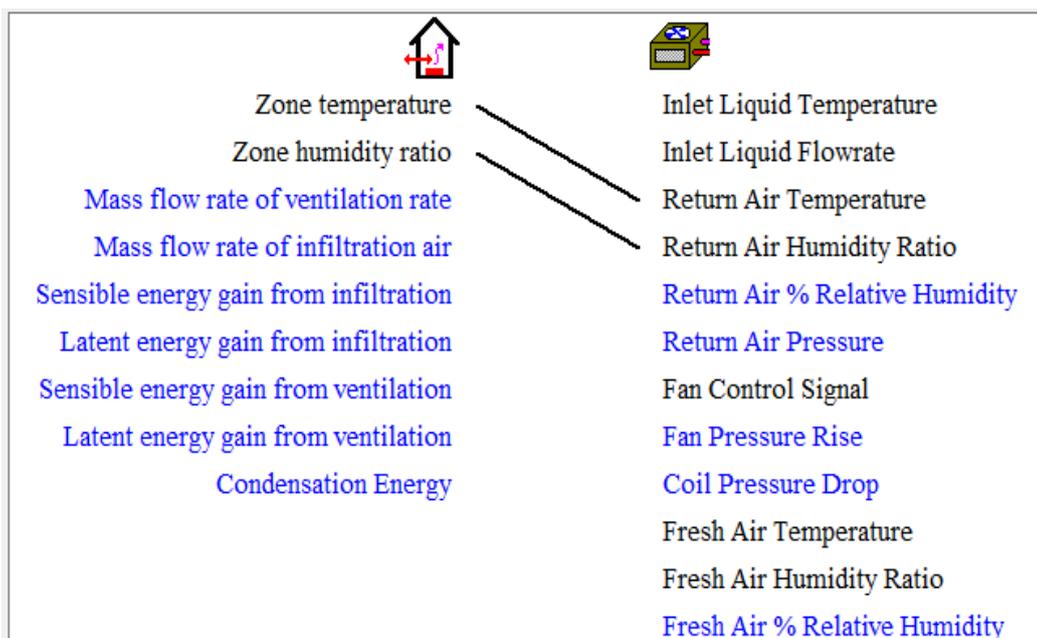


Figura 37. Conexión de parámetros entre el hospital y las manejadoras [Elaboración propia]

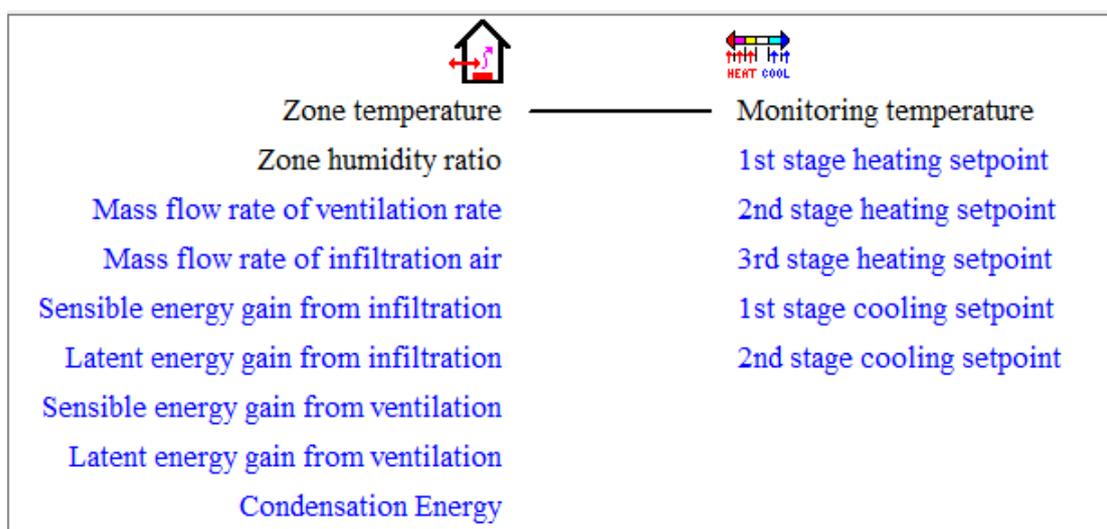


Figura 38. Conexión de parámetros entre el hospital y el termostato [Elaboración propia]

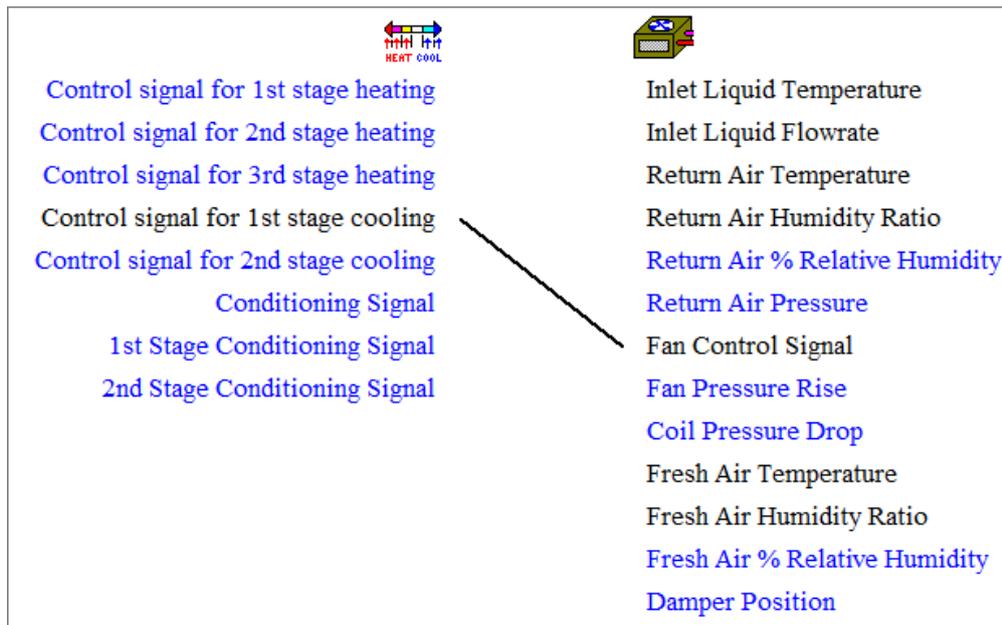


Figura 39. Conexión entre los parámetros del termostato con las manejadoras [Elaboración propia]

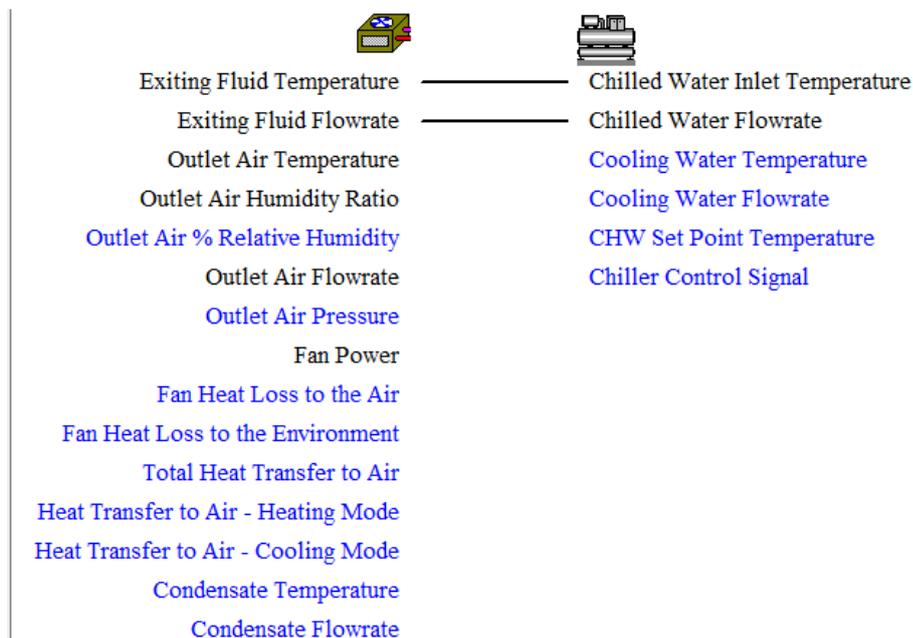


Figura 40. Conexión de parametros entre las manejadoras y el chiller [Elaboración propia]

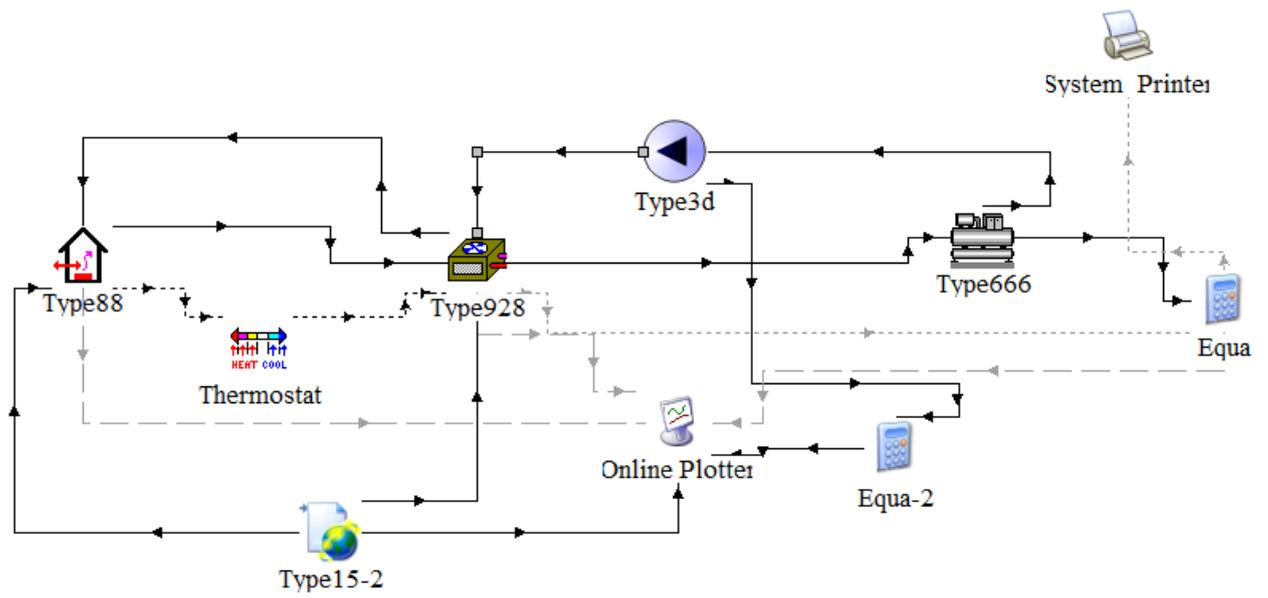


Figura 41. Simulación del sistema de climatización [Elaboración propia]

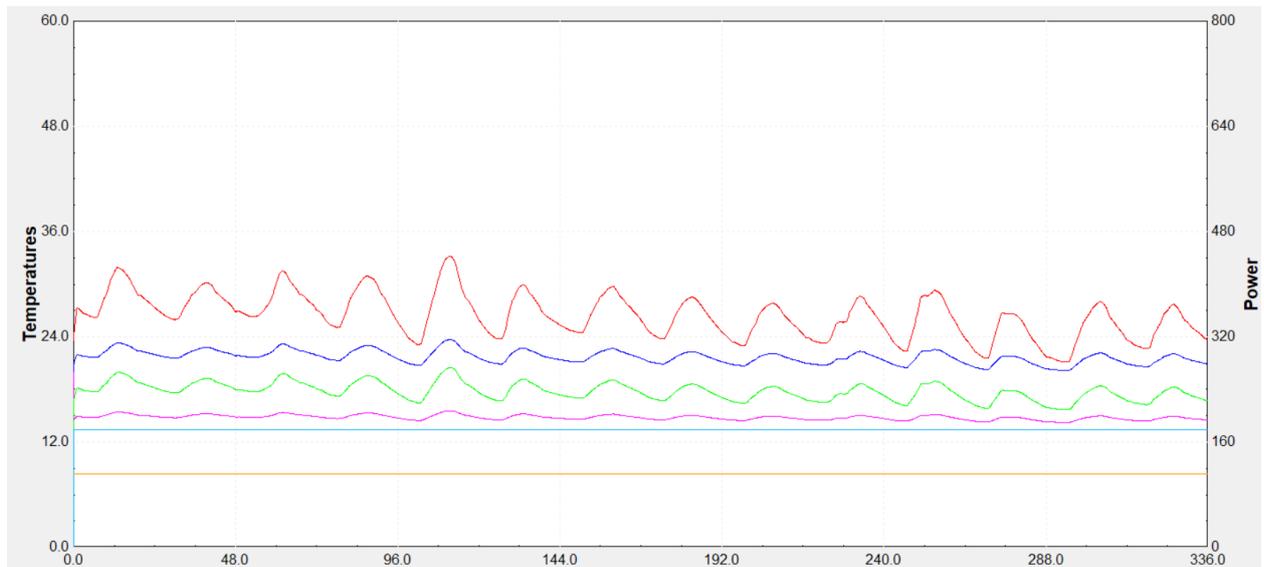


Figura 42. Graficos de temperatura dentro del hospital, aire de UMAS y Potencia de UMAS [Elaboración propia]

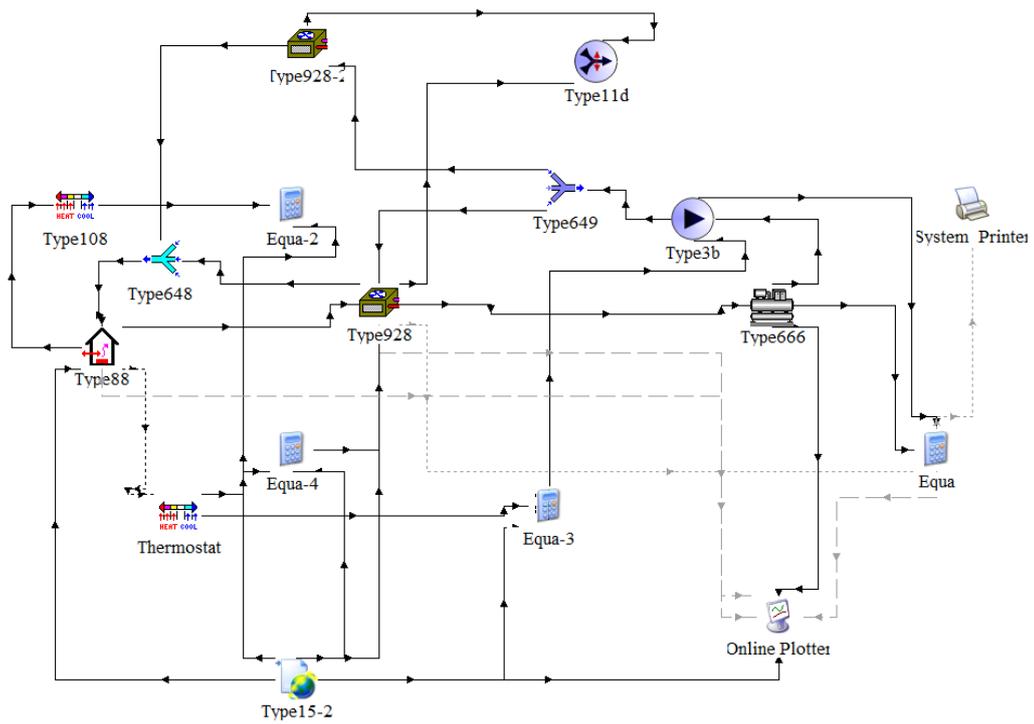


Figura 43. Simulación con elementos de control [Elaboración propia]

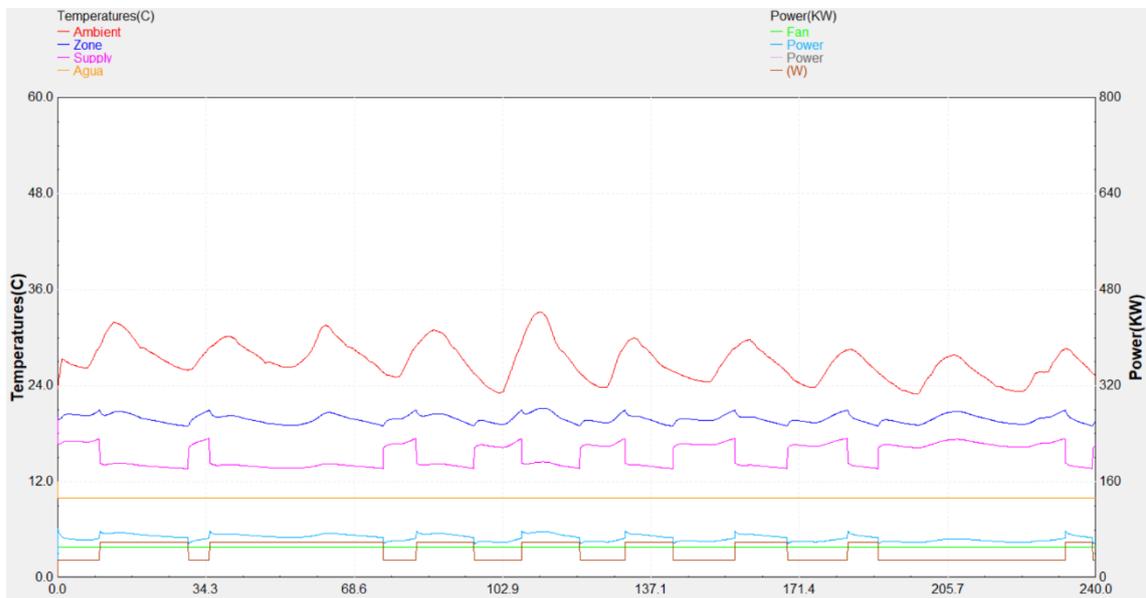


Figura 44. Simulación del sistema con control de flujo de agua [Elaboración propia]

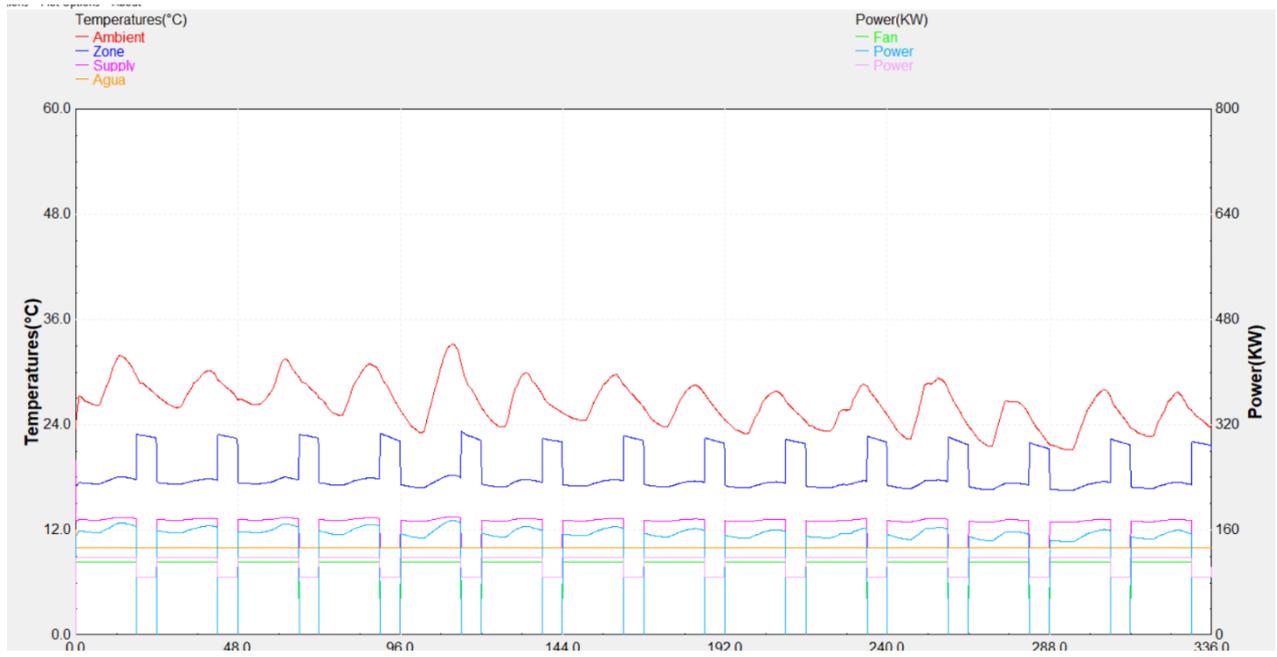


Figura 45 Gráficos de variación de potencia de manejadoras y bombas secundarias
 [Elaboración propia]