

VENTILACIÓN INDUSTRIAL: PARTICULARIDADES DE CASOS DE ESTUDIOS Y DESARROLLOS ESPECÍFICOS

Nadal Mora, Vicente J., Di Bernardi, C. Alejandro; Pesarini, Alejandro J.; Pezzotti Santiago; Piechocki, Joaquín; Faut, Rogelio.

Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria, UID GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave: Ventilación industrial, Particulado, Humos, Vapores, Extracción, Procesos.

Resumen

Se presentan un conjunto de situaciones que fueron objeto de investigaciones y desarrollos específicos en la temática ventilación industrial y se comparan las problemáticas relativas de su tratamiento. Si bien existe abundante bibliografía sobre el tratamiento teórico e incluso desarrollos específicos de aplicación, el estudio de situaciones singulares hizo necesario el desarrollo de herramientas y prácticas particulares para el tratamiento, de no sólo la extracción de gases, humos y partículas, sino también de los condicionantes ergonómicos y de procesos. El objeto del presente trabajo es contrastar la complejidad de situaciones que presentan problemáticas prácticas concretas con los modelos de ingeniería que se adoptan para su resolución sobre la base de la bibliografía de referencia. Adicionalmente se estudia comparativamente la medición del desempeño de las soluciones de ingeniería sobre la base del establecimiento de índices y parámetros indicativos, útiles además para el seguimiento, monitoreo y control continuo de la problemática.

En particular se abordarán las particularidades que surgieron de la elaboración de 3 estudios diferentes que incluyen: un estudio en salas de colada y entorno de un alto horno, el estudio de un sistema de extracción de partículas en la zona de las lingoteras de arrabio en una acería y el estudio de un sistema de ventilación forzada para la refrigeración de la sala de transformadores en una subestación eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La ventilación se trata de mover o dirigir aire de un sitio a otro para un determinado propósito.

La ventilación industrial se utiliza para controlar condiciones indeseables del ambiente de trabajo, relativas a sustancias tóxicas, gases, vapores, estrés térmico, olores, humedad, entre otros, de manera de alcanzar el objetivo de disponer de aire limpio no contaminado.

Por otra parte, también las maquinarias deben operar en un determinado rango de temperaturas. Existen casos en los que la ventilación es una solución para alcanzar este objetivo.

El objetivo de los trabajos que se presentan ha sido elaborar sistemas que mantengan contaminantes o calor en niveles admisibles tanto en las zonas de donde son extraídos como en la de su disposición final.

Los objetivos secundarios resultan en todos los casos la minimización del impacto de las soluciones en las operaciones, en el mantenimiento y en los costos de los procesos involucrados.

Como se ve, entonces, la ventilación industrial abarca un amplio espectro de casos que requieren abordajes muy diferentes. Aquí se presentan casos de tres asistencias técnicas realizadas por la UID GTA-GIAI, que muestran diferentes enfoques para abordar las problemáticas particulares planteadas.

El procedimiento genérico que realiza la UID GTA-GIAI para el abordaje de cada estudio contempla:

- a) El estudio y análisis de la documentación disponible referente a: información técnica, procedimientos, ensayos realizados, configuración original y modificaciones realizadas.
- b) La caracterización de la situación actual. La identificación y caracterización de las fuentes de calor y de contaminantes.
- c) La realización de ensayos y mediciones *in situ*.
- d) El desarrollo de modelos de cálculo analíticos.
- e) El estudio de alternativas para alcanzar el objetivo propuesto. La selección de la más adecuada.
- f) Dependiendo del requerimiento, la ingeniería básica y de detalle de la alternativa elegida, la definición del programa de implementación, la evaluación de la solución implementada, etc.

Para elegir la solución más adecuada se contemplan los siguientes aspectos: facilidad de implementación, compatibilidad operativa con las actividades operativas y de mantenimiento del sector, compatibilidad geométrica entre los elementos del sistema, complejidad, costos de implementación y de operación.

DESARROLLO

Caso 1: Estudio de un sistema de ventilación forzada para la refrigeración de la sala de transformadores en una subestación

La sala de transformadores tiene dimensiones: ancho 6,90 m, largo 9,40 m y alto, 7,90 m. La fuente de calor surge de un transformador de una potencia nominal de 80 MVA, tensión nominal 132 / 13,86 KV, frecuencia 50 Hz, servicio nominal continuo, con refrigeración natural y forzada [1].

Se verificó con modelos teóricos-experimentales la potencia total disipada por los dispositivos activos y pasivos. Se adoptó, a los efectos de la presente asistencia técnica, una disipación de calor de 300 KW correspondiente a la situación más crítica (disipación con elementos activos).

El caudal total movilizado por los sopladores del sistema de refrigeración forzada del transformador se estimó del orden de los 1.400 m³/min totales. Dentro de los pasivos se encuentran los radiadores, dispuestos a cada lado del transformador. Por otra parte los dispositivos activos son los ventiladores axiales dispuestos debajo de los radiadores mencionados anteriormente.

Se analizó la situación actual del sistema de ventilación natural con chimenea. Se determinó la capacidad de renovación de sala por el sistema de ventilación natural, y la configuración fluidodinámica en la sala de transformadores. Sintéticamente, la extracción de aire se realiza por aberturas rectangulares de dimensiones 6,7 m por 4,3 m, situadas en la planta superior de una torre; mientras que el ingreso de aire desde el exterior se realiza a

través de una (1) abertura de 3,2 m de ancho por 5,8 m de alto, ubicada a nivel de piso, sobre la cara frontal de la sala.

La capacidad de renovación de la sala de transformadores dependerá de la orientación, de la velocidad del viento y del diseño de la chimenea. Es decir, que la capacidad de la ventilación natural depende del viento. Con el sistema de ventilación actual se obtienen calores removidos del orden 187 kW como máximo para un ΔT de 2 °C y un caudal asociado del orden 4.878 m³/min como máximo.

El caudal total movilizado por los sopladores del sistema de refrigeración forzada del propio transformador es del orden de los 1.400 m³/min, alcanzando el objetivo de refrigeración del mismo (300KW). Ahora, este calor hay que extraerlo de la sala.

Sobre la base de las determinaciones realizadas e indicadas precedentemente, el caudal mínimo de diseño para el sistema forzado de ventilación de la sala es el que se obtiene a partir del funcionamiento de los sopladores del sistema forzado de refrigeración del transformador, es decir aproximadamente 1.400 m³/min. Teniendo en cuenta imperfecciones del sistema y con el fin de cubrir la mayor cantidad de condiciones de operación adversas en lo que se refiere a: carga eléctrica, temperatura ambiente y viento externo, se adopta como caudal nominal de diseño 2.800 m³/min. En esta propuesta se propone realizar ciertas modificaciones de obra civil sobre la sala de transformadores que permitan la ubicación de seis sopladores forzadores tipo hongo de 580 m³/min cada uno.

La configuración geométrica de la obra civil propuesta por para esta alternativa se presenta a continuación:

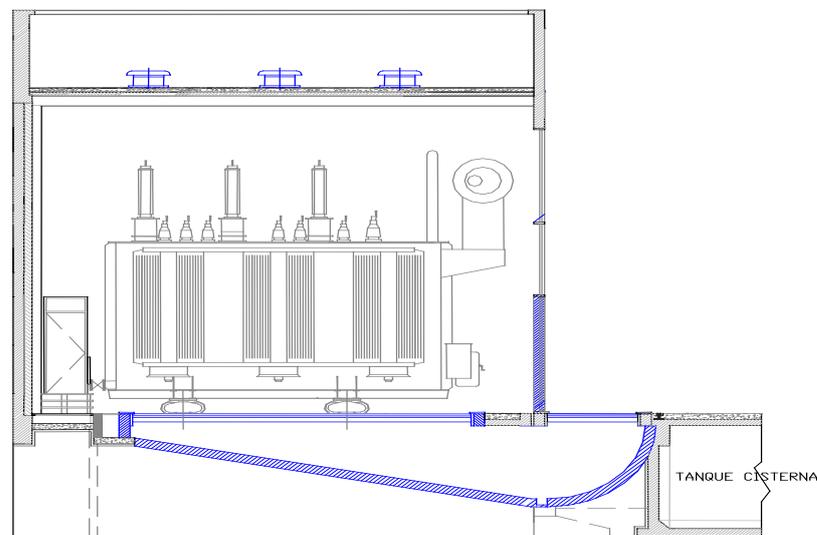


Figura 1. Esquema de la sala de transformadores con la ventilación forzada propuesta.

Caso 2: Sistema de extracción de partículas en la zona de un sistema de lingoteras de arrabio.

El mencionado proceso industrial se desarrolla a nivel de piso de una nave de aproximadamente 8 metros de ancho por 30 metros de largo y 8 metros de altura hasta la estructura de la cubierta techada, donde se ubica un aireador estático [2]. La nave industrial está construida a partir de una estructura metálica reticulada recubierta con chapa acanalada. Se encuentra equipada con un puente grúa. Los laterales de la nave se encuentran mayormente abiertos.

Se realizaron una serie de mediciones con el objetivo de identificar aspectos cualitativos y cuantitativos del comportamiento fluidodinámico de los humos contaminantes. Estos incluyeron registros gráficos en video del movimiento de humos en el recinto, registros de velocidad y dirección de las corrientes a partir de una grilla de 28 puntos distribuidos en el volumen del recinto, registros de la distribución temporal de la velocidad para un periodo de 5 minutos, registros de temperatura en 3 puntos, y registros meteorológicos de la región.

A partir del análisis de las mediciones realizadas en la nave industrial, y de registros meteorológicos se concluye que:

- las fuentes térmicas generan fuertes corrientes ascendentes, cuyas zonas se pueden establecer con precisión;
- se evidencia la existencia de dos zonas de volumen definido con patrones fluidodinámicos diferenciados, uno a nivel del techo y otro a nivel de los operadores del proceso industrial, principalmente debido a las componentes del viento que surgen de las condiciones meteorológicas imperantes;
- la zona a nivel de techo presenta corrientes helicoidales horizontales, saturadas de contaminante;
- la zona a nivel de los operadores presenta corrientes verticales preponderantes, inducidas por las fuertes fuentes térmicas;
- se pueden diferenciar dos tipos de partículas, unas pequeñas que en virtud de su cantidad de movimiento no se dispersan en grandes distancias, y otras más grandes, mayores a 10 micrones, que se dispersan grandes distancias.

Se elabora una curva de distribución de temperatura en altura que permite estimar la densidad de los humos a la salida de los aireadores estáticos. Por otro lado considerando el balance de energía y la conservación de masa es posible estimar los caudales y gastos máxicos teóricos de las corrientes observadas, en función de la velocidad del viento externo, el coeficiente de descarga y las temperaturas de entrada y salida de las corrientes. Sobre la base del modelo matemático planteado se consideraron variantes operativas en torno a los parámetros más condicionantes.

Se concluye que las corrientes que se observan en la zona a nivel de techo, con una intensa mezcla y presencia de remolinos, es inducida por una alta resistencia a la evacuación de gases. Este hecho hace que se enfríen y recirculen las corrientes térmicas, las cuales son considerablemente intensas. La estructura metálica de soporte de la cubierta de la nave interfiere en la libre circulación de flujos.

Se observa que el aireador no se encuentra dispuesto de acuerdo a prácticas recomendadas, y, además, está subdimensionado. Por otro lado las fuentes térmicas resultan suficientemente grandes como para evacuar los gases de la zona a nivel de los operadores. Finalmente se puede ver que las barreras térmicas que generan los canales de arrabio condicionan la configuración fluidodinámica.

Si se pudieran alcanzar coeficientes de descarga a la atmósfera de 0,4 a 0,7, los caudales serían los adecuados para no generar acumulación de contaminantes en la zona a nivel de techo.

Existen dos criterios básicos que se plantean: uno es generar menos emisión de contaminantes en el proceso, y el otro es captar y extraer los contaminantes tan cerca de su fuente de emisión como sea posible, previniendo su dispersión.

Para evitar la formación del particulado es necesario minimizar la cantidad de oxígeno en contacto con el arrabio.

Existen las condiciones como para buscar la utilización de la ventilación natural. Se busca generar una diferencia de presión que cree una corriente ascendente con intensidad suficiente para evitar que el particulado contaminante pueda salir fuera de los límites de confinamiento previsto.

El confinamiento de las corrientes contaminantes resulta la solución más económica. El objeto de generar estanqueidad es retener el particulado de 10 micrones o más, para ser aspiradas y filtradas.

Se propone el cerramiento del sector de volcado y llenado de arrabio en las lingoteras, la instalación de campanas de extracción superiores en la zona confinada y una campana de extracción sobre base del termo sobre la vagoneta estacionada. En el sector de la boca de descarga del termo se propone la instalación de una campana sumada a una doble pared de confinamiento entre zonas.

Se suma a la propuesta la instalación de plantas de limpieza de aire contaminado, que permitan retener partículas de 5 a 10 micrones, equipados con filtros tipo manga. El extractor asociado a la planta deberá estar dotado por un ventilador centrífugo con capacidad de 196.000 m³/h.

Se propone para la conducción de flujos el uso de conductos y chimenea circulares, con recubrimiento epoxi para mitigar la abrasión.

A los fines de tener un indicador de las modificaciones introducidas se recomienda medir polvo total y respirable, en distintas condiciones, en distintos puntos de la zona de cómo indicador de contaminación.

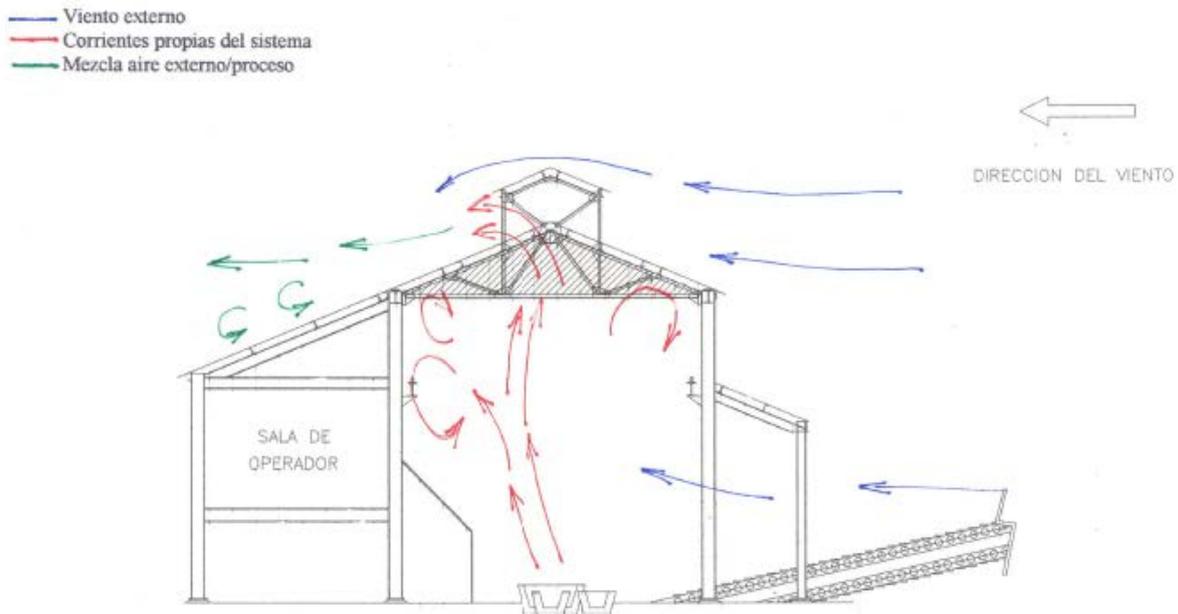


Figura 2. Esquema de comportamiento de las corrientes en la lingotera en presencia de viento externo

Caso 3: Estudio para disminuir el ingreso de contaminantes a las salas de colada de un Alto Horno.

La sala de colada tiene un volumen aproximado de 30.000 m³. El contorno de la sala tiene aberturas laterales y zonas cerradas [3].

La ventilación de la sala de colada es del tipo natural, consistente en un aireador estático en la cubierta. Las renovaciones del local se practican con aire que ingresa por las aberturas indicadas en el párrafo precedente, sin tratamiento alguno de éste. Sobre los canales de arrabio y escoria, y en la descarga al vagón de arrabio, existe un tratamiento particular de ventilación consistente en un sistema de aspiración localizada. Sólo un tramo de aproximadamente 4 metros en correspondencia con la piqueta no se encuentra aspirado localmente. En dicho tramo se presenta la aspiración mediante una campana ubicada a aproximadamente 2 metros de altura.

A partir de la información meteorológica suministrada de vientos, se determinaron los valores medios anuales de intensidad media de viento por dirección y frecuencia de ocurrencia de viento por dirección.

La mayoría de los contaminantes del aire dentro de las salas de colada provienen de fuentes externas, puntuales y distribuidas, situadas en el entorno del alto horno. Éste se encuentra dentro del área de influencia de estas emanaciones y recibe cantidades variables de concentración, dependiendo principalmente de las condiciones meteorológicas, de las características del viento y de las edificaciones circundantes.

A partir de los trabajos de campo y gabinete se procedió a clasificar a las fuentes externas de contaminantes. El particulado tiene como fuente principal una línea de silos existente y, como secundaria, una zarandadora de sinter. El anhídrido sulfuroso tiene como fuente principal una pileta de escoria y, como secundario, un granulador de escoria. El monóxido de carbono tiene como fuente principal una trampa de polvo existente.

Por otra parte se detectaron dentro de las salas posibles fuentes de contaminación, de menor importancia a las descritas, en lo que se refiere a particulado y monóxido de

carbono, no así para el bióxido de azufre. En particular estas fuentes se encuentran asociadas a fugas en los sistemas de ventilación estancos.

Se procedió a medir y registrar los niveles de concentración de particulado dentro de las salas de colada.

En relación con lo mencionado referente a los patrones de transporte y dispersión, se analizó la relación entre los registros obtenidos en los ensayos antes indicados y los registros de dirección del viento.

El aire utilizado para las renovaciones en ambas salas no posee tratamiento alguno. Esto en particular afecta a la sala de colada Oeste en relación con la contaminación de particulado. El ingreso de aire a través de las aberturas indicadas para cada sala continúa afectando la eficiencia de los aireadores estáticos. Los volúmenes a renovar son generosos estimando como mínimo un caudal de renovación del orden de los cien mil metros cúbicos por sala de colada.

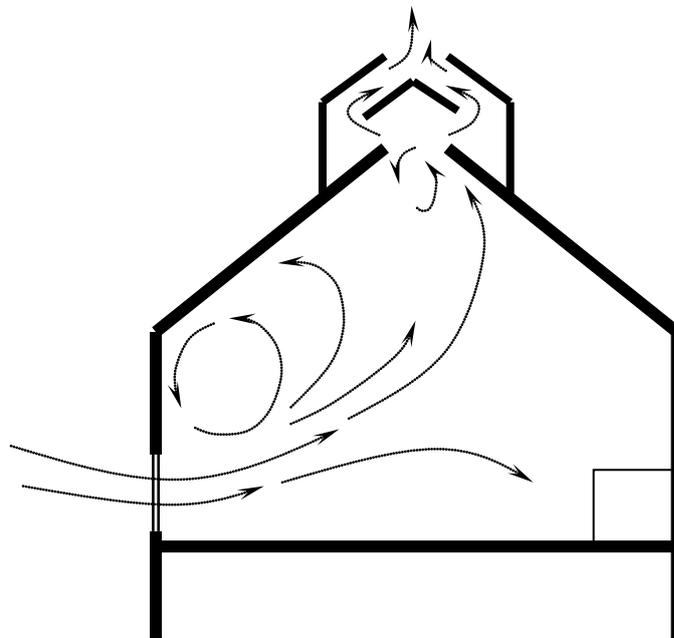


Figura 3. Corte transversal de la sala de colada – Configuración de flujo típica

Se identificaron dentro de ambas salas, fuentes internas de contaminación, de menor importancia a las descritas, las que son eliminables a partir de la aplicación de una correcta práctica operativa y de mantenimiento.

Existe una relación entre la frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento y las concentraciones de particulado en la sala. Los registros de concentración de particulado en sala de colada se encuentran en aproximadamente los $0,5\text{mg}/\text{m}^3$, del orden del valor base del sector. Observando los registros medios de concentración de CO en sala de colada y los meteorológicos de viento, se puede concluir que no existe una influencia importante de la dirección del viento en éstos, y que los mismos están por debajo de las 2 ppm. Las direcciones de viento que provocan el ingreso de SO_2 a la sala de colada se corresponden principalmente con la Oeste, Sudoeste y Sur, en correspondencia con la operación de la principal fuente que es la pileta de escoria.

Al respecto del particulado se propone la implementación de un programa secuencial de incorporación de modificaciones, trabajando fundamentalmente sobre solución de ventilación natural, sobre la base del control de la concentración de contaminantes como indicador del desempeño.

Se propone el cerramiento lateral de los muros de la nave con el fin de disminuir el ingreso de particulado a la sala, estableciendo las bocas de ingreso de aire para su renovación en la dirección menos expuesta a las fuentes externas de contaminación. Adicionalmente se propone la implementación de un sistema de ventilación forzada, conducente a eliminar el ingreso de particulado a la sala, llevando las concentraciones del mismo a las típicas atmosféricas conjuntamente con las concentraciones de CO y SO₂.

Al respecto de las fuentes interiores de contaminación su mitigación se encuentra asociada al control de las fugas de los sistemas existentes de ventilación.

CONCLUSIONES

Se realizaron desarrollos específicos de ventilación industrial sobre tres procesos industriales muy diferentes que incluyeron distintos tipos de objeto del sistema.

En los tres casos es posible monitorear el desempeño de los sistemas de ventilación mediante la medición de la concentración de contaminantes o calor sobre las zonas de interés. Este monitoreo permite evaluar la implementación gradual de soluciones así como dimensionar el impacto de las condiciones ambiente sobre ellas.

Si bien metodológicamente son los tres casos presentados congruentes, las soluciones presentan diferencias en función del proceso industrial, los requerimientos colaterales y del objetivo particular.

Las técnicas de concentración o dispersión de contaminantes o de calor se utilizan diferenciadamente. Mientras que en el Caso 2 se busca minimizar la dispersión de los contaminantes para su captación y tratamiento, en el Caso 1 se busca dispersar carga térmica en un caudal para la evacuación de calor. Por tanto ninguna de estas técnicas es universal.

Las técnicas de confinamiento y estanqueidad son usadas con diferencias en los tres casos presentados. Mientras en el Caso 1 representa una limitación impuesta por la geometría del recinto analizado, en el Caso 2 es necesaria su implementación para el tratamiento de efluentes, y en el Caso 3 se utiliza para aislar determinado recinto de condiciones ambientales.

Las soluciones que se implementen en torno a un proceso productivo son constitutivos de este y deben abordarse de manera progresiva e integral para garantizar la viabilidad y el desempeño de las soluciones. Por otro lado es necesario establecer para cada desarrollo específico las cadenas causales de manera de abordar el problema con las prácticas más acordes a los condicionamientos que imperen.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Informe técnico UID GTA-GIAI Documento N° 041816, 2004.
- [2] Informe técnico UID GTA-GIAI Documento N° 970310, 1997.
- [3] Informe técnico UID GTA-GIAI Documento N° 030505, 2003.