

Establecimiento industrial dedicado a logística militar

Leandro Ruiz Lozano
Alfonso J. Muñoz Ortega
Miguel Martínez Medina

Índice

1. Normativa	1
1.1. Código Técnico de la Edificación	1
1.2. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. Parte II	2
2. Diseño de la instalación de ventilación de la planta bajo rasante	3
2.1. Descripción de la planta	3
2.2. Instalación de ventilación (predimensionado)	4
2.3. Determinación del punto de funcionamiento de la instalación	6
2.3.1. Determinación de los coeficientes de pérdidas de presión	6
2.3.2. Algoritmo de cálculo	6
2.3.3. Resultados y consideraciones de cálculo	7
3. Diseño de la instalación de ventilación de la planta baja	8
3.1. Descripción de la planta	8
3.2. Predimensionado de la red de extracción localizada	9
3.2.1. Mesa de soldadura	9
3.2.2. Pulidora de cinta	10
3.2.3. Campana para torno	11
3.2.4. Campana para mecanizado	11
3.2.5. Amoladora con campana	12
3.2.6. Cabina de laboratorio	13
3.2.7. Trazado y predimensionado de la red	14
3.3. Diseño de los sistemas de filtrado y dimensionado final de la red	15
3.3.1. Selección del filtro ciclónico	15
3.3.2. Selección del filtro de tela para las cabinas de soldadura	16
3.3.3. Selección del filtro de adsorción para la cabina de laboratorio	17
3.3.4. Equilibrado y dimensionado final de la red	17
4. Anexos	19

1. Normativa

En este apartado vamos a resumir la normativa a aplicar en cada instalación de ventilación de nuestro edificio.

1.1. Código Técnico de la Edificación

Sección HS 3. Documento base de salubridad: calidad del aire interior

Los aparcamientos y garajes de edificios de cualquier uso se encuentran bajo el ámbito de aplicación de la sección HS 3 del código técnico de la edificación. Las exigencias a cumplir por parte de nuestro aparcamiento son

- Caracterización y cuantificación de las exigencias
 - El caudal de ventilación mínimo exigido para el aparcamiento será de $150 \frac{l}{s \cdot plaza}$.
- Diseño del sistema de ventilación
 - El sistema de ventilación puede ser natural o mecánico. En nuestro caso será mecánico.
 - La ventilación debe realizarse por depresión, debe ser para uso exclusivo del aparcamiento y puede ser por
 1. extracción mecánica
 2. admisión y extracción mecánica
 - Debe haber una abertura de admisión y otra de extracción por cada $100 m^2$ de superficie útil y la separación entre aberturas de extracción más próximas debe ser de 10 m.
 - Al menos dos terceras partes de las aberturas de extracción estarán a una distancia del techo de 0,5 m o inferior.
 - El número de redes de conductos de extracción con su correspondiente aspirador mecánico viene determinado por el número de plazas del aparcamiento P. De este modo, si $15 \leq P \leq 80$, como es nuestro caso, tendremos que los conductos necesarios son 2.
- Diseño de aberturas y bocas de ventilación
 - Las aberturas de admisión que comunican el local directamente con el exterior deben estar en contacto con un espacio exterior suficientemente grande para permitir que en su planta pueda situarse un círculo cuyo diámetro sea igual a un tercio de la altura del cerramiento más bajo de los que lo delimitan y no menor que 4 m, de tal modo que ningún punto de dicho cerramiento resulte interior al círculo y que cuando las aberturas estén situadas en un retranqueo, el ancho de éste cumpla las siguientes condiciones
 1. sea igual o mayor que 3 m cuando la profundidad del retranqueo esté comprendida entre 1,5 y 3 m
 2. sea igual o mayor que la profundidad cuando ésta sea mayor o igual que 3 m
 - Las aberturas de ventilación en contacto con el exterior deben disponerse de tal forma que se evite la entrada de agua de lluvia.
 - Las bocas de expulsión deben situarse separadas horizontalmente al menos 3 m de cualquier elemento de entrada de aire de ventilación, del linde de la parcela y de cualquier punto donde pueda haber personas habitualmente que se encuentren a menos de 10 m de distancia de la boca.
 - Las bocas de expulsión deben disponer de mallas anti-pájaros.
- Diseño de conductos de extracción
 - Cada conducto de extracción deberá disponer de un aspirador mecánico en la boca de expulsión.
 - La sección de cada tramo del conducto comprendido entre dos puntos consecutivos con aporte o salida de aire debe ser uniforme.

- Deben tener un acabado superficial que dificulte su ensuciamiento
 - Deben aislarse térmicamente si se preve que se va a alcanzar la temperatura de rocío.
- Diseño de aspiradores mecánicos
 - Deben disponerse en un lugar accesible para su limpieza.
 - Debe disponerse un sistema automático que actúe de forma que todos los aspiradores funcionen simultáneamente e impedir la inversión de desplazamiento de aire en todos los puntos.

SI 3(8). Control del humo de incendio

En los aparcamientos que no tengan la consideración de aparcamiento abierto, como es nuestro caso, tendremos que implantar un sistema de control del humo de incendio capaz de garantizar dicho control durante la evacuación de sus ocupantes. El diseño, cálculo y mantenimiento del sistema pueden realizarse de acuerdo con las normas UNE 23585:2004 y EN 12101-6:2005.

1.2. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. Parte II

Es en el artículo 2 del reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE) donde se define su ámbito de aplicación. Así, se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

El RITE se aplicará a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas en los edificios construidos, en lo relativo a su reforma, mantenimiento, uso e inspección, con las limitaciones que en el mismo se determinan.

De modo que las normas a aplicar en la instalación de ventilación de nuestra planta de proceso serán las que encontremos en la parte II de dicho reglamento, instrucciones técnicas.

IT 1.1. Exigencia de bienestar e higiene

- La calidad térmica del ambiente será satisfecha cuando los parámetros que definen el bienestar térmico se encuentren dentro de unos valores establecidos. Dichos parámetros son la temperatura operativa y humedad relativa, que dependen de la actividad metabólica de las personas y de su grado de vestimenta; velocidad media del aire e intensidad de la turbulencia.
- Con respecto a la calidad del aire interior, en los edificios donde no es aplicable la normativa expuesta en la sección HS 3 del CTE, se dispondrá de un sistema de ventilación para el aporte del suficiente caudal de aire exterior que evite, en los distintos locales en los que se realice alguna actividad humana, la formación de elevadas concentraciones de contaminantes.
- En función del uso del local, distinguimos el aire de extracción en cuatro categorías
 - AE1, bajo nivel de contaminación: aulas, oficinas, salas de reuniones.
 - AE2, moderado nivel de contaminación: vestuarios, bares, almacenes.
 - AE3, alto nivel de contaminación: aseos, laboratorios químicos, habitaciones de fumadores.
 - AE4, muy alto nivel de contaminación: Extracción de campanas de humos, locales para manejo de pinturas.
- En cuanto a la calidad del ambiente acústico, las instalaciones térmicas de los edificios deben cumplir la exigencia del documento DB HR, protección frente al ruido del CTE, que les afecten. El objetivo de este requisito básico consiste en limitar dentro de los edificios, y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios. Para satisfacer este objetivo, los

edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus recintos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los recintos.

IT 1.3.4.2. Redes de tuberías y conductos

- Los conductos de aire deben cumplir en materiales y fabricación, las normas UNE-EN 12237 para conductos metálicos, y UNE-EN 13403 para conductos no metálicos y su revestimiento interior de los conductos resistirá la acción agresiva de los productos de desinfección, y su superficie interior será tal que permita soportar los esfuerzos a los que estará sometida durante las operaciones de limpieza mecánica que establece la norma UNE 100012 sobre higienización de sistemas de climatización.
- La velocidad y la presión máximas admitidas en los conductos serán las que vengan determinadas por el tipo de construcción, según las normas UNE-EN 12237 para conductos metálicos y UNE-EN 13403 para conductos de materiales aislantes.
- Para el diseño de los soportes de los conductos se seguirán las instrucciones que dicte el fabricante, en función del material empleado, sus dimensiones y colocación.

IT 2.2.5. Pruebas de recepción de redes de conductos de aire

- La limpieza interior de las redes de conductos de aire se efectuará tras el montaje de la red y de la unidad de tratamiento de aire, pero antes de conectar las unidades terminales y de montar los elementos de acabado y los muebles.
- En las redes de conductos se cumplirá con las condiciones que prescribe la norma UNE 100012.
- Antes de que una red de conductos se haga inaccesible por la instalación de aislamiento térmico o el cierre de obras de albañilería y de falsos techos, se realizarán pruebas de resistencia mecánica y de estanquidad para establecer si se ajustan al servicio requerido.
- Para la realización de las pruebas las aperturas de los conductos, donde irán conectados los elementos de difusión de aire o las unidades terminales, deben cerrarse rígidamente y quedar perfectamente selladas.
- El caudal de fuga admitido se ajustará a lo indicado en el proyecto, de acuerdo con la clase de estanquidad elegida.

IT 2.3.2. Sistemas de distribución y difusión de aire

La empresa instaladora realizará el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución y difusión de aire de tal modo que

- se deben conocer caudal nominal y presión así como caudal nominal en cada ramal.
- el punto de trabajo de cada ventilador deberá ser ajustado al caudal y presión de diseño.
- las unidades terminales de impulsión y retorno serán ajustadas al caudal de diseño.

2. Diseño de la instalación de ventilación de la planta bajo rasante

2.1. Descripción de la planta

Se trata de una planta de 45.8 m de largo, y 32.75 m de ancho, obteniendo en total 1500 m² de superficie. La planta bajo rasante consta de un aparcamiento con capacidad para al menos 50 vehículos, una sala de máquinas (sala de control y sala de equipos y máquinas para todo el establecimientos) y unos aseos. La configuración final de la planta ha quedado como se indica en el plano:

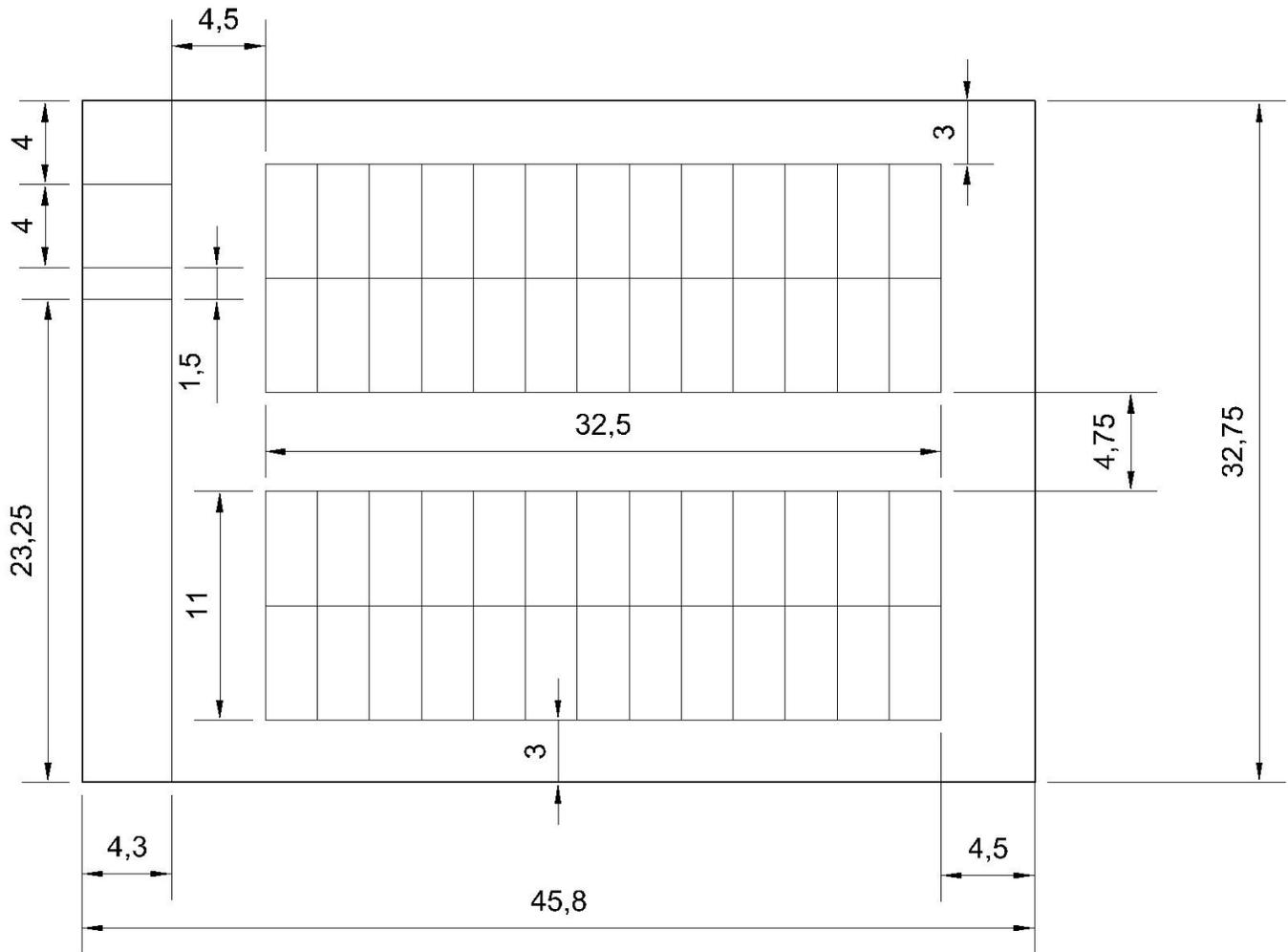


Figura 1: Vista en planta del aparcamiento.

2.2. Instalación de ventilación (predimensionado)

Se instalará un sistema mecánico de extracción de humos por depresión, capaz de soportar un incendio (400°C/2h). Según el Documento Base de Salubridad y Calidad de Aire Interior del CTE, el sistema deberá ser capaz de extraer 15 l/s por cada plaza de aparcamiento. Al tener más de 15 plazas (52), hay 2 redes de conductos independientes. Cada red de conductos deberá extraer al menos un caudal de:

$$Q_{red} = \frac{150 \cdot 3,6 \cdot 52}{2} = 14040 \text{ m}^3/\text{h}$$

Debemos situar una abertura de admisión y otra de extracción cada 100 m², de modo que la distancia entre dos aberturas de extracción más próximas sea inferior a 10 m. Se ha diseñado la red con 15 puntos de aspiración repartidos de modo que se garantice una renovación eficaz del aire interior. Además, las aberturas de admisión se

situarán a lo largo del perímetro del edificio. Podemos ver la distribución de las redes de extracción, así como de las aberturas de admisión y extracción en la siguiente figura:

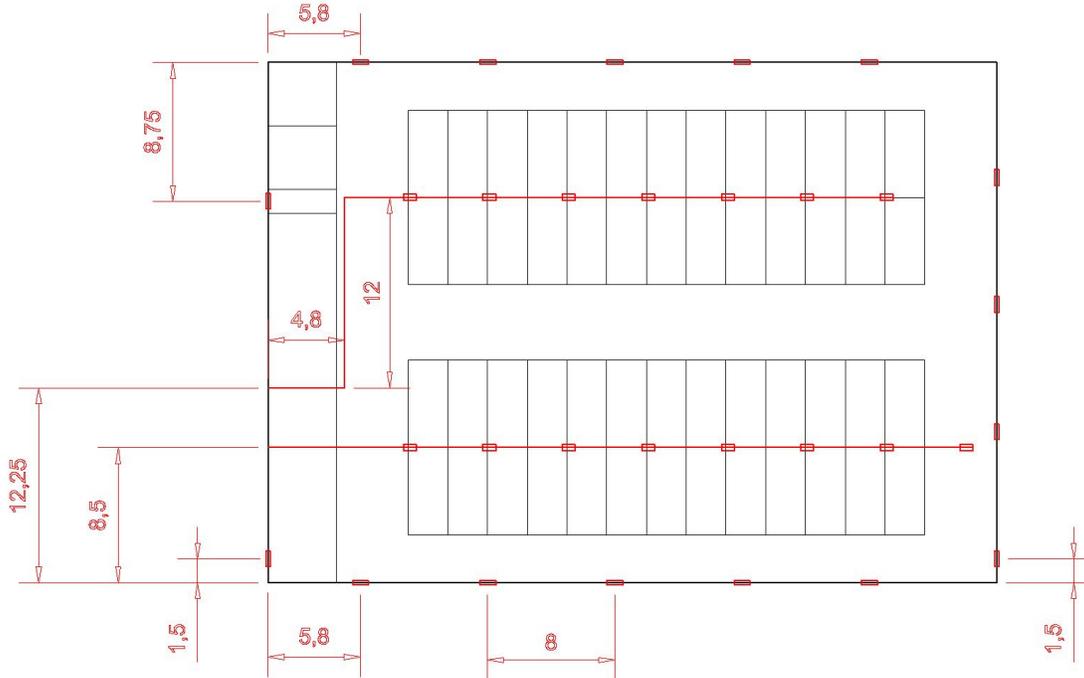


Figura 2: Distribución de la instalación de ventilación del aparcamiento.

A tal efecto, hemos elegido para cada red un ventilador de extracción modelo CHGT/4-560-6/-1.5 (o bien uno CHGT/4-560-6/-2.2), capaces de extraer un caudal de $14857 \text{ m}^3/\text{h}$ (o bien $16900 \text{ m}^3/\text{h}$). El caudal estimado en cada punto de aspiración es de 520 l/s

La velocidad recomendada para conducciones principales de conductos es de entre 6 y 9 m/s . La sección transversal del conducto, será:

$$S = \frac{14040/3600}{9} = 0,4333 \text{ m}^2 \rightarrow D = 743 \text{ mm}$$

Esto es para conductos de sección circular. En nuestro diseño emplearemos un conducto de sección rectangular. La relación entre la altura (b) y el ancho (a) del conducto será $b/a = 0,75$. Vamos a calcular las dimensiones del conducto rectangular de modo que la pérdida de carga se mantenga constante respecto al conducto circular para el mismo caudal.

$$D = 1,265 \left[\frac{(ab)^3}{a+b} \right]^{0,2} \rightarrow \begin{cases} a = 780 \text{ mm} \\ b = 585 \text{ mm} \end{cases}$$

Tomando dimensiones normalizadas para nuestro conducto, según la norma UNE EN 1505:1997, tendremos que éste será de $800 \times 600 \text{ mm}$.

2.3. Determinación del punto de funcionamiento de la instalación

El punto de funcionamiento de la instalación lo determinamos mediante la intersección de dos curvas: la curva de funcionamiento del extractor, suministrado por el fabricante, y la curva resistente de la instalación, que vamos a calcular ahora.

Las pérdidas de carga en los conductos las determinamos con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$\Delta p = \frac{8Q^2 \rho_{aire}}{\pi^2 D^4} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum K_i \right)$$

D es el diámetro hidráulico, que definimos, para una sección rectangular como

$$D = \frac{2ab}{a+b} = 685,71 \text{ m}$$

2.3.1. Determinación de los coeficientes de pérdidas de presión

Debemos tener en cuenta que las pérdidas de presión tienen dos orígenes distintos. Las pérdidas primarias, son debidas a la fricción del flujo con las paredes del conducto. El coeficiente de fricción asociado a estas pérdidas, λ lo calcularemos con la ecuación:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Además de éstas pérdidas, existen otras, llamadas secundarias, debidas a los cambios de sección, dirección del flujo, obstáculos... Debemos hallar en este caso las pérdidas debidas a la entrada del aire por las rejillas, y las pérdidas por en los codos. Cada rejilla aportará un caudal de $Q_{rejilla} = 0,520 \text{ m}^3/\text{s}$. Estimamos adecuada una velocidad de $2,5 \text{ m/s}$, lo que nos da un área de entrada del aire de $S_{util} = 0,208 \text{ m}^2$. Si nuestras rejillas tienen unas dimensiones de $600 \times 600 \text{ mm}$, la relación entre el área útil y el área total que obtenemos es $r = 0,578$. A partir de las tablas de pérdidas de presión en accesorios, obtenemos

$$k_{rejilla} = 4$$

Por otro lado, para las pérdidas en los codos a 90° , debemos tener en cuenta la relación entre la base y la altura de la sección rectangular, así como la relación entre el radio de la curva que describe el conducto y la base del mismo (relación que tomamos con un valor de 1). Obtenemos entonces la longitud equivalente en relación con la base del conducto. Operando, obtenemos que la longitud equivalente de conducto es:

$$L_{eq} = 7,2 \text{ m}$$

2.3.2. Algoritmo de cálculo

El método que hemos empleado para obtener los caudales y pérdidas de presión reales, a partir de los datos que hemos predimensionado es el siguiente:

1. Fijamos los caudales estimados inicialmente.
2. Calculamos la presión en el punto extremo del conducto principal (a partir de las pérdidas en la rejilla del extremo).
3. Calculamos la presión en cada nodo del conducto principal (considerando únicamente las pérdidas primarias en el mismo).
4. Calculamos los caudales aportados por cada rejilla, considerando las presiones obtenidas y la pérdida de carga en la rejilla.
5. Con estos caudales, volvemos al punto 2, iterando suficientes veces.

Con este procedimiento obtendremos un punto de presión vs. caudal. Repitiendo este proceso para distintos caudales iniciales, obtenemos la curva resistente de la instalación, que ya podremos comparar con la curva presión vs. caudal del extractor.

2.3.3. Resultados y consideraciones de cálculo

Vamos a considerar que la densidad del aire es $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, y su viscosidad cinemática $\nu = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Empleando estas ecuaciones de forma iterativa en todos los tramos de la instalación, podemos obtener la curva resistente de cada red de extracción. Debemos considerar que la expulsión del aire de extracción se realizará a través de la cubierta del edificio. Esto supone una longitud adicional de 12 metros en vertical, con la pérdida de presión adicional que esto conlleva.

Con el fin de equilibrar los caudales de entrada de aire en cada rejilla de extracción, hemos variado sus dimensiones a partir de los 600x600 mm estimados inicialmente. A efectos de cálculo, esto induce unas constantes de pérdidas secundarias que varían entre 2 y 8 (la constante de pérdidas secundarias estimada anteriormente tomaba un valor de 4).

Realizando de nuevo los cálculos, observamos que el extractor escogido anteriormente no proporciona una presión suficiente para satisfacer nuestros requisitos, por lo que utilizaremos en cambio el extractor modelo CHGT/4-630-6/2.2. En la figura podemos ver el nuevo punto de funcionamiento de la instalación.

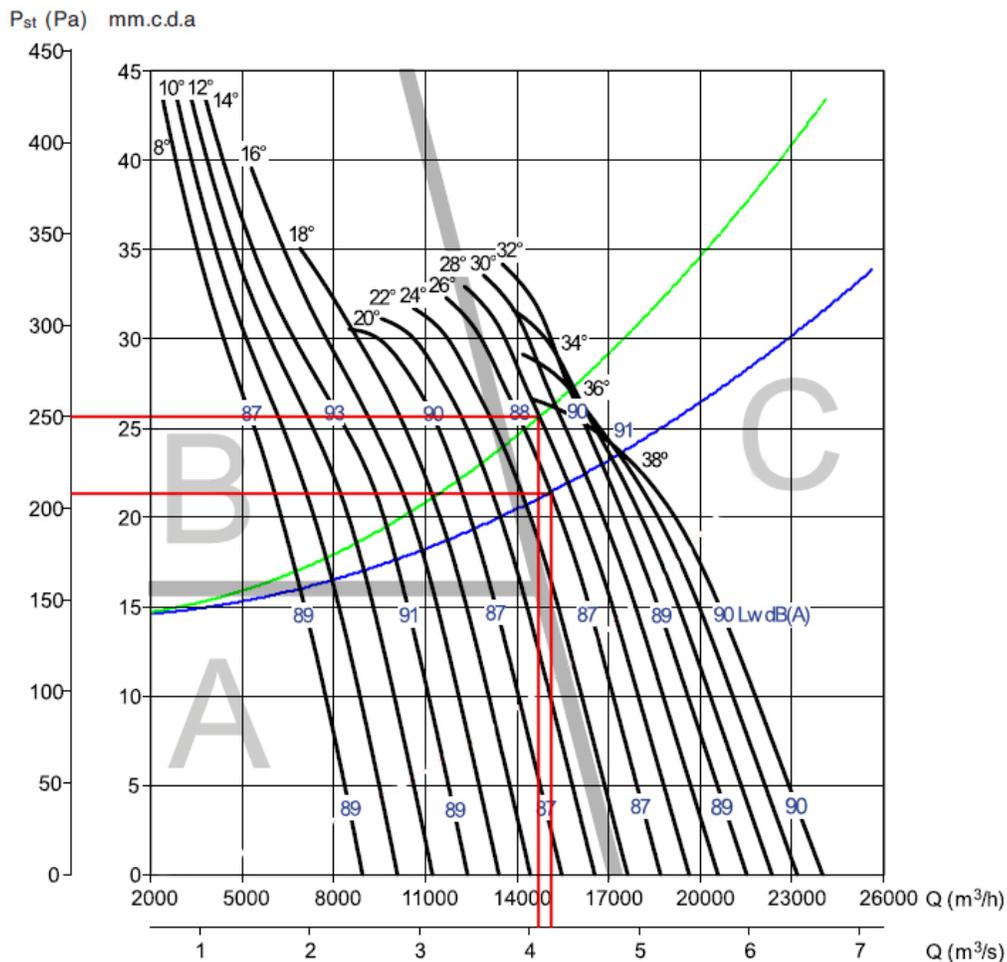


Figura 3: Punto de funcionamiento de la instalación de ventilación del aparcamiento.

Para la primera red orientaremos los álabes del extractor a 26° , y para la segunda los orientaremos a 28° . El punto de funcionamiento para la Red I se encuentra en $Q_I = 15200 \text{ m}^3/\text{h}$, mientras que para la Red II es de $Q_{II} = 14720 \text{ m}^3/\text{h}$. Podemos ver que ambos quedan por encima del caudal necesario estimado. Estos puntos de funcionamiento implican unas caídas de presión totales de unos $\Delta p_I = 210 \text{ Pa}$ y $\Delta p_2 = 250 \text{ Pa}$. La distribución de caudales de entrada por las rejillas es la siguiente:

Red	$Q_1 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_2 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_3 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_4 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_5 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_6 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_7 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_8 \text{ (m}^3/\text{s)}$
I	0.7253	0.5982	0.4836	0.5390	0.4969	0.4999	0.4511	0.4375
II	0.6963	0.5681	0.6380	0.5203	0.6011	0.5434	0.5275	-

Según el CTE HS 3, no es necesaria la implantación de ningún sistema de filtrado para limpiar el aire extraído del garaje. Según el RITE IT-1.1.4.2.5 la única limitación en el manejo de este aire (que tendrá una calidad AE 5) es que no puede ser empleado como aire de recirculación o de transferencia, y además la expulsión hacia el exterior del aire de estas categorías no puede ser común a la expulsión del aire de las categorías AE 1 y AE 2, para evitar la posibilidad de contaminación cruzada.

En el caso de que deseemos implantar un sistema de filtrado, hemos elegido una unidad de filtración de aire de Salvador Escoda, con una combinación de filtros tal que esté preparado para recibir aire con una muy alta concentración de contaminantes gaseosos y partículas (calidad equivalente ODA 5) y expulsarlo con una calidad equivalente al aire interior de calidad baja (IDA 4).

La solución adoptada es una combinación de un módulo de prefiltrado tipo G4, junto con un filtro final de tipo F6. Estos filtros añaden una pérdida de carga 400 Pa, que junto a las pérdidas de nuestra instalación suponen un total de 650 Pa. El extractor adoptado anteriormente no es válido para esta configuración, por lo que lo sustituiremos por un módulo de ventilación de 800 Pa y $15000 \text{ m}^3/\text{h}$, que se encuentra integrado en la propia unidad de filtración. Además esta solución evita la aparición de pérdidas por una mala unión entre el ventilador y los filtros, o fugas en el ensamblaje de los filtros.

3. Diseño de la instalación de ventilación de la planta baja

3.1. Descripción de la planta

Se trata de una planta de proceso y manipulación de explosivos, munición y armamento. Taller mecánico con 5 máquinas herramienta y 2 cabinas de soldadura. Además, también dispone de unos aseos.

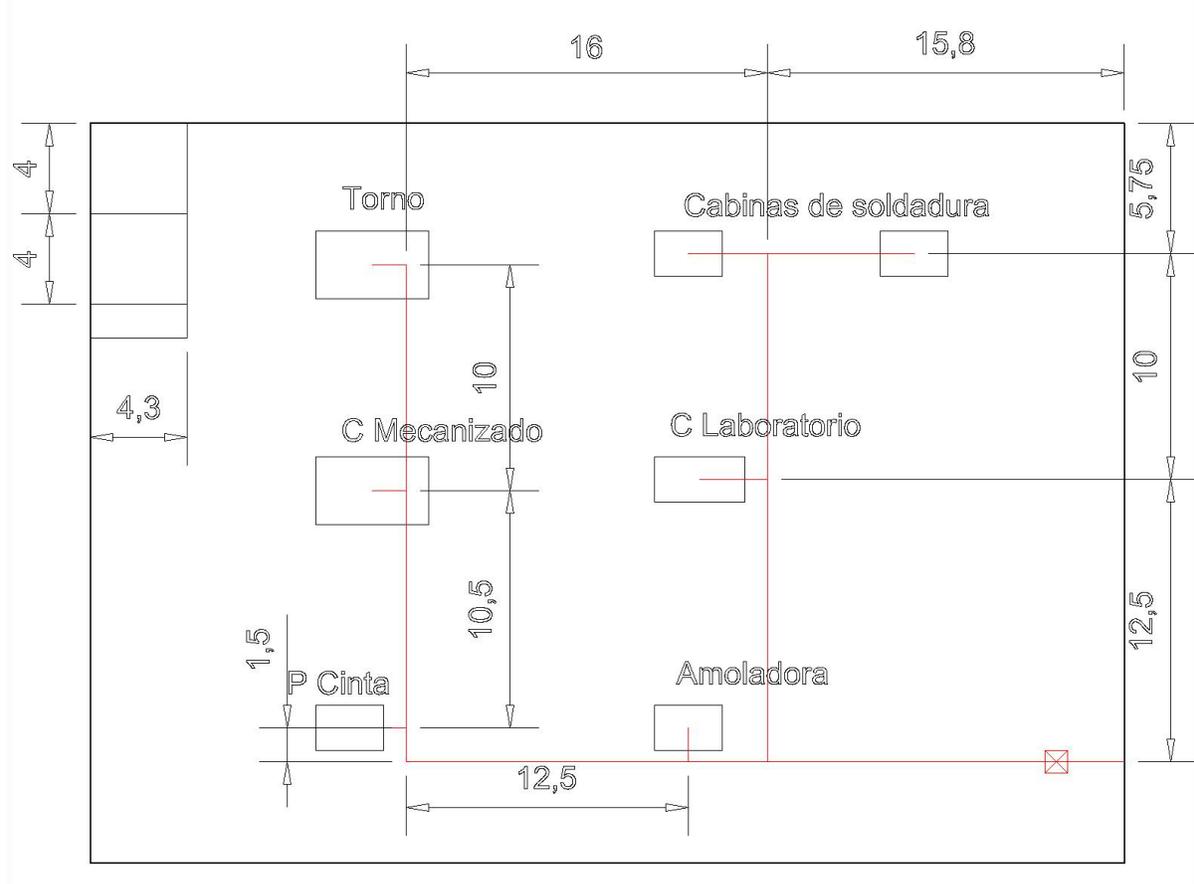


Figura 4: Distribución en planta del taller.

3.2. Predimensionado de la red de extracción localizada

La configuración final de la planta incluye un torno, un puesto de mecanizado de materiales de alta toxicidad, una pulidora de cinta, una amoladora con campana de extracción, una cabina de laboratorio, y 2 mesas de soldadura. Vamos a proceder entonces al cálculo de dichos elementos.

3.2.1. Mesa de soldadura

La mesa de soldadura tendrá una longitud de 1.5 m, y un ancho de 0.6 m. El caudal de extracción necesario será

$$Q = 1,5 \cdot 0,54 \cdot 3600 = 2916 \text{ m}^3/\text{h}$$

Usaremos 2 rendijas, en las que la velocidad debe ser de 5 m/s, por lo que la superficie de cada rendija será de

$$S_{rend} = \frac{2916/3600}{2 \cdot 5} = 810 \text{ cm}^2$$

La velocidad en el conducto debe ser de unos 5 – 15 m/s, y la pérdida de presión en la entrada la podemos calcular como:

$$\Delta p = 1,78PD_{rend} + 0,25PD_{cond}$$

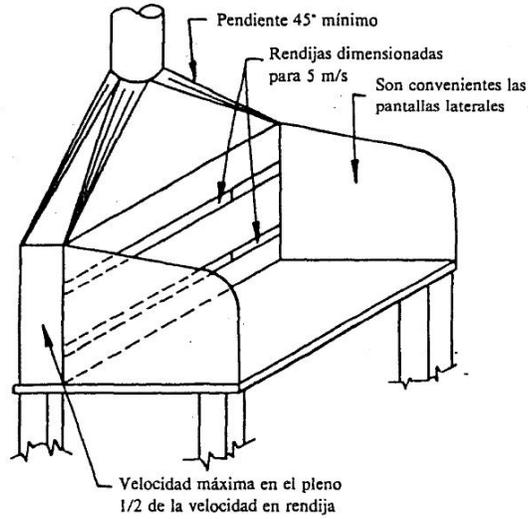


Figura 5: Imagen de la campana de extracción de la mesa de soldadura.

3.2.2. Pulidora de cinta

La pulidora de cinta elegida tiene un ancho de cinta de 200 mm. El caudal de extracción necesario para este elemento es

$$Q = 864 \text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad mínima en el conducto debe ser de unos 18 m/s, y la pérdida de presión (con pieza de transición) la podemos calcular como:

$$\Delta p = 0,45PD$$

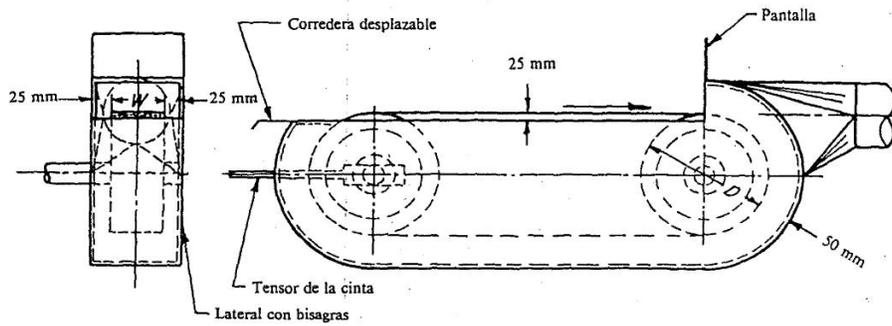


Figura 6: Imagen de la campana de extracción de la pulidora de cinta.

3.2.3. Campana para torno

La superficie abierta de la campana tiene unas dimensiones de 50x30 cm, es decir, $S = 0,15\text{ m}^2$. El caudal de extracción necesario será

$$Q = 1,52 \cdot 0,15 \cdot 3600 = 820,8\text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad mínima en el conducto debe ser de 18 m/s, y la pérdida de presión en la entrada la podemos calcular como:

$$\Delta p = 0,5PD$$

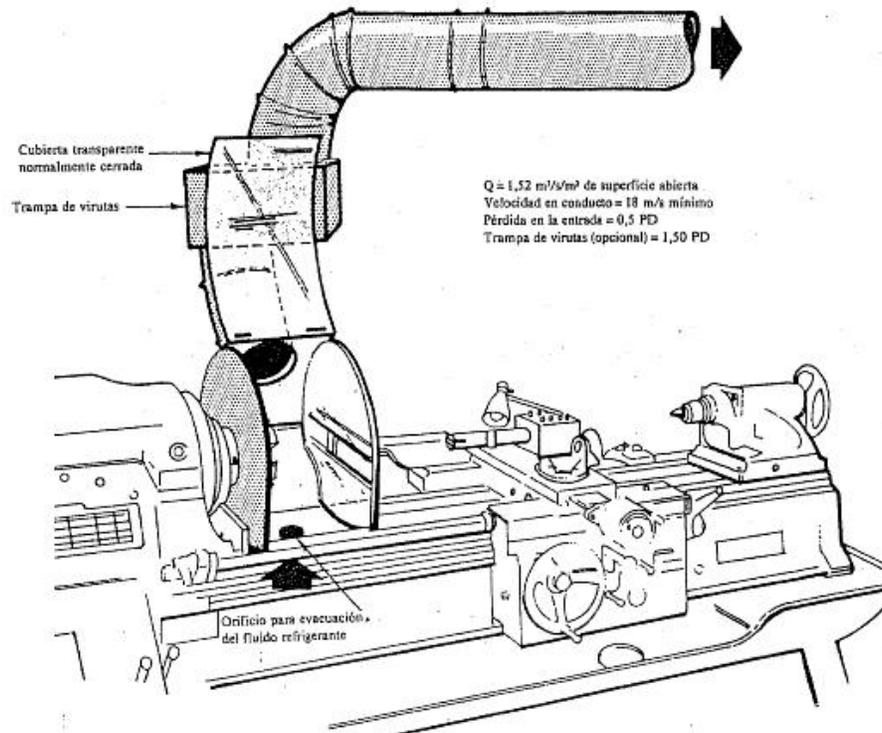


Figura 7: Imagen de la campana de extracción para el torno.

3.2.4. Campana para mecanizado

La superficie abierta de la campana tiene unas dimensiones de 150x80 cm, es decir, $S = 1,2\text{ m}^2$. El caudal de extracción necesario será

$$Q = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 3600 = 6480\text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad mínima en el conducto debe ser de 18 m/s, y la pérdida de presión en la entrada la podemos calcular como:

$$\Delta p = 0,35PD$$

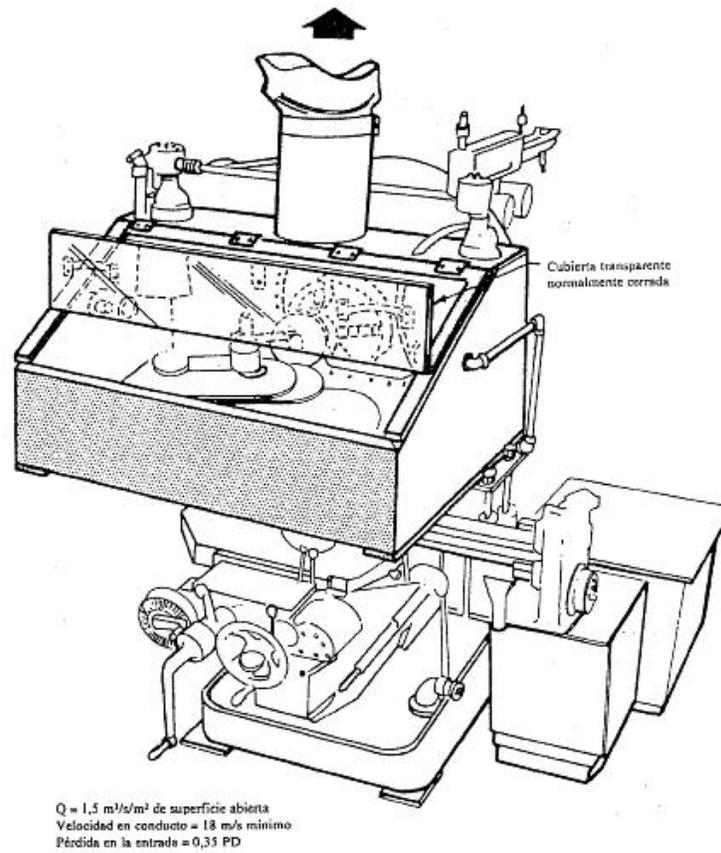


Figura 8: Imagen de la campana de extracción para mecanizado.

3.2.5. Amoladora con campana

Elegimos una amoladora con un diámetro de la muela de 250 mm. El caudal de extracción necesario, considerando un cerramiento escaso será

$$Q = 504 \text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad mínima en el conducto debe ser de 18 m/s, y la pérdida de presión en la entrada la podemos calcular como:

$$\Delta p = 0,40PD$$

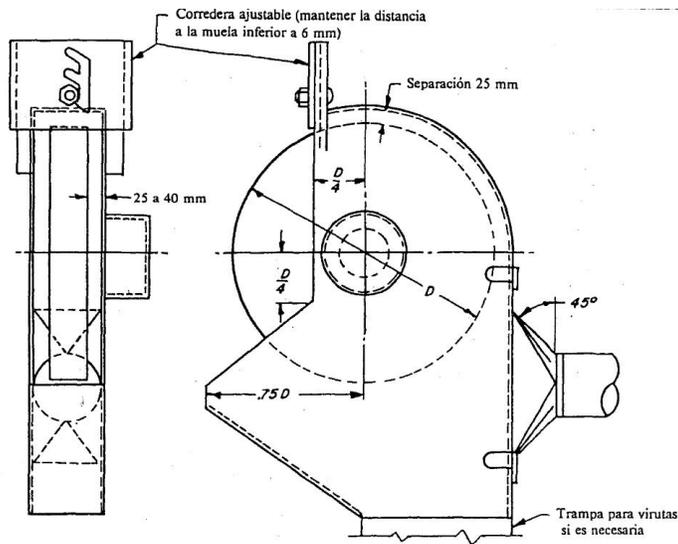


Figura 9: Imagen de la campana de extracción para la amoladora.

3.2.6. Cabina de laboratorio

La cabina de laboratorio tendrá un tamaño frontal de 1.5x0.75 m. La superficie abierta será entonces $S = 0,75 \cdot 0,75 = 0,5625 \text{ m}^2$. El caudal de extracción necesario será

$$Q = 0,3 \cdot 0,5625 \cdot 3600 = 607,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad en el conducto debe ser de unos 5 m/s, y la pérdida de presión en la entrada la podemos calcular como:

$$\Delta p = 0,5PD$$

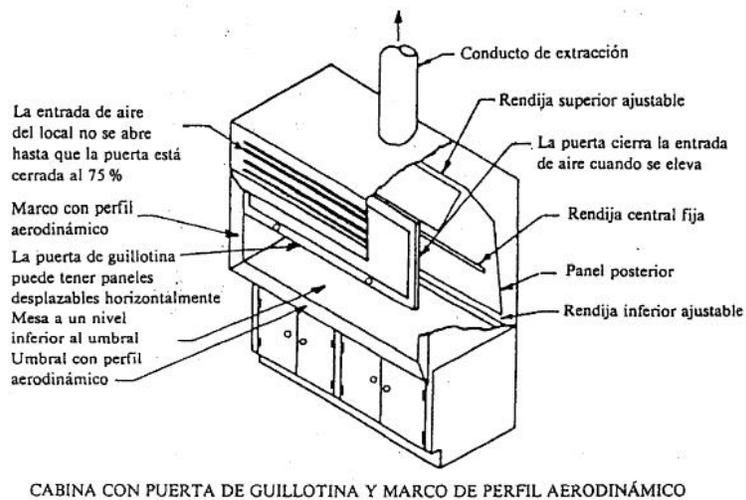


Figura 10: Imagen de la cabina de laboratorio.

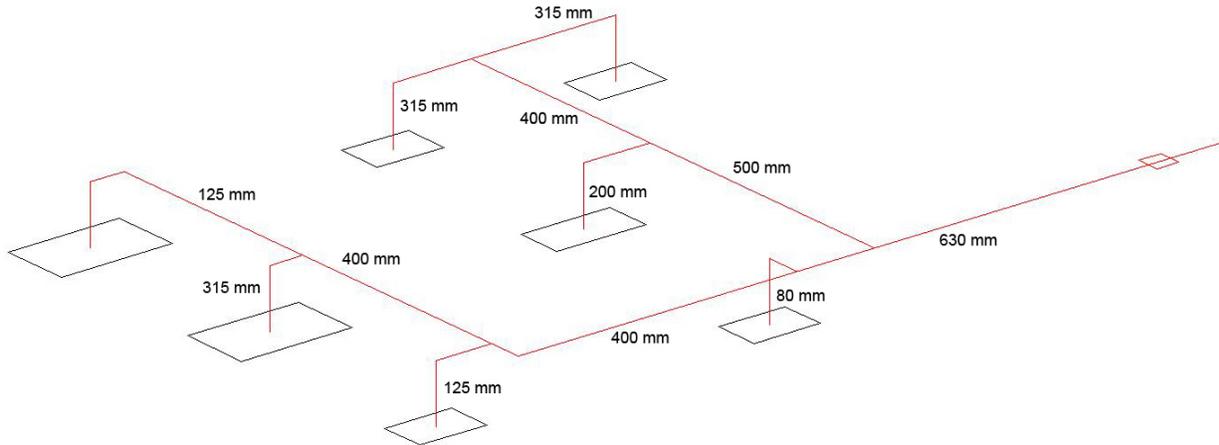


Figura 11: Conductos de extracción de la instalación de ventilación del taller.

3.2.7. Trazado y predimensionado de la red

Una vez determinada la disposición en planta de las distintas máquinas herramienta, el trazado de la red quedará como se indica en la figura. El prediseño de la red de ventilación por extracción localizada, teniendo en cuenta los caudales y velocidades mínimas en conductos de cada elemento, quedará:

En la siguiente tabla podemos ver el caudal de extracción requerido por cada elemento:

Elemento	$Q \text{ m}^3/\text{h}$
Mesas de soldadura	5832
Pulidora de cinta	864
Campana para torno	820.8
Campana para mecanizado	6480
Amoladora con campana	504
Cabina de laboratorio	607.5
Total	15108.48

Además de este prediseño, que deja la red de conductos muy desequilibrada en presiones, hemos llevado a cabo un prediseño por el método de la fricción constante. A partir de este prediseño hemos recalculado los caudales en las distintas ramas de la instalación, usando un procedimiento similar al llevado a cabo en la instalación de ventilación de la planta bajo rasante. De este modo, hemos obtenido como punto de funcionamiento el correspondiente a:

$$Q_{total} = 4,8618 \text{ m}^3/\text{s} = 17502,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p = 110,3 \text{ Pa}$$

El caudal de extracción real en cada elemento será:

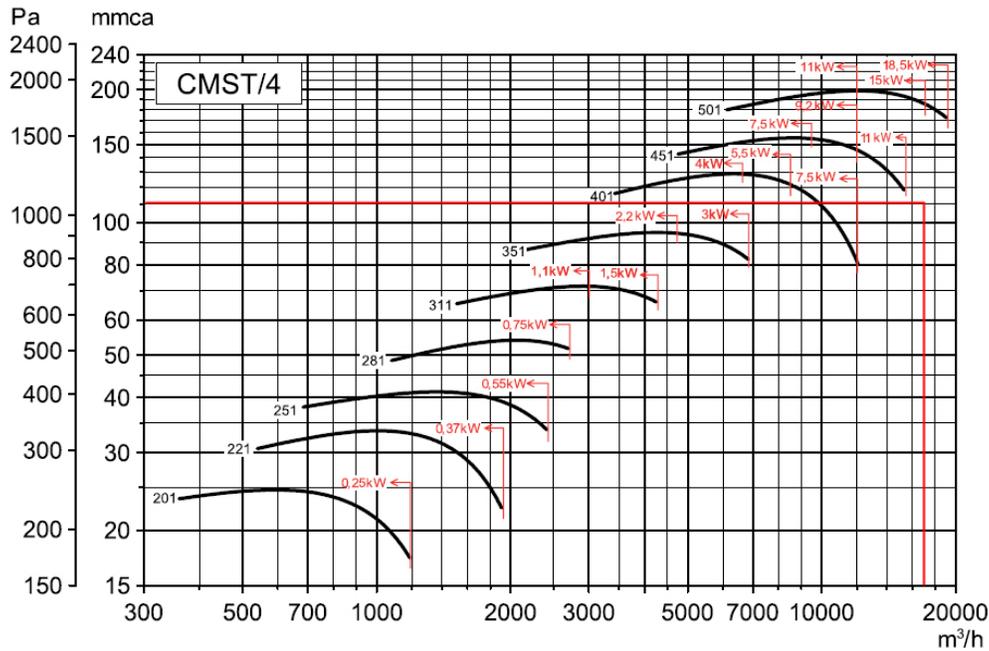


Figura 12: Punto de funcionamiento para el predimensionado de la red de ventilación del taller

Elemento	$Q \text{ m}^3/\text{h}$
Mesas de soldadura	7209.6
Pulidora de cinta	982.5
Campana para torno	732.7
Campana para mecanizado	7246.3
Amoladora con campana	714.6
Cabina de laboratorio	610.8
Total	17502.5

El extractor que hemos elegido para la instalación es el modelo CMST/4-501 - 18.5, de 18.5 kW de potencia. La curva de funcionamiento del motor es la siguiente:

3.3. Diseño de los sistemas de filtrado y dimensionado final de la red

Se han definido dos tipos diferenciados de partículas que circularán por nuestra instalación. Por un lado, los elementos de mecanizado (cabina de mecanizado, torno, amoladora, y pulidora) producirán un polvo metálico, con partículas de alta densidad y tamaño medio-variable. Para filtrar estas partículas hemos seleccionado un filtro ciclónico. Por otra parte, las cabinas de soldadura producirán humos metálicos que filtraremos con un filtro de tela. La cabina de laboratorio utilizará un filtro de adsorción de humos químicos.

3.3.1. Selección del filtro ciclónico

Para la selección de los filtros ciclónicos hemos tenido en cuenta el caudal conjunto de extracción de los elementos de mecanizados, así como los requerimientos dimensionales impuestos por el espacio disponible en el taller (al

tratarse de una planta de un edificio, estaremos limitados principalmente por la altura). El caudal de aire filtrado es de aproximadamente 8700 m³/h. Hemos seleccionado el modelo 4-CL45-20 de Casiba.

A partir de la curva presión-caudal proporcionada por el fabricante, hemos obtenido un ajuste de regresión de la misma. La ecuación de pérdidas aproximada del filtro ciclónico es:

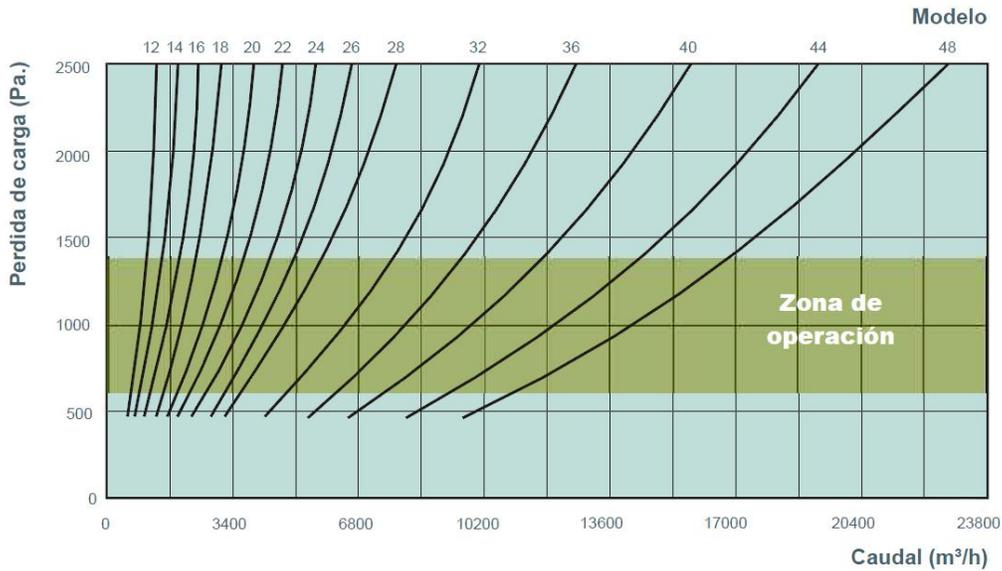


Figura 13: Curva de funcionamiento de filtros ciclónicos CL-45.

$$\Delta p = 1,587 \cdot 10^{-4} Q^2 - 0,099Q + 220,83$$

donde obtenemos la caída de presión en Pa, introduciendo el caudal en m³/h. Ya podemos añadir esta ecuación al modelo de cálculo que hemos programado para hacer el equilibrado de la red. Hay que tener en cuenta además que, dado que utilizamos un conjunto de 4 filtros ciclónicos, para entrar en esta curva (o usar la ecuación) habrá que dividir el caudal total por 4. La pérdida de carga es la misma, pues los ciclones están colocados en paralelo.

3.3.2. Selección del filtro de tela para las cabinas de soldadura

Para las cabinas de soldadura, tenemos un caudal de filtrado de unos 6000 m³/h aproximadamente. No hemos encontrado filtros que sean capaces de filtrar este caudal manteniendo una pérdida de carga razonable. Por lo tanto, vamos a emplear 2 de estos filtros, uno para cada cabina de soldadura. Utilizaremos el filtro de bolsa de alta eficiencia HF8-595x595x769. Del mismo modo que en el filtro ciclónico, vamos a obtener la ecuación de pérdidas del filtro de tela.

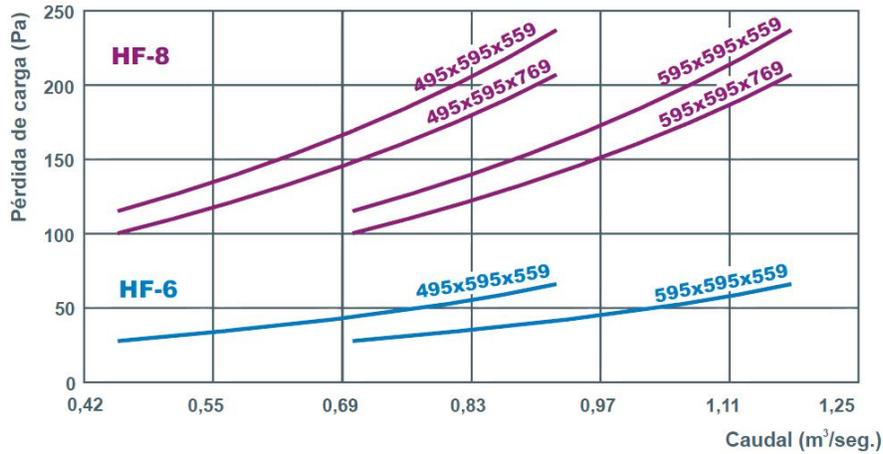


Figura 14: Curva resistente del filtro de bolsa de alta eficiencia HF8.

$$\Delta p = 145,63Q^2 - 49,57Q + 62,94$$

obteniendo la caída de presión en Pa, a partir del caudal en m^3/s . Añadiremos también esta ecuación en el modelo de cálculo.

3.3.3. Selección del filtro de adsorción para la cabina de laboratorio

Para la cabina de laboratorio suponemos que se trabajará con diversos productos químicos y que tendrán lugar procesos químicos para la investigación y desarrollo de armamento y técnicas militares. Por tanto, podemos concluir que necesitaremos colocar un filtro de adsorción, preferidos para aquellos ambientes donde existe un amplio espectro de gases a controlar o cuando el espacio es limitado y no es posible montar etapas de filtrado diferentes. En la tabla siguiente mostramos los gases atrapados por los diferentes filtros adsorbentes.

MEDIA RECOMENDADA	NH ₃	CL ₂	HF	H ₂ S	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	SO ₂	SO ₃	HC	Clase UL
Purafil Chemisorbant Select			●	●	●			●	●	●		1
Purafil Chemisorbant			●	●	●			●	●	●		1
Puracarb		●		●					●			2
Purakol		●	●			●		●			●	-
Cp-Blend		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	1
Purakol AM	●											-
Clorosorb		●										1

Figura 15: Tabla de selección de los distintos tipos de filtros de adsorción

En nuestro caso, escogeremos el filtro CP-BLEND, pues es capaz de obstruir casi la totalidad de los gases producidos. Acerca de la caída de presión, el fabricante nos asegura una pérdida de carga baja, sin especificar ningún valor ni gráfica de funcionamiento. De modo que hemos optado por suponer una caída de presión igual a la producida por el filtro de bolsa seleccionado para las cabinas de soldadura, “curándonos así en salud”, ya que las pérdidas en este elemento serán menores que en los filtros de bolsa.

3.3.4. Equilibrado y dimensionado final de la red

Al añadir los filtros en la red, aumentarán considerablemente las pérdidas de carga en la misma. Además, como podemos ver en el predimensionado de la red, el caudal de extracción es muy elevado. Por estos dos motivos, y para

simplificar el diseño de la instalación, vamos a dividir en dos la red de extracción. Por un lado extraeremos el aire del torno, cabina de mecanizado, amoladora y pulidora, y por el otro extraeremos el aire de las mesas de soldadura y de la cabina de laboratorio.

La instalación quedará por lo tanto de la siguiente manera:

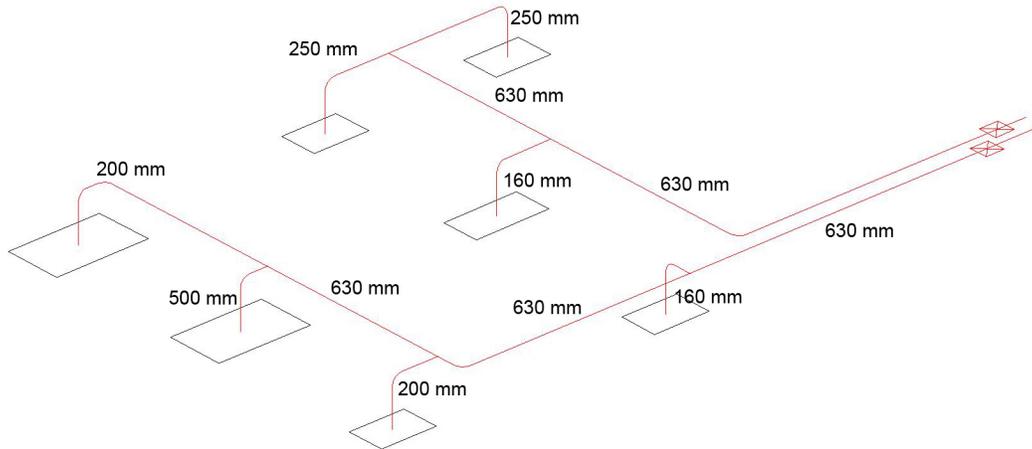


Figura 16: Diagrama de la red de extracción localizada con los diámetros correspondientes a cada tramo de tuberías

En este caso, el punto de funcionamiento de cada red queda reflejado en la siguiente gráfica:

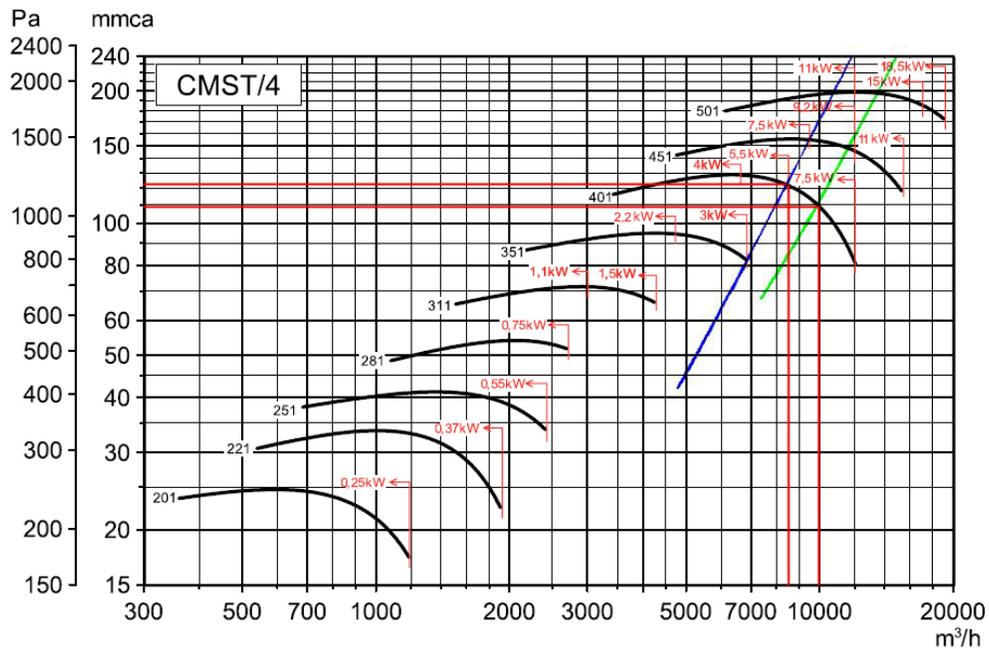


Figura 17: Punto de funcionamiento de la instalación de extracción localizada

Como vemos en la figura, los extractores que utilizaremos son en ambos casos el modelo CMST/4-401/7.5. Los

caudales de aire de extracción en cada elemento son los siguientes:

Elemento	$Q \text{ m}^3/\text{h}$
Mesa de soldadura 1	3577.2
Mesa de soldadura 2	3528.7
Pulidora de cinta	1007.7
Campana para torno	758.1
Campana para mecanizado	7431.3
Amoladora con campana	732.9
Cabina de laboratorio	1428.1
Total	18464

4. Anexos

Anexo I: Código empleado en el cálculo del punto de funcionamiento del garaje

```
% Calculo de los caudales y caidas de presion en una red de conductos
%
%      (1) | (2) 2 (3) | (4) 4 (5) | (6) 6 (7) | (8) 8
%-----
%          1      |      3      |      5      |      7      |
% (x) - Tramo de tuberia (lo usamos para L, Q)
% x - Entrada de aire (lo usamos para p, Qn)

% Parametros del problema
L(1) = 8.8;
L(2:8) = 5;
Qi = 0.4875; % m3/s
k = [8 8 8 4 3 2 2 2]; % Coeficiente de perdidas secundarias
rho = 1.2;
nu = 1.6e-5;
r = 0.152e-3;

a = 0.8;
b = 0.6;
D = 2*a*b/(a+b);

for h = 1:175
    Qi = (0.5)/200*h;
    Qn(1:8) = Qi;

for j = 1:100
    % Calculamos los caudales que circulan por cada tramo del conducto
    % principal, a partir de los caudales que aporta cada rejilla
    for n = 1:8
        Q(n) = sum(Qn(n:8));
    end
    % Calculamos la presion en el punto final del conducto principal
    Re = 4*Qn(8)/(pi*nu*D);
    lambda = 0.25/(log10(r/D/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
```

```

p(8) = (8*Q(8)^2*rho/(pi*pi*D^4))*(k(8) + lambda*7.2/D);
% Calculamos la presion en cada nudo del conducto principal
for i=1:7
    Re = 4*Q(8-i)/(pi*nu*D);
    lambda = 0.25/(log10(r/D/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
    p(8-i) = p(8-i+1) + 8*Q(8-i+1)^2*rho/(pi*pi*D^4)*(lambda*L(8-i+1)/D);
end
% Con las presiones que hemos calculado, vamos a obtener los nuevos
% caudales
for i=1:8
    for n = 1:10
        Re = 4*Qn(i)/(pi*nu*D);
        lambda = 0.25/(log10(r/D/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
        Qn(i) = sqrt(p(i)*pi^2*D^4/(8*rho*(k(i)+lambda*7.2/D)));
    end
end
end

QQ(h) = sum(Qn)*3600;
Re = 4*sum(Qn)/(pi*nu*D);
lambda = 0.25/(log10(r/D/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
pp(h) = rho*12 + (p(1) + 8*(sum(Qn))^2*rho/(pi*pi*D^4)*(lambda*(L(1)+12+7.2)/D))/9.81;
end

plot(QQ,pp)

```

Anexo II: Código empleado en el cálculo del punto de funcionamiento del taller mecánico

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Calculo de los caudales y caidas de presion en la red de conductos de %
% extraccion localizada del taller de la planta baja, incluyendo las %
% perdidas en los filtros %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear all

% Perdidas de carga a la entrada
k(1) = 0.5; % Torno
k(2) = 0.35; % Cabina de mecanizado
k(3) = 0.45; % Pulidora de cinta
k(4) = 0.25 + 0.445; % Soldadura
k(5) = 0.25 + 0.445; % Soldadura
k(6) = 0.5; % Cabina de laboratorio
k(7) = 0.4; % Amoladora
% Perdida de carga por union de tubos
kk = 0.18;
% Diametros de conductos
D(1) = 0.200;
D(2) = 0.500;
D(3) = 0.200;
D(4) = 0.250;

```

```

D(5) = 0.250;
D(6) = 0.160;
D(7) = 0.160;
D(8) = 0.630; %D23
D(9) = 0.630; %D37
D(10) = 0.630; %D56
D(11) = 0.630; %D69
D(12) = 0.630; %D78
% Longitudes de los distintos tramos
L(1) = 2.5 + 1.5 + 10 + 2*10*D(1);
L(2) = 2.5 + 1.5 + 2*10*D(2);
L(3) = 2.5 + 2.5 + 2*10*D(3);
L(4) = 2.5 + 3.5 + 2*10*D(4);
L(5) = 2.5 + 6.5 + 2*10*D(5);
L(6) = 2.5 + 3 + 2*10*D(6);
L(7) = 2.5 + 1.5 + 2*10*D(7);
L(8) = 10.5; %L23
L(9) = 1.5 + 12.5 + 10*D(9); %L37
L(10) = 10; %L56
L(11) = 11.5 + 15.8 + 2*10*D(11) + 9; %L69 (Considerando la altura)
L(12) = 3.5 + 15.8 + 10*D(12) + 9; %L78 (Considerando la altura)
% Caudales de entrada
Qi(1) = 0.228;
Qi(2) = 1.8;
Qi(3) = 0.24;
Qi(4) = 0.81;
Qi(5) = 0.81;
Qi(6) = 0.1688;
Qi(7) = 0.14;
% Datos del aire y de las tuberias
rho = 1.2;
nu = 1.6e-5;
r = 0.152e-3;
% Parametros de calculo
iter = 30;
for z = 1:100
    % Con esto vamos graduando el punto de funcionamiento que buscamos
    Qi = (0.98 + z*0.05/100).*Qi;

    % Calculamos el caudal acumulado en cada tramo del conducto principal
    Q(1) = Qi(1) + Qi(2); %Q23
    Q(2) = Q(1) + Qi(3); %Q37
    Q(3) = Q(1) + Qi(4) + Qi(5); %Q56
    Q(4) = Q(3) + Qi(6); %Q69
    Q(5) = Q(2) + Qi(7); %Q78

    for n = 1:30
        %%%%% CALCULO EN LA RED 1%%%%%%%%
        % Calculo la presion en el punto 2
        Re = 4*Qi(1)/(pi*nu*D(1));
        lambda = 0.25/(log10(r/D(1)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
        p(2) = (8*Qi(1)^2*rho/(pi*pi*D(1)^4))*(k(1) + lambda*L(1)/D(1));
    end
end

```

```

% Calculo la presion en el punto 3
Re = 4*Q(1)/(pi*nu*D(8));
lambda = 0.25/(log10(r/D(8)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
p(3) = p(2) + (8*Q(1)^2*rho/(pi*pi*D(8)^4))*(lambda*L(8)/D(8));
% Calculo la presion en el punto 7
Re = 4*Q(2)/(pi*nu*D(9));
lambda = 0.25/(log10(r/D(9)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
p(7) = p(3) + (8*Q(2)^2*rho/(pi*pi*D(9)^4))*(lambda*L(9)/D(9));
% Calculo la presion en el punto 8
Re = 4*Q(5)/(pi*nu*D(12));
lambda = 0.25/(log10(r/D(12)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
p(8) = p(7) + (8*Q(5)^2*rho/(pi*pi*D(12)^4))*(lambda*L(12)/D(12));
% Añadimos las perdidas debidas a la inclusion del filtro ciclonico y
% de la subida
p(8) = p(8) + 1.587e-4*(Q(5)*3600/4)^2 - 0.099*(Q(5)*3600/4) + 220.83 + 9*rho;

% Una vez calculadas las presiones en los distintos nodos, voy a calcular
% los caudales de entrada que corresponden a esas presiones
for i = 2:3 % Ramas 2,3 (la rama 1 se queda como al principio)
    for m = 1:iter
        Re = 4*Qi(i)/(pi*nu*D(i));
        lambda = 0.25/(log10(r/D(i)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
        Qi(i) = sqrt(p(i)*pi^2*D(i)^4/(8*rho*(k(i) + kk +lambda*L(i)/D(i))));
    end
end
% Rama 7
for m = 1:iter
    Re = 4*Qi(7)/(pi*nu*D(7));
    lambda = 0.25/(log10(r/D(7)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
    Qi(7) = sqrt(p(7)*pi^2*D(7)^4/(8*rho*(k(7) + kk +lambda*L(7)/D(7))));
end

%%%%% CALCULO EN LA RED 2% % % %
% Calculo la presion en el punto 4-5
Re = 4*Qi(5)/(pi*nu*D(5));
lambda = 0.25/(log10(r/D(5)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
p(5) = (8*Qi(5)^2*rho/(pi*pi*D(5)^4))*(k(5) + lambda*L(5)/D(5));
p(4) = p(5);
% Calculo la presion en el punto 6
Re = 4*Q(3)/(pi*nu*D(10));
lambda = 0.25/(log10(r/D(10)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
p(6) = p(5) + (8*Q(3)^2*rho/(pi*pi*D(10)^4))*(lambda*L(10)/D(10));
% Calculo la presion en el punto 9
Re = 4*Q(4)/(pi*nu*D(11));
lambda = 0.25/(log10(r/D(11)/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
p(9) = p(6) + (8*Q(4)^2*rho/(pi*pi*D(11)^4))*(lambda*L(11)/D(11));
p(9) = p(9) + 145.63*Q(4)^2 - 49.57*Q(4) + 62.94 + 9*rho;
% Una vez calculadas las presiones en los distintos nodos, voy a calcular
% los caudales de entrada que corresponden a esas presiones
% Ramas 4,6 (la rama 5 se queda como al principio)
for m = 1:iter
    Re = 4*Qi(4)/(pi*nu*D(4));

```

```

        lambda = 0.25/(log10(r/D(4))/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
        Qi(4) = sqrt(p(4)*pi^2*D(4)^4/(8*rho*(k(4) + kk + lambda*L(4)/D(4))));
    end
    for m = 1:iter
        Re = 4*Qi(6)/(pi*nu*D(6));
        lambda = 0.25/(log10(r/D(6))/3.7 + 5.74/Re^0.9))^2;
        Qi(6) = sqrt(p(6)*pi^2*D(6)^4/(8*rho*(k(6) + kk + lambda*L(6)/D(6))));
    end

    Q(1) = Qi(1) + Qi(2); %Q23
    Q(2) = Q(1) + Qi(3); %Q37
    Q(3) = Qi(4) + Qi(5); %Q56
    Q(4) = Q(3) + Qi(6); %Q69
    Q(5) = Q(2) + Qi(7); %Q78
end

QQ(z) = Q(4)*3600;
QQ2(z) = Q(5)*3600;
pp(z) = p(9)/9.81;
pp2(z) = p(8)/9.81;

end

plot(QQ,pp)
hold on
plot(QQ2,pp2)

```

Anexo III: Fuentes bibliográficas

- www.casiba.com - Distribuidor de filtros ciclónicos y de adsorción
- www.solerpalau.es - Distribuidor de ventiladores y extractores
- <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/> - Web donde podemos consultar el Código Técnico de la Edificación
- <http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf> - Dirección donde podemos consultar el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios