

Grado en Ingeniería Mecánica
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de sistemas de climatización para salas estériles de cosmética

Daniel Moutouss Rufas

Tutor

José Luis Jiménez Álvarez

Leganés, Julio de 2019



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño y cálculo de un sistema de climatización para salas limpias de productos farmacéuticos en una fábrica ubicada en Puçol, Valencia.

Las salas limpias, también denominadas salas blancas, son locales en los que prima un nivel de contaminación bajo. La fábrica de Sesderma en Puçol está destinada a la elaboración de productos cosméticos y complementos alimenticios. Se estudiarán las salas en la planta primera que estarán compuestas por varias salas de fabricación, laboratorios y zonas de almacenamiento.

El objetivo final es el dimensionamiento de todos los elementos involucrados en la climatización de dichas salas para mantener ciertas condiciones en el ambiente. Para realizar este proyecto se deben tener en cuenta las condiciones interiores y exteriores, es decir, los factores que puedan afectar a las salas. Encontramos un total de 55 salas, en 7 zonas distintas, que requerirán sistemas independientes de climatización, es decir, 7 climatizadores cada uno con dos circuitos separados, uno de impulsión y otro de retorno.

Los cálculos para un correcto dimensionamiento están divididos en varios pasos. Primero, se deben estimar las cargas térmicas para después poder calcular los caudales. Más tarde se hará el dimensionamiento de los conductos y otros elementos que aportarán una pérdida de carga para poder finalmente dimensionar los climatizadores.

Por último, se incluirá un pliego de condiciones, un presupuesto y un cronograma de obra.

Palabras clave: HVAC, industria farmacéutica, climatización

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres que han apoyado siempre mis decisiones y no han dudado de mí. A mis amigos con los que he compartido el pie del cañón en todo momento y he vivido etapa inolvidable. Y a los profesores que me han exigido que me exija más y me han enseñado a pensar para finalmente ser quien soy.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	REVISIÓN DE NORMATIVA.....	1
2.	MEMORIA TÉCNICA	4
2.1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.2.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CONSTRUCCIÓN.....	5
2.2.1.	<i>Arquitectura de las salas</i>	<i>5</i>
2.2.2.	<i>Cerramientos de techo y verticales</i>	<i>9</i>
2.2.3.	<i>Pavimentos exteriores.....</i>	<i>10</i>
2.2.4.	<i>Carpintería interior.....</i>	<i>11</i>
2.2.5.	<i>Instalación eléctrica</i>	<i>12</i>
2.2.6.	<i>Instalación de climatización</i>	<i>12</i>
2.2.7.	<i>Fases del climatizador</i>	<i>13</i>
2.2.7.1.	Baterías de frío y calor	15
2.2.7.2.	Caudales de aire	16
2.2.7.3.	Ventiladores	17
2.2.7.4.	Conductos	18
2.2.7.5.	Equipos de regulación y control	19
2.2.7.6.	Seguridad antiincendios	19
3.	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	21
3.1.	CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS	21
3.1.1.	<i>Cargas térmicas externas.....</i>	<i>22</i>
3.1.2.	<i>Cargas térmicas internas.....</i>	<i>25</i>
3.1.2.1.	Carga debida a iluminación	25
3.1.2.2.	Carga debida a maquinaria.....	25
3.1.2.3.	Carga debida al personal	26
3.1.2.4.	Carga debida al post-calentamiento	27
3.1.2.5.	Carga debida a los ventiladores	29
3.1.3.	<i>Carga debida al aire externo de recirculación.....</i>	<i>30</i>
3.1.4.	<i>Carga térmica total</i>	<i>32</i>
3.2.	CÁLCULO DE CAUDALES	33
3.2.1.	<i>Caudal de impulsión</i>	<i>34</i>
3.2.2.	<i>Caudal de infiltración</i>	<i>35</i>
3.2.3.	<i>Caudal de retorno.....</i>	<i>40</i>
3.2.4.	<i>Caudal de ventilación</i>	<i>40</i>
3.2.5.	<i>Caudal de renovación.....</i>	<i>43</i>
3.2.6.	<i>Resultados finales de los caudales</i>	<i>44</i>
3.3.	DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA	44

3.3.1.	<i>Pérdida de carga primaria</i>	49
3.3.2.	<i>Pérdida de carga secundaria</i>	51
3.3.2.1.	Codos.....	52
3.3.2.2.	Bifurcaciones y conexiones	53
3.3.2.3.	Conductos BIFLEX.....	56
3.3.3.	<i>Resultados de conductos</i>	57
3.3.4.	<i>Dimensionamiento de otros elementos</i>	64
3.3.4.1.	Elementos de difusión.....	64
3.3.4.2.	Elementos de retorno	65
3.3.5.	<i>Pérdidas de carga totales</i>	67
3.4.	CLIMATIZADORES. RESULTADOS.....	68
4.	PLIEGO DE CONDICIONES	71
4.1.	CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES	71
4.2.	CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE CLIMATIZACIÓN.....	71
4.3.	CONDICIONES TÉCNICAS DE PRUEBAS Y ENSAYOS	72
5.	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD	74
6.	PRESUPUESTO	75
7.	CRONOGRAMA OBRA	78
8.	PLANOS	79
9.	BIBLIOGRAFÍA	83
10.	ANEXO	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 2.1 ETAPAS DEL CLIMATIZADOR	13
FIG. 2.2 TIPOS DE FILTRO	14
FIG. 2.3 ESQUEMATIZACIÓN DE FILTROS EN EL CLIMATIZADOR.....	15
FIG. 3.1 PARÁMETROS TÉRMICOS DE LOS CERRAMIENTOS.....	23
FIG. 3.2 VALORES ASHRAE DE CORRECCIÓN (A)	23
FIG. 3.3 RESULTADOS DE TEMPERATURA EQUIVALENTE	24
FIG. 3.4 CONDICIONES PRÁCTICAS INTERIORES DE DISEÑO.....	31
FIG. 3.5 ESQUEMA DE CAUDALES DEL SISTEMA.....	34
FIG. 3.6 VALORES PARA RENOVACIONES POR HORA SEGÚN GRADOS DE LIMPIEZA	35
FIG. 3.7 VALORES PARA LA PERMEABILIDAD POR PUERTAS ENROLLABLES	37
FIG. 3.8 CRITERIOS DE VENTILACIÓN SEGÚN UNE 100-011 [L/S].....	41
FIG. 3.9 CAUDALES DE VENTILACIÓN MÍNIMOS EXIGIDOS	42
FIG. 3.10 CAUDALES DE VENTILACIÓN RITE	42
FIG. 3.11 DIAGRAMAS UNIFILARES. CL01, CL02 Y CL03 PARCIAL.....	46
FIG. 3.12 DIAGRAMAS UNIFILARES. CL04, CL05 Y CL06 PARCIAL.....	47
FIG. 3.13 DIAGRAMAS UNIFILARES. CL06 PARCIAL Y CL07	48
FIG. 3.14 VALORES DE A	51
FIG. 3.15 LONGITUDES EQUIVALENTES PARA LOS CODOS.....	53
FIG. 3.16 BIFURCACIONES DE IMPULSIÓN	54
FIG. 3.17 COEFICIENTES DE PÉRDIDA PARA BIFURCACIONES	54
FIG. 3.18 ENCUESTROS DE RETORNO	55
FIG. 3.19 COEFICIENTES DE PÉRDIDA PARA ENCUESTROS	55
FIG. 3.20 PÉRDIDAS POR CONDUCTOS BIFLEX.....	56
FIG. 3.21 DIMENSIONES DE FILTROS H14	64
FIG. 3.22 TIPOS DE REJILLAS	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	5
CARACTERÍSTICAS DE LAS SALAS	5
TABLA 2.2	15
POTENCIA DE LAS BATERÍAS	15
TABLA 2.3	16
CAUDALES DE LOS CLIMATIZADORES	16
TABLA 2.4	18
POTENCIA ELÉCTRICA DE VENTILADORES DE IMPULSIÓN	18
TABLA 3.1	24
CARGAS EXTERNAS (CL01)	24
TABLA 3.2	25
CARGAS EXTERNAS TOTALES	25
TABLA 3.3	26
CARGAS INTERNAS (CL01)	26
TABLA 3.4	26
CARGAS INTERNAS TOTALES	26
TABLA 3.5	28
CARGAS POR POSTCALENTAMIENTO (CL01)	28
TABLA 3.6	28
CARGAS POR POSTCALENTAMIENTO	28
TABLA 3.7	29
CARGAS POR VENTILADORES	29
TABLA 3.8	31
CARGAS POR RENOVACIÓN	31
TABLA 3.9	32
CARGAS TOTALES POR SALA (CL01)	32
TABLA 3.10	32
CARGAS POR CLIMATIZADOR	32
TABLA 3.11	33
CARGAS TOTALES POR CLIMATIZADOR	33
TABLA 3.12	38
PÉRIDAS POR INFILTRACIÓN EN PUERTAS (ZONAS CCAA Y EST)	38
TABLA 3.13	39
PÉRIDAS POR INFILTRACIÓN EN PUERTAS ENROLLABLES (ZONAS CCAA Y EST)	39
TABLA 3.14	43
CAUDALES DE VENTILACIÓN (CL01)	43
TABLA 3.15	43
CAUDALES DE VENTILACIÓN POR CLIMATIZADOR	43
TABLA 3.16	44

RESULTADOS DE CAUDALES POR CLIMATIZADOR	44
TABLA 3.17	56
LONGITUD BIFLEX IMPULSIÓN (CL01).....	57
TABLA 3.18.....	57
LONGITUD BIFLEX RETORNO (CL01).....	57
TABLA 3.19.....	59
PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL01).....	59
TABLA 3.20.....	60
PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL01).....	60
TABLA 3.21.....	63
PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL01).....	63
TABLA 3.22.....	63
PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL01)	63
TABLA 3.23.....	64
NÚMERO DE FILTROS H14 POR SALA (CL01).....	64
TABLA 3.24.....	67
NÚMERO DE REJILLAS POR SALA (CL01).....	67
TABLA 3.25.....	67
PRESIÓN DISPONIBLE POR CLIMATIZADOR.....	67
TABLA 3.26.....	69
RESULTADOS DE LOS CLIMATIZADORES PARA VERANO	69
TABLA 3.27.....	69
RESULTADOS DE LOS CLIMATIZADORES PARA INVIERNO.....	69
TABLA 7.1.....	78
CRONOGRAMA DE OBRA	78

1. REVISIÓN DE NORMATIVA

Para la realización de este proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normas y reglamentos oficiales de obligado cumplimiento, específicamente de aplicación en el ámbito del diseño de sistemas de climatización para salas estériles farmacéuticas.

- Condiciones climáticas exteriores. Recogen las condiciones ambientales del territorio español
 - ❖ Norma UNE 100014:2004
 - ❖ Norma UNE 100001:2001
 - ❖ Norma UNE 100002:1988
 - ❖ Guía Técnica Condiciones Climáticas exteriores para Proyecto. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
 - ❖
- Clasificación de salas estériles
 - ❖ Normas de correcta fabricación o GMP UE, anexo I. Clasifican el grado de limpieza de estas salas según la máxima concentración de partículas permitida.
 - ❖ Norma ISO 14664-1 2015. Se estipula la cantidad de recirculaciones por hora para las salas.
- Ventilación
 - ❖ Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), 2007.
 - Instrucción Técnica 1.1.4.2. Exigencia de calidad del aire exterior
 - Instrucción Técnica 1.1.4.3. Exigencia de higiene
 - ❖ Norma UNE-EN 13779:2008. Ventilación de los edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos

- ❖ Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Real decreto 486/1997 del 14 de abril. “Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo”, Anexo II.
 - ❖ Código Técnico de la Edificación (CTE-HS-3), Salubridad – Calidad del aire interior, capítulo II.
- Filtrado
- ❖ Norma UNE-EN 1822.1:2010. Clasificación de filtros de alta eficiencia (HEPA y ULPA) y sus pruebas.
 - ❖ Norma UNE-EN 779:2013. Clasificación de filtros de eliminación de partículas en ventilación general.
- Protección contra incendios
- ❖ Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), 2007.
 - Instrucción Técnica 1.3.4.1. Exigencia de seguridad. Generación de calor y frío
 - ❖ Código Técnico de la Edificación (CTE-SI), Seguridad en caso de incendio, capítulo I.
- Seguridad y salubridad
- ❖ Real Decreto 485/1997
 - Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
 - Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbar, para los trabajadores.
 - ❖ Real Decreto 773/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- ❖ Real Decreto 1215/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

2. MEMORIA TÉCNICA

2.1. Introducción

El fin de este proyecto es el diseño de climatización de varias salas blancas de una planta de productos farmacéuticos. Esta fábrica se encuentra en Valencia, en el pueblo de Puçol, formada por dos edificios, el principal, la fábrica, formada por dos plantas y un edificio anexo de tres plantas destinado a oficinas. Este proyecto en particular cubrirá las salas de fabricación y envasado de lociones, medicamentos y complementos alimenticios, además laboratorios de investigación y salas destinadas a almacenamiento.

Los principales factores que considerar para el diseño de este tipo de salas estériles farmacéuticas serán las propiedades del aire como la temperatura, la humedad y su limpieza determinado por la cantidad de partículas, entre otros. Estos parámetros condicionarán el estudio además de la fisionomía y el entorno del edificio junto con los toda la construcción y sistemas involucrados en el edificio como los de electricidad, fontanería, acabados, materiales o protección contra incendios.

Las salas a estudiar se encuentran en el interior de la primera planta del edificio principal con una altura total de 5 metros. Estas salas son espacios cerrados dentro de la planta formados por paneles *sándwich* y cubiertos por un falso techo con una altura de sala de 2,5 metros. Los conductos de circulación del aire se encontrarán encima del falso techo y llevarán a la sala de climatizadores que se encuentra en la segunda planta del edificio principal.

Durante la realización de este proyecto se cubrirán los siguientes aspectos técnicos que determinarán la elección del diseño tanto para los circuitos como para los climatizadores.

- Cálculo de las cargas térmicas de las salas
- Cálculo de caudales de aire de las salas
- Dimensionamiento de los circuitos
- Cálculo de las pérdidas de carga
- Cálculo de la presión que requiere la instalación para su funcionamiento

Se incluirá la disposición de los diferentes circuitos de impulsión y retorno además de la colocación de los distintos elementos como filtros, rejillas, conductos, etc. También se entregará un presupuesto detallado en el que se incluyen los diferentes componentes que

componen el proyecto y un cronograma de obra acompañado de un pliego de condiciones para la realización de los trabajos.

2.2. Especificaciones técnicas de la construcción

En este apartado se determinarán las características técnicas de las salas que se van a estudiar.

2.2.1. Arquitectura de las salas

La construcción de las salas se realizará de forma que se cree una caja estanca y hermética, con juntas selladas, comprobándose estas características una vez instalado y aportando resultado de las pruebas realizadas. Las salas se encuentran divididas en dos zonas principalmente, la zona de complementos alimenticios, en la que se comprenden las salas S1 a S15, y la de fabricación comprendida por las salas S16 a S45.

En la siguiente sala se muestran distintas características de las salas a estudiar. Además, la temperatura de operación tiene un rango de ± 2 °C.

TABLA 2.1

CARACTERÍSTICAS DE LAS SALAS

Salas	Nº	Área [m ²]	Grado de limpieza	Presión [Pa]	Temperatura [°C]
SAS MATERIALES	S1	4,66	D	+10	21
SAS PERSONAL 2	S2	6,5	D	+10	21
FABRICACIÓN CCAA	S3	27,34	C	+15	21
SAS MATERIALES 9	S4	4,87	D	+20	21
SAS PERSONAS 1	S5	6,48	D	+10	21
ENVASADO CCAA	S6	21,91	C	+15	21
SAS MATERIALES 8	S7	4	D	+10	21
SAS MATERIALES 13	S8	4,68	D	+10	21
SAS PERSONAL 4	S9	6,36	D	+10	21

FABRICACIÓN LOCIONES	S10	27,47	C	+15	21
SAS MATERIALES 12	S11	3,1	D	+20	21
SAS PERSONAS 3	S12	6,98	D	+10	21
ENVASADO LOCIONES	S13	23,07	C	+15	21
SAS MATERIALES 11	S14	3	D	+10	21
SAS PERSONAS PASILLO	S15	16,11		0	21
FABRICACIÓN DE ESTERILES	S16	22,98	C	+10	21
ESCLUSA SALIDA MATERIALES PESADAS ESTERILES	S17	3,1	C	+20	21
ESCLUSA PERSONAS PESADAS ESTÉRILES	S18	2,8	D	+15	21
SALA DE PESADAS ESTÉRILES	S19	7,94	D	+5	21
LAVADERO PESADAS ESTÉRILES	S20	4,5	D	0	21
ESCLUSA ENTRADA MATERIALES PESADAS ESTERILES	S21	3,6	D	+15	21
ESCLUSA DISTRIBUIDOS	S22	6,31	C	+5	21

MATERIALES ESTÉRILES					
ENVASADO ESTÉRILES	S23	20,14	C	+10	21
LAVADO FABRICACIÓN Y ENVASADO ESTÉRILES	S24	6,51	C	0	21
ESCLUSA PRODUCTO GRANEL ESTÉRILES	S25	2,58	C	+20	21
ESCLUSA SALIDA MATERIALES ENVASADO ESTÉRILES	S26	6,59	C	+20	21
FABRICACIÓN DE MEDICAMENTOS	S27	22,98	C	+10	21
ESCLUSA SALIDA MATERIALES PESADAS MEDICAMENTOS	S28	3,1	C	+20	21
ESCLUSA PERSONAS PESADAS MEDICAMENTOS	S29	2,8	D	+15	21
SALA DE PESADAS MEDICAMENTOS	S30	7,94	D	+5	21
LAVADERO PESADAS MEDICAMENTOS	S31	4,5	D	0	21

ESCLUSA ENTRADA MATERIALES PESADAS MEDICAMENTOS	S32	3,6	D	+15	21
ESCLUSA DISTRIBUIDOS MATERIALES MEDICAMENTOS	S33	6,31	C	5	21
ENVASADO MEDICAMENTOS	S34	28,12	C	+10	21
LAVADO FABRICACIÓN Y ENVASADO MEDICAMENTOS	S35	6,51	C	0	21
ESCLUSA PRODUCTO GRANEL MEDICAMENTOS	S36	2,58	C	+20	21
ESCLUSA SALIDA MATERIALES ENVASADO MEDICAMENTOS	S37	7,35	C	+20	21
VESTUARIO PERSONAS 1	S38	3,96	D	+15	21
VESTUARIO PERSONAS 2	S39	3,96	C	+5	21
PASILLO DISTRIBUIDOR	S40	13,6	C	+20	21
LAB. CONTROL EN PROCESO	S41	11,89	C	+10	21

ACONDICIONAMIENTO SECUNDARIO	S42	36,17	C	+5	21
ENTRADA MAT. AC. SECUNDARIO	S43	8,28	D	+15	21
ESCLUSA PERSONAS AC. SECUNDARIO	S44	5,81	D	+15	21
ESCLUSA SALIDA PRODUCTO TERMINADO	S45	5,93	D	+15	21
MUESTROTECA	S46	135,8 7			21
SAS	S47	2,1	D	+15	21
LABORATORIO MICRO	S48	20,92	D	+30	21
EQUIPOS I+D	S49	15,84			21
LABORATORIO FQ	S50	55,2			21
EQUIPOS COMUNES	S51	20,26			21
EQUIPOS CALIDAD	S52	13,97			21
SAS	S53	7,64			21
SAS	S54	7,64			21
LABORATORIO I+D	S55	125,5 6			21

2.2.2. Cerramientos de techo y verticales

Éstos se llevarán a cabo con componentes aptos para salas estériles, lisos, sin juntas, fácil de limpiar y uniones machihembradas. Las puertas y esquinas incluirán cantos redondeados para facilitar la limpieza. No acumularán cargas electrostáticas.

Los módulos están formados por paneles *sándwich* con un espesor mínimo de 60mm. Dos chapas de acero galvanizado de 0,6mm con aislante inyectado de espuma rígida de poliestireno XPS con resistencia al fuego BS2d0 o superior, revestido con una capa de laca cocida al horno de poliéster de 25 μm . Las juntas estarán selladas con silicona para asegurar la estanqueidad. Dos lados del panel conformando a dos cantos plegados. Los paneles estarán fijados al suelo mediante perfiles galvanizados lo que permitirá regular la altura de los módulos y llevar a cabo el encuentro suelo-pared con el mismo material vinílico utilizado en el suelo. La apertura de perforaciones y huecos para albergar y pasar instalaciones quedarán incluidos. Mediante un tubo conector de aluminio anodizado de 30 x 30mm se realizará el ensamblaje entre paneles.

El encuentro entre paneles se hará con escocia de aluminio y su terminación en las esquinas con piezas especiales con el mismo material. Los ángulos entre paneles, paredes y techos irán rematados con perfiles de aluminio anodizado, con facilidad de limpieza, utilizado para las juntas entre paneles en las esquinas convexas. Dispondrán de un rebaje que asegure el correcto espesor durante el sellado. Los perfiles se conectan en terminación de esquinas con piezas especiales. Los remates verticales cóncavos son perfiles curvos. Se evitará todo ángulo recto para facilitar limpieza y desinfección. Interior y exteriormente la unión entre paneles irá siliconada apta para este tipo de instalaciones. Los encuentros entre suelo y paredes se realizarán con el mismo pavimento vinílico que el suelo, asegurando una línea continua y uniforme. Para ello, se dispondrá de un sistema de fijación del panel de pared ajustable en altura, con el fin de nivelar los pequeños defectos que pudieran aparecer en el suelo.

El falso techo se hará mediante los mismos paneles que los cerramientos verticales, con los mismos tratamientos y aislante inyectado. No existirá hueco entre el falso techo y los difusores, luminarias, detectores u otras instalaciones. Las juntas se han sellado con silicona para completar la estanqueidad. El falso techo será transitable y tendrá una superficie superior lisa por su parte superior para realización de tareas de mantenimiento y tendrá que asegurar una sobrecarga de 100 Kg/m².

2.2.3. Pavimentos exteriores

La terminación de los suelos de las salas blancas se hará utilizando PVC Homogéneo, calandrado, tipo TK 858 (sistema MCD) o tipo Armstrong DLW Contour en rollos de 180 cm de ancho y longitud máxima de 25 metros. El producto estará compuesto exclusivamente por cloruro de polivinilo, plastificante, estabilizante y aditivo inorgánico sin carga de sílice o silicatos.

En el caso de las salas de mezclas de lociones se debe aplicar un revestimiento que sea resistente a los productos utilizados en dichas salas (etanol al 96%, propolenglicol y ácidos con un pH en torno a 3).

Para la colocación del pavimento esta se colocará sobre la capa de pavimento vinílico actual, seca, plana, limpia y sin grietas, previamente habiendo alisado la superficie para garantizar las condiciones óptimas del suelo.

Todo el suelo es rematado con los paramentos verticales con un perfil sanitario, la lámina de PVC es continua, incluyendo el rodapié de 10cm.

2.2.4. Carpintería interior

Las puertas estarán fabricadas con los mismo paneles *sándwich* que los cerramientos con un acabado lacado por polvo poliéster termoestable y deberán quedar enrasadas a las paredes por ambos lados, montadas en un cerco integrado en los paneles de las paredes.

Las puertas de acceso a las cabinas estarán enclavadas a las puertas de acceso a sus respectivas exclusas. Utilizando accesorios de aluminio, acero inoxidable *Zamac* o poliamida además de tornillería de acero inoxidable de tipo 18/10. Las puertas incluirán protecciones de bolardo *panelchock* o equivalente de polietileno de alta densidad con varilla de acero.

Existirán dos tipos de puerta según su aplicación.

- Puerta rápida enrollable infranca sala blanca

Puerta rápida INFRACA MOD PRSB con guías de aluminio lacado en blanco y junta higiénica especial para evitar entrada de suciedad y asegurar mejor permeabilidad al aire.

Dintel de aluminio lacado en blanco con eje y consola de apoyo en acero inoxidable, fijación de guías con tornillería oculta y cubre motor.

- Puerta de servicio infranca sala blanca para panel de 60mm

Puerta de servicio INFRACA MOD SB01 con hoja compacta acabado polipropileno/polipropileno de espesor 60 mm, inyectada en poliuretano.

Bi-enrasada a ambas caras del marco. Con las mínimas superficies horizontales para evitar la acumulación de suciedad y facilitar la limpieza. Con mirilla enrasada. Con muelle de auto cierre.

2.2.5. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica está destinada a dar suministro a la iluminación, tanto ordinaria como de emergencia, las tomas de corriente, los equipos de climatización y ventilación y los equipos de laboratorio.

Todas las salas disponen de bases de enchufes de 220V distribuidas por las paredes de estas.

Las luminarias deben ser estancas y enrasadas con el techo. En las salas blancas se instalará luminarias empotrables o estacas integradas por carcasa, ambas de tecnología LED, con interruptores en cada sala para el control de la iluminación. La colocación dependerá de la actividad a realizar en cada una de las zonas, así como los niveles de iluminación. Las iluminancias medias para las áreas de envasado, fabricación, laboratorios y salas blancas serán 2 de 500 lux, para las zonas de trabajo de las salas blancas 1000 lux y para las esclusas 200 lux, todo ello con una tolerancia de ± 25 lux. Se colocarán de manera uniforme en el techo para que en entre los puntos mejor iluminados y los peor iluminados haya una relación no superior a 2,5:1. Si se encuentran próximas a la pared, se dispondrán para que la distancia del eje del alumbrado sea como máximo $d/2$, siendo d la distancia entre los ejes de dos paneles contiguos.

En caso de emergencia y para facilitar la evacuación del edificio por fallo de la tensión de red, se colocarán luminarias de emergencia con señalización permanente de encendido automático para activarse cuando la tensión se reduzca a menos un 70% o se produzca un fallo del alumbrado general. Encontramos cuatro tipos distintos de alumbrado de emergencia que se utilizarán dependiendo de la sala.

2.2.6. Instalación de climatización

Se dispondrá de seis climatizadores para la impulsión del aire que garantice los parámetros requeridos para cada una de las zonas, de complementos alimenticios, de

lociones, de pasillo, de esterilización, de medicamentos y de acceso general, respectivamente, como se detalla más adelante. En el capítulo 3 se mostrarán los cálculos para el diseño de cada uno de ellos.

La instalación se hará con un sistema UTA o Unidad de Tratamiento de Aire, formado por baterías de calor y frío para cada una de las zonas que actúan como intercambiadores aire-agua. Las necesidades de agua fría y caliente se proveerán de las enfriadoras y calderas que tiene la nave para su funcionamiento y con potencia suficiente para las salas blancas. Se instalarán en los ramales generales y en la tubería de retorno de cada climatizador válvulas de equilibrado de caudal, que se encargan de asegurar y mantener el caudal de agua circulante a través de cada unidad terminal para todos los estados de funcionamiento del circuito hidráulico. Cada climatizador se corresponde con un sistema de caudal de aire constante y temperatura variable, así se puede controlar en todo momento el caudal de aire que se introduce en la sala y mantener la presión de diseño.

2.2.7. Fases del climatizador

En la Fig. 2.1 se encuentra un ejemplo de las distintas etapas del climatizador

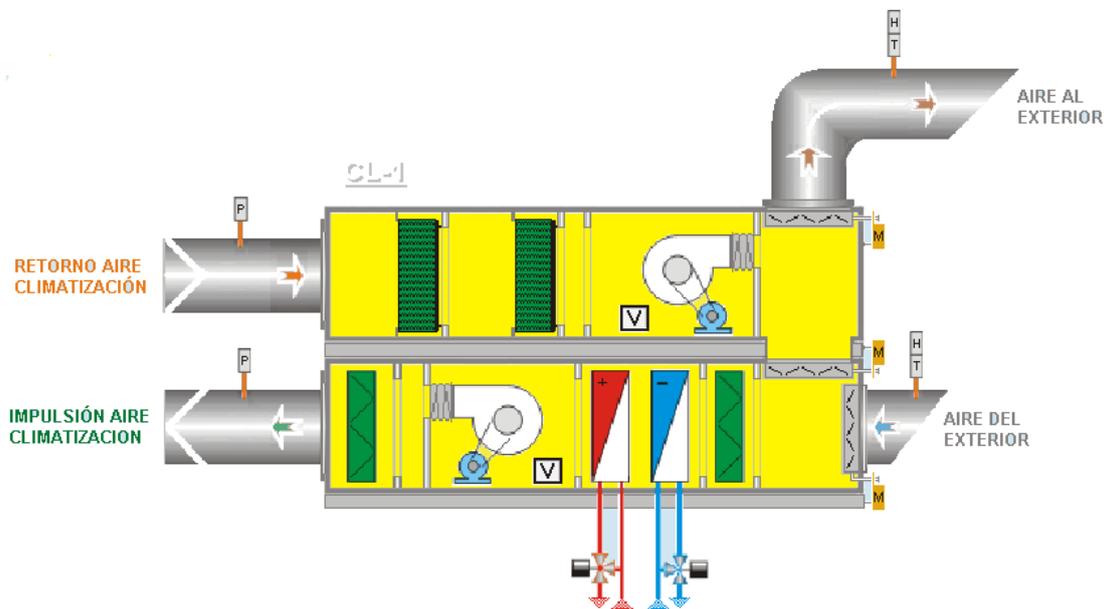


Fig. 2.1 Etapas del climatizador [1]

A continuación, se describirán los principales componentes de este.

- Primer filtrado de impulsión. Se realiza en la UTA. Primero, las partículas gruesas del aire exterior se retienen mediante un filtro G4 y después un filtro intermedio F9.

- Segundo filtrado de impulsión. Se realiza en cada unidad terminal. Con unos altos requisitos de limpieza, mediante filtros absolutos con una eficacia de 99,995% que cumplan la norma EN1822 como los H13.

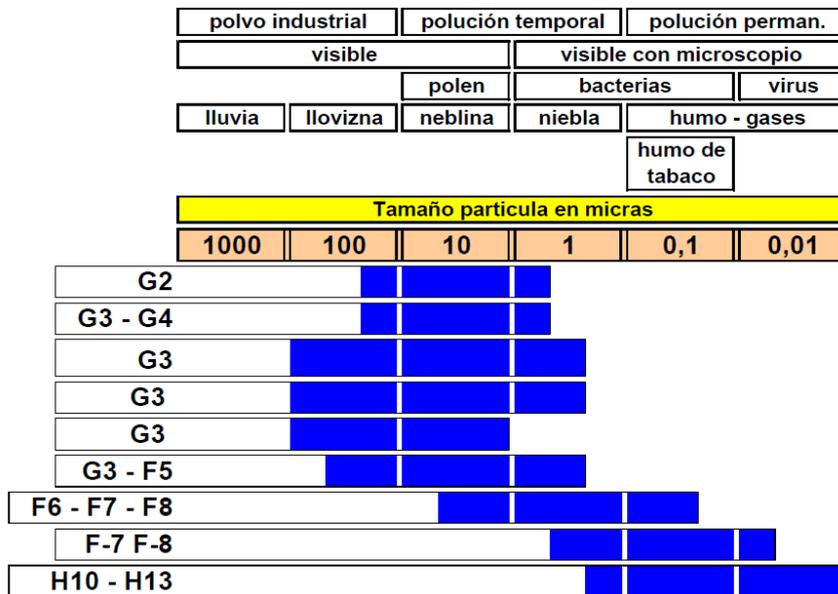


Fig. 2.2 Tipos de filtro [1]

- Baterías de frío y calor. Intercambiadores de calor aire-agua que se encargan de regular la temperatura de los flujos de aire.
- Ventiladores. Los de impulsión permiten salvar las pérdidas de presión tanto primarias (por los tubos) como secundarias (por los accesorios), mientras que los de extracción o retorno garantiza la renovación del aire en sala y preservan la calidad del aire.
- Filtrado de retorno. Se coloca de nuevo un filtro F9 antes de la extracción con el objetivo de no contaminar el aire exterior.

En la Fig. 2.2 podemos ver una clasificación de los filtros según el tamaño de partícula en micras mientras que en la Fig. 2.3 una esquematización del climatizador con la colocación de los distintos filtros.

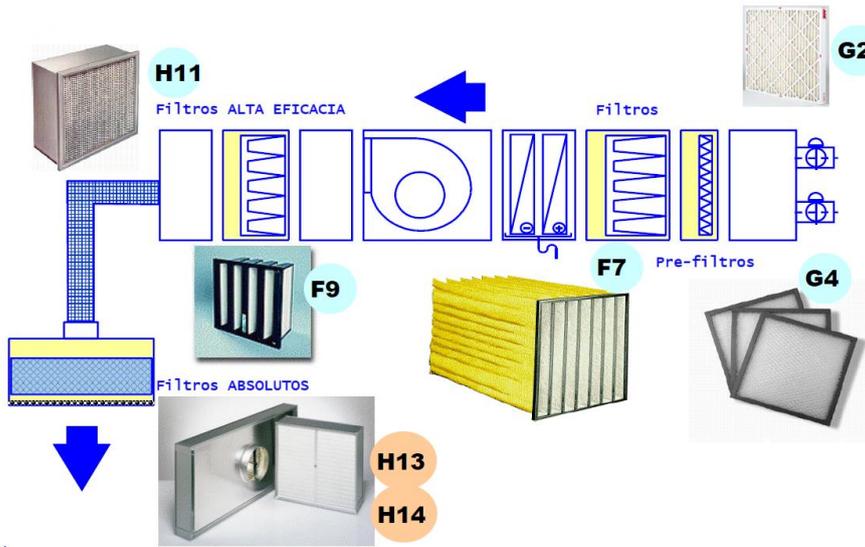


Fig. 2.3 Esquematación de filtros en el climatizador [1]

2.2.7.1. Baterías de frío y calor

Encontramos dos baterías en cada climatizador, una de calor y la otra de frío, éstas son intercambiadores de calor aire-agua. El agua a temperatura se obtiene de calderas y enfriadoras presentes en la sala de máquinas del edificio que más tarde se conectan a los climatizadores. El agua fría se genera a 7°C y se calienta en las baterías hasta 12°C por estándar en la industria mientras que el agua caliente con un salto de 20°C, se genera a 80°C y se enfría hasta 60°C. Ambos fluidos son regulables, el agua se controla por medio de válvulas de tres vías mezcladoras mientras que también se puede controlar el caudal de aire mediante los ventiladores en los climatizadores, esto permitirá mantener la presión y temperaturas de diseño en rangos óptimos de funcionamiento. Para realizar el cálculo de los parámetros se han tenido en cuenta las peores condiciones externas posibles, tanto en verano para las baterías de frío como en invierno para las de calor. En este caso, las potencias de las baterías serán las siguientes.

TABLA 2.2

POTENCIA DE LAS BATERÍAS

Climatizador	Batería de frío [kW]	Batería de calor [kW]
CL01 [SB. CCAA]	43,89	11,99
CL02 [SB. LOC]	42,69	11,86
CL03 [SB. COMF]	97,6	37,42

CL04 [SB. EST]	52,67	14,19
CL05 [SB. MED]	53,82	14,4
CL06 [GEN. ACC]	31,43	8,03
CL07 [SB. MIC]	21,68	5,8

2.2.7.2. Caudales de aire

El sistema de climatización está compuesto por dos circuitos independientes en cada climatizador, un circuito de impulsión y otro de retorno. El circuito de impulsión lleva el aire a las salas que se deben climatizar mientras que el de retorno extrae el aire de las salas de vuelta a los climatizadores. Además, encontramos un caudal de aire expulsado y otro de renovación que tienen el objetivo de no mantener el flujo estancado y cumplir con los requisitos de salubridad de la sala.

El aire circula a través de una red de conductos de baja velocidad. Durante la impulsión atraviesa la UTA variando su temperatura para después circular hasta la sala aclimatada por los filtros en las zonas centrales de la sala. El retorno se produce a través de las rejillas ubicadas en los extremos de las salas.

De esta manera obtenemos unos caudales nominales para cada climatizador de impulsión, expulsión y renovación.

TABLA 2.3

CAUDALES DE LOS CLIMATIZADORES

Climatizador	Caudal de impulsión [m3/h]	Caudal de expulsión [m3/h]	Caudal de renovación [m3/h]
CL01 [SB. CCAA]	10600	1640,14	1673,81
CL02 [SB. LOC]	10500	1623,53	1655,49
CL03 [SB. COMF]	22500	4982,61	5487,46
CL04 [SB. EST]	12850	1764,35	1980,97

CL05 [SB. MED]	13050	1783,01	2010,97
CL06 [GEN. ACC]	6950	896,48	1121,48
CL07 [SB. MIC]	5350	1045,02	810,18

2.2.7.3. Ventiladores

Como se ha mencionado anteriormente, para mantener la salubridad en las salas, parte del aire debe ser expulsado y otro parte introducido mientras que la gran mayoría se reutiliza con lo que se consigue una mayor eficiencia energética siempre manteniendo los estándares de limpieza del aire estipulados en la normativa vigente como el R.I.T.E.

Los ventiladores demandan cierta potencia eléctrica para mover el aire y satisfacer las pérdidas de presión. Esta potencia se deberá estimar, para ello se utiliza la siguiente expresión.

$$q_e \sim \frac{P_{TOTAL} \cdot Q_{aire}}{\mu} \quad (2.1)$$

Sabiendo que la presión total es:

$$P_{TOTAL} = P_{dinámica} + P_{estática} \quad (2.2)$$

q_e [W]: Estimación de la potencia eléctrica.

Q_{aire} [m³/h]: Caudal de circulación en el ventilador.

μ : Rendimiento estimado del ventilador, teniendo en cuenta rendimiento mecánico y eléctrico. En este caso, se ha tomado 0,55.

P_{TOTAL} [Pa]: Presión total o disponible que el ventilador debe suministrar y así superar las pérdidas provocadas por filtros, intercambiadores, circuitos, etc. Se trata de la presión estática sumada a la presión dinámica. La presión dinámica se estima como un 10% de la presión estática.

➤ De impulsión

El consumo del ventilador se ha estimado con los cálculos realizados previamente. Estimamos la presión en 1000Pa para calcular la potencia eléctrica de los mismos. Estas pérdidas vienen de las pérdidas primarias por la longitud de los circuitos de impulsión y las secundarias por la pérdida de carga en otros accesorios y elementos.

Los elementos que más afectan a esta instalación son los filtros, existen dos etapas de filtrado en el propio climatizador, un pre-filtro G4 y un filtro F9, con pérdidas de 80Pa y 90Pa, respectivamente. Las potencias eléctricas de los motores están tipificadas, de esta manera hemos obtenido la siguiente tabla.

TABLA 2.4

POTENCIA ELÉCTRICA DE VENTILADORES DE IMPULSIÓN

Climatizador	Potencia [W]
CL01 [SB. CCAA]	5500
CL02 [SB. LOC]	5500
CL03 [SB. COMF]	12000
CL04 [SB. EST]	7000
CL05 [SB. MED]	7000
CL06 [GEN. ACC]	4000
CL07 [SB. MIC]	3000

2.2.7.4. Conductos

Los conductos serán rectangulares de chapa garantizando la estanqueidad en las juntas y uniones gracias a las uniones tipo METU. En este tipo de instalaciones con conductos de grandes caudales, se limitará la velocidad máxima a 12m/s.

Los circuitos estarán aislados con espuma elastomérica para mantener la temperatura de las caudales de circulación dentro de los parámetros necesarios.

Todas las conexiones entre los conductos y las salas se harán mediante tubos biflex anteriormente calculados. En los circuitos de impulsión, antes de la entrada en sala se ubicarán cajas de filtración con filtros HEPA de tipo H14 de alta eficacia.

Además, en las salas en las que sea necesario el proceso de post-calentamiento, se colocarán resistencias para aumentar la temperatura del flujo antes de la entrada a la sala. Las salas que requieren estas resistencias están especificadas más adelante.

2.2.7.5. Equipos de regulación y control

Se conocerá el estado de los equipos de climatización mediante una serie de elementos de regulación y control instalados en las unidades como sensores y válvulas que monitorizan el correcto funcionamiento de los equipos.

Estos elementos se colocarán en un cuadro eléctrico general para su comprobación visual e irán acompañados de un controlador PLC que se encargará de regular y monitorizar de manera automática los equipos. Se mandarán instrucciones a la unidad para su funcionamiento óptimo.

Los siguientes elementos serán los que monitorizarán y regulen los equipos.

- Manómetros. Colocados entre los filtros, miden la suciedad de los mismos.
- Presostatos. Colocados en los ventiladores y filtros, se encargan de cerrar los circuitos en los que el filtro haya llegado al final de su vida útil y no garantice la salubridad del aire. Además, monitoriza el caudal de aire que circula por los ventiladores.
- Sondas térmicas. Mide las temperaturas de entrada y salida de los climatizadores para permitir su regulación y que se cumplan las condiciones de temperatura estipuladas para un correcto funcionamiento.
- Variador de frecuencia. Controla el caudal que circula por los ventiladores.
- Válvula mezcladora. Válvula de tres vías encargada de la circulación de agua en las baterías.
- Compuerta manual de admisión. Para controlar el paso del caudal se ponen en los ventiladores.

2.2.7.6. Seguridad antiincendios

Habrán pulsadores de alarmas de incendios en las salas, además de detectores en cada habitáculo y zonas transitables.

Los extintores deben ser fácilmente manejables y colocados adecuadamente además de señalizados. Se utilizarán extintores de CO₂ y polvo.

Las salidas de emergencias estarán propiamente señalizadas.

3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Debido al gran número de salas, se mostrarán los resultados completos tan solo del climatizador 1 (CL01 [SB. CCAA]) como ejemplo en este capítulo y los resultados resumidos por climatizador. Los demás cálculos se encuentran en el Anexo.

3.1. Cálculo de cargas térmicas

El primer paso para el diseño del sistema de climatización es el cálculo de cargas térmicas, estas son las que el sistema deberá vencer para mantener las salas con las condiciones deseadas. Las cargas térmicas son la cantidad de energía térmica que un habitáculo intercambia con el exterior por las condiciones más desfavorable posibles del exterior e interior. Existen dos tipos de cargas, las de calefacción y las de refrigeración, ambas se estudiarán en este proyecto para el dimensionamiento de los sistemas de frío y calor.

Además, el calor se divide en calor sensible y calor latente. El primero se ve afectado por los cambios de temperatura seca del aire, sin intervenir un cambio de fase, mientras que el segundo se ve afectado por la variación de la humedad y fase del aire. En este proyecto la humedad de las salas no se tendrá en consideración y las cargas térmicas debidas al calor latente se podrán despreciar.

Las cargas dependerán de la geometría y ubicación de las zonas a climatizar y estarán formadas por cargas externas e internas. Las cargas externas se deben a la transmisión de calor por los cerramientos y ventanas. Las cargas internas se deben a la maquinaria interior, la ocupación por personal y la iluminación entre otras, además, en este proyecto tendremos cargas por post-calentamiento del aire que se deben a la colocación de resistencias antes de los filtros de las salas más frías con el objetivo de incrementar la temperatura hasta encontrarse dentro de los parámetros deseados.

La carga térmica total por climatizador se obtendrá con la siguiente expresión.

$$q_{total} = q_{externas} + q_{internas} + q_{post} \quad (3.1)$$

Además, debemos establecer un criterio de signos para los calores. En este caso, si una carga es positiva se considerará calor recibido por la sala, mientras que si es negativa será calor que la sala pierde.

$q < 0$; calor que la sala cede.

$q > 0$; calor que la sala absorbe.

Añadido a los calores por sala, se tendrán en cuenta el calor que desprenden los ventiladores y el calor por el cambio de temperatura del aire de renovación que se obtiene del exterior. Estas cargas se añadirán una vez se hayan calculado los caudales para cada sala y climatizador en el siguiente apartado.

3.1.1. Cargas térmicas externas

Se trata de las cargas de transmisión o el calor perdido o ganado entre habitáculos colindantes. Para estas cargas encontramos la siguiente expresión.

$$q_{trans} = q_{cerr_ext} + q_{cerr_int} + q_{techos} \quad (3.2)$$

Las cargas por transmisión se dan por dos fenómenos, la convección y la conducción. La convección es la transferencia de calor por el movimiento de un fluido y es relativa al aire que se encuentra en contacto con la pared mientras que la conducción se basa en el contacto directo entre cuerpos para intercambiar calor sin intercambio de materia. Para realizar estos cálculos se deben conocer las propiedades de los materiales de los cerramientos. Todos los cerramientos horizontales se tendrán en cuenta y dado que todas las salas se encuentran a la misma temperatura, solo se tendrán en cuenta los cerramientos verticales que sean colindantes con el exterior, es decir, que den a la planta principal. Las ventanas no se tendrán en cuenta puesto que tienen un área pequeña comparada a la pared y la variación se puede considerar despreciable.

La expresión para el cálculo de las pérdidas por transmisión es la siguiente.

$$q_{trans} = A_{inter} \cdot U \cdot \Delta T_e \quad (3.3)$$

A_{inter} [m^2]: Área de intercambio de los cerramientos, tanto horizontales como verticales.

U [$W/m^2 \cdot K$]: Coeficiente global de transferencia de calor.

ΔT_e : Diferencia de temperatura equivalente

El factor U varía dependiendo del material del cerramiento y la condiciones de cada uno de los espacios, incluye intercambio tanto de convección como conducción. Estos valores se encuentran tabulados por la norma NBE-CT-79. Se pueden observar los valores para este coeficiente en la Fig. 3.1 denominada K.

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION DE CALOR EN PANELES SICH		
	1/hi + 1/he	
	Cerramientos verticales	Cerramientos horizontales
Paredes/exterior	0,2	0,26
Paredes/local	0,26	0,40
	Espesor, L (m)	Conductividad, λ (W/m°C)
Chapa de acero	0,006	0,21
Poliestireno*	0,056	0,06
Kparedes verticales/exterior	0,84	W/m2°C
Kparedes horizontales/exterior	0,80	W/m2°C
Kparedes verticales/local	0,80	W/m2°C

* expandido, densidad 22kg/cm³

Fig. 3.1 Parámetros térmicos de los cerramientos [2]

Para el cálculo de la temperatura equivalente nos hemos guiado por el criterio que establece la ASHRAE, el cual proporciona la diferencia de temperatura más extrema para las salas dadas ciertas condiciones ambientales y añade un factor de corrección *a* dependiendo de la situación como se muestra en la Fig. 3.2.

Δt_{e_tabla}

Text - Tsl

OMD

a

Cálculo de la diferencia de temperatura equivalente entre un local climatizado y el exterior

Datos tabulados por ASHRAE

Diferencia entre temperatura exterior y de la sala

Oscilación media diaria

Factor de corrección

Corr.=a	OMD en 24h				
T _{ext.dia} -T _{sl}	8	10	12	14	16
0	-6.6	-7.6	-8.5	-9.4	-10.3
4	-2.7	-3.6	-4.6	-5.5	-6.4
8	1.2	0.3	-0.7	-1.6	-2.5
10	3.1	2.2	1.2	0.3	-0.6

$\Delta t_e = \Delta t_{e_tabla} + a$

Tmedia

Cálculo de la diferencia de temperatura equivalente entre un local climatizado y otro sin climatizar

= (Text + Tsl)/2

$\Delta t_e = Tmedia - Tsl$

Fig. 3.2 Valores ASHRAE de corrección (a) [2]

Para obtener la temperatura equivalente debemos utilizar las siguientes expresiones

$$\Delta T_e = \Delta T_{e_tabulado} + a \tag{3.4}$$

Donde

$$\Delta T_e = \bar{T} + T_{local} \quad (3.5)$$

Y \bar{T} es la temperatura seca media entre el exterior y el local. Con todo ello obtenemos la siguiente figura de resultados para este proyecto.

DIFERENCIA DE TEMPERATURA EQUIVALENTE		
Δt_{etabla}^{**}	12	°C
Text - Tsl	10	°C
OMD	16	°C
a	-0,6	°C
Δt_e entre local climatizado y exterior	11,40	°C
Δt_e entre local climatizado y local sin climatizar	6,00	°C

** datos para según ASHRAE

Fig. 3.3 Resultados de temperatura equivalente [2]

En este caso solo se tendrá en cuenta la transmisión con el techo y los locales sin climatizar. Dado que la altura de las salas es 2,5 metros, los cerramientos horizontales también dan a un local sin climatizar con la misma temperatura equivalente que los cerramientos verticales pero distinto coeficiente de transferencia. La temperatura equivalente que se utilizará será 11,4°C mientras que los valores de transmitancia serán 0,84 y 0,8 para los cerramientos verticales y horizontales, respectivamente.

Con todo ello obtenemos los siguientes resultados para las cargas externas de transmisión tanto para invierno como para verano.

TABLA 3.1
CARGAS EXTERNAS (CL01)

Salas	Cerramientos verticales [W]	Cerramientos horizontales [W]	Carga total [W]
S1	42,5	98,47	140,97
S2	59,28	63,38	122,66
S3	249,34	127,68	377,02
S4	44,41	55,63	100,04
S5	59,09	0	59,09

S6	199,82	143,18	343
S7	36,48	91,2	127,68

TABLA 3.2

CARGAS EXTERNAS TOTALES

Climatizador	Carga total [W]
CL02 [SB. LOC]	983,2
CL03 [SB. COMF]	4727,57
CL04 [SB. EST]	1023,95
CL05 [SB. MED]	1118,88
CL06 [GEN. ACC]	1106,7
CL07 [SB. MIC]	408,62

3.1.2. Cargas térmicas internas

Las cargas internas son debidas a elementos presentes dentro de las salas que emiten calor, en este caso serán debido a la iluminación, a la maquinaria y al personal.

Dado que estas cargas son un aporte de calor para la sala tan solo se tendrán en cuenta en verano ya que en invierno no se considerarán una pérdida.

3.1.2.1. Carga debida a iluminación

Los sistemas de iluminación presentes en la sala contribuyen a las cargas internas mediante convección y radiación al ser fuentes de calor. Depende del tipo de luminarias se considera una carga u otra, a pesar de ello, según la normativa, para los laboratorios es aceptable tomar la estimación de 25 W/m².

3.1.2.2. Carga debida a maquinaria

Esta carga se debe al calor que producen las máquinas durante su operación. Para estimarla es necesario consultar los planos y pliegos con las máquinas. Dado que no se proporcionan valores específicos para la maquinaria se ha estimado dependiendo de la sala. Las salas de mayor actividad automatizada como las salas de fabricación y envasado se han estimado unas cargas de 10kW y 7kW, respectivamente. Otras salas como las de

pesadas o lavado donde encontramos autoclaves se han estimado 2kW por autoclave y 500W por la presencia de ordenadores.

3.1.2.3. Carga debida al personal

Al igual que para la carga debida a la iluminación, se ha optado por seguir la normativa, la cual recoge una estimación de 70W de calor sensible por persona, si más personas se encuentran en la sala la suma deberá multiplicarse por un factor de corrección de 0,75. Para cada sala se ha estimado la ocupación según su funcionalidad, dado que hay salas de almacenamiento o de tránsito, no todas ellas tendrán una carga debida al personal.

Dadas todas estas estimaciones obtenemos los siguientes resultados para las cargas internas

TABLA 3.3

CARGAS INTERNAS (CL01)

Salas	Carga por iluminación [W]	Carga por maquinaria [W]	Carga por personal [W]
S1	116,5	0	0
S2	162,5	0	0
S3	683,5	10000	158
S4	121,75	0	0
S5	162	0	0
S6	547,75	7000	158
S7	100	0	0

TABLA 3.4

CARGAS INTERNAS TOTALES

Climatizador	Carga total [W]
CL02 [SB. LOC]	19188,5
CL03 [SB. COMF]	41665,25
CL04 [SB. EST]	22086,25

CL05 [SB. MED]	22358,75
CL06 [GEN. ACC]	6815
CL07 [SB. MIC]	10682,5

3.1.2.4. Carga debida al post-calentamiento

Más adelante se llevará a cabo el cálculo de los caudales y se obtendrá un caudal de impulsión necesario por sala. Como se explica en el apartado 3.2 Cálculo de caudales este caudal es el máximo entre el debido a las cargas térmicas y el de limpieza que estipula la normativa. En el caso de que el caudal a escoger sea el de limpieza (más probable en salas con cargas térmicas menores) se produce un salto de temperaturas mayor al necesario y la sala se enfría más de lo debido. Para solucionarlo se añaden resistencias en los conductos de las salas afectadas para proporcionar un aumento de temperatura del flujo.

Para calcular el valor de las resistencias en cada sala es necesario estipular la temperatura de impulsión del aire. Obtenemos esta temperatura siguiendo lo propuesto en el “Manual de diseño de salas limpias”. Se seleccionarán las temperaturas más bajas posibles para aumentar el salto de temperaturas entre el ambiente y el local y disminuir el caudal de impulsión necesario mientras que se ahorra en los consumos energéticos de los ventiladores.

Se proponen los siguientes rangos de temperatura dependiendo de la estación

Verano - Refrigeración

$$14\text{ °C} \leq T_{\text{impulsión}} \leq T_{\text{sala}}$$

Invierno - Calefacción

$$T_{\text{sala}} \leq T_{\text{impulsión}} \leq 35\text{ °C}$$

El aire de la sala se deberá post calentar si se encuentra fuera del rango de temperaturas aceptables, es decir, el de la sala con un rango de $\pm 2\text{ °C}$, si ello sucediera el aire se deberá post calentar con resistencias de 500W o mayores hasta alcanzar la temperatura deseada e irán aumentando su valor en múltiplos de 500.

Para ello utilizaremos la siguiente expresión

$$Q_c = \frac{q}{\rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{sala}} - T_{\text{impulsión}})} \quad (3.6)$$

Q_{ct} [m³/h]: Caudal de impulsión de la sala

q [W]: Carga térmica total de la sala

ρ [Kg/m³]: Densidad del aire

C_p [J/Kg· K]: Calor específico del aire

Despejando la expresión (3.6) podemos obtener la temperatura final de la sala y definir si el post calentamiento es necesario.

TABLA 3.5

CARGAS POR POSTCALENTAMIENTO (CL01)

Salas	$Q_{impulsión}$ [m ³ /h]	T_{sala} [°C]	$T_{sala_necesaria}$ [°C]	Post calentamiento	Q_{post_cal} [W]
S1	250	17,45	22	Si	500
S2	350	17,12	22	Si	500
S3	5400	21	22	No	0
S4	250	17,27	22	Si	500
S5	300	17,14	22	Si	500
S6	3850	21,02	22	No	0
S7	200	17,68	22	Si	500

TABLA 3.6

CARGAS POR POSTCALENTAMIENTO

Climatizador	Carga total [W]
CL02 [SB. LOC]	1500
CL03 [SB. COMF]	0
CL04 [SB. EST]	4000
CL05 [SB. MED]	4500

CL06 [GEN. ACC]	9000
CL07 [SB. MIC]	0

3.1.2.5. Carga debida a los ventiladores

Al haber obtenido los resultados de los caudales necesarios para las salas podemos calcular la potencia que requieren los motores de los ventiladores de impulsión y retorno. Estos motores también generan una carga térmica que se calculará con la siguiente fórmula.

$$q_{vent} = \frac{\Delta P_{TOTAL} \cdot Q_{aire}}{\mu} \quad (3.7)$$

q_{vent} [W]: Potencia generada por el ventilador

ΔP_{total} [Pa]: Presión disponible por ventilador. Se aproxima a 1000 Pa por ventilador

Q_{aire} [m³/s]: Caudal de aire que circula por el ventilador. Se encuentra en m³/h y se debe convertir a m³/s.

μ : Rendimiento de la máquina. Combina los rendimientos eléctrico y mecánico. Se estima entre 0,5 y 0,6; se tomará 0,55.

TABLA 3.7

CARGAS POR VENTILADORES

Climatizador	Ventilador	Caudal de aire [m³/h]	Carga térmica [W]
CL01 [SB. CCAA]	V1-Impulsión	10600	5353,54
	V8-Retorno	10566,33	5336,53
CL02 [SB. LOC]	V2-Impulsión	10500	5303,03
	V9-Retorno	10468,04	5286,89
CL03 [SB. COMF]	V3-Impulsión	22500	11363,64

	V10-Retorno	22188,02	11206,07
CL04 [SB. EST]	V4-Impulsión	12850	6489,9
	V11-Retorno	12693,86	6411,04
CL05 [SB. MED]	V5-Impulsión	13050	6590,91
	V12-Retorno	12873,3	6501,67
CL06 [GEN. ACC]	V6-Impulsión	6950	3510,1
	V13-Retorno	6837,56	3453,31
CL07 [SB. MIC]	V7-Impulsión	5350	2702,02
	V14-Retorno	5467,42	2761,32

3.1.3. Carga debida al aire externo de recirculación

Como se ha mencionado anteriormente, en el siguiente apartado Cálculo de caudales se procederá a calcular los distintos caudales que intervienen en el sistema de climatización.

Para mantener la salubridad en las salas es necesario expulsar aire del circuito e introducir aire del exterior en los climatizadores, este caudal se denominará de renovación o toma de aire exterior, Q_{TAE} . Este caudal supone una carga ya que es introducido desde el exterior y para calcularla se utilizará esta expresión.

$$q_{TAE} = q_{sen} + q_{lat} = Q_{TAE} \rho C_p \cdot (T_{ext} - T_{sala}) + Q_{TAE} \rho hfg (\omega_{ext} - \omega_{sala}) \quad (3.8)$$

q_{TAE} [W]: Carga térmica por renovación

Q_{TAE} [m³/s]: Caudal de renovación o toma de aire exterior

ρ [Kg/m³]: Densidad del aire

C_p [J/Kg·K]: Calor específico del aire

T_{ext} , T_{sala} : Temperaturas secas del aire. Para el exterior se tomará 33,6°C en verano y 1,2°C en invierno, valores tomados de la *Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto* [3]. De sala se calculará con 22°C

ω_{ext} , ω_{sala} : Relación de humedades

h_{fg} [J/Kg]: Entalpía de vaporización del agua

Con los datos obtenidos de la Fig. 3.4 podemos calcular la carga por renovación. Dado que la humedad de la sala no se tendrá en cuenta para este proyecto solo tendremos que calcular la carga por calor latente para los sistemas.

	VERANO		INVIERNO	
	T (°C)	HR (%)	T (°C)	HR (%)
INSTALACIONES FARMACEUTICAS	22	50	22	50
CONFORT GENERAL	24	55	21	40
TIENDAS COMERCIALES	24	55	20	40
ALTA CARGA LATENTE	25	60	20	40

Fig. 3.4 Condiciones prácticas interiores de diseño [4]

Los resultados de estas cargas se muestran a continuación

TABLA 3.8
CARGAS POR RENOVACIÓN

Climatizador	Temperatura del local [°C]	Caudal de renovación [m³/h]	Carga por renovación (verano) [W]	Carga por renovación (invierno) [W]
CL01 [SB. CCAA]	22	1673,81	6686,18	11989,01
CL02 [SB. LOC]	22	1655,49	6613	11857,79

CL03 [SB. COMF]	22	5487,46	18140,81	37415,42
CL04 [SB. EST]	22	1980,97	7913,16	14189,11
CL05 [SB. MED]	22	2010,97	8032,99	14403,99
CL06 [GEN. ACC]	22	1121,48	4479,85	8032,83
CL07 [SB. MIC]	22	810,18	3236,33	5803,08

3.1.4. Carga térmica total

Con todos los cálculos podemos obtener los valores finales para las cargas térmicas en la siguiente tabla.

TABLA 3.9

CARGAS TOTALES POR SALA (CL01)

Salas	q_{trans} [W]	q_{ilum} [W]	q_{pers} [W]	q_{maq} [W]	q_{post} [W]	q_{TOTAL} [W]
S1	94,34	116,5	0	0	500	210,84
S2	92,64	162,5	0	0	500	255,14
S3	316,54	683,5	158	10000	0	11161,04
S4	73,69	121,75	0	0	500	195,44
S5	59,1	162	0	0	500	221,1
S6	275,18	547,75	158	7000	0	7983,93
S7	84,48	100	0	0	500	184,48

TABLA 3.10

CARGAS POR CLIMATIZADOR

Clim	q_{trans} [W]	q_{int} [W]	q_{post} [W]	q_{vent} [W]	q_{TAE_VER} [W]	q_{TAE_INV} [W]
-------------	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

CL01	995,97	19216	2500	5500	6686,18	11989,01
CL02	983,2	19188,5	1500	5500	6613	11857,79
CL03	4727,57	41665,25	0	12000	18140,81	37415,42
CL04	1023,95	22086,25	4000	7000	7913,16	14189,11
CL05	1118,88	22358,75	4500	7000	8032,99	14403,99
CL06	1106,7	6815	9000	4000	4479,85	8032,83
CL07	408,62	10682,5	0	3000	3236,33	5803,08

Para finalizar, una tabla con los resultados totales por climatizador por estación. En invierno las cargas térmicas internas se obvian pues aportan calor a la sala.

TABLA 3.11

CARGAS TOTALES POR CLIMATIZADOR

Clim	qTOTAL_VER [W]	qTOTAL_INV [W]
CL01	34898,15	11989,01
CL02	33784,7	11857,79
CL03	76533,63	37415,42
CL04	42023,36	14189,11
CL05	43010,62	14403,99
CL06	25401,55	8032,83
CL07	17327,45	5803,08

3.2. Cálculo de caudales

En este apartado se calcularán los caudales pertinentes de cada una de las zonas tanto salas como climatizadores. Algunos de los cálculos realizados previamente requieren resultados de este apartado como las cargas por post calentamiento o por los ventiladores.

En la Fig. 3.5 se muestra una esquematización de los diferentes caudales que intervienen en cada uno de los sistemas.

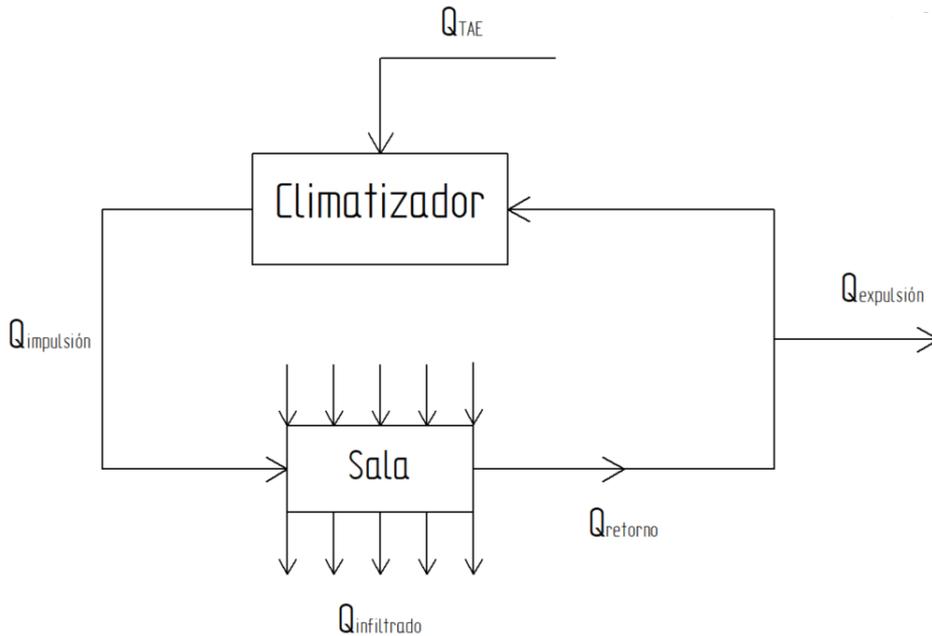


Fig. 3.5 Esquema de caudales del sistema

De este esquema se obtiene la relación entre los diferentes caudales. Para definir el caudal de retorno tenemos.

$$Q_{\text{retorno}} = Q_{\text{impulsión}} - Q_{\text{infiltrado}} \quad (3.9)$$

Y el caudal de infiltración se deberá por la variación de presión entre las salas y será el aire que se pierde por las puertas. Antes de continuar, como en el apartado 3.1 Cálculo de cargas térmicas, deberemos establecer un criterio de signos. Utilizaremos el mismo que en ese apartado, si la diferencia de presiones es positiva se considerará caudal que entra en la sala, mientras que si es negativa será caudal que la sala expulsa.

$\Delta P < 0$; caudal que la sala cede.

$\Delta P > 0$; caudal que la sala absorbe.

3.2.1. Caudal de impulsión

Es aquel que circula por los circuitos de impulsión y será el máximo entre el caudal debido a las cargas térmicas, Q_{ct} , calculado anteriormente y el caudal de limpieza, Q_{limp} .

$$Q_{impulsión} = \max(Q_{limp}, Q_{ct}) \quad (3.10)$$

El caudal debido a las cargas térmicas fue calculado en apartados anteriores utilizando la fórmula (3.6) con una temperatura de impulsión de 15°C.

El caudal de limpieza está tabulado dependiendo del grado de limpieza de las salas y se calcula mediante esta expresión.

$$Q_{limpieza} = A_{sala} \cdot H_{sala} \cdot R \quad (3.11)$$

A_{sala} [m]: Área de la sala

H_{sala} [m]: Altura de la sala

R: N° de recirculaciones por hora

La norma GMP-UE recoge valores para el número de recirculaciones dependiendo del grado de la sala. En este proyecto se trabaja con salas de grados de limpieza C y D que tomarán los siguientes valores.

CLASIFICACION	B	C	D
N° recirculaciones por hora (R)	60	35	20

Fig. 3.6 Valores para renovaciones por hora según grados de limpieza [4]

3.2.2. Caudal de infiltración

Debido a la diferencia de presiones entre las salas y que no son salas estancas, habrá caudales de aire circulando entre ellas de dos tipos; caudal por los huecos de las salas y caudal por las puertas enrollables.

En el primer caso, dado que no existen conexiones entre las salas más que las puertas, los huecos a considerar serán los que permiten el juego de las puertas. Para hallar estos valores se utilizará la ecuación de Bernouilli entre los recintos.

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{Q_{inf}}{A}\right)^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{Q_{inf}}{h \cdot L}\right)^2 \quad (3.12)$$

De esta fórmula obtenemos la siguiente expresión simplificada

$$Q_{inf} = 4,55 \cdot h \cdot L \cdot \sqrt{P_1 - P_2} \quad (3.13)$$

h [mm]: Altura de la rendija

L [m]: Longitud de la rendija

$P_1 - P_2$ [Pa]: Salto de presiones entre dos salas

En la TABLA 3.12 se pueden ver resultados para estas pérdidas entre salas. Esta matriz de resultados es simétrica cambiada de signo con una diagonal de ceros.

Para las puertas enrollables se considera una permeabilidad dada por el proveedor dependiendo de la diferencia de presiones entre salas.

Presión Total		Permeabilidad al aire Total m ³ /h	Permeabilidad al aire respecto Superficie m ³ /h · m ²
Nominal (Pa)	Real (Pa)		
5	5	28,93	4,80
10	11	47,52	7,88
15	15	56,17	9,32
20	21	68,84	11,42
25	25	76,43	12,68
30	31	85,67	14,21
35	36	94,14	15,61
40	40	99,79	16,55
45	45	107,55	17,84
50	50	113,97	18,90
60	60	123,61	20,50
80	81	147,63	24,48
100	101	165,30	27,41

Fig. 3.7 Valores para la permeabilidad por puertas enrollables [5]

Estas puertas únicamente se encuentran en el bloque de salas CCAA y EST y se calcularán con la siguiente expresión.

$$Q_{inf} = Permeabilidad_{puerta} \cdot A_{puerta} \quad (3.14)$$

Finalmente, obtendremos los resultados mostrados en tabla para estas cargas por infiltración. Se sumarán todos los resultados por sala para obtener un caudal de infiltración por sala total.

TABLA 3.12

PÉRIDAS POR INFILTRACIÓN EN PUERTAS (ZONAS CCAA Y EST)

Salas	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	Ext
S1	X	0	28,08	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	39,71
S2		X	28,08	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	39,71
S3			X	28,08	28,08	X	X	X	X	X	X	X	X	X	48,64	X
S4				X	X	28,08	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S5					X	28,08	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S6						X	28,08	X	X	X	X	X	X	X	48,64	X
S7							X	X	X	X	X	X	X	X	X	39,71
S8								X	0	28,08	X	X	X	X	X	39,71
S9									X	28,08	X	X	X	X	X	39,71
S10										X	28,08	28,08	X	X	48,64	X
S11											X	X	28,08	X	X	X
S12												X	28,08	X	X	X
S13													X	28,08	48,64	X
S14														X	X	39,71
S15															X	0

TABLA 3.13

PÉRIDAS POR INFILTRACIÓN EN PUERTAS ENROLLABLES (ZONAS CCAA Y EST)

Salas	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Ext
S1	X	X	-16,8	X	X	X	X	X	X	-16,8
S2		X	X	X	X	X	X	X	X	X
S3			X	-16,8	X	X	X	X	X	X
S4				X	X	16,8	X	X	X	X
S5					X	-9,7152	X	X	X	X
S6						X	16,8	X	X	X
S7							X	X	X	-16,8
S8								X	X	X
S9									X	X
Ext										X

3.2.3. Caudal de retorno

El aire de retorno es el que se obtiene en las rejillas de las salas y vuelve al climatizador antes de expulsar ningún caudal. El caudal de retorno disminuye el consumo energético ya que no se debe introducir aire del exterior en peores condiciones para su climatización. La expresión para su cálculo es la fórmula (3.9). Los resultados se muestran más adelante.

3.2.4. Caudal de ventilación

Existen diferentes normativas para la renovación del aire para que la calidad de este permanezca óptima. A continuación, se llevará a cabo el cálculo siguiendo el *Manual de diseño de salas limpias* [4] el cual indica que el caudal de ventilación será el más restrictivo o el máximo de los siguientes caudales.

$$Q_{vent} = \text{máx} (Q_{UNE}, Q_{LEY}, Q_{CTE}, Q_{RITE}, Q_{EXP}) \quad (3.15)$$

➤ Q_{UNE}

Siguiendo la norma UNE 13779:2008, una ampliación de UNE 100-011-91, la Fig. 3.8 estipula los valores que se deben tomar. En este caso se toman los valores dados para laboratorios.

	Tipo de local	Por persona	Por m ²	Por local	Otros
1) Local en depresión con respecto a locales adyacentes.					
2) En aseos y cocinas de uso particular es posible el funcionamiento intermitente de la ventilación mecánica.	Almacenes ¹⁾	–	0,75 a 3	–	–
	Aparcamientos ⁶⁾	–	5	–	–
	Archivos	–	0,25	–	–
3) El caudal de aire extraído a través de campanas debe ser superior al introducido según se indica en esta tabla, a fin de mantener el local en depresión.	Aseos públicos ¹⁾	–	–	–	25 ¹²⁾
	Aseos individuales ^{1), 2)}	–	–	15	–
	Auditorios ^{14), 16)}	8	–	–	–
	Aulas ¹⁴⁾	8	–	–	–
	Autopsia ^{8), 9)}	–	2,5	–	–
	Bares	12	12	–	–
	Cafeterías	15	15	–	–
	Canchas para el deporte	–	2,5	–	–
	Comedores	10	6	–	–
	Cocinas ^{2), 3)}	8	2	–	–
	Descanso (salas de)	20	15	–	–
	Dormitorios colectivos	8	1,5	–	–
	Escenarios	8	6	–	–
	España y recepción (salas)	8	4	–	–
	Estudios fotográficos	–	2,5	–	–
	Exposiciones (salas de)	8	4	–	–
	Fiestas (salas de)	15	15	–	–
	Fisioterapia (salas de)	10	1,5	–	–
	Gimnasios	12	4	–	–
	Gradas de recintos deportivos	8	12	–	–
	Grandes almacenes ¹⁴⁾	8	2	–	–
	Habitaciones de hotel	–	–	15	–
	Habitaciones de hospital	15	–	–	–
	Imprentas, reproducción y planos	–	2,5	–	–
	Juegos (salas de)	12	10	–	–
	Laboratorios ⁸⁾	10	3	–	–
	Lavanderías industriales ^{1), 3)}	15	5	–	–
	Vestibulos	10	15	–	–
4) El caudal de aire de ventilación indicado se ha calculado fijando el límite superior de CO y asumiendo una producción total de CO debida al número máximo de vehículos en marcha lenta (hipótesis de cálculo: límite superior de CO de 100 ppm, producción de CO de 0,9 l/s por coche, 40 m ² de superficie por coche, 1,5% de coches en movimiento). El sistema de ventilación se controlará mediante sensores de CO.					
5) Donde haya motores en marcha, se dispondrá de una toma cerca de cada tubo de escape y se decajará directamente a la atmósfera.					
6) El caudal de aire exterior necesario en los distintos locales de un laboratorio está determinado por las vitrinas (si éstas no están concentradas en un único local). Para las zonas en las que se encuentren guardados animales, el caudal de aire exterior vendrá determinado según el número y tipo de animales (consultar literatura especializada). En ciertas áreas será necesario calcular el aire de ventilación en base a la producción de sustancias contaminantes y mantener la concentración de dicha sustancia por debajo del límite máximo admitido.					
7) Si las condensaciones se eliminan por medio del aire exterior, el caudal de aire resultante del cálculo podrá resultar superior al indicado. El local de la piscina o parque acuático se mantendrá en ligera depresión con respecto a los locales adyacentes.					

Fig. 3.8 Criterios de ventilación según UNE 100-011 [l/s]

➤ Q_{LEY}

La *Ley de Prevención de Riesgos Laborales* establece un criterio para garantizar una renovación mínima. Se deberá mantener una renovación mínima de 30 m³/h por cada trabajador para ambientes sin generación y limpios y deberán ser 50m³/h para el resto de los casos, esto garantizará un aire limpio.

➤ Q_{CTE}

El *Código Técnico de Edificación (CTE)* [6] no se puede aplicar directamente a este caso pues se trata de una instalación industrial, a pesar de ello se tiene en cuenta para realizar una comparación entre los resultados. Este documento estipula sus mayores restricciones a salas de cocina como se muestra en la Fig. 3.9.

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	50 por local ⁽¹⁾
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

⁽¹⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Fig. 3.9 Caudales de ventilación mínimos exigidos [6]

➤ Q_{RITE}

El *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* [7] dedica una sección a “locales no dedicados a la ocupación humana”. Se definen las categorías IDA o calidad del aire interior, nuestro proyecto se encuentra dentro de la categoría de “hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías” o IDA 1. Como se muestra en la Fig. 3.10 no existe un valor aplicable, por lo que se seleccionará un valor muy restrictivo como es $3 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$.

Categoría	$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$
IDA 1	no aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Fig. 3.10 Caudales de ventilación RITE [7]

➤ Q_{EXP}

El *Manual de diseño de salas limpias* [4] menciona un último caudal que es el observado en proyectos similares e indica que este será entre un 10% y un 20% del caudal de impulsión calculado. En este caso, seleccionaremos un 15% como valor de aproximación.

En la TABLA 3.14 se muestran los resultados obtenidos y el caudal de ventilación total para el climatizador 1 y después, en la TABLA 3.15, los resultados de caudales de ventilación para cada uno de los climatizadores en total.

TABLA 3.14

CAUDALES DE VENTILACIÓN (CL01)

Salas	Q _{UNE} [m ³ /h]	Q _{LEY} [m ³ /h]	Q _{CTE} [m ³ /h]	Q _{RITE} [m ³ /h]	Q _{EXP} [m ³ /h]	Q _{VENT} [m ³ /h]
S1	13,98	0	33,552	50,328	37,5	50,33
S2	19,5	0	46,8	70,2	52,5	70,2
S3	112,02	90	196,84	295,27	810	810
S4	14,61	0	35,06	52,59	37,5	52,6
S5	19,44	0	46,65	69,98	45	69,98
S6	95,73	90	157,75	236,62	577,5	577,5
S7	12	0	28,8	43,2	30	43,2



TABLA 3.15

CAUDALES DE VENTILACIÓN POR CLIMATIZADOR

Climatizador	Q _{VENT} [m ³ /h]
CL01	1673,81
CL02	1655,49
CL03	5487,46
CL04	1980,97
CL05	2010,97
CL06	1121,48
CL07	810,18

3.2.5. Caudal de renovación

El caudal de renovación o toma de aire exterior (Q_{TAE}) se encuentra únicamente al nivel de los climatizadores como se mostraba en la Fig. 3.5. Al ser aire de renovación y debe contrarrestar las pérdidas por el aire de expulsión y de filtración, el primero será igual al

caudal de ventilación. Al tener un caudal de renovación, si sumado al de retorno es más grande que el de impulsión deberemos tener un caudal de expulsión. Por lo que si se cumple lo siguiente.

$$Q_{TAE} + Q_{ret} > Q_{imp} \quad (3.16)$$

Entonces existirá un caudal de expulsión calculado de la siguiente manera.

$$Q_{exp} = Q_{TAE} + Q_{ret} - Q_{imp} \quad (3.17)$$

3.2.6. Resultados finales de los caudales

A continuación, se muestran los resultados finales por climatizador. Los resultados particulares por sala, como se mencionó al inicio de este capítulo se encuentran en el Anexo.

TABLA 3.16

RESULTADOS DE CAUDALES POR CLIMATIZADOR

Clim	Q_{imp} [m ³ /h]	Q_{ret} [m ³ /h]	Q_{exp} [m ³ /h]	Q_{tae} [m ³ /h]
CL01	10600	10544,55	1618,36	1673,81
CL02	10500	10478,15	1633,64	1655,49
CL03	22500	22188,02	5175,48	5487,46
CL04	12850	12693,86	1824,83	1980,97
CL05	13050	12873,3	1834,27	2010,97
CL06	6950	6837,56	1009,04	1121,48
CL07	5350	5467,42	927,6	810,18

3.3. Dimensionamiento y cálculo de la pérdida de carga

Conociendo los caudales que deben circular por los circuitos, ahora debemos dimensionar los conductos, los climatizadores y los ventiladores para satisfacer la demanda debida a la pérdida de carga o variación de presión.

Antes de comenzar con los cálculos de pérdidas de carga, deberemos proveer los caminos de los conductos. Hay siete climatizadores, cada uno con dos circuitos independientes, uno de impulsión y otro de retorno. Además, se deben climatizar 55 salas en total con diferentes requisitos de caudal teniendo en cuenta todos los parámetros restrictivos de diseño. Para la realización de los planos tendremos en cuenta los puntos que se muestran a continuación para simplificar y estandarizar el diseño.

- Los tramos de impulsión y retorno irán a dos alturas distintas para evitar que se crucen y así no tener pérdidas secundarias. Como deben ser accesible para su mantenimiento y los tubos biflex que conectan los conductos con las salas no deben exceder 2 metros, colocaremos los de impulsión a una altura de 1,7m desde el falso techo y los de retorno a una altura de 0,4m del techo. Esto consigue que al llevar a cabo el mantenimiento los operarios puedan andar por el falso techo con facilidad con los circuitos de impulsión por encima y los de retorno por debajo.
- Los circuitos se componen de un tramo general que se ramifica dependiendo de las necesidades de las salas y las geometrías
- El camino crítico es en el que se produce una mayor pérdida de presión, normalmente el más largo, por ello se hará los conductos lo más directos posibles.

Tomando estas consideraciones se adjuntan los diagramas unifilares obtenidos para las tres zonas.

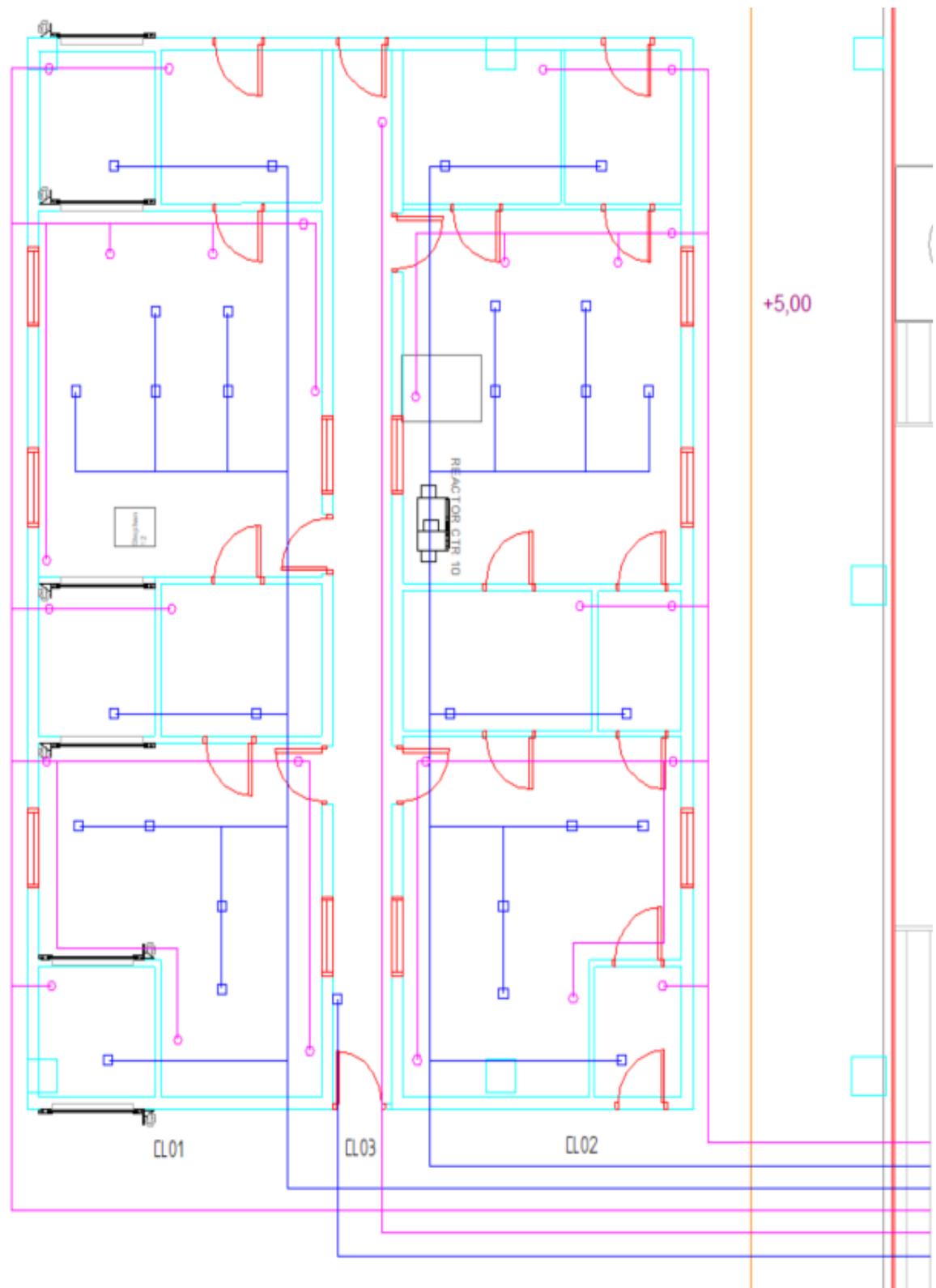


Fig. 3.11 Diagramas unifilares. CL01, CL02 y CL03 parcial

*Los circuitos de impulsión en azul y los de retorno en rosa, con sus filtros y rejillas señalados.

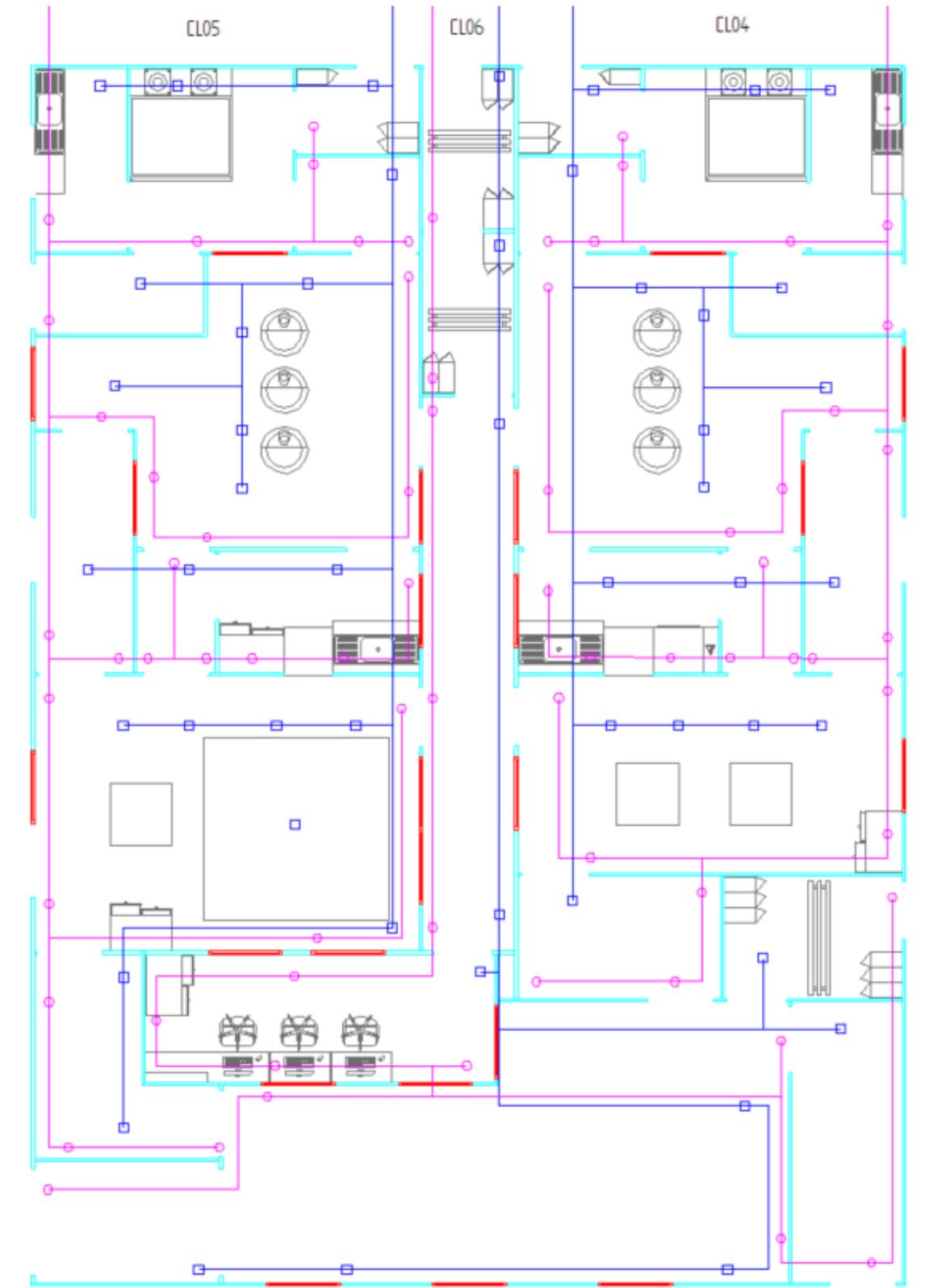


Fig. 3.12 Diagramas unifilares. CL04, CL05 y CL06 parcial

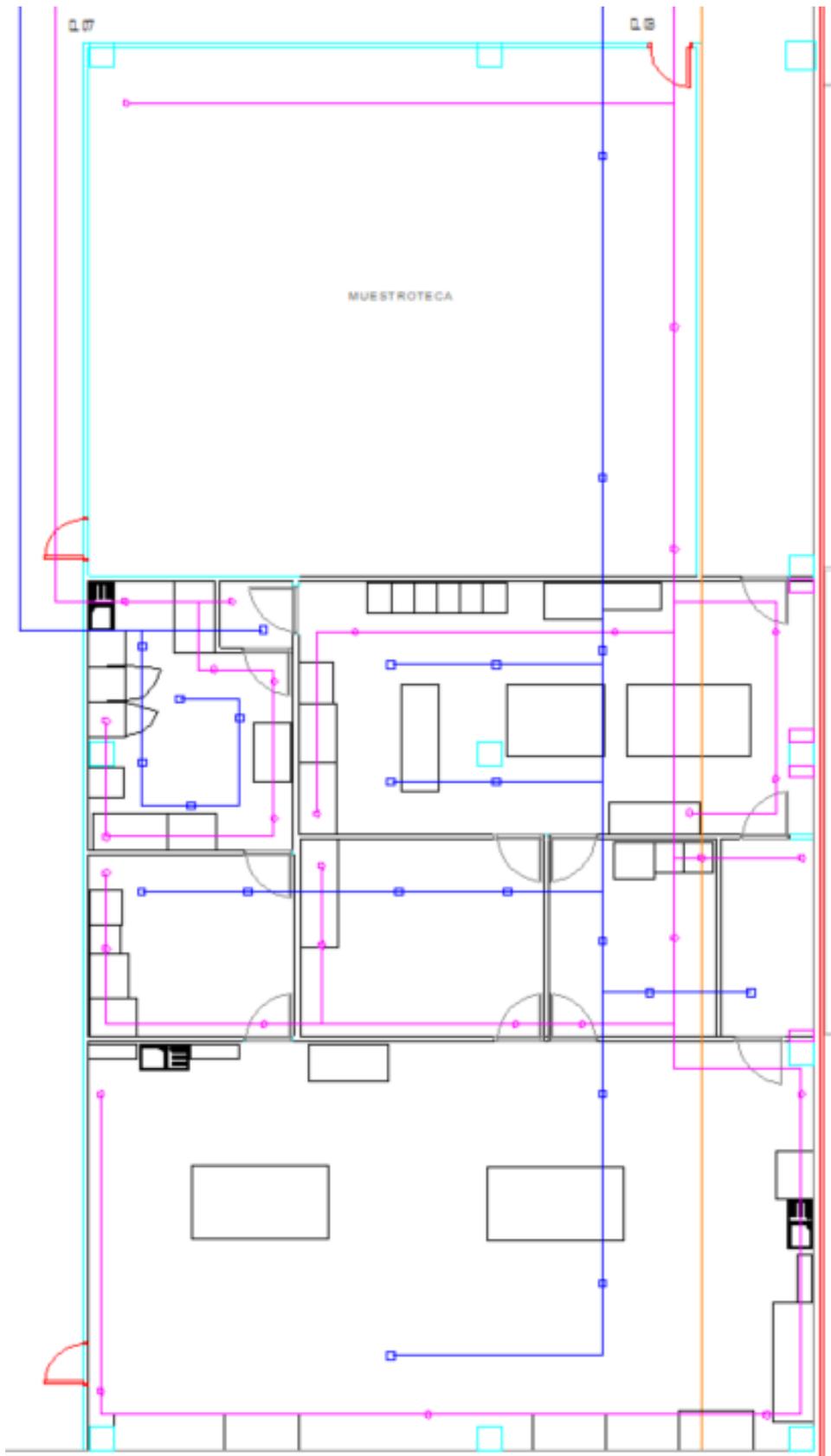


Fig. 3.13 Diagramas unifilares. CL06 parcial y CL07

3.3.1. Pérdida de carga primaria

Procederemos a calcular la pérdida relativa que se da en los conductos para poder dimensionar tanto los mismos conductos como los ventiladores. La pérdida total se denominará $\Delta P_{\text{disponible}}$, y dependerá del camino crítico de los conductos. Para obtener el valor de la carga disponible utilizaremos esta expresión.

$$\Delta P_{\text{disponible}} = \Delta P_{\text{imp}} + \Delta P_{\text{ret}} + \Delta P_{\text{filtro}} + \Delta P_{\text{rejilla}} + \Delta P_{\text{sucio}} \quad (3.18)$$

Primero debemos calcular las pérdidas en los conductos, esta se debe al rozamiento por el movimiento del fluido dentro del conducto. Hay diferentes maneras para llevar a cabo este cálculo, pero para este tipo de instalaciones con grandes caudales la utilizada más comúnmente es el método de “pérdida de carga por unidad de longitud constante”.

Previo al estudio de estas pérdidas debemos explicar cómo se obtiene la expresión que se utilizará. Comenzamos con la ecuación de Bernouilli la cual establece que las energías por presión, cinética y potencial se mantienen constantes en una línea de corriente si no existe fricción.

$$P_i + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_i^2 + \rho \cdot g \cdot z_i = \text{cte} \quad (3.19)$$

En los casos reales si existe un factor de rozamiento por lo que no es aplicable. Suponiendo que nuestro fluido de trabajo es incompresible y se tiene en cuenta la pérdida de presión por rozamiento, llegaríamos a una expresión derivada de la anterior.

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \Delta P_{\text{fric}} \quad (3.20)$$

Este último término $\Delta P_{\text{fricción}}$ se trata del fenómeno estudiado por Colebrook y Darcy-Weisbach que permite calcular la pérdida de carga de un fluido circulando en un conducto

debido a la rugosidad de este y al tipo de flujo. De esta manera podemos definir el término como.

$$\Delta P_{fric} = f \cdot \frac{L \cdot \rho \cdot v^2}{D_H \cdot 2} \quad (3.21)$$

f: Factor de fricción

L [m]: Longitud de la tubería

ρ [Kg/m³]: Densidad del fluido

V [m/s]: Velocidad del fluido

D_H [m]: Diámetro hidráulico (en caso de conductos de sección no circular) y se obtiene

$$D_H = \frac{4 \cdot \text{Sección}}{\text{Perímetro}} \quad (3.22)$$

Considerando las ecuaciones (3.20) y (3.21), y asumiendo la variación de altura, temperatura y humedades específicas nulas, obtenemos la siguiente expresión.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 14,1 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot \alpha \cdot \frac{v^{1,82}}{D_H^{1,22}} \quad (3.23)$$

El término α se obtiene del *Manual de diseño de salas limpias*, que se debe al valor de la rugosidad de los materiales del conducto como se muestra en la siguiente figura.

Material	Rugosidad absoluta (ε_a en mm)	Valor medio de α
Acero inoxidable	0,05	0,835
Chapa galvanizada	0,14	0,9
Fibra de vidrio	0,58	1,125
Ladrillo + cemento	3,25	1,8

Fig. 3.14 Valores de α [4]

También conocemos la velocidad del fluido ya que tenemos el caudal de los conductos. Como se trata del método de “pérdida de carga por unidad de longitud” debemos despejar nuestra ecuación para que dependa de la longitud. Además, estimamos que la pérdida de carga por metro deberá estar alrededor de 1 Pascal. Con todo ello obtenemos lo siguiente.

$$\frac{\Delta P}{L} = 14,1 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \cdot \frac{v^{1,82}}{D_H^{1,22}} \quad (3.24)$$

Para resolver esta ecuación se llevará a cabo un proceso iterativo ya que tenemos dos incógnitas que son las dimensiones del conducto, el ancho (W) y el alto (D) y se hará de la siguiente manera.

- Primero se tomará un conducto de sección cuadrada, que es el óptimo para la circulación del aire. Entonces $W = D$.
- Si el valor de la pérdida es muy diferente a 1 entonces deberemos variar los valores del ancho y el alto para conseguir aproximarnos. Siempre se tendrá en cuenta que $W \leq 3D$ y las dimensiones se variarán en múltiplos de 50mm.
- Una vez obtenidas las medidas obtendremos la sección y, por tanto, la velocidad. También podremos obtener la pérdida de carga con la longitud de los conductos.

3.3.2. Pérdida de carga secundaria

Después de obtener la pérdida de carga primaria deberemos calcular las pérdidas secundarias provocadas por otros elementos como codos, ramificaciones, expansiones, rejillas, etc. Esta pérdida se calcula con la expresión.

$$C_D = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2} \quad (3.25)$$

C_D es el coeficiente de pérdidas secundarias y cada elemento tiene valores tabulados. Si no se conoce este valor o es complicado obtener el resultado final, se pueden aplicar otros métodos como el cálculo de la longitud equivalente.

A continuación, se muestran los tipos de elementos que utilizaremos en este proyecto y como se han obtenido las pérdidas de carga de cada uno de ellos.

3.3.2.1. Codos

Como se ha mencionado anteriormente, para calcular la pérdida secundaria en los codos se empleará la longitud equivalente. Para este proyecto se han utilizado codos rectangulares de radio sin guía. Con los valores de W y D de los conductos podemos obtener la longitud equivalente de los codos en la siguiente figura.

DIMENSIONES DEL CONDUCTO (cm)		CODO DE RADIO SIN GUÍAS	CODO DE RADIO CON GUÍAS ***		CODOS CUADRADOS ***			
W	D	Relación de radio ** R/D = 1,25	Rt = 150 mm (Recomendado)	Rt = 75 mm (Aceptable)	Guías cambio dirección Doble espesor	Guías cambio dirección Simple espesor		
LONGITUD ADICIONAL EQUIVALENTE DE CONDUCTO RECTO (METROS)								
		*	Deflec- tores		Deflec- tores			
70	70	4,40	4,22	2	5,03	2	4,15	10,33
	60	3,84	5,10	1	4,45	2	3,84	8,85
	50	3,54	4,40	1	3,80	2	3,54	7,30
	40	2,95	3,19	1	3,26	2	2,95	5,95
	30	2,33			3,21	1	2,33	4,50
	25	2,08			2,66	1	2,08	3,56
20	1,72			2,38	1	1,72	2,98	
80	240*	11,28	5,65	3			5,82	23,83
	180*	9,46	5,13	3			5,28	21,46
	120*	8,55	8,02	2	5,56	3	6,32	18,30
	60	3,74	4,75	1	4,17	2	3,53	8,85
	50	3,26	3,84	1	3,54	2	2,95	7,30
	40	2,91	3,25	1	2,92	2	2,64	6,95
30	2,33			2,39	1	2,34	4,50	
25	2,08			2,33	1	2,08	3,56	
20	1,75			2,08	1	1,73	2,98	
15	1,47					1,17	2,36	
50	200*	9,47	4,88	3			5,65	19,83
	150*	7,75	5,65	2			5,03	17,41
	100*	6,50	4,50	2	4,13	3	4,13	14,57
	50	3,25	3,52	1	2,95	2	2,95	7,30
	40	2,65	2,61	1	2,70	2	2,37	5,85
	30	2,05			2,66	1	2,05	4,50
25	1,80			2,37	1	1,80	3,56	
20	1,47			2,08	1	1,47	2,88	
15	1,17					1,17	2,36	
40	160*	7,72	2,78	3			4,18	14,26
	120*	6,22	3,63	2	3,52	3	3,58	12,87
	80*	4,43	3,26	2	2,67	3	3,25	11,24
	40	2,68	2,38	1	2,40	2	2,08	6,95
	30	2,05			2,34	1	1,76	4,50
	25	1,76			1,77	1	1,49	3,56
20	1,47			1,81	1	1,47	2,88	
15	1,17					1,17	2,36	
30	120*	5,84	2,34	2	2,34	3	2,95	9,84
	90*	4,71	2,10	2	2,10	3	2,67	8,95
	60*	3,25	2,42	1	2,42	2	2,32	7,74
	30	2,05			2,01	1	1,49	4,50
	25	1,78			1,49	1	1,47	3,56
	20	1,47			1,47	1	1,16	2,88
15	1,16					0,88	2,30	
25	100*	5,63	1,79	2	1,88	3	2,33	7,99
	75*	3,81	1,79	2	2,30	2	2,07	7,18
	50*	2,65	2,08	1	1,78	2	1,78	6,25
	25	1,47			1,49	1	1,19	3,56
	20	1,19			1,49	1	1,16	2,88
	15	1,19					0,88	2,36
20	80*	3,82	1,53	2	1,23	3	1,79	6,28
	60*	3,21	1,77	1	1,49	2	1,79	5,65
	40*	2,33	1,16	1	1,47	2	1,47	4,73
	20	1,16			1,17	1	0,89	2,98
	15	0,88					0,89	2,36
	15	60*	2,95	1,17	1	1,19	2	1,19
45*		2,37	0,88	1	1,19	2	1,17	3,83
30*		1,72			1,19	1	0,89	3,01
15		0,88					0,89	2,36

Fig. 3.15 Longitudes equivalentes para los codos [8]

3.3.2.2. Bifurcaciones y conexiones

Debido a los cambios de sección y la ramificación de los caudales encontramos una pérdida de carga. En este caso si tenemos los valores de los coeficientes de pérdida por lo que podremos calcular las cargas. Para los circuitos de impulsión se utilizarán las siguientes bifurcaciones.

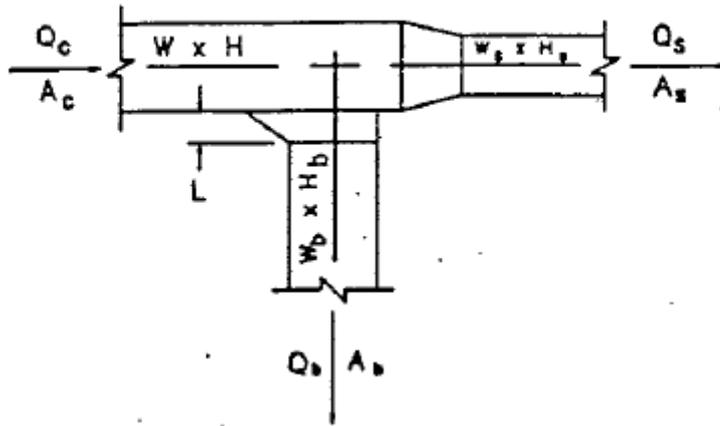


Fig. 3.16 Bifurcaciones de impulsión [8]

Con los siguientes coeficientes de pérdida.

SR5-13 Tee, 45 Degree Entry Branch, Diverging (Brooks 1990)

$Q_b/Q_c \rightarrow$	C_b								
A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.73	0.34	0.32	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40
0.2	3.10	0.73	0.41	0.34	0.32	0.32	0.33	0.34	0.35
0.3	7.59	1.65	0.73	0.47	0.37	0.34	0.32	0.32	0.32
0.4	14.20	3.10	1.28	0.73	0.51	0.41	0.36	0.34	0.32
0.5	22.92	5.08	2.07	1.12	0.73	0.54	0.44	0.38	0.35
0.6	33.76	7.59	3.10	1.65	1.03	0.73	0.56	0.47	0.41
0.7	46.71	10.63	4.36	2.31	1.42	0.98	0.73	0.58	0.49
0.8	61.79	14.20	5.86	3.10	1.90	1.28	0.94	0.73	0.60
0.9	78.98	18.29	7.59	4.02	2.46	1.65	1.19	0.91	0.73

SR5-13 Tee, 45 Degree Entry Branch, Diverging (Brooks 1990)

$Q_s/Q_c \rightarrow$	C_s								
A_s/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.04								
0.2	0.98	0.04							
0.3	3.48	0.31	0.04						
0.4	7.55	0.98	0.18	0.04					
0.5	13.18	2.03	0.49	0.13	0.04				
0.6	20.38	3.48	0.98	0.31	0.10	0.04			
0.7	29.15	5.32	1.64	0.60	0.23	0.09	0.04		
0.8	39.48	7.55	2.47	0.98	0.42	0.18	0.08	0.04	
0.9	51.37	10.17	3.43	1.46	0.67	0.31	0.15	0.07	0.04

Fig. 3.17 Coeficientes de pérdida para bifurcaciones [8]

Y para los circuitos de retorno los siguientes encuentros.

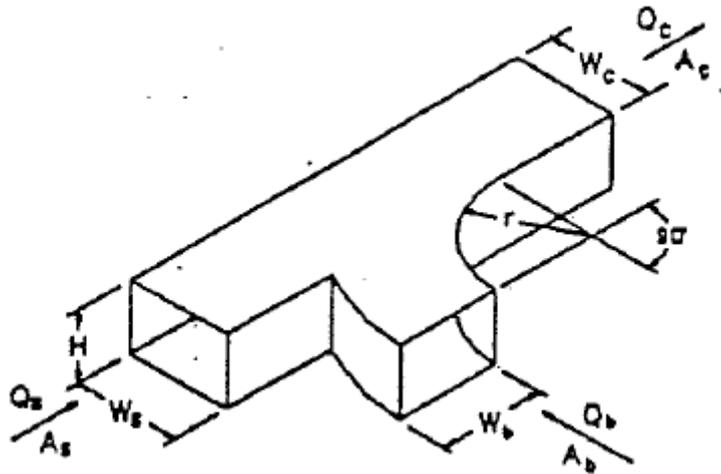


Fig. 3.18 Encuentros de retorno [8]

ERS-1 Smooth Radius Wye of the Type $A_s + A_b > \text{or} = A_c$, Branch 90 Degrees to Main, Converging (Idelchik 1986, Diagram 7-11)

		C_b								
$Q_b/Q_c \rightarrow$		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
A_s/A_c	A_b/A_c									
0.50	0.25	-5.31	-0.47	0.14	0.36	0.43	0.48	0.50	0.51	0.50
	0.50	-53.75	-9.06	-2.64	-0.78	0.00	0.28	0.41	0.51	0.59
	1.00	-210.00	-35.00	-10.00	-3.12	-0.80	0.00	0.41	0.39	0.37
0.75	0.25	-7.50	-0.62	0.28	0.62	0.75	0.83	0.87	0.87	0.85
	0.50	-25.00	-3.75	-0.56	0.16	0.30	0.42	0.51	0.57	0.62
	1.00	-120.00	-20.00	-4.44	-1.25	0.00	0.44	0.49	0.50	0.47
1.00	0.25	-3.12	0.00	0.35	0.47	0.55	0.64	0.74	0.82	0.88
	0.50	-12.50	-1.25	0.00	0.39	0.45	0.45	0.51	0.59	0.62
	1.00	-60.00	-7.50	-1.11	-0.25	0.52	0.58	0.59	0.56	0.52

ERS-1 Smooth Radius Wye of the Type $A_s + A_b > \text{or} = A_c$, Branch 90 Degrees to Main, Converging (Idelchik 1986, Diagram 7-11)

		C_s								
$Q_s/Q_c \rightarrow$		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
A_s/A_c	A_b/A_c									
0.50	0.25	-35.00	-4.50	-0.42	0.62	0.90	0.92	0.87	0.77	0.62
	0.50	-32.50	-5.00	-1.11	0.00	0.35	0.45	0.46	0.43	0.35
	1.00	-2.50	0.50	0.69	0.62	0.55	0.47	0.41	0.34	0.25
0.75	0.25	-144.25	-28.12	-9.06	-3.23	-1.01	-0.16	0.23	0.26	0.21
	0.50	-32.62	-5.91	-1.44	-0.11	0.27	0.39	0.37	0.31	0.19
	1.00	-12.37	-11.25	0.31	0.63	0.61	0.55	0.44	0.32	0.17
1.00	0.25	-155.00	-25.75	-9.89	-3.44	-1.08	-0.14	0.31	0.36	0.30
	0.50	-48.00	-9.25	-3.00	-1.12	-0.32	0.00	0.26	0.25	0.21
	1.00	-12.00	0.00	1.11	1.12	0.92	0.72	0.55	0.37	0.22

Fig. 3.19 Coeficientes de pérdida para encuentros [8]

Existen dos valores distintos dependiendo de hacia donde se dirija el flujo de aire del cual queremos calcular su pérdida.

3.3.2.3. Conductos BIFLEX

Los conductos BIFLEX son flexibles y sirven para conectar la red de conductos con las salas, más concretamente con las cajas de filtrado y las rejillas de los circuitos de impulsión y de retorno, respectivamente.

Para obtener la pérdida de carga se deberá conocer el conducto a emplear en cada sala según su caudal. Las condiciones para el cálculo de estas cargas son.

- La longitud del tubo no excederá 2 metros.
- La pérdida de carga máxima por longitud no excederá 2 Pa/m.

Para obtener los datos de diámetro y pérdida se recurre a la siguiente figura.

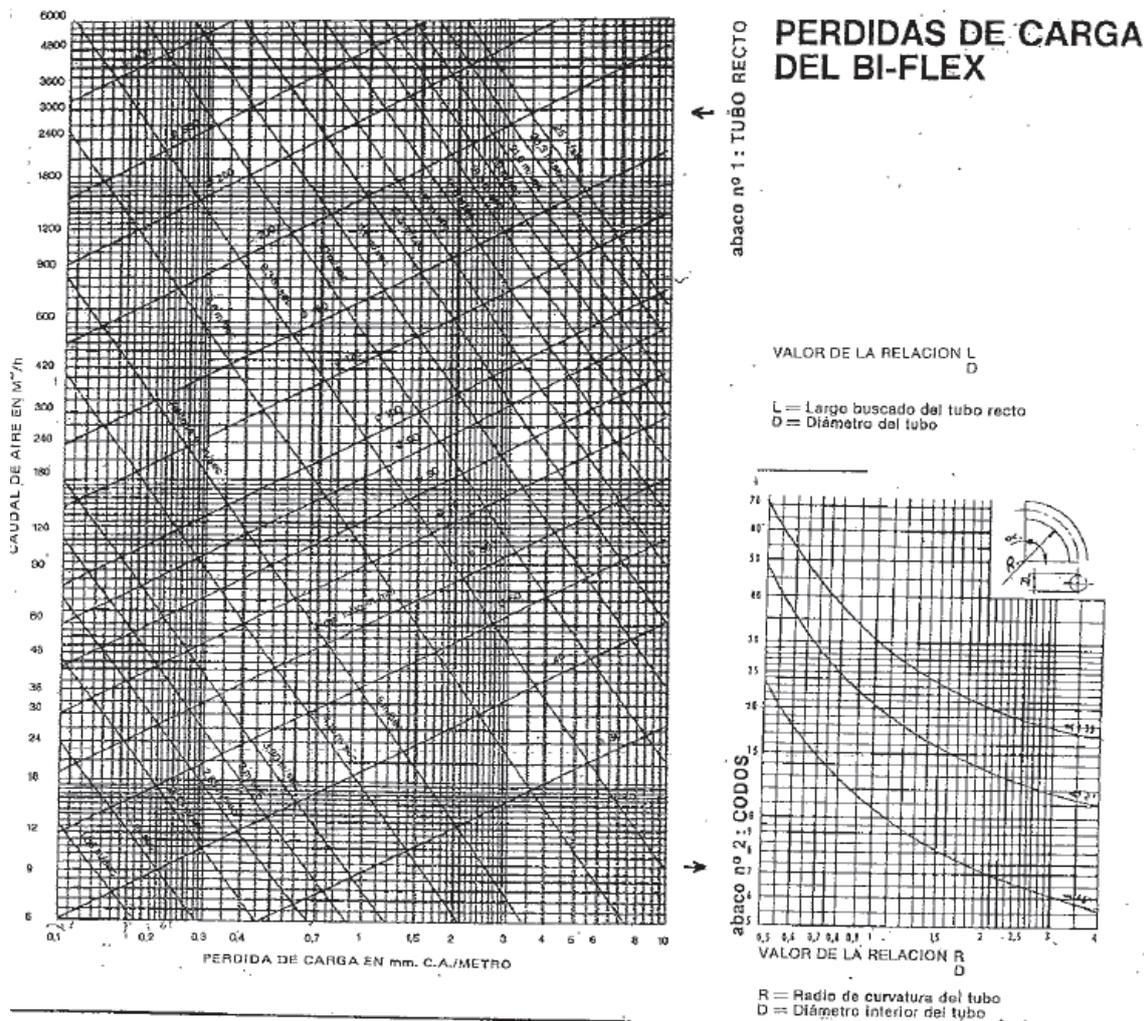


Fig. 3.20 Pérdidas por conductos BIFLEX [9]

TABLA 3.17

LONGITUD BIFLEX IMPULSIÓN (CL01)

Salas	Q_{nom} [m ³ /h]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ϕ [mm]	L_{flex} [m]	ΔP [Pa]
S1	300	1,6	150	1,7	2,72
S2	600	1,4	200	1,7	2,38
S3	1200	1,7	250	1,7	2,89
S3	600	1,4	200	1,7	2,38
S4	300	1,6	150	1,7	2,72
S5	300	1,6	150	1,7	2,72
S6	1200	1,7	250	1,7	2,89
S6	300	1,6	150	1,7	2,72
S7	300	1,6	150	1,7	2,72

TABLA 3.18

LONGITUD BIFLEX RETORNO (CL01)

Salas	Q_{nom} [m ³ /h]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ϕ [mm]	L_{flex} [m]	ΔP [Pa]
S1	150	1	120	0,4	0,4
S2	300	2	150	0,4	0,8
S3	1000	1,3	250	0,4	0,52
S4	400	0,7	200	0,4	0,28
S5	250	1,3	150	0,4	0,52
S6	1000	1,3	250	0,4	0,52
S7	100	1,8	100	0,4	0,72

3.3.3. Resultados de conductos

En este apartado se mostrarán los resultados de los circuitos de impulsión y retorno del climatizador 1. Más adelante, en el Anexo se encuentran los resultados completos de todos los climatizadores.

➤ Pérdidas primarias

➤

TABLA 3.19

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL01)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	ΔP_{imp-} primaria [Pa]
1	10600	0,6	0,6	0,6	8,17	1,08	0,36	13,81	7,48	23,08
2	200	0,15	0,15	0,15	2,46	0,66	0,0225	2,88	0	1,91
3	10400	0,6	0,6	0,6	8,02	1,04	0,36	3,5	0	3,66
4	3850	0,45	0,4	0,42	5,94	0,92	0,18	0,5	0	0,46
5	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	0,99	0,1225	1	0	0,99
6	1200	0,3	0,25	0,2	4,44	0,93	0,075	1,5	0	1,4
7	1450	0,3	0,3	0,3	4,47	0,84	0,09	1	0	0,84
8	250	0,15	0,15	0,15	3,08	0,99	0,0225	1,5	0	1,49
9	6550	0,5	0,5	0,5	7,27	1,09	0,25	1,9	0	2,08
10	550	0,2	0,2	0,2	3,81	1,03	0,04	0,5	0	0,51
11	250	0,15	0,15	0,15	3,08	0,99	0,0225	2,38	0	2,37

12	6000	0,5	0,5	0,5	6,66	0,93	0,25	2,34	0	2,18
13	5400	0,5	0,45	0,47	6,66	0,99	0,225	1	0	0,99
14	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	0,99	0,1225	1,5	0	1,49
15	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,93	0,075	1,5	0	1,4
16	3000	0,4	0,35	0,37	5,95	1,08	0,14	1	0	1,08
17	1800	0,35	0,3	0,32	4,76	0,86	0,105	1,5	0	1,29
18	600	0,25	0,2	0,22	3,33	0,71	0,05	1,5	0	1,06
19	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,93	0,075	3	1,78	4,47
20	600	0,25	0,2	0,22	3,33	0,71	0,05	6,1	1,19	5,18
21	250	0,15	0,15	0,15	3,08	0,99	0,0225	2,78	0	2,77

TABLA 3.20

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL01)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
--------	----------------------------------	------------------	------------------	-------------------	--------------------	------------------------------	------------------------------	--------------------	----------------------	-----------------------------------

1	256,55	0,15	0,15	0,15	3,17	1,05	0,02	1,99	0	2,08
2	405,16	0,2	0,2	0,2	2,81	0,59	0,04	2,43	1,18	2,14
3	5543,09	0,5	0,45	0,47	6,84	1,05	0,23	0,1	0	0,1
4	4619,24	0,45	0,45	0,45	6,34	0,97	0,2	0	0	0
5	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	0	4,86
6	3695,39	0,45	0,4	0,42	5,7	0,86	0,18	2,34	0	2,01
7	2771,55	0,4	0,35	0,37	5,5	0,94	0,14	0	0	0
8	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	0	4,86
9	1847,7	0,35	0,3	0,32	4,89	0,9	0,11	2,34	0	2,12
10	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	1,47	6,19
11	5948,25	0,5	0,5	0,5	6,61	0,92	0,25	5,6	0	5,15
12	564,17	0,2	0,2	0,2	3,92	1,09	0,04	0,1	0	0,11
13	208,46	0,15	0,1	0,12	3,86	1,97	0,02	2	0	3,94
14	6512,42	0,5	0,5	0,5	7,24	1,08	0,25	2,44	0	2,64
15	3955,3	0,45	0,4	0,42	6,1	0,97	0,18	0,1	0	0,1

16	2966,48	0,4	0,35	0,37	5,89	1,06	0,14	0	0	0
17	988,83	0,25	0,25	0,25	4,39	1,02	0,06	6,48	2,94	9,6
18	1977,65	0,35	0,3	0,32	5,23	1,02	0,11	4,68	0	4,79
19	988,83	0,25	0,25	0,25	4,39	1,02	0,06	5,4	1,47	7
20	10467,72	0,6	0,6	0,6	8,08	1,06	0,36	3,5	0	3,71
21	98,61	0,15	0,1	0,12	1,83	0,5	0,02	0,1	0	0,05
22	10566,33	0,6	0,6	0,6	8,15	1,08	0,36	20,59	7,48	30,27

*Marcados encontramos los tramos del camino crítico

A pesar de que no se consideran pérdidas primaras, los codos al ser calculados por longitudes equivalentes se incluyen en esta tabla.

➤ Pérdidas secundarias y accesorios

TABLA 3.21

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL01)

Tramos	Qs/Qc	As/Ac	Cd	$\Delta P_{\text{ret-secundaria}}$ [Pa]
1	0,98	1	0,04	1,63
3	0,62	0,69	0,04	1,57
4	0,37	0,5	0,13	2,81
5	0,5	0,61	0,1	1,81
7	0,17	0,25	0,31	3,8
9	0,91	1	0,04	1,29
10	0,45	0,56	0,1	0,89
12	0,04	0,09	0,04	1,08
13	0,55	0,62	0,1	2,72
16	0,4	0,53	0,13	2,82
19	0,4	0,53	0,13	2,82
20	0,41	0,45	0,13	0,88

TABLA 3.22

PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL01)

Tramos	Qs/Qc	As/Ac	Ab/Ac	Cd	$\Delta P_{\text{ret-secundaria}}$ [Pa]
1	0,63	0,56	1	0,47	2,89
2	0,07	0,16	0,18	0	0
4	0,8	0,89	0,31	0,26	6,39
7	0,5	0,58	0,6	0,35	6,48
11	0,91	1	0,16	0,3	8,03

13	0,37	0,38	1	0,62	5,66
14	0,62	0,69	0,72	0,4	12,83
16	0,5	0,58	0,35	0,35	7,43
20	0,99	1	0,04	0,3	11,9

3.3.4. Dimensionamiento de otros elementos

Por último, para completar los cálculos por pérdidas de carga debemos incluir las variaciones de presión debidas a los elementos de difusión o filtros y rejillas.

3.3.4.1. Elementos de difusión

Los filtros se posicionan en las salas como se muestra en los diagramas unifilares y ha sido colocados dependiendo del caudal que deben filtrar en las salas. Así podremos calcular las pérdidas que provocan en el camino crítico.

Dado que los niveles de salubridad de la sala y las exigencias son muy restrictivos se han elegido filtros H14, del tipo HEPA regulados por la norma EN-1822, que filtran partículas muy pequeñas. Se conocen los caudales que circulan por cada tramo del circuito, así como los filtros estandarizados que se muestran en la siguiente figura.

FILTROS	
Caudal (m³/h)	Ancho x Alto (mm)
150	305 x 305
300	610 x 305
600	610 x 610
900	915 x 610
1200	1220 x 610

Fig. 3.21 Dimensiones de filtros H14 [2]

Los filtros H14 tienen una pérdida de carga de 125Pa que se tendrá en cuenta en el último tramo del camino crítico para el cálculo de la presión disponible. La tabla que se muestra a continuación enseña los diferentes filtros utilizados en las salas del climatizador 1.

TABLA 3.23

NÚMERO DE FILTROS H14 POR SALA (CL01)

Salas	Q _{imp} [m ³ /h]	Nº filtros	Tipos de filtro (Q _{nom} [m ³ /h])				
			150	300	600	900	1200
S1	250	1		1			
S2	350	1			1		
S3	5400	5			1		4
S4	250	1		1			
S5	300	1		1			
S6	3850	4		1			3
S7	200	1		1			

Además, a parte de las cajas de filtración en las entradas de las salas también colocaremos otros filtros en la zona del climatizador. Estas serán todas las etapas de filtrado de los circuitos de impulsión.

- Prefiltro. Filtro G4 con una pérdida de carga de 80Pa
- Filtro secundario. Filtro F9 con una pérdida de carga de 90Pa
- Filtro de absoluto. Filtro H14 con una pérdida de 185Pa
- La nomenclatura de los filtros G y F se basan en la norma EN-779 y se trata de filtros gruesos y finos, respectivamente. El número expresa la eficiencia de los filtros frente a diferentes tipos de partículas, cuanto mayor más eficiente. Las pérdidas por los filtros G4 y F9 estipuladas con anterioridad se consideran por la suciedad en los filtros, en este caso, medio sucio.

3.3.4.2. Elementos de retorno

Al igual que con los circuitos de impulsión se colocarán elementos distintos en los de retorno. Como se puede observar en los diagramas unifilares se han colocado las rejillas en las salas.

Los retornos siempre se han intentado colocar en esquinas opuestas de las salas y cerca de los cerramientos, especialmente si se trata de salas con un grado de limpieza mayor, es decir, grado C. Para evitar el reparto de suciedad, las rejillas se han colocado de una manera eficiente para que el aire impulsado no recorra largas distancias.

Para la elección de las rejillas se han tenido en cuenta varios aspectos. Todas las rejillas que se instalan en las salas serán del mismo tamaño y todos los puntos de la sala se encuentran a la misma presión. Las rejillas serán rectangulares y para evitar problemas durante la instalación se ha tenido en cuenta que la medida mayor será tres veces más pequeña que la medida menor. Por último, para evitar problemas de ruido se han elegido rejillas en las que la velocidad del aire circulante sea menor a 2 m/s.

Para la selección de las rendijas se utilizará la siguiente figura.

ALTURA		LONGITUD																							
		200	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1.000	1.200	300	350	400	500	600	700	800	900	1.000	1.200
100	Vel. P	1,8	1,3																						
	dB(A)	0,8	0,3																						
150	Vel. P	2,7	2,2	1,7	1,4																				
	dB(A)	2	1,4	0,8	0,4																				
200	Vel. P	3,7	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4																		
	dB(A)	3,3	2,2	1,4	0,9	0,6	0,4																		
250	Vel. P	4,6	3,7	2,8	2,4	2,1	1,7	1,5																	
	dB(A)	5,3	3,4	2,2	1,7	1,1	0,9	0,5																	
300	Vel. P	5,5	4,4	3,3	2,9	2,5	2,1	1,8	1,5																
	dB(A)	7	4,7	2,8	2,2	1,7	1,1	0,8	0,5																
350	Vel. P		5,1	3,9	3,4	2,9	2,5	2,1	1,7	1,5															
	dB(A)		6,1	3,9	3,1	2,2	1,7	1,1	0,8	0,5															
400	Vel. P		5,8	4,5	3,9	3,3	2,8	2,4	2	1,7	1,5														
	dB(A)		7,8	5	3,9	2,8	2,2	1,7	1,1	0,7	0,5														
450	Vel. P			5	4,3	3,7	3,2	2,7	2,3	1,9	1,7	1,4													
	dB(A)			6,1	4,8	3,4	2,8	2	1,4	0,8	0,6	0,4													
500	Vel. P			5,6	4,5	4,2	3,5	3	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4												
	dB(A)			7,3	5,9	4,5	3,1	2,5	1,7	1,1	0,6	0,6	0,4												
550	Vel. P				5,4	4,5	3,9	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4											
	dB(A)				7	4,5	3,9	2,8	2,2	1,7	1,1	0,8	0,6	0,4											
600	Vel. P				5,8	5	4,3	3,6	3,1	2,6	2,3	2	1,7	1,5											
	dB(A)				7,8	6,1	4,8	3,3	2,5	2	1,4	1,1	0,8	0,5											
650	Vel. P					5,4	4,6	3,8	3,3	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4										
	dB(A)					7	5,3	3,6	2,8	2,2	1,7	1,4	0,8	0,6	0,4										
700	Vel. P						5	4,2	3,6	3	2,6	2,3	2	1,7	1,5										
	dB(A)						6,1	4,5	3,3	2,5	2	1,4	1,1	0,8	0,5										
750	Vel. P							5,2	4,5	3,8	3,2	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4								
	dB(A)							6,4	5	3,6	2,8	2,2	1,7	1,4	0,8	0,6	0,4								
800	Vel. P								4,8	4	3,6	3,2	2,8	2,4	2	1,7	1,5								
	dB(A)								5,8	4,2	3,4	2,8	2,2	1,7	1,1	0,8	0,5								
850	Vel. P									5,1	4,3	3,8	3,4	2,9	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4						
	dB(A)									6,1	4,8	3,6	3,1	2,2	1,7	1,1	0,8	0,6	0,4						
900	Vel. P										5,4	4,6	3,9	3,5	3	2,6	2,3	1,9	1,7	1,5					
	dB(A)										7	5,3	3,9	3,2	2,5	2	1,4	0,8	0,7	0,5					
950	Vel. P											4,9	4,1	3,6	3,2	2,8	2,4	2,1	1,8	1,5					
	dB(A)											5,9	4,2	3,4	2,8	2,2	1,7	1,1	0,8	0,6					
1.000	Vel. P												5,1	4,3	3,8	3,4	2,9	2,5	2,2	1,9	1,6				
	dB(A)												6,1	4,8	3,6	3,1	2,2	1,7	1,4	0,9	0,7				
1.100	Vel. P													5,6	5	4,4	3,8	2,8	2,4	2,1	1,8	1,5			
	dB(A)													7,3	6,1	4,8	3,6	2,2	1,7	1,1	0,8	0,6			

Esta tabla es válida para rejillas E-RA.
 Para rejillas E-RP, ver tabla de correcciones.
 Pág. T.13
 Correcciones de P y dB(A) según posición de la regulación. Ver Pág. T.12

Vel. = Velocidad de retorno referida a la sección total.
 P = Pérdida de carga.
 dB(A) = Nivel de ruido.

Fig. 3.22 Tipos de rejillas [2]

En la siguiente tabla se muestran las rendijas que se necesitan para las salas del climatizador 1.

TABLA 3.24

NÚMERO DE REJILLAS POR SALA (CL01)

Salas	Q_{ret} [m ³ /h]	Q_{nom} [m ³ /h]	Nº de rejillas	Alto/ Ancho	V [m/s]	ΔP [Pa]
S1	150	150	1	100/300	1,7	0,8
S2	300	300	1	100/300	1,5	0,5
S3	5550	1000	6	200/900	1,6	0,7
S4	400	400	1	100/300	2	1,1
S5	250	250	1	100/300	1,7	0,9
S6	4000	1000	4	200/900	1,6	0,7
S7	100	100	1	100/300	1,7	0,8

3.3.5. Pérdidas de carga totales

Finalmente obtenemos la siguiente tabla con los resultados de pérdidas de carga para los climatizadores. Al cómputo total se ha añadido un factor de seguridad de 1,15.

TABLA 3.25

PRESIÓN DISPONIBLE POR CLIMATIZADOR

Climatizador	ΔP_{imp} [Pa]	ΔP_{ret} [Pa]	ΔP_{filtro} [Pa]	$\Delta P_{disponible}$ [Pa]
CL01	54,43	84,16	355	567,63
CL02	49,85	82,03	355	559,91
CL03	107,15	217,17	355	781,22
CL04	79,49	148,9	355	670,9
CL05	93,64	160,39	355	700,38
CL06	87,02	185,9	355	722,11
CL07	59,99	202,45	355	710,06

3.4. Climatizadores. Resultados

Por último, se llevarán a cabo una serie de cálculos para determinar otros parámetros de los climatizadores, como las temperaturas de entrada y salida, además de los caudales de agua que circulan por ellos.

En los climatizadores, al expulsar y, más tarde, renovar el aire, ambos caudales se mezclan. Para poder calcular la temperatura deberemos plantear un balance de energía.

$$\dot{m}_{ret-exp} \cdot h_{ret-exp} + \dot{m}_{TAE} \cdot h_{TAE} = \dot{m}_i \cdot h_i \quad (3.26)$$

Donde \dot{m} es el gasto másico [Kg/s] y h la entalpía [J/Kg] de las corrientes. Como estamos tratando con gases podemos definir la entalpía y despejando obtenemos la siguiente expresión.

$$T_i = \frac{Q_{TAE} \cdot T_{TAE} + Q_{ret-exp} \cdot T_{ret-exp}}{Q_i} \quad (3.27)$$

La temperatura de renovación es la del exterior, en el caso de verano 33,6°C y en el caso de invierno 1,2°C; los casos más desfavorables para la región. La temperatura de retorno de las salas será de 22°C.

Una vez obtenida esta temperatura, podremos calcular la de salida. Dado que tenemos los datos de los calores para los climatizadores, podremos calcular esta temperatura usando esta fórmula.

$$T_o = T_i - \frac{q_{tot}}{Q_i \cdot \rho \cdot C_p} \quad (3.28)$$

Por último, con estos cálculos podremos hallar finalmente los caudales de agua circulando por los intercambiadores, tanto en invierno como en verano, a partir de otro balance de energías con los dos fluidos, aire y agua.

$$Q_w = \frac{q_T}{\rho_w \cdot C_{p,w} \cdot (T_{i,w} - T_{o,w})} \quad (3.29)$$

Y los resultados son los siguientes.

TABLA 3.26

RESULTADOS DE LOS CLIMATIZADORES PARA VERANO

Climatizador	$\Delta P_{\text{disponible}}$ [Pa]	$T_{i,v}$ [°C]	$T_{o,v}$ [°C]	$Q_{a_fría}$ [m ³ /h]
CL01	567,63	23,83	14,27	6,01
CL02	559,91	23,83	14,49	5,81
CL03	781,22	24,83	14,95	13,17
CL04	670,9	23,79	14,29	7,23
CL05	700,38	23,79	14,22	7,4
CL06	722,11	23,87	13,26	4,37
CL07	710,06	23,76	14,35	2,98

TABLA 3.27

RESULTADOS DE LOS CLIMATIZADORES PARA INVIERNO

Climatizador	$\Delta P_{\text{disponible}}$ [Pa]	$T_{i,i}$ [°C]	$T_{o,i}$ [°C]	$Q_{a_caliente}$ [m ³ /s]
CL01	567,63	18,72	22	0,52
CL02	559,91	18,72	22	0,51
CL03	781,22	16,93	22	1,61
CL04	670,9	18,79	22	0,61
CL05	700,38	18,79	22	0,62
CL06	722,11	18,64	22	0,35
CL07	710,06	18,85	22	0,25

4. PLIEGO DE CONDICIONES

Los Pliegos de Condiciones Técnicas que se desarrollan en este proyecto regulan la ejecución de las instalaciones y obras del proyecto de salas blancas. Se establecen los contenidos de los pliegos en función del artículo 66 del Reglamento General de Contratos del Estado. Las condiciones serán de obligada observación por el contratista que ejecutará la obra ciñéndose a las mismas y lo dejará por escrito.

El contratista será el responsable pleno de llevar a cabo los trabajos estipulados cumpliendo la legislación vigente, además de toda la normativa seguida en este proyecto, haciendo énfasis en los apartados de Seguridad e Higiene. Cualquier cambio deberá contar con el permiso del instalador, en caso contrario deberá ser reportado de inmediato.

El contratista se compromete a instalar los equipos con las características que se dan en este documento, cumplir los plazos de entrega, conocer la totalidad del proyecto y la limpieza antes, durante y después de la finalización de la obra retirando los desechos.

4.1. Condiciones técnicas generales

El contratista tiene la responsabilidad de presentar las garantías de seguridad, calidad y consumo estipuladas por los certificados de rendimiento, pruebas, normativa vigente, etc. Las características de los equipos deberán estar indicadas en los propios equipos y acorde a la normativa.

El contratista cumplirá con el montaje de la instalación y los equipos suministrados siguiendo toda la normativa que afecte a estos campos. Los elementos utilizados deben cumplir los estándares de calidad exigidos en este documento.

Los plazos de ejecución serán cumplidos por el contratista

4.2. Condiciones técnicas particulares de climatización

El contratista montará las unidades de climatización de la manera que se estipula en este documento.

Las unidades formadas por bomba de calor de caudal variable, con capacidades de climatización suficientes para cubrir las zonas estudiadas en este documento, están formadas por chapa de acero galvanizado aislado termo-acústicamente y en su interior se encontrarán los siguientes elementos.

- Prefiltro, G4

- Baterías de calor y frío
- Filtro secundario, F9
- Ventilador de impulsión

FILTROS

Se instalarán filtros que resistan los caudales de aire garantizando su limpieza y que no se arrastren partículas que afecten al rendimiento. Si no presenta un estado óptimo de limpieza en la recepción de este, deberá ser desechado sin costo adicional para el contratista.

CONDUCTOS

Los conductos a utilizar serán rectangulares y tendrán las medidas previamente estipuladas en este proyecto, en ningún caso serán diferentes en ninguna parte de la instalación.

Los conductos serán recubiertos por una manta aisladora de fibra de vidrio para mantener el aire con las temperaturas requeridas. Las mantas serán sujetadas por medio de fajas adhesivas. Los conductos de impulsión irán adheridos al techo mediante pletinas galvanizadas que abracen el conducto, mientras que los conductos de retorno irán adheridos al suelo.

Los elementos de los conductos deben estar preparados para la regulación de caudal y deberán ir sellados para evitar la entrada de sustancias extrañas. La instalación de todos los demás elementos difusores estará a cargo del contratista.

VENTILADORES

Se deberá garantizar que los niveles de vibraciones y ruido se mantengan dentro de los límites establecidos por la normativa vigente. Los ventiladores incluirán alojamiento para el filtro y aislamiento acústico interior.

La colocación de los mismos deberá ser acorde a como se ha mostrado en este documento.

4.3. Condiciones técnicas de pruebas y ensayos

El contratista realizará los ensayos que se estipulen de los elementos que forman este proyecto además de prestar los equipos para ello.

Se llevarán a cabo las pruebas pertinentes como inspecciones visuales, verificación de dimensiones, pruebas de estanqueidad o de rotura por presión. Una vez llenados, los

sistemas son sujetos a presión durante al menos 1 hora, en el caso de encontrar algún fallo, este debe ser subsanado y los ensayos repetidos.

5. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

Para reducir los riesgos laborales se dan una serie de medidas preventivas, tanto de protocolo como equipamiento que se deberán cumplir. Algunos de los riesgos laborales no eliminables son las caídas de personas o material, atrapamientos, golpes contra objetos, cortes, sobreesfuerzos y electrocución, entre otros, para ellos se dispondrá de las siguientes medidas

Está prohibida la circulación de personal ajena a la obra. El vallado del recinto de obra será vallado con cerramientos y estará claramente señalizado.

Siempre habrá luminarias suficientes para garantizar la realización de los trabajos tanto en las zonas de tránsito como en las zonas de trabajo activo.

Vías de emergencia, evacuación y salida estarán adecuadamente señalizadas y libres de obstrucciones. Además, las zonas de mayor riesgo y donde se encuentren equipos de emergencia y socorro también deberán ser señalizados.

El transporte de materiales se llevará a cabo por el interior, evitando sobrecargas y sobreesfuerzos, preferiblemente en carretilla de mano.

En todo momento se mantendrán las superficies de tránsito y apoyo limpias y ordenadas evitando su obstaculización.

El uso de casco es obligatorio en el lugar de trabajo. Los operarios irán complementados con protecciones individuales adicionales dependiendo con la tarea que estén desempeñando. También se incluirán protecciones colectivas en el lugar de trabajo para evitar accidentes como cerramientos en huecos horizontales, barandillas, cables de anclaje de seguridad y punto de anclaje para los mismos.

6. PRESUPUESTO

PROYECTO	Diseño y cálculo de sistemas de climatización para salas limpias de cosmética
LOCALIZACION	Puçol, Valencia

UNIDAD	CANTI-DAD	CONCEPTO	PRECIO UD.	PRECIO
--------	-----------	----------	------------	--------

CLIMATIZACION

GENERACION Y DISTRIBUCION FRIO-CALOR

ud	21	Silent blocks	34 €	716 €
ud	7	Válvula 3 vías motorizada PNI6	887 €	6.206 €
ud	20	Termometro	14 €	273 €
ud	4	Manometro	8 €	33 €
pa	1	Elementos auxiliares de elevación y montaje	2.046 €	2.046 €
SUBTOTAL				9.273 €

DISTRIBUCION AIRE

ud	4	CLIMATIZADOR CL-902 13.325 m3/h	9.952 €	39.810 €
ud	2	CLIMATIZADOR CL-907 7.800 m3/h	7.240 €	14.479 €
ud	1	CLIMATIZADOR CL-908 19.100 m3/h	12.788 €	12.788 €
ud	7	CAMPANA DE EXTRACCION CON VENTILADOR DE ALTA PRESION Y FILTRO F9	2.591 €	18.140 €
ud	102	MANOMETRO COLMATACION FILTROS CLIMATIZADORES	55 €	5.565 €
ml	678	SUMINISTRO Y MONTAJE CONDUCTO FLEXIBLE DIVERSOS TAMAÑOS	23 €	15.720 €
m	1500	CONDUCTO DE CHAPA DE ACERO GALVANIZADO UNION TIPO METU-20 AISLADO CON ARMAFLEX	63 €	94.109 €
ud	102	DIFUSORES	82 €	8.347 €
ud	52	CAJAS DE FILTRACION TERMINALES CON FILTRO H14 12p6	581 €	30.213 €
ud	5	CAJAS DE FILTRACION TERMINALES CON FILTRO H14 9p6	514 €	2.571 €
ud	18	CAJAS DE FILTRACION TERMINALES CON FILTRO H14 6p6	379 €	6.825 €

ud	27	CAJAS DE FILTRACION TERMINALES CON FILTRO H14 6p3	288 €	7.770 €
ud	135	REJILLAS DE RETORNO	29 €	3.867 €
ud	14	COMPUERTAS DE REGULACION AUTOMATICAS	205 €	2.864 €
ud	7	COMPUERTAS DE REGULACION MANUALES	68 €	477 €
ud	1	RESISTENCIA EN CONDUCTO 12kW PARA SALA MANITOL	477 €	477 €
ud	21	RESISTENCIAS EN CONDUCTO 0,5kW	20 €	420 €
ud	3	RESISTENCIAS EN CONDUCTO 1kW	55 €	165 €
ud	2	RESISTENCIAS EN CONDUCTO 1,5kW	100 €	200 €
ud	2	RESISTENCIAS EN CONDUCTO 2kW	350 €	700 €
pa	1	MATERIAL AUXILIAR DE MONTAJE	1.637 €	1.637 €
pa	1	MEDIOS AUXILIARES DE ELEVACION	1.091 €	1.091 €
SUBTOTAL				268.236 €
ELECTRICIDAD Y CONTROL				
ud	2	VARIADOR DE FRECUENCIA 5kW	500 €	1.000 €
ud	5	VARIADOR DE FRECUENCIA 3 KW	735 €	3.673 €
ud	21	PRESOSTATO DIFERENCIAL AIRE 40-400PA TREND	48 €	1.017 €
ud	14	TB/TI-S SONDA TEMP. INMERSIÓN TREND	39 €	551 €
ud	1	IQ3XCITE/96/UK/24 CONTROLADOR AMPLIABLE HASTA 96 SEÑALES A 24V (10 E/U 6 S/A) TREND	1.243 €	1.243 €
ud	1	IQVIEW4/24 DISPLAY TACTIL TREND	679 €	679 €
ud	1	ORDENADOR PARA PUESTO CENTRAL	1.002 €	1.002 €
ud	1	963S/SEC/CD/3USER LICENCIA DE SUPERVISIÓN SEGÚN CFR21 PARTE II CON 3 USUARIOS, TREND	3.554 €	3.554 €
ud	1	PROGRAMACIÓN Y PUESTA EN MARCHA, UNA VEZ REALIZADO TODOS LOS TRABAJOS DE CONEXIÓNADO	10.728 €	10.728 €
ud	1	Cuadro electrico de control	16.510 €	16.510 €
pa	1	Instalacion electrica. Material auxiliar de elevación y montaje	43.031 €	43.031 €

SUBTO-TAL	82.989 €
TOTAL	360.498 €
20% GASTOS GENERALES	72.100 €
5% BENEFICIO INDUSTRIAL	18.025 €
PPTO PROYECTO	450.623 €

7. CRONOGRAMA OBRA

Este proyecto no tiene la competencia de desarrollar un cronograma dado que no se incluye la obra civil a realizar, este apartado es una referencia.

Se estimará la duración aproximada de la obra que se debería llevar a cabo para la instalación de todos los elementos y equipos de climatización. El 17 de mayo de 2019 se tomará como fecha de inicio, con la entrega de esta documentación y se tardará 3 meses en completar.

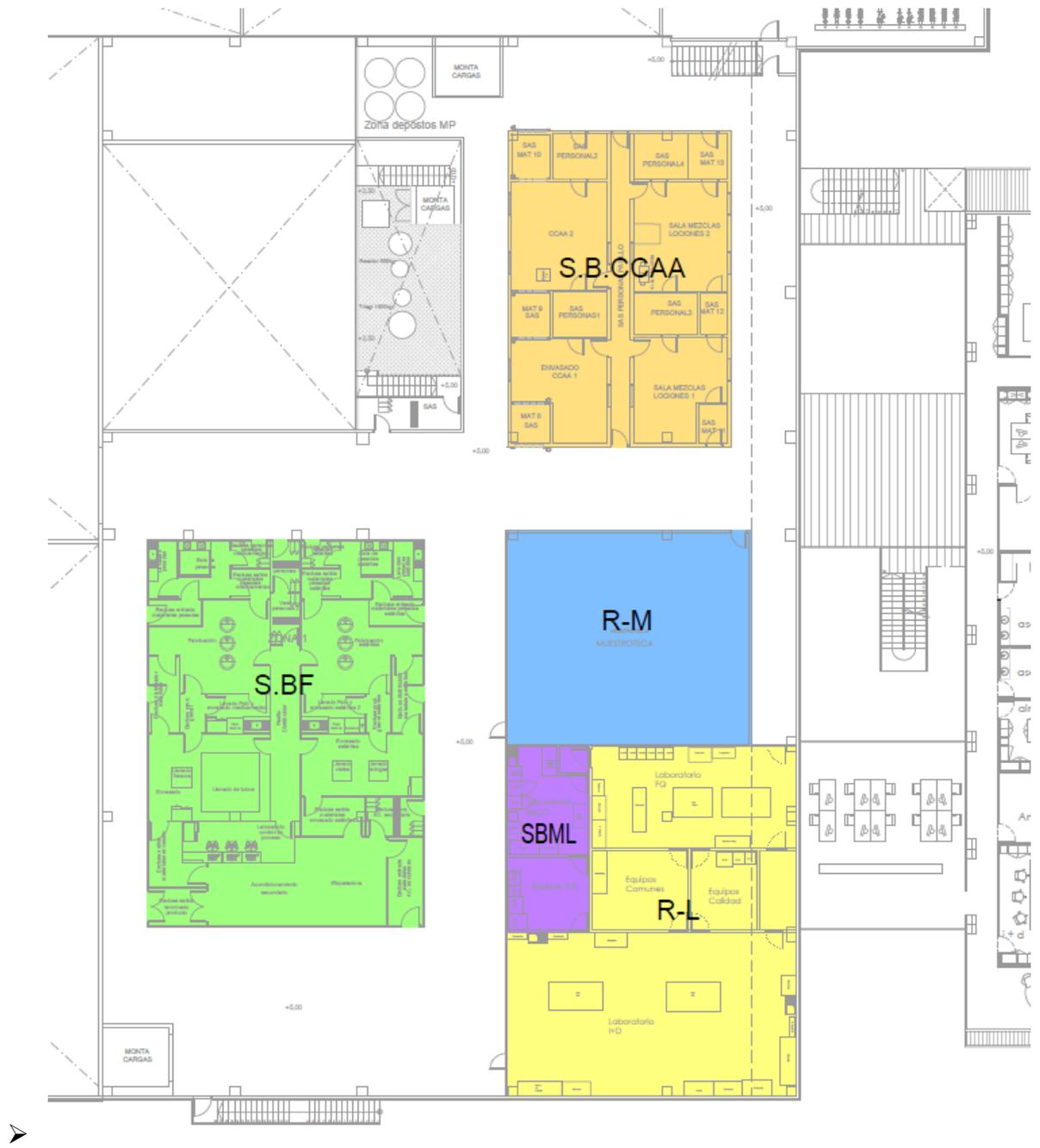
TABLA 7.1
CRONOGRAMA DE OBRA

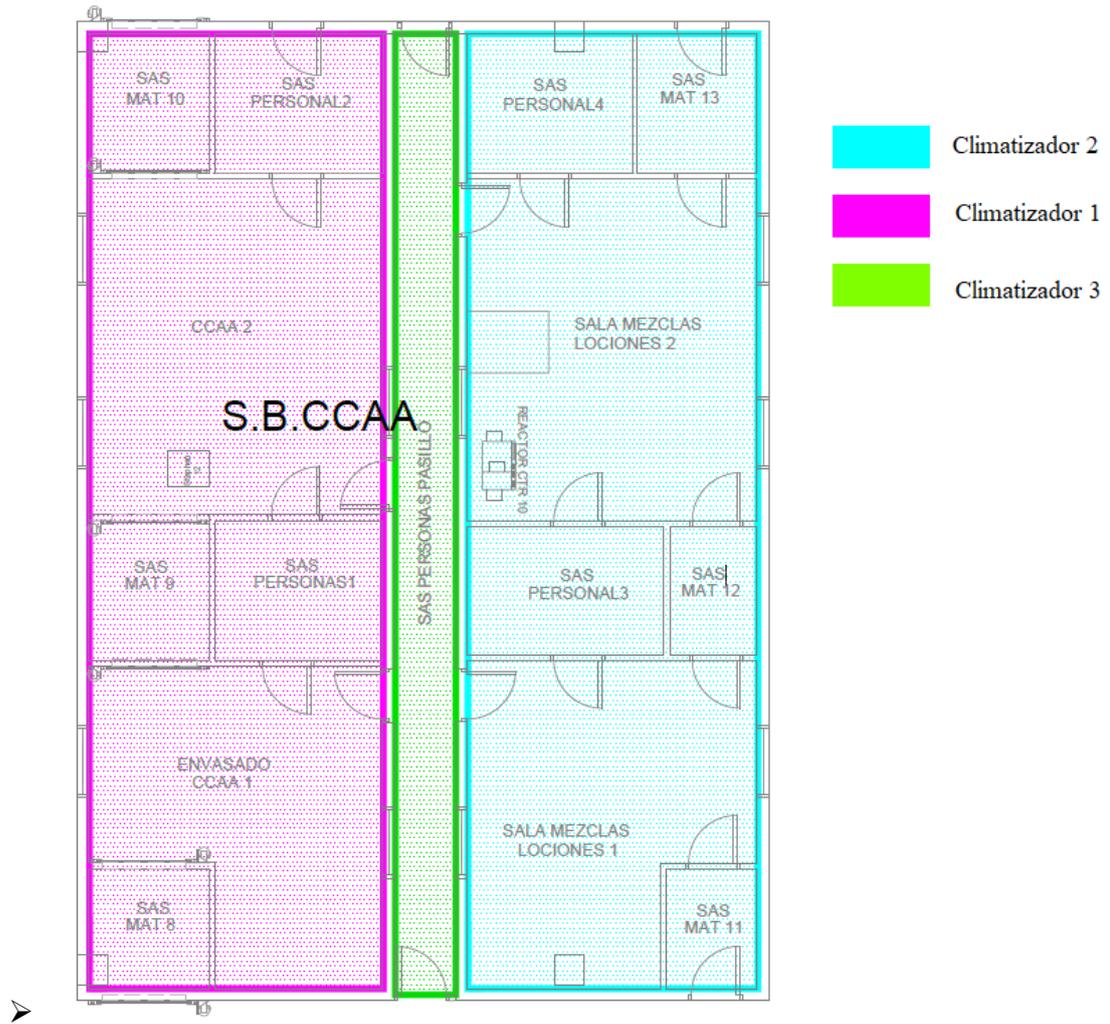
<i>Tarea</i>	<i>Duración [días]</i>	<i>Fecha comienzo</i>	<i>Fecha acabado</i>
<i>Entrega documentación</i>	7	17/06/2019	24/06/2019
<i>Plan de obra</i>	7	25/06/2019	02/07/2019
<i>Compras</i>	14	03/07/2019	17/07/2019
<i>Obra civil</i>	21	18/07/2019	08/08/2019
<i>Limpieza</i>	7	09/08/2019	16/08/2019
<i>Instalación</i>	14	17/08/2019	31/08/2019
<i>Pruebas y ensayos</i>	5	01/09/2019	06/09/2019
<i>Puesta en marcha</i>	3	07/09/2019	10/09/2019
<i>Finalización</i>	4	11/09/2019	15/09/2019
<i>Entrega documentación</i>	3	16/09/2019	20/09/2019

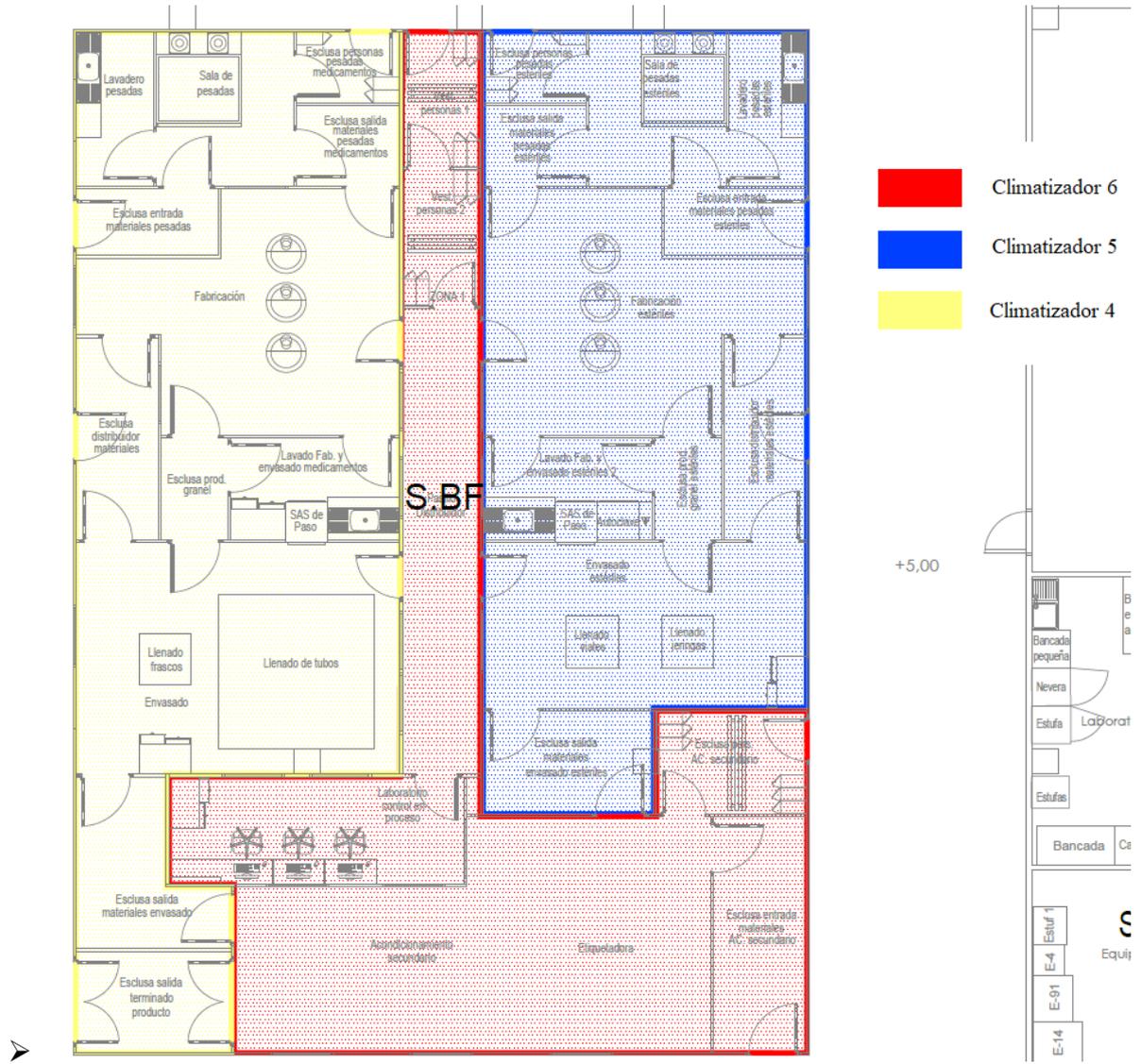
8. PLANOS

Los planos de la instalación se muestran a continuación en el siguiente orden.

- Plano distribución salas
- Plano distribución climatizadores. SB CCAA
- Plano distribución climatizadores. SB F







9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] TCI SLL, «Componentes Principales Filtros».
- [2] TCI SLL, «Figuras varias».
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto.
- [4] J. L. J. Álvarez, «Manuales de diseño. Salas limpias. Cálculo sistemas de tratamiento de aire».
- [5] Applus+, «Permeabilidad de puertas enrollables. Resultado obtenidos, conclusiones del ensayo,» 2011.
- [6] Ministerio de Fomento. Gobierno de España, Código Técnico de Edificación. Documento básico. Salubridad.
- [7] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. RITE, 2007.
- [8] «Capítulo 2. Proyecto de conductos de aire».
- [9] Europair S.A., «Pérdidas de carga bi-flex».
- [10] K. N. A. Acunso, «Cálculo y dimensionamiento,» 2016. [En línea]. Available:
] http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/100484/1/TFM_MERSE_Karen_Angulo.pdf.
- [11] IES Estelas de Cantabria, «Scalofrios,» [En línea]. Available:
] [http://www.scalofrios.es/Climatizacion/todo_aire/UTA%20\(Apuntes%20de%20Configuracion\).pdf](http://www.scalofrios.es/Climatizacion/todo_aire/UTA%20(Apuntes%20de%20Configuracion).pdf).
- [12] Universidad Politécnica de Madrid, «Instalaciones de Climatización,» [En línea].
] Available: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-instalaciones/Doc03.pdf>.
- [13] «Scalofrios. Sistemas de climatización,» [En línea]. Available:
] <http://www.scalofrios.es/Climatizacion/pag/Sistemas%20de%20Climatizacion.pdf>.
- [14] Universidad Politécnica de Madrid, «Capítulo 6. Sistemas de control completos,» [En línea]. Available:
] http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1148/mod_resource/content/0/T6.pdf.
- [15] Universidad de Cantabria, «Frío Industrial y Aire Acondicionado,» [En línea]. Available:
] <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1473/course/section/1913/008%20Instal%20AA.pdf>.

10. ANEXO

En este anexo se adjuntarán todos aquellos resultados individuales de tramos, climatizadores o salas que no han podido ser incluidos con anterioridad por tener un gran volumen. Las tablas irán en un orden similar al mostrado a lo largo del documento.

CARGAS EXTERNAS POR SALA

Salas	Cerramientos verticales [W]	Cerramientos horizontales [W]	Carga total [W]
S1	42,5	98,5	141
S2	59,28	63,38	122,66
S3	249,34	127,68	377,02
S4	44,41	55,63	100,05
S5	59,1	0	59,1
S6	199,82	143,18	343
S7	36,48	91,2	127,68
S8	42,68	98,5	141,18
S9	58	62,02	120,02
S10	250,53	130,23	380,76
S11	28,27	48,79	77,06
S12	63,66	0	63,66
S13	210,4	155,04	365,44
S14	27,36	79,8	107,16
S15	146,92	0	146,92
S16	209,58	35,11	244,69
S17	28,27	0	28,27
S18	25,54	45,6	71,14
S19	72,41	60,47	132,88
S20	41,04	102,6	143,64
S21	32,83	29,82	62,65
S22	57,55	90,06	147,61

S23	183,68	73,42	257,09
S24	59,37	0	59,37
S25	23,53	0	23,53
S26	60,1	0	60,1
S27	209,58	35,02	244,6
S28	28,27	0	28,27
S29	25,54	45,6	71,14
S30	72,41	60,37	132,79
S31	41,04	102,6	143,64
S32	32,83	29,82	62,65
S33	57,55	90,01	147,56
S34	256,45	102,6	359,05
S35	59,37	0	59,37
S36	23,53	0	23,53
S37	67,03	0	67,03
S38	36,12	34,2	70,32
S39	36,12	0	36,12
S40	124,03	0	124,03
S41	108,44	0	108,44
S42	329,87	209,76	539,63
S43	75,51	145,92	221,43
S44	52,99	45,6	98,59
S45	54,08	114,64	168,72
S46	1239,13	532,33	1771,47
S47	19,15	249,61	268,77

S48	190,79	127,86	318,65
S49	144,46	85,91	230,37
S50	503,42	120,38	623,81
S51	184,77	0	184,77
S52	127,41	0	127,41
S53	69,68	0	69,68
S54	69,68	93,48	163,16
S55	1145,11	193,8	1895,94

CARGAS INTERNAS POR SALA(CL01)

Salas	Carga por iluminación [W]	Carga por maquinaria [W]	Carga por personal [W]
S1	116,5	0	0
S2	162,5	0	0
S3	683,5	158	10000
S4	121,75	0	0
S5	162	0	0
S6	547,75	158	7000
S7	100	0	0
S8	117	0	0
S9	159	0	0
S10	686,75	158	10000
S11	77,5	0	0
S12	174,5	0	0
S13	576,75	158	7000
S14	75	0	0

S15	402,75	0	0
S16	574,5	158	10000
S17	77,5	0	0
S18	70	0	0
S19	198,5	70	500
S20	112,5	0	0
S21	90	0	0
S22	157,75	0	0
S23	503,5	105	7000
S24	162,75	70	2000
S25	64,5	0	0
S26	164,75	0	0
S27	574,5	158	10000
S28	77,5	0	0
S29	70	0	0
S30	198,5	70	500
S31	112,5	0	0
S32	90	0	0
S33	157,75	0	0
S34	703	158	7000
S35	162,75	70	2000
S36	64,5	0	0
S37	183,75	0	0
S38	99	0	0
S39	99	0	0

S40	340	0	0
S41	297,25	158	700
S42	904,25	210	3500
S43	207	0	0
S44	145,25	0	0
S45	148,25	0	0
S46	3396,75	0	0
S47	52,5	0	0
S48	523	105	10000
S49	396	0	6000
S50	1380	210	10000
S51	506,5	0	6000
S52	349,25	0	6000
S53	191	70	0
S54	191	0	0
S55	3139	420	3000

CARGAS POR POSTCALENTAMIENTO POR SALA

Salas	Qimpulsión [m ³ /h]	T _{sala} [°C]	T _{sala_necesaria} [°C]	Post calentamiento	Q _{post_cal} [W]
S1	250	17,45	22	Si	500
S2	350	17,12	22	Si	500
S3	5400	21	22	No	0
S4	250	17,27	22	Si	500
S5	300	17,14	22	Si	500
S6	3850	21,02	22	No	0

S7	200	17,68	22	Si	500
S8	250	17,46	22	Si	500
S9	300	17,42	22	Si	500
S10	5400	21,01	22	No	0
S11	150	17,54	22	Si	0
S12	350	16,98	22	Si	500
S13	3900	20,98	22	No	0
S14	150	17,79	22	Si	0
S15	250	21,38	22	No	0
S16	5300	21,01	22	No	0
S17	250	16,23	22	Si	500
S18	150	17,31	22	Si	0
S19	400	21,34	22	No	0
S20	250	17,41	22	Si	500
S21	200	17,01	22	Si	500
S22	550	16,39	22	Si	1000
S23	3800	20,99	22	No	0
S24	1100	21,05	22	No	0
S25	250	16,02	22	Si	500
S26	600	16,09	22	Si	1000
S27	5300	21,01	22	No	0
S28	250	16,23	22	Si	500
S29	150	17,31	22	Si	0
S30	400	21,34	22	No	0
S31	250	17,41	22	Si	500

S32	200	17,01	22	Si	500
S33	550	16,39	22	Si	1000
S34	3950	21,01	22	No	0
S35	1100	21,05	22	No	0
S36	250	16,02	22	Si	500
S37	650	16,12	22	Si	1500
S38	200	17,22	22	Si	500
S39	350	16,12	22	Si	500
S40	1200	16,12	22	Si	2500
S41	1050	18,5	22	Si	1500
S42	3150	19,66	22	Si	2500
S43	400	17,61	22	Si	500
S44	300	17,15	22	Si	500
S45	300	17,54	22	Si	500
S46	2400	20,95	22	No	0
S47	100	20,9	22	No	0
S48	5250	21,02	22	No	0
S49	3200	20,98	22	No	0
S50	5900	20,99	22	No	0
S51	3250	20,98	22	No	0
S52	3150	20,97	22	No	0
S53	150	21,42	22	No	0
S54	150	21	22	No	0
S55	4050	21	22	No	0

CARGAS TOTALES POR SALA

Salas	Q_{trans} [W]	Q_{ilum} [W]	Q_{pers} [W]	Q_{maq} [W]	Q_{post} [W]	Q_{TOTAL} [W]
S1	141	116,5	0	0	250	757,5
S2	122,66	162,5	0	0	350	785,16
S3	377,02	683,5	158	10000	5400	11218,52
S4	100,05	121,75	0	0	250	721,8
S5	59,1	162	0	0	300	721,1
S6	343	547,75	158	7000	3850	8048,75
S7	127,68	100	0	0	200	727,68
S8	141,18	117	0	0	250	758,18
S9	120,02	159	0	0	300	779,02
S10	380,76	686,75	158	10000	5400	11225,51
S11	77,06	77,5	0	0	150	154,56
S12	63,66	174,5	0	0	350	738,16
S13	365,44	576,75	158	7000	3900	8100,19
S14	107,16	75	0	0	150	182,16
S15	146,92	402,75	0	0	250	549,67
S16	244,69	574,5	158	10000	5300	10977,19
S17	28,27	77,5	0	0	250	605,77
S18	71,14	70	0	0	150	141,14
S19	132,88	198,5	70	500	400	901,38
S20	143,64	112,5	0	0	250	756,14
S21	62,65	90	0	0	200	652,65
S22	147,61	157,75	0	0	550	1305,36

S23	257,09	503,5	105	7000	3800	7865,59
S24	59,37	162,75	70	2000	1100	2292,12
S25	23,53	64,5	0	0	250	588,03
S26	60,1	164,75	0	0	600	1224,85
S27	244,6	574,5	158	10000	5300	10977,1
S28	28,27	77,5	0	0	250	605,77
S29	71,14	70	0	0	150	141,14
S30	132,79	198,5	70	500	400	901,29
S31	143,64	112,5	0	0	250	756,14
S32	62,65	90	0	0	200	652,65
S33	147,56	157,75	0	0	550	1305,31
S34	359,05	703	158	7000	3950	8220,05
S35	59,37	162,75	70	2000	1100	2292,12
S36	23,53	64,5	0	0	250	588,03
S37	67,03	183,75	0	0	650	1750,78
S38	70,32	99	0	0	200	669,32
S39	36,12	99	0	0	350	635,12
S40	124,03	340	0	0	1200	2964,03
S41	108,44	297,25	158	700	1050	2763,69
S42	539,63	904,25	210	3500	3150	7653,88
S43	221,43	207	0	0	400	928,43
S44	98,59	145,25	0	0	300	743,84
S45	168,72	148,25	0	0	300	816,97
S46	1771,47	3396,75	0	0	2400	5168,22
S47	268,77	52,5	0	0	100	321,27

S48	318,65	523	105	10000	5250	10946,65
S49	230,37	396	0	6000	3200	6626,37
S50	623,81	1380	210	10000	5900	12213,81
S51	184,77	506,5	0	6000	3250	6691,27
S52	127,41	349,25	0	6000	3150	6476,66
S53	69,68	191	70	0	150	330,68
S54	163,16	191	0	0	150	354,16
S55	1895,94	3139	420	3000	4050	8454,94

CAUDALES DE VENTILACIÓN POR SALA

Salas	Q _{UNE} [m ³ /h]	Q _{LEY} [m ³ /h]	Q _{CTE} [m ³ /h]	Q _{RITE} [m ³ /h]	Q _{EXP} [m ³ /h]	Q _{VENT} [m ³ /h]
S1	13,98	0	33,55	50,33	37,5	50,33
S2	19,5	0	46,8	70,2	52,5	70,2
S3	112,02	90	196,85	295,27	810	810
S4	14,61	0	35,06	52,6	37,5	52,6
S5	19,44	0	46,66	69,98	45	69,98
S6	95,73	90	157,75	236,63	577,5	577,5
S7	12	0	28,8	43,2	30	43,2
S8	14,04	0	33,7	50,54	37,5	50,54
S9	19,08	0	45,79	68,69	45	68,69
S10	112,41	90	197,78	296,68	810	810
S11	9,3	0	22,32	33,48	22,5	33,48
S12	20,94	0	50,26	75,38	52,5	75,38
S13	99,21	90	166,1	249,16	585	585
S14	9	0	21,6	32,4	22,5	32,4
S15	48,33	0	115,99	173,99	37,5	173,99
S16	98,94	90	165,46	248,18	795	795
S17	9,3	0	22,32	33,48	37,5	37,5
S18	8,4	0	20,16	30,24	22,5	30,24
S19	33,82	30	57,17	85,75	60	85,75
S20	13,5	0	32,4	48,6	37,5	48,6
S21	10,8	0	25,92	38,88	30	38,88
S22	18,93	0	45,43	68,15	82,5	82,5

S23	80,42	60	145,01	217,51	570	570
S24	29,53	30	46,87	70,31	165	165
S25	7,74	0	18,58	27,86	37,5	37,5
S26	19,77	0	47,45	71,17	90	90
S27	98,94	90	165,46	248,18	795	795
S28	9,3	0	22,32	33,48	37,5	37,5
S29	8,4	0	20,16	30,24	22,5	30,24
S30	33,82	30	57,17	85,75	60	85,75
S31	13,5	0	32,4	48,6	37,5	48,6
S32	10,8	0	25,92	38,88	30	38,88
S33	18,93	0	45,43	68,15	82,5	82,5
S34	114,36	90	202,46	303,7	592,5	592,5
S35	29,53	30	46,87	70,31	165	165
S36	7,74	0	18,58	27,86	37,5	37,5
S37	22,05	0	52,92	79,38	97,5	97,5
S38	11,88	0	28,51	42,77	30	42,77
S39	11,88	0	28,51	42,77	52,5	52,5
S40	40,8	0	97,92	146,88	180	180
S41	65,67	90	85,61	128,41	157,5	157,5
S42	148,51	120	260,42	390,64	472,5	472,5
S43	24,84	0	59,62	89,42	60	89,42
S44	17,43	0	41,83	62,75	45	62,75
S45	17,79	0	42,7	64,04	45	64,04
S46	407,61	0	978,26	1467,4	360	1467,4
S47	6,3	0	15,12	22,68	15	22,68

S48	82,76	60	150,62	225,94	787,5	787,5
S49	47,52	0	114,05	171,07	480	480
S50	205,6	120	397,44	596,16	885	885
S51	60,78	0	145,87	218,81	487,5	487,5
S52	41,91	0	100,58	150,88	472,5	472,5
S53	32,92	30	55,01	82,51	22,5	82,51
S54	22,92	0	55,01	82,51	22,5	82,51
S55	456,68	240	904,03	1356,05	607,5	1356,05

LONGITUD BIFLEX IMPULSIÓN POR SALA

Salas	Q_{nom} [m ³ /h]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ϕ [mm]	L_{flex} [m]	ΔP [Pa]
S1	300	1,6	150	1,7	2,72
S2	600	1,4	200	1,7	2,38
S3	1200	1,7	250	1,7	2,89
S3	600	1,4	200	1,7	2,38
S4	300	1,6	150	1,7	2,72
S5	300	1,6	150	1,7	2,72
S6	1200	1,7	250	1,7	2,89
S6	300	1,6	150	1,7	2,72
S7	300	1,6	150	1,7	2,72
S8	300	1,6	150	1,7	2,72
S9	300	1,6	150	1,7	2,72
S10	1200	1,7	250	1,7	2,89
S11	300	1,6	150	1,7	2,72
S12	600	1,4	200	1,7	2,38

S13	1200	1,7	250	1,7	2,89
S13	600	1,4	200	1,7	2,38
S14	300	1,6	150	1,7	2,72
S15	300	1,6	150	1,7	2,72
S16	1200	1,7	250	1,7	2,89
S16	600	1,4	200	1,7	2,38
S17	300	1,6	150	1,7	2,72
S18	300	1,6	150	1,7	2,72
S19	600	1,4	200	1,7	2,38
S20	300	1,6	150	1,7	2,72
S21	300	1,6	150	1,7	2,72
S22	600	1,4	200	1,7	2,38
S23	1200	1,7	250	1,7	2,89
S23	300	1,6	150	1,7	2,72
S24	1200	1,7	250	1,7	2,89
S25	300	1,6	150	1,7	2,72
S26	600	1,4	200	1,7	2,38
S27	1200	1,7	250	1,7	2,89
S27	600	1,4	200	1,7	2,38
S28	300	1,6	150	1,7	2,72
S29	300	1,6	150	1,7	2,72
S30	600	1,4	200	1,7	2,38
S31	300	1,6	150	1,7	2,72
S32	300	1,6	150	1,7	2,72
S33	600	1,4	200	1,7	2,38

S34	1200	1,7	250	1,7	2,89
S34	600	1,4	200	1,7	2,38
S35	1200	1,7	250	1,7	2,89
S36	300	1,6	150	1,7	2,72
S37	900	1	250	1,7	1,7
S38	300	1,6	150	1,7	2,72
S39	600	1,4	200	1,7	2,38
S40	600	1,4	200	1,7	2,38
S41	1200	1,7	250	1,7	2,89
S42	1200	1,7	250	1,7	2,89
S42	900	1	250	1,7	1,7
S43	600	1,4	200	1,7	2,38
S44	300	1,6	150	1,7	2,72
S45	300	1,6	150	1,7	2,72
S46	1200	1,7	250	1,7	2,89
S47	300	1,6	150	1,7	2,72
S48	1200	1,7	250	1,7	2,89
S48	600	1,4	200	1,7	2,38
S49	1200	1,7	250	1,7	2,89
S49	900	1	250	1,7	1,7
S50	1200	1,7	250	1,7	2,89
S51	1200	1,7	250	1,7	2,89
S51	900	1	250	1,7	1,7
S52	1200	1,7	250	1,7	2,89
S52	900	1	250	1,7	1,7

S53	300	1,6	150	1,7	2,72
S54	300	1,6	150	1,7	2,72
S55	1200	1,7	250	1,7	2,89
S55	600	1,4	200	1,7	2,38

LONGITUD BIFLEX RETORNO POR SALA

Salas	Q_{nom} [m ³ /h]	$\Delta P/L$ [Pa/m]	ϕ [mm]	L_{flex} [m]	ΔP [Pa]
S1	150	1	120	0,4	0,4
S2	300	2	150	0,4	0,8
S3	1000	1,3	250	0,4	0,52
S4	400	0,7	200	0,4	0,28
S5	250	1,3	150	0,4	0,52
S6	1000	1,3	250	0,4	0,52
S7	100	1,8	100	0,4	0,72
S8	200	2	120	0,4	0,8
S9	250	1,3	150	0,4	0,52
S10	1000	1,3	250	0,4	0,52
S11	250	1,3	150	0,4	0,52
S12	300	2	150	0,4	0,8
S13	1100	1,4	250	0,4	0,56
S14	100	1,8	100	0,4	0,72
S15	100	1,8	100	0,4	0,72
S16	1100	1,4	250	0,4	0,56
S17	200	2	120	0,4	0,8
S18	150	1	120	0,4	0,4

S19	250	1,3	150	0,4	0,52
S20	150	1	120	0,4	0,4
S21	350	2	150	0,4	0,8
S22	150	1	120	0,4	0,4
S23	1100	1,4	250	0,4	0,56
S24	250	1,3	150	0,4	0,52
S25	150	1	120	0,4	0,4
S26	250	1,3	150	0,4	0,52
S27	1100	1,4	250	0,4	0,56
S28	150	1	120	0,4	0,4
S29	150	1	120	0,4	0,4
S30	300	2	150	0,4	0,8
S31	250	1,3	150	0,4	0,52
S32	200	2	120	0,4	0,8
S33	150	1	120	0,4	0,4
S34	1000	1,3	250	0,4	0,52
S35	250	1,3	150	0,4	0,52
S36	150	1	120	0,4	0,4
S37	250	1,3	150	0,4	0,52
S38	100	1,8	100	0,4	0,72
S39	150	1	120	0,4	0,4
S40	550	1,4	0	0,4	0,56
S41	250	1,3	150	0,4	0,52
S42	1000	1,3	250	0,4	0,52
S43	400	0,7	200	0,4	0,28

S44	300	2	150	0,4	0,8
S45	300	2	150	0,4	0,8
S46	1000	1,3	250	0,4	0,52
S47	150	1	120	0,4	0,4
S48	1000	1,3	250	0,4	0,52
S49	1100	1,4	250	0,4	0,56
S50	1000	1,3	250	0,4	0,52
S51	1100	1,4	250	0,4	0,56
S52	1100	1,4	250	0,4	0,56
S53	150	1	120	0,4	0,4
S54	150	1	120	0,4	0,4
S55	1100	1,4	250	0,4	0,56

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL01)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	10600	0,6	0,6	0,6	8,17	1,08	0,36	13,81	7,48	23,08
2	200	0,15	0,15	0,15	2,46	0,66	0,0225	2,88	0	1,91
3	10400	0,6	0,6	0,6	8,02	1,04	0,36	3,5	0	3,66
4	3850	0,45	0,4	0,42	5,94	0,92	0,18	0,5	0	0,46
5	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	0,99	0,1225	1	0	0,99
6	1200	0,3	0,25	0,2	4,44	0,93	0,075	1,5	0	1,4
7	1450	0,3	0,3	0,3	4,47	0,84	0,09	1	0	0,84
8	250	0,15	0,15	0,15	3,08	0,99	0,0225	1,5	0	1,49
9	6550	0,5	0,5	0,5	7,27	1,09	0,25	1,9	0	2,08
10	550	0,2	0,2	0,2	3,81	1,03	0,04	0,5	0	0,51
11	250	0,15	0,15	0,15	3,08	0,99	0,0225	2,38	0	2,37
12	6000	0,5	0,5	0,5	6,66	0,93	0,25	2,34	0	2,18

13	5400	0,5	0,45	0,47	6,66	0,99	0,225	1	0	0,99
14	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	0,99	0,1225	1,5	0	1,49
15	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,93	0,075	1,5	0	1,4
16	3000	0,4	0,35	0,37	5,95	1,08	0,14	1	0	1,08
17	1800	0,35	0,3	0,32	4,76	0,86	0,105	1,5	0	1,29
18	600	0,25	0,2	0,22	3,33	0,71	0,05	1,5	0	1,06
19	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,93	0,075	3	1,78	4,47
20	600	0,25	0,2	0,22	3,33	0,71	0,05	6,1	1,19	5,18
21	250	0,15	0,15	0,15	3,08	0,99	0,0225	2,78	0	2,77

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL01)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
1	256,55	0,15	0,15	0,15	3,17	1,05	0,02	1,99	0	2,08
2	405,16	0,2	0,2	0,2	2,81	0,59	0,04	2,43	1,18	2,14

3	5543,09	0,5	0,45	0,47	6,84	1,05	0,23	0,1	0	0,1
4	4619,24	0,45	0,45	0,45	6,34	0,97	0,2	0	0	0
5	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	0	4,86
6	3695,39	0,45	0,4	0,42	5,7	0,86	0,18	2,34	0	2,01
7	2771,55	0,4	0,35	0,37	5,5	0,94	0,14	0	0	0
8	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	0	4,86
9	1847,7	0,35	0,3	0,32	4,89	0,9	0,11	2,34	0	2,12
10	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	1,47	6,19
11	5948,25	0,5	0,5	0,5	6,61	0,92	0,25	5,6	0	5,15
12	564,17	0,2	0,2	0,2	3,92	1,09	0,04	0,1	0	0,11
13	208,46	0,15	0,1	0,12	3,86	1,97	0,02	2	0	3,94
14	6512,42	0,5	0,5	0,5	7,24	1,08	0,25	2,44	0	2,64
15	3955,3	0,45	0,4	0,42	6,1	0,97	0,18	0,1	0	0,1
16	2966,48	0,4	0,35	0,37	5,89	1,06	0,14	0	0	0
17	988,83	0,25	0,25	0,25	4,39	1,02	0,06	6,48	2,94	9,6

18	1977,65	0,35	0,3	0,32	5,23	1,02	0,11	4,68	0	4,79
19	988,83	0,25	0,25	0,25	4,39	1,02	0,06	5,4	1,47	7
20	10467,72	0,6	0,6	0,6	8,08	1,06	0,36	3,5	0	3,71
21	98,61	0,15	0,1	0,12	1,83	0,5	0,02	0,1	0	0,05
22	10566,33	0,6	0,6	0,6	8,15	1,08	0,36	20,59	7,48	30,27

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL02)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	10500	0,6	0,6	0,6	8,1	1,07	0,36	12,81	7,48	23,27
2	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	2,88	0	2,88
3	10250	0,6	0,6	0,6	7,91	1,02	0,36	3,5	0	5,15
4	3900	0,45	0,4	0,42	6,02	0,95	0,18	0,5	0	3,29
5	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	1	0,12	1	0	2,81
6	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	1,5	0	1,4

7	1500	0,3	0,3	0,3	4,63	0,9	0,09	1	0	4,7
8	300	0,15	0,15	0,15	3,7	1,39	0,02	1,5	0	2,09
9	6350	0,5	0,5	0,5	7,06	1,04	0,25	1,9	0	3,26
10	500	0,2	0,2	0,2	3,47	0,87	0,04	0,5	0	1,33
11	150	0,15	0,15	0,15	1,85	0,39	0,02	2,38	0	0,94
12	5850	0,5	0,5	0,5	6,5	0,89	0,25	2,34	0	3,18
13	5400	0,5	0,45	0,47	6,67	1	0,23	1	0	3,72
14	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	1	0,12	1,5	0	1,5
15	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	1,5	0	1,4
16	3000	0,4	0,35	0,37	5,95	1,09	0,14	1	0	3,91
17	1800	0,35	0,3	0,32	4,76	0,86	0,11	1,5	0	1,29
18	600	0,25	0,2	0,22	3,33	0,71	0,05	1,5	0	1,07
19	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	3	1,78	4,47
20	450	0,25	0,2	0,22	2,5	0,42	0,05	6,1	1,19	3,96
21	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	2,78	0	2,78

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL02)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
1	206,55	0,15	0,15	0,15	2,55	0,71	0,02	1,99	0	4,29
2	363,1	0,2	0,2	0,2	2,52	0,49	0,04	2,43	1,18	1,76
3	5543,09	0,5	0,45	0,47	6,84	1,05	0,23	0,1	0	0,1
4	4619,24	0,45	0,45	0,45	6,34	0,97	0,2	0	0	6,39
5	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	0	4,86
6	3695,39	0,45	0,4	0,42	5,7	0,86	0,18	2,34	0	2,01
7	2771,55	0,4	0,35	0,37	5,5	0,94	0,14	0	0	6,48
8	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	0	4,86
9	1847,7	0,35	0,3	0,32	4,89	0,9	0,11	2,34	0	2,12
10	923,85	0,25	0,25	0,25	4,11	0,9	0,06	5,4	1,47	6,19
11	5906,19	0,5	0,5	0,5	6,56	0,91	0,25	5,6	0	13,11
12	500	0,2	0,2	0,2	3,47	0,87	0,04	0,1	0	0,09

13	274,41	0,15	0,1	0,12	5,08	3,25	0,02	2	0	12,16
14	6406,19	0,5	0,5	0,5	7,12	1,05	0,25	2,44	0	15,4
15	4005,3	0,45	0,4	0,42	6,18	1	0,18	0,1	0	0,1
16	3003,98	0,4	0,35	0,37	5,96	1,09	0,14	0	0	7,43
17	1001,33	0,25	0,25	0,25	4,45	1,04	0,06	6,48	2,94	9,82
18	2002,65	0,35	0,3	0,32	5,3	1,05	0,11	4,68	0	4,9
19	1001,33	0,25	0,25	0,25	4,45	1,04	0,06	5,4	1,47	7,16
20	10411,49	0,6	0,6	0,6	8,03	1,05	0,36	3,5	0	15,66
21	56,55	0,15	0,1	0,12	1,05	0,18	0,02	0,1	0	0,02
22	10468,04	0,6	0,6	0,6	8,08	1,06	0,36	10	7,48	18,53

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL03)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp/L}$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	22500	0,8	0,8	0,8	9,77	1,05	0,64	13,8	6,5	39,51

2	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	6,3	2,66	8,95
3	22250	0,8	0,8	0,8	9,66	1,03	0,64	1	0	3,32
4	21050	0,8	0,8	0,8	9,14	0,93	0,64	9,9	0	11,29
5	19850	0,8	0,75	0,77	9,19	0,98	0,6	1,1	0	3,15
6	18650	0,75	0,75	0,75	9,21	1,03	0,56	0,5	0	2,59
7	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	1	0,12	1,5	0	3,85
8	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	1,5	0	1,4
9	16250	0,75	0,7	0,72	8,6	0,94	0,53	2,5	0	8,25
10	2400	0,35	0,35	0,35	5,44	1	0,12	1,5	0	2,22
11	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	1,5	0	1,4
12	13850	0,7	0,65	0,67	8,46	1	0,46	1	0	6,69
13	6450	0,5	0,5	0,5	7,17	1,07	0,25	1,2	0	2,54
14	5366,67	0,5	0,45	0,47	6,63	0,99	0,23	1,5	0	2,55
15	4283,33	0,45	0,45	0,45	5,88	0,84	0,2	1,5	0	2,11
16	3200	0,4	0,4	0,4	5,56	0,88	0,16	1,5	0	2,08

17	2133,33	0,35	0,35	0,35	4,84	0,8	0,12	0,6	0	1,06
18	1066,67	0,3	0,25	0,27	3,95	0,75	0,08	1,5	0	1,13
19	7400	0,55	0,5	0,52	7,47	1,09	0,28	1,9	0	6,51
20	6350	0,5	0,5	0,5	7,06	1,04	0,25	1,4	0	2,67
21	5300	0,5	0,45	0,47	6,54	0,96	0,23	0,7	0	1,72
22	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	1,2	0	1,61
23	150	0,15	0,15	0,15	1,85	0,39	0,02	1	0	0,39
24	4100	0,45	0,4	0,42	6,33	1,04	0,18	1,3	0	2,33
25	2750	0,4	0,35	0,37	5,46	0,93	0,14	7,2	0	7,4
26	1400	0,3	0,3	0,3	4,32	0,79	0,09	8,5	2,66	8,83

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL03)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
1	21995,15	0,8	0,8	0,8	9,55	1,01	0,64	13,3	6,5	32,31

2	29,99	0,15	0,15	0,15	0,37	0,02	0,02	12,8	0	0,27
3	21965,16	0,8	0,8	0,8	9,53	1,01	0,64	1	0	13,26
4	800	0,25	0,25	0,25	3,56	0,69	0,06	10,3	0	7,14
5	21165,16	0,8	0,8	0,8	9,19	0,94	0,64	4,2	0	19,47
6	20365,16	0,8	0,75	0,77	9,43	1,03	0,6	4,2	0	20,66
7	19565,16	0,8	0,75	0,77	9,06	0,96	0,6	1,1	0	16,13
8	2901,36	0,4	0,35	0,37	5,76	1,02	0,14	4,3	3,25	13,8
9	1934,24	0,35	0,3	0,32	5,12	0,98	0,11	4,78	3,25	11,42
10	967,12	0,25	0,25	0,25	4,3	0,98	0,06	3,45	0	3,38
11	16663,8	0,75	0,7	0,72	8,82	0,99	0,53	0,5	0	16,21
12	2901,36	0,4	0,35	0,37	5,76	1,02	0,14	4,22	0	11,01
13	1934,24	0,35	0,3	0,32	5,12	0,98	0,11	3,3	2,66	9,39
14	967,12	0,25	0,25	0,25	4,3	0,98	0,06	4,28	0	4,19
15	13762,44	0,7	0,65	0,67	8,4	0,99	0,46	0,5	0	10,01
16	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	3,61	0	6,04

17	150	0,15	0,15	0,15	1,85	0,39	0,02	1,5	0	0,59
18	12562,44	0,65	0,65	0,65	8,26	1	0,42	1,45	0	13,99
19	11512,44	0,65	0,65	0,65	7,57	0,85	0,42	0,15	0	10,66
20	7362,44	0,55	0,5	0,52	7,44	1,08	0,28	0,5	0	10,7
21	6312,44	0,5	0,5	0,5	7,01	1,02	0,25	4,45	0	11,19
22	5229,11	0,5	0,45	0,47	6,46	0,94	0,23	1,5	0	7,03
23	2166,67	0,35	0,35	0,35	4,91	0,83	0,12	1	0	5,26
24	1083,33	0,3	0,25	0,27	4,01	0,78	0,08	1,2	0	0,93
25	3062,44	0,4	0,4	0,4	5,32	0,81	0,16	4,2	0	9,12
26	2041,63	0,35	0,3	0,32	5,4	1,08	0,11	2,8	0,88	7,92
27	1020,81	0,25	0,25	0,25	4,54	1,08	0,06	1	0	6
28	4150	0,45	0,4	0,42	6,4	1,06	0,18	4,5	0	4,78
29	3137,5	0,4	0,4	0,4	5,45	0,85	0,16	8,1	2,66	14,58
30	2125	0,35	0,35	0,35	4,82	0,8	0,12	13,77	2,66	17,82
31	1112,5	0,3	0,25	0,27	4,12	0,81	0,08	7,3	1,9	9,78

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL04)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	12850	0,65	0,65	0,65	8,45	1,04	0,42	28,11	8,8	40,26
2	800	0,25	0,25	0,25	3,56	0,69	0,06	0,1	0	0,38
3	650	0,25	0,2	0,22	3,61	0,82	0,05	1,9	0	2,6
4	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	2,65	0	2,65
5	12050	0,65	0,6	0,62	8,58	1,13	0,39	0,9	0	2,82
6	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	0,1	0	0,1
7	11800	0,65	0,6	0,62	8,4	1,09	0,39	1,55	0	6,01
8	5500	0,5	0,45	0,47	6,79	1,03	0,23	1,5	0	6,63
9	4100	0,45	0,4	0,42	6,33	1,04	0,18	1	0	3
10	2900	0,4	0,35	0,37	5,75	1,02	0,14	1	0	1,83
11	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	2	0	1,87
12	1700	0,3	0,3	0,3	5,25	1,13	0,09	1	0	4,16

13	500	0,2	0,2	0,2	3,47	0,87	0,04	1	0	0,87
14	1400	0,3	0,3	0,3	4,32	0,79	0,09	0,5	0	11,6
15	200	0,15	0,15	0,15	2,47	0,67	0,02	1	0	0,67
16	6300	0,5	0,5	0,5	7	1,02	0,25	4,8	0	7,3
17	1900	0,35	0,3	0,32	5,03	0,95	0,11	0,1	0	4,89
18	800	0,25	0,25	0,25	3,56	0,69	0,06	3,16	0	2,81
19	550	0,2	0,2	0,2	3,82	1,04	0,04	1,29	0	1,34
20	4400	0,45	0,45	0,45	6,04	0,89	0,2	2	0	2,66
21	3800	0,45	0,4	0,42	5,86	0,91	0,18	1	0	2,59
22	2600	0,4	0,35	0,37	5,16	0,84	0,14	1	0	2,47
23	1400	0,3	0,3	0,3	4,32	0,79	0,09	1	0	12
24	200	0,15	0,15	0,15	2,47	0,67	0,02	1	0	0,67
25	600	0,25	0,2	0,22	3,33	0,71	0,05	3,22	0	2,29

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL04)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	ΔP_{ret-} primaria [Pa]
1	12633,38	0,65	0,65	0,65	8,31	1,01	0,42	23,56	8,8	45,41
2	861,45	0,25	0,25	0,25	3,83	0,79	0,06	1,5	0	3,25
3	626,24	0,25	0,2	0,22	3,48	0,77	0,05	2,65	0	2,04
4	262,55	0,15	0,15	0,15	3,24	1,09	0,02	1,35	0	7,39
5	138,16	0,15	0,15	0,15	1,71	0,34	0,02	0,3	0	0,1
6	248,77	0,15	0,15	0,15	3,07	0,99	0,02	0,9	0	6,21
7	124,39	0,15	0,15	0,15	1,54	0,28	0,02	0,9	0	0,25
8	11771,93	0,65	0,6	0,62	8,38	1,08	0,39	0,1	0	13,03
9	11657,01	0,65	0,6	0,62	8,3	1,06	0,39	1,31	0	14,06
10	11347,81	0,65	0,6	0,62	8,08	1,01	0,39	1,34	0	12,16
11	5226,48	0,5	0,45	0,47	6,45	0,94	0,23	0,1	0	9,27
12	4355,4	0,45	0,45	0,45	5,97	0,87	0,2	1,6	0	7,08

13	3484,32	0,4	0,4	0,4	6,05	1,03	0,16	1,95	2,66	10,34
14	2613,24	0,4	0,35	0,37	5,19	0,84	0,14	2,4	2,66	10,36
15	1742,16	0,35	0,3	0,32	4,61	0,81	0,11	2	0	5,14
16	871,08	0,25	0,25	0,25	3,87	0,81	0,06	4,6	1,47	4,91
17	6121,33	0,5	0,5	0,5	6,8	0,97	0,25	0,3	0	8,79
18	5975,79	0,5	0,5	0,5	6,64	0,93	0,25	3,75	0	9,69
19	1551,2	0,3	0,3	0,3	4,79	0,95	0,09	1,4	0	5,55
20	1405,66	0,3	0,3	0,3	4,34	0,8	0,09	0,3	0	2,2
21	1258,8	0,3	0,25	0,27	4,66	1,02	0,08	0,1	0	0,1
22	146,86	0,15	0,15	0,15	1,81	0,38	0,02	1,8	0	0,68
23	1111,93	0,3	0,25	0,27	4,12	0,81	0,08	1	0	3
24	965,07	0,25	0,25	0,25	4,29	0,97	0,06	0,3	0	3,79
25	723,8	0,25	0,2	0,22	4,02	1	0,05	0,1	0	3,76
26	241,27	0,15	0,15	0,15	2,98	0,94	0,02	1,8	0	1,69
27	482,54	0,2	0,2	0,2	3,35	0,82	0,04	2,76	0	4,66

28	241,27	0,15	0,15	0,15	2,98	0,94	0,02	1,8	0,88	2,51
29	4424,6	0,45	0,45	0,45	6,07	0,9	0,2	0,1	0	6,86
30	4279,06	0,45	0,45	0,45	5,87	0,84	0,2	0,3	0	6,58
31	3361,36	0,4	0,4	0,4	5,84	0,96	0,16	2,9	0	7,59
32	2443,65	0,35	0,35	0,35	5,54	1,03	0,12	2,8	2,66	12,4
33	1835,41	0,35	0,3	0,32	4,86	0,89	0,11	3,2	0	6,76
34	917,71	0,25	0,25	0,25	4,08	0,89	0,06	3,1	1,47	4,06
35	608,24	0,25	0,2	0,22	3,38	0,73	0,05	0,3	0	2,95
36	367,19	0,2	0,15	0,17	3,4	1,01	0,03	1,7	0,88	4,81
37	126,13	0,15	0,15	0,15	1,56	0,29	0,02	3	0	0,86

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL05)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp/L}$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	13050	0,65	0,65	0,65	8,58	1,07	0,42	35,26	8,8	49,08

2	800	0,25	0,25	0,25	3,56	0,69	0,06	0,1	0	0,38
3	650	0,25	0,2	0,22	3,61	0,82	0,05	1,9	0	2,6
4	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	2,65	0	2,65
5	12250	0,65	0,6	0,62	8,73	1,16	0,39	0,9	0	2,91
6	250	0,15	0,15	0,15	3,09	1	0,02	0,1	0	0,1
7	12000	0,65	0,6	0,62	8,55	1,12	0,39	1,55	0	6,21
8	5500	0,5	0,45	0,47	6,79	1,03	0,23	1,5	0	6,63
9	4100	0,45	0,4	0,42	6,33	1,04	0,18	1	0	3
10	2900	0,4	0,35	0,37	5,75	1,02	0,14	1	0	1,83
11	1200	0,3	0,25	0,27	4,44	0,94	0,08	2	0	1,87
12	1700	0,3	0,3	0,3	5,25	1,13	0,09	1	0	4,16
13	500	0,2	0,2	0,2	3,47	0,87	0,04	1	0	0,87
14	1400	0,3	0,3	0,3	4,32	0,79	0,09	0,5	0	11,6
15	200	0,15	0,15	0,15	2,47	0,67	0,02	1	0	0,67
16	6500	0,5	0,5	0,5	7,22	1,08	0,25	4,8	0	7,74

17	1900	0,35	0,3	0,32	5,03	0,95	0,11	0,1	0	4,89
18	800	0,25	0,25	0,25	3,56	0,69	0,06	3,16	0	2,81
19	550	0,2	0,2	0,2	3,82	1,04	0,04	1,29	0	1,34
20	4600	0,45	0,45	0,45	6,31	0,96	0,2	2	0	2,9
21	3950	0,45	0,4	0,42	6,1	0,97	0,18	1	0	2,79
22	2750	0,4	0,35	0,37	5,46	0,93	0,14	1	0	2,75
23	1550	0,3	0,3	0,3	4,78	0,95	0,09	1	0	14,69
24	350	0,15	0,15	0,15	4,32	1,84	0,02	1	0	1,84
25	650	0,25	0,2	0,22	3,61	0,82	0,05	6,25	0	5,14

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL05)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
1	12822,04	0,65	0,65	0,65	8,43	1,04	0,42	31,21	8,8	54,64
2	1038,65	0,25	0,25	0,25	4,62	1,11	0,06	1,5	0	4,67

3	779,68	0,25	0,2	0,22	4,33	1,15	0,05	2,65	0	3,04
4	281,27	0,15	0,15	0,15	3,47	1,24	0,02	1,35	0	8,47
5	138,16	0,15	0,15	0,15	1,71	0,34	0,02	0,3	0	0,1
6	286,21	0,15	0,15	0,15	3,53	1,28	0,02	0,9	0	8,19
7	143,11	0,15	0,15	0,15	1,77	0,36	0,02	0,9	0	0,33
8	11783,39	0,65	0,6	0,62	8,39	1,08	0,39	0,1	0	13,05
9	11571,19	0,65	0,6	0,62	8,24	1,05	0,39	1,31	0	13,85
10	11383,03	0,65	0,6	0,62	8,11	1,02	0,39	1,34	0	12,23
11	5226,48	0,5	0,45	0,47	6,45	0,94	0,23	0,1	0	9,27
12	4355,4	0,45	0,45	0,45	5,97	0,87	0,2	1,6	0	7,08
13	3484,32	0,4	0,4	0,4	6,05	1,03	0,16	1,95	2,66	10,34
14	2613,24	0,4	0,35	0,37	5,19	0,84	0,14	2,4	2,66	10,36
15	1742,16	0,35	0,3	0,32	4,61	0,81	0,11	2	0	5,14
16	871,08	0,25	0,25	0,25	3,87	0,81	0,06	4,6	1,47	4,91
17	6156,55	0,5	0,5	0,5	6,84	0,98	0,25	0,3	0	8,89

18	6011,01	0,5	0,5	0,5	6,68	0,94	0,25	3,75	0	9,8
19	1551,2	0,3	0,3	0,3	4,79	0,95	0,09	1,4	0	5,55
20	1405,66	0,3	0,3	0,3	4,34	0,8	0,09	0,3	0	2,2
21	1258,8	0,3	0,25	0,27	4,66	1,02	0,08	0,1	0	0,1
22	146,86	0,15	0,15	0,15	1,81	0,38	0,02	1,8	0	0,68
23	1111,93	0,3	0,25	0,27	4,12	0,81	0,08	1	0	3
24	965,07	0,25	0,25	0,25	4,29	0,97	0,06	0,3	0	3,79
25	723,8	0,25	0,2	0,22	4,02	1	0,05	0,1	0	3,76
26	241,27	0,15	0,15	0,15	2,98	0,94	0,02	1,8	0	1,69
27	482,54	0,2	0,2	0,2	3,35	0,82	0,04	2,76	0	4,66
28	241,27	0,15	0,15	0,15	2,98	0,94	0,02	1,8	0,88	2,51
29	4459,82	0,45	0,45	0,45	6,12	0,91	0,2	0,1	0	6,97
30	4314,28	0,45	0,45	0,45	5,92	0,85	0,2	0,3	0	6,69
31	3359,08	0,4	0,4	0,4	5,83	0,96	0,16	4,18	0	8,81
32	2403,87	0,35	0,35	0,35	5,45	1	0,12	4,5	2,66	13,71

33	1910,41	0,35	0,3	0,32	5,05	0,96	0,11	1,25	0	5,43
34	955,21	0,25	0,25	0,25	4,25	0,96	0,06	3,5	1,47	4,75
35	493,46	0,25	0,2	0,22	2,74	0,5	0,05	0,3	0	1,94
36	258,24	0,2	0,15	0,17	2,39	0,53	0,03	3	0,88	3,15
37	23,02	0,15	0,15	0,15	0,28	0,01	0,02	1,25	0	0,02

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL06)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	6950	0,55	0,5	0,52	7,02	0,97	0,28	29,1	6,5	35,71
2	6750	0,55	0,5	0,52	6,82	0,92	0,28	2,65	0	3,57
3	6400	0,5	0,5	0,5	7,11	1,05	0,25	2,65	0	4,02
4	5800	0,5	0,5	0,5	6,44	0,88	0,25	8,07	0	8,1
5	5200	0,5	0,45	0,47	6,42	0,93	0,23	1	0	1,94
6	4150	0,45	0,4	0,42	6,4	1,06	0,18	1,09	0	2,92

7	700	0,25	0,2	0,22	3,89	0,94	0,05	4,43	0	7,04
8	300	0,2	0,15	0,17	2,78	0,7	0,03	1,5	0	1,05
9	400	0,2	0,2	0,2	2,78	0,58	0,04	1	0	0,58
10	3450	0,4	0,4	0,4	5,99	1,01	0,16	5,22	2,66	9,71
11	2250	0,35	0,35	0,35	5,1	0,89	0,12	6,33	5,32	10,97
12	1050	0,25	0,25	0,25	4,67	1,14	0,06	3	0	5,81
13	300	0,2	0,15	0,17	2,78	0,7	0,03	2,2	0	1,54

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL06)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
1	6725	0,55	0,5	0,52	6,79	0,91	0,28	34,86	6,5	43,97
2	6648,66	0,55	0,5	0,52	6,72	0,89	0,28	0,3	0	8,56
3	6507,41	0,5	0,5	0,5	7,23	1,08	0,25	2,35	0	12,15
4	141,25	0,15	0,15	0,15	1,74	0,35	0,02	0,9	0	0,32

5	6366,16	0,5	0,5	0,5	7,07	1,04	0,25	0,3	0	9,51
6	5850,89	0,5	0,5	0,5	6,5	0,89	0,25	4,4	0	11,69
7	515,27	0,2	0,2	0,2	3,58	0,92	0,04	0,9	0	0,83
8	5335,63	0,5	0,45	0,47	6,59	0,98	0,23	4,3	0	12,17
9	4820,36	0,45	0,45	0,45	6,61	1,05	0,2	3,2	3,25	14,78
10	4571,78	0,45	0,45	0,45	6,27	0,95	0,2	2,37	3,25	12,57
11	4323,19	0,45	0,45	0,45	5,93	0,86	0,2	3	3,25	11,83
12	4074,61	0,45	0,4	0,42	6,29	1,03	0,18	1,88	0	1,93
13	248,59	0,15	0,15	0,15	3,07	0,99	0,02	0,3	0	0,3
14	3826,02	0,45	0,4	0,42	5,9	0,92	0,18	5,92	0	13,33
15	2595,8	0,4	0,35	0,37	5,15	0,83	0,14	2,93	5,32	13,22
16	1623,96	0,3	0,3	0,3	5,01	1,04	0,09	1,8	0	7,87
17	652,12	0,25	0,2	0,22	3,62	0,83	0,05	1,3	2,38	3,05
18	263,96	0,15	0,15	0,15	3,26	1,1	0,02	4,6	0,88	6,04
19	971,84	0,25	0,25	0,25	4,32	0,99	0,06	1,47	0	1,45

20	1230,22	0,3	0,25	0,27	4,56	0,98	0,08	3,28	0	9,57
21	258,38	0,15	0,15	0,15	3,19	1,06	0,02	1,7	1,76	3,67

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE IMPULSIÓN (CL07)

Tramos	Q_{imp} [m ³ /h]	W_{imp} [m]	D_{imp} [m]	D_{Himp} [m]	V_{imp} [m/s]	$\Delta P_{imp}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{imp-primaria}$ [Pa]
1	5350	0,5	0,45	0,47	6,6	0,98	0,23	29,7	13	50,16
2	100	0,15	0,15	0,15	1,23	0,19	0,02	2,56	0	0,48
3	5250	0,5	0,45	0,47	6,48	0,95	0,23	0,1	0	1,12
4	4050	0,45	0,4	0,42	6,25	1,02	0,18	1,8	0	2,79
5	2850	0,4	0,35	0,37	5,65	0,99	0,14	1,7	2,66	5,09
6	1650	0,3	0,3	0,3	5,09	1,07	0,09	1,6	2,66	5,18
7	450	0,2	0,2	0,2	3,13	0,72	0,04	1,2	2,66	2,78

PÉRDIDAS DE CARGA PRIMARIAS CIRCUITO DE RETORNO (CL07)

Tramos	Q_{ret} [m ³ /h]	W_{ret} [m]	D_{ret} [m]	D_{Hret} [m]	V_{ret} [m/s]	$\Delta P_{ret}/L$ [Pa/m]	Sección [m ²]	L_{tramo} [m]	$L_{codo eq}$ [m]	$\Delta P_{ret-primaria}$ [Pa]
1	5584,84	0,5	0,45	0,47	6,89	1,06	0,23	13	27,1	52,13
2	4670,7	0,45	0,45	0,45	6,41	0,99	0,2	0	2,06	7,57
3	100	0,15	0,15	0,15	1,23	0,19	0,02	0	0,1	0,02
4	4570,7	0,45	0,45	0,45	6,27	0,95	0,2	2,66	1,45	9,2
5	3656,56	0,45	0,4	0,42	5,64	0,84	0,18	2,66	1,1	7,46
6	2742,42	0,4	0,35	0,37	5,44	0,92	0,14	0	3,91	7,59
7	1828,28	0,35	0,3	0,32	4,84	0,89	0,11	2,66	3,86	8,94
8	914,14	0,25	0,25	0,25	4,06	0,88	0,06	2,66	3,81	7,94

NÚMERO DE FILTROS H14 POR SALA

Salas	Q _{imp} [m ³ /h]	Nº filtros	Tipos de filtro (Q _{nom} [m ³ /h])				
			150	300	600	900	1200
S1	250	1		1			
S2	350	1			1		
S3	5400	5			1		4
S4	250	1		1			
S5	300	1		1			
S6	3850	4		1			3
S7	200	1		1			
S8	250	1		1			
S9	300	1			1		
S10	5400	4			1		4
S11	150	1		1			
S12	350	1		1			
S13	3900	4		1			3
S14	150	1		1			
S15	250	1		1			
S16	5300	5			1		4
S17	250	1		1			
S18	150	1		1			
S19	400	1			1		
S20	250	1		1			
S21	200	1		1			
S22	550	1			1		

S23	3800	4		1			3
S24	1100	1					1
S25	250	1		1			
S26	600	1			1		
S27	5300	4			1		4
S28	250	1		1			
S29	150	1		1			
S30	400	1			1		
S31	250	1		1			
S32	200	1		1			
S33	550	1			1		
S34	3950	4		1			3
S35	1100	1					1
S36	250	1		1			
S37	650	1			1		
S38	200	1		1			
S39	350	1		1			
S40	1200	2			2		
S41	1050	1					1
S42	3150	3				1	2
S43	400	1			1		
S44	300	1		1			
S45	300	1		1			
S46	2400	2					2
S47	100	1		1			

S48	5250	5			1		4
S49	3200	3				1	2
S50	5900	5					5
S51	3250	3				1	2
S52	3150	3				1	2
S53	150	1		1			
S54	150	1		1			
S55	4050	4			1		3

NÚMERO DE REJILLAS POR SALA

Salas	Q _{ret} [m ³ /h]	Q _{nom} [m ³ /h]	Nº de rejillas	Alto/ Ancho	V [m/s]	ΔP [Pa]
S1	148,61	150	150	100/300	1,7	0,8
S2	256,55	300	300	100/300	1,5	0,5
S3	5543,09	5550	1000	200/900	1,6	0,7
S4	355,71	400	400	100/300	2	1,1
S5	208,46	250	250	100/300	1,7	0,9
S6	3955,3	4000	1000	200/900	1,6	0,7
S7	98,61	100	100	100/300	1,7	0,8
S8	156,55	200	200	100/300	1,4	0,4
S9	206,55	250	250	100/300	1,7	0,9
S10	5543,09	5550	1000	200/900	1,6	0,7
S11	225,59	250	250	100/300	1,7	0,9
S12	274,41	300	300	100/300	1,5	0,5
S13	4005,3	4050	1100	200/900	1,8	0,8
S14	56,55	100	100	100/300	1,7	0,8

S15	29,99	50	100	100/300	1,7	0,8
S16	5226,48	5250	1100	200/900	1,8	0,8
S17	373,16	400	200	100/300	1,4	0,4
S18	138,16	150	150	100/200	2,7	2
S19	235,21	250	250	100/300	1,7	0,8
S20	114,92	150	150	100/300	1,7	0,8
S21	309,2	350	350	100/300	1,7	0,8
S22	436,61	450	150	100/300	1,7	0,8
S23	3670,82	3700	1100	200/900	1,8	0,8
S24	965,07	1000	250	100/300	1,7	0,8
S25	440,59	450	150	100/300	1,7	0,8
S26	723,16	750	250	100/300	1,7	0,9
S27	5226,48	5250	1100	200/900	1,8	0,8
S28	429,32	450	150	100/300	1,7	0,8
S29	138,16	150	150	100/300	1,7	0,8
S30	258,97	300	300	100/300	1,5	0,5
S31	212,2	250	250	100/300	1,7	0,8
S32	188,16	200	200	100/300	1,4	0,4
S33	436,61	450	150	100/300	1,7	0,8
S34	3820,82	3850	1000	200/900	1,6	0,7
S35	965,07	1000	250	100/300	1,7	0,8
S36	440,59	450	150	100/300	1,7	0,8
S37	705,66	750	250	100/300	1,7	0,8
S38	76,34	100	100	100/300	1,7	0,8
S39	282,5	300	150	100/300	1,7	0,8

S40	1545,8	1550	550	100/300	1,8	0,8
S41	994,34	1000	250	100/300	1,7	0,8
S42	2915,52	2950	1000	200/900	1,6	0,7
S43	388,16	400	400	100/300	2	1,1
S44	263,96	300	300	100/300	1,5	0,5
S45	258,38	300	300	100/300	1,5	0,5
S46	2400	2400	1000	200/900	1,6	0,7
S47	100	100	150	100/300	1,7	0,8
S48	5484,84	5500	1000	200/900	1,6	0,7
S49	3062,44	3100	1100	200/900	1,8	0,8
S50	5802,72	5850	1000	200/900	1,6	0,7
S51	3250	3250	1100	200/900	1,8	0,8
S52	3150	3150	1100	200/900	1,8	0,8
S53	150	150	150	100/300	1,7	0,8
S54	150	150	150	100/300	1,7	0,8
S55	4050	4050	1100	200/900	1,8	0,8