

ANEXO III. DESCRIPCION DE LAS INSTALACION

1. Introducción

Las líneas de metro más antiguas sólo cuentan con ventiladores de extracción situados en los túneles, y confían las necesidades de renovación de aire en las estaciones a ventosas de compensación e inmisión sin equipamiento electromecánico. Esto es debido a la escasa profundidad de estas estaciones, que facilita la inmisión de aire inducida por la extracción forzada y por el efecto pistón provocado por la circulación de trenes.



Figura 1. Acceso a pozo de extracción.

Es el caso de los tramos más antiguos de las Líneas 1, 2, 4, y 5. La Línea 3 contaba con las mismas características hasta su remodelación en el año 2006, en la que se instalaron equipos electromecánicos de inmisión y se sustituyeron y renovaron todos los equipos de extracción. Los caudales vehiculados en estas líneas rondan los 100.000 – 150.000 m³/h por interestación. Un segundo bloque, tal vez el más representativo del modelo de ventilación característico del Metro, lo conforman los sistemas implantados en las líneas antiguas de gálibo ancho (6,7, 9 y tramo intermedio de la L 10).

Estos sistemas se caracterizan por la existencia de pozos de inmisión equipados con ventiladores, que apoyan la renovación de aire de las zonas visitadas por viajeros, y compensan la extracción forzada de los túneles en ayuda de los pozos de compensación.

Por la geometría angosta de las estaciones, por la gran longitud de los pasillos que interconectan las diferentes zonas de la estación (accesos, vestíbulos, andenes), y por la constitución de los sistemas de difusión del aire captado del exterior en las ventosas de inmisión, el aire se dirige en estos sistemas exclusivamente a la zona de andenes de las estaciones.

Los caudales vehiculados en estas líneas ascienden a los 150.000 – 200.000 m³/h por interestación.



Figura 2: Motoventilador

Por último, los equipamientos de ventilación de las instalaciones correspondientes a los últimos planes de ampliación (de 1995 en adelante) se han adaptado a requerimientos superiores a los de los equipos anteriores, tanto térmicos como de emergencia. Por supuesto, se mantiene la inmisión y extracción forzada, así como los pozos compensación, y el caudal vehiculado oscila entre los 180.000 y 250.000 m³/h por interestación, pudiendo alcanzar los 400.000 m³/h en situaciones de emergencia.



Figura 3. Pozo de extracción

A continuación, se describen los diferentes tipos de pozos de ventilación y se enumeran todos los componentes y subsistemas que entran dentro del Alcance de Servicio (Ver figura 4).

- Pozo de inmisión: Impulsa aire al interior
- Pozo de extracción: Extrae aire hacia el exterior
- Pozo de compensación: Apertura hacia el exterior, no hay equipamiento electromecánico.



Figura 4. Esquema funcional de los pozos de ventilación en la Red de Metro de Madrid.

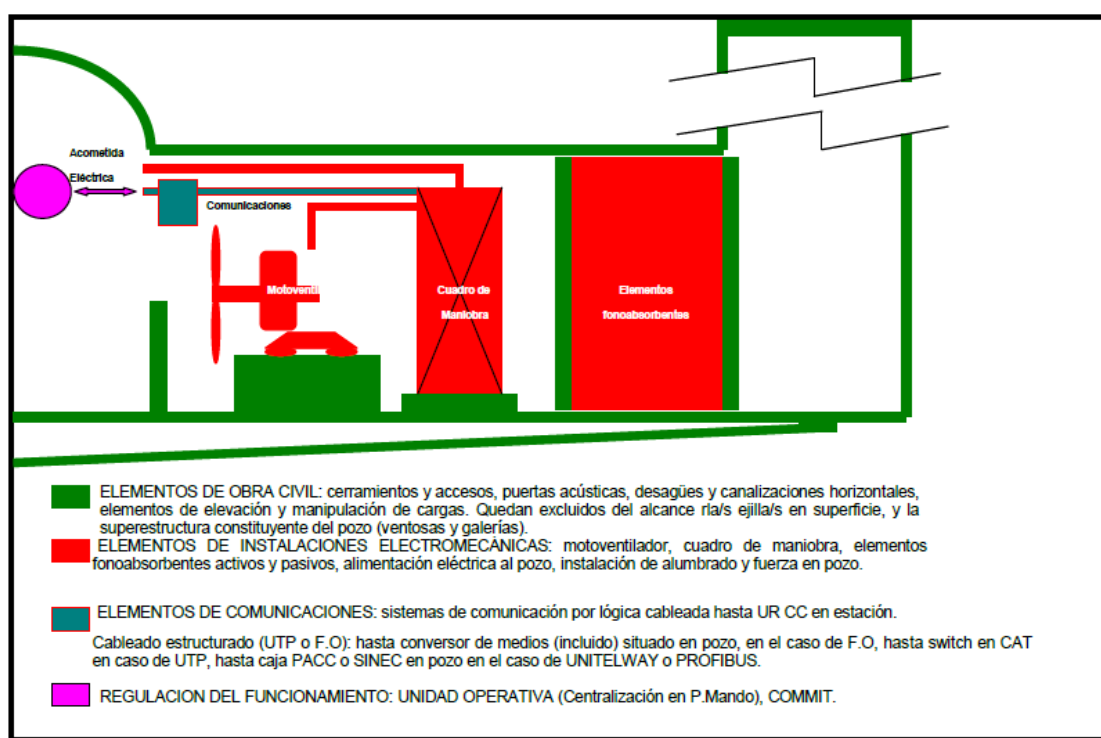


Figura 5. Elementos constituyentes de la Instalación.

2. Instalaciones mecánicas

- Motoventiladores. Generalmente se instalan dos equipos en los pozos de extracción en túnel, y 1 equipo en cada pozo de inmisión de las estaciones. En cada estación hay dos pozos de inmisión, uno por andén. El accionamiento de los ventiladores es realizado por motores eléctricos trifásicos asíncronos, disponiendo por lo general de doble devanado y por tanto de dos velocidades, es decir, dos puntos de funcionamiento, con los que se trata de satisfacer las diferentes demandas (renovaciones mínimas, requerimientos térmicos, condiciones de emergencia).
- Compuertas antiretorno, de sobrepresión o inclinadores, cuya finalidad es controlar el flujo de aire originado por efecto pistón cuando la ventilación se encuentra parada, y además, en los pozos equipados con dos ventiladores, evitar la recirculación de aire cuando funciona sólo uno de los dos equipos.
- Tratamientos acústicos en salas de remanso (paneles de chapa perforada para atenuación de altas frecuencias, puertas acústicas)
- Silenciadores disipativos y/o reactivos en su caso, para la atenuación de las componentes de ruido en medias y bajas frecuencias, precisamente las más complejas de tratar y controlar.
- Vanos directores, destinados a guiar el aire en aquellas secciones de los pozos en los que se producen cambios de directriz, codos, como es el caso del fondo de la ventosa.

3. Instalaciones eléctricas y de control.

- Acometida eléctrica en Baja tensión desde la estación más cercana al pozo, hasta protección de cabecera en CGBT o CTV.
- Cuadro de mando y protección de cada motoventilador, con potencias instaladas de hasta 75 kW por equipo.
- Instalaciones eléctricas en baja tensión de alumbrado, fuerza, y puestas a tierra, en el pozo.
- Cableado de comunicaciones, y sistemas de lógica distribuida para el control y telemando de los equipamientos desde la Red de Control de Instalaciones, hasta la tarjeta de entradas y salidas de la Unidad Remota del Cuarto de Comunicaciones, o hasta el Switch en pozo del equipo, dependiendo de la topología empleada
- Transductores de campo para la medida de presión, caudal, temperatura y humedad relativa, integrados en el sistema de control, para la regulación del funcionamiento de los equipos.

4. Elementos constructivos (fuera del alcance de servicio).

- Pozos, generalmente contruidos por pilotajes y anillos intermedios, que comunican tanto el túnel como las estaciones con el exterior, con profundidades desde 7 m en los pozos de los tramos más antiguos de las Líneas 1 ó 2, hasta los 52 m del pozo de inmisión de Andén I de la estación de Cuatro Caminos 6) y que permiten que el aire entre y salga del sistema de acuerdo a los criterios de diseño.
- Salas o galerías anexas a los pozos para el alojamiento de los equipos mecánicos, eléctricos y de control.

5. Características principales de los equipos que componen el sistema de ventilación

A continuación se describen las características principales de los elementos que componen el sistema, y que deben ser observadas en caso de reposición de componentes o reforma de instalaciones.

A. Ventiladores

Los ventiladores son de tipo helicoidal de construcción normalizada, y están contruïdos de acuerdo al sistema de calidad certificado ISO 9001.

Cuentan con los siguientes elementos:

- Envoltente con aletas enderezadoras de flujo.
- Rodete.
- Motor.
- Tobera de aspiración con rejilla de seguridad.
- Difusor acústico.
- Fijaciones para dispositivos antiretorno / regulación (según requerimientos).
- Marcos especiales para encastrar en muros de fábrica de ladrillo.

En condiciones normales de servicio, los ventiladores deben soportar una temperatura ambiente entre 45º y - 3º C, a una humedad relativa máxima del 90%. En caso de incendio los ventiladores deberán ser capaces de vehicular los gases y productos de combustión a una temperatura de 200 ºC durante un tiempo de funcionamiento no inferior a 2 horas.

La envoltente está formada por una carcasa metálica construida con chapa de acero al carbono calidad AE-235 B de 6 mm de espesor. Se fundamenta sobre unos apoyos de acero al carbono de dimensiones adecuadas, calidad AE-235 B s/EN 10025.

La envoltente lleva incorporada en la aspiración una tobera de aspiración con malla metálica de protección; en la impulsión incorpora aletas directrices y un difusor con tratamiento acústico para la recuperación de la presión estática, unido a la envoltente mediante manguito elástico. Con estos elementos se debe conseguir una eficacia en la recuperación de, al menos, el 40%.

El difusor acústico se compone de chapa ciega exterior de 3 mm. De espesor calidad AE-235 B, lana mineral de 100 mm. La chapa perforada interior tiene espesor 1 mm. Los difusores están contruïdos en dos partes, al objeto de facilitar su traslado.

En todo caso el tamaño de la envoltente está limitado por las características geométricas de las galerías donde deba ir instalado. Incorpora un sensor de vibración (acelerómetro) con acoplamiento M8, rango de medida 0 – 25 mm/s y salida 4 – 20 mA, instalado en un punto específico del ventilador creado al efecto. Incorporan también, según equipamiento, fijaciones especiales para acoplar dispositivos antiretorno o de regulación, tales como válvulas de mariposa, inclinadores, etc.

El rodete suele ir acoplado directamente al motor. Dicho impulsor está constituido por rodete y palas de perfil aerodinámico, ambos contruïdos de aluminio de calidad s/ DIN 1725. La fundición de los alabes es examinada por radiografía después de la mecanización. El suministrador facilita ensayos de laboratorio que demuestran que los alabes se han sometido a las pruebas adecuadas, para asegurar la imposibilidad de fallo prematuro por fatiga del metal en las condiciones de funcionamiento normal. En este sentido se debe considerar que el ventilador podrá estar accionado a través de un variador de frecuencia. El diseño aerodinámico del ventilador asegurará que la potencia máxima absorbida por el impulsor entre dentro del campo normal de trabajo.

El rodete debe asegurarse al eje del motor mediante chaveta y chavetero, según DIN 6885. La ejecución axial debe ser asegurada por una arandela de retención y un tornillo introducido en un taladro roscado en el final del eje. El tornillo debe poder ser bloqueado en la posición adecuada.

El motor de accionamiento es asíncrono, trifásico, con rotor en cortocircuito, doble velocidad (bobinados independientes), y debe estar contruïdo de acuerdo con IEC Publ. 72 y 34. Los motores son autoventilados llevan aislamiento Clase H para alta temperatura, protección mínima IP-55 y están equipados con cojinetes de un mínimo de 25.000 horas de vida, calculadas usando el método ISO 281 para las condiciones de diseño. Los cojinetes y devanados se equipan con sondas tipo CPT.

Los rodamientos son bien autolubricados con engrase permanente, o bien disponen de un sistema que permite la lubricación desde el exterior, sin necesidad de desmontar el ventilador.

El ventilador cuenta con una caja terminal de acuerdo con IEC 34-5 IP-55, montada en el exterior de la envolvente. Por último, tiene la posibilidad de acoplar un transmisor de velocidad (ST) mediante tacómetro o similar. El motor estará previsto para trabajar con un control de velocidad mediante variador de frecuencia.

A continuación, se muestran algunas imágenes ilustrativas de los modelos de ventiladores comúnmente empleados en Metro de Madrid:



Figuras 6. Diferentes modelos y configuraciones de ventiladores

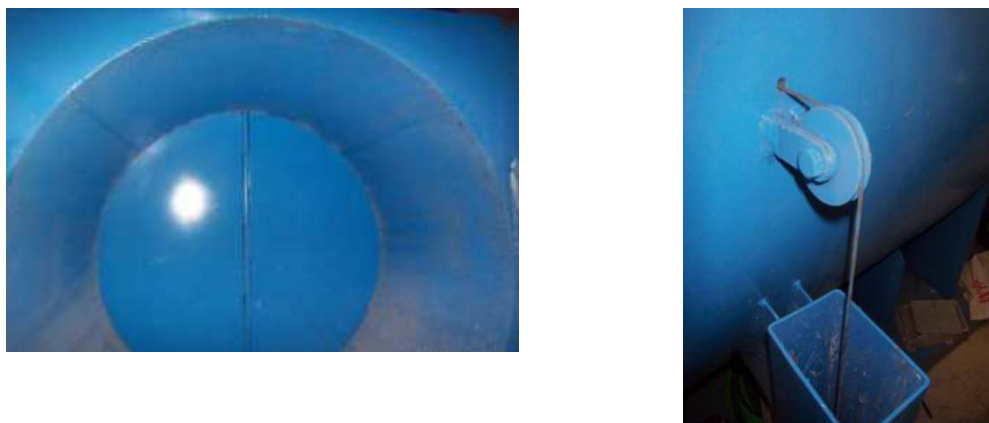
B. Cuadro de Maniobra

El Ofertante podrá solicitar a Metro de Madrid esquemas tipo de los cuadros de maniobra característicos de las instalaciones, si lo considera necesario para la elaboración de la oferta.

C. Compuertas antiretorno e inclinadores (para pozos de extracción equipados con dos ventiladores)

Las válvulas de cierre antiretorno son de tipo mariposa de doble hoja, con eje de giro sobre soporte rodamiento. Están construidas en chapa de calidad S S-235-JR, según norma EN 10025-94, de espesor adecuado al diámetro, caudal y presión a vehicular por el ventilador, con un espesor mínimo análogo al establecido para la envolvente del mismo. Asimismo, a nivel de tratamiento superficial y acabado será análogo al exigido para el ventilador.

La presión generada por el paso de aire hará que se mantenga abierta durante el funcionamiento del ventilador. Con la parada del ventilador se realizará el cierre de la válvula por acción de la gravedad y con la ayuda de contrapesos. Estos contrapesos servirán para estabilizar la válvula cuando se encuentre en posición abierta.



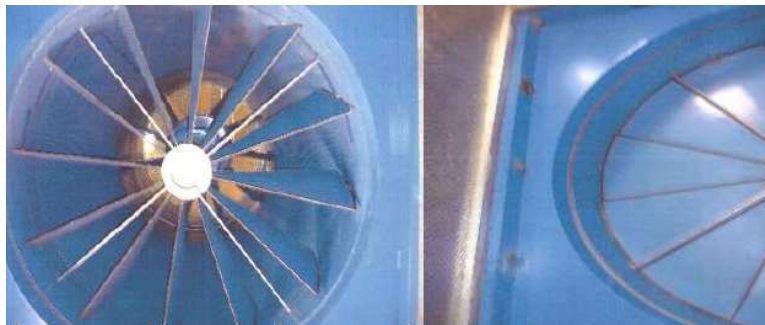
Figuras 7. Sistema de contrapesos para retorno de compuertas de sobrepresión.

Además de los requisitos de estanqueidad establecidos en la norma DIN 1946, cumplirán que, para una presión de 500 Pa, el nivel de fugas será $< 0,15 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

Los inclinadores son válvulas de cierre circular ejecutadas con lamas tronco-cónicas, construidas con análogas consideraciones, a nivel de calidad y espesor, a los indicados anteriormente para las compuertas. En dicho cuerpo se alojan los soportes de los rodamientos de apoyo y giro de los ejes, los cuales están fijados mediante tornillería al cuerpo. Las bielas están construidas en acero laminado de con un espesor mínimo de 5 mm, calidad S-235-JR, según norma EN 10025-94, unidas una a otras a través de tensores para transmitir el movimiento. Disponen de actuadores eléctricos lineales a 400 V, 50 Hz, acoplados directamente a la biela de una lama. El actuador queda situado en tal posición que pueda ser revisado y extraído con facilidad. La posición abierto/cerrado estará controlada por dos finales de carrera.

El inclinador funciona en modo todo/nada, si bien la posición de máxima abertura podrá regularse para limitar el caudal, en caso necesario.

Los inclinadores deben ser capaces de soportar presiones $> 1.000 \text{ Pa}$, y tienen análogo grado de resistencia a la temperatura que el exigido al ventilador asociado ($200^\circ \text{C} / 2 \text{ horas}$). Además de los requisitos de estanqueidad establecidos en la norma DIN 1946, cumplirán que, para una presión de 500 Pa, el nivel de fugas será $< 0,15 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.



Figuras 8. Inclinadores para maniobra de ventiladores.

D. Silenciadores

El silenciador está compuesto por un conjunto de celdillas rectangulares, estando formada cada una de ellas por un armazón de chapa galvanizada de 1 mm de espesor, calidad ST02Z, según DIN 17162, en cuyo interior se coloca el material de absorción sonora. Dichas celdillas o baffles podrán ser de paso constante o variable; asimismo para conseguir una mayor efectividad en la absorción sonora, se puede montar en cada una de las celdillas del silenciador, material absorbente con diferentes densidades. En una parte de la celdilla el material absorbente está protegido por chapa galvanizada y en la parte opuesta por un velo de fibra de vidrio y en la otra parte de la celdilla, el material absorbente está protegido en ambas caras con velo natural negro, complementándose con bandeja de chapa perforada de 0,8 mm de espesor. El material empleado debe ser inorgánico, incombustible e imputrescible, apto para trabajar en medios húmedos sin merma de sus características mecánicas y acústicas.

La característica fonoabsorbente debe acreditarse mediante Ensayo homologado bajo UNE 74041, que la frecuencia de corte del sistema no se encuentre por encima de la banda de 250 Hz. El silenciador deberá garantizar que el nivel sonoro resultante a 1,5 m de la rejilla de salida de aire en la calle sea menor de 45 dBA para el caudal nominal especificado y en las condiciones reales de implantación. A efectos de cálculo se considerará cumple las condiciones sí el nivel teórico resultante, tras el silenciador y solo considerando la amortiguación acústica del mismo, es inferior a 50 dBA, en el caso de que exista un (1) solo ventilador, e inferior a 47 dBA cuando existan dos (2) ventiladores en la misma galería y sean susceptibles de funcionar simultáneamente. Cuando se empleen silenciadores de celdillas en estación se deberá garantizar que, cuando el ventilador funcione a caudal máximo, el nivel sonoro resultante a 1,5

m de la rejilla más desfavorable sea inferior a 55 dBA. A efectos de cálculo se considerará cumple las condiciones sí el nivel teórico resultante, tras el silenciador y solo considerando la amortiguación acústica del mismo, es inferior a 60 dBA. Para el cálculo se deberá considerar el espectro de frecuencias comprendido entre 63 Hz y 8 KHz. La atenuación debe acreditarse mediante ensayo homologado bajo UNE-EN ISO 11691:1995.

El límite superior de la velocidad en los pasos del silenciador será de 0,5 m/s inferior a la velocidad crítica de regeneración de ruido. El silenciador, con los requerimientos antes indicados, deberá ajustarse a la particular geometría de las galerías o chimeneas donde ha de ir ubicado. Para minimizar las pérdidas de carga, los bafles tendrán perfil aerodinámico.



Figura 9. Silenciadores de bafles paralelos

6. Principios de funcionamiento del sistema de ventilacion

A continuación, se describe brevemente el principio de funcionamiento de los motoventiladores en el Sistema de Ventilación de Metro de Madrid. Se establecen 3 niveles de control:

A. Control local en el propio pozo (LOCAL).

Desde los pulsadores marcha/paro existentes en el frontal del cuadro de maniobra de los ventiladores existentes en el pozo, se pueden efectuar maniobras de arranque y parada de los mismos. Se trata del control más rudimentario y menos agregado del sistema, ya que los pozos suelen hallarse ubicados en zonas de la estación poco accesibles, o en el túnel, siendo no obstante su existencia y funcionalidad fundamental de cara a labores de mantenimiento.

B. Control centralizado desde la estación (TCE).

En cada estación se puede teleactuar sobre los ventiladores conectados a la misma por medio de sistemas SCADA, que sirven de interfaz para la maniobra de los equipos, y a su vez permiten señalar las alarmas y averías que se hallen direccionadas en los mapas de memoria de los autómatas que gestionan el funcionamiento de cada pozo. A éste sistema de control centralizado en cada estación se le denomina en Metro de Madrid TCE (Telemando centralizado de estaciones).

VENTILADORES				
R6	VELOC. VENTILADORES	Núm: 1 -> 0		
VENTILADOR	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
MARCHA	R7	PARO	PARO	PARO
PARO	R8	NORMAL	NORMAL	EXTRACCION
	R9		IMPULSION	IMPULSION
HORARIO	MARCHA	PARADA	MARCHA	PARADA
VENTILADOR	6:00	2:00	6:00	2:00
ESTADOS				
COMPUERTAS				
DEFECTOS	PRESION DIFERENCIAL DISPARO DISYUNTORES DEFECTO TERMICO FALLO RED SETA EMERGENCIA UR. DESCONECTADA DEFECTO BATERIA POL.	PRESION DIFERENCIAL DISPARO DISYUNTORES DEFECTO TERMICO FALLO RED SETA EMERGENCIA UR. DESCONECTADA DEFECTO BATERIA POL.	PRESION DIFERENCIAL DISPARO DISYUNTORES DEFECTO TERMICO FALLO RED SETA EMERGENCIA UR. DESCONECTADA DEFECTO BATERIA POL.	PRESION DIFERENCIAL DISPARO DISYUNTORES DEFECTO TERMICO FALLO RED SETA EMERGENCIA UR. DESCONECTADA DEFECTO BATERIA POL.
LOCALIZACION	TUNEL 1 410.0.0.282	TUNEL 2 410.0.0.283	ANDEN 2 410.0.0.284	ANDEN 2 410.0.0.285
F3	ESCALERAS		F9	CUARTOS TÉCNICOS
F4	COMUNICACIONES		F12	ASCENSORES

Figura 10. Ejemplo de SCADA local para el control de la ventilación centralizada en una estación de Metro.

C. Control de funcionamiento centralizado en Puesto de Mando /COMMIT.

Esta funcionalidad es habilitada gracias a la existencia de una red Multiservicio RTMS de alta velocidad (GIGABIT) que interconecta cada red local de estación en una red global, y que constituye el backbone del sistema de Comunicaciones de la empresa, tanto para el telemando centralizado de las Instalaciones Fijas como para el control de tráfico, peaje, etc.

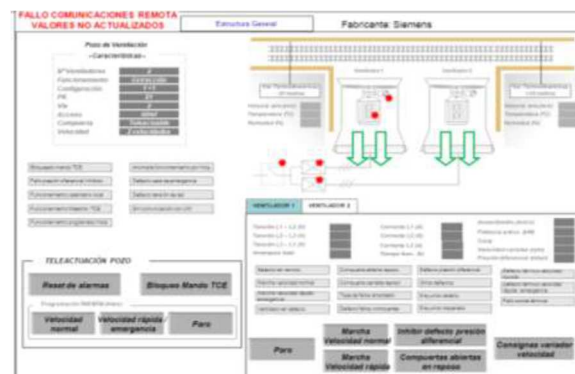


Figura A 11. Ejemplo de Integración de pozo de ventilación en COMMIT.

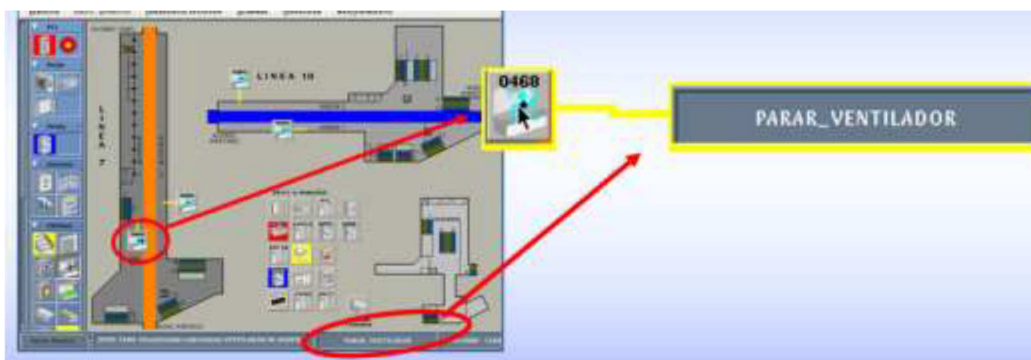


Figura 12. Ejemplo de sistema TCE de la estación de G.Marañón.



En la actualidad, el control global del funcionamiento de la ventilación lo gestiona GIV (Gestor Inteligente de la Ventilación). Que mediante unos cálculos matemáticos con variables como la temperatura, el horario, la afluencia de viajeros, mantiene las renovaciones de aire dentro de unos parámetros establecidos

