



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE INSTALACIONES E INGENIERÍA ENERGÉTICA

**TÍTULO: PROYECTO DE INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN EN
UN GRAN HOSPITAL SITUADO EN EL NORTE DE ESPAÑA**

**AUTOR: D. DROMANT SUÁREZ, PEDRO PABLO
TUTOR: D. FERNANDEZ, FRANCISCO JAVIER**

FECHA: JULIO, 2023



CONTENIDO

1.- Introducción	8
2.- Objetivos	9
3.- Descripción del edificio.....	10
3.1.- Envolvente térmica del edificio.	10
3.2.- Espacios y superficies.....	15
3.3.- Clasificación de los espacios y perfiles	19
4.- Requisitos de diseño.....	21
5.- Simulación energética.....	27
5.1.- Entradas de perfiles, cargas y ventilación por cada tipo de espacio.	28
5.2.- Resultados de la simulación energética.	29
5.3.- Cargas térmicas.....	32
6.- Sistemas de climatización.....	40
6.1.- Sistemas de climatización según el tipo de fluido caloportador.....	40
6.1.1.- Sistemas de expansión directa.....	40
6.1.2.- Sistemas de expansión indirecta.	42
6.2.- Sistemas de climatización según el fluido de distribución a los locales.....	44
6.2.1.- Sistemas todo-aire.	44
6.2.2.- Sistemas de climatización todo-agua	45
6.2.3.- Sistemas mixtos aire-agua.....	46
6.3.- Valoración de los sistemas.....	47
7.- Diseño de la ventilación	51
7.1.- Análisis de espacios y centralización de los sistemas de ventilación	51
7.1.1.- Agrupaciones en la planta -1	51
7.1.2.- Agrupaciones en la planta 0	52
7.1.3.- Agrupaciones en la planta 1	52
7.1.4.- Agrupaciones en la planta 2	53
7.1.5.- Agrupaciones en la planta 3	54
7.1.6.- Agrupaciones en la planta 4	55
7.2.- Diseño, dimensionamiento y cálculo de los conductos de ventilación.....	56
7.2.1.- Normas y requisitos en el diseño de conductos.	56



7.2.2.- Cálculo y dimensionamiento de conductos.....	58
7.3.- Niveles de filtración.....	68
7.4.- Rejillas, difusores y toberas.	71
7.5.- Diseño de las unidades de tratamiento de aire.	73
7.6.- Fancoils 4 tubos de alta presión.....	82
8.- Diseño y cálculos de los circuitos hidráulicos.....	87
8.1.- Generador térmico del hospital.....	88
8.2.- Diseño y cálculos de los circuitos hidráulicos.	93
8.2.1.- ICwin y diseño de la instalación hidráulica.	93
8.2.2.- Método de cálculo.....	96
8.2.3.- Resumen de los resultados.	98
8.2.4.- Diseño de los colectores de agua.	101
8.3.- Acumuladores de agua.....	105
8.4.- Selección de los circuladores de agua.....	106
9.- Agua caliente sanitaria.	109
9.1.- Distribución y caudales de cálculo.	109
9.2.- Estimación de la demanda, consumo punta y selección de la caldera.	117
9.3.- Bombas y depósito de presión.	120
10.- Esquema de principio.	123
11.- Conclusiones.....	130
12.- Bibliografía.....	131



Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Modelo 3D hospital Oviedo. Fuente: Proyecto de investigación Francisco Javier Fernández.	14
Ilustración 2. Zonas y superficies planta -1. Fuente: Elaboración propia.	15
Ilustración 3. Zonas y superficies planta 0. Fuente: Elaboración propia.	15
Ilustración 4. Zonas y superficies planta 1. Fuente: Elaboración propia.	15
Ilustración 5. Zonas y superficies planta 2. Fuente: Elaboración propia.	16
Ilustración 6. Zonas y superficies planta 3. Fuente: Elaboración propia.	16
Ilustración 7. Zonas y superficies planta 4. Fuente: Elaboración propia.	16
Ilustración 8. Ocupación, iluminación y equipamiento eléctrico de los quirófanos. Fuente: Proyecto de investigación Francisco Javier Fernández.	20
Ilustración 9. Resultados de la simulación energética.	29
Ilustración 10. Sistema de volumen de refrigerante variable (VRV). Fuente: catálogo Daikin.	41
Ilustración 11. Sistema de expansión indirecta.	43
Ilustración 12. Sistema de distribución todo aire. Fuente: Guía técnica IDAE.	45
Ilustración 13. Sistema de climatización mixto aire-agua. Fuente: Guía técnica IDAE.	46
Ilustración 14. Agrupaciones planta -1. Fuente: elaboración propia.	51
Ilustración 15. Agrupaciones planta 0. Fuente: elaboración propia.	52
Ilustración 16. Agrupaciones planta 1. Fuente: elaboración propia.	52
Ilustración 17. Agrupaciones planta 2. Fuente: elaboración propia.	53
Ilustración 18. Salas de quirófanos. Fuente: elaboración propia.	53
Ilustración 19. Agrupación planta 3. Fuente: elaboración propia.	54
Ilustración 20 Agrupaciones planta 4. Fuente: elaboración propia.	55
Ilustración 21. Esquema habitaciones. Fuente: elaboración propia.	55
Ilustración 22. Climaver Neto.	59
Ilustración 23. Distribución de conductos, flujos y rejillas en quirófanos. Fuente: elaboración propia.	60
Ilustración 24. Ventilación en quirófanos.	66



Ilustración 25. UTA Quirófanos 2.1 en planta intermedia. Fuente: elaboración propia.	66
Ilustración 26. Sistema de ventilación con recirculación oficinas mantenimiento. Fuente: elaboración propia.	67
Ilustración 27. Clases de filtros en hospitales. Fuente: Norma UNE 100713.....	68
Ilustración 28. Diseño UTA quirófanos. Fuente: Elaboración propia.	74
Ilustración 29. Especificaciones técnicas fancoils de alta presión FDW. Fuente: catálogo Daikin.....	82
Ilustración 30. Esquema básico del sistema generador. Fuente: elaboración propia.	89
Ilustración 31. Enfriadora Agua-agua modelo EWWH530VZPSA1.	92
Ilustración 32. ICwin, distribución hidráulica en Planta 1. Fuente: elaboración propia.	94
Ilustración 33. ICwin, fancoil de sala común vs fancoil primera necesidad. Fuente: elaboración propia.	95
Ilustración 34. ICwin bomba de los quirófanos. Fuente elaboración propia	95
Ilustración 35. Diseño completo del colector principal de frío. Fuente: elaboración propia.....	104
Ilustración 36. Sistema de acumulación de calor. Fuente: elaboración propia.	105
Ilustración 37. Curva característica circulador enfriadoras de salas comunes a colector principal.....	106
Ilustración 38. Cálculo de los caudales de aparatos de ACS y AFS. Fuente: Guía técnica IDAE para ACS.....	109
Ilustración 39. Esquema distribución de ACS y AFS en el hospital. Fuente: elaboración propia.	112
Ilustración 40. Caudal de cálculo para hospitales. Fuente: Tabla 01 CTE HS4.	113
Ilustración 41. Criterio de consumo de ACS para el diseño de instalaciones. Fuente: CTE tabla 3.1 HE4.	117
Ilustración 42. Esquema de principio, sala de máquinas. Fuente: elaboración propia.	123
Ilustración 43. Esquema de principio, instalaciones -1. Fuente: elaboración propia.	124
Ilustración 44. Esquema de principio, instalaciones 0. Fuente: elaboración propia.	125
Ilustración 45. Esquema de principio, instalaciones 1. Fuente: elaboración propia.	126
Ilustración 46. Esquema de principio, instalaciones 2. Fuente: elaboración propia.	127



Ilustración 47. Esquema de principio, instalaciones 3. Fuente: elaboración propia. 128

Ilustración 48. Esquema de principio, instalaciones 4. Fuente: elaboración propia. 129



Índice de tablas

Tabla 1. Cerramientos de la cubierta. Fuente: Elaboración propia.....	10
Tabla 2. Cerramientos fachada principal. Fuente: Elaboración propia.....	11
Tabla 3. Cerramientos forjado zona de instalaciones. Fuente: Elaboración propia ..	11
Tabla 4. Cerramientos forjado STD falso techo Fuente: Elaboración propia.....	11
Tabla 5. Cerramientos muro instalaciones en contacto con el terreno. Fuente: Elaboración propia.....	12
Tabla 6. Cerramientos particiones interiores quirófanos. Fuente: Elaboración propia.....	12
Tabla 7. Cerramientos particiones interiores STD. Fuente: Elaboración propia.....	12
Tabla 8. Cerramientos suelo instalaciones en contacto con el terreno. Fuente: Elaboración propia.....	13
Tabla 9. Resumen de todas las zonas térmicas. Fuente: elaboración propia.....	18
Tabla 10. Tipos de espacios en el hospital.....	19
Tabla 11. Tipos de perfiles horarios con temperatura y humedad relativa.....	20
Tabla 12. Exigencias en la climatización de un hospital. Fuente: Norma UNE 100713, adaptación propia.....	25
Tabla 13. Esquema de simulación Energy plus. Fuente: Energy plus.....	27
Tabla 14. Resumen cargas, perfiles y caudal de ventilación por cada tipo de espacio.....	28
Tabla 15. Cargas térmicas sensible y latente y Caudales de ventilación e impulsión en cada zona térmica. Fuente: elaboración propia.....	39
Tabla 16. Sistemas de climatización seleccionados en cada zona térmica. Fuente: elaboración propia.....	50
Tabla 17. Ratios de carga y ventilación. Fuente: elaboración propia.....	54
Tabla 18. Cálculos de los conductos en los quirófanos. Fuente: elaboración propia.....	65
Tabla 19. Agrupaciones en unidades de tratamiento de aire, clase de local y filtros. Fuente: elaboración propia.....	70
Tabla 20. Rejillas de impulsión, retorno, difusores y toberas en el sistema de ventilación. Fuente: elaboración propia.....	73
Tabla 21. Listado de unidades de tratamiento de aire con sus elementos. Fuente: elaboración propia.....	81
Tabla 22. Fancoils seleccionados y características. Fuente: elaboración propia.....	86



Tabla 23. Potencia proyectada en sistema de primera necesidad. Fuente: elaboración propia.....	91
Tabla 24. Potencia proyectada salas comunes del hospital. Fuente: elaboración propia.....	92
Tabla 25. Cálculos de los circuitos hidráulicos de frío. Fuente: elaboración propia.	99
Tabla 26. Cálculos de los circuitos hidráulicos de calor. Fuente: elaboración propia.	100
Tabla 27. Dimensionamiento de las tuberías principales. Fuente: elaboración propia.	101
Tabla 28. Cálculo diámetros de las tuberías de aspiración.	102
Tabla 29. Cálculo diámetros de los colectores.....	103
Tabla 30. Acumuladores de agua. Fuente: elaboración propia.	105
Tabla 31. Modelo de los circuladores. Fuente: elaboración propia.	108
Tabla 32. Listado de elementos consumidores de ACS y AFS del hospital. Fuente: elaboración propia.	111
Tabla 33. Dimensionado de tuberías de ACS y AFS con comprobación de velocidad en cada tramo. Fuente: elaboración propia.....	116
Tabla 34. Estimación demanda de ACS. Fuente: elaboración propia.....	117
Tabla 35. Consumo de energía y consumo punta. Fuente: elaboración propia.....	118
Tabla 36. Potencia de las calderas de ACS con acumulación. Fuente: elaboración propia.	119
Tabla 37. Presión de suministro. Fuente: elaboración propia.	121



1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la climatización de hospitales se ha convertido en un desafío importante debido a la complejidad de estos espacios y su demanda constante de confort térmico y calidad del aire. Los hospitales, además de ser centros de atención médica, son también grandes consumidores de energía, lo que plantea la necesidad de buscar soluciones eficientes y sostenibles para reducir su impacto ambiental.

Según datos estadísticos el consumo energético en hospitales representa el 5% del consumo mundial [1]. Estos centros requieren sistemas de climatización que operen las 24 horas del día, los 7 días de la semana, para mantener condiciones óptimas de temperatura y humedad, así como para garantizar la correcta ventilación y purificación del aire. Esto implica un uso intensivo de equipos de climatización y refrigeración, iluminación, sistemas de ventilación, entre otros, que contribuyen al alto consumo energético.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) aborda la climatización de un gran hospital con un enfoque centrado en la eficiencia energética. La adopción de medidas de eficiencia energética en cada detalle de la climatización es fundamental para reducir el consumo y optimizar el uso de recursos. Además, este proyecto se enmarca en el cambio de paradigma en el consumo energético, donde la electrificación juega un papel fundamental.

La electrificación de los sistemas de climatización hospitalaria permite el uso de tecnologías más eficientes y sostenibles, como sistemas de climatización basados en bombas de calor o enfriadores eléctricos, que reducen la dependencia de combustibles fósiles y disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se pueden implementar soluciones inteligentes de control y gestión energética para adaptar y optimizar el consumo en función de la demanda y los horarios, lo que contribuye aún más a reducir el consumo.

Este proyecto de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) busca evaluar y proponer soluciones técnicas y tecnológicas para mejorar la climatización de un gran hospital, considerando aspectos como la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental y el confort de los pacientes y el personal sanitario. Mediante la implementación de medidas de eficiencia energética en cada detalle de la climatización, se espera reducir significativamente el consumo energético del hospital, optimizar los recursos disponibles y establecer un modelo sostenible y replicable para otros centros de salud.



2.- OBJETIVOS

Partiendo de un proyecto de investigación encabezado por D. Francisco Javier Fernández, tutor y profesor titular de la Universidad de Oviedo, se ha realizado una simulación energética de un hospital ficticio ubicado en Oviedo utilizando el programa EnergyPlus. Esta simulación proporciona una base de datos previos necesarios para llevar a cabo el presente Trabajo de Fin de Máster (TFM). Los objetivos fundamentales del proyecto son:

1. Identificar y proponer soluciones eficientes energéticamente para el sistema de ventilación y climatización del hospital simulado, con el objetivo de reducir al máximo el consumo energético.
2. Elaborar planos y un esquema de principio detallado que reflejen las soluciones propuestas, considerando aspectos como el diseño de sistemas de climatización, distribución de aire, sistemas de ventilación y control energético.
3. Realizar un presupuesto detallado que refleje los costos asociados a la implementación de las soluciones propuestas, considerando materiales, equipos y mano de obra necesarios para la puesta en marcha del sistema de climatización.
4. Entregar un informe final que resuma los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas, además de proporcionar recomendaciones para futuras investigaciones y simulaciones energéticas que permitan comparar el consumo de un hospital con tecnologías eficientes frente a uno convencional.
5. Contribuir al avance en el campo de la eficiencia energética en hospitales, brindando una propuesta concreta y realista para mejorar el consumo energético en el sistema de ventilación y climatización, promoviendo la sostenibilidad y el ahorro de recursos.

En resumen, este TFM tiene como objetivo principal proporcionar una solución eficaz para el sistema de ventilación y climatización de un hospital ficticio ubicado en Oviedo, basándose en una simulación energética previa y utilizando los datos disponibles. Mediante la elaboración de planos detallados, presupuestos y un informe final, se busca brindar una propuesta concreta que promueva la eficiencia energética y la sostenibilidad en el ámbito hospitalario.



3.- DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio, situado en Oviedo, ha sido modelado con el programa OpenStudio para posteriormente ser simulado en EnergyPlus.

Se trata de un hospital de 6 plantas, todas ellas con unas dimensiones de $141 \times 41 \text{m}^2$ con un total de 87 zonas térmicas diferentes y cada una de ellas posee unas determinadas características en función de su superficie, el perfil de ocupación, los cerramientos, las ventanas, iluminación y la exigencia del caudal mínimo de ventilación estipulado en la norma de instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales UNE-100713 [2]. Cada una de las plantas dispone de un espacio intermedio para la instalación de los equipos de climatización.

3.1.- Envoltente térmica del edificio.

Una buena envoltente térmica en un hospital es crucial. Contribuye a la eficiencia energética, reduciendo el consumo de energía y optimizando los recursos. Además, garantiza condiciones térmicas adecuadas para el confort de los pacientes, controla la humedad y asegura una buena calidad del aire interior. Todo esto tiene un impacto positivo en la recuperación de los pacientes y en la salud del personal sanitario. Asimismo, una buena envoltente térmica genera ahorros económicos significativos a largo plazo.

A continuación, se describen los diferentes tipos de cerramientos utilizados en el hospital, junto con los materiales empleados y sus respectivas conductividades térmicas:

<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Baldosa hormigón</i>	35	1.2
<i>Poliestireno</i>	40	0.036
<i>poliéster</i>	3	0.038
<i>Poliestireno extrusionado</i>	10	0.029
<i>tela asfáltica</i>	7	0.04
<i>Mortero</i>	20	1.2
<i>Losa de hormigón</i>	300	1.2
<i>Yeso Laminado STD</i>	15	0.25

Tabla 1. Cerramientos de la cubierta. Fuente: Elaboración propia.



<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Gres porcelánico</i>	8	0.81
<i>Lana mineral</i>	50	0.03
<i>Enfoscado mortero</i>	5	1.2
<i>1/2 pie ladrillo perforado</i>	152.4	0.4
<i>Enfoscado mortero</i>	5	1.2
<i>Lana mineral</i>	60	0.03
<i>Cámara de aire vertical</i>	100	-
<i>Yeso laminado STD</i>	30	0.25

Tabla 2. Cerramientos fachada principal. Fuente: Elaboración propia.

<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Baldosa terrazo microgramo</i>	8	0.9
<i>Mortero</i>	30	0.12
<i>Losa de hormigón</i>	300	1.2
<i>Poliestireno extrusionado</i>	100	0.029
<i>Mortero</i>	20	1.2

Tabla 3. Cerramientos forjado zona de instalaciones. Fuente: Elaboración propia.

<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Baldosa terrazo microgramo</i>	8	1.5
<i>Mortero</i>	30	1.2
<i>Losa de hormigón</i>	300	1.2
<i>Yeso laminado STD</i>	15	0.25

Tabla 4. Cerramientos forjado STD falso techo Fuente: Elaboración propia.



<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Capa drenante polipropileno</i>	8	0.22
<i>Poliestireno extrusionado</i>	60	0.029
<i>Imprimación bituminosa</i>	8	0.23
<i>Losa de hormigón</i>	120	1.2
<i>Mortero</i>	30	1.2

Tabla 5. Cerramientos muro instalaciones en contacto con el terreno. Fuente: Elaboración propia.

<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Placa yeso reforzada</i>	8	0.25
<i>Yeso laminado STD</i>	15	0.25
<i>Lana mineral</i>	70	0.03
<i>Placa yeso reforzada</i>	8	0.25
<i>Cámara de aire vertical</i>	100	-
<i>Lana mineral</i>	70	0.03
<i>Yeso laminado STD</i>	15	0.25
<i>Placa de yeso reforzada</i>	8	0.25

Tabla 6. Cerramientos particiones interiores quirófanos. Fuente: Elaboración propia.

<i>Material</i>	Espesor (mm)	Conductividad (W/m*K)
<i>Yeso laminado STD</i>	30	0.25
<i>Lana mineral</i>	70	0.03
<i>Yeso laminado STD</i>	30	0.25

Tabla 7. Cerramientos particiones interiores STD. Fuente: Elaboración propia.



Suelo instalaciones en contacto con el terreno

<i>Material</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Conductividad (W/m*K)</i>
<i>Placa alveolada</i>	8	0.18
<i>Poliestireno extrusionado</i>	60	0.029
<i>Mortero</i>	50	1.2
<i>Mortero</i>	30	1.2

Tabla 8. Cerramientos suelo instalaciones en contacto con el terreno. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han definido los diferentes tipos de cerramientos, el siguiente paso consiste en modelar el edificio utilizando el programa FloorSpaceJS. Este software permite crear una representación tridimensional del hospital, proporcionando la geometría y las dimensiones.

Con FloorSpaceJS, se pueden diseñar y visualizar los elementos arquitectónicos del edificio, incluyendo paredes, ventanas, puertas y techos. La herramienta de modelado en 3D ofrece una interfaz intuitiva que facilita la creación de la estructura del hospital de manera detallada.

Al utilizar FloorSpaceJS para modelar el edificio, se obtiene una representación virtual que servirá como base para la posterior simulación energética en el programa EnergyPlus. Esto permitirá evaluar el comportamiento térmico del hospital, analizando aspectos como la carga térmica generada en los espacios y la distribución del flujo de aire.

La utilización de FloorSpaceJS en este proceso de modelado garantiza una representación visual realista y precisa del hospital, lo que facilita la comprensión y el análisis del edificio en su conjunto. Además, permite realizar modificaciones y ajustes antes de llevar a cabo la simulación energética, optimizando así el diseño y la eficiencia del sistema de ventilación y climatización.

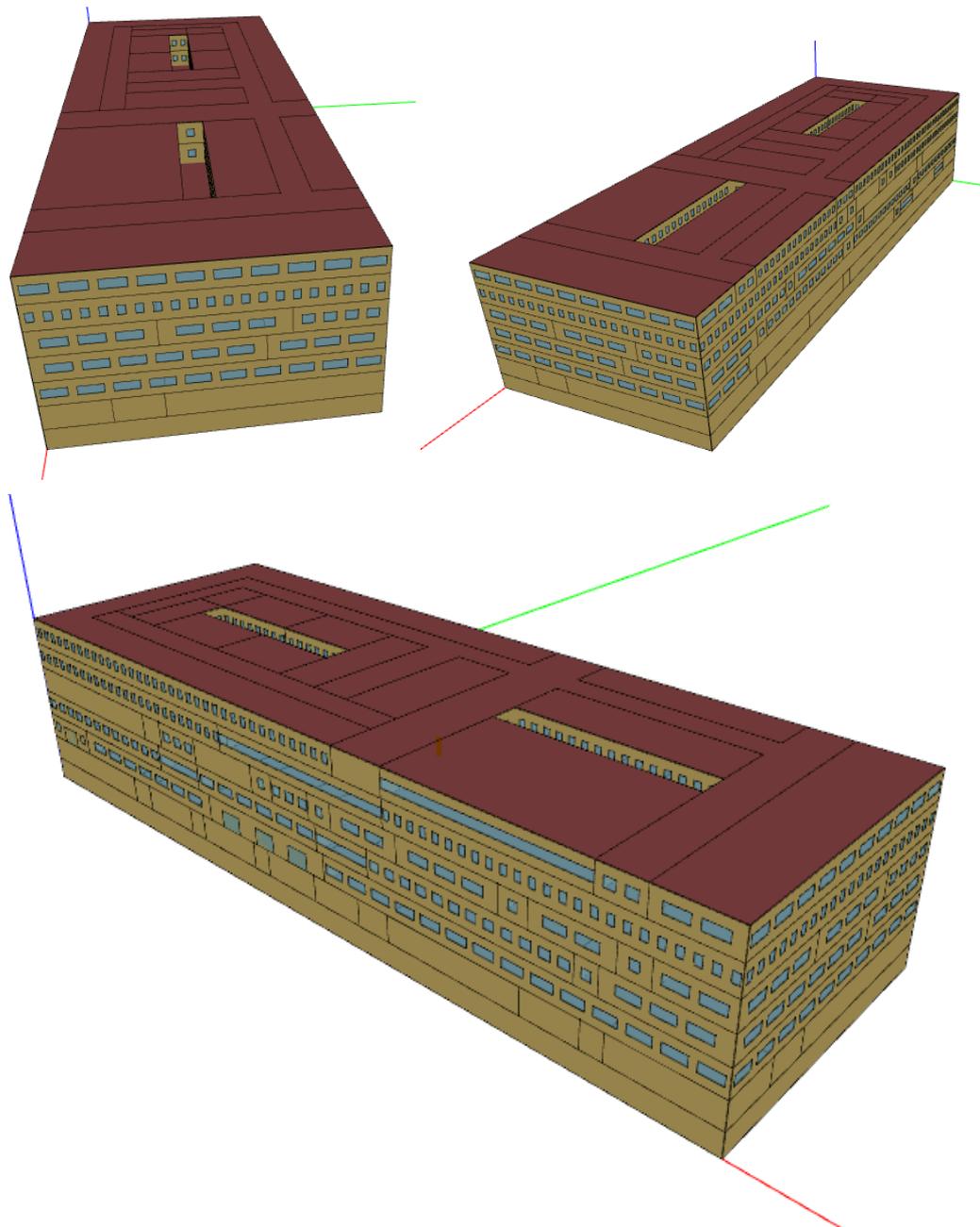


Ilustración 1. Modelo 3D hospital Oviedo. Fuente: Proyecto de investigación Francisco Javier Fernández.



3.2.- Espacios y superficies

Se describen las zonas y superficies del hospital, con el objetivo de proporcionar una visión general de la distribución y las características de cada área. Se traslada la información del FloorSpaceJS a formato CAD, como base para realizar el análisis previo a la ventilación y climatización del edificio.

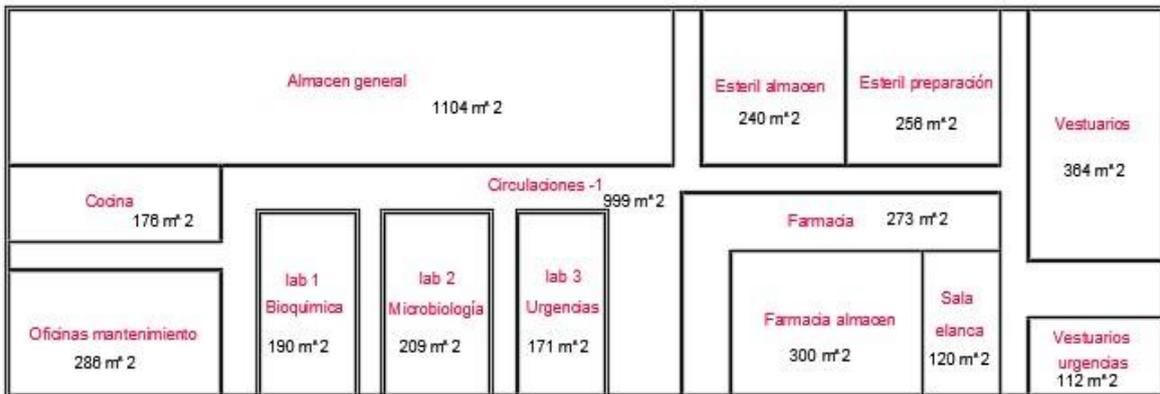


Ilustración 2. Zonas y superficies planta -1. Fuente: Elaboración propia.

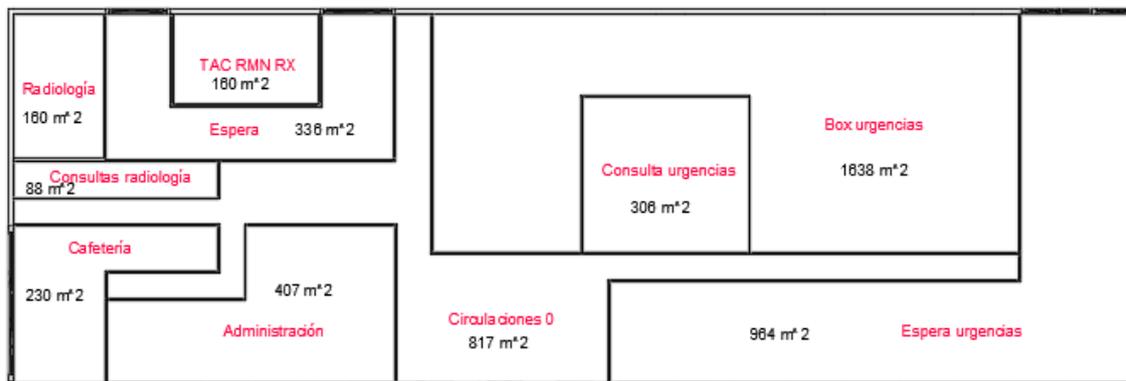


Ilustración 3. Zonas y superficies planta 0. Fuente: Elaboración propia.

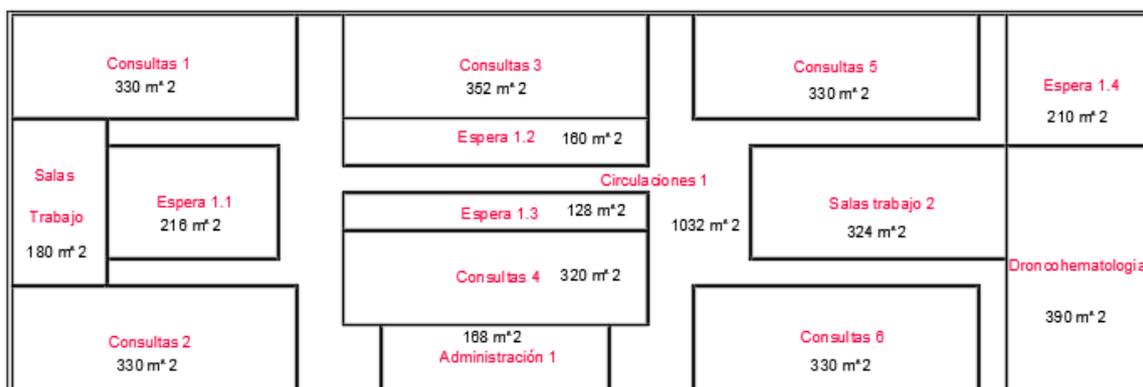


Ilustración 4. Zonas y superficies planta 1. Fuente: Elaboración propia.

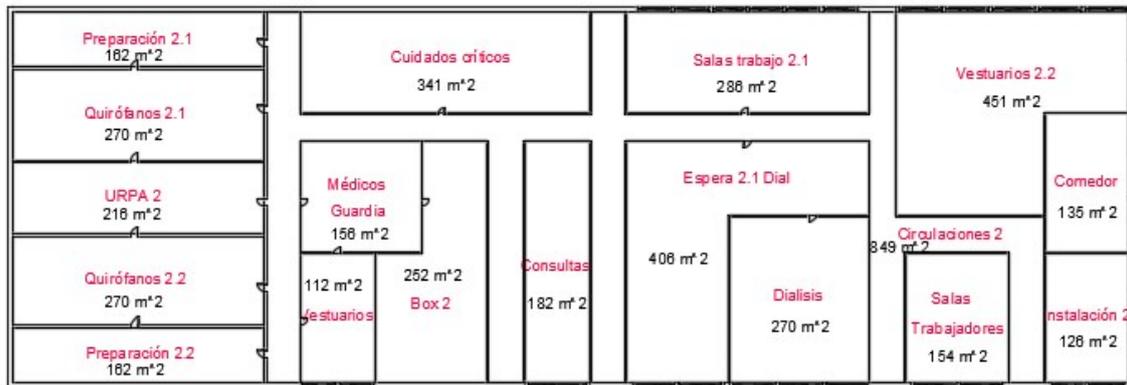


Ilustración 5. Zonas y superficies planta 2. Fuente: Elaboración propia.

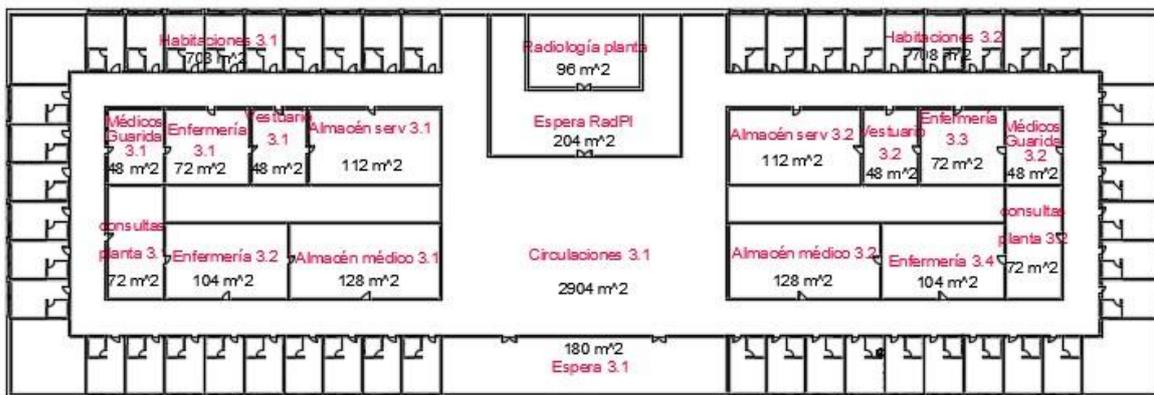


Ilustración 6. Zonas y superficies planta 3. Fuente: Elaboración propia.

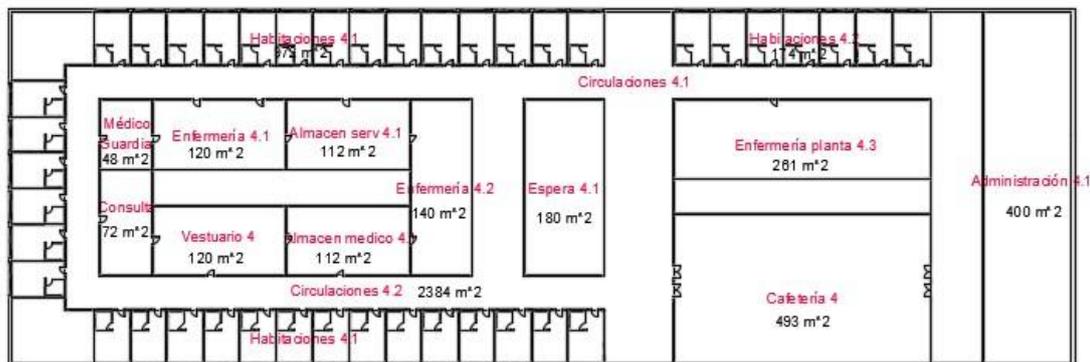


Ilustración 7. Zonas y superficies planta 4. Fuente: Elaboración propia.



El hospital, compuesto por seis plantas, presenta una configuración arquitectónica que abarca un total de 90 espacios diferentes. Cada uno de estos espacios tiene características únicas en términos de dimensiones, orientación y necesidades específicas.

La diversidad de los espacios del hospital abarca desde habitaciones de pacientes, salas de espera, quirófanos, áreas de diagnóstico por imagen, laboratorios, áreas administrativas, hasta zonas de almacenamiento y servicios técnicos. Cada espacio ha sido meticulosamente diseñado para cumplir con su función específica y brindar las condiciones adecuadas para los usuarios.

Se define zona térmica como el conjunto de espacios que se regulan de forma conjunta. Esta división en zonas térmicas coincide casi en su totalidad con los espacios del hospital, salvo por las uniones de las salas de radiología y TAC de la planta 0 y de los locales de espera de la planta 1.

Etiqueta	Zona	Etiqueta	Zona
ZT01	Vestuarios -1	ZT45	Consultas 2.1
ZT02	Estéril almacén -1	ZT46	Salas trabajo 2.1
ZT03	Estéril preparación -1	ZT47	Espera 2.1 dial
ZT04	Farmacia almacén médico -1	ZT48	Diálisis
ZT05	Farmacia sala blanca -1	ZT49	Vestuarios 2.2
ZT06	Farmacia -1	ZT50	Salas trabajo 2.2
ZT07	Lab3 Urgencias -1	ZT51	Comedor 2
ZT08	Lab2 microbiología -1	ZT52	Administración 2
ZT09	Lab1 bioquímica -1	ZT53	Circulaciones 2
ZT10	Almacén general	ZT54	Habitaciones 3.1
ZT12	Oficinas mantenimiento -1	ZT55	Habitaciones 3.2
ZT13	Circulaciones -1	ZT56	Almacén servicios 3.1
ZT14	Espera urgencias 0	ZT57	Vestuario 3.1
ZT15	Box urgencias	ZT58	Enfermería planta 3.1
ZT16	Consulta urgencias	ZT59	Médicos guardia 3.1
ZT17	Radiología y TAC 0	ZT60	Consulta planta 3.1
ZT18	Espera 0	ZT61	Enfermería planta 3.2
ZT19	Consultas radiología P0	ZT62	Almacén médico 3.1



Etiqueta	Zona	Etiqueta	Zona
ZT20	Administración	ZT63	Radiología planta 3
ZT21	Cafetería 0	ZT64	Espera RadPI 3
ZT22	Circulaciones 0	ZT65	Espera 3.1
ZT23	Consultas 1 P1	ZT66	Almacén servicios 3.2
ZT24	Consultas 2 P1	ZT67	Vestuario 3.2
ZT25	Consultas 3 P1	ZT68	Enfermería planta 3.3
ZT26	Consultas 4 P1	ZT69	Médicos guardia 3.2
ZT27	Consultas 5 P1	ZT70	Consultas planta 3.2
ZT28	Consultas 6 P1	ZT71	Enfermería planta 3.4
ZT29	Salas trabajo 1	ZT72	Almacén médico 3.2
ZT30	Espera 1.1 1.2 y 1.3	ZT73	Circulaciones 3.2 y 3.3
ZT31	Salas trabajo 2	ZT74	Habitaciones 4.1
ZT32	Espera 1.4	ZT75	Habitaciones 4.2
ZT33	HD oncohematológico 1	ZT76	Enfermería planta 4.2
ZT34	Administración 1	ZT77	Almacén servicios. 4.1
ZT35	Circulaciones 1	ZT78	Enfermería planta 4.1
ZT36	Quirófanos 2.1	ZT79	Médicos guardia 4.1
ZT37	Quirófanos 2.2	ZT80	Consulta planta 4.1
ZT38	Preparación 2.1	ZT81	Vestuarios 4.1
ZT39	Preparación 2.2	ZT82	Almacén médico 4.1
ZT40	URPA 2	ZT83	Espera 4.1
ZT41	Cuidados críticos P2	ZT84	Enfermería planta 4.3
ZT42	Médicos guardia	ZT85	Cafetería 4
ZT43	Vestuarios 2.1	ZT86	Administración 4.1
ZT44	Box 2	ZT87	Circulaciones 4.1 y 4.2

Tabla 9. Resumen de todas las zonas térmicas. Fuente: elaboración propia.



3.3.- Clasificación de los espacios y perfiles

Dentro de las 87 zonas térmicas del hospital, se identifican 20 tipos de espacios que comparten similitudes en su comportamiento térmico, perfil de ocupación, caudal de ventilación, equipos médicos e iluminación. Es decir, existe una relación entre el espacio y la carga térmica que se genera en su interior. Esta agrupación facilita la asignación de características comunes que se aplican de manera proporcional a la superficie de cada espacio.

La agrupación de los espacios térmicos en estos 20 tipos permite simplificar el proceso de simulación energética y el cálculo de las demandas de energía en el hospital.

1	Otros y circulaciones	5	Lab/farmacia	9	Radiología	13	Consultas	17	Cocina (no climat)
2	Almacenes	6	Lab urgencias	10	Espera Urgencias	14	Preparación Quirófanos	18	Oficinas
3	Vestuarios	7	Box	11	Espera	15	Quirófanos	19	Cafetería
4	Estéril	8	Hospital Día OH	12	Consultas 24h	16	Salas Trabajo	20	Habitaciones

Tabla 10. Tipos de espacios en el hospital.

Cada zona térmica dentro del hospital está diseñada para tener un nivel específico de ocupación a lo largo de la semana. Se reconoce que las necesidades de un almacén difieren de las de una sala de espera. Con el fin de realizar una simulación energética completa, se han establecido cinco tipos de perfiles horarios, asignando uno de ellos a cada tipo de espacio. Además, se han establecido temperaturas y humedades relativas de consigna para cada área, considerando las condiciones ideales para el confort y la funcionalidad de cada espacio. Al incorporar estos perfiles horarios, temperaturas y humedades relativas en la simulación, se obtienen resultados más precisos y representativos de las condiciones reales de cada zona del hospital. Esto permitirá evaluar y optimizar la eficiencia energética, el confort y el bienestar tanto de los pacientes como del personal en cada área específica del hospital.



ZT TIPO 1	24C 26C 55HR	24h 365 días
ZT TIPO 2	24C 26C 55HR	6-22h 365 días
ZT TIPO 3	24C 26C 55HR	6-22h L-V
ZT TIPO 4	22C 26C 55HR	6-19h L-V
ZT TIPO 5	22C 26C 55HR	6-22h 365 días

Tabla 11. Tipos de perfiles horarios con temperatura y humedad relativa.

En el proceso de simulación energética del hospital, se cargan los perfiles horarios en OpenStudio y se asigna a cada zona térmica el perfil correspondiente. Además, se asignan perfiles de ocupación y de iluminación acordes con las dimensiones y la finalidad de cada espacio. También se tiene en cuenta el número de equipos eléctricos presentes en cada sala, ya que estos generan una carga interna significativa que debe ser compensada por los sistemas de climatización.

Para ser aún más detallados, se considera la actividad metabólica de los ocupantes para estimar la carga latente y sensible que emitirán.

El conjunto de todos estos parámetros, tras realizar la simulación, permitirá conocer con detalle la carga interna generada que deberá ser compensada por los sistemas de climatización.

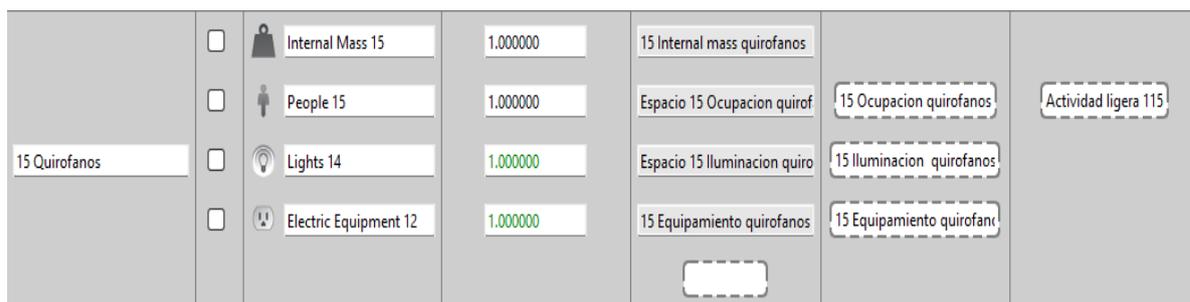


Ilustración 8. Ocupación, iluminación y equipamiento eléctrico de los quirófanos. Fuente: Proyecto de investigación Francisco Javier Fernández.



4.- REQUISITOS DE DISEÑO

La normativa española *UNE 100713*, titulada "Instalaciones de Acondicionamiento de Aire en Hospitales" [2], establece los requisitos técnicos y las recomendaciones para el diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de climatización en hospitales. Esta normativa tiene como objetivo principal garantizar un ambiente interior saludable, confortable y seguro para pacientes, personal médico y visitantes. Estas exigencias se resumen en los siguientes aspectos:

Ventilación: La norma establece caudales mínimos de ventilación para cada tipo de espacio dentro del hospital, considerando el número de ocupantes, la actividad realizada y el nivel de contaminantes generados. Se deben cumplir con los caudales mínimos para asegurar una adecuada renovación del aire.

Recirculación y filtración: La normativa establece que la recirculación del aire en los sistemas de climatización debe evitarse en áreas donde se encuentren pacientes inmunodeprimidos o áreas críticas, como los quirófanos. Además, se establecen requisitos de filtración para retener partículas y contaminantes presentes en el aire.

ACS (agua caliente sanitaria): Se establecen requisitos para el suministro de agua caliente sanitaria en términos de temperatura, caudal y calidad bacteriológica. La normativa busca garantizar el suministro de agua caliente segura y adecuada para los diferentes usos en el hospital.

Recuperación de calor: Se fomenta la utilización de sistemas de recuperación de calor en los sistemas de ventilación y climatización para mejorar la eficiencia energética. Estos sistemas permiten aprovechar el calor residual del aire de extracción para precalentar el aire de entrada, reduciendo así la demanda de energía. El Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE) [3], obliga instalar recuperadores de calor en todo sistema de ventilación cuyo caudal sea superior a $0,5 \frac{m^3}{s}$

Control de temperatura y humedad: La normativa establece los rangos de temperatura y humedad relativa recomendados para diferentes áreas dentro del hospital, teniendo en cuenta las necesidades de confort y los requerimientos específicos de ciertos espacios sensibles, como los quirófanos o las unidades de cuidados intensivos.

Ruido: La norma también aborda el control del ruido generado por los sistemas de climatización, estableciendo niveles máximos permitidos para garantizar un entorno tranquilo y propicio para la recuperación de los pacientes.

Todas estas exigencias se resumen en la tabla 5 de la norma "exigencias en la climatización de un hospital" [2].



A continuación, se inserta una tabla resumen de los requisitos mínimos exigidos para un proyecto de climatización en hospitales. Se recomienda que todos los valores de ventilación sean ligeramente superiores a los mostrados en la siguiente tabla.

1	2	3	4	5	6	7	8
	Área de hospital	Clase de local	Caudal mínimo de ventilación $\frac{m^3}{h \cdot m^2}$	Temperatura min. (°C)	Temperatura a máx. (°C)	HR %	Presión sonora máxima (dB)
1. Área de exploración y tratamiento							
1.1	Quirófanos						
1.1.1	Quirófanos tipo A y B	I	$\frac{*2400m^3}{h}$ * <i>quirófano</i>	22	26	45-55	40
1.1.2	Pasillos, almacén material estéril, entrada y salida	I	15	22	26	45-55	40
1.1.3	Sala despertar	I	15	22	26	45-55	35
1.1.4	Otros locales	I	15	22	26	45-55	40
1.2	Partos						
1.2.1	Paritorios	I	15	24	26	45-55	40
1.2.2	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
1.3	endoscopia						
1.3.1	Sala de exploración (astroscopia, toroscopia)	I	30	24	26	45-55	40
1.3.2	Sala de exploración (aséptico y séptico)	II	10	24	26	45-55	40
1.3.2	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
1.4	Fisioterapia						



1	2	3	4	5	6	7	8
	Área de hospital	Clase de local	Caudal mínimo de ventilación $\frac{m^3}{h \cdot m^2}$	Temperatura min. (°C)	Temperatura a máx. (°C)	HR %	Presión sonora máxima (dB)
1.4.1	Bañeras, baños de rehabilitación	II	100%				40
1.4.2	Pasillos	II	10				45
1.5	Otras áreas						
1.5.1	Salas para pequeñas exploraciones	II	10	22	26	45-55	40
1.5.2	Salas despertar fuera del área del quirófano	II	10	22	26	45-55	35
1.5.3	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
1.5.4	Rayos X	II	10	24	26	45-55	40
1.5.5	Salas de exploración	II	10	24	26	45-55	40
2. Área de cuidados intensivos							
2.1	Medicina intensiva						
2.1.1	Habitaciones con camas, incluso eventual	II	10	24	26	45-55	35
2.1.1.1	Habitaciones para pacientes con riesgo de contraer infecciones	I	30	24	26	45-55	35
2.1.1.2	Para el resto de pacientes	II	10	24	26	45-55	35
2.1.2	Sala de urgencias	II	15	24	26	45-55	40
2.1.3	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40



1	2	3	4	5	6	7	8
	Área de hospital	Clase de local	Caudal mínimo de ventilación $\frac{m^3}{h \cdot m^2}$	Temperatura min. (°C)	Temperatura a máx. (°C)	HR %	Presión sonora máxima (dB)
2.2.	Cuidados especiales						
2.2.1	Habitaciones con camas	I	30	24	26	45-55	25
2.2.2	Sala de urgencias	I	30	24	26	45-55	40
2.2.3	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
2.3	Cuidados de enfermos infecciosos						
2.3.1	Habitaciones con cama, incluso eventual antesala	II	10	24	26	45-55	35
2.3.2	Otros locales y pasillos	II	10	24	26	45-55	40
2.4	Cuidados prematuros						
2.4.1	Habitaciones con camas	II	10	24	26	45-55	35
2.4.2	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
2.5	Cuidados recién nacidos						
2.5.1	Habitaciones con camas	II	10	24	26	45-55	35
2.5.2	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
2.6	Otras áreas	II	10	24	26	45-55	40
2.6.1	Habitaciones con camas para hospitalización	II	10	24	26	45-55	35



1	2	3	4	5	6	7	8
	Área de hospital	Clase de local	Caudal mínimo de ventilación $\frac{m^3}{h \cdot m^2}$	Temperatura min. (°C)	Temperatura a máx. (°C)	HR %	Presión sonora máxima (dB)
3. Zonas de suministro y eliminación.							
3.1	Farmacia						
3.1.1	Locales estériles	I	10	24	26		40
3.1.2	Pasillos	II	10	24	26		40
3.2	Esterilización						
3.2.1	Parte sucia, parte limpia	II	Depende de la cantidad de contaminantes	24	26		40
3.2.2	Lado limpio después de esterilización, almacén de material estéril	I	Depende de la cantidad de contaminantes	24	26		40
3.3	Otras áreas (cocina, lavandería, laboratorios, vestuarios, etc)	En otras áreas no propiamente hospitalarias, las instalaciones cumplen y se ajustan a las normas en vigor para cada tipo de local.					

Tabla 12. Exigencias en la climatización de un hospital. Fuente: Norma UNE 100713, adaptación propia.

En el proyecto de ventilación y climatización del hospital, el dimensionado de tuberías de agua y conductos de ventilación se realiza de acuerdo con las normativas y estándares establecidos, como el Código Técnico de la Edificación (CTE) [4] y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [3]. Estas regulaciones proporcionan los criterios técnicos necesarios para garantizar un diseño adecuado de las instalaciones.

Además, se presta especial atención a las exigencias de la norma UNE 100713 [2], que establece requisitos específicos para las instalaciones de acondicionamiento térmico en hospitales. En ciertas zonas del hospital, como quirófanos, salas de cuidados intensivos o áreas sensibles, se aplican medidas adicionales y requisitos más estrictos en términos de calidad del aire, control de temperatura y humedad, y filtración.



El cumplimiento de los cálculos y dimensionamientos se justifica mediante la documentación técnica correspondiente, donde se detallan los criterios utilizados, los datos de diseño y las normativas aplicadas. Asimismo, se incluyen los resultados de los cálculos y las comprobaciones realizadas para demostrar que las tuberías de agua y los conductos de ventilación cumplen con los estándares de diseño y funcionamiento establecidos.

Al seguir las directrices y regulaciones pertinentes, se asegura un adecuado funcionamiento de las instalaciones y se minimizan los riesgos asociados a la calidad del aire y al confort térmico en el entorno hospitalario.



5.- SIMULACIÓN ENERGÉTICA

EnergyPlus es el motor de cálculo para la simulación energética de edificios que utiliza los datos climáticos de Oviedo a lo largo del año para calcular las cargas térmicas en cada una de las 87 zonas térmicas del hospital descritas en OpenStudio. A continuación, se describen los procesos de cálculo.

Definición de las entradas en OpenStudio: se establecen las características del edificio, como geometría, dimensiones, materiales de construcción, cerramientos, sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), iluminación y ocupación.

Generación de la descripción del edificio: OpenStudio genera un archivo de descripción del edificio en el formato de EnergyPlus (.idf). Este archivo contiene toda la información necesaria para realizar la simulación energética.

Preprocesamiento: EnergyPlus realiza un preprocesamiento del archivo .idf para verificar la consistencia de los datos y realizar ajustes necesarios antes de la simulación.

Cálculo de cargas térmicas: EnergyPlus realiza el cálculo de las cargas térmicas en cada hora del año para cada zona térmica del hospital. Esto implica tener en cuenta factores como la radiación solar, la ganancia de calor a través de los cerramientos, la ventilación, la iluminación, la ocupación y los sistemas HVAC.

Recuperación de calor entálpica: Si se ha configurado la recuperación de calor entálpica en los sistemas HVAC, EnergyPlus calcula la transferencia de calor y humedad entre los flujos de aire de suministro y retorno, teniendo en cuenta la eficiencia de recuperación establecida (70% para recuperación sensible y 65% para latente).

Resultados de salida: Como salida, EnergyPlus proporciona información detallada sobre la temperatura, humedad relativa, carga sensible y latente de refrigeración, carga sensible de calefacción y calor y frío recuperado para cada hora del año en cada zona térmica del hospital. Estos resultados permiten evaluar el desempeño energético y térmico del edificio a lo largo del año.

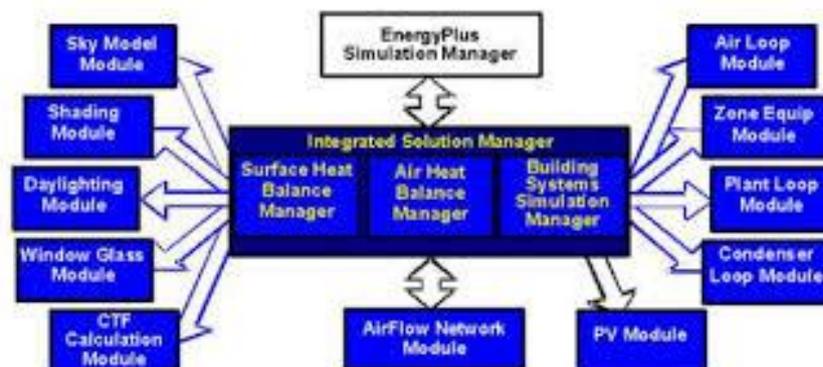


Tabla 13. Esquema de simulación Energy plus. Fuente: Energy plus.



5.1.- Entradas de perfiles, cargas y ventilación por cada tipo de espacio.

Tipo de espacio	Caudal nominal (m ³ /s*m ²)	Intensidad iluminación (W/m ²)	Ocupación (m ² /p)	Actividad metabólica (W/p)	Intensidad Equipamiento (W/m ²)	Masa interna (kg/m ²)
Otros y circulaciones	0.000625	5.5	20	160	0	5
Almacenes	0.0002	5.5	40	115	0	30
Vestuarios	*5 renovaciones/h	5.5	3	115	0	30
Estéril	0.0028	5.5	5	115	50	20
Lab/farmacia	0.0028	5.5	5	115	35	30
Lab urgencias	0.0028	5.5	5	115	35	30
Box	0.008333	10	23	85	20	40
Hospital Día OH	0.0028	6.5	9	115	10	40
Radiología	0.0028	10	15	115	105	50
Espera Urgencias	0.0028	4	7	100	15	20
Espera	0.0028	4	5	100	15	20
Consultas 24h	0.0028	13	9	115	20	30
Consultas	0.0028	13	9	115	20	30
Preparación Quirófanos	0.004167	6.5	20	115	10	30
Quirófanos	20 renovaciones/h	22	9	115	25	30
Salas Trabajo	0.0028	5.5	5	115	10	30
Oficinas	0.002	10	6	115	35	20
Cafetería	0.0013	5.5	6	115	20	20
Habitaciones	0.0028	5.5	9	100	15	40

Tabla 14. Resumen cargas, perfiles y caudal de ventilación por cada tipo de espacio.



5.2.- Resultados de la simulación energética.

Al realizar la simulación del edificio, se obtiene una hoja Excel con 8760 filas, donde se obtienen las cargas térmicas máximas horarias a lo largo de todo el año para los datos climáticos de Oviedo, además del caudal de aire que es necesario impulsar dentro de los recintos para cumplir con el caudal mínimo de ventilación exigido y compensar las cargas que se generan en el interior.

Estas cargas térmicas proporcionan información sobre las demandas de calefacción y refrigeración del edificio en diferentes momentos del año, cumpliendo con las condiciones de temperatura de impulsión máxima (35°C) y mínima (13°C), lo que ayuda a comprender las necesidades energéticas y diseñar sistemas de climatización que se adapten a las necesidades reales, sin sobredimensionamientos innecesarios.

ZT02	ZT02	ZT02												
IDEAL	IDEAL	IDEAL												
LOAD AIR	LOAD AIR	LOAD AIR												
SYSTEM:Z	SYSTEM:Z	SYSTEM:Z												
one Ideal	one Ideal	one Ideal												
Loads	Loads	Loads												
Supply Air	Supply Air	Supply Air												
Total	Total	Total												
Heating	Cooling	Cooling	Cooling	Heating	Cooling	Cooling	Cooling	Heating	Cooling	Cooling	Cooling	Cooling	Density	Volume
Energy	Volume	Flow Rate												
[J](Hourly)	Flow Rate	[m3/s](Hou												
0	14905659	0	14305659	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.430207
0	14954702	0	14354702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.429084
0	14898117	0	14898117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.428252
0	14679744	0	14679744	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.427637
0	14372917	0	14372917	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.427237
0	29274261	0	29274261	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.703107
0	29070867	0	29070867	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.703988
0	40937160	0	40937160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.923345
0	40806485	1667850	42474335	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.924648
0	40943264	3281343	44224606	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.92607
0	41439279	3488627	44927906	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.927265
0	42220443	3632569	45853011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.928125
0	43264896	3751885	47016781	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.928778
0	44260915	3848563	48109479	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.929312
0	44969288	4008318	48977606	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.929755

Ilustración 9. Resultados de la simulación energética.

A continuación, se describen las variables de salida:

- Supply Air total heating Energy: carga total de calefacción. $(\frac{J}{h})$
- Supply Air Sensible Cooling Energy: carga sensible de refrigeración. $(\frac{J}{h})$
- Supply Air Latent Cooling Energy: carga latente de refrigeración. $(\frac{J}{h})$
- Supply Air Total Cooling Energy: carga total de refrigeración. $(\frac{J}{h})$
- Outdoor Air Total Heating Energy: carga de calefacción por ventilación. $(\frac{J}{h})$
- Outdoor Air Total Sensible Cooling Energy: carga sensible de refrigeración por ventilación. $(\frac{J}{h})$
- Outdoor Air Latent Cooling Energy: carga latente de refrigeración por ventilación. $(\frac{J}{h})$



- Outdoor Air Total Cooling Energy: carga total de refrigeración por ventilación. $(\frac{J}{h})$
- Heat Recovery Total Heating: carga total de calefacción recuperada. $(\frac{J}{h})$
- Heat Recovery Sensible Cooling: carga sensible de refrigeración recuperada. $(\frac{J}{h})$
- Heat Recovery Latent Cooling: carga latente de refrigeración recuperada. $(\frac{J}{h})$
- Heat Recover Total Cooling: carga total de refrigeración recuperada. $(\frac{J}{h})$
- Outdoor Air Standar Density Volume Flow Rate: Caudal de ventilación $(\frac{m^3}{s})$
- Supply Air Standar Density Volume Flow Rate: Caudal de impulsión $(\frac{m^3}{s})$

Separar la carga sensible y la carga latente de refrigeración en un proyecto de climatización es importante por varias razones. La carga sensible se refiere al calor que debe ser eliminado para mantener la temperatura del espacio, mientras que la carga latente se refiere a la humedad que debe ser eliminada para mantener la adecuada. Al separar estas dos cargas, se pueden diseñar sistemas de climatización con equipos de refrigeración y deshumidificación adecuados.

Los equipos de climatización deben compensar la carga interna generada en los locales además de la carga que genera la propia ventilación, debido a las condiciones exteriores.

La física empleada en el proceso de cálculo se resume en las siguientes expresiones:

$$Q_{Slocal} = ma_{imp} * (Cp_{aire} + w_{imp} * Cp_v) * (t_{int} - t_{imp}) \quad (5.2.1)$$

$$Q_{llocal} = ma_{imp} * (\lambda_{lv}^o + Cp_v * t_{int} - Cp_l * t_w) * (w_{int} - w_{imp}) \quad (5.2.2)$$

$$Q_{Sventilación} = ma_{vent} * (Cp_{aire} + w_{int} * Cp_v) * (t_{ext} - t_{int}) \quad (5.2.3)$$

$$Q_{lventilación} = ma_{vent} * (\lambda_{lv}^o + Cp_v * t_{ext} - Cp_l * t_w) * (w_{ext} - w_{int}) \quad (5.2.4)$$

$$Q_{Srecuperación} = ma_{vent} * (Cp_{aire} + w_{int} * Cp_v) * (t_{ext} - t_{int}) * \epsilon_{rs} \quad (5.2.5)$$

$$Q_{lrecuperación} = ma_{vent} * (\lambda_{lv}^o + Cp_v * t_{ext} - Cp_l * t_w) * (w_{ext} - w_{int}) * \epsilon_{rl} \quad (5.2.6)$$



Combinando las ecuaciones descritas, se obtienen las potencias que deben aportar los equipos de climatización para mantener las condiciones ideales en el interior de cada espacio térmico del hospital. En todo proceso de cálculo se limita la temperatura de impulsión a 13 °C en invierno y 50 °C en verano.

$$QT_{bat} = ma_{imp} * (Cp_{aire} + w_{imp} * Cp_v) * (t_{int} - t_{imp}) + ma_{imp} * (\lambda_{lv}^o + Cp_v * t_{int} - Cp_l * t_w) * (w_{int} - w_{imp}) + ma_{vent} * (Cp_{aire} + w_{int} * Cp_v) * (t_{ext} - t_{int}) * (1 - \epsilon_{rs}) + ma_{vent} * (\lambda_{lv}^o + Cp_v * t_{ext} - Cp_l * t_w) * (w_{ext} - w_{int}) * (1 - \epsilon_{rl}) \quad (5.2.7)$$

ma_{imp} : flujo másico de aire en la impulsión del recinto a climatizar. $[\frac{kg}{s}]$

ma_{vent} : flujo másico de aire en para ventilar el local. $[\frac{kg}{s}]$

Cp_{aire} : capacidad calorífica del aire húmedo $[\frac{kJ}{kg * K}]$

λ_{lv}^o : calor latente de vaporización del agua $[\frac{kJ}{kg}]$

Cp_v : capacidad calorífica del vapor de agua $[\frac{kJ}{kg * K}]$

W_{imp} : humedad absoluta del aire húmedo en la impulsión del recinto $[\frac{kg_w}{kg_{aireseco}}]$

W_{int} : humedad absoluta del aire húmedo en el interior del recinto $[\frac{kg_w}{kg_{aireseco}}]$

W_{ext} : humedad absoluta del aire húmedo en las condiciones exteriores $[\frac{kg_w}{kg_{aireseco}}]$

T_{imp} : temperatura en la impulsión para mantener las condiciones interiores $[^{\circ}C]$

T_{int} : temperatura de confort en el interior del recinto $[^{\circ}C]$

T_{ext} : temperatura en las condiciones exteriores $[^{\circ}C]$

$\epsilon_{rs}, \epsilon_{rl}$: eficiencia de recuperación sensible y latente [70 % sensible y 65 % latente]

Todas estas variables cambian durante el transcurso de la simulación en función del registro de las condiciones exteriores en Oviedo y por las condiciones interiores requeridas en cada recinto (ocupación, iluminación, ventilación, equipos, etc).



5.3.- Cargas térmicas

Para iniciar el proyecto de climatización, se procede a analizar los resultados obtenidos de la simulación energética. Utilizando la herramienta Microsoft Excel, se realiza un procesamiento de estos datos con el objetivo de identificar los valores máximos de carga de calefacción y refrigeración en cada uno de los recintos. Esto permite determinar la situación más desfavorable en términos de demanda térmica, y así establecer el punto de diseño para los equipos de climatización.

Es importante destacar que los resultados de carga están expresados en julios por hora (J/h), mientras que los caudales de ventilación e impulsión se encuentran en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Para adaptar estos valores a las unidades más comunes en climatización, se realizan las conversiones correspondientes. De este modo, las cargas se expresan en vatios (W) y los caudales en metros cúbicos por hora (m^3/h), lo que facilita la selección y dimensionamiento adecuado de los equipos de climatización.

Se recopila toda la información de las cargas térmicas sensible y latente que se generan por las características internas de cada espacio y por la ventilación, en el punto crítico del año donde la carga es máxima.

Esta información va a permitir conocer las necesidades y particularidades de cada zona térmica y se podrán analizar para establecer que sistema de climatización y ventilación es el más adecuado.

En las siguientes páginas se aporta la tabla que recoge todos estos valores.



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Vestuarios -1	13555	9470	19097	27682	51901	3484	25059	28543	6854	7611
Estéril almacén -1	0	15212	3570	18137	0	255	1577	1820	432	3564
Estéril preparación -1	520	16635	9722	22412	4654	1523	9420	10870	2580	3801
Farmacia almacén médico -1	1487	3	1435	1435	4078	37	838	875	540	577
Farmacia sala blanca -1	4963	6065	4602	8781	8427	715	4054	4733	1210	1452
Farmacia -1	11333	13802	10453	19981	19171	1626	9222	10767	2752	3308
Lab3 Urgencias -1	0	8875	6680	12760	0	1018	5827	6791	1724	2018
Lab2 microbiología -1	8327	10563	8029	15293	14678	1244	7062	8243	2107	2544
Lab1 bioquímica -1	8209	9741	7296	14051	13344	1131	6446	7520	1915	2320
Almacén general	5267	0	3142	3142	15005	0	2900	2900	1987	2151
Oficinas mantenimiento -1	4426	15393	9869	20559	6990	1215	8159	8978	2059	3546
Circulaciones -1	3207	7317	13025	15918	27269	2125	11136	13251	3596	4104
Espera urgencias 0	6125	27462	31030	45588	73453	5735	36295	41776	9717	9970



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Box urgencias	51671	47689	83566	113427	301399	23546	171177	193737	39944	39944
Consulta urgencias	946	12020	10718	17839	5417	1821	11450	13190	3084	3084
Radiología 0	27	37747	11011	43585	806	1902	13637	15458	3226	8765
Espera 0	4762	3840	9532	11560	25623	1999	12941	14636	3387	3706
Consultas radiología P0	1879	3093	3313	4758	3304	523	3560	4059	887	887
Administración	4918	22052	14037	29327	9948	1729	11610	12767	2930	5238
Cafetería 0	806	9386	4644	12223	441	636	3699	4208	1076	2238
Circulaciones 0	3930	6030	10766	13305	22301	1738	9101	10835	2941	3366
Consultas 1 P1	10946	12448	12415	18690	11387	1962	13349	15222	3326	3326
Consultas 2 P1	11341	13612	12413	19366	11388	1962	13349	15222	3326	3326
Consultas 3 P1	11513	13260	13243	19918	12146	2093	14239	16237	3548	3548
Consultas 4 P1	10178	11998	12038	18051	10778	1903	12944	14761	3226	3226
Consultas 5 P1	11145	12651	12414	18892	11386	1962	13349	15222	3326	3326



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Consultas 6 P1	10034	10986	9706	15339	8901	1534	10436	11901	2601	2664
Salas trabajo 1	6436	5082	5920	9050	13715	1072	5846	6868	1814	1905
Espera 1.1 1.2 y 1.3	18848	5454	13312	15777	38432	2998	19412	21954	5080	5633
Salas trabajo 2	10156	8185	9931	15402	24686	1930	10523	12362	3266	3525
Espera 1.4	7929	2559	6230	7560	16014	1249	8088	9148	2117	2424
HD oncohematológico 1	13828	9114	10510	16490	29728	2320	14594	16811	3931	3944
Administración 1	2120	10418	5758	13050	4106	714	4792	5277	1210	2559
Circulaciones 1	3364	7809	14509	17652	30130	2349	12298	14641	3974	4544
Quirófanos 2.1	34481	16283	34735	44700	138568	10823	79161	88945	18360	18360
Quirófanos 2.2	34474	16277	34733	44695	138568	10823	79161	88945	18360	18360
Preparación 2.1	3825	2957	6086	7748	18318	1430	10266	11637	2426	2500
Preparación 2.2	3726	3024	6093	7823	18318	1430	10267	11637	2426	2491
URPA 2	8432	7625	13540	18223	48876	3818	27756	31417	6477	6477



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Cuidados críticos P2	13271	12189	21386	28952	77160	6028	43819	49598	10226	10226
Médicos guardia	412	6046	5666	9013	2603	928	5837	6724	1572	1572
Vestuarios 2.1	3200	2243	4424	6260	12212	820	5896	6716	1613	1932
Box 2	9643	9058	15814	21438	57022	4455	32385	36653	7557	7557
Consultas 2.1	6369	6835	6847	10278	6280	1082	7362	8395	1835	1835
Salas trabajo 2.1	10136	7360	9328	13730	21791	1703	9289	10912	2883	3136
Espera 2.1 dial	13195	4670	11991	14630	30959	2415	15638	17686	4092	4538
Diálisis	7840	10263	10157	15370	9789	1605	10922	12455	2722	2722
Vestuarios 2.2	13706	9358	17928	25124	49175	3301	23752	27053	6494	7879
Salas trabajo 2.2	5461	4025	5162	7455	11734	917	5002	5876	1552	1651
Comedor 2	207	4716	2771	6629	28	373	2142	2465	632	1232
Administración 2	1835	7293	4545	9424	3080	535	3594	3962	907	1748
Circulaciones 2	2730	5850	10934	13148	23174	1806	9457	11259	3056	3459



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Habitaciones 3.1	2181	21650	21570	33743	52629	4211	27592	31619	7137	7213
Habitaciones 3.2	3444	20387	21615	32727	53959	4211	27592	31619	7137	7203
Almacén serv 3.1	646	221	690	780	1522	46	490	490	202	214
Vestuario 3.1	1409	979	1918	2719	5234	351	2527	2878	691	835
Enfermería planta 3.1	207	3243	2570	4321	1180	428	2694	3104	726	788
Médicos guardia 3.1	131	1892	1640	2804	873	286	1796	2069	484	484
Consulta planta 3.1	608	2651	2709	4013	2670	428	2912	3321	726	726
Enfermería planta 3.2	315	4065	3626	6043	1659	619	3892	4483	1048	1048
Almacén médico 3.1	759	0	351	351	1740	0	301	301	230	246
Radiología planta 3	0	11431	3175	13183	65	570	4092	4638	968	2651
Espera RadPI 3	2494	2380	5704	7090	15557	1214	7857	8886	2056	2268
Espera 3.1	3051	5833	5443	8475	13726	1071	6933	7841	1814	2010
Almacén serv 3.2	704	664	689	1033	1522	119	767	809	202	211



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Vestuario 3.2	1422	1035	1918	2735	5234	351	2527	2878	691	821
Enfermería planta 3.3	212	3256	2464	4348	1178	428	2694	3104	726	792
Médicos guardia 3.2	139	1896	1636	2809	850	286	1796	2069	484	484
Consultas planta 3.2	642	2765	2709	4127	2670	428	2912	3321	726	726
Enfermería planta 3.4	310	4216	3410	6194	1688	619	3892	4483	1048	1048
Almacén médico 3.2	959	150	788	912	1740	136	882	933	230	247
Circulaciones 3.2 y 3.3	2596	10668	19243	23439	41044	3200	16758	19947	5414	6248
Habitaciones 4.1	4717	27988	28212	44981	74080	5781	37881	43409	9798	9896
Habitaciones 4.2	967	4826	5302	7968	13261	1035	6781	7771	1754	1773
Enfermería planta 4.2	446	5495	5181	8157	2266	833	5239	6035	1411	1411
Almacén serv. 4.1	937	479	637	886	1522	46	593	593	202	221
Enfermería planta 4.1	362	5224	4107	7175	1952	714	4490	5173	1210	1275
Médicos guardia 4.1	142	1896	1640	2809	829	286	1796	2069	484	484



Zona térmica	Carga calefacción máxima (W)	Carga sensible refrigeración máxima (W)	Carga latente refrigeración máxima (W)	Carga total de refrigeración máxima (W)	Carga de calefacción por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración sensible por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración latente por ventilación máxima (W)	Carga de refrigeración total por ventilación máxima (W)	Caudal de ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Caudal de impulsión ($\frac{m^3}{h}$)
Consulta planta 4.1	781	2682	2709	4044	2670	428	2912	3321	726	726
Vestuarios 4.1	3866	2407	4712	6605	13084	878	6317	7196	1728	1974
Almacén médico 4.1	989	0	337	337	1522	0	272	272	202	222
Espera 4.1	2432	2053	5015	6177	13726	1071	6933	7841	1814	2031
Enfermería planta 4.3	699	9823	7940	13688	3765	1380	8681	10000	2339	2390
Cafetería 4	1273	20367	10624	26835	104	1443	8311	9544	2443	4949
Administración 4.1	7012	22538	14422	29732	9776	1700	11411	12579	2880	5738
Circulaciones 4.1 y 4.2	4910	9195	16901	21155	37236	2902	15183	18085	4910	5614

Tabla 15. Cargas térmicas sensible y latente y Caudales de ventilación e impulsión en cada zona térmica. Fuente: elaboración propia.



6.- SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

La climatización en hospitales es crucial para asegurar un ambiente óptimo que cumpla con los estándares de temperatura, humedad, ventilación y limpieza del aire. La elección de los sistemas de climatización adecuados es fundamental para mantener una atmósfera limpia y libre de gérmenes, lo cual es esencial en entornos hospitalarios donde se requiere un elevado flujo de aire para minimizar la propagación de infecciones.

En este apartado se describen los diferentes sistemas principales de climatización con la finalidad de evaluar cual es el que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

6.1.- Sistemas de climatización según el tipo de fluido caloportador

Según como el fluido caloportador intercambie calor con el aire se pueden definir dos tipos diferentes de sistemas de climatización.

6.1.1.- Sistemas de expansión directa

Sistema que utiliza un fluido refrigerante como medio de transferencia de calor para proporcionar calefacción y refrigeración en un espacio determinado. Es el propio refrigerante el encargado directo de proporcionar calor o frío al espacio a climatizar.

A continuación, se detallan los componentes principales y el funcionamiento de este tipo de sistema:

1. **Compresor:** Es el componente principal del sistema y se encarga de comprimir el refrigerante, aumentando su temperatura y presión.
2. **Evaporador:** Es el elemento encargado de absorber el calor del ambiente a enfriar. El refrigerante líquido ingresa al evaporador y se evapora, absorbiendo el calor del entorno y enfriando el aire.
3. **Condensador:** En este componente, el refrigerante en estado gaseoso, después de haber sido comprimido, libera el calor absorbido en el evaporador. El condensador está diseñado para disipar el calor al ambiente exterior.
4. **Válvula de expansión:** Regula el flujo del refrigerante, permitiendo su paso del condensador al evaporador y controlando la presión del sistema.
5. **Ventilador del evaporador y condensador:** Ayudan a la circulación del aire sobre los intercambiadores de calor, facilitando el intercambio térmico.
6. **Termostato:** Es el dispositivo de control que permite establecer y mantener la temperatura deseada en el espacio a climatizar. Cuando se alcanza la temperatura establecida, el termostato detiene el funcionamiento del compresor.



Este tipo de sistema es comúnmente utilizado en aires acondicionados individuales (Split) o en pequeñas aplicaciones comerciales. Proporciona una refrigeración rápida y eficiente, siendo fácilmente controlable mediante termostatos y permitiendo un ajuste preciso de la temperatura deseada. Dentro de los sistemas de expansión directa destaca el de volumen de refrigerante variable (VRV) desarrollado por la compañía Daikin.

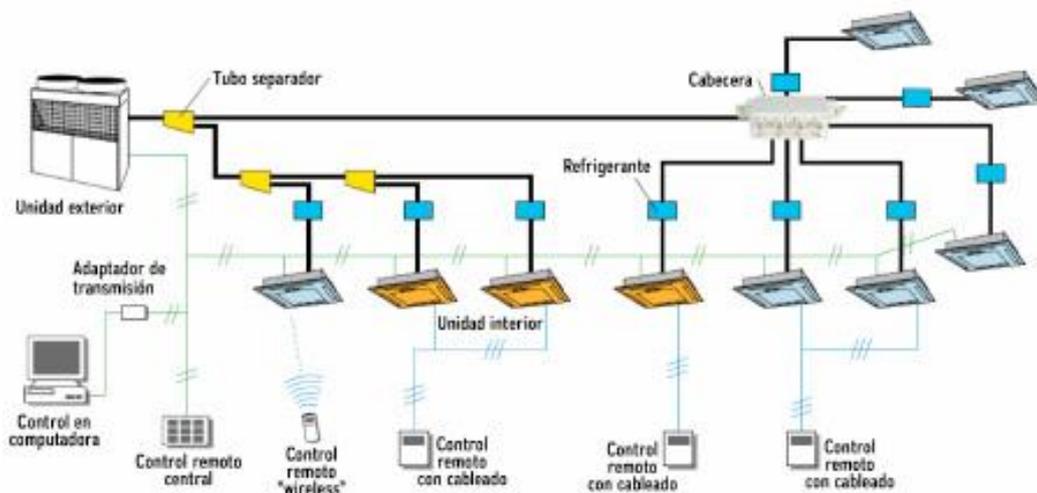


Ilustración 10. Sistema de volumen de refrigerante variable (VRV). Fuente: catálogo Daikin.

La unidad exterior envía refrigerante en estado líquido o gaseoso a través de dos tuberías de cobre hacia las unidades terminales, de esta manera se puede producir calor y frío simultáneamente en diferentes locales. En estos fancoils, el refrigerante se evapora absorbiendo el calor del ambiente o se condensa liberando energía y se envía de vuelta a la unidad exterior. Puede tener incorporado cajas de recuperación en el retorno y ceder dicha energía a la tubería de ida para aumentar el rendimiento del sistema. Por ejemplo, en uno de los locales donde se demanda frío, el refrigerante se evapora absorbiendo energía, durante el viaje de vuelta a la unidad exterior se cruza con una tubería que contiene refrigerante en estado gaseoso que se dirige a un espacio que demanda calor y le cede parte de la energía absorbida.

Sin embargo, este sistema presenta algunos inconvenientes a la hora de implementarlos en un hospital.

Los refrigerantes poseen cierto grado de toxicidad e inflamabilidad, por lo tanto, no sería recomendable dirigirlo directamente a los locales, aunque sí podría dirigirse sin peligro a las unidades de tratamiento de aire que se ubican en zonas no habitables.

Los sistemas VRV de última generación presentan la limitación de longitud máxima de tubería de unos 150 m. Cada planta tiene 141 metros de largo y 41 m de ancho y algunos de sus espacios poseen más de 1000 m^2 , por lo tanto, sería necesario instalar un gran número de unidades exteriores para poder diseñar una configuración estable.



Estos aspectos indican que, aunque el sistema VRV puede ser adecuado para espacios concretos en un hospital, es posible que no sea la mejor opción para cubrir todas las necesidades de climatización del proyecto.

6.1.2.- Sistemas de expansión indirecta.

Un sistema de climatización de expansión indirecta, también conocido como sistema de agua enfriada, utiliza agua o una solución enfriada como medio para transferir calor y proporcionar enfriamiento a los espacios. El refrigerante (fluido primario), cede el calor a la solución acuosa (fluido secundario) y este se dirige a las unidades terminales para realizar el intercambio de calor con el aire. A continuación, se detallan los componentes y el funcionamiento de este tipo de sistema:

1. **Chiller (enfriador):** Es el componente principal del sistema y se encarga de enfriar el agua o la solución mediante la refrigeración de un fluido refrigerante. Existen diferentes tipos de chillers, como los de compresión mecánica de vapor (centrífugos, de tornillo y de pistón) o los de absorción. El chiller absorbe el calor del agua y lo transfiere al refrigerante.
2. **Torres de enfriamiento:** Son dispositivos que se utilizan para disipar el calor del agua enfriada. El agua caliente proveniente del chiller se rocía o se distribuye sobre una superficie expuesta al aire, lo que permite que el calor se transfiera al ambiente. El agua enfriada se recircula nuevamente al chiller para su reutilización.
3. **Bombas:** Las bombas se utilizan para impulsar el agua enfriada desde el chiller hacia los diferentes puntos de uso. También se encargan de recircular el agua caliente hacia las torres de enfriamiento.
4. **Intercambiadores de calor:** Los intercambiadores de calor se utilizan para transferir el calor entre el sistema de enfriamiento y los espacios acondicionados. En el lado del agua enfriada, el intercambiador de calor absorbe el calor del aire del espacio y lo transfiere al agua enfriada. En el lado del agua caliente, el intercambiador de calor recibe el calor del agua caliente y lo transfiere al aire exterior.
5. **Fan coils:** Son unidades de tratamiento de aire que se encargan de distribuir el aire acondicionado en los espacios. El aire es enfriado o calentado mediante el intercambio de calor con el agua enfriada o caliente proveniente del sistema.
6. **Tuberías y conductos:** Las tuberías se utilizan para transportar el agua enfriada y el agua caliente desde el chiller hacia los fancoils, y viceversa. Los conductos se utilizan para la distribución del aire acondicionado desde los fancoils hacia los espacios.

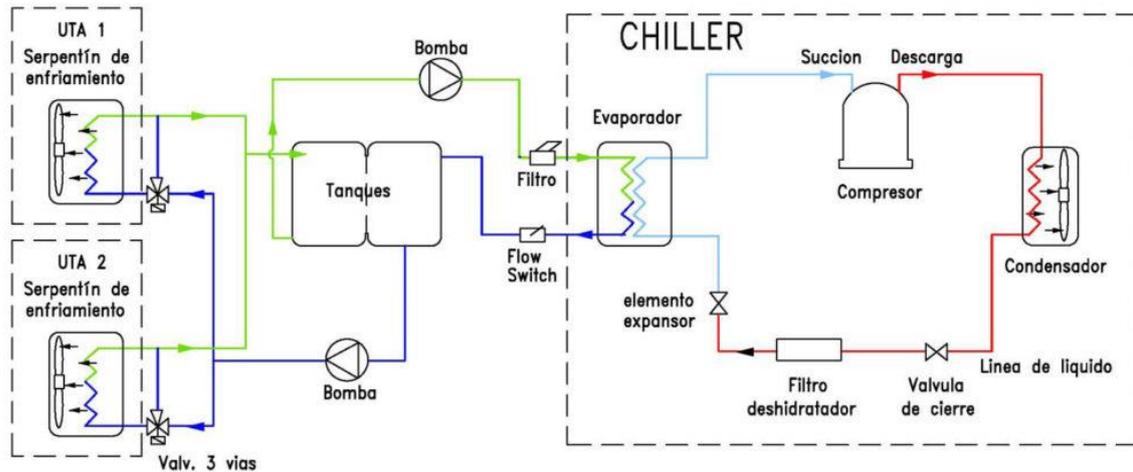


Ilustración 11. Sistema de expansión indirecta.

El uso del agua como medio de transferencia de calor ofrece flexibilidad en la distribución y puede ser más eficiente energéticamente en comparación con otros sistemas de climatización.

En proyectos de gran escala son más eficientes que los de expansión directa debido a que utilizan fluidos intermedios que son capaces de transportar una mayor cantidad de calor. Además, con un sistema de expansión indirecta no existe el problema de limitaciones en las longitudes de las tuberías, permitiendo elaborar configuraciones extensas centralizando la climatización de varios espacios en un solo circuito hidráulico.

El calor generado por las enfriadoras puede ser aprovechado creando un circuito auxiliar para que sea dirigido a los espacios donde se demanda calor.

Por todo lo mencionado anteriormente, se deduce que para diseñar un sistema centralizado y eficiente que cumpla con los requisitos de demanda térmica en cada una de las zonas del hospital, un sistema de expansión indirecta que utilice un fluido caloportador intermedio es, mejor opción, que un sistema de climatización de expansión directa.

En apartados posteriores se trata con detalle cada aspecto en el diseño de este sistema y de las máquinas productoras de frío y calor.



6.2.- Sistemas de climatización según el fluido de distribución a los locales.

6.2.1.- Sistemas todo-aire.

Un sistema de climatización todo-aire es un sistema centralizado que utiliza el aire como medio de transferencia de calor para proporcionar calefacción, refrigeración y ventilación en las áreas del edificio.

El sistema de climatización todo-aire consta de los siguientes componentes principales:

1. **Unidad de tratamiento de aire (UTA):** Es el equipo central del sistema y se encarga de acondicionar y filtrar el aire. La UTA está diseñada para manejar grandes volúmenes de aire y cuenta con filtros de alta eficiencia para garantizar la calidad del aire interior. Además, puede incluir sistemas de desinfección y purificación del aire para controlar la propagación de gérmenes y patógenos y recuperadores de calor que reducen significativamente la carga de ventilación.
2. **Conductos de distribución:** Son conductos de aire que se extienden por todo el hospital y distribuyen el aire acondicionado y ventilado desde la UTA hasta cada zona. Los conductos están diseñados para garantizar una distribución uniforme del aire y minimizar la pérdida de carga.
3. **Difusores y rejillas de retorno:** Los difusores están ubicados en cada área del hospital y se encargan de distribuir el aire de manera uniforme. Las rejillas de retorno permiten la extracción del aire viciado de las zonas y su retorno a la UTA para su tratamiento.
4. **Termostatos y controles:** Cada zona del hospital puede contar con termostatos individuales que permiten controlar la temperatura y la velocidad del aire de manera independiente. Los controles centralizados se utilizan para programar y supervisar el funcionamiento del sistema en todo el edificio.

Las ventajas de un sistema de climatización todo-aire en un hospital son las siguientes:

- Proporciona un ambiente confortable y saludable en todas las áreas del hospital, lo que contribuye al bienestar de los pacientes, personal médico y visitantes.
- Asegura una distribución uniforme del aire acondicionado y ventilado, evitando zonas con corrientes de aire o puntos calientes/fríos.
- Facilita la implementación de sistemas de filtración y purificación del aire para mantener una alta calidad del aire interior y minimizar la propagación de enfermedades.
- Permite un control centralizado y programable del sistema, lo que facilita el monitoreo, ajuste y mantenimiento eficiente.
- Puede integrarse con sistemas de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de operación.



- En estos sistemas tanto en la purificación como el tratamiento térmico del aire se realiza en la UTA. Esto permite obtener las condiciones ideales fuera del espacio a climatizar sin la necesidad de instalar fancoils ni equipos dentro de los propios recintos.

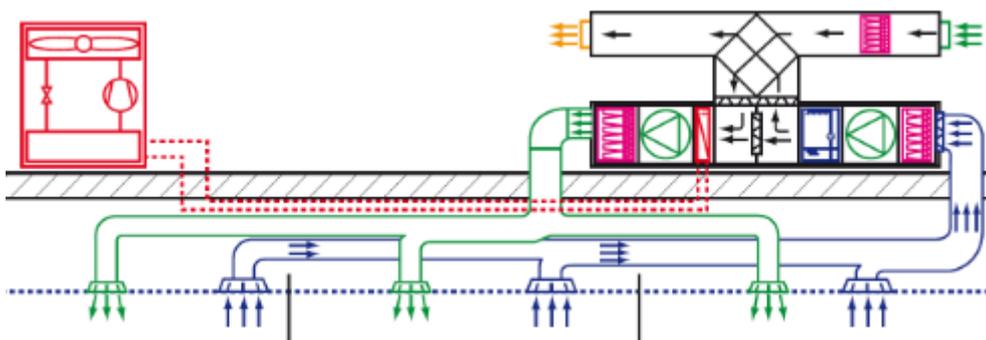


Ilustración 12. Sistema de distribución todo aire. Fuente: Guía técnica IDAE.

6.2.2.- Sistemas de climatización todo-agua

Los sistemas de climatización todo-agua son aquellos que distribuyen agua fría o caliente desde las centrales de producción hacia las unidades terminales, como radiadores o suelo radiante. Estos sistemas son comunes en instalaciones de calefacción debido a su simplicidad, compactidad y facilidad de manejo.

Sin embargo, es importante destacar que los sistemas todo-agua presentan algunas limitaciones. Por sí solos, no garantizan la ventilación adecuada ni proporcionan control de la humedad en los espacios. Además, su funcionamiento se centra en el acondicionamiento térmico, sin abordar otros aspectos importantes del confort ambiental.

En el caso del proyecto, se busca implementar un sistema centralizado que permita un control óptimo y una alta eficiencia energética. Por lo tanto, se descarta la opción de utilizar un sistema independiente todo-agua, ya que, por sí solo, no cumple con los requisitos de ventilación y control de humedad necesarios en un entorno hospitalario.

En resumen, aunque los sistemas de climatización todo-agua son simples y compactos, no brindan las prestaciones completas requeridas para un sistema de climatización completo, como ventilación y control de humedad. En su lugar, se opta por un sistema centralizado que permita alcanzar un mayor nivel de control y eficiencia energética.



6.2.3.- Sistemas mixtos aire-agua

Un sistema de climatización mixto aire-agua es un sistema que combina elementos de los sistemas de climatización todo-aire y agua-agua. Este sistema utiliza aire para la distribución de la calefacción o la refrigeración en los espacios del edificio, mientras que el agua se utiliza como medio de transferencia de calor en los equipos de climatización.

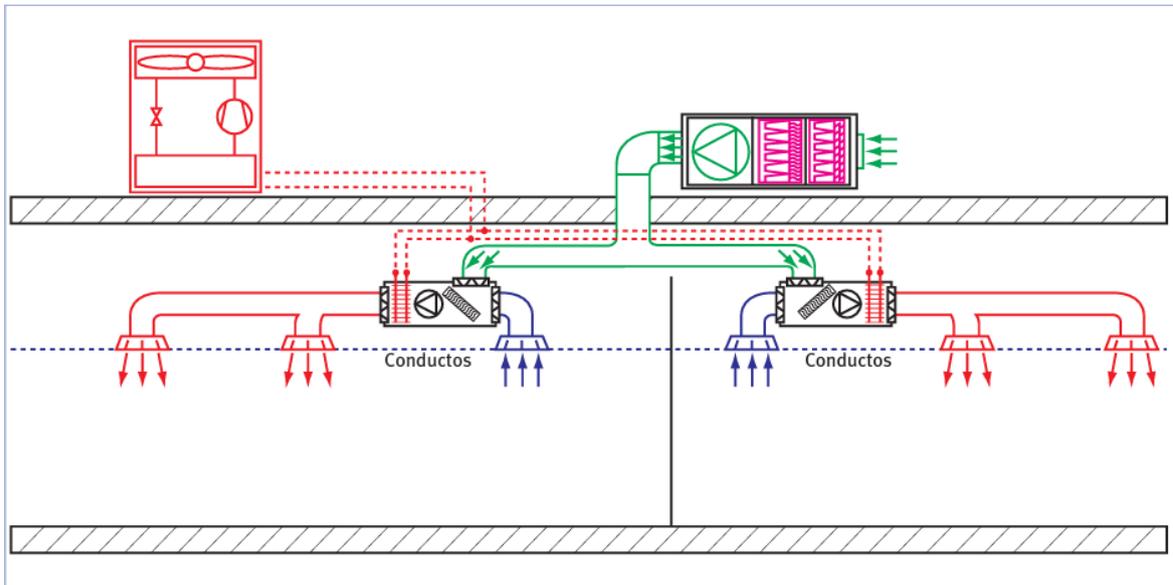


Ilustración 13. Sistema de climatización mixto aire-agua. Fuente: Guía técnica IDAE.

El sistema de climatización mixto aire-agua opera de manera similar a los sistemas previamente mencionados. Incorpora una unidad de tratamiento de aire que se encarga de purificar, realizar la recuperación de calor y utilizar un ventilador para impulsar el aire a través de los conductos, dirigiéndolo hacia los espacios interiores.

Adicionalmente, se emplea una bomba de calor o una enfriadora para suministrar calor al fluido caloportador. Este fluido se transporta hacia los fancoils, que son dispositivos ubicados en los espacios a climatizar. En los fancoils, se lleva a cabo la transferencia de calor desde el fluido al aire circundante, logrando así el acondicionamiento térmico deseado.

La principal ventaja de este sistema en el contexto del proyecto es la posibilidad de integrar varias zonas térmicas en una sola unidad de tratamiento de aire. En este enfoque, la unidad de tratamiento de aire se encarga de la recuperación de calor mediante la extracción, mientras que el suministro de calor se realiza directamente en los recintos. Si las condiciones de diseño lo permiten, esta estrategia de agrupar sistemas aire-agua resulta altamente eficiente y efectiva.



6.3.- Valoración de los sistemas.

Tras analizar los diferentes sistemas de climatización, se concluye que un sistema de expansión indirecta presenta características que se ajustan más a las necesidades del proyecto.

En los resultados de la simulación, se observa que existen zonas térmicas donde el caudal de aire de impulsión en los recintos ha de ser superior al caudal de ventilación. Esto se debe a que no es posible impulsar aire por debajo de los 13°C ni por encima de los 50°C. Hay zonas térmicas, que, debido a su gran carga interna, requieren de un salto nivel de refrigeración. Para poder compensar dichas cargas es necesario aportar un mayor caudal a la temperatura mínima establecida.

Existen dos opciones para poder resolver este problema: o bien se aumenta el caudal de ventilación o se recircula parte del aire interior de los recintos mezclándolo con el de ventilación. La segunda opción es mejor que la primera, ya que meter más caudal de ventilación supone un aumento de la carga latente y las unidades de tratamiento de aire deben extraer más humedad con un notable consumo energético.

Para una selección coherente en los distintos sistemas de climatización, se establece que, si el caudal de impulsión es igual o un 5% superior al caudal de ventilación, el espacio correspondiente debe contar con un sistema de climatización todo-aire. Esto se debe a que es posible tener un control absoluto de la temperatura y la humedad del local desde la unidad de tratamiento de aire.

En caso contrario, cuando el caudal de impulsión es más de un 5% superior al de ventilación, se trata de un sistema mixto aire-agua, donde se realiza la purificación y recuperación de calor en la unidad de tratamiento de aire y el aporte de calor en fancoils instalados en el falso techo de los espacios a climatizar. Estos fancoils recirculan parte del aire interior del recinto para lograr así las condiciones idóneas en la impulsión.

En el siguiente capítulo se detalla el diseño, cálculos, componentes y funcionamiento de los dos sistemas de ventilación seleccionados para las diferentes zonas térmicas del hospital.

La siguiente tabla muestra el sistema de climatización seleccionado para cada una de las zonas térmicas.

Etiqueta	Zona	Sistema de climatización	Etiqueta	Zona	Sistema de climatización
ZT01	Vestuarios -1	Aire-Agua	ZT45	Consultas 2.1	Todo-aire
ZT02	Estéril almacén -1	Aire-Agua	ZT46	Salas trabajo 2.1	Todo-aire



Etiqueta	Zona	Sistema de climatización	Etiqueta	Zona	Sistema de climatización
ZT03	Estéril preparación -1	Aire-Agua	ZT47	Espera 2.1 dial	Aire-Agua
ZT04	Farmacia almacén médico -1	Todo-aire	ZT48	Diálisis	Todo-aire
ZT05	Farmacia sala blanca -1	Aire-Agua	ZT49	Vestuarios 2.2	Aire-Agua
ZT06	Farmacia -1	Aire-Agua	ZT50	Salas trabajo 2.2	Todo-aire
ZT07	Lab3 Urgencias -1	Aire-Agua	ZT51	Comedor 2	Aire-Agua
ZT08	Lab2 microbiología -1	Aire-Agua	ZT52	Administración 2	Aire-Agua
ZT09	Lab1 bioquímica -1	Aire-Agua	ZT53	Circulaciones 2	Aire-Agua
ZT10	Almacén general	Todo-aire	ZT54	Habitaciones 3.1	Todo-aire
ZT12	Oficinas mantenimiento -1	Aire-Agua	ZT55	Habitaciones 3.2	Todo-aire
ZT13	Circulaciones -1	Aire-Agua	ZT56	Almacén serv 3.1	Todo-aire
ZT14	Espera urgencias 0	Todo-aire	ZT57	Vestuario 3.1	Aire-Agua
ZT15	Box urgencias	Todo-aire	ZT58	Enfermería planta 3.1	Todo-aire
ZT16	Consulta urgencias	Todo-aire	ZT59	Médicos guardia 3.1	Todo-aire
ZT17	Radiología 0	Aire-Agua	ZT60	Consulta planta 3.1	Todo-aire
ZT18	Espera 0	Todo-aire	ZT61	Enfermería planta 3.2	Todo-aire
ZT19	Consultas radiología P0	Todo-aire	ZT62	Almacén médico 3.1	Todo-aire
ZT20	Administración	Aire-Agua	ZT63	Radiología planta 3	Aire-Agua



Etiqueta	Zona	Sistema de climatización	Etiqueta	Zona	Sistema de climatización
ZT21	Cafetería 0	Aire-Agua	ZT64	Espera RadPI 3	Aire-Agua
ZT22	Circulaciones 0	Aire-Agua	ZT65	Espera 3.1	Aire-Agua
ZT23	Consultas 1 P1	Todo-aire	ZT66	Almacén serv 3.2	Todo-aire
ZT24	Consultas 2 P1	Todo-aire	ZT67	Vestuario 3.2	Aire-Agua
ZT25	Consultas 3 P1	Todo-aire	ZT68	Enfermería planta 3.3	Todo-aire
ZT26	Consultas 4 P1	Todo-aire	ZT69	Médicos guardia 3.2	Todo-aire
ZT27	Consultas 5 P1	Todo-aire	ZT70	Consultas planta 3.2	Todo-aire
ZT28	Consultas 6 P1	Todo-aire	ZT71	Enfermería planta 3.4	Todo-aire
ZT29	Salas trabajo 1	Todo-aire	ZT72	Almacén médico 3.2	Todo-aire
ZT30	Espera 1.1 1.2 y 1.3	Aire-Agua	ZT73	Circulaciones 3.2 y 3.3	Aire-Agua
ZT31	Salas trabajo 2	Todo-aire	ZT74	Habitaciones 4.1	Todo-aire
ZT32	Espera 1.4	Aire-Agua	ZT75	Habitaciones 4.2	Todo-aire
ZT33	HD oncohematológico 1	Todo-aire	ZT76	Enfermería planta 4.2	Todo-aire
ZT34	Administración 1	Aire-Agua	ZT77	Almacén serv. 4.1	Todo-aire
ZT35	Circulaciones 1	Aire-Agua	ZT78	Enfermería planta 4.1	Todo-aire
ZT36	Quirófanos 2.1	Todo-aire	ZT79	Médicos guardia 4.1	Todo-aire
ZT37	Quirófanos 2.2	Todo-aire	ZT80	Consulta planta 4.1	Todo-aire
ZT38	Preparación 2.1	Todo-aire	ZT81	Vestuarios 4.1	Aire-Agua



Etiqueta	Zona	Sistema de climatización	Etiqueta	Zona	Sistema de climatización
ZT39	Preparación 2.2	Todo-aire	ZT82	Almacén médico 4.1	Aire-Agua
ZT40	URPA 2	Todo-aire	ZT83	Espera 4.1	Aire-Agua
ZT41	Cuidados críticos P2	Todo-aire	ZT84	Enfermería planta 4.3	Todo-aire
ZT42	Médicos guardia	Todo-aire	ZT85	Cafetería 4	Aire-Agua
ZT43	Vestuarios 2.1	Aire-Agua	ZT86	Administración 4.1	Aire-Agua
ZT44	Box 2	Todo-aire	ZT87	Circulaciones 4.1 y 4.2	Aire-Agua

Tabla 16. Sistemas de climatización seleccionados en cada zona térmica. Fuente: elaboración propia.



7.- DISEÑO DE LA VENTILACIÓN

7.1.- Análisis de espacios y centralización de los sistemas de ventilación

Las UTA desempeñan un papel fundamental en la climatización del hospital, ya que permiten mantener un control adecuado de la calidad del aire. Para optimizar su diseño, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de los 87 espacios del hospital para elaborar estrategias de agrupación. Hay zonas muy sensibles que requieren un análisis especial como los quirófanos, salas de cuidados críticos, box urgencias y las salas de radiología. En contraste, existen otras salas que pueden ser agrupadas de manera más general, aprovechando relaciones y similitudes entre ellas.

A continuación, se detallan justificadamente las agrupaciones efectuadas. En aquellas zonas térmicas donde no se ha especificado ninguna agrupación, se instala una única unidad de tratamiento de aire y sistema de ventilación para cada una de esas áreas.

7.1.1.- Agrupaciones en la planta -1

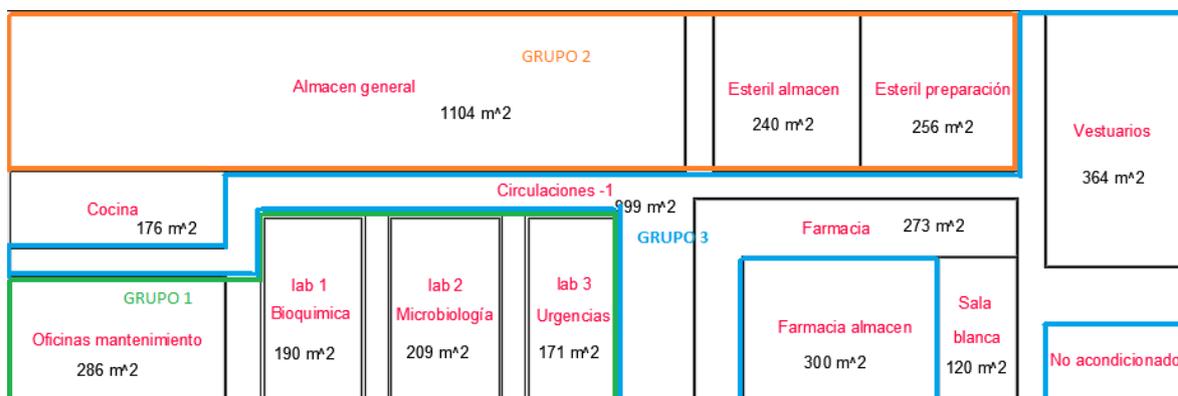


Ilustración 14. Agrupaciones planta -1. Fuente: elaboración propia.

En la planta -1 del hospital, abundan sistemas de climatización mixtos agua-aire, lo cual ofrece la posibilidad de agrupar varias zonas térmicas en una misma Unidad de Tratamiento de Aire. Con este enfoque, se crea un sistema de ventilación centralizado para las oficinas de mantenimiento y los laboratorios, otro sistema para los almacenes general, estéril y de preparación, y finalmente, un grupo adicional para los vestuarios, sala blanca, farmacia y circulaciones.

7.1.2.- Agrupaciones en la planta 0

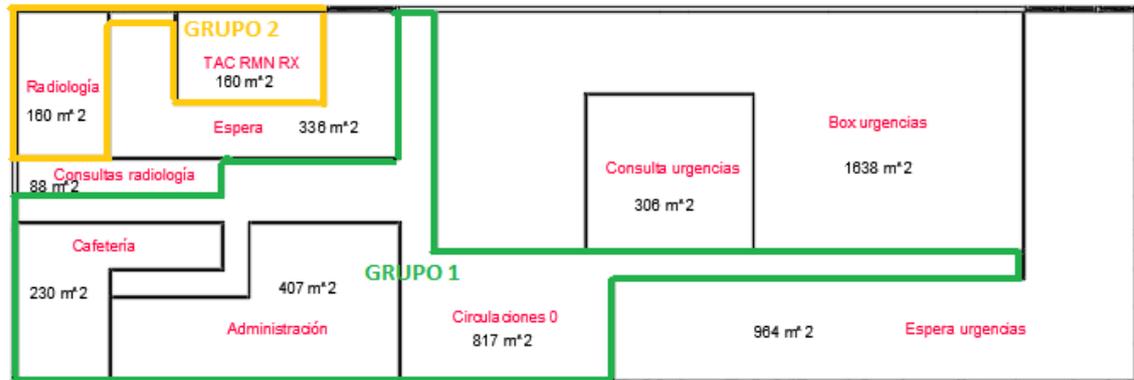


Ilustración 15. Agrupaciones planta 0. Fuente: elaboración propia.

En la planta 0, se lleva a cabo una agrupación de la ventilación en dos sistemas centralizados mixtos aire-agua. El primer sistema abarca la cafetería, áreas de administración y circulaciones, mientras que el segundo sistema se encarga de la ventilación de las áreas de radiología, TAC, resonancia magnética y radiografía.

7.1.3.- Agrupaciones en la planta 1

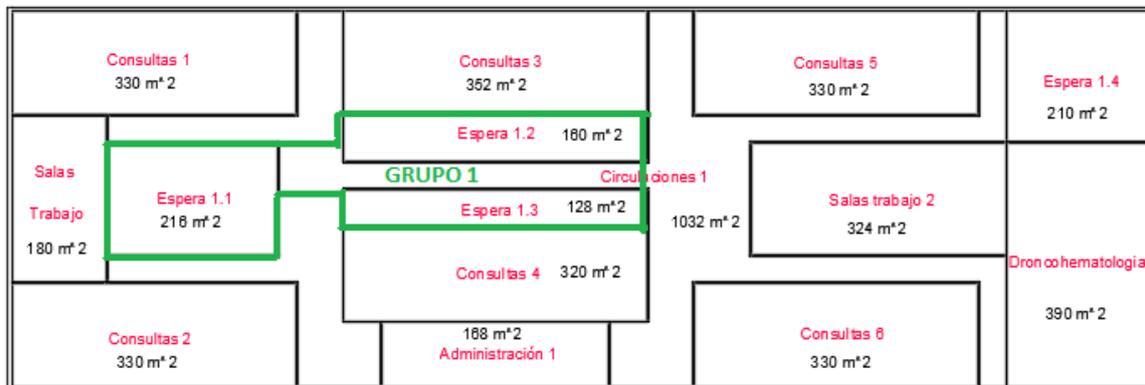


Ilustración 16. Agrupaciones planta 1. Fuente: elaboración propia.

Las salas de espera, al ser espacios similares y contiguos, se agrupan en una única unidad de ventilación. En esta planta del hospital, predominan los sistemas todo-aire. Inicialmente se consideró agrupar las 6 salas de consulta en una sola unidad de tratamiento de aire, dado que comparten características similares al ser consultorios. Sin embargo, debido a la distancia entre estas salas, se descartó esta opción para evitar la intersección de conductos en el diseño del sistema de ventilación.

7.1.4.- Agrupaciones en la planta 2

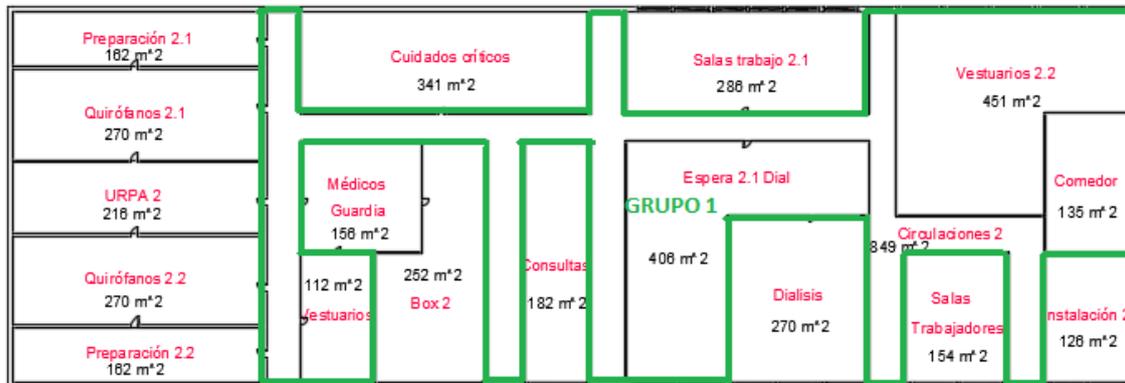


Ilustración 17. Agrupaciones planta 2. Fuente: elaboración propia.

Los sistemas mixtos aire-agua de los vestuarios 2.1 y 2.2, el comedor, la sala de espera de diálisis y las circulaciones se agrupan en una única unidad de tratamiento de aire.

Los quirófanos, como áreas altamente sensibles del hospital, requieren de un elevado nivel de ventilación. El caudal de ventilación calculado en la simulación energética para las zonas térmicas de quirófanos es de $36.720 \frac{m^3}{h}$. Se presta especial atención al diseño de las salas de quirófano, considerando detalles específicos para garantizar un entorno óptimo.

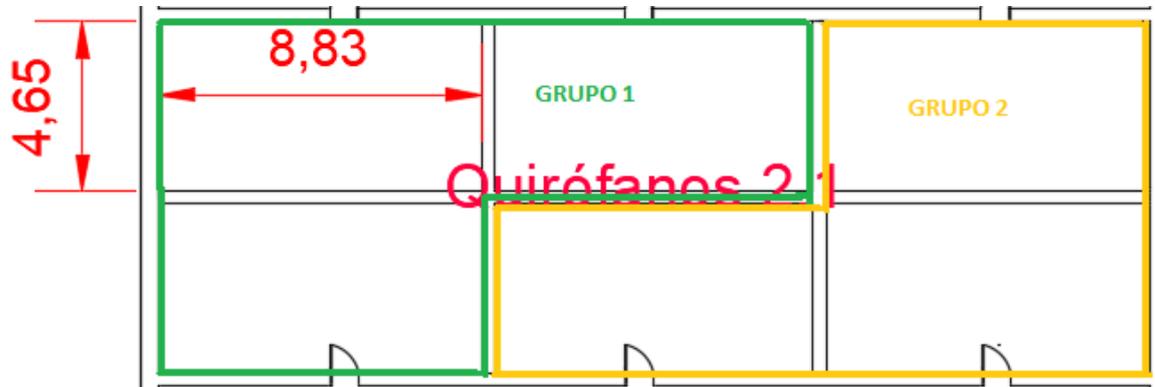


Ilustración 18. Salas de quirófanos. Fuente: elaboración propia.

Se han diseñado un total de 12 salas de quirófano, cada una con una superficie de $41 m^2$, para lograr un sistema de ventilación realista. Estas salas siguen el sistema todo-aire, con un caudal de ventilación de $3060 \frac{m^3}{h}$. Este caudal supera el mínimo exigido por la norma *UNE-100713* [2], que establece un valor mínimo de $2400 \frac{m^3}{h}$. De esta manera, se garantiza un adecuado suministro de aire fresco y una ventilación óptima en los quirófanos.

Se diseñan 4 sistemas de ventilación en las salas de quirófanos atendiendo a los grupos establecidos en la ilustración.



7.1.5.- Agrupaciones en la planta 3

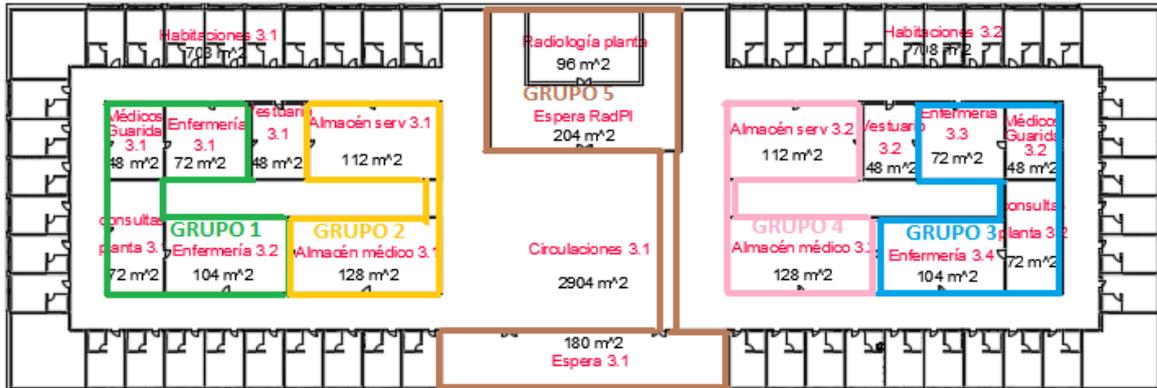


Ilustración 19. Agrupación planta 3. Fuente: elaboración propia.

Los espacios térmicos médicos guardia 3, consultas 3 y enfermerías 3.1 y 3.2, se pueden agrupar en un mismo sistema de ventilación todo-aire debido a la relación existente entre la carga térmica y el caudal de ventilación requerido en estos espacios.

Espacio térmico	Carga refrigeración (W)	Q Vent. (m ³ /h)	Ratio $\frac{W}{\frac{m^3}{h}}$
Enfermería planta 3.1	5185	726	7
Médicos guardia 3.1	3365	484	7
Consulta planta 3.1	4816	726	7
Enfermería planta 3.2	7251	1048	7

Tabla 17. Ratios de carga y ventilación. Fuente: elaboración propia.

Lo mismo ocurre para los grupos 2, 3 y 4 de la ilustración, donde el ratio entre la carga de refrigeración y caudal de ventilación son equivalentes.

Además, se ha optado por centralizar la ventilación de la radiología, la sala de espera de radiología y la sala de espera 3.1 en una sola unidad de tratamiento de aire. Estos espacios se climatizan mediante sistemas mixtos aire-agua.



7.1.6.- Agrupaciones en la planta 4

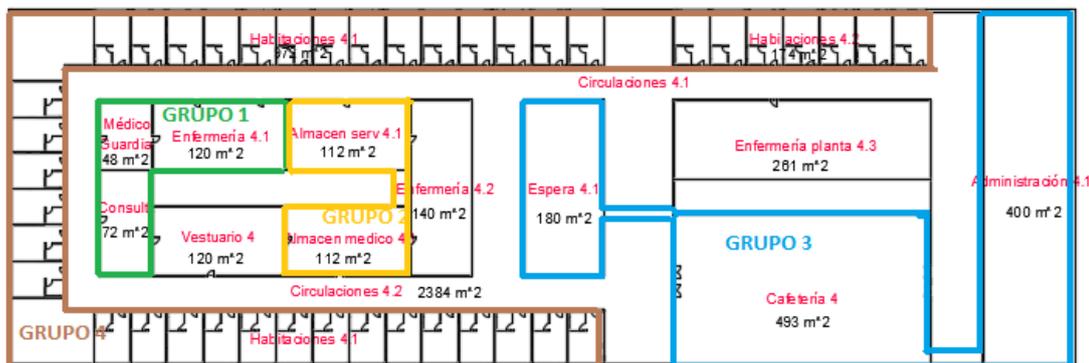


Ilustración 20 Agrupaciones planta 4. Fuente: elaboración propia.

En la planta 4, se sigue el mismo enfoque que en la 3ª, donde se agrupan los espacios médicos de guardia, consultas y enfermería en un sistema centralizado de ventilación todo-aire. Además, se crea otro sistema independiente para el almacén de servicios y el almacén médico.

Asimismo, se agrupan los sistemas mixtos aire-agua que se encuentran en el grupo 3 de la ilustración.

Los espacios habitaciones 4.1 y 4.2 se agrupan en un solo sistema de climatización todo-aire. Se diseñan habitaciones de $6 \times 4 \text{ m}^2$, donde la impulsión se realiza en el espacio habitable y el retorno en los baños.

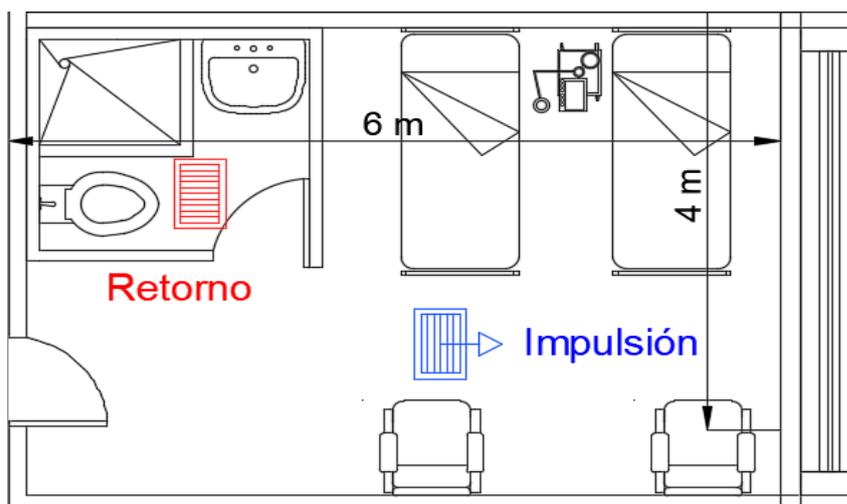


Ilustración 21. Esquema habitaciones. Fuente: elaboración propia.



7.2.- Diseño, dimensionamiento y cálculo de los conductos de ventilación.

7.2.1.- Normas y requisitos en el diseño de conductos.

Las paredes de los conductos deben tener resistencia adecuada a la presión de servicio y deben ser resistentes a la abrasión.

Los conductos deben ser lo más cortos posibles y deben estar provistos de registros de inspección según la Norma *UNE-ENV 12097* [5], únicamente se podrán utilizar conductos flexibles para la conexión a unidades terminales de aire, con una longitud máxima de 2 m. Las curvas deben tener un radio mínimo de 1,5 veces el diámetro del conducto flexible.

Los conductos, transformaciones y conexiones se deben realizar de forma aerodinámica, evitando la acumulación en su interior de partículas de polvo u otras impurezas.

No son admisibles, dentro de los conductos, instalaciones que no pertenecen al ámbito de la instalación de acondicionamiento de aire.

Los conductos para toma de aire exterior se deben construir con arreglo a la clase de conductos B.1, B.2 y B.3, con un coeficiente de estanqueidad m según la norma *UNE 100104* [6], para evitar la aspiración de aire procedente del interior del edificio, debido al riesgo de infecciones hospitalarias.

El tramo de conducto entre la toma de aire exterior y la unidad de tratamiento de aire debe tener un número suficiente de registros para permitir la limpieza y desinfección de sus paredes interiores.

Si la instalación de los conductos en los locales de clase II no permiten la instalación de conductos cortos, en los tramos más largos se deben realizar en sobre presión. *UNE 100104* [6]

Las unidades terminales de impulsión y extracción de aire, incluyendo el tramo de conducto que se encuentra directamente detrás de las mismas, deben tener fácil acceso y deben poder desmontarse para permitir los trabajos de mantenimiento, limpieza y desinfección.

Las unidades terminales deben cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 5 de la norma *UNE-100713* [2].

Según datos empíricos, para quirófanos con altas exigencias con respecto a la presencia de gérmenes, es necesario impulsar un caudal mínimo de aire de $2400 \text{ m}^3/\text{h}$, a este caudal de referencia, le corresponde una concentración media de gérmenes en el aire k_R * con un grado de contaminación μ_s .



El grado de contaminación μ_s se define por la relación $\frac{k_S}{k_R}$ donde:

K_S es la concentración media de gérmenes del aire en la zona de protección

K_R es la concentración media de gérmenes en el aire del quirófano con un caudal de aire C_I

Para realizar la comparación entre diferentes sistemas de difusión de aire, se tiene en cuenta una magnitud independiente del sistema, denominada concentración relativa de gérmenes e_s , definida por la siguiente ecuación:

$$\epsilon_s = \frac{k_S}{k_{*R}} = \mu_s \left(\frac{k_R}{k_{*R}} \right) = \mu_s \left(\frac{C_{*I}}{C_I} \right) \quad (7.2.1)$$

Donde k_{*R} es la concentración media de referencia de gérmenes en el quirófano con un caudal de aire de 2400 m³/h

C_{*I} es el caudal de aire de referencia (2400 m³/h)

C_I es el caudal de aire real impulsado.

Para quirófano de tipo A, como es el caso del proyecto, la concentración máxima admisible en la concentración relativa de gérmenes ϵ_s es de 2/3.

El caudal mínimo de aire a impulsar en quirófanos establecido por la norma UNE 100713 [2] se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{I_{min}} = C_{*I} \left(\frac{\mu_s}{\epsilon_{sI}} \right) = 2400 \left(\frac{\mu_s}{\epsilon_{sI}} \right) \quad (7.2.2)$$



7.2.2.- Cálculo y dimensionamiento de conductos.

Para el diseño y cálculo de los conductos de ventilación, se emplea el software DaWin desarrollado por iMventa ingenieros. Este programa proporciona una herramienta avanzada que permite realizar un diseño detallado de los conductos, teniendo en cuenta los parámetros específicos requeridos en cada proyecto.

Este software se basa en algoritmos y métodos de cálculo avanzados, respaldados por las normativas y estándares técnicos vigentes en el campo de la climatización y la ventilación. Con DaWin, es posible obtener diseños realistas, garantizando un adecuado funcionamiento del sistema de conductos en términos de distribución de aire y minimización de pérdidas de energía.

Para el diseño de los conductos de aire, es importante evitar cruces innecesarios. En aquellos casos en los que resulte inevitable, se debe tener presente que la altura de los cruces no debe exceder las dimensiones del falso techo, de 2 metros de altura.

Asimismo, las rejillas de impulsión y retorno desempeñan un papel crucial en el correcto flujo de aire a través de los diferentes espacios. Es fundamental que estas rejillas estén diseñadas de manera adecuada para garantizar un flujo óptimo, y su presión sonora no debe superar los valores establecidos en la Tabla 5 de la norma de acondicionamiento térmico en hospitales.

En cuanto a la velocidad de diseño, se establecen criterios específicos dependiendo del tipo de espacio. Para áreas donde existan pacientes y salas de primera necesidad como quirófanos y salas de urgencias, se recomienda una velocidad máxima de 3 m/s. Por otro lado, en áreas como cafeterías y circulaciones, se permite una velocidad máxima de impulsión y retorno de 4 m/s.

En la memoria se presenta un ejemplo de sistema de ventilación detalladamente calculado utilizando el procedimiento de cálculo establecido. Se selecciona el sistema de ventilación de los quirófanos debido a la especial atención que requieren dichos espacios.

Dada la complejidad y el gran número de sistemas, conductos y ventiladores involucrados, se proporcionan todos los cálculos detallados en los **Anexos** adjuntos al proyecto.



7.2.2.1.- Diseño de los quirófanos.

La zona térmica quirófanos se compone de un total de 12 salas de tipo A. Se trata de un sistema todo-aire, en el cual cada quirófano requiere un caudal de ventilación de $3060 \frac{m^3}{h}$, cumpliendo con creces el mínimo exigido por la normativa.

En el diseño de la red de conductos se presta especial atención al detalle, asegurando una distribución eficiente del aire en cada quirófano. Además, se selecciona un número adecuado de rejillas de impulsión y de retorno, garantizando un flujo de aire óptimo.

Es importante destacar que todos los ventiladores de impulsión y retorno de los distintos sistemas se encuentran ubicados en la unidad de tratamiento de aire. Estas unidades se sitúan estratégicamente en las plantas intermedias destinadas a las instalaciones, justo encima del local a climatizar. Esta disposición ayuda a reducir al máximo los cruces y conductos excesivamente largos.

Para todos los sistemas de ventilación se seleccionan los conductos climaver. Estos conductos están fabricados con materiales no porosos y resistentes a la humedad, lo que evita la proliferación de microorganismos y garantiza la calidad de aire interior. Además, presenta un aislamiento térmico de 25 mm de lana de vidrio, que garantiza en todos los cálculos efectuados que las pérdidas de calor por transporte de aire en cada en cada sistema, sea inferior al 4 % de potencia total generada conforme dicta el RITE [3]. Son muy fáciles de instalar y mantener debido a su estructura modular.



Ilustración 22. Climaver Neto.

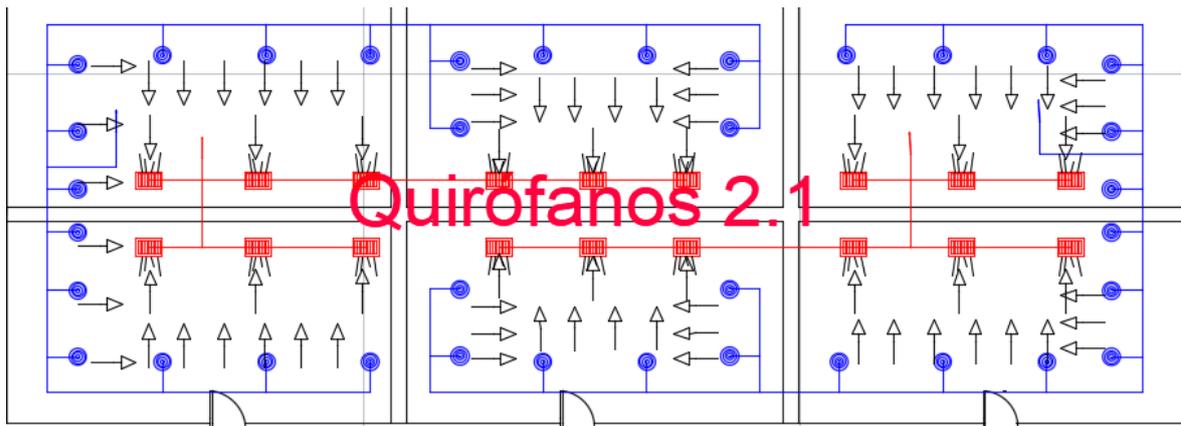


Ilustración 23. Distribución de conductos, flujos y rejillas en quirófanos. Fuente: elaboración propia.

Las fórmulas de cálculo que se han utilizado son las expuestas en el manual *ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS* [7] editado por la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* y en el documento *Técnico de Instalaciones en la Edificación DTIE 5.01* editado por ATECYR [8].

Las pérdidas de presión por fricción en cada uno de los conductos se calculan como:

$$\Delta P_f = f \left(\frac{L}{Dh} \right) \frac{\rho v^2}{2} \quad (7.2.1.1)$$

El coeficiente f , se calcula utilizando la ecuación de Blasius.

$$f = 0,173 \alpha Re^{-0,18} Dh^{-0,04} \quad (7.2.1.2)$$

Utilizando las dos ecuaciones se obtiene la ecuación para el aire húmedo.

$$\Delta P_f = \alpha 14,1 * 10^{-3} L \left(\frac{v^{1,82}}{Dh^{1,22}} \right) \quad (7.2.1.3)$$

Esta ecuación es válida para temperaturas comprendidas entre 13 y 40 [°C], presiones inferiores a la correspondiente a una altitud de 1000 metros y humedades relativas comprendidas entre 0% y 90%.

ΔP_f : Pérdidas de presión por fricción [Pa]

f : Factor de fricción [adimensional]

ε : Rugosidad absoluta del material [mm]

Dh : Diámetro hidráulico [m]

v : Velocidad de aire $\left[\frac{m}{s} \right]$

Re : Número de Reynolds [adimensional]

L : Longitud total [m]

α : Factor que depende del material utilizado [adimensional]



Las pérdidas de presión por singularidades se calculan como:

$$\Delta P_s = C_o \frac{\rho v^2}{2} \quad (7.2.2.4)$$

Siendo:

ΔP_s : Pérdidas de presión por singularidades [Pa]

C_o : Coeficiente de pérdida dinámica [adimensional]

v : Velocidad del flujo de aire $\left[\frac{m}{s}\right]$

ρ : Densidad del aire húmedo $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Los coeficientes C_o de pérdida de carga dinámica, se tienen tabulados para los distintos tipos de accesorios normalmente utilizados en redes de conductos.

La pérdida de presión total en un sistema se obtiene como la suma de las pérdidas por fricción a lo largo de los conductos, más las pérdidas en las singularidades situadas en el camino más desfavorable, incluyendo en este grupo todas las transformaciones, filtros, compuertas, plenum y la boca final.

$$\Delta P_t = \sum \Delta P_f + \sum \Delta P_s \quad (7.2.2.5)$$

Siendo:

ΔP_t : Pérdidas de presión totales [Pa]

ΔP_f : Pérdidas de presión por fricción [Pa]

ΔP_s : Pérdidas de presión por singularidades [Pa]

En cualquier punto de la instalación es posible obtener la presión estática como diferencia entre la presión total y la presión dinámica.

$$P_{st} = P_t - \rho \frac{v^2}{2} \quad (7.2.2.6)$$

Los conductos de los circuitos de impulsión y extracción se dimensionan mediante el método de rozamiento constante. Consiste en calcular los conductos de forma que la pérdida de carga por unidad de longitud en todos los tramos del sistema sea idéntica. El área de la sección de cada conducto está relacionada únicamente con el caudal de aire que transporta, por tanto, a igual porcentaje de caudal sobre el total, igual área de conductos.

La presión estática necesaria en el ventilador se calcula teniendo en cuenta la pérdida de carga en el tramo de mayor resistencia y la ganancia de presión debido a la reducción de la velocidad desde el ventilador hasta el final de este tramo.

Si tomamos el grupo de impulsión y retorno de la UTA que abastece a las 3 salas de quirófanos del grupo de la izquierda se obtienen los siguientes resultados.



IMPULSIÓN	Dimensiones (Horz.xVert.) ó Ø (mm)	Área (m ²)	Ø eqv. (mm)	Long (m)	Leqv. (m)	Caudal (m ³ /h)	Velc. (m/s)	ΔPs.	ΔPf.	ΔPt	Pt. Final (pa)
Conducto [1-2]	800x800	0,64	874	1,27	0	9.180,00	4	0	0,26	0,26	32,11
Conducto [2-3]	800x800	0,64	874	4	0	9.180,00	4	0	0,81	0,81	31,3
Conducto [3-4]	800x800	0,64	874	0,83	0	9.180,00	4	0	0,17	0,17	31,14
Conducto [4-5]	800x800	0,64	874	1,58	8,06	9.180,00	4	1,62	0,32	1,94	29,19
Conducto [5-6]	400x800	0,32	609	0,5	13,7	3.570,00	3,1	2,87	0,1	2,97	26,22
Conducto [6-7]	150x600	0,09	310	0,7	16,86	510	1,6	2,73	0,11	2,84	23,39
Conducto [6-8]	400x800	0,32	609	1	0,01	3.060,00	2,7	0	0,16	0,16	26,06
Conducto [8-9]	150x600	0,09	310	0,7	9,78	510	1,6	1,58	0,11	1,69	24,37
Conducto [8-10]	300x800	0,24	520	1,34	0,3	2.550,00	3	0,07	0,33	0,4	25,66
Conducto [10-11]	300x800	0,24	520	1,54	-0,97	2.040,00	2,4	-0,16	0,25	0,09	25,57
Conducto [11-12]	150x600	0,09	310	0,7	8,98	510	1,6	1,45	0,11	1,56	24,01
Conducto [11-13]	300x800	0,24	520	0,8	-1,13	1.530,00	1,8	-0,11	0,08	-0,03	25,6



IMPULSIÓN	Dimensiones (Horz.xVert.) ó Ø (mm)	Área (m ²)	Ø eqv. (mm)	Long (m)	Leqv. (m)	Caudal (m ³ /h)	Velc. (m/s)	ΔPs.	ΔPf.	ΔPt	Pt. Final (pa)
Conducto [13-14]	300x800	0,24	520	2,64	3,05	1.530,00	1,8	0,29	0,26	0,55	25,05
Conducto [14-15]	200x800	0,16	413	2,38	-0,34	1.020,00	1,8	-0,05	0,34	0,29	24,76
Conducto [15-16]	150x600	0,09	310	2,38	0,6	510	1,6	0,1	0,38	0,48	24,28
Conducto [16-17]	150x600	0,09	310	0,7	1,69	510	1,6	0,27	0,11	0,39	23,9
Conducto [15-18]	150x600	0,09	310	0,7	5,78	510	1,6	0,93	0,11	1,05	23,72
Conducto [14-19]	150x600	0,09	310	0,7	5,65	510	1,6	0,91	0,11	1,03	24,03
Conducto [10-20]	150x600	0,09	310	0,7	13,46	510	1,6	2,18	0,11	2,29	23,37
Conducto [5-21]	600x800	0,48	755	0,84	15,67	5.610,00	3,2	2,63	0,14	2,77	26,42
Conducto [21-22]	600x800	0,48	755	1,54	-0,45	5.100,00	3	-0,06	0,22	0,15	26,27
Conducto [22-23]	600x800	0,48	755	0,91	-0,45	4.590,00	2,7	-0,05	0,11	0,05	26,22
Conducto [23-24]	600x800	0,48	755	2,64	5,83	4.590,00	2,7	0,68	0,31	0,99	25,23
Conducto [24-25]	400x800	0,32	609	2,38	0,32	4.080,00	3,5	0,09	0,64	0,72	24,51
Conducto [25-26]	400x800	0,32	609	2,38	0,28	3.570,00	3,1	0,06	0,5	0,56	23,95



IMPULSIÓN	Dimensiones (Horz.xVert.) ó Ø (mm)	Área (m ²)	Ø eqv. (mm)	Long (m)	Leqv. (m)	Caudal (m ³ /h)	Velc. (m/s)	ΔPs.	ΔPf.	ΔPt	Pt. Final (pa)
Conducto [26-27]	150x600	0,09	310	0,7	16,86	510	1,6	2,73	0,11	2,84	21,12
Conducto [26-28]	400x800	0,32	609	1,36	0,01	3.060,00	2,7	0	0,22	0,22	23,74
Conducto [28-29]	200x800	0,16	413	0,83	9,49	1.020,00	1,8	1,34	0,12	1,46	22,28
Conducto [29-30]	150x600	0,09	310	1,54	0,6	510	1,6	0,1	0,25	0,35	21,94
Conducto [30-31]	150x600	0,09	310	0,7	1,7	510	1,6	0,27	0,11	0,39	21,55
Conducto [29-32]	150x600	0,09	310	0,7	5,78	510	1,6	0,93	0,11	1,05	21,23
Conducto [28-33]	300x800	0,24	520	2,6	-0,95	2.040,00	2,4	-0,16	0,42	0,27	23,47
Conducto [33-34]	300x800	0,24	520	2,38	-1,13	1.530,00	1,8	-0,11	0,23	0,12	23,35
Conducto [34-35]	200x800	0,16	413	2,6	-0,34	1.020,00	1,8	-0,05	0,37	0,32	23,03
Conducto [35-36]	200x800	0,16	413	0,83	2,31	1.020,00	1,8	0,33	0,12	0,44	22,59
Conducto [36-37]	150x600	0,09	310	1,54	0,6	510	1,6	0,1	0,25	0,35	22,24
Conducto [37-38]	150x600	0,09	310	0,7	1,7	510	1,6	0,27	0,11	0,39	21,85
Conducto [36-39]	150x600	0,09	310	0,7	5,78	510	1,6	0,93	0,11	1,05	21,54



IMPULSIÓN	Dimensiones (Horz.xVert.) ó Ø (mm)	Área (m ²)	Ø eqv. (mm)	Long (m)	Leqv. (m)	Caudal (m ³ /h)	Velc. (m/s)	ΔPs.	ΔPf.	ΔPt	Pt. Final (pa)
Conducto [34-40]	150x600	0,09	310	0,7	5,65	510	1,6	0,91	0,11	1,03	22,32
Conducto [33-41]	150x600	0,09	310	0,7	8,98	510	1,6	1,45	0,11	1,56	21,9
Conducto [25-42]	150x600	0,09	310	0,7	22,4	510	1,6	3,62	0,11	3,73	20,78
Conducto [24-43]	150x600	0,09	310	0,7	12,31	510	1,6	1,99	0,11	2,1	23,13
Conducto [22-44]	150x600	0,09	310	0,7	17,84	510	1,6	2,88	0,11	3	23,27
Conducto [21-45]	150x600	0,09	310	0,7	21,59	510	1,6	3,49	0,11	3,6	22,82

Tabla 18. Cálculos de los conductos en los quirófanos. Fuente: elaboración propia.



Según el cálculo realizado, el ventilador de impulsión para las salas de quirófanos de la izquierda tiene el punto de funcionamiento con un caudal de $9180 \text{ m}^3/\text{h}$ y una pérdida de carga total de $32,37 \text{ Pa}$. Se requiere una velocidad de descarga en el ventilador de 4 m/s .

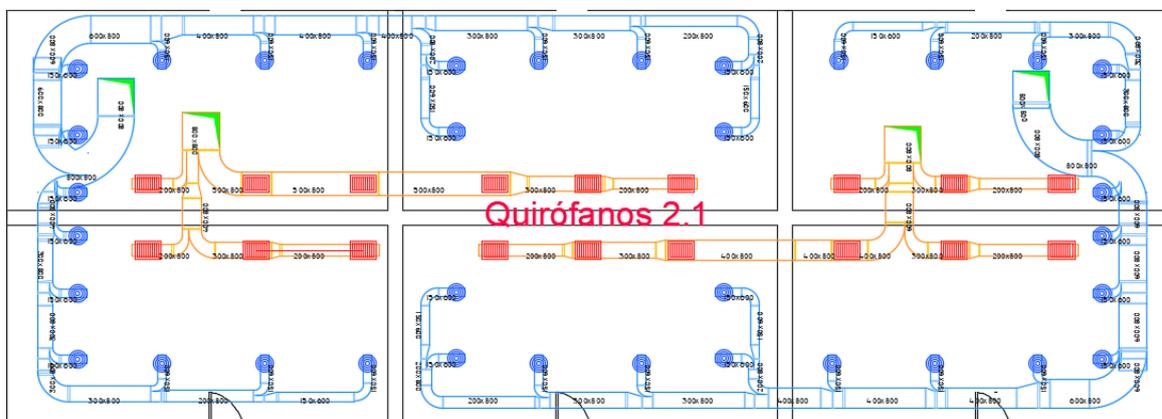


Ilustración 24. Ventilación en quirófanos.

Cada sala de quirófanos se diseña con 6 difusores de impulsión, cada uno de ellos aporta un caudal de $510 \text{ m}^3/\text{h}$. Las tres rejillas de retorno, con un caudal de aspiración de $1020 \text{ m}^3/\text{h}$, se sitúan estratégicamente en el lado opuesto a los difusores para garantizar que el flujo de aire de ventilación barre toda la sala eliminando gérmenes y agentes diluidos en el aire.

Las dos unidades de tratamiento de aire para la zona térmica “quirófanos 2.1” están ubicadas directamente encima de la sala, en la planta intermedia de instalaciones. De esta manera, las UTAs toman aire del exterior, lo purifican y tratan térmicamente, y luego el aire se dirige de manera inmediata a los quirófanos a través de las bajantes, evitando así conductos excesivamente largos.

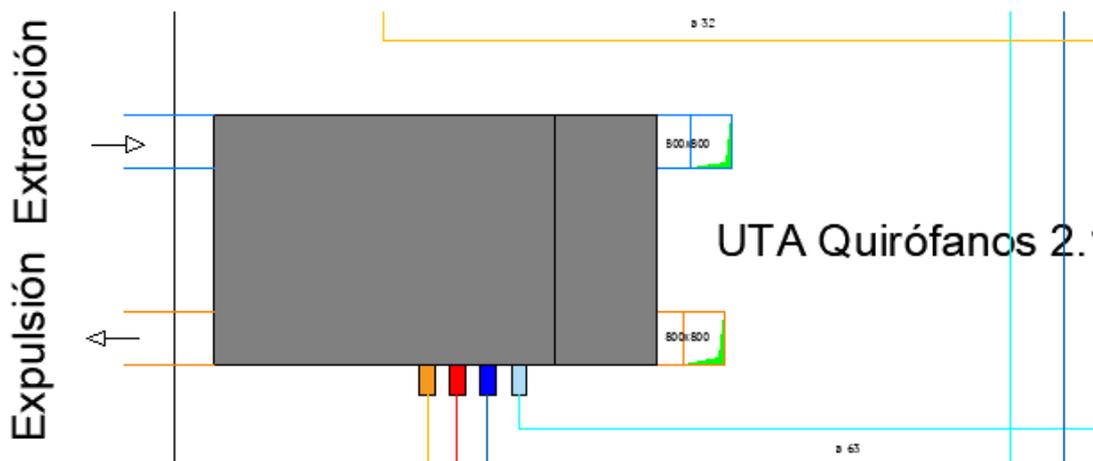


Ilustración 25. UTA Quirófanos 2.1 en planta intermedia. Fuente: elaboración propia.



7.3.- Niveles de filtración

Para garantizar la retención efectiva de impurezas presentes en el aire, como partículas sólidas, líquidas e incluso microorganismos, se implementan múltiples niveles de filtración en función de la clase de local a proteger. En el caso de locales de clase II, se requieren dos niveles de filtración, mientras que en los locales de clase I se necesitan tres niveles de filtración.

Estos niveles de filtración se reflejan en la tabla 1 de la norma UNE 100713 [2].

Nivel de filtración	Clase de filtro	Norma
1º	F 5	UNE-EN 779
2º	F 9	UNE-EN 779
3º	H 13	UNE-EN 1822-1

Ilustración 27. Clases de filtros en hospitales. Fuente: Norma UNE 100713.

Por motivos higiénicos, los niveles de filtración se deben disponer de la siguiente manera:

El primer nivel de filtración se debe colocar en la toma de aire exterior, si el conducto tiene una longitud mayor de 10, en caso contrario, se debe colocar en la entrada de aire de la unidad de tratamiento de aire o después de la eventual sección de mezcla.

El segundo nivel de filtración se instala después de la unidad de tratamiento de aire y al comienzo del conducto de impulsión.

El tercer nivel de filtración se sitúa lo más cerca posible del local a tratar o bien en la proximidad del grupo de locales de un mismo tipo, en el caso de los locales de la clase I, en la propia unidad terminal de impulsión de aire.

Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Espacios térmicos	Clase local	Filtros
Oficinas mantenimiento y laboratorios	II	F5+F9	Quirófanos 2.2 Iz.	I	F5+F9+H13
Almacén general, estéril y preparación	II	F5+F9	Quirófanos 2.2 Dcha.	I	F5+F9+H13
Vestuarios, farmacia, sala blanca y circulaciones	II	F5+F9	Preparación 2.2	I	F5+F9+H13
Farmacia almacén	II	F5+F9	Cuidados críticos	I	F5+F9+H13



Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Espacios térmicos	Clase local	Filtros
Consultas radiología	II	F5+F9	Médicos guardia	II	F5+F9
Radiología	II	F5+F9	Box 2	I	F5+F9+H13
Espera radiología	II	F5+F9	Consultas 2	II	F5+F9
TAC RMN RX	II	F5+F9	Salas de trabajo 2.1	II	F5+F9
Cafetería, administración y circulaciones	II	F5+F9	Diálisis	I	F5+F9+H13
Box urgencias	I	F5+F9+H13	Sala de trabajadores 2.2	II	F5+F9
Consulta urgencias	II	F5+F9	Vestuarios 2.1 y 2.2, comedor y Espera diálisis	II	F5+F9
Espera urgencias	II	F5+F9	Habitaciones 3.1	I	F5+F9+H13
Consultas 1.1	II	F5+F9	Médicos guardia 3.1, consultas 3.1 y enfermería 3.1 y 3.2	II	F5+F9
Sala de trabajo 1.1	II	F5+F9	Vestuario 3.1	II	F5+F9
Consultas 1.2	II	F5+F9	Circulaciones 3	II	F5+F9
Espera 1.1, 1.2 y 1.3	II	F5+F9	Almacén serv y médico 3.1	II	F5+F9
Administración 1	II	F5+F9	Radiología 3, espera Rad y espera 3	II	F5+F9
Consultas 1.3	II	F5+F9	Almacén serv y médico 3.2	II	F5+F9



Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Espacios térmicos	Clase local	Filtros
Consultas 1.4	II	F5+F9	Vestuario 3.2	II	F5+F9
Circulaciones 1	II	F5+F9	Médicos guardia 3.2, consultas 3.2 y enfermería 3.3 y 3.4	II	F5+F9
Consultas 1.5	II	F5+F9	Habitaciones 3.2	I	F5+F9+H13
Salas de trabajo 1.2	II	F5+F9	Habitaciones 4.1 y 4.2	I	F5+F9+H13
Consultas 1.6	II	F5+F9	Médicos guardia, Consulta y enfermería 4.1	II	F5+F9
Espera 1.4	II	F5+F9	Vestuario 4.1	II	F5+F9
HD Oncohematológico	I	F5+F9+H13	Almacén serv. y médico 4.1	II	F5+F9
Preparación 2.1	I	F5+F9+H13	Enfermería 4.2	II	F5+F9
Quirófanos 2.1 Iz.	I	F5+F9+H13	Cafetería, espera y administración 4	II	F5+F9
Quirófanos 2.1 Dcha.	I	F5+F9+H13	Enfermería 4.3	II	F5+F9
URPA	I	F5+F9+H13	Circulaciones 4	II	F5+F9

Tabla 19. Agrupaciones en unidades de tratamiento de aire, clase de local y filtros. Fuente: elaboración propia.



7.4.- Rejillas, difusores y toberas.

Para la selección de las rejillas de impulsión, retorno y difusores, se consulta el catálogo de Koolair. A cada rejilla se le asigna el caudal de impulsión del local dividido entre el número de rejillas existentes en el mismo, y se elige la dimensión adecuada en función de la velocidad de descarga y nivel acústico requerido. Se garantiza que todas las rejillas y difusores cumplen siempre con los requisitos establecidos en la tabla 5 de las exigencias en la climatización de un hospital.

El software DaWin cuenta con acceso directo al catálogo de Koolair, lo que nos permite seleccionar el modelo óptimo de rejilla de impulsión, retorno o difusor que cumpla con las condiciones deseadas de velocidad de descarga y nivel sonoro. Al establecer estos parámetros en el software, obtenemos automáticamente la opción más económica que cumpla con los requisitos establecidos.

En el sistema de climatización mixto, se utiliza una tobera de aire como conexión entre el conducto de ventilación y cada fancoil. Esta tobera tiene la función de adaptar el flujo de aire de manera adecuada para garantizar el correcto funcionamiento de los fancoils.

A continuación, se presenta el listado completo de los modelos de rejillas, difusores y toberas de aire que han sido seleccionados para el proyecto.

Listado de rejillas de impulsión y retorno, difusores y toberas		
ud	Rejilla reticular RT 250x250	4
ud	KOOLAIR 2015 - Difusor circular CD 10"	17
ud	KOOLAIR 2015 - Difusor circular CD 14"	58
ud	Rejilla reticular RT 400x250	30
ud	Rejilla reticular RT 300x250	18
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH 600 x 200	56
ud	Rejilla reticular RT 250x150	2
ud	Tobera orientable TB - 315	35
ud	Tobera orientable TB - 250	24
ud	Rejilla reticular RT 300x200	4
ud	Rejilla reticular RT 250x200	2
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 600x200	14
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH	89



Listado de rejillas de impulsión y retorno, difusores y toberas		
	300 x 300	
ud	Rejilla retorno 200x100	34
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x200	29
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 450x200	4
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH 500 x 300	58
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH 1100 x 200	47
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 600x400	51
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 600x300	87
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H-O - Rejilla retorno aletas fijas 45° con compuerta 600x250	1
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 800x300	13
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH 600 x 100	7
ud	Rejilla reticular RT 300x150	2
ud	Rejilla reticular RT 450x250	4
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 1000x300	22
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 300x300	24
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH 500 x 150	14
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 500x300	13
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 400x200	4
ud	KOOLAIR 2015 - DF-RE-GR - Difusor rotacional de aleta fija GR DF-RE-GR 315	72
ud	KOOLAIR 2015 - 20-45-H - Rejilla para retorno de aire 20-45-H 700x500	28
ud	KOOLAIR 2015 - 20-DH/21-DH - Rejilla de impulsión de doble deflexión horizontal 20DH 1200 x 250	8
ud	Rejilla reticular RT 500x300	1
ud	AIRZONE 2015 - RTE1 - Rejilla de retorno simple deflexión horizontal para techos modulares RTE1 600X600	5
ud	KOOLAIR 2015 - DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE 400	192



Listado de rejillas de impulsión y retorno, difusores y toberas		
ud	KOOLAIR 2015 - DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE 500	48
ud	KOOLAIR 2015 - DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE 355	14
ud	KOOLAIR 2015 - DF-RE - Difusor rotacional de aleta fija DF-RE 315	35

Tabla 20. Rejillas de impulsión, retorno, difusores y toberas en el sistema de ventilación. Fuente: elaboración propia.

7.5.- Diseño de las unidades de tratamiento de aire.

Cada una de las 58 unidades de tratamiento de aire se diseñan con sus características únicas con el programa System Air CAD.

Esta herramienta se destaca por ser altamente utilizada en el campo de la climatización debido a su capacidad para diseñar y simular unidades de tratamiento de aire al detalle. Al utilizar este software, los ingenieros y profesionales pueden crear modelos virtuales de las UTAs y personalizarlas según las necesidades y requisitos específicos de cada proyecto.

La interfaz gráfica intuitiva que proporciona el programa facilita la configuración de los parámetros de diseño, como el caudal de aire, la temperatura y humedad requeridas. Con esta información, el programa permite seleccionar los componentes necesarios, como ventiladores, serpentines de enfriamiento y calefacción, filtros, humidificadores e intercambiadores de calor. Esto asegura que la UTA esté dimensionada correctamente y cumpla con los estándares de rendimiento y eficacia.

Una de las ventajas más destacadas de System Air CAD es su capacidad para simular el rendimiento de la UTA. Esto permite evaluar el comportamiento del sistema en términos de flujo de aire, distribución de temperatura y consumo energético. Al simular el rendimiento, los diseñadores pueden identificar posibles áreas de mejora y optimizar el diseño de la UTA antes de su implementación.

Además, el programa es capaz de estimar las pérdidas de carga que ocurren en los conductos y componentes de la UTA. Esto es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema y evitar problemas de flujo de aire insuficiente. Con esta información, los ingenieros pueden ajustar el diseño de los conductos y seleccionar los componentes adecuados para minimizar las pérdidas de carga.

Finalmente, System Air CAD genera automáticamente la documentación técnica completa, como planos de diseño, diagramas de flujo, especificaciones técnicas y listados de elementos.



A continuación, se aporta de ejemplo el diseño de las UTAs de los quirófanos.

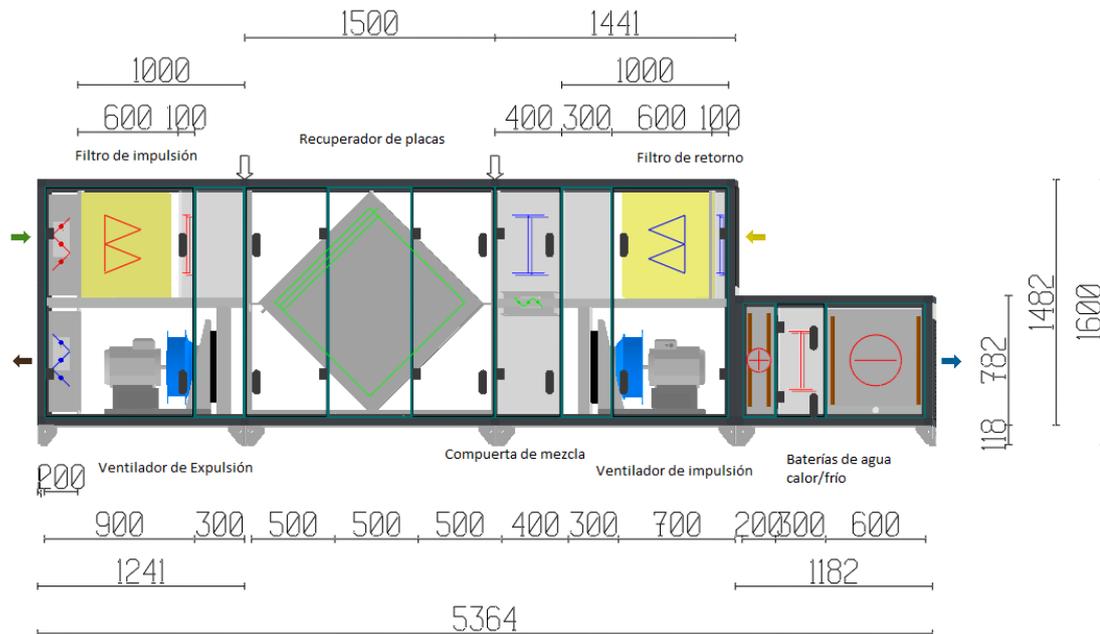


Ilustración 28. Diseño UTA quirófanos. Fuente: Elaboración propia.

Posee filtros F5 y F9 en la unidad de tratamiento y los H13 se instalan en las unidades terminales. Dos ventiladores de impulsión y retorno con las mismas características impulsan el aire venciendo todas las pérdidas producidas en los conductos y en la propia unidad. El recuperador de calor de placas posee un conducto de By-pass para evitar la recuperación cuando no se desee. La unidad está provista de dos baterías de agua con una capacidad de calor de 20688 W y una capacidad de refrigeración de 26820 W. En la batería de frío se instala un deshumidificador para eliminar la carga latente de ventilación.

Todas las unidades de tratamiento de aire del proyecto presentan un recuperador de calor de placas capaz de recuperar más de un 70 % del calor latente y sensible de la corriente de expulsión. Solo las unidades de tratamiento catalogadas como sistema todo-aire, presentan baterías de agua de frío y de calor, ya que en los sistemas mixtos aire-agua, el aporte térmico se realiza en los fancoils instalados en el propio local a climatizar. Se dimensiona la capacidad de estas baterías de agua multiplicando por un factor de sobredimensionamiento (1.2) la carga térmica máxima calculada en la simulación, de esta manera se asegura que la batería pueda responder correctamente ante cambios producidos en las condiciones exteriores.

La siguiente tabla refleja todas las unidades de tratamiento de aire presentes en el hospital, donde se puede visualizar los elementos que contiene, el lugar donde se instalan y los espacios que atiende.



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 1	INSTAL -1	Oficinas mantenimiento y laboratorios	II	F5+F9	Entálpico de placas	7805	342,34	24,05	No	Fancoils	Fancoils
UTA 2	INSTAL -1	Almacén general, estéril y preparación	II	F5+F9	Entálpico de placas	4999	392,77	23,92	No	Fancoils	Fancoils
UTA 3	INSTAL -1	Vestuarios, farmacia, sala blanca y circulaciones	II	F5+F9	Entálpico de placas	14412	507,16	62,37	No	Fancoils	Fancoils
UTA 4	INSTAL -1	Farmacia almacén	II	F5+F9	Entálpico de placas	540	34,84	43,87	Sí	1785	1722
UTA 5	INSTAL 0	Consultas radiología	II	F5+F9	Entálpico de placas	887	46,16	30,78	Sí	2255	5710
UTA 6	INSTAL 0	Radiología	II	F5+F9	Entálpico de placas	2151	108,14	10,44	No	Fancoils	Fancoils
UTA 7	INSTAL 0	Espera radiología	II	F5+F9	Entálpico de placas	3387	25,03	39,79	Sí	5715	13872
UTA 8	INSTAL 0	TAC RMN RX	II	F5+F9	Entálpico de placas	1075	16,79	6,35	No	Fancoils	Fancoils



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 9	INSTAL 0	Cafetería, administración y circulaciones	II	F5+F9	Entálpico de placas	6947	497,41	101,34	No	Fancoils	Fancoils
UTA 10	INSTAL 0	Box urgencias	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	39944	69,57	130,81	Sí	62005	136112
UTA 11	INSTAL 0	Consulta urgencias	II	F5+F9	Entálpico de placas	3084	38,96	36,14	Sí	1136	21407
UTA 12	INSTAL 1	Espera urgencias	II	F5+F9	Entálpico de placas	9717	26,94	57,39	Sí	7350	54705
UTA 13	INSTAL 1	Consultas 1.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	3326	12,98	10,37	Sí	13136	22428
UTA 14	INSTAL 1	Sala de trabajo 1.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	1814	25,41	9,28	Sí	7724	10860
UTA 15	INSTAL 1	Consultas 1.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	3326	16,41	18,32	Sí	13609	23239
UTA 16	INSTAL 1	Espera 1.1, 1.2 y 1.3	II	F5+F9	Entálpico de placas	5080	269,78	55,99	No	Fancoils	Fancoils
UTA 17	INSTAL 1	Administración 1	II	F5+F9	Entálpico de placas	1210	133,65	16,9	No	Fancoils	Fancoils



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 18	INSTAL 1	Consultas 1.3	II	F5+F9	Entálpico de placas	3548	19,14	10,28	Sí	13816	23902
UTA 19	INSTAL 1	Consultas 1.4	II	F5+F9	Entálpico de placas	3226	32,89	11,66	Sí	12213	21662
UTA 20	INSTAL 1	Circulaciones 1	II	F5+F9	Entálpico de placas	3974	553,19	70,01	No	Fancoils	Fancoils
UTA 21	INSTAL 1	Consultas 1.5	II	F5+F9	Entálpico de placas	3326	16,79	6,35	Sí	13374	22670
UTA 22	INSTAL 1	Salas de trabajo 1.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	1814	34,44	17,63	Sí	7724	10860
UTA 23	INSTAL 1	Consultas 1.6	II	F5+F9	Entálpico de placas	2601	18,23	11	Sí	12041	18407
UTA 24	INSTAL 1	Espera 1.4	II	F5+F9	Entálpico de placas	2117	411,51	15,23	No	Fancoils	Fancoils
UTA 25	INSTAL 1	HD Oncohematológico	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	3931	19,03	7,23	Sí	16594	19788
UTA 26	INSTAL 2	Preparación 2.1	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	2426	13,59	21,48	Sí	4590	9298



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 27	INSTAL 2	Quirófanos 2.1 Iz.	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	9180	22,81	7,68	Sí	20688	26820
UTA 28	INSTAL 2	Quirófanos 2.1 Dcha.	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	9180	23,17	9,42	Sí	20688	26820
UTA 29	INSTAL 2	URPA	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	6477	14,51	9,68	Sí	10118	21867
UTA 30	INSTAL 2	Quirófanos 2.2 Iz.	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	9180	22,81	7,65	Sí	20684	26871
UTA 31	INSTAL 2	Quirófanos 2.2 Dcha.	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	9180	23,23	9,59	Sí	20684	26871
UTA 32	INSTAL 2	Preparación 2.2	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	2426	14,04	25,5	Sí	4471	9388
UTA 33	INSTAL 2	Cuidados críticos	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	10226	8,33	21,22	Sí	15925	34742
UTA 34	INSTAL 2	Médicos guardia	II	F5+F9	Entálpico de placas	1572	13,14	8,17	Sí	494	10816
UTA 35	INSTAL 2	Box 2	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	7473	5,94	10,6	Sí	11572	25726



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 36	INSTAL 2	Consultas 2	II	F5+F9	Entálpico de placas	1835	13,23	18,19	Sí	7643	12333
UTA 37	INSTAL 2	Salas de trabajo 2.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	2883	7,34	19,42	Si	12163	16476
UTA 38	INSTAL 2	Diálisis	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	2722	16,06	9,74	Sí	9408	18444
UTA 39	INSTAL 2	Sala de trabajadores 2.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	1552	17,36	13,16	Sí	6554	8946
UTA 40	INSTAL 2	Vestuarios 2.1 y 2.2, comedor y Espera diálisis	II	F5+F9	Entálpico de placas	15887	624,93	26,67	No	Fancoils	Fancoils
UTA 41	INSTAL 3	Habitaciones 3.1	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	7138	19,09	55,99	Sí	2617	40491
UTA 42	INSTAL 3	Médicos guardia 3.1, consultas 3.1 y enfermería 3.1 y 3.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	2984	17,78	36,05	Sí	1512	20617
UTA 43	INSTAL 3	Vestuario 3.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	691	50,91	25,61	No	Fancoils	Fancoils
UTA 44	INSTAL 3	Circulaciones 3	II	F5+F9	Entálpico de placas	5414	697,38	75,04	No	Fancoils	Fancoils



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 45	INSTAL 3	Almacén serv y médico 3.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	432	80,11	56,86	Sí	1686	1357
UTA 46	INSTAL 3	Radiología 3, espera Rad y espera 3	II	F5+F9	Entálpico de placas	4838	397,02	26,53	No	Fancoils	Fancoils
UTA 47	INSTAL 3	Almacén serv y médico 3.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	432	109,16	96,47	Sí	1996	2333
UTA 48	INSTAL 3	Vestuario 3.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	691	50,3	25,34	No	Fancoils	Fancoils
UTA 49	INSTAL 3	Médicos guardia 3.2, consultas 3.2 y enfermería 3.3 y 3.4	II	F5+F9	Entálpico de placas	2984	26,41	29,93	Sí	1564	20973
UTA 50	INSTAL 3	Habitaciones 3.2	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	7138	19,27	45,8	Sí	4133	39272
UTA 51	INSTAL 4	Habitaciones 4.1 y 4.2	I	F5+F9+H13	Entálpico de placas	11816	13,45	51,3	Sí	6820	63539
UTA 52	INSTAL 4	Médicos guardia, Consulta y enfermería 4.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	1728	271,94	23,29	Sí	1542	16834
UTA 53	INSTAL 4	Vestuario 4.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	2420	20,81	39,95	No	Fancoils	Fancoils



Diseño de los climatizadores											
UTA	Ubicación	Espacios térmicos	Clase local	Filtros	Recuperador de calor	Q ventilación ($\frac{m^3}{h}$)	Presión total necesaria Ventilador Ida (Pa)	Presión total necesaria Ventilador retorno (Pa)	Batería	Potencia batería de calor (W)	Potencia batería de frío (W)
UTA 54	INSTAL 4	Almacén serv. y médico 4.1	II	F5+F9	Entálpico de placas	404	28,96	41,73	Sí	2310	1469
UTA 55	INSTAL 4	Enfermería 4.2	II	F5+F9	Entálpico de placas	1411	9,4	32,95	Sí	535	9789
UTA 56	INSTAL 4	Cafetería, espera y administración 4	II	F5+F9	Entálpico de placas	7137	302,85	24,94	No	Fancoils	Fancoils
UTA 57	INSTAL 4	Enfermería 4.3	II	F5+F9	Entálpico de placas	2339	25,21	15,83	Sí	838	16425
UTA 58	INSTAL 4	Circulaciones 4	II	F5+F9	Entálpico de placas	4910	569,68	53,76	No	Fancoils	Fancoils

Tabla 21. Listado de unidades de tratamiento de aire con sus elementos. Fuente: elaboración propia



7.6.- Fancoils 4 tubos de alta presión

Para los sistemas de climatización mixtos aire-agua, se seleccionan los Fancoils a 4 tubos de alta presión Daikin FDW [9], se considera la mejor opción por diversas razones:

- Poseen una mayor capacidad de enfriamiento y calefacción: los fancoils de alta presión a 4 tubos tienen la capacidad de proporcionar una mayor capacidad de enfriamiento y calefacción en comparación con otros tipos de fancoils. Esto se debe a que cuentan con dos tubos dedicados para el suministro de agua fría y caliente, lo que permite un intercambio eficiente y una respuesta rápida a las demandas de climatización.
- Flexibilidad en el control de temperatura: la integración del sistema a 4 tubos ofrece una mayor flexibilidad en el control de la temperatura. Esto permite ajustar individualmente la temperatura de cada fancoil de acuerdo con las necesidades específicas de cada zona o espacio del hospital.
- Eficiencia energética: gracias a su diseño y tecnología avanzada, pueden proporcionar un rendimiento óptimo en términos de consumo de energía, evitando el desperdicio de energía y optimizando el sistema de climatización.

Además, estas unidades, debido a su diseño compacto y versátil, facilita su integración en el espacio disponible sin requerir grandes modificaciones en la estructura del edificio.

UNID. DE SUELO TECHO SIN ENVOLVENTE CON ALTA PRESIÓN DISPONIBLE		FWD04	FWD06	FWD08	FWD10	FWD12	FWD16	FWD18
Capacidad (2 Tubos) ³⁾	Total Refrig. ¹⁾ (4)	3,6	5,44	7,24	8,12	11,03	15,63	17,44
	Sensible Refrig. ¹⁾	2,78	3,96	5,98	6,48	8,5	11,96	13,2
	Calefacción ²⁾	4,01	6,15	7,81	8,81	11,92	17,01	18,72
Consumo Total ³⁾	W	265	460	505	505	750	1300	1.300
Presión estática disponible	Pa	70	70	70	70	100	100	100
Caudal de aire ³⁾	m ³ /h	790	1.167	1.586	1.554	2.171	3.133	3.101
Dimensiones	AlxAxAn.xF.	280x754x558	280x964x558	280x1.174x558	280x1.174x558	353x1.174x718	353x1.384x718	353x1.384x718
Peso	kg	33	41	47	49	65	77	80
Nivel potencia sonora ³⁾	dBA	66	69	72	72	74	78	78

Precio	2 Tubos (válvula opcional) (AT)	FWD04AT	FWD06AT	FWD08AT	FWD10AT	FWD12AT	FWD16AT	FWD18AT
		767,00 €	956,00 €	1.132,00 €	1.303,00 €	1.701,00 €	1.979,00 €	2.240,00 €
4 Tubos (válvula opcional) (AF)	FWD04AF	FWD06AF	FWD08AF	FWD10AF	FWD12AF	FWD16AF	FWD18AF	
	885,00 €	1.119,00 €	1.306,00 €	1.473,00 €	1.994,00 €	2.334,00 €	2.574,00 €	

Ilustración 29. Especificaciones técnicas fancoils de alta presión FDW. Fuente: catálogo Daikin.

Para seleccionar de forma óptima los modelos en cada zona térmica del hospital, se realiza un proceso en el que se consideran los límites de potencia de calefacción, refrigeración y caudal de impulsión establecidos en cada modelo de fancoil. El objetivo es garantizar que el modelo seleccionado se ajuste a las necesidades de cada local lo máximo posible. En algunas zonas térmicas, se requiere de un gran caudal de impulsión y una potencia térmica pequeña, en estos casos los equipos quedan ligeramente sobredimensionados para satisfacer las necesidades de aire.

Se programa una hoja de cálculo en Excel con los modelos y especificaciones de los fancoils mostrados en la imagen superior, con la finalidad de seleccionar automáticamente la combinación que mejor se adapta a las necesidades de cada zona térmica.



Ubicación	Q vent. ($\frac{m^3}{h}$)	Q imp. ($\frac{m^3}{h}$)	Q rec. ($\frac{m^3}{h}$)	Potencia calor (kW)	Potencia Frío (kW)	Fancoil conductos de alta presión 4 tubos	Unidades	Capacidad calor (kW)	Capacidad frío (kW)	Caudal max. (m^3/h)
Vestuarios -1	6854	7611	757	16,3	33,2	FWD12	1	11,92	11,03	2171
						FWD16	2	34,02	31,26	6266
Esteril almacen -1	432	3564	3132	0	21,8	FWD12	2	23,84	22,06	4342
Esteril preparación -1	2580	3801	1221	0,6	26,9	FWD18	2	37,44	34,88	6202
Almacén general	1987	2151	164	6,32	3,77	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Farmacia sala blanca -1	1210	1452	242	6	10,5	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Farmacia -1	2752	3308	556	13,6	24	FWD12	2	23,84	22,06	4342
Lab3 Urgencias -1	1724	2018	294	0	15,3	FWD16	1	17,01	15,63	3133
Lab2 microbiología -1	2107	2544	437	10	18,4	FWD10	2	17,62	16,24	3108
Lab1 bioquímica -1	1915	2320	405	9,9	16,9	FWD18	1	18,72	17,44	3101
Oficinas mantenimiento -1	2059	3546	1487	5,3	24,7	FWD12	2	23,84	22,06	4342
Circulaciones -1	3596	4104	508	3,8	19,1	FWD12	2	23,84	22,06	4342



Ubicación	Q vent. ($\frac{m^3}{h}$)	Q imp. ($\frac{m^3}{h}$)	Q rec. ($\frac{m^3}{h}$)	Potencia calor (kW)	Potencia Frío (kW)	Fancoil conductos de alta presión 4 tubos	Unidades	Capacidad calor (kW)	Capacidad frío (kW)	Caudal max. (m^3/h)
Radiología 0	3226	8765	5539	0	52,3	FWD18	3	56,16	52,32	9303
Administración	2930	5238	2308	5,9	35,2	FWD18	2	37,44	34,88	6202
Cafetería 0	1076	2238	1162	1	14,7	FWD16	1	17,01	15,63	3133
Circulaciones 0	2941	3366	425	4,7	16	FWD12	2	23,84	22,06	4342
Vestuarios 2.1	1613	1932	319	3,8	7,5	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Espera 1.1 1.2 y 1.3	5080	5633	553	22,6	18,9	FWD12	3	35,76	33,09	6513
Espera 1.4	2117	2424	307	9,5	9,1	FWD16	1	17,01	15,63	3133
Administración 1	1210	2559	1349	2,5	15,7	FWD16	1	17,01	15,63	3133
Espera 2.1 dial	4092	4538	446	15,8	17,6	FWD16	1	17,01	15,63	3133
						FWD10	1	8,81	8,12	1554
Vestuarios 2.2	6494	7879	1385	16,4	30,1	FWD10	1	8,81	8,12	1554
						FWD16	2	34,02	31,26	6266
Comedor 2	632	1232	600	0,2	8	FWD10	1	8,81	8,12	1554



Ubicación	Q vent. ($\frac{m^3}{h}$)	Q imp. ($\frac{m^3}{h}$)	Q rec. ($\frac{m^3}{h}$)	Potencia calor (kW)	Potencia Frío (kW)	Fancoil conductos de alta presión 4 tubos	Unidades	Capacidad calor (kW)	Capacidad frío (kW)	Caudal max. (m^3/h)
Circulaciones 2	3056	3459	403	3,3	15,8	FWD12	2	23,84	22,06	4342
Circulaciones 1	3974	4544	570	4	21,2	FWD10	1	8,81	8,12	1554
						FWD16	1	17,01	15,63	3133
Administración 2	907	1748	841	2,2	11,3	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Vestuario 3.1	691	835	144	1,7	3,3	FWD06	1	6,15	5,44	1167
Radiología planta 3	968	2651	1683	0	15,8	FWD10	2	17,62	16,24	3108
Espera RadPI 3	2056	2268	212	3	8,5	FWD16	1	17,01	15,63	3133
Espera 3.1	1814	2010	196	3,7	10,2	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Vestuario 3.2	691	821	130	1,7	3,3	FWD06	1	6,15	5,44	1167
Circulaciones 3.2 y 3.3	5414	6248	834	3,1	28,1	FWD16	2	34,02	31,26	6266
Espera 4.1	1814	2031	217	2,9	7,4	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Vestuarios 4.1	1728	1974	246	4,6	7,9	FWD12	1	11,92	11,03	2171
Cafetería 4	2443	4949	2506	1,5	32,2	FWD16	2	34,02	31,26	6266



Ubicación	Q vent. ($\frac{m^3}{h}$)	Q imp. ($\frac{m^3}{h}$)	Q rec. ($\frac{m^3}{h}$)	Potencia calor (kW)	Potencia Frío (kW)	Fancoil conductos de alta presión 4 tubos	Unidades	Capacidad calor (kW)	Capacidad frío (kW)	Caudal max. (m^3/h)
Administración 4.1	2880	5738	2858	8,4	35,7	FWD18	2	37,44	34,88	6202
Circulaciones 4.1 y 4.2	4910	5614	704	5,9	25,4	FWD16	2	34,02	31,26	6266

Tabla 22. Fancoils seleccionados y características. Fuente: elaboración propia.



8.- DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS CIRCUITOS HIDRÁULICOS

En el proceso de diseño de los circuitos y componentes hidráulicos para la climatización del hospital, se ha puesto un énfasis especial en la reducción del consumo de energía eléctrica. Para lograr este objetivo, se han implementado estrategias que permiten maximizar la eficiencia energética y aprovechar al máximo los recursos disponibles.

Una de estas estrategias consiste en la agrupación de circuitos, es decir, la combinación de múltiples equipos y sistemas en un solo circuito hidráulico. Esto permite optimizar el uso de energía al compartir recursos y evitar redundancias innecesarias.

Además, se ha dado prioridad al uso de equipos tecnológicos de alta eficiencia, los cuales se caracterizan por su capacidad para proporcionar el máximo rendimiento utilizando la menor cantidad de energía posible. Estos equipos, como bombas de calor, enfriadoras, bombas de circulación y válvulas, han sido seleccionados cuidadosamente para garantizar su eficiencia energética y su capacidad de adaptarse a las necesidades específicas de climatización del hospital.

Asimismo, se ha incorporado un sistema de control que permite monitorear y regular el funcionamiento de los circuitos hidráulicos. Este sistema de control utiliza sensores y actuadores para ajustar los parámetros de temperatura, flujo y presión de acuerdo con las condiciones ambientales y las necesidades de climatización de cada espacio del hospital.

Todos los resultados obtenidos en este apartado se reflejan con todo detalle en el esquema de principio presente en el documento de planos del proyecto. Este esquema de principio proporciona una representación visual completa de todos los circuitos y componentes hidráulicos diseñados para la climatización del hospital.

Es una práctica común y recomendada, junto con el esquema de principio, dimensionar los circuitos hidráulicos en los planos del proyecto. Al hacerlo, se proporciona al lector una representación visual que facilita la comprensión de cómo se interconectan los diferentes componentes y cómo fluye el agua a través del sistema.



8.1.- Generador térmico del hospital.

La producción continua y simultánea de calor y de frío en numerosos espacios durante las 24 horas del día junto con el uso intensivo de ventiladores eléctricos, hacen de un hospital una de las instituciones con mayor consumo energético del mundo.

Los hospitales convencionales utilizan sistemas de compresión mecánica de vapor (chillers) para comprimir y enfriar un refrigerante, eliminando así el calor del agua del sistema de climatización y calderas que generan calor mediante la quema de combustibles fósiles como gas natural, fuel oil o biomasa. El calor generado se utiliza para calentar agua o producir vapor que luego se utiliza en sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria.

En el proyecto, se centraliza la producción de frío y de calor en un solo generador térmico. Esto se consigue gracias a enfriadoras de alta gama capaces de producir frío y calor de forma simultánea como una gran bomba de calor.

Las enfriadoras de última generación de Daikin son sistemas avanzados de climatización que ofrecen una solución versátil para la producción simultánea de frío y calor en la climatización.

El sistema planteado se basa en una serie de enfriadoras agua-agua que pueden garantizar la climatización de todo el hospital de forma continuada enviando agua a todos los climatizadores y fancoils distribuidos en el hospital.

Se diseña este sistema con dos grandes depósitos de acumulación de frío y calor. Estos depósitos actúan como almacenamiento térmico, permitiendo el aprovechamiento y la gestión inteligente de la energía. Durante los periodos en los que la demanda de calor es baja, el exceso de calor generado por las enfriadoras se almacena en los depósitos para su uso posterior. Además, estas enfriadoras también pueden complementar las calderas utilizadas para la producción de agua caliente sanitaria, aprovechando el calor generado para reducir notablemente el salto térmico requerido.

En caso de que no sea posible acumular más calor o frío en los depósitos, el exceso de calor se dirige hacia una torre de refrigeración, donde se disipa al ambiente. Esta estrategia garantiza un funcionamiento continuo y eficiente del sistema, evitando posibles desperdicios energéticos.

Según el catálogo de Daikin [9], estas enfriadoras, utilizadas de forma inteligente, pueden alcanzar un rendimiento medio estacional de más de 8, es decir, son capaces de reducir el consumo de electricidad en la calefacción y refrigeración en una octava parte.

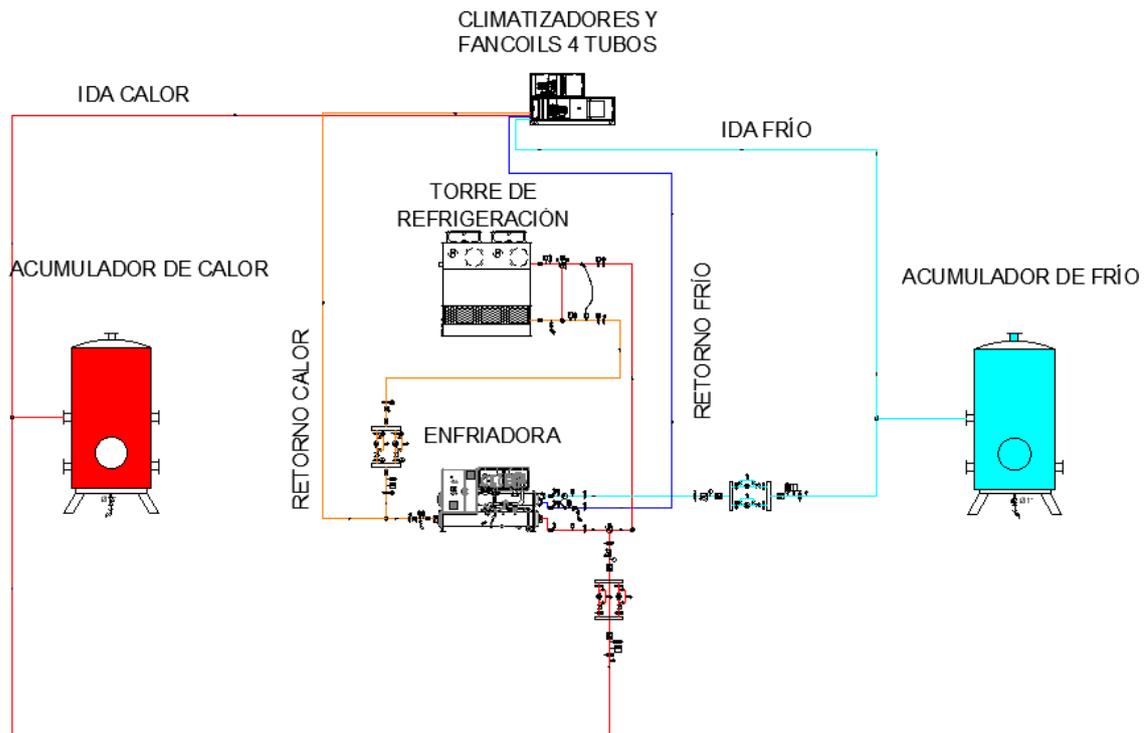


Ilustración 30. Esquema básico del sistema generador. Fuente: elaboración propia.

Para la selección de las enfriadoras, se distinguen dos grupos bien diferenciados en función de las necesidades de climatización. En primer lugar, se encuentran las zonas de necesidades primordiales, donde es crucial garantizar la climatización completa de cada una de las zonas de forma individual. En estas zonas, se implementa un circuito hidráulico dedicado para cada zona, con la inclusión de dos circuladores en paralelo, con la finalidad de proporcionar redundancia y asegurar un suministro constante en caso de que uno de los circuladores falle o necesite mantenimiento.

Por otro lado, en las salas comunes del hospital se utiliza un coeficiente de simultaneidad del 80 % para dimensionar las enfriadoras. Esto significa que se considera que, en promedio, solo el 80% de las zonas agrupadas estarán funcionando simultáneamente a plena carga. Esta aproximación permite optimizar el dimensionamiento y reducir la capacidad total requerida, sin comprometer el confort térmico de las áreas comunes.

En el diseño de las agrupaciones de las salas comunes del hospital, se lleva a cabo una estrategia de dividir los climatizadores y fancoils que abastecen a una planta en un circuito norte y otro circuito sur. Esta división se realiza por varias razones técnicas que resultan beneficiosas para el funcionamiento del sistema de climatización:

- Permite una distribución equilibrada de cargas térmicas: dividir los circuitos en norte y sur permite distribuir de manera equilibrada las cargas térmicas comunes a lo largo de la planta. Dependiendo de la orientación geográfica del edificio, las áreas expuestas al norte pueden recibir más radiación solar



directa, lo que genera una carga térmica mayor. Al dividir los circuitos en función de esta orientación, se logra un balance en la distribución de cargas y se evita la sobrecarga o subcarga de un circuito en particular.

- Se consigue una reducción en las pérdidas de calor y frío: al separar los circuitos en función de la orientación geográfica, se minimiza las pérdidas de calor y de frío durante la distribución de agua. Si los circuitos norte y sur se mezclaran en un solo circuito, las diferencias de temperatura entre las áreas expuestas al sol y las áreas sombreadas podrían provocar una transferencia de calor no deseada.
- Se obtiene una mayor eficiencia en la regulación y ajuste: al contar con circuitos separados, se facilita la regulación y el ajuste del sistema de climatización. Cada circuito puede ser controlado individualmente, lo que permite adaptar la temperatura y el caudal de agua según las necesidades de cada área.

En estos sistemas también se emplean dos circuladores en paralelo para garantizar siempre el suministro de agua en caso de fallo o mantenimiento.

Se identifican los laboratorios, box urgencias, las zonas de radiología y TAC, HD oncohematológico, quirófanos, URPA y diálisis como las zonas de primera necesidad.

Potencia necesaria y selección de equipos de primera necesidad							
Zona térmica	planta	Espacio térmico	Calor (W)	Frío (W)	Margen seguridad	Potencia de calefacción proyectada (kW)	Potencia de refrigeración proyectada (kW)
ZT07	-1	Lab3 Urgencias	0	15312	1,1	0,0	16,84
ZT08	-1	Lab2 microbiología	9993	18351	1,1	11,0	20,19
ZT09	-1	Lab1 bioquímica	9851	16861	1,1	10,8	18,55
ZT15	0	Box urgencias	62005	136112	1,1	68,2	149,72
ZT17	0	Radiología	33	52302	1,1	0,0	57,53
ZT33	1	HD oncohematológico	16594	19788	1,1	18,3	21,77
ZT36	2	Quirófanos 2.1	41377	53640	1,1	45,5	59,00
ZT37	2	Quirófanos 2.2	41368	53634	1,1	45,5	59,00
ZT40	2	URPA	10118	21867	1,1	11,1	24,05
ZT41	2	Cuidados críticos	15925	34742	1,1	17,5	38,22



Potencia necesaria y selección de equipos de primera necesidad							
Zona térmica	planta	Espacio térmico	Calor (W)	Frío (W)	Margen seguridad	Potencia de calefacción proyectada (kW)	Potencia de refrigeración proyectada (kW)
Zona térmica	planta	Espacio térmico	Calor (W)	Frío (W)	Margen seguridad	Potencia de calefacción proyectada (kW)	Potencia de refrigeración proyectada (kW)
ZT44	2	Box	11572	25726	1,1	12,7	28,30
ZT48	2	Diálisis	9408	18444	1,1	10,3	20,29
ZT63	3	Radiología	0	15820	1,1	0,0	17,40
		TOTAL	228244	482599	TOTAL	251,1	530,86

Tabla 23. Potencia proyectada en sistema de primera necesidad. Fuente: elaboración propia.

Para cubrir la demanda de climatización en las zonas prioritarias del hospital, se seleccionan dos enfriadoras agua-agua de la marca Daikin, modelo EWW530VZ-PSA1, (también se pueden denominar perfectamente como bombas de calor), con una capacidad de 525 kW cada una. Estas enfriadoras utilizan un ciclo de compresión de refrigerante R-1234ze para producir agua fría y caliente, con saltos térmicos de (7-12°C) para la refrigeración y (45-50°C) para la calefacción.

De acuerdo con la norma *UNE-EN 145511* [10], estas enfriadoras tienen un rendimiento medio estacional de 9.02, lo que significa que permiten reducir en una novena parte el consumo de energía en el sistema de climatización. Esto se traduce en un significativo ahorro energético y económico para el hospital.

Potencia necesaria para selección de generadores salas comunes hospital						
Planta	Calor (kW)	Frío (kW)	Simultaneidad calor	Simultaneidad calor	Potencia calor necesaria (kW)	Potencia frío necesaria (kW)
Planta -1	74	216	0,8	0,8	59	173
Planta 0	90	350	0,8	0,8	72	280
Planta 1	141	228	0,8	0,8	113	182
Planta 2	220	384	0,8	0,8	176	307
Planta 3	27	194	0,8	0,8	21	155



Potencia necesaria para selección de generadores salas comunes hospital						
Planta	Calor (kW)	Frío (kW)	Simultaneidad calor	Simultaneidad frío	Potencia calor necesaria (kW)	Potencia frío necesaria (kW)
Planta 4	35	217	0,8	0,8	28	173
TOTAL, zonas comunes	358	1106	0,8	0,8	287	885

Tabla 24. Potencia proyectada salas comunes del hospital. Fuente: elaboración propia.

Para determinar la potencia requerida del generador térmico en las áreas comunes del hospital, se realiza un cálculo basado en la suma de las cargas térmicas de todos los espacios del edificio, a excepción de las áreas prioritarias. Esta suma se ajusta aplicando un factor de simultaneidad, considerando que no todas las zonas requerirán la máxima demanda de frío o calor al mismo tiempo.

Este enfoque permite dimensionar adecuadamente el generador térmico, teniendo en cuenta las necesidades reales de climatización de las áreas comunes del hospital y evitando sobredimensionamientos innecesarios.

Siguiendo la misma metódica que para las salas de primera necesidad, se seleccionan dos enfriadoras (bombas de calor) EWWH880VZ-PSA1, con una capacidad de 884 kW de potencia y un rendimiento medio estacional, según UNE-EN14511 [10], de 8.56.

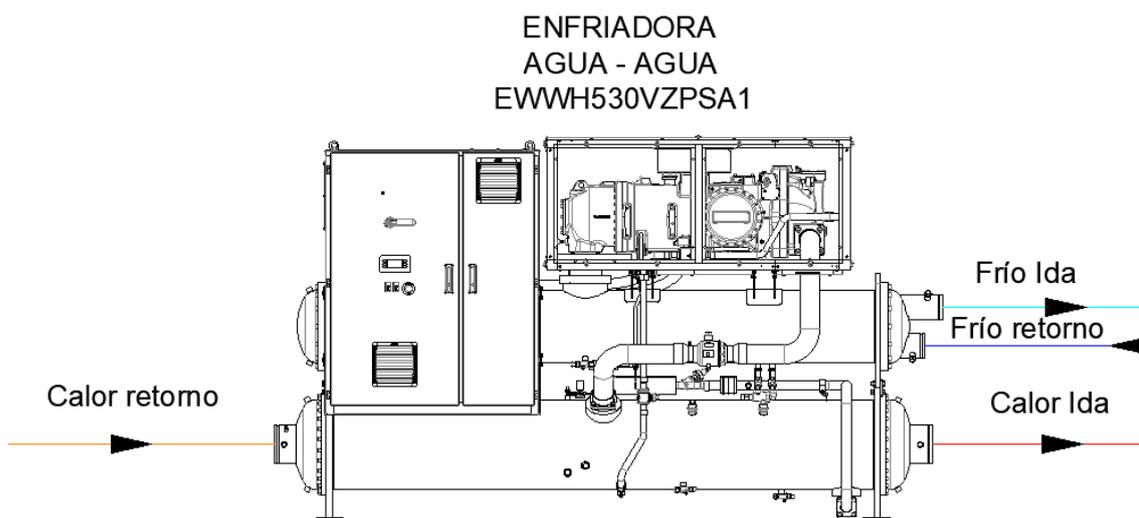


Ilustración 31. Enfriadora Agua-agua modelo EWWH530VZPSA1.



8.2.- Diseño y cálculos de los circuitos hidráulicos.

8.2.1.- ICwin y diseño de la instalación hidráulica.

Para el diseño y cálculos de todos los circuitos hidráulicos de la instalación se emplea la herramienta de climatización por agua ICwin. Una de las características principales de este software, es su capacidad para calcular los diámetros de las tuberías de la instalación. Utilizando parámetros de caudal, presión y velocidad del fluido, el software determina los diámetros óptimos de las tuberías, teniendo en cuenta las pérdidas de carga y la velocidad del flujo.

Además, se calculan las rutas más desfavorables de los circuitos y se determinan las pérdidas de carga específicas en cada uno de los sistemas. Esto permite identificar los puntos críticos donde se requiere una mayor presión para compensar las pérdidas y garantizar el funcionamiento. Como resultado, se calcula la altura y el caudal óptimo que debe aportar la bomba circuladora en el circuito cerrado.

Por último, también se calculan las dimensiones del depósito de expansión en cada uno de los circuitos. Este cálculo se basa en los principios físicos de contracción y expansión del agua debido a las variaciones de temperatura.

Como se mencionó previamente, los circuitos de primera necesidad cuentan con sus propios circuladores específicos, lo que garantiza un suministro de agua individualizado y adecuado a estas zonas críticas del hospital. Por otro lado, los sistemas comunes se agrupan según la orientación geográfica norte y sur. En el caso de la planta 1, por ejemplo, se utiliza una bomba de circulación para impulsar agua a cada climatizador ubicado en la planta intermedia de instalaciones 1 y posteriormente, las tuberías bajan a la planta 1 del hospital para abastecer a los fancoils.

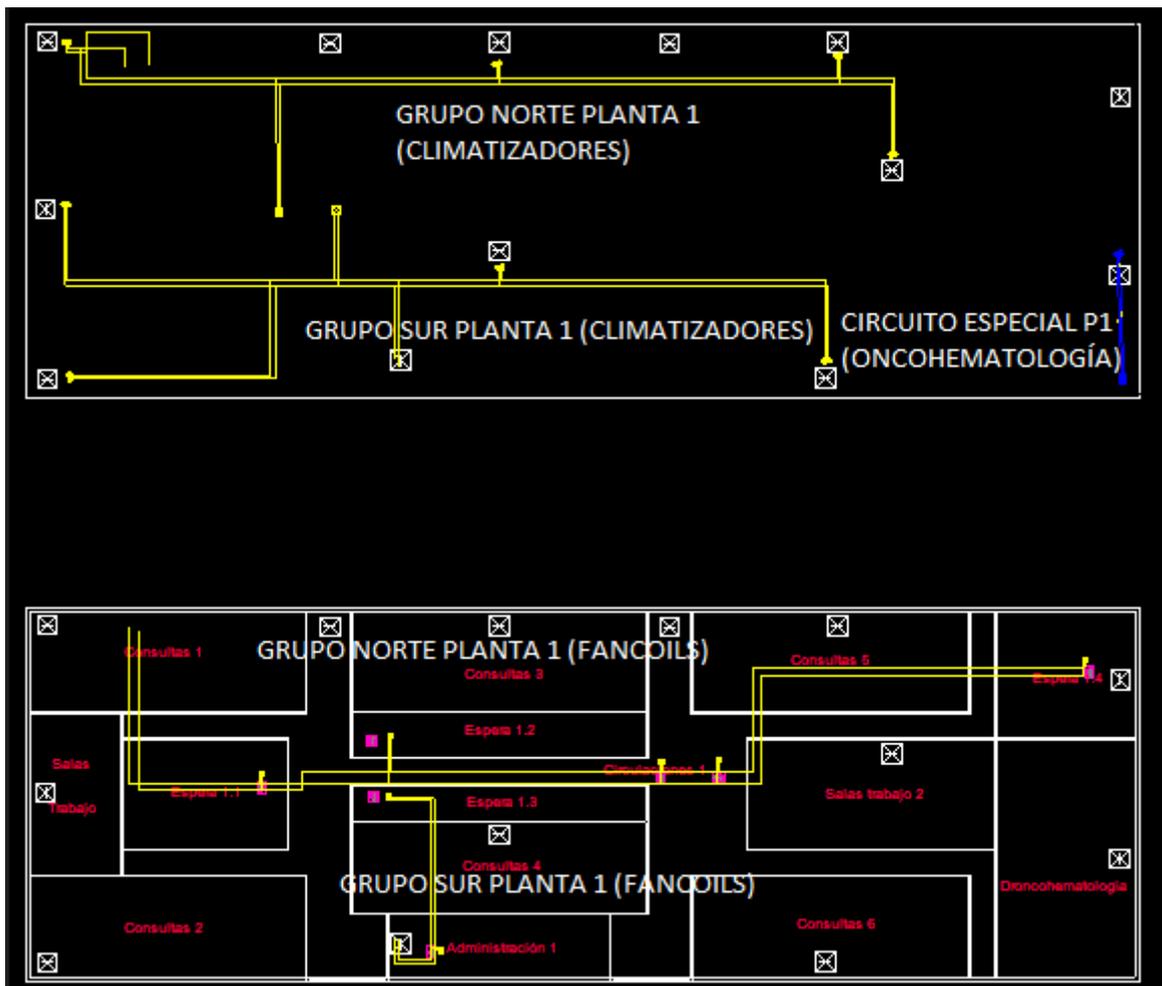


Ilustración 32. ICwin, distribución hidráulica en Planta 1. Fuente: elaboración propia.

Todos los fancoils y climatizadores destinados a las áreas de primera necesidad son instalados sin aplicar factor de diversidad, lo que significa que se dimensionan para cubrir la carga térmica máxima esperada en cada espacio individualmente. Por otro lado, en el caso de los fancoils y climatizadores de las salas comunes, se realiza el cálculo considerando un factor del 80 %.

En la especificación de cada uno de estos equipos, se indica la temperatura requerida en cada local, tanto en verano como en invierno. En los meses de verano, se establece una temperatura de 26 °C, mientras que en invierno se busca mantener una temperatura de 24 °C, valores establecidos en la tabla 5 de la norma de acondicionamiento térmico en hospitales.

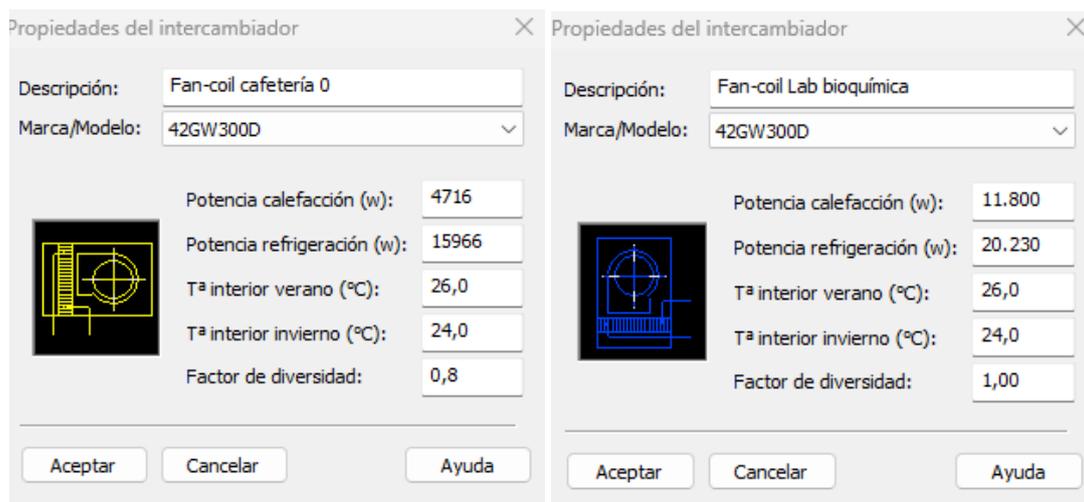


Ilustración 33. ICwin, fancoil de sala común vs fancoil primera necesidad. Fuente: elaboración propia.

Los generadores y circuladores del sistema se calculan con los saltos térmicos mencionados en el apartado anterior.

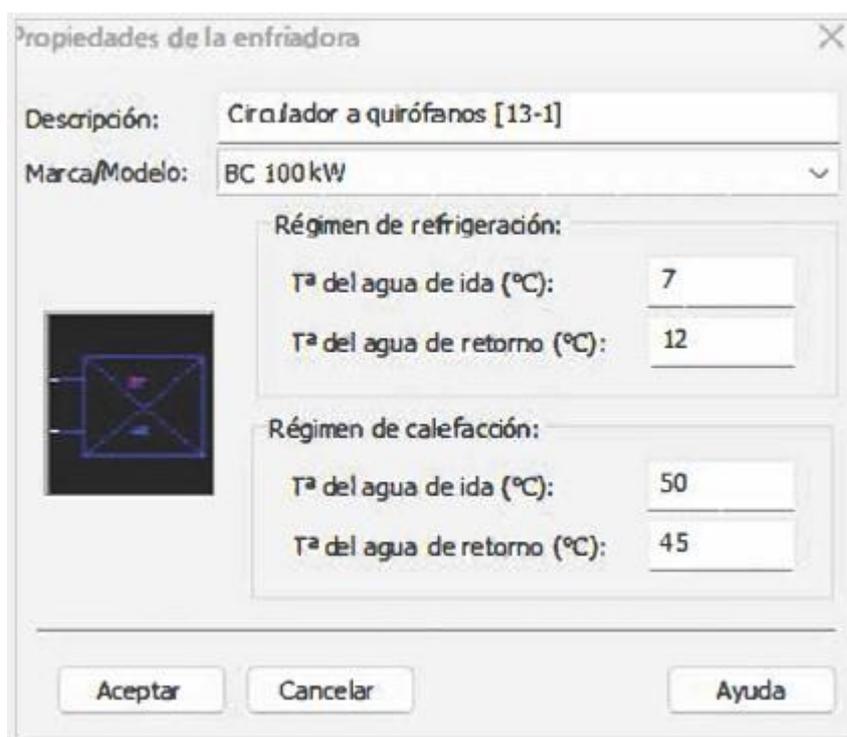


Ilustración 34. ICwin bomba de los quirófanos. Fuente elaboración propia

Se diseñan con el programa todos los circuitos del sistema con sus climatizadores, fancoils y circuladores correspondientes para proceder al método de cálculo. El diseño completo de la instalación hidráulica, así como los resultados de los cálculos se presentan detalladamente en el esquema de principio, proporcionando una comprensión completa del sistema.



8.2.2.- Método de cálculo.

El caudal que debe suministrar la bomba de circulación viene dado por la expresión:

$$Q = \frac{860 \cdot P}{1000 \cdot \Delta t \cdot C_e \cdot \gamma} \quad (8.2.2.1)$$

Donde:

$$C_e = \text{calor específico del agua} = 1,0 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\gamma = \text{Peso específico del agua} = 1,0 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$$

$$\Delta t = \text{Salto térmico} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

P = Potencia térmica de los fancoils y climatizadores [W]

Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías se ha tenido en cuenta la fórmula de Prandtl-Colebrook y se limita la pérdida de carga por unidad de longitud de tubería a 40 *mmc. a./m*

$$V = -2 * \sqrt{2 * g * D * J} * \log_{10} \left(\frac{k_a}{3,71 * D} + \frac{2,51 * v}{D * \sqrt{2 * g * D * J}} \right) \quad (8.2.2.2)$$

Donde:

J = Pérdida de carga, en *m. c. a./m*.

D = Diámetro interior de la tubería, en *m*.

V = Velocidad media del agua, en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Q_r = Caudal por la rama, en $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

K_a = Rugosidad uniforme equivalente, en *m*.

v = Viscosidad cinemática del fluido, ($1,31 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ para agua a 10 °C).

g = Aceleración de la gravedad, ($9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Se tienen en cuenta las longitudes equivalentes a tubería recta de igual diámetro en los accesorios (tes, codos, etc) y válvulas conectadas entre tuberías, para el calcular las pérdidas de carga que se producen.

El procedimiento de cálculo del depósito de expansión cerrado se basa en la normativa UNE-100155:2004 “Diseño y cálculo de sistemas de expansión” [11]



El volumen o capacidad útil que debe tener el depósito debe ser de al menos de:

$$V_u = V * \alpha \quad (8.2.2.3)$$

Donde:

V_u = Volumen o capacidad útil del depósito en litros.

V = Volumen de agua total de la instalación en litros.

α = Coeficiente de dilatación del agua en %.

El volumen total de agua en la instalación es la suma del volumen del generador y emisores más la capacidad de las tuberías.

$$V_{Total} = V_{Generador} + V_{Emisores} + V_{Tuberías} \quad (8.2.2.4)$$

El volumen total se recalcula tomando un factor de seguridad del 10 %.

Para una temperatura media de 47,5 °C y un porcentaje de glicol etilénico del 0% se tiene un incremento de volumen del 1,080 %.

Por lo tanto, el volumen del depósito se calcula con la siguiente expresión:

$$V_u = V_{total} * (1 + 0,1) * 1,080/100 \quad (8.2.2.5)$$

El coeficiente de presión del gas relaciona la presión máxima de trabajo (PM) y la presión de llenado del gas (Pm), ambas como presiones absolutas:

$$C_p = PM / (PM - P_m) \quad (8.2.2.6)$$

Como mínimo se toma una presión de llenado de 0,5 bar. Por otra parte, se elige una presión máxima de trabajo $PM = 5$ bar.

Se realiza el proceso de cálculo descrito en todos los sistemas de la instalación.

Para el dimensionamiento de las tuberías se escoge el material termoplástico de polietileno reticulado (PEX) serie 3.2, debido a su gran flexibilidad y a su fácil instalación. Se aplica el criterio de seguridad estándar propuesto en la guía técnica IDAE "instalaciones de climatización por agua" [12], en el que la velocidad máxima en cada tramo no puede superar el valor de 2 m/s. Si la serie 3.2 no es suficiente para cumplir con este requisito, se selecciona la serie con el espesor inmediatamente superior.

Debido a la fuerte presión que necesitan soportar las tuberías que salen de la enfriadora, ya que conducen toda el agua al colector principal, se emplea acero inoxidable como medio de transporte, también se dimensiona con una velocidad máxima de 2 m/s y se recurre a las tablas establecidas en la norma *UNE-EN 10312:2003* [13] de la guía técnica IDAE.



8.2.3.- Resumen de los resultados.

Resumen cálculos circuitos de frío				
Circuito hidráulico	Caudal (L/h)	Presión (m.c.a.)	Capacidad del depósito de expansión (L)	Volumen total de agua (L)
De enfriadora de primeras necesidades a colector principal	152219	9,441	35	2214,8
De enfriadora de salas comunes a colector principal	83007	9,374	35	1889,5
Instalaciones -1 Norte	13652	8,452	12	660,5
Instalaciones -1 Sur	9768	11,433	12	584,3
Instalaciones 0 Norte	11695	9,006	8	476,7
Instalaciones 0 Sur	9240	7,248	8	327,3
Instalaciones 1 Norte	16889	12,6	18	966,9
Instalaciones 1 Sur	13229	6,068	8	459,9
Instalaciones 2 Norte	13183	11,246	12	697,6
Instalaciones 2 Sur	6923	8,385	8	461,4
Instalaciones 3 Norte	8116	7,215	8	342,5
Instalaciones 3 Sur	16245	13,321	18	890,4
Instalaciones 4 Norte	17121	10,879	12	804,9
Instalaciones 4 Sur	12691	13,365	18	904,8
Cuidados críticos Planta 2	7171	4,994	4	125,3
Box Planta 2	5310	3,106	4	46,1
Diálisis Planta 2	3806	4,666	4	77,4
Quirófanos Planta 2	22143	8,276	8	518,9
URPA Planta 2	4513,5	3,77	4	156,1
Box urgencias Planta 0	28036	7,521	4	239,1
Radiología y TAC Planta 0	10795	6,097	4	235



Resumen cálculos circuitos de frío				
Circuito hidráulico	Caudal (L/h)	Presión (m.c.a.)	Capacidad del depósito de expansión (L)	Volumen total de agua (L)
Laboratorios planta -1	10427	8,209	8	411,9
HD oncohematológico Planta 1	4085	3,454	4	39,5
Radiología P3	3265	4,199	4	78,7

Tabla 25. Cálculos de los circuitos hidráulicos de frío. Fuente: elaboración propia.

Resumen cálculos circuitos de calor				
Circuito hidráulico	Caudal (L/h)	Presión (m.c.a.)	Capacidad del depósito de expansión (L)	Volumen total de agua (L)
De enfriadora de primeras necesidades a colector principal	39258	8,497	18	1226,3
De enfriadora de salas comunes a colector principal	61651	10,232	18	1020,1
Instalaciones -1 Norte	4483	7,481	8	334,7
Instalaciones -1 Sur	4915	9,379	8	343,1
Instalaciones 0 Norte	2733	5,386	4	222,7
Instalaciones 0 Sur	2637	5,762	4	155,6
Instalaciones 1 Norte	13188,8	13,248	12	778,3
Instalaciones 1 Sur	9575	7,102	8	380,8
Instalaciones 2 Norte	8516	7,514	12	576,6
Instalaciones 2 Sur	4502	8,958	8	326,7
Instalaciones 3 Norte	2136	8,161	4	133,1
Instalaciones 3 Sur	2327	12,387	4	255,1
Instalaciones 4 Norte	3443	9,866	4	267,8
Instalaciones 4 Sur	2652	10,181	8	326
Cuidados críticos Planta 2	3285	4,338	4	82,8



Resumen cálculos circuitos de calor				
Circuito hidráulico	Caudal (L/h)	Presión (m.c.a.)	Capacidad del depósito de expansión (L)	Volumen total de agua (L)
Box Planta 2	2391	2,99	4	32,9
Diálisis Planta 2	1944	4,389	4	53,3
Quirófanos Planta 2	17097	6,692	12	427,4
URPA Planta 2	2081	5,471	4	69,1
Box urgencias Planta 0	12797	3,684	4	163,5
Radiología y TAC Planta 0	516	5,44	4	37,4
Laboratorios planta -1	4266	6,959	8	249,4
HD oncohematológico Planta 1	3423	3,161	4	39,5
Radiología P3	344	4,006	4	26,2

Tabla 26. Cálculos de los circuitos hidráulicos de calor. Fuente: elaboración propia.

Los demás cálculos corresponden al dimensionamiento de cada tubería de calor y de frío. A continuación, se adjuntan los diámetros de las tuberías principales que salen de los colectores, se puede consultar el diámetro de cada uno de los tramos de la instalación en los planos del proyecto.

Circuito hidráulico	Modelo de tubería Frío	DN (mm)	Modelo de tubería Calor	DN (mm)
De enfriadora de primeras necesidades a colector principal	Acero Inox	5 "	Acero Inox	4 "
De enfriadora de salas comunes a colector principal	Acero Inox	6 "	Acero Inox	4 "
Instalaciones -1 Norte	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	63
Instalaciones -1 Sur	PEX serie 3.2	75	PEX serie 3.2	63
Instalaciones 0 Norte	PEX serie 3.2	75	PEX serie 3.2	50
Instalaciones 0 Sur	PEX serie 3.2	75	PEX serie 3.2	50
Instalaciones 1 Norte	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	90



Circuito hidráulico	Modelo de tubería Frío	DN (mm)	Modelo de tubería Calor	DN (mm)
Instalaciones 1 Sur	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	75
Instalaciones 2 Norte	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	75
Instalaciones 2 Sur	PEX serie 3.2	63	PEX serie 3.2	63
Instalaciones 3 Norte	PEX serie 3.2	75	PEX serie 3.2	40
Instalaciones 3 Sur	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	50
Instalaciones 4 Norte	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	50
Instalaciones 4 Sur	PEX serie 3.2	90	PEX serie 3.2	50
Cuidados críticos Planta 2	PEX serie 3.2	63	PEX serie 3.2	50
Box Planta 2	PEX serie 3.2	63	PEX serie 3.2	50
Diálisis Planta 2	PEX serie 3.2	50	PEX serie 3.2	40
Quirófanos Planta 2	PEX serie 3.2	110	PEX serie 3.2	90
URPA Planta 2	PEX serie 3.2	63	PEX serie 3.2	40
Box urgencias Planta 0	PEX serie 3.2	110	PEX serie 3.2	90
Radiología y TAC Planta 0	PEX serie 3.2	75	PEX serie 3.2	25
Laboratorios planta -1	PEX serie 3.2	75	PEX serie 3.2	63
HD oncohematológico Planta 1	PEX serie 3.2	50	PEX serie 3.2	50
Radiología P3	PEX serie 3.2	50	PEX serie 3.2	25

Tabla 27. Dimensionamiento de las tuberías principales. Fuente: elaboración propia.

8.2.4.- Diseño de los colectores de agua.

En la instalación existen un total de 6 colectores. El colector principal, ubicado en la planta de instalaciones -1, es el encargado de distribuir el agua a todos los climatizadores y fancoils de esa planta y de distribuir el agua necesaria a las demás.

En el resto de las plantas intermedias, dedicadas a las instalaciones los climatizadores o UTAs, existe un colector donde las bombas aspiran agua del colector principal para posteriormente ser impulsado a las unidades terminales.

Para el dimensionamiento de estos colectores, se suma el caudal de agua total que circula por cada planta con la restricción de que la velocidad máxima en el colector sea de 2 m/s.



Lo primero, se dimensionan las tuberías de aspiración que dirigen el agua del colector principal a su respectiva planta. Para ello se acude a las tablas proporcionadas en la guía técnica IDAE siguiendo la misma metodología explicada en el anterior apartado.

Dimensionamiento de las tuberías de aspiración en colectores de frío					
Tubería de aspiración a	Q (m ³ /s)	V Max (m/s)	Diámetro (mm)	DN UNE-EN ISO	Serie
Planta 0	0,005	2	57	75	Termoplástico 3.2
Planta 1	0,0073	2	68	110	Termoplástico 3.2
Planta 2	0,0111	2	84	110	Termoplástico 5.0
Planta 3	0,0013	2	29	40	Termoplástico 3.2
Planta 4	0,0017	2	33	50	Termoplástico 3.2
Dimensionamiento de las tuberías de aspiración en colectores de calor					
Tubería de aspiración a	Q (m ³ /s)	V Max (m/s)	Diámetro (mm)	DN UNE-EN ISO	Serie
Planta 0	0,0136	2	93	110	Termoplástico 6.3
Planta 1	0,0095	2	78	110	Termoplástico 3.2
Planta 2	0,0175	2	106	125	ACERO 5 "
Planta 3	0,0077	2	70	110	Termoplástico 3.2
Planta 4	0,0083	2	73	110	Termoplástico 3.2

Tabla 28. Cálculo diámetros de las tuberías de aspiración.

Donde el diámetro se calcula como:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (8.2.4.1)$$

Con este diámetro calculado, se acude a las tablas y para una velocidad de 2 m/s se selecciona el modelo de tubería que cumpla con los requisitos.



Colectores de frío	Q Total (m ³ /s)	V Max (m/s)	Diámetro (mm)	DN UNE-EN 10.312 (Acero Inox.)
Instalaciones -1 (principal)	0,065	2	203,4	8 "
Instalaciones 0	0,017	2	104,0	4,5 "
Instalaciones 1	0,01	2	79,8	3,5 "
Instalaciones 2	0,018	2	107,0	4,5 "
Instalaciones 3	0,008	2	71,4	3 "
Instalaciones 4	0,008	2	71,4	3 "
Colectores de calor	Q Total (m ³ /s)	V Max (m/s)	Diámetro (mm)	DN UNE-EN 10.312 (Acero Inox.)
Instalaciones -1 (principal)	0,028	2	133,5	5,5 "
Instalaciones 0	0,005	2	56,4	4,5 "
Instalaciones 1	0,007	2	66,8	3 "
Instalaciones 2	0,011	2	83,7	3,5 "
Instalaciones 3	0,001	2	25,2	1 "
Instalaciones 4	0,002	2	35,7	1,5 "

Tabla 29. Cálculo diámetros de los colectores.

Las bombas de las enfriadoras envían el agua desde la sala de máquinas hacia el colector principal, este colector es el centro de operaciones de distribución de agua en todo el hospital. Por un lado, tiene tres bombas de circulación; las encargadas de enviar el agua a los fancoils y climatizadores del circuito norte y sur de la planta -1 y a los laboratorios, y, por otro lado, dos grandes bombas que se encargan de devolver toda el agua de la instalación de regreso a las enfriadoras.

En la parte superior izquierda de los colectores principales, se encuentran las tuberías de aspiración con agua fría o caliente. En los colectores de las plantas intermedias las bombas aspiran el agua que se demanda a través de estas tuberías.

En la parte superior derecha, las dos grandes bombas aspiran el agua de retorno de todas las plantas para ser enviada de nuevo a las enfriadoras y cerrar así el ciclo.

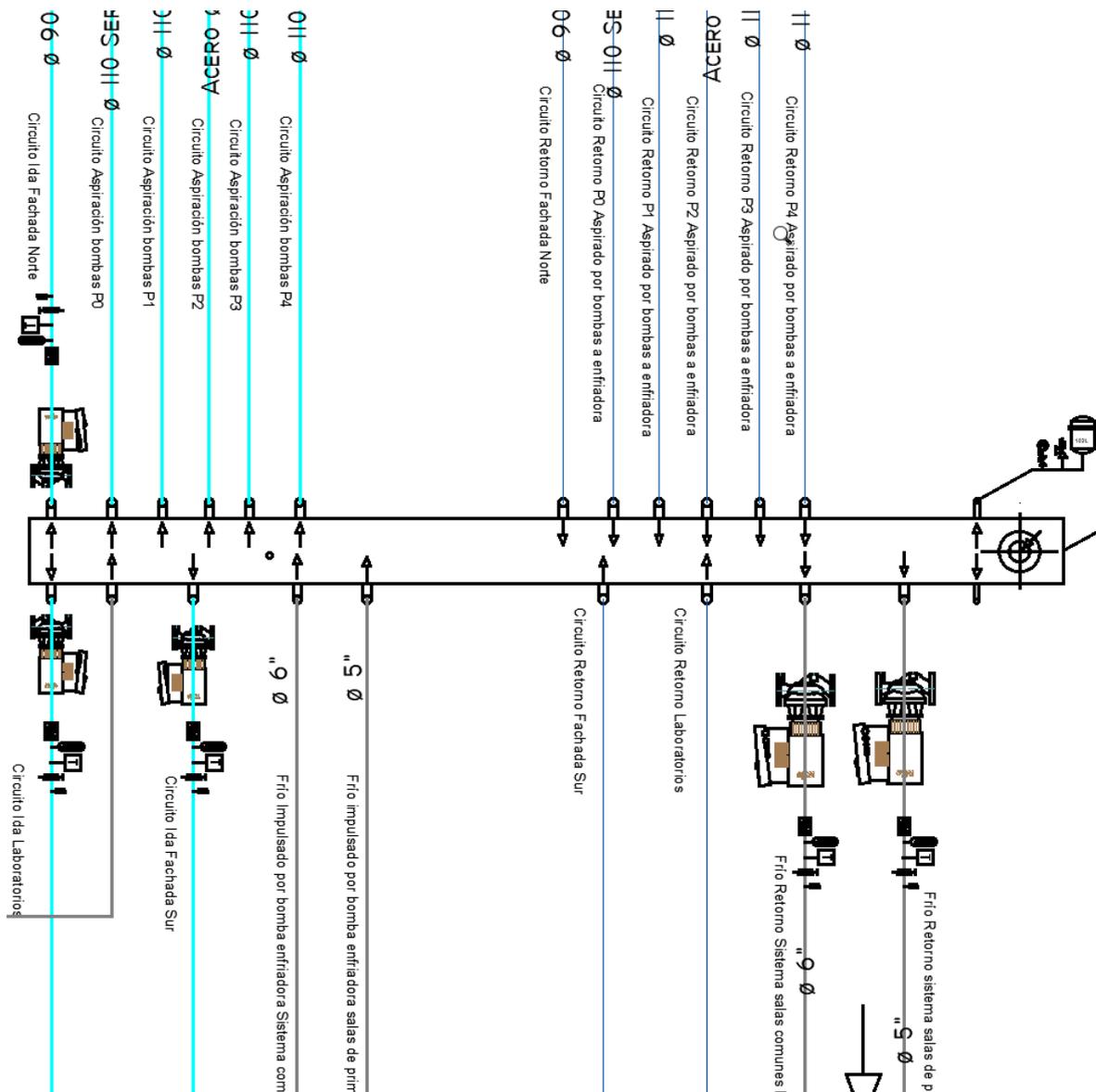


Ilustración 35. Diseño completo del colector principal de frío. Fuente: elaboración propia.

La sección de la izquierda del colector se encarga de distribuir toda el agua fría de ida a todos los equipos del hospital, mientras que la parte de la derecha se encarga del retorno.

Todos los colectores están provistos con el depósito de expansión calculado para acomodar las contracciones del agua causadas por cambios de la temperatura.



8.3.- Acumuladores de agua.

Considerando todos los elementos de la instalación hidráulica y un funcionamiento de la instalación a pleno rendimiento, se tiene un volumen total de 13609 L de agua fría y 7218 L de agua caliente. Se diseñan dos acumuladores dotados de equipos electrónicos que permitan aprovechar la energía residual para su posterior uso. Esto se traduce en un aumento del rendimiento medio estacional de los generadores térmicos.

Se diseñan los acumuladores con la capacidad de almacenar casi todo el volumen de agua de la instalación hidráulica y se ubican en la de planta instalaciones -1.

Acumulador de frío			
Volumen instalación (L)	Diámetro (m)	Altura (m)	Capacidad del depósito (L)
13609	4,5	3,5	12370
Acumulador de calor			
Volumen instalación (L)	Diámetro (m)	Altura (m)	Capacidad del depósito (L)
7218	3	3	7069

Tabla 30. Acumuladores de agua. Fuente: elaboración propia.

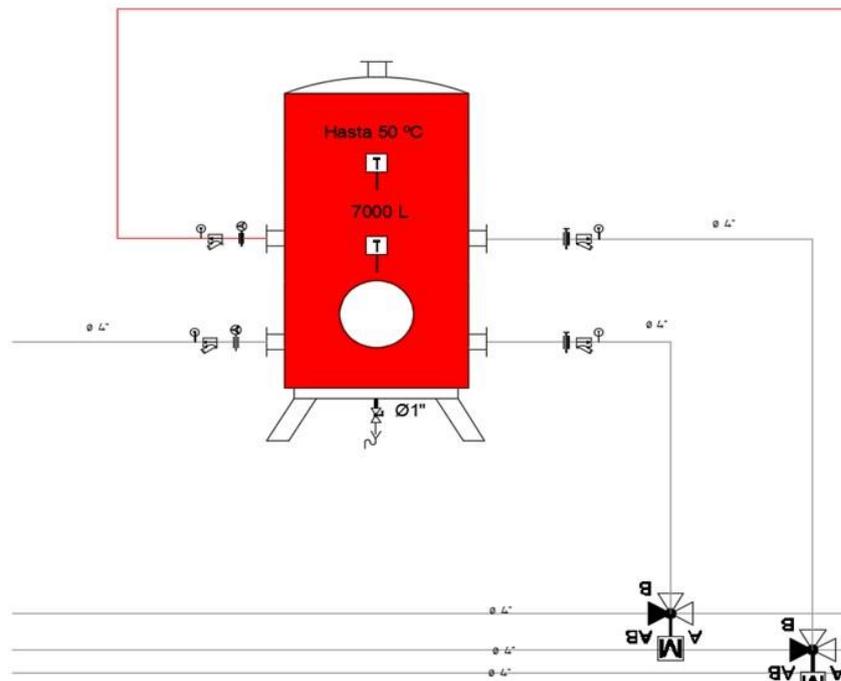


Ilustración 36. Sistema de acumulación de calor. Fuente: elaboración propia.



El acumulador recibe y distribuye agua en función de las necesidades del hospital. Unas válvulas monitorizadas de tres vías reciben información de los sensores de temperatura y toman la decisión de acumular o aportar agua al sistema.

El sistema de acumulación de agua fría es idéntico al ilustrado en la imagen superior.

8.4.- Selección de los circuladores de agua.

Conociendo el caudal y la altura de impulsión que debe aportar cada circulador en las condiciones de diseño, se emplea la herramienta Wilo select [14] para determinar que bombas pueden funcionar bajo las condiciones de operación. Se seleccionan bombas inteligentes integradas con un variador de frecuencia para ahorrar energía.

Es importante que las bombas seleccionadas se encuentren en un régimen donde al disminuir el caudal puedan seguir funcionando correctamente, ya que las condiciones de diseño son para un funcionamiento a plena potencia.

El proceso consiste en consultar el catálogo de bombas y buscar aquellas que puedan operar dentro de las condiciones de caudal y altura requeridas y se seleccionan aquellas que presenten un mayor rendimiento.

A continuación, se muestra el ejemplo de la curva característica de la bomba que impulsa agua desde las enfriadoras que abastecen las salas comunes del hospital, hacia el colector principal. Todas las fichas técnicas de los circuladores seleccionados se adjuntan en los anexos de la memoria.

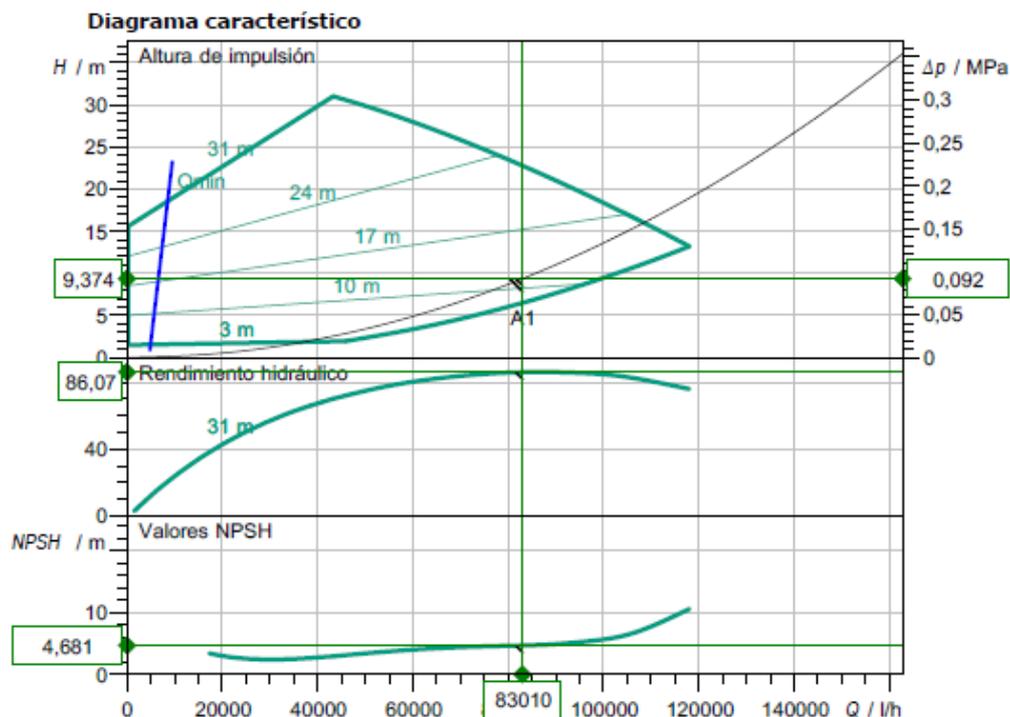


Ilustración 37. Curva característica circulador enfriadoras de salas comunes a colector principal.



La siguiente tabla muestra todos los modelos de bombas seleccionados. Cabe destacar que todas las bombas están duplicadas, a excepción de los circuladores de las enfriadoras, los cuales son cuatro debido a que agua debe retornar a estas.

Circuito	Modelo circulador Wilo en refrigeración	Modelo circulador Wilo en calefacción
De enfriadora de primeras necesidades a colector principal	Stratos GIGA 150/1-14/11	Yonos MAXO 100/0,5-12 PN10
De enfriadora de salas comunes a colector principal	Stratos GIGA 100/1-33/6,0	Stratos GIGA 80/1-37/5,3
Instalaciones -1 Norte	Stratos MAXO 65/0,5-12 PN6/10	Atmos GIGA-B 32/150-0,37/4
Instalaciones -1 Sur	Yonos MAXO 40/0,5-16 PN6/10	Yonos GIGA2.0-I 32/1-9/M-0,37
Instalaciones 0 Norte	Yonos MAXO 50/0,5-12 PN6/10	Atmos GIGA-B 32/115.1-0,25/4
Instalaciones 0 Sur	Yonos MAXO 40/0,5-16 PN6/10	Atmos GIGA-B 32/105-0,25/4
Instalaciones 1 Norte	Yonos MAXO 100/0,5-12 PN6	Yonos GIGA2.0-I 40/1-16/1,5
Instalaciones 1 Sur	Yonos MAXO 50/0,5-12 PN6/10	Stratos GIGA2.0-I 32/1-13/0,55
Instalaciones 2 Norte	Yonos MAXO 100/0,5-12 PN10	Stratos GIGA2.0-I 32/1-13/0,55
Instalaciones 2 Sur	Yonos MAXO 30/0,5-12 PN10	Stratos GIGA2.0-I 32/1-9/M-0,37
Instalaciones 3 Norte	Yonos MAXO 32/0,5-11 PN6/10	Atmos GIGA-B 32/150.1-0,37/4
Instalaciones 3 Sur	Yonos MAXO 50/0,5-16 PN6/10	Atmos GIGA-B 32/230.1-0,75/4
Instalaciones 4 Norte	Yonos MAXO 50/0,5-16 PN6/10	Atmos GIGA-B 32/180.1-0,37/4
Instalaciones 4 Sur	Yonos MAXO 50/0,5-16 PN6/10	Stratos GIGA2.0-I 32/1-13/0,55
Cuidados críticos Planta 2	Yonos MAXO 32/0,5-11 PN6/10	Stratos MAXO 25/0,5-10 PN10
Box Planta 2	Yonos MAXO 30/0,5-12 PN10	Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10
Diálisis Planta 2	Yonos MAXO 32/0,5-11 PN6/10	Stratos PICO 15/0,5-8
Quirófanos Planta 2	Yonos MAXO 100/0,5-12 PN6	Yonos MAXO 80/0,5-6 PN6
URPA Planta 2	Yonos MAXO 25/0,5-10 PN10	Yonos PICO1.0 25/1-8-130
Box urgencias Planta 0	Yonos MAXO 80/0,5-12 PN6	Stratos MAXO 40/0,5-12 PN6/10-R7
Radiología y TAC Planta 0	Yonos MAXO 65/0,5-12 PN6/10	Yonos PICO1.0 15/1-6



Circuito	Modelo circulador Wilo en refrigeración	Modelo circulador Wilo en calefacción
Laboratorios planta -1	Yonos MAXO 50/0,5-12 PN6/10	Stratos MAXO 30/0,5-12 PN10-R7
HD oncohematológico Planta 1	Yonos MAXO 30/0,5-7 PN10	Stratos MAXO 50/0,5-10 PN6/10
Radiología P3	Yonos MAXO 25/0,5-7 PN10	Yonos PICO1.0 25/1-5-130

Tabla 31. Modelo de los circuladores. Fuente: elaboración propia.



9.- AGUA CALIENTE SANITARIA.

La guía técnica IDAE “Agua caliente sanitaria central” [15] proporciona la información necesaria para dimensionar las tuberías de ACS y AFS. Además, esta guía brinda los cálculos necesarios para determinar la potencia requerida por el generador térmico y la contribución al ahorro energético mediante la implementación de sistemas de acumulación.

9.1.- Distribución y caudales de cálculo.

El primer caso consiste en identificar el número de elementos consumidores de agua en la instalación, una vez identificados los elementos se recurre a la tabla de cálculo de caudales y aparatos de la guía técnica para conocer el caudal de agua total del hospital.

Cálculo de los caudales (l/s) y aparatos							
Zonas y locales	AFCH			ACS			
	Aparatos	Unitario	Total	Aparatos	Unitario	Total	
Cocina	Fregadero	1	0,2	0,2	1	0,1	0,1
	Lavadora	1	0,2	0,2	1	0,15	0,15
	Lavavajillas	1	0,15	0,15	1	0,1	0,1
	Total cocina	3	-	0,55	3	-	0,35
Baño	Bañera >1,40 m	1	0,3	0,3	1	0,2	0,2
	Lavabo	1	0,1	0,1	1	0,065	0,065
	Bidé	1	0,1	0,1	1	0,065	0,06
	Inodoro con cisterna	1	0,1	0,1	-	-	-
	Total baño	4	-	0,6	3	-	0,33
Aseo	Ducha	1	0,2	0,2	1	0,1	0,1
	Lavabo	1	0,1	0,1	1	0,065	0,065
	Inodoro con cisterna	1	0,1	0,1	-	-	-
Total aseo	3	-	0,4	2	-	0,165	
Total vivienda	10	-	1,55	8	-	0,845	

Ilustración 38. Cálculo de los caudales de aparatos de ACS y AFS. Fuente: Guía técnica IDAE para ACS.

Listado de elementos Hospital					
Planta	Zona térmica	Elemento	unidades	Q min AFS (l/s)	Q min ACS (l/s)
Planta -1	Vestuarios	Ducha	12	2,4	1,2
Planta -1	Vestuarios	Lavabo	6	0,6	0,39
Planta -1	Vestuarios	Inodoro	6	0,6	0
Planta -1	lab 1	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta -1	lab 2	Lavabo	2	0,2	0,13



Listado de elementos Hospital					
Planta	Zona térmica	Elemento	unidades	Q min AFS (l/s)	Q min ACS (l/s)
Planta -1	lab 3	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta -1	Cocina	Fregadero	2	0,4	0,2
Planta -1	Cocina	Lavavajillas	1	0,15	0,1
Planta 0	Cafetería	Fregadero	2	0,4	0,2
Planta 0	Cafetería	Lavavajillas	1	0,15	0,1
Planta 0	Espera	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 0	Espera	Inodoro	1	0,1	0
Planta 0	Box urgencias	Inodoro	6	0,6	0
Planta 0	Espera urgencias	Inodoro	2	0,2	0
Planta 0	Espera urgencias	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 1	Espera 1.1	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 1	Espera 1.2	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 1	Espera 1.3	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 1	Espera 1.4	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 1	Espera 1.1	Inodoro	2	0,2	0
Planta 1	Espera 1.2	Inodoro	2	0,2	0
Planta 1	Espera 1.3	Inodoro	2	0,2	0
Planta 1	Espera 1.4	Inodoro	2	0,2	0
Planta 2	Vestuarios 2.2	Ducha	12	2,4	1,2
Planta 2	Vestuarios 2.2	Lavabo	6	0,6	0,39
Planta 2	Espera 2.1	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 2	Espera 2.1	Inodoro	2	0,2	0
Planta 2	Espera 2.1 Dial	Inodoro	2	0,2	0
Planta 2	Espera 2.1 Dial	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 2	Vestuarios 2.1	Ducha	3	0,6	0,3



Listado de elementos Hospital					
Planta	Zona térmica	Elemento	unidades	Q min AFS (l/s)	Q min ACS (l/s)
Planta 2	Vestuarios 2.1	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 3	Habitaciones 3.1	Ducha	24	4,8	2,4
Planta 3	Habitaciones 3.1	Lavabo	24	2,4	1,56
Planta 3	Habitaciones 3.1	Inodoro	24	2,4	0
Planta 3	Habitaciones 3.2	Ducha	24	4,8	2,4
Planta 3	Habitaciones 3.2	Lavabo	24	2,4	1,56
Planta 3	Habitaciones 3.2	Inodoro	24	2,4	0
Planta 3	Vestuario 3.1	Ducha	2	0,4	0,2
Planta 3	Vestuario 3.1	Lavabo	1	0,1	0,065
Planta 3	Vestuario 3.2	Ducha	2	0,4	0,2
Planta 3	Vestuario 3.2	Lavabo	1	0,1	0,065
Planta 3	Espera 3.1	Inodoro	2	0,2	0
Planta 3	Espera 3.1	Lavabo	1	0,1	0,065
Planta 4	Habitaciones 4.1	Ducha	34	6,8	3,4
Planta 4	Habitaciones 4.1	Lavabo	34	3,4	2,21
Planta 4	Habitaciones 4.1	Inodoro	34	3,4	0
Planta 4	Habitaciones 4.2	Ducha	7	1,4	0,7
Planta 4	Habitaciones 4.2	Lavabo	7	0,7	0,455
Planta 4	Habitaciones 4.2	Inodoro	7	0,7	0
Planta 4	Vestuario 4	Ducha	3	0,6	0,3
Planta 4	Vestuario 4	Lavabo	2	0,2	0,13
Planta 4	Cafetería	Fregadero	1	0,2	0,1
Planta 4	Cafetería	Lavavajillas	1	0,15	0,1
CAUDAL TOTAL				50,85	21,55

Tabla 32. Listado de elementos consumidores de ACS y AFS del hospital. Fuente: elaboración propia.

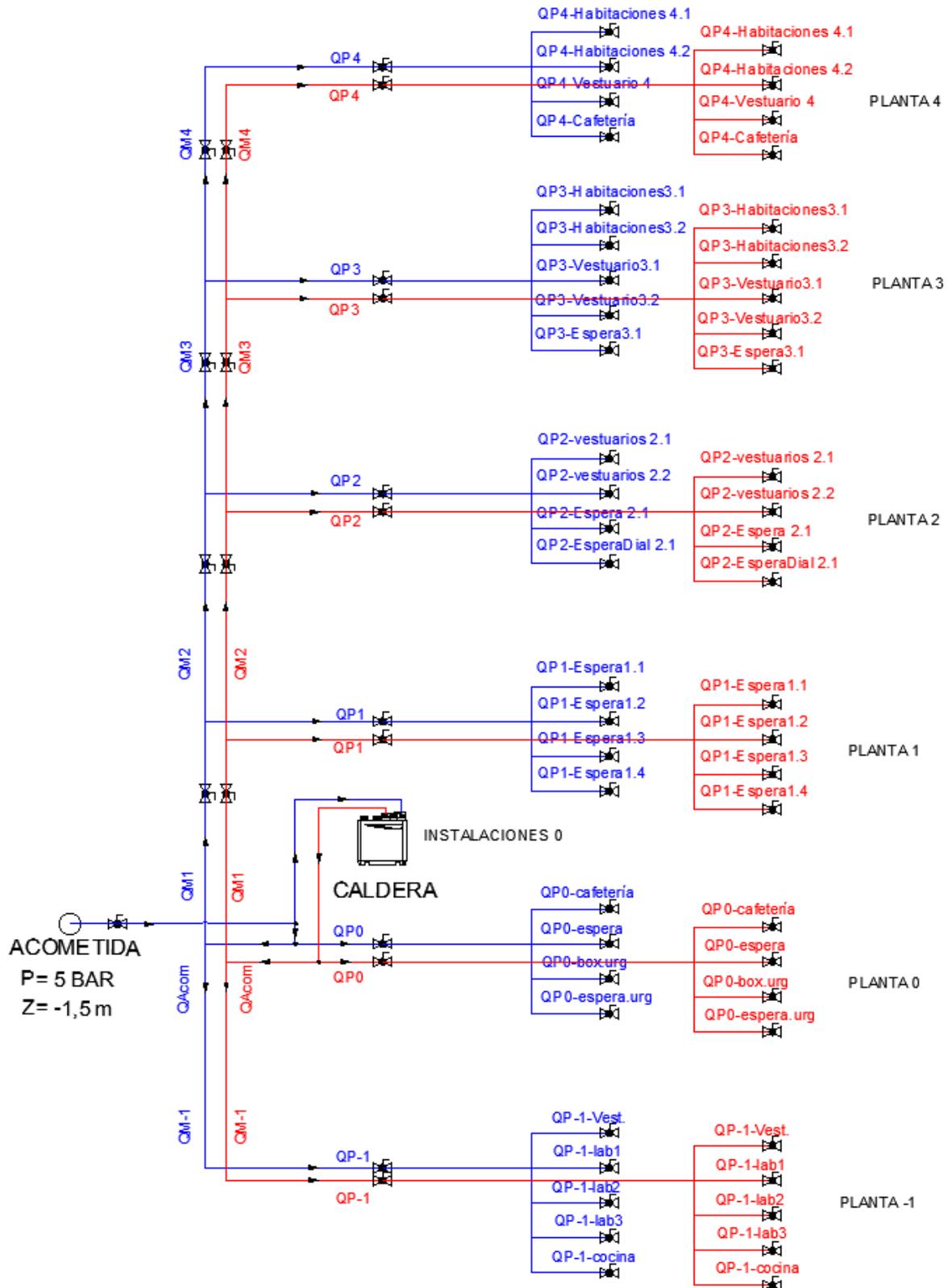


Ilustración 39. Esquema distribución de ACS y AFS en el hospital. Fuente: elaboración propia.



En una instalación sanitaria, no todos los puntos de consumo requieren agua caliente al mismo tiempo. Algunos grifos o duchas pueden estar en uso simultáneo, pero es poco probable que todos los puntos de consumo demanden agua caliente al máximo caudal de forma simultánea.

El coeficiente de simultaneidad considera este factor y se utiliza para reducir el caudal máximo estimado basándose en el principio de que no todos los puntos están activos al mismo tiempo.

El código técnico de la edificación (CTE) [16] proporciona una tabla para aplicar este factor de simultaneidad y hallar así el caudal de cálculo para cada uno de los tramos de la instalación según el tipo de edificio.

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Q_U	Q_T	A	B	C
Hoteles, discotecas, museos	< 0,5	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	1,080	0,500	-1,830
Centros comerciales	< 0,5	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	4,300	0,270	-6,650
Hospitales	< 0,5	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	0,250	0,650	1,250
Escuelas, polideportivos		$\leq 1,5$	1,000	1,000	0,000
	Sin Límite	≤ 20	4,400	0,270	-3,410
		> 20	-22,500	-0,500	11,500

Ilustración 40. Caudal de cálculo para hospitales. Fuente: Tabla 01 CTE HS4.

Se aplica la siguiente fórmula para cada uno de los tramos expuestos en la ilustración 38, que representa la distribución de ACS y AFS en todo el hospital.

$$Q_c = A * (Q_T)^B + C \quad (9.1.1)$$

Los caudales máximos sin simultaneidad para AFS y ACS son respectivamente 50.85 y 21.55 L, por lo tanto, de acuerdo con la tabla, los coeficientes de cálculo para hospitales son: $A = 0.25$, $B = 0.65$ y $C = 1.25$. Estos coeficientes permiten ajustar los caudales máximos estimados para evitar sobredimensionamientos innecesarios.

Para el dimensionamiento de las tuberías, se utiliza el material termoplástico polietileno reticulado (PEX) UNE-EN ISO 9967:2016 [17] serie 3.2. Se establece un flujo máximo de 2 m/s en todos los tramos de la instalación.

Aplicando los coeficientes, se obtiene un caudal de cálculo total de ACS de 3,1 l/s

La siguiente tabla muestra el dimensionamiento de todas las tuberías de ACS y AFS del esquema de distribución comprobando la velocidad máxima en cada tramo.



Dimensionado de tuberías de AFS y ACS. Termoplástico PEX serie 3.2

Tramo	QT AFS (l/s)	QT ACS (l/s)	Q cálculo AFS (l/s)	Q cálculo ACS (l/s)	Vmax (m/s)	DN AFS (mm)	DN ACS (mm)	Ø int AFS (mm)	Ø int ACS (mm)	Velocidad AFS proyectada (m/s)	Velocidad ACS proyectada (m/s)
Acometida-Caldera	72,4	0	5,29	/	2	90	/	65,6	/	1,57	/
M-1	4,75	2,28	1,94	1,68	2	50	50	36,4	36,4	1,86	1,61
P-1	4,75	2,28	1,94	1,68	2	50	50	36,4	36,4	1,86	1,61
P-1-Vestuario	3,6	1,59	1,82	1,59	2	50	50	36,4	36,4	1,75	1,53
P-1-lab1	0,2	0,13	1,34	1,32	2	40	40	29,2	29,2	2,00	1,97
P-1-lab2	0,2	0,13	1,34	1,32	2	40	40	29,2	29,2	2,00	1,97
P-1-lab3	0,2	0,13	1,34	1,32	2	40	40	29,2	29,2	2,00	1,97
P-1-cocina	0,55	0,3	1,42	1,36	2	50	50	36,4	36,4	1,36	1,31
P0	1,85	0,56	1,62	1,42	2	50	50	36,4	36,4	1,56	1,37
P0-Cafeteria	0,55	0,3	1,42	1,36	2	50	50	36,4	36,4	1,36	1,31
P0-Espera	0,3	0,13	1,36	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,31	1,97
P0-Boxurg	0,6	0	1,43	1,25	2	50	40	36,4	29,2	1,37	1,87
P0-Esperaurg	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
M1	44,25	18,71	4,19	2,93	2	75	63	54,8	46	1,77	1,76



Dimensionado de tuberías de AFS y ACS. Termoplástico PEX serie 3.2											
Tramo	QT AFS (l/s)	QT ACS (l/s)	Q cálculo AFS (l/s)	Q cálculo ACS (l/s)	Vmax (m/s)	DN AFS (mm)	DN ACS (mm)	Ø int AFS (mm)	Ø int ACS (mm)	Velocidad AFS proyectada (m/s)	Velocidad ACS proyectada (m/s)
P1	1,6	0,52	1,59	1,41	2	50	50	36,4	36,4	1,53	1,36
P1-Espera1.1	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
P1-Espera1.2	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
P1-Espera1.3	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
P1-Espera1.4	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
M2	42,65	18,19	4,12	2,90	2	75	63	54,8	46	1,75	1,74
P2	4,6	2,28	1,92	1,68	2	50	50	36,4	36,4	1,85	1,61
P2-vestuarios 2.1	0,8	0,43	1,47	1,39	2	50	50	36,4	36,4	1,41	1,34
P2-vestuarios 2.2	3	1,59	1,76	1,59	2	50	50	36,4	36,4	1,69	1,53
P2-Espera2.1	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
P2-EsperaDial	0,4	0,13	1,39	1,32	2	50	40	36,4	29,2	1,33	1,97
M3	38,05	15,91	3,91	2,76	2	75	63	54,8	46	1,66	1,66
P3	20,5	8,515	3,03	2,26	2	63	63	46	46	1,82	1,36
P3-	9,6	3,96	2,34	1,86	2	63	50	46	36,4	1,41	1,79



Dimensionado de tuberías de AFS y ACS. Termoplástico PEX serie 3.2											
Tramo	QT AFS (l/s)	QT ACS (l/s)	Q cálculo AFS (l/s)	Q cálculo ACS (l/s)	Vmax (m/s)	DN AFS (mm)	DN ACS (mm)	Ø int AFS (mm)	Ø int ACS (mm)	Velocidad AFS proyectada (m/s)	Velocidad ACS proyectada (m/s)
Habitaciones3.1											
P3- Habitaciones3.2	9,6	3,96	2,34	1,86	2	63	50	46	36,4	1,41	1,79
P3-Vestuario 3.1	0,5	0,265	1,41	1,36	2	50	50	36,4	36,4	1,35	1,30
P3-Vestuario 3.2	0,5	0,265	1,41	1,36	2	50	50	36,4	36,4	1,35	1,30
P3-Espera 3.1	0,3	0,065	1,36	1,29	2	50	40	36,4	29,2	1,31	1,93
M4	17,55	7,395	2,86	2,17	2	63	63	46	46	1,72	1,30
P4	17,55	7,395	2,86	2,17	2	63	63	46	46	1,72	1,30
P4-Habitaciones 4.1	13,6	5,61	2,61	2,02	2	63	63	46	46	1,57	1,21
P4-Habitaciones 4.2	2,8	1,155	1,74	1,52	2	50	50	36,4	36,4	1,67	1,47
P4-Vestuario 4	0,8	0,43	1,47	1,39	2	50	50	36,4	36,4	1,41	1,34
P4-Cafetería	0,35	0,2	1,38	1,34	2	50	40	36,4	29,2	1,32	2,00

Tabla 33. Dimensionado de tuberías de ACS y AFS con comprobación de velocidad en cada tramo. Fuente: elaboración propia.



9.2.- Estimación de la demanda, consumo punta y selección de la caldera.

La tabla 3.1 del CTE HE4 ofrece una estimación del consumo diario de agua caliente sanitaria en función del tipo de edificio. Esta estimación se basa en una temperatura de referencia de 60 °C, que es la recomendada para prevenir la proliferación de la legionela.

Al utilizar esta tabla, podemos obtener una idea de las necesidades de ACS del hospital y utilizar estos datos para calcular el consumo máximo en momentos de mayor demanda. Estos cálculos nos permiten dimensionar adecuadamente el sistema de producción y almacenamiento de ACS.

Criterio de consumo de ACS para diseño de instalaciones		
Tipo de edificio	Litros/día a 60 °C	Energía para T° Red = 15 °C
Viviendas unifamiliares	30 por persona	573 kWh/año persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona	420 kWh/año persona
Hospitales y clínicas	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Hotel 4*	70 por cama	1.337 kWh/año cama
Hotel 3*	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Hotel/Hostal 2*	40 por cama	764 kWh/año cama
Hostal/Pensión 1*	35 por cama	668 kWh/año cama
Camping	40 por emplazamiento	764 kWh/año emplazamiento
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55 por cama	1.050 kWh/año cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio	286 kWh/año servicio
Escuela	3 por alumno	57 kWh/año alumno
Cuarteles	20 por persona	382 kWh/año persona
Fábricas y talleres	15 por persona	286 kWh/año persona
Administrativos	3 por persona	57 kWh/año persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario	477 kWh/año usuario
Lavanderías	3 a 5 por kg de ropa	95 kWh/año kg de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida	191 kWh/año comida
Cafeterías	1 por almuerzo	19 kWh/año almuerzo

Tabla 3.1 (HE4)

Ilustración 41. Criterio de consumo de ACS para el diseño de instalaciones. Fuente: CTE tabla 3.1 HE4.

Estimación demanda de ACS hospital		
Por actividad	Cantidad	l/día
Camas en habitaciones	178	9790
Almuerzos en cafeterías	200	200
Servicios de ducha	34	510
Administrativos	50	150
Demanda diaria ACS a 60 °C (l/día)		10650

Tabla 34. Estimación demanda de ACS. Fuente: elaboración propia.



Considerando una configuración de dos camas por habitación y estimando la cantidad de camas que hay en el box urgencias, se tienen un total de 178, suponiendo la mayor contribución al consumo de ACS.

Además, se tienen en cuenta otros factores como el número de almuerzos en las cafeterías del hospital, los servicios de ducha en los vestuarios y el consumo de agua por parte del personal administrativo.

En base a las estimaciones, se calcula una demanda diaria de ACS de 10.650 L a una temperatura de 60 °C.

Para calcular la cantidad de energía consumida al día en ACS se emplea la siguiente fórmula:

$$E_{diaria} \left[\frac{kWh}{día} \right] = D_{diaria} * (T^a_{ACS} - T^a_{AFCH}) * \frac{\frac{1,16Wh}{°C*L}}{kW} \quad (9.2.1)$$

Donde la temperatura de referencia de ACS es de 60° C y la temperatura de red en el mes más desfavorecido, extraída de la *tabla a-Anejo G del documento básico HE ahorro de energía*, [18] es de 9°C

Por otro lado, el consumo punta de la instalación se calcula como:

$$D_{punta} \left[\frac{min}{día} \right] = \frac{D_{diaria}}{60} \quad (9.2.2)$$

Tª min red Oviedo	9	°C
Tª ACS	60	°C
E_60°C	630	KWh/día
Consumo punta	57	min/día

Tabla 35. Consumo de energía y consumo punta. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se calcula la potencia necesaria en las calderas para satisfacer la demanda de ACS en el consumo punta.

$$P_{calderas} = [Q_{punta} * (T^a_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acumulación} * (T^a_{acumulación} - T_{AFCH}) * F_{usoacumulación}] * \frac{1,16}{\eta_{ACS}} \quad (9.2.3)$$

Donde:

Q_{punta} = 50 % de la demanda diaria de ACS

T^a_{ACS} = 60 [°C]

T_{AFCH} = temperatura de red = 9 [°C]

$V_{acumulación}$ = Capacidad del depósito de ACS seleccionado



$$T^a_{\text{acumulación}} = 60 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$F_{\text{usoacumulación}}$ = factor de uso del volumen acumulado, depende de la geometría (esbeltez) y del número de depósitos de acumulación, ya que en el interior de estos existe una zona de mezcla entre las aguas fría y caliente, en la cual la temperatura resulta inferior a la de uso, por lo que dicho volumen no puede ser utilizado.

$$F_{\text{usoacumulación}} = 0,63 + 0,14 * \frac{H}{D} \quad (9.2.4)$$

η_{ACS} = Se considera un rendimiento global del sistema del 80 %

Resolviendo la ecuación y sin proponer un sistema de acumulación de ACS, las calderas deben entregar una potencia de 271.575 W para asegurar la producción en el consumo punta.

Con una acumulación del 40 % se obtienen los siguientes resultados.

Potencia de las calderas con acumulación del 40 %		
Q punta (50 % D)	5325	L
V acumulación	2000	L
Rendimiento ACS	0,8	
número de depósitos	1	
Altura del depósito (H)	1,2	m
Diámetro del depósito (D)	1	m
Factor de uso	0,80	
T^a Acumulación	60	°C
T^a red	9	°C
Potencia Calderas	153551	W
Tiempo de recuperación del calentamiento depósitos	0,77	horas

Tabla 36. Potencia de las calderas de ACS con acumulación. Fuente: elaboración propia.

Se recomienda que el tiempo de recuperación del acumulador sea inferior a una hora, en el sistema planteado con una potencia en las calderas de 154 kW, el acumulador recupera ACS a 60 °C en 46 minutos.

$$t_{\text{Recuperación}} = \frac{V_{\text{acumulación}} * (T^a_{\text{Acumulación}} - T^a_{\text{AFCH}}) * 1,16}{\text{Potencia}_{\text{calderas}}} \quad (9.2.4)$$



9.3.- Bombas y depósito de presión.

Siguiendo el esquema de la distribución de ACS representado en la ilustración 38, se identifica que las habitaciones 4.1, es el punto más desfavorecido de la instalación. Para un correcto suministro, se ha de garantizar que en el punto más desfavorable existe una presión de 100 kPa para los grifos comunes.

La presión de suministro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_{sumi} = \Delta P_{pérdidas} + \Delta P_{filtro} + \Delta P_{contador} + \Delta P_{altura} + \Delta P_{min} \quad (9.3.1)$$

La pérdida de presión por el filtro y contador es de 200 mbar y 300 mbar respectivamente. Para ser conservadores, en el circuito de ACS se añade una pérdida extra de 300 mbar por posibles fugas de presión en la caldera y por el transporte hacia la misma desde la acometida.

Si tras realizar el cálculo la presión de acometida es superior a la presión de suministro, el cálculo está terminado, de lo contrario, es necesario instalar un grupo de presión. Se estima que la acometida aporta una presión de aproximadamente 5,2 bar.

La presión que se necesita para vencer la altura del edificio se calcula como:

$$\Delta P_{altura} = \rho_{agua} * g * h_{edificio} \quad (9.3.2)$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga lineales se opta por la ecuación de Hazen-Williams, se le suma un 20 % para considerar las pérdidas singulares:

$$H_f = 1,2 * \frac{10,67 * L * Q^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}} \quad (9.3.3)$$

C es el coeficiente de Hazen-Williams y depende del material de la tubería y de su rugosidad. Para el polietileno reticulado, este coeficiente es 140.

Se aplican las ecuaciones en los tramos verticales desde la planta 0 hasta la 4ª, considerando también la altura de las plantas de instalaciones intermedias. Las pérdidas en la tubería del punto más desfavorable (habitaciones 4.1) se calcula con una longitud total de tubería de 50 metros.

Tramo	Q cálculo AFS (l/s)	Longitud tubería (m)	Ø int AFS (mm)	AP _{suministro} (bar)
P0-InstalP0	4,19	3,20	54,8	1,2
InstalP0-P1	4,19	3,20	54,8	1,7
P1-InstalP1	4,12	3,20	54,8	2,3
InstalP1-P2	4,12	3,20	54,8	2,8
P2-InstalP2	3,91	3,20	54,8	3,3



Tramo	Q cálculo AFS (l/s)	Longitud tubería (m)	Ø int AFS (mm)	AP _{suministro} (bar)
InstalP2-P3	3,91	3,20	54,8	3,9
P3-InstalP3	2,86	3,20	46	4,5
InstalP3-P4	2,86	3,20	46	5,1
P4-Habitaciones 4.1	2,61	50,0	46	8,8
Tramo	Q cálculo ACS (l/s)	Longitud tubería (m)	Ø int ACS (mm)	AP _{suministro} (bar)
P0-InstalP0	2,93	3,20	46,0	1,5
InstalP0-P1	2,93	3,20	46,0	2,1
P1-InstalP1	2,90	3,20	46,0	2,7
InstalP1-P2	2,90	3,20	46,0	3,3
P2-InstalP2	2,76	3,20	46,0	3,9
InstalP2-P3	2,76	3,20	46,0	4,5
P3-InstalP3	2,17	3,20	46	5
InstalP3-P4	2,17	3,20	46	5,4
P4-Habitaciones 4.1	2,02	50,0	46	7,7

Tabla 37. Presión de suministro. Fuente: elaboración propia.

La presión de acometida es suficiente para aportar tanto ACS como AFS hasta la planta 3. En ambos casos, la acometida tiene presión para dirigir el agua hasta la planta de instalaciones 3, pero a partir de aquí no es capaz de suministrar agua a la última planta.

Es necesario instalar un pequeño grupo de presión en la planta de instalaciones 3, que aporte el extra que necesita el circuito para llegar al punto más desfavorecido de la instalación con una presión de 100 Kpa.

El volumen del depósito auxiliar de alimentación se calcula como:

$$Vol = Q_{maxsimultáneo} * t * 60 \quad (9.3.4)$$

Donde t es el tiempo estimado de uso y se toma el valor de 15 minutos.

Como el caudal máximo simultáneo en este punto es de 2,86 l/s para AFS y 2,17 l/s para ACS según el CTE-HS4 [16], se necesita una bomba de circulación más una de reserva para cada circuito.



Para el cálculo del depósito de presión se emplea la siguiente expresión:

$$V_n = \left(\frac{V_a}{K_a} \right) * \frac{P_a * P_b}{P_a - P_b} * \frac{1}{P_t} \quad (9.3.5)$$

Donde:

V_a = volumen mínimo en el depósito = $15 * \frac{Q_b}{N_c}$, Q_b es el caudal que debe aportar la bomba para garantizar el suministro y N_c es el número de arrancadas de la bomba en una hora, normalmente se dimensiona con un valor de 5.

K_a = factor que resulta de considerar que los orificios de entrada y salida del depósito deben de estar por debajo del nivel mínimo de agua, entre 0,7 y 0,9.

P_t = presión absoluta del aire en el depósito cuando está vacío = 1 atms.

P_b = presión absoluta mínima para el suministro al punto más desfavorecido, es decir, la diferencia entre la presión de suministro en las habitaciones 4.1 y la presión de acometida en términos absolutos.

P_a = presión absoluta máxima para mejorar la vida útil del grupo de presión, se toma dos bar por encima de la presión mínima.

Realizando los cálculos, se obtiene que el depósito de presión de AFS ha de ser de 173 L, el de ACS de 87 L y el volumen del depósito auxiliar de alimentación, utilizado para abastecer de agua al hospital en periodos de demanda excesiva, ha de ser de 2574 L.

Por último, se seleccionan circuladores con características adecuadas, al igual que con los circuladores de los circuitos de climatización, se emplea el catálogo de Wilo [14].

10.- ESQUEMA DE PRINCIPIO.

En este capítulo se ilustra el esquema de principio por partes para ofrecer una visión conjunta de todo el diseño y cálculos efectuados en el proyecto.

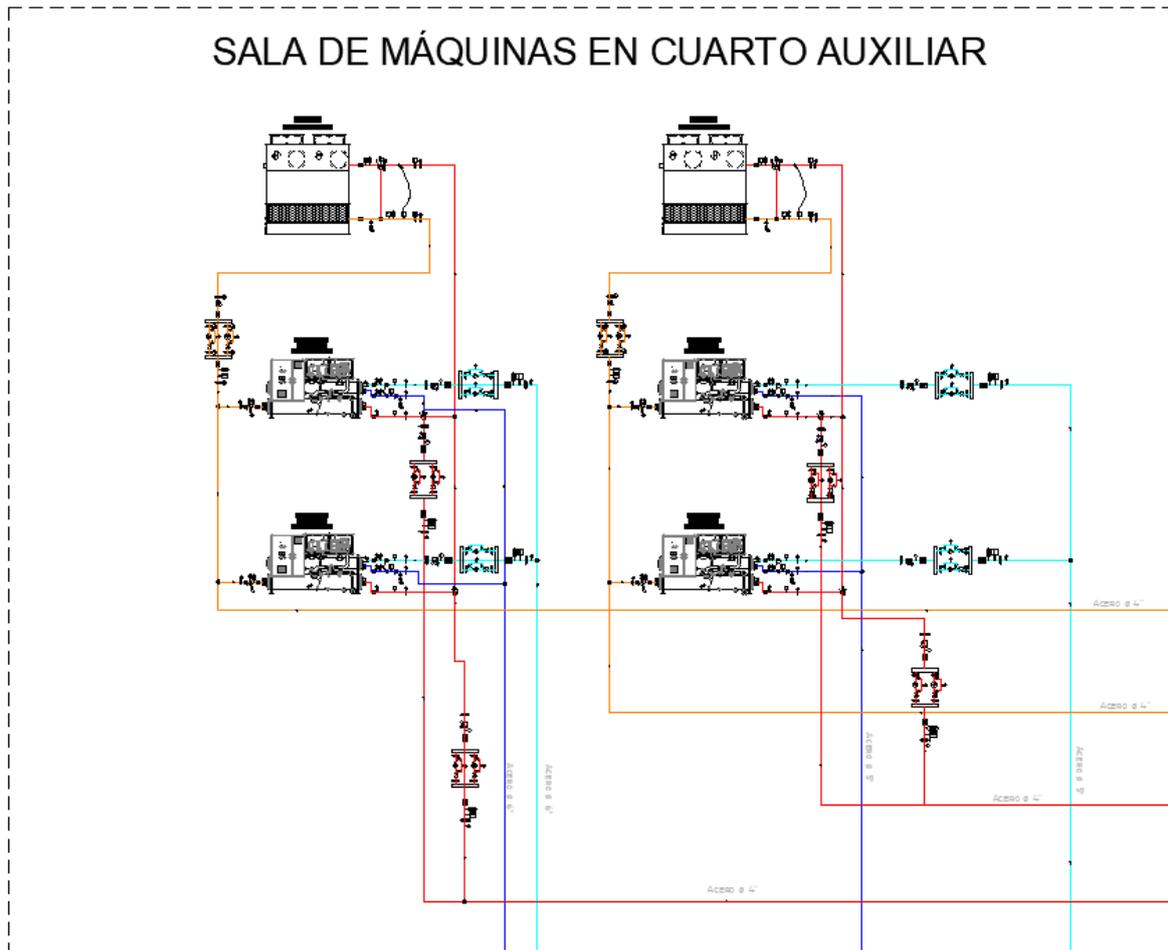


Ilustración 42. Esquema de principio, sala de máquinas. Fuente: elaboración propia.

En la sala de máquinas, situada en un cuarto anexo al hospital, se instalan los dos grupos de enfriadoras. El de la derecha se encarga de producir la energía calorífica necesaria para abastecer el grupo de salas comunes mientras que el de la izquierda se encarga de abastecer las salas con necesidades especiales.

Todas las enfriadoras están provistas de filtros, amortiguadores, termómetros, sondas de temperatura, válvulas de vaciado, válvula reguladora de presión, válvulas de corte y un contador de kilocalorías.

Una válvula monitorizada de tres vías a la salida del agua caliente decide en función de las necesidades energéticas, enviar el agua a la torre de refrigeración o al colector principal para calefactar o almacenar agua caliente. Existen 4 bombas de impulsión en el circuito caliente y otras 4 en el circuito de frío para conducir el agua a la planta de instalaciones -1, además, cada grupo de enfriadoras está dotado de otra bomba a la salida

de la torre de refrigeración que conduce el agua de retorno del circuito caliente (45°C) de vuelta a la enfriadora para cerrar el ciclo.

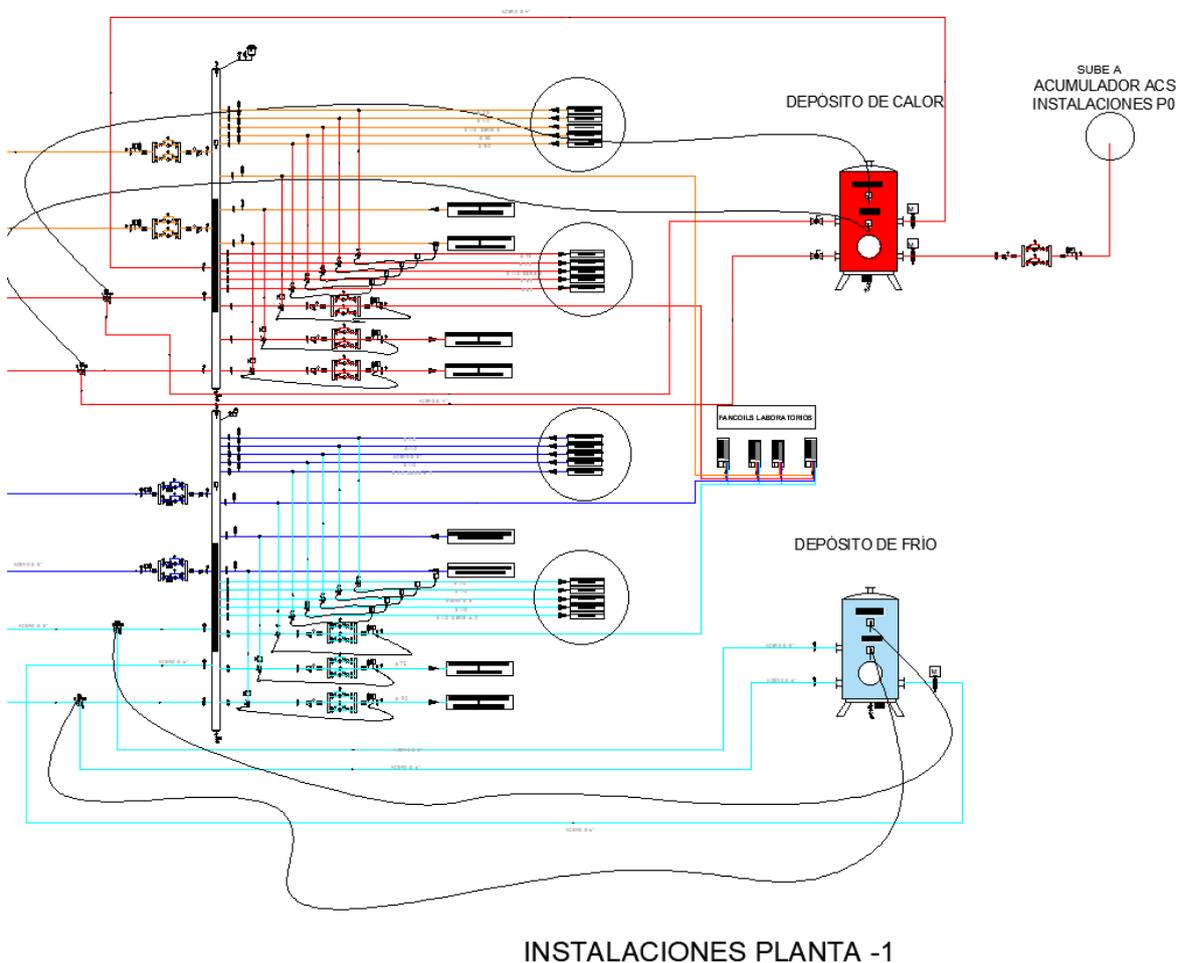


Ilustración 43. Esquema de principio, instalaciones -1. Fuente: elaboración propia.

En las instalaciones de la planta -1, se encuentran los dos colectores principales, aquí llega toda el agua de las enfriadoras y estos se encargan de distribuirla a todas las zonas del hospital en función de sus necesidades. En las tuberías de acero de las enfriadoras, se instala antes del colector principal una válvula monitorizada de tres vías. El agua fría o caliente que se produzca en exceso es enviada a los grandes depósitos acumuladores y, en periodos de elevada demanda, se emplea el agua de estos depósitos disminuyendo el consumo eléctrico de las enfriadoras y aumentando el rendimiento medio estacional de la instalación.

Estos colectores principales actúan como el centro de operaciones en el abastecimiento de agua para la climatización. Tres circuitos abastecen las necesidades de los climatizadores y fancoils de la planta -1; circuito norte P-1, circuito sur P-1 y laboratorios P-1. Por otro lado, las bombas situadas en plantas superiores aspiran de este colector el agua que necesitan para impulsar a los demás circuitos.



En el retorno, dos grandes bombas devuelven el agua a la enfriadora.

A la salida de todas las tuberías de ida, tanto de frío como de calor, se instala una válvula monitorizada de tres vías, su función es desviar parte del agua de regreso al circuito de retorno para mantener un equilibrio térmico en el sistema. Dependiendo de las condiciones de demanda en diferentes zonas, puede ser necesario ajustar la cantidad de agua que se suministra a cada fancoil o climatizador.

Como se sabe que la demanda de calefacción es bastante inferior a la de refrigeración debido a la gran carga interna generada en el interior de los espacios, a la salida del acumulador de calor se instala una pequeña bomba para que dirija parte del agua caliente a la planta de instalaciones 0, e intercambie calor con el acumulador de ACS. De esta manera, se consigue reducir el salto térmico que deben aportar las calderas de gas para llegar a los 60 °C.

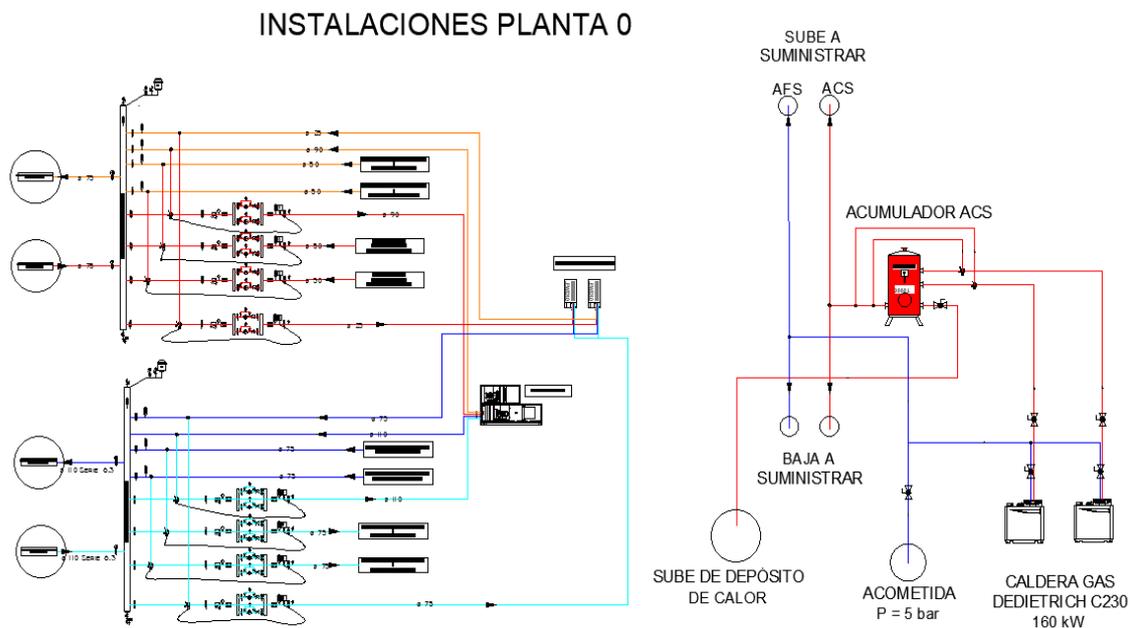


Ilustración 44. Esquema de principio, instalaciones 0. Fuente: elaboración propia.

Las bombas de la planta 0, aspiran el agua del colector principal para impulsar a los circuitos norte y sur, box urgencias y radiología y TAC.

Por otro lado, el agua que llega de la acometida se bifurca para entrar en la caldera de gas formando el circuito de ACS. Baja para abastecer a la planta -1, sube para abastecer a las superiores y en periodo de baja demanda se conduce al acumulador de 2000 L.

Tras un vaciado completo del acumulador, las calderas tienen la potencia necesaria para llenarlo a 60 °C en 45 minutos.

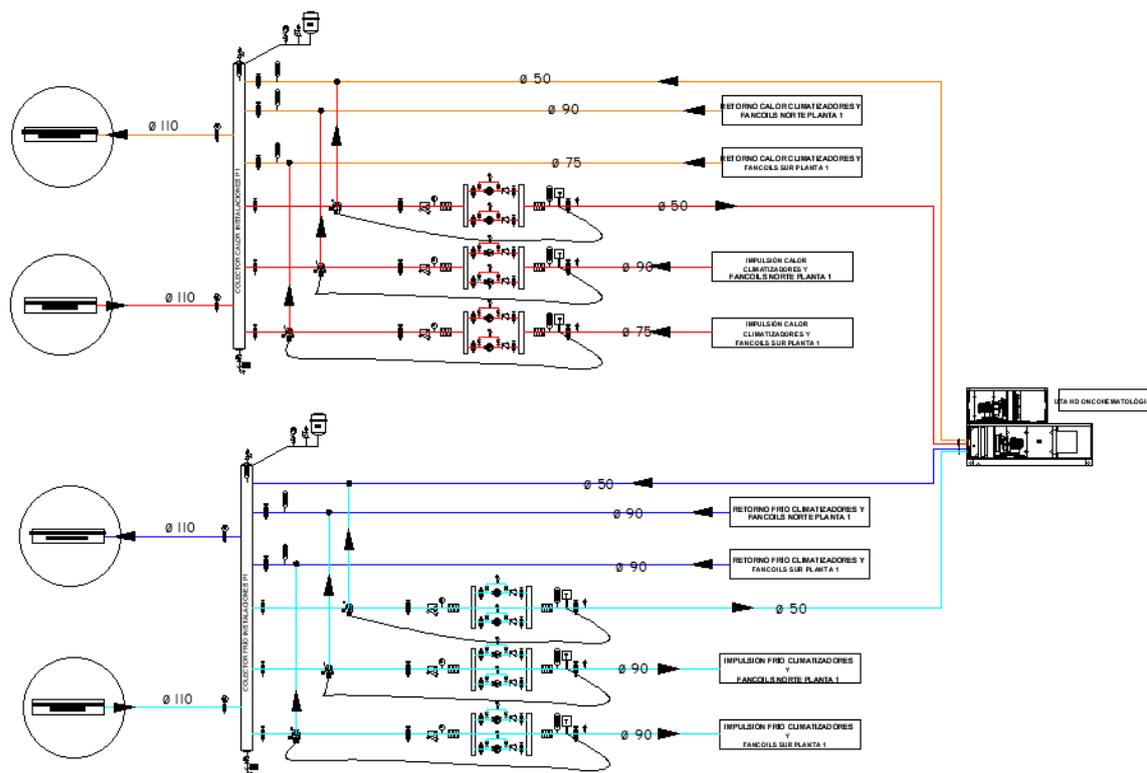


Ilustración 45. Esquema de principio, instalaciones 1. Fuente: elaboración propia.

Las tuberías de aspiración conducen el agua desde el colector principal al colector de la planta de instalaciones 1 y se impulsa a los tres circuitos: norte, sur y el climatizador del espacio térmico oncohematología.

La planta de instalaciones 2 es la que más circuitos independientes posee. Aquí se encuentran numerosas áreas críticas del hospital y es por ello por lo que se ha puesto especial atención en su diseño. Cada uno de los colectores tiene 7 bombas de impulsión, dos de ellas para los circuitos comunes norte y sur y las otras 5, son circuitos independientes que se dedican a climatizar los quirófanos, URPA, diálisis, box y cuidados críticos.

Para visualizar en detalle la distribución de estos circuitos se recomienda acudir al documento de planos del proyecto.

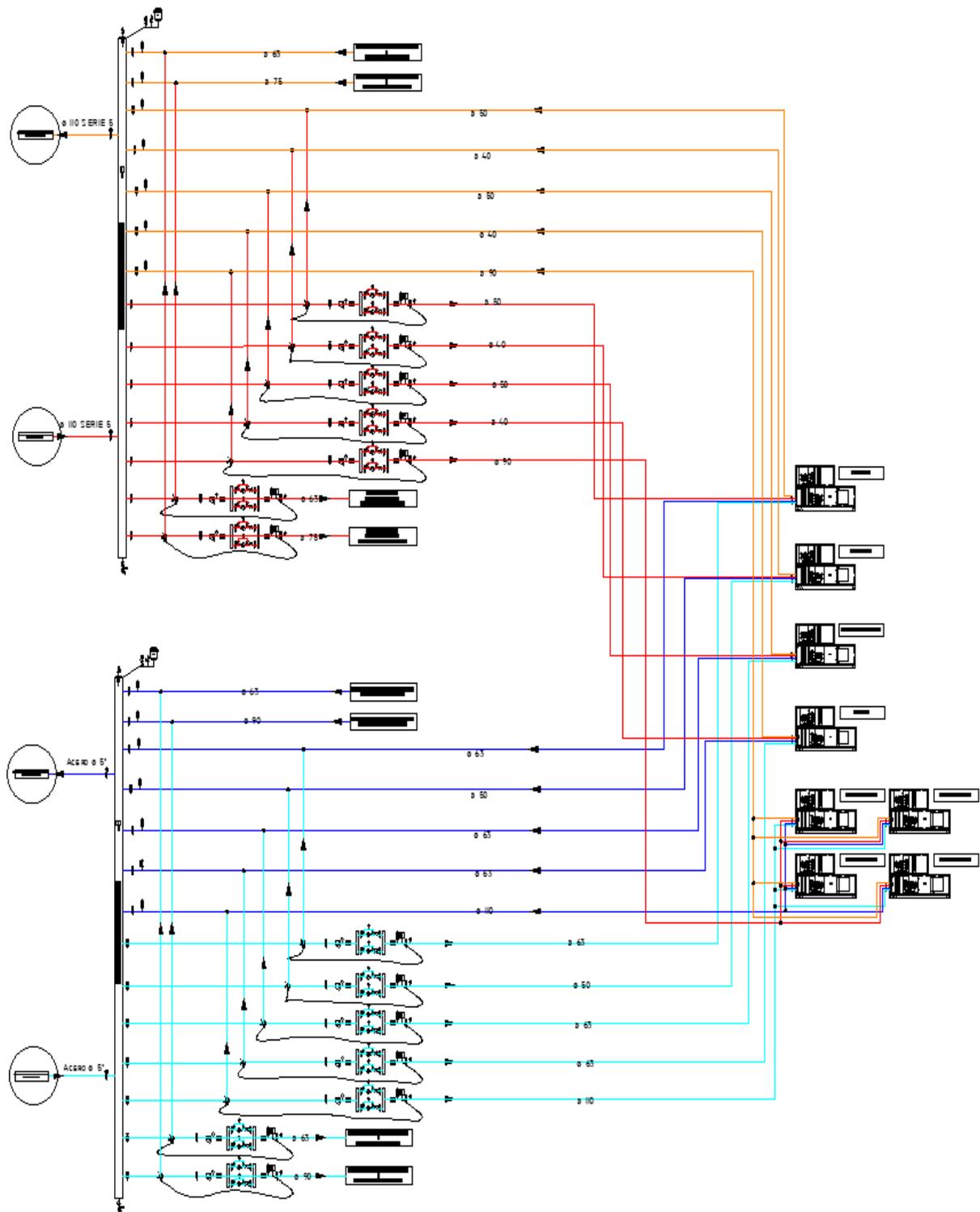


Ilustración 46. Esquema de principio, instalaciones 2. Fuente: elaboración propia.



INSTALACIONES PLANTA 3

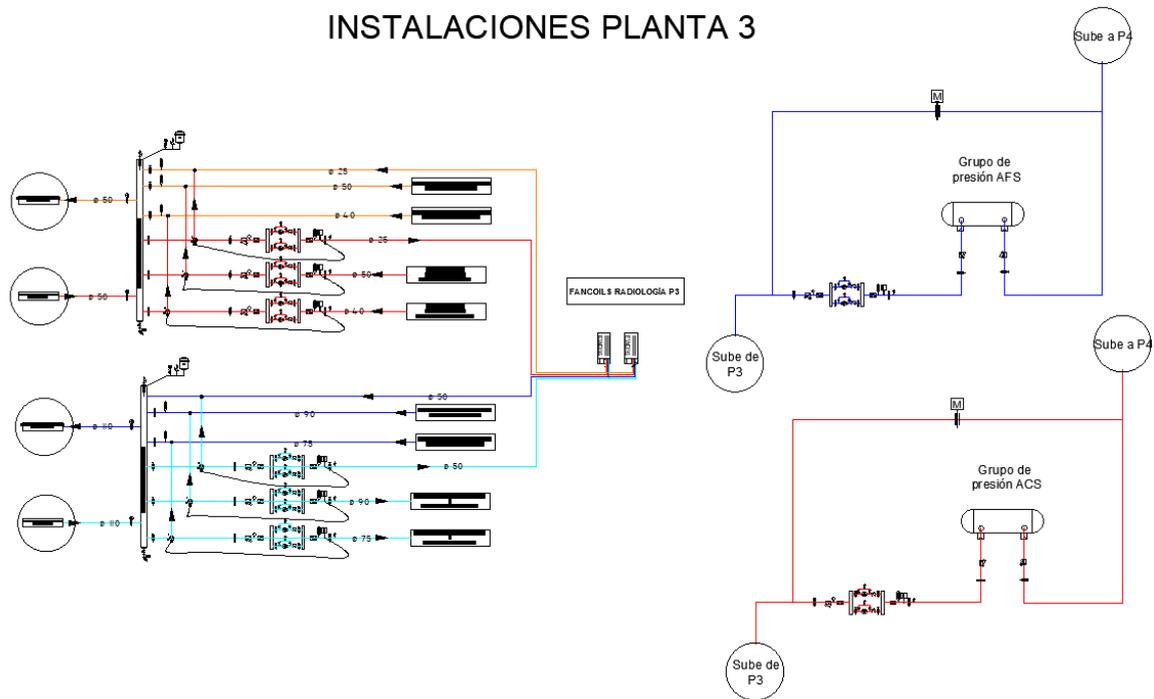


Ilustración 47. Esquema de principio, instalaciones 3. Fuente: elaboración propia.

El único circuito independiente que posee esta planta son los fancoils de la zona térmica radiología, los demás, como en todas las plantas, se agrupan en función de su orientación geográfica norte y sur.

La presión de acometida en la red de abastecimiento de agua no es capaz de suministrar a la última planta, por ello, se instala un grupo de presión para aportar el extra que necesita el circuito de ACS y de AFS para llegar al punto más desfavorecido de la instalación con una presión mínima de 100 kPa.

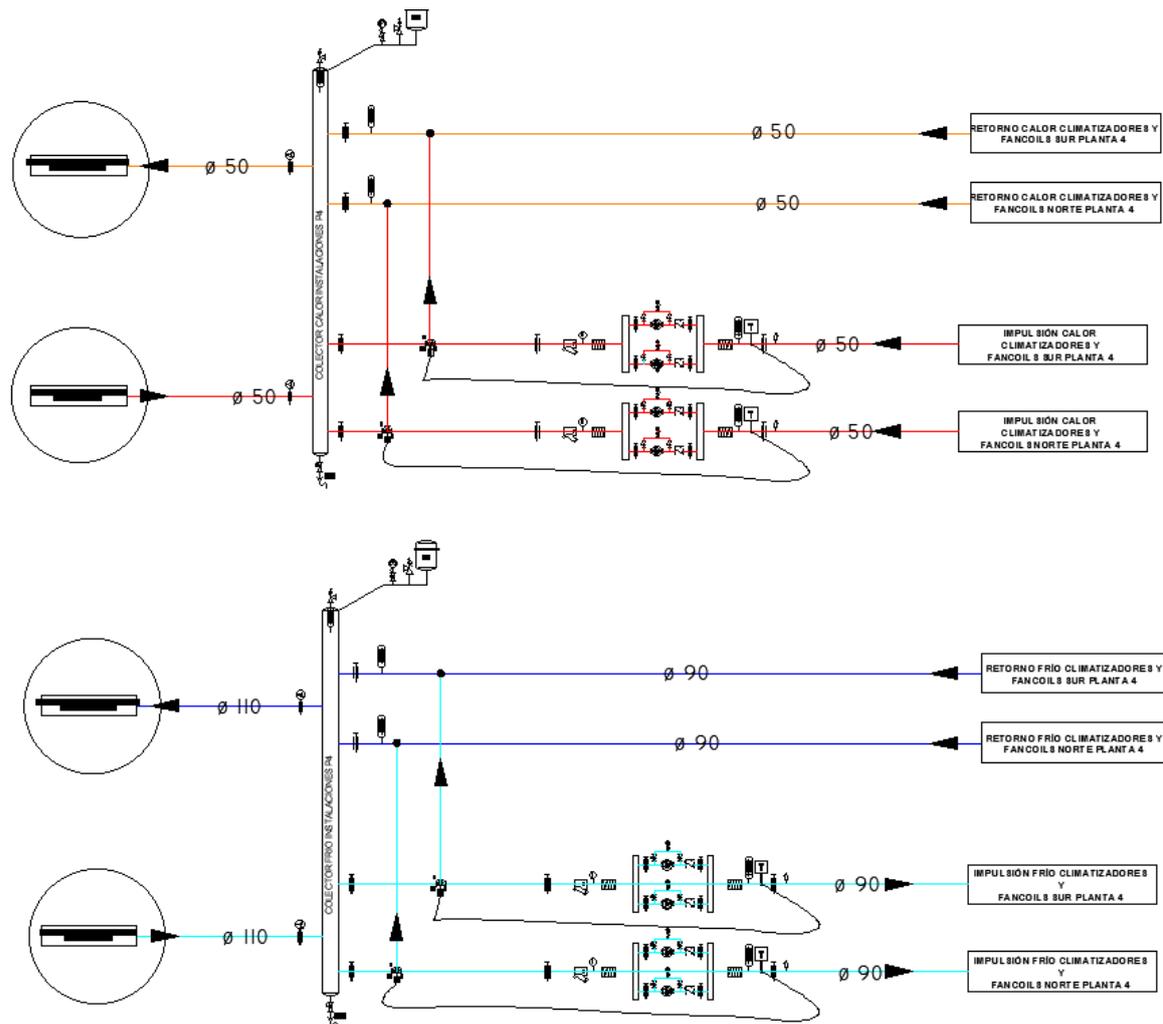


Ilustración 48. Esquema de principio, instalaciones 4. Fuente: elaboración propia.

El agua se conduce desde el colector principal hacia la última planta para suministrar a los dos circuitos norte y sur.

La lista completa de todos los elementos hidráulicos presentes en la instalación se detalla en el documento de presupuestos del proyecto.



11.- CONCLUSIONES

El sistema de climatización empleado en todas las áreas del hospital, mediante la implementación de estrategias de agrupación y la selección cuidadosa de equipos de elevada eficiencia, ha logrado optimizar el uso de la energía, lo que espera que resulte en una reducción significativa del consumo energético.

El proyecto queda a disposición del equipo de investigación para llevar a cabo una futura simulación con los sistemas diseñados, con el objetivo de comparar los resultados con el de un hospital convencional.

Se espera que los resultados de este proyecto representen un paso importante hacia la construcción de un futuro más sostenible en el ámbito de la climatización hospitalaria, y que puedan ser replicables en otros centros, fomentando así la reducción de los combustibles fósiles disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyendo a la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

Como desafío adicional, se propone estudiar la viabilidad de instalar paneles fotovoltaicos para alimentar los compresores de las enfriadoras, con el objetivo de reducir al máximo el consumo eléctrico del sistema de climatización. Además, se plantea la posibilidad de aprovechar la energía solar para la generación de agua caliente sanitaria mediante paneles térmicos. Estas iniciativas representarían un paso adicional en la dirección de maximizar la eficiencia energética en la climatización de hospitales.



12.- BIBLIOGRAFÍA

- 1] eEconomista.es, «El sector sanitario consume un 5% de la energía total mundial,» 18 Abril 2023.
- 2] N. UNE-100713, «Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales».
- 3] M. d. Industria, «Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE)».
- 4] M. d. industria, «Código técnico de la edificación, (CTE)».
- 5] N. U.-E. 12097:2007, «Ventilación de edificios y requisitos para el dimensionamiento y mantenimiento de conductos.,» 2007.
- 6] N. U. 100104:1988, «Conducutos de chapa metálica y pruebas de recepción.».
- 7] R. a. A.-C. E. I. American Society of Heating, «ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS».
- 8] ATECYR, «documento Técnico de Instalaciones en la Edificación DTIE 5.01».
- 9] DAIKIN, «Catálogo y tarifa DAIKIN 2023,» [En línea].
- 10] N. UNE-EN14511:2019, «Métodos de ensayo para la evaluación de acondicionadores de aire refrigerados por aire o agua».
- 11] N. UNE-EN100155:2004, «Diseño y cálculo de sistemas de expansión».
- 12] G. t. IDAE, «instalaciones de climatización por agua».
- N. U.-E. 10212:2003, «Tubos de acero inoxidable para la conducción de



13] Líquidos acuosos.».

Wilo, «Wilo-Select 4 Online,» Wilo, 2023. [En línea]. Available:

14] <https://www.wilo-select.com/Region.aspx>. [Último acceso: 01 Julio 2023].

G. t. IDAE, «Agua caliente sanitaria central».

15]

C. t. d. l. e. (CTE), «Documento básico HS4».

16]

U.-E. I. 9967:2016, «Tubos de materiales termoplásticos.».

17]

C. T. d. l. e. (CTE), «Documento Básico HE Ahorro de energía.».

18]

Fdo. Pedro Pablo Dromant Suárez

Ingeniero Industrial

Julio 2023