

Valencia, 10 de Mayo de 2013

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

Alumno:

Juan José Alcayna Orts

Directores:

Dr. Javier Benlloch Marco

D. Luís Manuel Palmero Iglesias

ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE VENTILACIÓN NATURAL DESDE EL PUNTO DE VISTA HIGIÉNICO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE VALENCIA. APLICACIÓN A LA LONJA DE LA SEDA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

AGRADECIMIENTOS

**A mis padres, Juan y Rosa.
Gracias por vuestro apoyo, paciencia y dedicación.**

**A mis tutores, Javier Benloch y Luís Palmero.
Por sus consejos, colaboración e implicación.**

**A Manuel Ramírez y Jaime Linares.
Por su ayuda.**

A todos aquellos que me han animado a terminar este trabajo.

ÍNDICE

1. Marco teórico. Estudio de la ventilación natural	1-63
1.1. Introducción	1
1.1.1. Antecedentes. Problemática de la calidad de aire interior.	1
1.1.2. Objeto de la investigación	4
1.1.3. Acotación y aplicación de la investigación	6
1.1.4. Metodología y fuentes	6
1.2. Calidad Ambiental Interior (CAI)	8
1.2.1. Introducción a la CAI	8
1.2.2. Contaminantes atmosféricos	10
1.2.2.1. Producción de contaminantes	10
1.2.2.2. Principales fuentes de contaminación	13
1.2.2.3. Efectos de los contaminantes	16
1.2.3. Análisis normativo	26
1.2.3.1. Calidad de aire	26
1.2.3.2. Reglamentos técnicos	35
1.2.4. Características y problemas de la ventilación Natural	40
1.2.5. Estrategias de ventilación. Cálculo de la ventilación desde el punto de vista higiénico	46
1.2.6. Síndrome del edificio enfermo	60

2. Caso práctico. Calidad de aire en Valencia y aplicación de la ventilación natural en la Lonja de la Seda de Valencia.	64-150
2.1. Introducción. La Lonja de la Seda	64
2.1.1. Historia de la Lonja de la Seda.	66
2.2. Resultados experimentales. Calidad ambiental interior.	76
2.2.1. Análisis de la calidad del aire exterior	78
2.2.1.1. Determinación de la concentración requerida (C_r)	79
2.2.1.2. Análisis de los datos diarios de PM_{10}	82
2.2.1.2.1. Valor promedio diario de PM_{10}	83
2.2.1.2.2. Valores anuales de partículas en suspensión	91
2.2.1.2.3. Promedio de partículas suspendidas por hora	92
2.2.1.3. Análisis de los datos horarios de NO_2	97
2.2.1.3.1. Valores horarios de NO_2	97
2.2.1.3.2. Valores anuales de NO_2	112
2.2.1.3.3. Promedio de NO_2 por hora	113
2.2.1.4. Análisis de los datos horarios de O_3 (ozono troposférico).	120
2.2.1.4.1. Valores horarios de O_3	120
2.2.1.4.2. Valores anuales O_3	126
2.2.1.4.3. Promedio de O_3 por hora	126

2.2.1.5.	Análisis de los datos horarios y anuales de C_6H_6 (benceno)	131
2.2.1.5.1.	Valores horarios de benceno	131
2.2.1.5.2.	Valores anuales de benceno	136
2.2.1.5.3.	Promedio de benceno por hora	136
2.2.1.6.	Determinación de la concentración de contaminantes exterior (C_e)	140
2.2.1.7.	Determinación del horario óptimo de ventilación	143
2.2.2.	Determinación de la carga contaminante interior (C_i)	146
2.2.3.	Eficacia de la ventilación	148
2.2.4.	Resultados del uso de la ventilación natural	149
2.2.4.1.	Cálculo de caudal de renovación Necesario	150
2.2.4.2.	Ejemplo de cálculo en vivienda con ocupación de 3 personas	151
3.	Conclusiones y líneas futuras	152-156
3.1.	Conclusiones	152
3.2.	Líneas futuras	155
4.	Bibliografía	157-162
4.1.	Normativa	157
4.2.	Libros	159
4.3.	Artículos de investigación de revistas	160
4.4.	Tesis	162
4.5.	Datos de la calidad del aire	162

5. Anexos	163-174
5.1. Datos y ubicación de las estaciones de medición de calidad del aire.	163
5.2. Límites normativos en otros países. (el caso de México y EEUU)	167
5.2.1. Normas oficiales mexicanas	167
5.2.2. Normas de Estados Unidos y California	169
5.3. Conversión entre escalas de concentración de gas	171
5.4. Tabla resumen de contaminación en ambientes interiores	173

1 MARCO TEÓRICO.

● ESTUDIO DE LA VENTILACIÓN NATURAL.

1.1. Introducción

1.1.1. Antecedentes. Problemática de la calidad del aire interior.

Cada vez es mayor el tiempo que se pasa en el interior de las viviendas oscilando entre el 60 y el 90% del tiempo.

Los contaminantes del ambiente interior se suelen clasificar en químicos y biológicos. Entre los contaminantes químicos se encuentran los gases de combustión, principalmente CO y CO₂, los metales, el amianto y otros materiales fibrosos, el formaldehído, el ozono, los plaguicidas y los compuestos orgánicos en general, el radón y el polvo doméstico. Los contaminantes biológicos lo conforman hongos, bacterias, virus, protozoos, polen, etc. que pueden dar lugar a enfermedades infecciosas o de naturaleza alérgica.

Como bien se recoge en la publicación del foro de edificación sostenible¹⁾ En la prevención y control de la contaminación del aire interior se han aplicado, si acaso, métodos tradicionales utilizados en el campo de la higiene industrial, resultando con frecuencia inadecuados o insuficientes para solucionar el problema. Además, el desconocimiento de los daños que la contaminación del aire interior puede representar para la salud supone un inconveniente para establecer medidas correctoras.

Son necesarios estudios más eficientes y válidos.

1) AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción. *Guías de sostenibilidad en la edificación residencial. Calidad del ambiente interior*, 1ª edición, Generalitat Valenciana, Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, 2009, pp.56.

El aire puede ver afectada su calidad al contaminarse por esporas de hongos, bacterias, virus, partículas y sustancias químicas diversas, a causa de una ventilación deficiente, o a un sistemas de climatización mal diseñado o con escaso mantenimiento, Un correcto diseño del edificio en el aislamiento a infiltraciones de aire contaminado del exterior, unido a un diseño de los sistemas de renovación del aire y climatización adecuados proporcionará un aire interior libre de contaminantes.

Los contaminantes químicos en forma de aerosoles, el humo del tabaco, los humos emitidos por las cocinas, el uso de estufas, secadoras o quemadores de fuel-oil, el empleo de insecticidas e incluso el CO₂ emitido por las personas, constituyen una mezcla de sustancias químicas en el que predominan los compuestos orgánicos volátiles y los hidrocarburos, En cuanto a los contaminantes procedentes del exterior, se pueden encontrar gases nocivos industriales o derivados del tránsito de vehículos o aire contaminado desechado al exterior que vuelve a entrar a través de las tomas del aire acondicionado.

Además, la realización de actividades esporádicas de rehabilitación, renovación y mantenimiento de las viviendas por los usuarios pueden emitir sustancias contaminantes a través de las pinturas y productos de limpieza y afectar negativamente a la salud de sus ocupantes. Estas sustancias pueden acumularse en el interior de las viviendas, debido a una escasa ventilación y escasez de aberturas al exterior.

Las principales estrategias para prevenir la contaminación química del ambiente interior del edificio son el aislamiento de las fuentes de emisión y la expulsión del aire contaminado al exterior.

Para conseguir el aislamiento de las fuentes de contaminación potenciales procedentes de cocinas, baños, salas de máquinas, el proyectista preverá, en la fase de proyecto, la máxima separación de zonas que puedan originar contaminantes, con el resto de espacios habitados de la vivienda. Esto permitirá un tratamiento independiente y más eficaz para la renovación del aire interior.

La posible instalación de medidores y sensores de control de emisiones y niveles de calidad del aire interior en continuo, como por ejemplo medidores de las emisiones de CO₂, permitirá su integración con los sistemas extractores de humo para las estancias en las que se prevea una mayor concentración de contaminantes.

Es recomendable evitar la ocupación de las estancias rehabilitadas o renovadas hasta que no se hayan eliminado los contaminantes presentes en su interior. De manera complementaria, se evitará instalar materiales de recubrimiento poroso previo a la ejecución de obras de remodelación en las que se utilicen sustancias peligrosas, como disolventes que pudieran ser absorbidos y reemitidos posteriormente al interior de las viviendas.

La contaminación atmosférica en las ciudades.

Los habitantes de las ciudades deben soportar serias molestias relacionadas con el medio ambiente debido a su degradación ocasionada por la acumulación de población en las ciudades, estas acumulaciones empeoran la calidad del agua y del aire en los centros urbanos, además el incremento de industrias alrededor de los núcleos urbanos conlleva la degradación del medio ambiente y la calidad de vida ciudadana.

Los contaminantes artificiales existen desde hace siglos pero ahora es cuando más atención se da a este problema debido a la aparición de nuevos contaminantes a consecuencia del desarrollo tecnológico, el rápida crecimiento de la población, la incapacidad del medio ambiente de asimilar el ritmo de contaminación actual y la falta de conocimiento de efectos sobre la salud a largo plazo de los distintos contaminantes.

En los últimos años, gobiernos y organizaciones mundiales se han visto obligados a desarrollar la normativa específica en materia de calidad de aire para paliar la contaminación del medio ambiente, para ello, limitan las emisiones en las industrias y marcan distintos límites a la calidad de aire.

1.1.2. Objetivo de la investigación

Este estudio pretende analizar explotar al máximo la capacidad de la ventilación natural para alcanzar la **Calidad Ambiental Interior** requerida (en inglés, Environmental Indoor Quality: **IEQ**). La IEQ se basa, por una parte, en el estudio y control de la **calidad de aire** (en inglés Indoor Air Quality: **IAQ**) necesaria en el interior del edificio y por otra parte, en el confort térmico alcanzado dentro del edificio.

En este estudio se analiza la calidad del aire interior, para conseguir una calidad ambiental interior óptima, desde el punto de vista higiénico, analizando la concentración de contaminantes y sus efectos en las personas.

Se ha escogido la Lonja de la Seda de Valencia, edificio catalogado por la UNESCO como patrimonio de la humanidad para analizar las bondades de la ventilación natural, se elige la Lonja de la Seda con la intención de realizar la simulación climática de este edificio en un futuro trabajo, en esta tesina se trabaja sobre este edificio con la intención de aplicar la metodología planteada y al mismo tiempo, obtener datos sobre las necesidades de ventilación en la Lonja.

Tras entrar en vigor el Código Técnico de la Edificación (CTE)²⁾, en su DB-HS 3 Calidad Interior se definen las exigencias básicas respecto a la calidad del aire interior, así como el procedimiento para verificar que se cumplen dichas exigencias de caudales, diseño y dimensión del sistema de ventilación.

Este procedimiento definido por el CTE no tiene en cuenta las condiciones exteriores al edificio para la verificación de las exigencias marcadas existiendo la posibilidad de diseñar la ventilación por debajo de las condiciones requeridas aunque se cumpla la normativa vigente.

Este trabajo basado en el estudio de la Calidad Ambiental Interior, focalizado en la calidad del aire interior, analiza el caudal de renovación necesario basándose en la contaminación exterior y el uso del edificio, así

2) España. Código Técnico de Edificación. Documento básico de salubridad. Sección 3 Calidad de aire interior, *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, BOE 74, p.11816-11831.

como otros factores: normativa, eficiencia de ventilación, variación de la contaminación durante el día.

La aplicación práctica de esta metodología de cálculo de ventilación se ha realizado en la Lonja, pues desde su construcción se ha modificado tanto su volumen y distribución de dependencias como el uso dado al edificio, lo que permite analizar la ventilación requerida y existente para cada uso al que ha sido destinado el edificio.

Los principales objetivos planteados son:

- Obtener datos de cálculo de ventilación basada en la Calidad Ambiental Interior desde el punto de vista higiénico para la ciudad de Valencia.
- Analizar como el cambio de uso de la Lonja modifica sus necesidades de ventilación
- Creación de base de datos actualizada de calidad de aire de Valencia que sirva para evaluar la calidad de aire exterior a considerar en los actuales proyectos de edificación.
- Comprobar si los niveles de contaminación de aire que hay en la ciudad de Valencia a los que están sometidos los edificios cumplen la normativa vigente.
- Definir la calidad de aire exterior en Valencia y realizar recomendaciones para su uso como ventilación natural.

Por tanto, este estudio no se basa en alcanzar mínimamente mediante la ventilación natural los requerimientos exigidos por la normativa vigente en cuánto a renovaciones por hora, sino que busca expresar al máximo dicha técnica para minimizar el uso de energía auxiliar ya sea energía renovable o no.

1.1.3. Acotación y aplicación de la investigación.

El estudio se basa en el aprovechamiento de la ventilación natural como técnica pasiva y recurso bioclimático, sin utilizar ningún elemento mecánico de apoyo como ventiladores o filtros, pues estos dispositivos requieren el uso de energía auxiliar y/o un mantenimiento y atención especiales.

Se crea una base de datos de las concentraciones de los contaminantes y se analiza la calidad del aire en Valencia.

Este estudio es aplicable a cualquier edificio siempre que se tenga acceso a los datos climáticos y de calidad de aire representativos de la zona donde se encuentre el edificio y sea posible realizar mediciones in situ.

1.1.4. Metodología y fuentes.

La Calidad Ambiental Interior (CAI) se basa en el estudio de la calidad del aire desde el punto de vista higiénico, par a ello, se obtienen los datos de la Red de Vigilancia de la Comunidad Valenciana, las estaciones de medición de la calidad de aire analizadas son las cinco estaciones que rodean el edificio de la Lonja de la Seda.

La selección de estas estaciones se debe a la cercanía al edificio analizado, además de representar la calidad del aire del centro de Valencia.

Tras definir la calidad de aire exterior de la ciudad de Valencia, se procede a comprobar que cumple la normativa vigente en materia de contaminación de aire para poder determinar si el aire puede ser utilizado para la ventilación natural o necesita de filtrado previo.

Para aplicar los datos obtenidos se escoge la Lonja de la Seda, realizando el cálculo de requerimiento de ventilación según la metodología planteada basada en la calidad del aire exterior.

Para concluir el trabajo, se realiza un estudio de la calidad ambiental en la ciudad de Valencia, indicando mediante las gráficas horarias, como varía la calidad del aire en la ciudad, haciendo aconsejable la utilización de la ventilación natural en las horas de mínima concentración de contaminantes.

Los datos de la calidad de aire analizados comprenden los años 2004 a inicios de 2012 y han sido facilitados por la Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, gracias a su Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica³⁾.

Se han escogido los 5 puntos más cercanos al edificio a analizar, se han analizado 5 años (2004-2008) ya que existían los datos disponibles de las 5 estaciones, y se han analizado los últimos 3 años para comprobar la evolución de la calidad del aire en estos últimos años. No ha podido analizarse tan solo los últimos 5 años (2008-2012) debido a la falta de muchos datos en las diversas estaciones analizadas que no permitían realizar un análisis objetivo de la calidad de aire en Valencia.

Los contaminantes analizados para definir la calidad del aire han sido principalmente el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas suspendidas (PM₁₀), partículas suspendidas (PM_{2,5}) y ozono, aunque se han revisado todos los contaminantes de los que se han obtenido datos y existen valores límites en el Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire y vigente actualmente.

De todos los contaminantes y datos aportados de dichos contaminantes durante los 8 años analizados, se ha realizado a eliminar los datos y contaminantes que no superan los valores límites, analizando por tanto tan sólo aquellos contaminantes más críticos y que superan la legalidad marcada, reduciendo el análisis a las partículas suspendidas PM₁₀, ozono y monóxido de carbono. Los datos analizados corresponden a valores horarios (266.640 datos horarios), valores diarios (11.716 datos diarios) y valores anuales (45 valores anuales).

3) Generalitat Valenciana. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. *Datos históricos*. 2012.

Fases:

- Toma de datos de contaminación ambiental
- Procesamiento de los datos para la obtención de gráficas anuales y diarias.
- Estudio de la normativa vigente y obtención de los niveles de contaminación existentes en Valencia, exactamente en las estaciones más cercanas a la Lonja.
- Estudio de la evolución constructiva y de uso de la Lonja de la Seda.
- Realización de cálculos basados en el punto de vista higiénico para determinar la ventilación necesaria según los datos obtenidos anteriormente.

1.2. Calidad Ambiental Interior

1.2.1. Introducción a la Calidad Ambiental Interior (CAI)

En la actualidad, la atmósfera sigue siendo un bien muypreciado que todo ser humano tiene derecho a disfrutar y usar pero también existe la obligación a preservarlo y para ello es necesario el desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible fue definido según el informe Brundtland realizado en 1987 por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas como la capacidad de:

Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades

El desarrollo humano, tanto tecnológico como demográfico implica un aumento de la contaminación del planeta como de la atmósfera, por tanto, cada vez es necesario una mayor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles. El deterioro producido a la atmósfera se debe a la liberación de contaminantes por diversas causas, tanto humanas como

naturales, aunque las causas naturales no son contempladas para la estimación de los valores máximos permitidos en la normativa sí que influyen en la salud tanto del ser humano como de la flora y fauna existente.

Hoy en día, el ser humano lucha por reducir los niveles de contaminación emitidos a la atmósfera, para regularizar esta labor se recurre a la legislación que se encarga de limitar las emisiones por parte de la industria y exigir unos valores límite máximos de concentración.

Aunque es cierto que las medidas adoptadas gracias a la legislación vigente ha conseguido reducir los niveles de contaminación presentes en la atmósfera, sobre todo en cuánto al dióxido de azufre, sigue siendo evidente que dichas medidas resultan insuficientes pues siguen registrándose valores que superan los valores límite exigidos, siendo motivo de preocupación en España y el resto de Europa pues siguen existiendo problemas como la lluvia ácida, el ozono troposférico, el agotamiento de la capa de ozono estratosférico y el cambio climático.

Este problema debe abordarse internacionalmente, pues la contaminación generada por un país no afecta tan solo a ese país sino que la contaminación viaja a través de todo el planeta gracias al viento, este efecto se conoce como contaminación transfronteriza. En España, la contaminación transfronteriza suele llegar de África en forma de partículas suspendidas debido a la desertización de dicho continente aumentando dicho contaminante en el aire y que nos llega a través de los vientos provenientes del sur.

Por tanto es necesario un estudio que aborde la pluralidad de las causas y efectos de la contaminación atmosférica a escala mundial y la sensibilización de todos los países, sobre todo los países más desarrollados ya que son los que más contaminación producen.

La contaminación atmosférica es debida a la descarga a la atmósfera de forma continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía. Estas sustancias además de perjudicar la salud de las personas y el medio ambiente contribuyen a la contaminación lumínica, el brillo producido por

la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera altera las condiciones naturales de las horas nocturnas dificultando las observaciones astronómicas de los objetos celestes así como alterando los hábitos diarios de la fauna.

Existen otros tipos de contaminación a los que estamos expuestos y que no dependen de los contaminantes químicos o “materiales” como son los contaminantes biológicos, la contaminación acústica y las radiaciones ionizantes y no ionizantes.

1.2.2. Contaminantes atmosféricos.

A continuación se estudian los contaminantes ambientales más comunes, como se producen, que fuentes de contaminación existen y los efectos que ocasionan. Sólo se estudian aquellos contaminantes que las estaciones de calidad del aire son capaces de medir, en su mayoría de ellos contaminantes químicos y partículas suspendidas⁴⁾.

1.2.2.1. Producción de contaminantes

Monóxido de carbono, CO

Se trata de un gas incoloro e inodoro por eso es extremadamente peligroso ya que las personas expuestas lo inhalan sin percibirlo produciéndoles la muerte.

El monóxido de carbono se produce cuando los combustibles que contienen carbono se queman en condiciones donde el oxígeno es limitado.

Los motores de gasolina son la principal fuente de monóxido de carbono. Las concentraciones de CO₂ en las zonas urbanas están estrechamente relacionadas con la densidad del tráfico y las condiciones meteorológicas.

4) Seinfeld, John H. *Air pollution. Physical and chemical fundamentals*, 1º edición, New York, McGraw-Hill, 1975 (tr. española de Rafael Mujeriego, Contaminación atmosférica. Fundamentos físicos y químicos, Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1978, pp.578).

También suponen una fuente importante de contaminación las centrales eléctricas y las incineradoras de residuos.

Calderas de gas defectuosas en los hogares, estufas de carbón, braseros, hornos, sistemas de calefacción y consumo de tabaco (relacionado con garajes, cocinas, calentadores de agua, tomas inadecuadas de aire exterior y presencia de fumadores).

Dióxido de carbono, CO₂

Se trata de un gas incoloro e inodoro, más denso que el aire y ligeramente soluble en agua donde forma ácido carbónico.

Se origina de forma natural en diferentes procesos como actividad volcánica, incendios forestales y en la evaporación del agua de mar, pero sobre todo se libera por la respiración de los organismos vivos.

Se genera en los procesos de combustión de sustancias que contienen carbono emitiéndose a la atmósfera (chimeneas de las industrias y de los vehículos de motor). Líquidos de refrigeración, extinción de incendios y gas conservante.

Óxidos de nitrógeno, NO_x

El término “óxidos de nitrógeno” NO_x normalmente se usa para agrupar un conjunto de formas oxidadas del nitrógeno en la atmósfera, principalmente óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

Cuando el dióxido de azufre está presente con el dióxido de nitrógeno, puede tener un efecto sinérgico aumentando el daño a niveles superiores que los producidos por la suma de los efectos individuales de ambos.

El óxido nítrico reacciona con el oxígeno o el ozono en el aire para formar dióxido de nitrógeno.

Está relacionada con la quema de combustibles (90% NO y 10% NO₂), fuentes móviles (vehículos), procesos industriales y algunos procesos naturales (relámpagos, microorganismos del suelo).

En ambientes interiores la principal fuente de emisión de NO₂ es la calefacción y las estufas y cocinas de gas, así como el humo de tabaco.

Dióxido de azufre, SO₂

Es un contaminante importante en el exterior donde se encuentran la mayoría de sus fuentes contaminantes.

La existencia de partículas produce un efecto sinérgico en presencia de dióxido de azufre, ya que la combinación de estas dos sustancias produce un efecto mayor que el de cada sustancia por sí sola.

La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles que contienen azufre, como el carbón.

Reacciona con el oxígeno originando dióxido de azufre.

En ambientes interiores se originan en estufas de queroseno, calderas o chimeneas.

Partículas suspendidas

En ambientes interiores se originan en estufas de queroseno, calderas o chimeneas. El análisis de partículas se basa en el diámetro de las mismas; las partículas se clasifican en:

- 1) Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 micras
- 2) Inhalables o respirables PM₁₀ cuyo diámetro es menor a 10 micras
- 3) Finas con diámetro menor a 2,5 micras. PM_{2,5}
- 4) Ultrafinas cuyo diámetro es menor a 1 micra PM₁.

1.2.2.2. Principales fuentes de contaminación

Las emisiones procedentes de fuentes naturales son aquellas no producidas directa o indirectamente por la mano del hombre como erupciones volcánicas, actividades sísmicas o geotérmicas, incendios no intencionados, vientos fuertes, sales marinas, la resuspensión atmosférica o el transporte de partículas naturales de regiones áridas, como ejemplo ya se ha dicho que en España sufrimos contaminación transfronteriza debida a las partículas suspendidas que nos llegan de África.

A lo largo del ciclo de vida del edificio existen multitud de fuentes contaminantes que intervienen en la calidad de aire interior del edificio, se puede realizar una división entre el tipo de contaminante y el ciclo de vida en el que se produce.

Contaminantes según el ciclo de vida del edificio.

Materiales de construcción

Los materiales de construcción utilizados para recubrir y acondicionar el interior de un edificio pueden emitir productos químicos que, en determinadas condiciones, afectarán la salud y el bienestar de sus ocupantes.

Las pinturas, barnices, adhesivos, selladores, placas y recubrimientos de suelos y techos son productos cuya composición incluye disolventes, agentes ligantes y diversos tipos de aditivos como pigmentos, agentes secantes, antiespumantes, fungicidas, etc. que se evaporan fácilmente y pueden causar problemas de salud a los usuarios de las viviendas.

Estudios realizados por la Agencia Medioambiental de Estados Unidos (EPA) han demostrado un incremento de la concentración de 12 contaminantes orgánicos comunes provenientes de productos de limpieza y mantenimiento de entre 2 y 5 veces superior a la concentración presente en el exterior de los edificios, incluso en ambientes industriales altamente contaminados.

En general, no se conocen bien los efectos sobre la salud por exposición a estos compuestos orgánicos volátiles (más conocidos como COVs) emitidos por los materiales presentes en un edificio, pero se sabe o se sospecha que muchos son irritantes y carcinógenos. Numerosos estudios han demostrado que más del 80% de los COVs en el interior de los edificios son irritantes de membranas mucosas y ojos y que aproximadamente el 25% son sospechosos o comprobados cancerígenos humanos.

Se aconseja al proyectista seleccionar los productos de la construcción utilizados como acabado en paredes, suelo y mobiliario con baja emisión de contaminantes químicos.

Los productos de la construcción se pueden agrupar en dos grupos: los aplicados en húmedo, como las pinturas, barnices, sellantes y adhesivos, y los materiales “rígidos” o en forma de paneles.

Tanto en la fase de construcción como en la de uso y mantenimiento, se recomienda al constructor y al usuario la aplicación de productos en húmedo en base acuosa frente a la aplicación de productos con disolventes orgánicos. Debido a la menor resistencia al envejecimiento de los productos en base acuosa, se aconseja realizar las aplicaciones más a menudo.

Se recomienda que unos valores de COVs inferiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el interior de los edificios están dentro de los límites del confort (**Valor obtenido del Programa de certificación de calidad ambiental en interiores del FEDEC**).

Por lo que respecta a los materiales rígidos de recubrimiento, se aconseja priorizar la selección de materiales que cumplan las siguientes características:

Que sean duros, porosos y fabricados con metal, vidrio, cerámica, madera maciza, piedra o cemento.

Que no atrapen polvo ni contaminantes, ni permitan el crecimiento de microorganismos.

Que tengan bajos niveles de emisión de formaldehído, o con tratamientos nulos o con preservantes o biocidas de muy bajo impacto, con baja emisión de COVs o bajo contenido en metales pesados.

En la rehabilitación de edificios, se aconseja la elaboración de un estudio previo para detectar la presencia de amianto en el edificio.

La disminución o eliminación de la presencia de disolventes orgánicos, considerados altamente tóxicos para la salud de las personas, mantendrá la buena calidad del ambiente interior en las viviendas, contribuyendo a mejorar el confort, el bienestar y la salud de sus habitantes.

Se dificultará la aparición del Síndrome del Edificio Enfermo, al evitar y controlar las fuentes de contaminación de las emisiones en el interior de los edificios.

Contaminación en la etapa de construcción

Durante la construcción de viviendas es inevitable la emisión y acumulación en el edificio de suciedad y compuestos tóxicos, sobre todo en el corte de materiales en obra, o al aplicar productos con disolventes orgánicos. Los contaminantes atrapados en materiales porosos o absorbentes del edificio pueden reemitirse afectando negativamente a la calidad del ambiente interior de las viviendas una vez estén ocupadas.

Se aconseja realizar una protección eficaz del sistema de climatización del edificio durante las fases de la construcción posteriores a la instalación de conductos, evitando la acumulación de polvo y otras sustancias nocivas que pudieran ser reemitidas durante su funcionamiento en las viviendas.

La adecuada protección de los materiales de construcción almacenados in situ evitará su contaminación por la aplicación de disolventes, pinturas, emisiones de polvo, etc. En el caso de que se instale material absorbente de humedad, se controlará la condensación de agua, fundamentalmente en partes del edificio donde pudieran crecer contaminantes biológicos, como hongos o moho.

Es muy importante el orden de instalación de los materiales en el edificio. En el caso de materiales porosos, como moquetas, paneles de madera, etc. se recomienda su instalación después del pintado o sellado, evitando la absorción de sustancias contaminantes, principalmente disolventes, emitidos por los productos utilizados.

Se aconseja la elaboración de un estudio de la calidad del aire interior al terminar la construcción del edificio, en el que se asegure la ausencia de

contaminantes, midiendo directamente los gases contaminantes en el edificio, o asegurando niveles de ventilación mínimos en las viviendas.

Contaminación durante su uso (mantenimiento del edificio)

Un edificio con un plan de mantenimiento y conservación deficiente o mal ejecutado puede mermar la calidad del ambiente interior, permitiendo la aparición de contaminantes químicos, biológicos y desequilibrios en el confort térmico, que pueden afectar negativamente a la salud de las personas y a su calidad de vida.

La mejor manera de mantener la calidad del ambiente interior a lo largo de la vida del edificio es seguir lo especificado en el “Libro del edificio”. El manual de uso y mantenimiento de la vivienda forma parte de este libro. El usuario de la vivienda será el responsable de aplicar las tareas de mantenimiento y conservación, y de realizar un correcto seguimiento del plan de conservación y prevención del edificio.

Se debe mantener en perfecto estado de conservación los elementos y materiales que formen parte de la envolvente del edificio, evitando la aparición de focos de contaminación interior debido al deterioro causado por la agresión de los factores ambientales externos, así se garantizarán las propiedades de aislamiento y estanquidad que aseguren una correcta calidad de aire interior.

Se aconseja que en las viviendas se apliquen programas básicos de mantenimiento de sistemas de climatización y refrigeración, encaminados a prevenir su contaminación por la bacteria Legionela.

1.2.2.3. Efectos de los contaminantes

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminantes presentes, de tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes, así como de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes. Hay que tener muy en cuenta la graduación del efecto a medida que aumentan la concentración y el tiempo de exposición⁵⁾.

5) Vargas Marcos, Francisco. «La contaminación ambiental como factor determinante de la salud», Revista Española de Salud Pública, vol. 79, no. 2, 2005

Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

Efectos en la salud humana

No es fácil relacionar las enfermedades humanas con la exposición a la contaminación, actualmente no se conoce con exactitud. Sin embargo, si existen pruebas abundantes de que en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire son peligrosas para los seres humanos. En ciudades como Londres, Nueva York y Osaka ha aumentado la mortalidad a causa de la contaminación atmosférica, sobre todo en las personas de edad avanzada o en los individuos más sensibles por cualquier razón.

Los efectos más difíciles de discernir son aquellos producidos a largo plazo que pueden producir las exposiciones episódicas a elevadas concentraciones, así como los efectos a largo plazo de concentraciones medias y bajas de contaminantes.

Enfermedades y daños producidos en la salud humana.

Cada contaminante atmosférico actúa de forma diferente al entrar en contacto con nuestro cuerpo, ya sea mediante la inhalación, ingestión o en contacto con la piel o los ojos. A continuación se detalla brevemente los problemas causados a nuestro organismo por la presencia de este tipo de contaminantes en el aire:

Cloro molecular, Cl₂

Formado por 2 átomos de cloro (Cl₂) más pesado que el aire (en **Condiciones Normales de Presión y Temperatura: CNPT**). El cloro en estado gaseoso es muy tóxico. Utilizado para obtener cloruro de polivinilo (PVC), material utilizado comúnmente en instalaciones de saneamiento.

Los daños producidos se centran básicamente en el sistema respiratorio provocando su irritación, los niños y ancianos son los más

afectados, aunque también irrita las mucosas. Su olor puede ser detectado a partir de 3,5 ppm.

La exposición a altas concentraciones puede provocar edema pulmonar, mientras que la exposición continua a bajas concentraciones debilita los pulmones aumentando el riesgo de contraer otro tipo de enfermedades pulmonares.

Cloruro de hidrógeno, HCl

Compuesto químico de fórmula **HCl** más denso que el aire (en CNPT). Compuesto tóxico y corrosivo, ataca a la mayoría de los metales en presencia de humedad al producir vapores de ácidos.

La inhalación de este compuesto puede provocar edema e irritación del tracto respiratorio y una exposición prolongada puede conllevar a la bronquitis crónica.

Fluoruro de hidrógeno, (HF)_x

Formado por hidrógeno y flúor (**HF**)_x. En la naturaleza se encuentra comúnmente en su forma HF o (HF)₆. Este compuesto resulta tóxico, corrosivo e irritante. Además ataca el vidrio y disuelto en agua forma una disolución ácida altamente corrosiva.

Sulfuro de hidrógeno, H₂S

Compuesto químico de fórmula **H₂S**. Este gas más pesado que el aire es tóxico y detectable por su olor característico. También se le conoce comúnmente como gas de alcantarilla. Su densidad es mayor que la del aire.

Este compuesto es extremadamente dañino para la salud. La exposición a niveles entre 20-50 ppm en el aire puede causar un malestar agudo y a muerte por sobreexposición, a partir de los 50 ppm ya no se percibe su olor debido y llegados a los 100 ppm puede ser mortal.

La exposición a bajas concentraciones provoca irritación en los ojos, garganta y nariz, es capaz de provocar dificultades respiratorias en las personas asmáticas.

Sulfuro de carbono, CS₂

Compuesto químico de fórmula CS₂ más pesado que el aire.

La exposición prolongada produce dolor de cabeza, pérdida de sueño, disfunciones en la visión, memoria y oído, así como inflamación de los nervios.

Dióxido de Azufre, SO₂

Se ha comprobado la relación existente entre la contaminación atmosférica, producida por partículas en suspensión y anhídrido sulfuroso, y la aparición de bronquitis crónica (flemas, catarros y dificultades respiratorias).

Cuando las concentraciones tanto de SO₂ como de partículas en suspensión superan los 500 µg/m³ de aire, como promedio de 24 horas, se produce un aumento de la mortalidad en la población en general, siendo los grupos más sensibles los individuos con procesos cardíacos o pulmonares. Con promedios diarios de 250 µg/m³ de SO₂ y de humos se ha registrado el empeoramiento en los enfermos con afecciones pulmonares.

Es necesario destacar que las concentraciones de partículas en suspensión y de SO₂ que pueden provocar la aparición de efectos sobre la salud, pueden variar de un lugar a otro según cuáles sean las características físicas y químicas de las partículas, y en función de la presencia en el aire de otros contaminantes que puedan producir efectos sinérgicos con aquéllos.

Provoca la irritación de mucosas sobre todo ojos, nariz y garganta. Causa enfermedades respiratorias como broncoconstricción y bronquitis.

Los óxidos de azufre también contribuyen a la formación de lluvia ácida al igual que los NO_x.

Monóxido de carbono, CO

La presencia en el aire de elevadas concentraciones de monóxido de carbono (CO) representa una amenaza para la salud. El CO inhalado se combina con la hemoglobina de la sangre, formando la

carboxihemoglobina, lo que reduce la capacidad de la sangre para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.

Se ha comprobado que una saturación de carboxihemoglobina por encima del 10% puede provocar efectos sobre la función psicomotora que se manifiesta con síntomas de cansancio, cefaleas y alteraciones de la coordinación. Por encima del 5% de saturación se producen cambios funcionales cardíacos y pulmonares y se aumenta el umbral visual. No se han encontrado pruebas que indiquen efectos significativos con una concentración de carboxihemoglobina inferior al 2%.

Provoca la asfixia de las personas expuestas ya que impide la oxigenación de la sangre. Si en la sangre, más del 50% de la hemoglobina se encuentra en forma de carboxihemoglobina se puede producir la muerte.

A bajos niveles de exposición, el CO puede causar sensación de falta de aire, náuseas y mareos ligeros

Dióxido de carbono, CO₂

Concentración superior a 30.000ppm puede afectar al cerebro y causar dolor de cabeza, falta de concentración, mareos, problemas respiratorios.

Habitualmente en el ambiente exterior la concentración se sitúa sobre 300-400ppm. En espacios interiores, una concentración comprendida entre 600 y 2.000ppm no resulta tóxico.

Cuando exceden de 800 a 1200pp, en áreas interiores, muchas personas comienzan a experimentar incomodidad, dolores de cabeza, cansancio y problemas respiratorios.

Los efectos más graves se producen a partir de 5.000ppm, donde pueden producirse incluso desvanecimientos.

Además produce el efecto invernadero.

Óxidos de nitrógeno, NO_x

Los óxidos de nitrógeno, NO_x, son contaminantes igualmente peligrosos para la salud. El más tóxico es el NO₂. Los efectos producidos

por NO₂ sobre los animales y los seres humanos afectan al tracto respiratorio. Está comprobado que una concentración media de 190 µg/m³ de NO₂, superada el 40% de los días aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias en la población expuesta.

A concentraciones bajas, los óxidos de nitrógeno son irritantes del tracto respiratorio superior y de los ojos. En exposiciones prolongadas puede producir edema pulmonar. La exposición excesiva a los óxidos de nitrógeno puede causar efectos sobre la salud en la sangre, hígado, pulmón y bazo. Contribuye a la lluvia ácida causando daños a la vegetación, edificios así como a la acidificación de los lagos y arroyos.

Metales tóxicos

El cuerpo humano tiene tendencia a la acumulación de estos contaminantes. El metal más importante es el plomo. Los compuestos inorgánicos del plomo atmosférico son absorbidos por los humanos, principalmente a través del sistema respiratorio, alcanzando el torrente sanguíneo aproximadamente el 35% del plomo inhalado por los pulmones. Una parte es eliminado del cuerpo a través de la orina, la otra parte se almacena en los huesos.

A partir de ciertas cantidades puede producir efectos adversos en el comportamiento, afectan la inteligencia de los niños y puede ser causa de anomalías en los fetos de madres gestantes. Los adultos, por lo general, son menos sensibles que los niños a los efectos del plomo, pero una acumulación excesiva en el organismo puede producir serios e irreversibles daños en el sistema nervioso.

Otras sustancias tóxicas presentes en el aire tales como el cadmio, amianto, el cloruro de vinilo, el benzo-a-pireno, varios compuestos orgánicos halogenados y el benceno, pueden provocar modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos, siendo algunos de ellos cancerígenos.

Amoníaco

El amoníaco favorece la generación de partículas secundarias por ser un compuesto de nitrógeno. Las principales emisiones de amoníaco se

deben a las actividades agropecuarias, aunque también influyen las emisiones de la industria y del tráfico rodado. También se ha constatado que el alcantarillado urbano emite amoníaco y por tanto supone una fuente localmente importante, aunque por el momento no estiman necesario definir objetivos de calidad para controlar este contaminante

Efectos sobre los materiales

Los contaminantes atmosféricos afectan a los distintos materiales expuestos a ellos provocando daños, en ocasiones irreparables, en los monumentos de alto valor histórico-artístico.

Ciertos contaminantes se depositan en la superficie de los materiales alterando su aspecto externo, otros atacan químicamente el material. Los SO_x causan daños a muchos tipos de materiales, bien directa o indirectamente. Un alto contenido de SO_x en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura.

Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO_2 al SO_3 en la atmósfera, atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente.

Los **compuestos de azufre** pueden producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y sobre los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos, dando lugar a deficiencias en su funcionamiento.

La acción de los **oxidantes fotoquímicos** se produce sobre todo en los caucos y elastómeros en los que causan un rápido envejecimiento y agrietamiento.

Los **óxidos de nitrógeno** decoloran y estropean las fibras textiles y los **nitratos** producen la corrosión de las aleaciones de cupro-níquel.

Efectos globales

Cada vez está más admitida la necesidad de realizar estudios sobre los posibles efectos globales que a largo plazo puede producir la contaminación atmosférica sobre ecosistemas, climas y estratosfera.

Las modificación de las características de los suelos debidas al lavado de los elementos del mismo por las lluvias ácidas, como los cambios producidos en las grandes masas de agua por el aumento de la concentración de metales tóxicos, pueden tener consecuencias ecológicas irreversibles.

El aumento de las concentraciones de CO₂ y de otros contaminantes en la atmósfera puede dar lugar a una elevación general de la temperatura del globo por efecto invernadero, que modificaría el régimen de lluvias. Por otra parte, los sulfatos y las partículas finas que disminuyen la visibilidad pueden igualmente reducir la intensidad de la radiación solar. Los hidrocarburos halogenados y los óxidos de nitrógeno emitidos pueden provocar una disminución de ozono en la estratosfera con el consiguiente aumento de la radiación ultravioleta.

Lluvia ácida

La acidificación de las aguas interiores tiene efectos muy graves sobre los ecosistemas acuáticos. Se ha demostrado que todos los tipos de organismos integrantes de los ecosistemas de agua dulce son sensibles a la acidificación.

Las zonas más propensas a la acidificación del agua tienen suelos ácidos de poca profundidad, superpuestos a rocas graníticas o son suelos arenosos muy erosionados. El aumento de la acidez del agua de los lagos y ríos provoca un fuerte aumento del contenido de **iones aluminio** disueltos en el agua. El ión aluminio es muy tóxico para la mayor parte de los organismos y se cree que la causa última de la muerte de las poblaciones de peces en los lagos acidificados se debe al envenenamiento por aluminio. Otros metales tales como el cadmio, zinc y plomo tienen igualmente una mayor facilidad para disolverse, por lo que son más accesibles para los seres vivos.

Los suelos presentan, por lo general, una mayor resistencia a la acidificación que el agua. No obstante, el grado de sensibilidad puede variar muy ampliamente de unas zonas a otras dependiendo, principalmente, del espesor de la capa de humus, de la consistencia del sustrato, así del tipo de rocas y suelo.

Uno de los efectos más importantes de la acidificación de los suelos, es probablemente, el incremento de la movilidad con las consiguientes pérdidas por lixiviación de ciertos cationes metálicos de carácter básico tales como el calcio, magnesio, potasio y aluminio.

Las altas deposiciones de compuestos de azufre y nitrógeno producen graves daños al suelo y bosques. El daño a los bosques se ve agravado por la combinación de ácidos y metales en el suelo y por las altas concentraciones de SO₂. La combinación de un bajo pH en el agua del suelo unido a la presencia de metales, principalmente aluminio, produce daños en las raíces de los árboles. Este hecho les hace sensibles a las plagas.

Capa de ozono

La presencia en la estratosfera de determinados compuestos, especialmente clorofluorocarbonos (CFC), puede provocar una disminución de la concentración de ozono en la estratosfera. La capa estratosférica de ozono protege la superficie de la tierra de una exposición excesiva a los rayos solares ultravioletas actuando como filtro.

El incremento de la radiación a causa de la disminución de la capa de ozono produciría un aumento apreciable de casos de cáncer de piel en los seres humanos y efectos negativos sobre los organismos.

Efectos sobre visibilidad

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, reduciendo la visibilidad.

Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1.4 y 0.8 micras son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos y nitratos en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible. El NO_2 en concentraciones altas puede tener un efecto significativo pues absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar. Consecuencia de esta absorción es el que la atmósfera de las grandes ciudades adquiera una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO_2 elevadas.

Efectos sobre las plantas

Las plantas muestran especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal.

Es difícil establecer un valor límite de la contaminación atmosférica a partir del cual los efectos negativos se empiezan a manifestar ya que cada planta responde de forma diferente a la contaminación atmosférica.

Entre los distintos contaminantes que contiene el aire ambiente generalmente, el SO_2 es el que tiene mayor importancia debido a la gran toxicidad que tiene para la vegetación. Los daños producidos obedecen a la exposición a altas concentraciones durante períodos cortos; o por la exposición a concentraciones relativamente bajas durante largos períodos, aunque los daños más severos se producen como consecuencia de exposiciones cortas a altas concentraciones. Exposiciones medias diarias de $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 durante el período de crecimiento, pueden causar daños caracterizados por la aparición de necrosis apicales de color rojo o anaranjado en coníferas. Exposiciones medias anuales de anhídrido sulfuroso de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ pueden causar daños a especies forestales sensibles.

El flúor y sus derivados son contaminantes del aire que se caracterizan por ser tóxicos en general para las plantas a muy pequeñas concentraciones. Un aspecto importante del efecto acumulativo del flúor es su transmisión a través de las cadenas alimentarias.

1.2.3 Análisis normativo

1.2.3.1 Calidad de aire

La continúa contaminación de la atmósfera y sus graves consecuencias, tanto para la salud de las personas como para los ecosistemas, conllevan la necesidad de crear un marco legislativo que regule, controle y limite dicha contaminación. La normativa que afecta al territorio español es la normativa europea y la normativa estatal.

Normativa Estatal

El enfoque normativo de la Comunidad Europea (en adelante CE) respecto a la calidad del aire se basa en definir las pautas generales a seguir por todos los Estados Miembros. La normativa relativa a la calidad del aire ambiente se estructura a nivel europeo mediante las Directivas Europeas:

1. Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente⁶⁾.
2. Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa⁷⁾.

Ambas directivas persiguen definir los principios básicos de estrategia común dentro del ámbito europeo definiendo y estableciendo objetivos de calidad del aire ambiente para evitar prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto, además de evaluar la calidad del aire ambiente en los Estados miembros y fomentar el incremento de la cooperación de los Estados miembros para reducir la contaminación atmosférica.

En estas Directivas se definen diversos conceptos necesarios para entender correctamente la normativa y la tesis presentada, a continuación se transcriben dichas definiciones:

6) Unión Europea. DIRECTIVA 96/62/CE DEL CONSEJO de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 21 de noviembre de 1996, L296, p.0055-0063.

7) Unión Europea. DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 11 de junio de 2008, L152, p.0001-0044.

- **Aire ambiente:** aire exterior de la troposfera, excluidos los lugares de trabajo definidos en la Directiva 89/654/CEE.
- **Contaminante:** toda sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.
- **Nivel:** concentración de un contaminante en el aire ambiente o su depósito en superficies en un momento determinado.
- **Evaluación:** cualquier método utilizado para medir, calcular, predecir o estimar el nivel de un contaminante en el aire ambiente
- **Valor límite:** nivel fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente en su conjunto, que debe alcanzarse en un plazo determinado y no superarse una vez alcanzado.
- **Nivel crítico:** nivel fijado con arreglo a conocimientos científicos por encima del cual pueden producirse efectos nocivos para algunos receptores como las plantas, los árboles o los ecosistemas naturales, pero no para el hombre.
- **Margen de tolerancia:** porcentaje del valor límite en que puede superarse ese valor en las condiciones establecidas por la Directiva 2008/50/CE.
- **Valor objetivo:** nivel fijado con el fin de evitar más a largo plazo efectos nocivos para la salud humana o para el medio ambiente en su conjunto, que debe alcanzarse, en la medida de lo posible, en un plazo determinado.
- **Umbral de alerta:** nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana y a partir del cual los Estados miembros deberán tomar medidas inmediatas como establece la presente Directiva.
- **Umbral de información:** nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud de los sectores especialmente vulnerables de la población y que requiere el suministro de información inmediata y apropiada.
- **Aportaciones procedentes de fuentes naturales:** emisiones de agentes contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas, o incendios de zonas silvestres, fuertes vientos,

aerosoles marinos o resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas.

- **Aglomeración:** área que se caracteriza por una concentración de población de más de 250.000 habitantes o, cuando la concentración de población es inferior o igual a 250.000 habitantes, por una densidad de habitantes por km^2 que justifica que los Estados miembros evalúen y controlen la calidad del aire ambiente.
- **PM₁₀:** partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM₁₀ de la norma EN 12341, para un diámetro aerodinámico de 10 μm con una eficiencia de corte del 50%.
- **PM_{2,5}:** partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM_{2,5} de la norma EN 14907, para un diámetro aerodinámico de 2,5 μm con una eficiencia de corte del 50%.
- **Ubicaciones de fondo urbano:** lugares situados en zonas urbanas cuyos niveles sean representativos de la exposición de la población urbana en general.
- **Óxidos de nitrógeno:** suma en partes por mil millones en volumen de monóxido de nitrógeno (óxido nítrico) y dióxido de nitrógeno, expresada en unidades de concentración másica de dióxido de nitrógeno ($\mu\text{m}/\text{m}^3$).
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** compuestos orgánicos de fuentes antropogénicas y biogénicas, con excepción del metano, capaces de producir oxidantes fotoquímicos por reacción con los óxidos de nitrógeno bajo el efecto de la luz solar.
- **Sustancias precursoras del ozono:** sustancias que contribuyen a la formación de ozono en la baja atmósfera.
- **Arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno:** niveles en aire ambiente de estos elementos en la fracción PM₁₀.
- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos:** compuestos orgánicos formados por al menos dos anillos condensados aromáticos constituidos en su totalidad por carbono e hidrógeno.

- **Aportaciones procedentes de fuentes naturales:** emisiones de contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, incluyendo fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, las actividades sísmicas o geotérmicas, los incendios forestales no intencionados, los fuertes vientos, los aerosoles marinos, la resuspensión atmosférica y el transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas.
- **Planes de calidad del aire:** planes que contienen medidas para mejorar la calidad del aire de forma que los niveles de los contaminantes estén por debajo de los valores límite o los valores objetivos.
- **Aerosol:** suspensión en un medio gaseoso, de partículas sólidas o líquidas de velocidad de caída despreciable.
- **Coalescencia:** acción por la que las partículas líquidas en suspensión se unen para formar partículas de mayor volumen.
- **Concentración:** cantidad de materia sólida, líquida o gaseosa por unidad de masa o de volumen de otra materia en la que aquélla puede encontrarse en forma de mezcla, suspensión o disolución.
- **Efluente:** fluido que emite una fuente y descarga en el ambiente exterior.
- **Smog:** término inglés derivado de smoke (humo) y fog (niebla) que designa una situación especial de contaminación atmosférica caracterizada por la presencia de niebla y de otros contaminantes.

La Directiva 96/62/CE⁸⁾, define los contaminantes atmosféricos a tener en cuenta para preservar la calidad del aire. Para ello, los contaminantes deben controlarse mediante la medición de su concentración y el seguimiento de los valores límite y umbrales de alerta, excepto el ozono que se evalúa mediante el valor objetivo o valores límite.

8) Unión Europea. DIRECTIVA 96/62/CE DEL CONSEJO de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 21 de noviembre de 1996, L296, p.0055-0063.

Los contaminantes atmosféricos a evaluar son:

- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Partículas finas (incluido PM₁₀)
- Partículas en suspensión (PS)
- Plomo (Pb)
- Ozono (O₃)
- Benceno (C₆H₆)
- Monóxido de carbono (CO)
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP)
- Cadmio (Cd)
- Arsénico (As)
- Níquel (Ni)
- Mercurio (Hg)

Los valores límite de concentración de los contaminantes atmosféricos se determinan tras analizar las condiciones climáticas, la viabilidad económica y técnica, la sensibilidad de la fauna, flora y de sus hábitats, el transporte a larga distancia de los contaminantes, el patrimonio histórico expuesto a los contaminantes y la exposición de la población y, en especial, la exposición de grupos sensibles como niños, ancianos, personas con problemas respiratorios o alergias.

La Directiva 2008/50/CE⁹⁾ especifica el método de evaluación de la calidad del aire ambiente, así como los puntos de muestreo necesarios según el contaminante a medir.

Para poder realizar la evaluación del aire es necesario cumplir con los objetivos de calidad de los datos estipulados en el Anexo I (Objetivos de calidad de los datos):

9) Unión Europea. DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, *Diario Oficial de la Unión Europea*, 11 de junio de 2008, L152, p. 0001-0044.

	SO ₂ , NO ₂ y NO _x CO	Benceno (C ₆ H ₆)	Partículas (PM ₁₀ /PM _{2,5}) y Pb	O ₃ y NO y NO ₂ correspondientes
Mediciones fijas:				
Incertidumbre	15 %	25 %	25 %	15 % 90 % en verano
Recogida mínima de datos	90 %	90 %	90 %	75 % en invierno
Cobertura mínima temporal:				
Fondo urbano y de tráfico	-	35 %	-	-
Emplazamiento industriales	-	90 %	-	-
Mediciones indicativas:				
Incertidumbre	25 %	30 %	50 %	30 %
Recogida mínima de datos	90 %	90 %	90 %	90 %
Cobertura mínima temporal	14 %	14 %	14 %	>10 % en verano
Incertidumbre de modelización:				
Diaria	50 %	-	-	50 %
Medias octohorarias	50 %	-	-	50 %
Medias diarias	50 %	-	Aún no definida	-
Medias anuales	30 %	50 %	50 %	-
Estimación objetiva:				
Incertidumbre	75 %	100 %	100 %	75 %

Tabla 1. Objetivos de calidad de los datos para la evaluación de la calidad del aire ambiente. Fuente: Directiva 2008/50/CE

Normativa Estatal

La legislación española se centra en definir los valores límite exigidos, así como en catalogar las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera definidas como aquellas que por su propia naturaleza o por los procesos tecnológicos utilizados sean una fuente de contaminación que requieran ser sometidas a un régimen de control y seguimiento más estricto.

La normativa vigente actualmente que afecta principalmente a la calidad de aire se detalla a continuación:

1. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera¹⁰⁾.
2. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire¹¹⁾.

Dicha normativa se centra en el nivel de contaminación existente en el aire y marca los objetivos de calidad del aire. Hay que destacar que la mejor forma de luchar contra la contaminación atmosférica es centrarse en la acción preventiva, es decir, corregir la contaminación en la fuente que la origina, esto se debe a la complejidad de reducir la contaminación atmosférica una vez que los contaminantes se han diluido en el medio ambiente, siempre resulta más sencillo retener mediante filtros y otras técnicas como el centrifugado mediante ciclones o el lavado mediante cortina de agua.

La Ley 34/2007 se centra en hacer un listado de las actividades más contaminadoras de la atmósfera y en su Anexo III define los factores a tener en cuenta para establecer los objetivos de calidad del aire que sucintamente se puede resumir en el grado de exposición humano teniendo en cuenta las posibles poblaciones más sensibles como son los niños, ancianos o personas con problemas respiratorios, además de las condiciones climáticas, el patrimonio histórico existente, la sensibilidad de la flora y fauna, entre otros.

El Real Decreto 102/2011 dicta que las superaciones atribuibles a fuentes naturales no se considerarán superaciones a los efectos de lo dispuesto en el Real Decreto. Además el Real Decreto especifica en su disposición transitoria única los siguientes objetivos de calidad de aire mientras no se revisen según lo especificado en el art.9 de la Ley 34/2007:

10) España. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, *Boletín Oficial del Estado*, 16 de noviembre de 2007, BOE 275, p.46962-46987.

11) España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2011, BOE 25, p.9574-9626.

Contaminante	Concentración máxima media en 30 minutos	Concentración máxima media en 24 horas
Cloro molecular (Cl ₂)	300 µg/m ³	50 µg/m ³
Cloruro de hidrógeno (HCl)	300 µg/m ³	50 µg/m ³
Compuesto de flúor	60 µg/m ³	20 µg/m ³
Fluoruro de hidrógeno (HF) _x	30 µg/m ³	10 µg/m ³
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	100 µg/m ³	40 µg/m ³
Sulfuro de carbono (CS ₂)	30 µg/m ³	10 µg/m ³

Tabla 2. Objetivos de calidad de aire de determinados contaminantes.

Además en su Anexo I¹²⁾, establece los objetivos de calidad del aire para distintos contaminantes, recogidos en la siguiente tabla:

	Valor límite horario	Valor límite diario	Valor límite anual	Umbral de alerta
Período promedio	1 hora	24 horas	Año civil	3 horas consecutivas
SO ₂	350 µg/m ³ , no podrá superarse más de 24 veces por año civil	125 µg/m ³ , no podrá superarse más de 3 veces por año civil	-	500 µg/m ³
NO ₂	200 µg/m ³ , no podrá superarse más de 18 veces por año civil	-	40 µg/m ³	400 µg/m ³
PM ₁₀	-	50 µg/m ³ , no podrá superarse más de 35 veces por año	40 µg/m ³	-
PM _{2,5}	-	-	25 µg/m ³	-
Pb	-	-	0,5 µg/m ³	-
Benceno	-	-	5 µg/m ³	-
CO	10 mg/m ³ ⁽¹⁾	-	-	-

⁽¹⁾ Máxima diaria de las medias móviles octohorarias: media de 8 horas consecutivas. Cada media octohoraria así calculada se atribuirá al día en que termine el período de cálculo. Si el período de cálculo es de 12:00 a 20:00, la media octohoraria calculada corresponderá a las 20:00.

Tabla 3. Valores límite para distintos contaminantes. Umbral de alerta.

12) España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2011, BOE 25, p.9574-9626.

** Los valores límite se expresan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El volumen debe ser referido a una temperatura de 293K y a una presión de 101,3 kPa.*

Existen dos tipos de ozono en la atmósfera, el ozono estratosférico y el troposférico, la normativa se centra en el ozono troposférico:

	Parámetro	Valor
Ozono troposférico (O ₃)	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no deberá superarse mas de 25 días por cada año civil

Tabla 4. Otros contaminantes son medidos y promediados durante un año natural.

	Valor objetivo
Período promedio	Niveles en la fracción PM₁₀ durante un año natural
Arsénico (As)	6 ng/m^3
Cadmio (Cd)	5 ng/m^3
Níquel (Ni)	20 ng/m^3
(Benzo (a) Pireno) (B(a)P)	1 ng/m^3

Tabla 5. Valores objetivo para distintos contaminantes. Medición año natural.

Para asegurar la validez de los datos y parámetros estadísticos se aplicarán según la normativa¹³⁾ los siguientes criterios siguientes:

Parámetro	Porcentaje requerido de datos válidos
Valores horarios	>75%, 45 minutos
Valores octohorarios	>75%, 6 horas
Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	>75% de las medias octohorarias móviles, 18 medias octohorarias móviles
Valores correspondientes a 24 horas	>75% de las medias horarias, valores correspondientes a 18 horas.
Media anual	>90% de los valores correspondientes a 24 horas a lo largo del año para todos los contaminantes excepto el ozono
	>90% de los valores horarios durante el verano y >75% durante el invierno. Período que va de enero a marzo y de octubre a diciembre.

Tabla 6. Porcentaje requerido para la validez de los datos utilizados.

13) España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, *Boletín Oficial del Estado*, 29de enero de 2011, BOE 25, p.9574-9626.

1.2.3.2 Reglamentos técnicos.

Además de la normativa estatal en materia de calidad de aire ambiental, existen dos reglamentosa tener en cuenta a la hora de planificar la ventilación de las edificaciones y que hay que cumplir cuando sean de aplicación.

Código Técnico de Edificación (CTE)¹⁴⁾

Aprobado en el año 2006, desarrolla la calidad de aire interior en su documento básico de salubridad (DB-HS), en su apartado 3. Su ámbito de aplicación se centra en los edificios de viviendas, almacenes de residuos, trasteros, aparcamientos y garajes; en los edificios de cualquier otro uso solo se aplicará a los aparcamientos y garajes.

Los locales destinados a otros usos deberán cumplir el **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)** y sus **Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)**.

Las exigencias de ventilación se calculan atendiendo al número de ocupantes en los locales, m² útil o por local según distintos casos:

Locales	Caudal de ventilación mínimo exigido en l/s		
	Por ocupante	Por m ² útil	Otros parámetros
Dormitorio	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2	50 adicional por fogones
Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
Aparcamientos y garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	

Tabla 7. Caudales de ventilación mínimos exigidos según el CTE DB-HS3.

14) España. Código Técnico de Edificación. Documento básico de salubridad. Sección 3 Calidad de aire interior, *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, BOE 74, p.11816-11831.

Para la cuantificación de exigencias se considera el número de ocupantes igual a uno en cada dormitorio individual, dos en cada dormitorio doble y en comedores y salas de estar se considera una ocupación igual a la suma de los ocupantes contabilizados para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente.

A la hora de diseñar el sistema de ventilación es obligatorio en todo caso disponer de un sistema mecánico, pues la normativa únicamente permite los sistemas híbridos o mecánicos, por tanto, prohibiendo la utilización de la ventilación natural como única fuente de renovación del aire interior. Además, el CTE especifica que el aire debe circular de los recintos secos a los húmedos, así se evita que la humedad de dichos recintos afecte a otros cercanos a él.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)¹⁵⁾.

El RITE establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios que estén destinadas a cubrir la necesidad de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.

Su objetivo es reducir el gasto energético por razones tanto económicas como medioambientales. Su ámbito de aplicación está acotado a las instalaciones térmicas no industriales.

Este reglamento se centra en las instalaciones térmicas y dentro de ellas contempla la climatización de los locales, la calidad del aire interior y la ventilación. La ventilación natural entendida como el aprovechamiento del viento atmosférico y su estado higrotérmico no es una instalación, sino un recurso bioclimático, por tanto, para analizar este problema es necesario tener en cuenta que si bien la ventilación natural no es una instalación, su diseño debe realizarse como si de una instalación se tratase ya que es necesario cuantificar las necesidades, conocer las características del recurso

15) España. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE), *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, BOE 207, p.35931-35984.

que utilizaremos y su distribución a través del edificio, como se observa estas tres características son básicas de cualquier instalación

Según el RITE para definir el ambiente térmico en un recinto es necesario conocer la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad del viento y las molestias producidas debido a las corrientes de aire y por la humedad relativa.

El aire exterior introducido en el recinto debe mantener los locales a sobrepresión, así se evitarán infiltraciones desde el exterior que introduzcan partículas suspendidas y otras contaminantes al edificio, además se tendrá en cuenta la distribución interior del inmueble para dirigir el flujo de aire a los locales de servicios y evitar que la inversión de dicho flujo transporte olores, humedad y contaminantes producidos en dichos locales a otros recintos.

Aplicación de los conceptos normativos básicos al sistema de ventilación natural

No existe normativa alguna que regule las características a cumplir por la ventilación natural para ser beneficiosa y rentable o para desaconsejar su uso en otros casos. El CTE no permite el uso único de ventilación natural, mientras que el RITE exige que el aire exterior siempre sea filtrado y tratado térmicamente antes de introducirlo en los locales.

Actualmente es cierto que la contaminación atmosférica ha ido creciendo en las últimas décadas pero los esfuerzos realizados en los últimos años dirigidos al control de las emisiones así como a limitar la concentración de contaminantes en el aire ambiente han conseguido mejorar sucintamente el aire ambiente.

El control de la calidad del aire, así como la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducir el consumo de energía de cualquier tipo, revive la necesidad de tener en cuenta la ventilación natural. Su correcto uso permitirá reducir el uso de energía eléctrica, reducir la

combustión de materia orgánica y mantener salubre el aire interior de los edificios.

Otras referencias

Otros caudales de referencia¹⁶⁾:

Tipo de local	Por persona	Por m ²	Por local	Otros
Almacenes ⁽¹⁾	-	0,75 a 3	-	-
Aparcamientos ⁽⁴⁾	-	5,0	-	-
Archivos	-	0,25	-	-
Aseos públicos ⁽¹⁾	-	-	-	25 ⁽¹²⁾
Aseos individuales ^(1,2)	-	-	15	-
Auditorio ^(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	-	-
Dormitorios colectivos	8	1,5	-	-
Escenarios	8	6	-	-
Estudios fotográficos	-	2,5	-	-
Gimnasio	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	-	-
Laboratorios ⁽⁶⁾	10	3	-	-
Lavanderías industriales ^(1,3)	15	5	-	-
Oficinas	10	1	-	-
Paseos de centros comerciales	-	1	-	-

16) Crespi, María Alicia. *Acondicionamiento ambiental. Vol.2, Acondicionamiento higrotérmico de la calidad del aire y acústico*, 2ª edición, Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1981, pp. 189.

Pasillos ⁽¹⁵⁾	-	-	-	-
Piscinas ⁽⁷⁾	-	2,5	-	-
Quirófanos y anexos ⁽⁸⁾	15	3	-	-
Salas de curas	12	2	-	-
Salas de descanso	20	15	-	-
Salas de espera y recepción	8	4	-	-
Sala de exposiciones	8	4	-	-
Salas de fiesta	15	15	-	-
Salas de fisioterapia	10	1,5	-	-
Salas de juego	12	10	-	-
Salas de reuniones	10	5	-	-
Salas de recuperación	10	1,5	-	-
Supermercados ⁽¹⁴⁾	8	1,5	-	-
Talleres				
- En general	30	3	-	-
- En centros docentes	10	3	-	-
- De reparación automática ⁽⁵⁾	-	7,5	-	-
Templos de culto	8	-	-	-
Tiendas				
- En general	10	0,75	-	-
- De animales ⁽⁸⁾	-	5	-	-
- Especiales ⁽¹⁰⁾	-	3	-	-
UVIs ⁽⁸⁾	10	1,5	-	-
Vestíbulos	10	15	-	-
Vestuarios ⁽⁸⁾	-	2,5	-	10 ⁽¹³⁾

- (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.
- (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.
- (4) El caudal de aire de ventilación indicado se ha calculado fijando el límite superior de CO₂ 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 m² 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 descargará 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 onzas 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 necesaria calcular el aire

- (7) de ventilación en base a la producción de sustancias contaminantes y mantener la concentración de dicha sustancia por debajo del límite máximo admitido.
- (8) 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.
- (9) Se usará normalmente todo aire exterior.
- (10) No se debe retornar aire de estos locales
- (11) Barberías, peluquerías, floristerías, muebles, farmacias, lavanderías comerciales, etc.
- (12) El caudal de aire de ventilación depende del género almacenado; para más información, deberá consultarse la literatura especializada.
- (13) Por inodoros, urinarios y vertedero.
- (14) Por taquilla.
- (15) El caudal indicado es para lugares donde no está permitido fumar; en caso contrario, el caudal deberá incrementarse en un 50%.
- (16) Se utilizará exclusivamente aire procedente de otros locales.
- (17) Salones de actos, teatros, cines salas de conferencias, estudios de televisión, etc.

Tabla 8. Caudales de referencia

Sustancia	Concentraciones máximas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Límite superior	Tiempo de exposición
Monóxido de carbono (CO)	10.000 (8h) – 40.000 (1h)	-	-
Fibras de asbestos	-	0,2 a 2 fibras/cm ³	8 horas
Monóxido de carbono	-	50 ppm 100 ppm 400 ppm	8 horas 1 hora 15 minutos
Dióxido de carbono	-	1.000 ppm	Continuo
Formaldehído	-	1 ppm 2 ppm	8 horas 15 minutos

Tabla 9. Concentraciones máximas permitidas para diferentes sustancias

1.2.4 Características y problemas de la ventilación natural.

La mayoría de la bibliografía consultada¹⁷⁾ apunta a que el microclima de los edificios puede enfermar a sus ocupantes y si se tiene en cuenta que el 80-90% de nuestro tiempo transcurre en locales cerrados con ambientes contaminados en mayor o menor grado, obviamente se hace imprescindible adecuar el diseño de los sistemas de climatización y

17) Mermet, Alejandro Javier. *Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*, 1ª edición, Buenos Aires, Nobuko, 2005, edición literaria al cuidado de Eduardo Yarke, pp.140.

ventilación a las necesidades de uso utilizando para ello los últimos resultados de las investigaciones científicas en esta materia.

La mayoría de este tipo de edificios enfermos dispone de sistemas de ventilación y/o climatización forzada del aire y, por lo general, son edificios herméticos cuyas ventanas no están previstas para la ventilación natural sino para la iluminación. Este tipo de edificios suelen ser oficinas y comercios, aunque también existen escuelas, guarderías, residencias particulares, hoteles, etc. La toma de aire se realiza desde el exterior y se distribuye hacia el interior por conductos, lo que permite regular los caudales de renovación.

La relación entre un edificio y sus características constructivas con las enfermedades que sus ocupantes habituales pudieran padecer vinculadas al mismo, no resultó fácil pero al final mediante estadísticas se ha podido comparar los cuadros clínicos padecidos con la permanencia en determinados tipos de edificios. Así se terminó por reconocer el Síndrome del edificio enfermo (SEE), que designa al conjunto de síntomas que presentan los ocupantes de estos edificios.

Las funciones básicas de la ventilación natural son dos: asegurar una calidad óptima del aire interior mediante la ventilación sanitaria y brindar confort higrotérmico a los ocupantes del edificio, ya sea a través de la ventilación directa sobre las personas (ventilación de confort) o con la ventilación sobre la masa del edificio (refrescamiento convectivo).

La ventilación natural como estrategia para alcanzar niveles óptimos de calidad de aire interior (IAQ) está esencialmente basada en la cantidad de aire fresco suministrado al espacio interior y la dilución de la concentración de los contaminantes.

La calidad de aire óptima puede ser definida como el aire libre de contaminantes que causen irritación, disconfort o enfermedades a los ocupantes. Los estándares de calidad de aire relacionados a la salud generalmente se basan en valoraciones del riesgo y especifican concentraciones máximas permitidas de contaminantes. Las altas concentraciones son usualmente permitidas durante breves períodos de exposición.

A causa de la insuficiente renovación del aire interior y sus efectos sobre los ocupantes aparece el denominado síndrome del edificio enfermo caracterizado por la mala calidad del aire interior. Las principales

características de dicho aire interior son los altos niveles de dióxido de carbono, contaminantes, virus y bacterias. A raíz de este problema aparecen reglamentaciones y regulaciones exigiendo un incremento notable en los niveles de ventilación del aire confinado interior.

El principal problema de la ventilación natural es el comportamiento aleatorio y difícil de optimizar, así como de pronosticar o simular el posible funcionamiento en forma anticipada por la altísima variabilidad de los elementos que intervienen. Por suerte los fenómenos físicos a tener en cuenta no son excesivamente complejos.

Para utilizar la ventilación natural se ha de tener en cuenta la contaminación del aire exterior y los niveles de ruido existentes, pues pueden desaconsejar el uso de este tipo de ventilación a ciertas horas. También es posible la utilización de este recurso sin necesidad de mantener contacto directo entre el ambiente exterior y el interior utilizando diferentes sistemas constructivos.

Entre las principales ventajas está el bajo coste inicial de mantenimiento y operativo comparado con los sistemas de aire acondicionado, además de no ocupar espacio físico en la vivienda. Su mayor desventaja es que en ciertos períodos de verano no puede utilizarse este recurso, pero según el clima exterior y los sistemas constructivos puede paliarse este efecto.

Transporte de contaminantes

Desde los focos de contaminación se produce la mezcla y dilución de los contaminantes en el aire, dando lugar a una distribución de la concentración de los mismos, variable tanto en el espacio como en el tiempo.

La cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera vendrá determinada por la diferencia entre los contaminantes emitidos y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación.

Estos procesos de autodepuración atmosférica pueden causar acumulaciones excesivas de contaminantes en otros medios (vegetación,

suelos, lagos, etc.), incluso lejos del punto de emisión del contaminante, como consecuencia del arrastre atmosférico producido por el viento.

En las áreas en que se dé una fuerte concentración de focos emisores de contaminantes pueden producirse episodios de fuerte contaminación local como consecuencia de la persistencia de situaciones meteorológicas adversas para la difusión de los contaminantes, además las condiciones topográficas y las barreras artificiales (edificios) de la zona pueden forzar el aumento de la concentración de contaminantes alrededor de los focos emisores.

En otros casos los contaminantes pueden alcanzar bastante altura e introducirse en las masas de aire que forman las corrientes generales de vientos sobre la tierra, siendo arrastrados a muchos kilómetros de las fuentes de emisión.

Influencia de los procesos meteorológicos en la contaminación atmosférica

La concentración de contaminantes a nivel del suelo varía como consecuencia del desequilibrio entre los índices de producción de contaminantes y los de autodepuración atmosférica.

La importancia de las condiciones meteorológicas en el grado de contaminación atmosférica se justifica observando las variaciones de la calidad del aire en una zona determinada de unos días a otros, aún cuando las emisiones permanecen prácticamente constantes.

Las principales variables meteorológicas a considerar por su influencia sobre localidad del aire son:

- Transporte convectivo horizontal, depende de velocidades y direcciones del viento.
- Transporte convectivo vertical, depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera.

1) Transporte convectivo horizontal.

El viento transporta los contaminantes produciendo su dispersión horizontal, determinando que zona va a estar expuesta a la contaminación.

Generalmente, una mayor velocidad del viento reducirá las concentraciones de contaminantes al nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla. No obstante, pueden producirse circulaciones cerradas de viento, como en el caso de las brisas del mar y las de valle y montaña, en las que los contaminantes lanzados a la atmósfera se incorporan a la circulación del viento con lo que se produce una acumulación progresiva de los contaminantes. Efectos similares se producen cuando los vientos fuertes inciden perpendicularmente a las crestas montañosas, a un valle o sobre los edificios altos. En estas condiciones, los efectos aerodinámicos de estos obstáculos pueden tener consecuencias negativas para la dispersión de contaminantes, acumulándolos en determinadas zonas.

2) Transporte convectivo vertical

El grado de difusión vertical de contaminantes se determina mediante la variación vertical de temperaturas de la atmósfera.

Podemos determinar la capacidad de difusión vertical de contaminantes comparando la variación vertical de temperaturas de un estrato de aire atmosférico con el gradiente vertical adiabático del aire, que corresponde a una variación de -1°C por cada 100 metros de altura. De esta forma se obtienen tres clases diferentes de estabilidad atmosférica en el estrato, según sea la variación de la temperatura con la altura mayor, igual o inferior que la correspondiente al gradiente vertical adiabático.

- Si en la capa de aire la temperatura descendiendo con la altura bastante menos de un grado cada 10 metros, los movimientos verticales del aire estarán muy limitados, por tanto, habrá poca o nula dispersión vertical de contaminantes. Estabilidad atmosférica: estable.
- Si coinciden la variación de temperatura del estrato con el gradiente vertical adiabático, la dispersión vertical de contaminantes no estará limitada. Estabilidad atmosférica: indiferente o nula
- Cuando la temperatura del estrato desciende con la altura más de un grado cada 100 metros de altura, los movimientos verticales del aire estarán muy favorecidos, difundiéndose los contaminantes verticalmente hasta el fin de la inestabilidad atmosférica. Estabilidad atmosférica: inestable.

Si la temperatura del aire aumenta con la altura estaremos ante el fenómeno conocido como inversión térmica que limita la dispersión de los contaminantes. Este efecto se puede producir como consecuencia del enfriamiento del suelo, por la gran irradiación de calor que se produce en las noches despejadas. El aire se va enfriando progresivamente desde el suelo hacia arriba. La inversión térmica se forma durante la noche y suele desaparecer progresivamente durante la mañana, cuando la radiación solar caliente de nuevo el suelo.

Otro tipo de inversiones son las llamadas de subsistencia, que tienden a formarse en las áreas anticiclónicas y las inversiones frontales, producidas por la superposición de una masa de aire cálido sobre una de aire más frío. Este último tipo de inversión suele tener por lo general una permanencia escasa.

Isla de calor

La micrometeorología urbana afecta a la contaminación atmosférica mediante el efecto denominado isla urbana de calor. Dicho efecto genera un penacho térmico que tiene gran incidencia en la capacidad de difusión de los contaminantes urbanos, dando lugar a la circulación de aire frío de la zona rural circundante que penetra en la zona urbana a niveles bajos, mientras el aire caliente del centro de la ciudad se eleva.

Las grandes ciudades alteran el clima urbano de muchas formas, por lo general la temperatura es superior, hay menos viento, menos precipitaciones en forma de nieve. La radiación solar, y especialmente los rayos ultravioletas, es más reducida en la ciudad como consecuencia de la contaminación urbana.

Inversión térmica

El ser humano ha utilizado durante años la atmósfera como un gran sumidero donde se abocaban todos los contaminantes generados. Esta acción, aumenta la concentración de contaminantes en la capa atmosférica más baja (24km de espesor), donde se concentra el 95% de la masa de aire.

En ciertas ocasiones, puede aparecer el fenómeno conocido como inversión térmica. Normalmente el aire en las ciudades se encuentra a mayor temperatura que el aire en las capas superiores, el aire caliente y más contaminado se desplaza verticalmente aumentando su altura, el aire frío alrededor de la ciudad y de las capas superiores se introduce en la ciudad renovando el aire y disminuyendo la concentración de contaminantes.

El problema aparece cuando en las capas superiores, se produce la inversión térmica de alguna capa de aire, llegada a cierta altura, el aire se encuentra a mayor temperatura que el aire que proviene de la ciudad. En esa situación, no se produce la renovación del aire de la ciudad y los contaminantes que siguen siendo abocados a la atmósfera se concentran en las ciudades y sobre ellas. Este efecto de inversión térmica crea el smog debido a la alta concentración de contaminantes sobre las ciudades.

1.2.5 Estrategias de ventilación. Cálculo de la ventilación desde el punto de vista higiénico.

La tecnología de climatización artificial consolidada en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial permitió que se diseñaran envolventes de edificios con total independencia de la localización geográfica de los mismo, y así fue que pasaron a un segundo plano la importancia de las orientaciones en sus distintas fachadas, la resistencia de

sus muros al flujo térmico, la relación entre muros opacos y vidriados o cualquier aplicación de técnicas dirigidas al uso racional de la energía consumida, o sea ignorando toda característica constructiva que mínimamente tuviera en cuenta al clima local y su influencia. El equipamiento mecánico era la panacea para superar todos los inconvenientes que por una inadecuada relación edificio-clima local se produjeran.

La primitiva reacción frente a la crisis energética de los setenta, consistió en reducir las pérdidas por renovaciones e infiltraciones de aire encerrando las estructuras dentro de envolventes herméticamente selladas. Esto provocó una baja importante del consumo energético en los períodos fríos, pero fue a expensas de la aparición de otros inconvenientes como la excesiva humedad interior, formación de hongos y presencia de bacterias en los conductos de aire, sobrecalentamiento generalizado en verano, etc. Entre los inconvenientes principales, perjudicando la salud de los ocupantes.

A los problemas en el interior de los edificios hay que añadir los problemas medioambientales a gran escala como el calentamiento global de la atmósfera debido a la emisión del CO₂ como factor principal y causado por la combustión de todo tipo de combustibles fósiles aumentando el efecto invernadero. También aparece el agujero de la capa de ozono (en la estratosfera) que se iba ampliando a causa de los CFCs (clorofluorcarbonados) utilizados como gases refrigerantes en equipos de aire acondicionado así como en otros tipos de aerosoles.

La mayor parte del consumo energético del edificio se define en la fase de diseño ya que en esta fase se determina la forma, orientación, sistema constructivo y sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación del mismo.

El principal recurso alternativo a los sistemas mecánicos es la ventilación natural, que realmente debería ser el principal recurso de renovación de aire y control de calidad ambiental interior, pues es un recurso que no emplea energía auxiliar (energía eléctrica o térmica) y es posible utilizarlo en una gran variedad de regiones climáticas.

Además la ventilación natural tiene ciertas ventajas respecto a la utilización de sistemas mecánicos de ventilación como es el ruido generado por dichos sistemas, costes de mantenimiento y consumo energético.

La ventilación natural por sí sola no puede reemplazar totalmente al aire acondicionado, pues depende de los condicionantes externos y las necesidades en el interior del edificio, pero sí que puede aprovecharse mejor

este recurso natural y para ello se debe aumentar y difundir los conocimientos acerca de este tema.

Características físicas del aire ambiental

El aire es un gas inodoro, incoloro e insípido; en general, se puede considerar que está formado por una mezcla de distintos gases, cuyas proporciones en volumen para aire seco y puro son aproximadamente las siguientes¹⁸⁾.

Componente	Porcentaje en Volumen (%)	Porcentaje en Peso (kg)
Oxígeno	20,98	23,20
Nitrógeno	78,03	75,50
Argón	0,93	1,29
Neón	124×10^{-5}	85×10^{-5}
Helio	408×10^{-6}	56×10^{-6}
Xenón	59×10^{-8}	266×10^{-8}
Dióxido de carbono	0,04	0,05

Tabla 10. Composición típica del aire, en porcentaje de volumen y de peso.

Estados del aire. Aire salubre e insalubre

En el proceso de la respiración, el contenido de humedad del aire se ve sometido a distintos procesos físicos. Así, el aire que respiramos se calienta dentro del organismo hasta unos 35°C y aumenta su contenido de

18) Mermet, Alejandro Javier. *Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*, 1ª edición, Buenos Aires, Nobuko, 2005, edición literaria al cuidado de Eduardo Yarke, pp.140.

humedad hasta el 95%. En este proceso, las personas entregan de 33 a 36 gramos de vapor de agua en la inspiración.

El aire se denomina salubre cuando no está mezclado con fluidos nocivos ni impurezas en cantidades suficientes para afectar al organismo humano.

El aire puede volverse insalubre debido a las modificaciones en las cantidades de los distintos elementos que lo constituyen, de las propiedades físicas de los mismos (como presión y temperatura) o a cambios cualitativos del aire por adición de elementos extraños como gases nocivos, polvo, humo, vapores o bacterias.

La pureza del aire y por ende las concentraciones de sus componentes varían de un sitio a otro, siendo más puro en los campos, especialmente si los mismos se encuentran arbolados, en este caso la concentración puede aumentar hasta un 22 o 23% de oxígeno, en ciudades las concentraciones de oxígeno puede disminuir a menos de 20,90%, este es uno de los grandes problemas en muchas ciudades especialmente aquellas con gran cantidad de fábricas y vehículos con motores a combustión. En lugares cerrados con aglomeraciones de personas, la concentración de oxígeno puede decrecer aún más, llegando este descenso a niveles peligrosos.

Tipo de aire	Oxígeno (%)
Aire puro	21
Aire en zonas boscosas	20 al 23
Aire en ciudades	19 al 21

Tabla 11. Concentraciones de oxígeno en el aire.

La disminución del oxígeno en el aire no es el único problema que existe en la calidad del aire. La concentración de dióxido de carbono puede resultar muy perjudicial, hasta puede producir la muerte aún en casos en que la proporción de oxígeno sea la adecuado.

Niveles de CO ₂	Concentración en mg/m ³	Efectos
Más de 0,07%	Hasta 1.360	Mal olor
Hasta 0,14%	Hasta 2.713	Máximo recomendado en la práctica
Hasta 1%	Hasta 19.380	No es perjudicial para la salud
Hasta 5%	Hasta 96.890	Puede tolerarse por cortos períodos
Más de 5%	Más de 96.890	Muy nocivo

Tabla 12. Efectos producidos por distintos niveles de anhídrido carbónico

Aire viciado

Por efecto de todo tipo de procesos (combustión, industrial, limpieza) el aire va acumulando sustancias que disminuyen su pureza y pueden dar lugar a importantes problemas de salud.

Como consecuencia de los procesos de combustión, aumenta la presencia de anhídrido carbónico, monóxido de carbono, vapor de agua y otros elementos en el aire.

Por descomposición de materiales orgánicos pueden presentarse pequeñas cantidades de amoníaco, ácido nítrico, ácido sulfuroso y otros compuestos nocivos o tóxicos.

También puede notarse en mayor o menor proporción, la presencia de polvo atmosférico, compuesto de pequeñas partículas sólidas que flotan en el aire. Estas partículas pueden ser inorgánicas, tales como sílice, carbón, sales, etc. u orgánicas provenientes de residuos animales o vegetales pulverizados. Adherido al polvo atmosférico pueden encontrarse diversos gérmenes patógenos que pueden afectar la salud.

Aire confinado

El aire limitado dentro de un local, especialmente si hay gran cantidad de personas, se ve alterado rápidamente, disminuyendo en él la cantidad de oxígeno y aumentando el dióxido de carbono, el vapor de agua y la temperatura. Hasta cierto límite esto resulta imperceptible,

sobrepasando este límite empieza a ser molesto para los ocupantes del local. Si el CO_2 aumenta demasiado comienza a ser peligroso.

Efectos de la respiración

Durante la respiración, el aire sufre modificaciones físicas y químicas. Este proceso comprende dos etapas: la inspiración y la expiración.

Las modificaciones físicas más importantes son las siguientes: en ambientes con temperaturas inferiores a 30°C , el aire se calienta en los pulmones y vías respiratorias donde se producen procesos de combustión constantes, a alrededor de 35°C . Además el aire se satura de vapor de agua en los pulmones, para cualquier grado de humedad del ambiente.

Entre las modificaciones químicas, las más importantes son la reducción de la cantidad de oxígeno, ya que el aire expirado contiene un 16% de oxígeno contra el 21% que tiene el aire al ser inspirado, y el aumento del dióxido de carbono expulsado por los pulmones, ya que el aire puro contiene alrededor del 0,04% de CO_2 y el aire expirado contiene alrededor del 4%. En la siguiente tabla se detalla el cambio experimentado por el aire tras ser respirado.

Datos	Aire exterior puro	Aire expirado
Oxígeno	21 %	14-16 %
Dióxido de carbono	0,03 - 0,04 %	4 – 5,6 %
Nitrógeno	78 %	79,7 %
Vapor de agua por m^3	5 -25 g	45 g (a 37°C)

Tabla 13. composición del aire atmosférico y del aire expirado.

Durante cada inspiración ingresa a los pulmones aproximadamente medio litro de aire. La suma del aire que cabe en los pulmones se llama capacidad vital, esta es de 3 a 4 litros en un hombre adulto y de 2 a 3 en mujeres adultas. Las siguientes tablas muestran las variaciones de la

frecuencia respiratoria en las personas de acuerdo a la edad, la variación de la frecuencia respiratoria en relación a la temperatura y a las pulsaciones del individuo, la producción de CO₂ en función de la actividad cardiaca y del oxígeno inspirado.

Tipo de persona	Respiraciones por minuto
Recién nacido	35 – 56
Lactante	45 – 56
Niño de 1 año	26 – 32
Niño de 3 años	30 – 40
Niño de 5 años	25
Después de los 6 años	20
Adulto	16 – 20

Tabla 14. Frecuencia respiratoria según la edad de la persona

Temperatura corporal (°C)	Número de pulsaciones	Número de respiraciones
37	72	18
38	92	23
39	112	28
40	132	33

Tabla 15. Variación de la frecuencia respiratoria en relación a la temperatura y a las pulsaciones del individuo.

La necesidad de obtener oxígeno dependen principalmente del nivel metabólico o calor metabólico **M** (W o Kcal/h, también llamado tasa metabólica, este valor está relacionado directamente con el tipo de actividad que realiza la persona y representa la cantidad de calor producida por una persona al realizar un determinado tipo de actividad¹⁹⁾ .

El oxígeno requerido en l/h y por persona es aproximadamente 0,172M con M en W (1/5 de la tasa metabólica en Kcal/h). El aire de recambio necesario en l/h por persona para proveer la cantidad necesaria de oxígeno, es aproximadamente 3,657M tomando M en W (4,25M considerando M en Kcal/h).

19) Mermet, Alejandro Javier. *Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*, 1ª edición, Buenos Aires, Nobuko, 2005, edición literaria al cuidado de Eduardo Yarke, pp.140.

Tipo de actividad	Tasa metabólica M	
	W	Kcal / h
Metabolismo basal	69,78 – 81,4	60-70
Sentado descansando	77,38 – 116,3	90-100
Actividad sedentaria	116,3 – 139,56	100-120
Caminando a 4 km/h	244,23 – 314,01	210-270
Caminando a 7 km/h	348,9 – 465,2	300-400
Trabajo liviano	174,45 – 348,9	150-300
Trabajo moderado	348,9 – 558,24	300-480
Trabajo pesado	523,35 – 697,68	450-600
Trabajo muy pesado	697,68 – 872,25	600-750

Tabla 16. Niveles de calor metabólico para distintos tipos de actividad.

La cantidad de CO₂ producida por el cuerpo humano se puede considerar proporcional a la tasa metabólica, con esto la tasa volumétrica de producción de CO₂ (q) se puede calcular como:

$$q = 0,1463M \text{ (M en kcal/h)}$$

$$q = 0,17M \text{ (M en W)}$$

Como comparación se puede agregar que la combustión de 1m³ de gas produce alrededor de 0,6m³ de CO₂.

Tipo de actividad	Tasa metabólica M (W)	Cantidad media de CO ₂ producido por persona (l/h)
Metabolismo basal	80	11,5
Sentado descansando	105	16
Actividad sedentaria	130	19
Caminando a 4 km/h	280	39
Caminando a 7 km/h	406	60
Trabajo liviano	260	37
Trabajo moderado	470	66
Trabajo pesado	610	90
Trabajo muy pesado	784	115

Tabla 17. Niveles de CO₂ producido por persona en función del calor metabólico y del tipo de actividad

Ventilación intermitente

Es posible utilizar una ventilación intermitente de los locales, retrasando el uso del sistema de ventilación respecto al comienzo de la ocupación para conseguir ahorrar energía y así evitar también que entre aire exterior más contaminado en las horas donde las concentraciones son superiores.

Se puede realizar utilizando el volumen del espacio interior para diluir las sustancias contaminantes hasta alcanzar el nivel máximo deseado tras comprobar que la ventilación natural obtenida reducirá la concentración de contaminantes en el interior de la estancia incluso sin reducir las fuentes interiores de producción de contaminantes.

Es necesario remarcar que según la norma UNE 13.779, que se aplica al diseño y ejecución de los sistemas de ventilación y de acondicionamiento de aire para edificios de uso no residencial con ocupación humana, excluyéndose las aplicaciones relacionadas con los procesos industriales, prohíbe el uso de esta estrategia de ventilación intermitente en los casos donde no se cumplan los siguientes requisitos:

- 1- El espacio tiene alternancias de periodos de ocupación y desocupación.
- 2- La producción de sustancias contaminantes está asociada únicamente a la actividad de los ocupantes.
- 3- Las sustancias contaminantes son disipadas por ventilación natural durante los periodos de desocupación.

Por tanto, aunque esta norma no afecta a la ventilación natural puesto que se refiere a sistemas de acondicionamiento climático mecánicos (HVAC-Heat, Ventilation and Air Conditioning) sí que es interesante remarcar que es esencial que la producción de sustancias contaminantes sólo sea debida a la presencia de personas en el recinto, pues el CO₂ a partir de cierta concentración se puede detectar por su olor, además de resultar fácil

de calcular su producción con solo saber las personas que van a estar en la estancia.

Para utilizar la ventilación natural intermitente con otros contaminantes presentes se recomienda instalar medidores específicos de contaminantes para detectar las posibles alteraciones y siempre y cuando la normativa permita recurrir a esta práctica.

Si no se ventila una estancia donde existen fuentes de contaminación, la concentración de los contaminantes aumentará dependiendo del tiempo²⁰⁾:

$$C_s = \frac{q_c \cdot t}{V}$$

- **C_s**: Concentración de sustancia contaminante en un recinto sin ventilar (g/m³).
- **q_c**: Carga contaminante generada en el interior del edificio (g/s).
- **V**: Volumen del recinto (m³).
- **t**: tiempo transcurrido a partir de la producción del contaminante (s).

Ecuación 1. Cálculo de la concentración de contaminante en local sin ventilación

En cambio, si existe ventilación en régimen permanente, la concentración del contaminante será:

$$C_v = \frac{q_c}{q_v}$$

- **C_v**: Concentración de sustancia contaminante en un recinto ventilado (g/m³).
- **q_c**: Carga contaminante generada en el interior del edificio (g/s).
- **q_v**: Caudal de aire de ventilación (m³/s).

Ecuación 2. Cálculo de la concentración de contaminante en local con ventilación

Para conocer el tiempo máximo que podemos utilizar la ventilación intermitente debemos conocer la concentración tanto interior como requerida (máxima permitida en el interior de la estancia), además de tasa de producción del contaminante y el volumen de la estancia y siempre que la

20) Rey Martínez, Francisco Javier, et al. *Calidad de ambientes interiores*, Madrid, Thomson, 2007, pp.311.

tasa de producción de contaminantes sea menor que la tasa de expulsión de contaminante:

$$T = \frac{(C_r - C_i) \cdot V}{q_c}$$

- C_r : Concentración de sustancia contaminante máximo requerido (g/m^3).
- C_i : Concentración de sustancia contaminante interior (g/m^3).
- q_c : Carga contaminante generada en el interior del edificio (g/s).
- V : Volumen del recinto (m^3).
- T : tiempo máximo que puede permanecer la estancia cerrada (s).

Ecuación 3. Tiempo máximo sin ventilación en la estancia

$$1 > \frac{q_c}{q_v \cdot C_r}$$

- C_r : Concentración de sustancia contaminante máximo requerido (g/m^3).
- q_c : Carga contaminante generada en el interior del edificio (g/s).
- q_v : Caudal de aire de ventilación (m^3/s).
- **Tasa de expulsión de contaminante:** $q_v \cdot C_r$

Ecuación 4. Requisito necesario para poder utilizar la ventilación intermitente

Si la tasa de expulsión de contaminante es mayor que la tasa de producción se puede utilizar la ventilación intermitente, en caso contrario aunque se quisiera disminuir la concentración en la estancia sería imposible.

Eficacia de la ventilación

Los contaminantes no se reparten homogéneamente por la estancia, por tanto puede que donde esté situada la salida del aire interior no sea donde mayor concentración existe del contaminante.

Para los usuarios del edificio, y desde el punto de vista sanitario, la máxima importancia recae en aquella zona del espacio en la que va a respirar. La falta de homogeneidad de la calidad del aire afecta a las necesidades de ventilación del recinto.

La cuantificación de esta falta de homogeneidad viene dada por el coeficiente de eficacia de la ventilación:

$$\varepsilon_v = \frac{C_x - C_e}{C_o - C_e} = \frac{\left(\frac{C_x}{C_e}\right) - 1}{\left(\frac{C_o}{C_e}\right) - 1}$$

- C_x : Concentración de sustancia contaminante expulsado al exterior (g/m^3).
- C_e : Concentración de sustancia contaminante exterior introducido (g/m^3).
- C_o : Concentración de sustancia contaminante en la zona ocupada (g/m^3).
- ε_v : eficacia de ventilación.

Ecuación 5. Cálculo de la eficacia de ventilación

Índice de ventilación necesaria, según cálculo desde el punto de vista higiénico

El caudal de ventilación necesario para asegurar una aceptable calidad de aire depende de la cantidad y naturaleza de la fuente de contaminación dominante en el espacio. Si las características de las emisiones son conocidas, es posible calcular la tasa de ventilación necesaria para prevenir que la concentración de contaminantes exceda el límite preestablecido.

Existen distintos criterios para el cálculo del caudal de aire necesario, para mantener una calidad de aire interior aceptable. En edificios donde la ventilación natural cumple funciones de refrescamiento en verano, las tasas de ventilación mínimas que serían necesarias desde el enfoque de la Calidad del Aire Interior, son ampliamente superadas por el caudal de aire necesario para lograr el confort térmico de los ocupantes.

Para el diseño del sistema de ventilación natural de un edificio en verano tiene más peso el factor térmico que el sanitario, por lo que en este caso se utilizarán para el cálculo de caudales de aire, métodos numéricos

que consideren los factores relacionados al confort térmico más que a la calidad de aire interior.

En invierno, donde la ventilación natural sólo se utiliza para renovar el aire necesario para los requerimientos sanitarios se buscará alcanzar la calidad de aire interior junto con un empleo reducido de la cantidad de energía necesaria para calentar ese aire entrante.

Para el cálculo de las necesidades de ventilación se ha utilizado el procedimiento IAQ (Indoor Air Quality). Para su aplicación se establecen límites de concentración de todos los contaminantes conocidos.

Más específicamente, el procedimiento IAQ determina límites de concentración para diez contaminantes (dióxido de carbono, acetona, amoníaco, formaldehído, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, fenol, alcohol metílico y ácido sulfhídrico), prescribe un análisis subjetivo para la determinación de niveles de olor aceptables y describe el uso y tratamiento del aire recirculado, para reducir las tasas mínimas de ventilación presentadas en el estándar. La concentración de los contaminantes en el aire interior deberá mantenerse por debajo de estos niveles.

$$I_{vm} = \frac{C_c}{C_r - C_e} \times \frac{1}{\epsilon_v}$$

- I_{vm} : Índice de ventilación necesaria (m^3/s).
- C_c : Carga contaminante generada en el interior del edificio ($\mu g/s$).
- C_r : Concentración requerida en el interior ($\mu g/m^3$).
- C_e : Concentración exterior ($\mu g/m^3$).
- ϵ_v : Eficacia de la ventilación.

Ecuación 6. Índice de ventilación necesaria, según criterio higiénico.

Si se conoce el nivel de concentración permitido para un contaminante específico, fácilmente se puede obtener el flujo de aire recomendado para reducir dicha concentración. En la práctica es importante identificar la fuente de contaminación dominante, ya que este contaminante requerirá la mayor tasa de ventilación para controlarlo y si se alcanza un nivel de ventilación capaz de controlar al contaminante principal, este flujo de aire será más que suficiente para mantener al resto de los contaminantes en un nivel permisible.

Para determinar las renovaciones necesarias por horas se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{I_{vn}}{V} (\text{renovaciones/hora})$$

- I_{vn} : Índice de ventilación necesaria (m^3/s).
- V : Volumen del recinto (m^3).
- n : número de renovaciones por hora.

Ecuación 7. Renovaciones por hora.

El ayuntamiento de Madrid ofrece una tabla de renovaciones por hora para diferentes actividades:

Actividad	Renovaciones / hora	Actividad	Renovaciones / hora
Fábricas de vidrio:		Plantas embotelladoras:	
- Hornos	30 a 50	- Lavaderos	10 a 15
- Máquinas	20 a 40	- Pasteurizado	12 a 16
		- Fermentación	12 a 16
Taller de pintura	30 a 50	Cines	10 a 15
Tratamientos térmicos	20 a 40	Garajes	4 a 8
Naves de calderas	20 a 30	Taller mecánico	5 a 8
Forja en caliente	18 a 30	Oficinas	6 a 8
Centrales térmicas	12 a 30	Manufactura en general	6 a 8
Piscinas	15 a 25	Mercados	4 a 8
Fundiciones pesadas	18 a 25	Polideportivos	4 a 8
Fábricas de papel	8 a 20	Crianza de animales	3 a 9
Fundiciones livianas	12 a 15	Almacén en general	2 a 6

Tabla 18. Renovaciones por hora para diferentes actividades:

1.2.5 Síndrome del edificio enfermo

El conjunto de contaminantes presentes en el interior de las viviendas puede originar problemas de salud entre los ocupantes, ocurriendo en el peor de los casos el “Síndrome del Edificio Enfermo”²¹⁾. La Organización Mundial de la Salud (OMS) lo define como el “conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en espacios cerrados”. Las personas afectadas presentan síntomas indeterminados, similares a los del resfriado común o enfermedades respiratorias.

Un edificio puede estar enfermo, aunque sea eficiente desde el punto de vista energético o haya sido remodelado con materiales nuevos. Esto suele ocurrir cuando no se ha tenido en cuenta el grado de control de la temperatura, humedad o iluminación, sobretodo en lugares de trabajo.

21) Mermet, Alejandro Javier. *Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*, 1ª edición, Buenos Aires, Nobuko, 2005, edición literaria al cuidado de Eduardo Yarke, pp.140.

Las patologías que aparecen no suelen ser severas. Los síntomas se pueden agrupar en cinco categorías:

- Oculares: escozor, enrojecimiento y lagrimeo.
- Cutáneos: sequedad de la piel, prurito (picazón permanente) generalizado o localizado, enrojecimientos localizados.
- Vías respiratorias altas: rinorrea (moquillo), congestión nasal, estornudos, picor nasal, hemorragias nasales, sequedad de garganta, carraspera, ronquera.
- Vías respiratorias bronquiales y pulmonares: sensación de opresión torácica, sensación de ahogo, pitidos en el pecho, tos seca.
- Generales: dolor de cabeza, dificultad para concentrarse, irritabilidad, somnolencia, mareos.

También se han descrito enfermedades más severas como neumonitis por hipersensibilidad, fiebre de los humidificadores, asma, rinitis crónica, dermatitis y, excepcionalmente, pero con carácter muy grave puede aparecer la temida legionelosis que puede producir neumonía. La bacteria legionela existe naturalmente en el agua y en la tierra húmeda y ha sido encontrada en grifos de agua fría y caliente, tanques de agua caliente y agua de torres de refrigeración de aire acondicionado.

Además, cabe destacar que estudios científicos recientes aseguran que trabajar en oficinas sin suficiente ventilación aumenta el riesgo de sufrir gripe y conjuntivitis irritativa.

Para poder hablar de edificios enfermos es necesario que más del 20% de sus ocupantes habituales presente alguna de las manifestaciones del SEE (escozor de ojos, sequedad de la piel, congestión nasal). Salvo en algunos casos puntuales no es una patología severa, aunque se ha demostrado que exposiciones a contaminantes aunque sea a baja concentración a largo plazo aumenta la probabilidad de sufrir patologías respiratorias.

El SEE puede producirse por otros factores a parte de por la insuficiente renovación de aire interior como materiales volátiles, tipos de actividad interior, hábitos de los ocupantes, entorno donde se hace la toma exterior de aire, etc.

Factores de riesgo más comunes

Contaminantes ambientales: compuestos químicos y biológicos. Los contaminantes más significativos son el dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapores orgánicos, fibras, partículas en suspensión.

Ocupantes: fumar (un sistema de ventilación necesita al menos 3 horas para eliminar 95% del humo de un solo cigarrillo y el 5% que queda es todavía nocivo. Los filtros y los purificadores de aire logran eliminar partículas del humo de tabaco, pero no actúan sobre aquellas depositadas en las superficies de la habitación. Lo mismo ocurre con los materiales usados para la limpieza y desinfección, con el ozono desprendido por las fotocopiadoras, y con otros productos que se lanzan al ambiente.

Olores, problemas de iluminación, ruido: contribuyen también al disconfort y a la aparición de algunos síntomas. Pero son fundamentalmente la temperatura y el grado de humedad los que más problemas generan debido a las desigualdades existentes entre unas zonas y otras del mismo edificio, ya que es difícil que su distribución sea homogénea.

Ionización de la atmósfera: los iones son moléculas del aire que contienen pequeñas cargas eléctricas. Hay iones positivos (radicales libres) e iones negativos, están en una proporción de cinco a cuatro en una atmósfera equilibrada. En las ciudades hay un exceso de iones positivos, mientras que en el campo abundan los iones negativos. La ausencia de iones negativos en un ambiente cerrado podría serla causa de muchos síntomas según algunos expertos, pero no hay evidencia científica de ello y tampoco la utilización de generadores de iones ha evidenciado beneficios.

La ventilación insuficiente: es una de las causas que con más frecuencia ocurre. La medición de CO₂ es un buen parámetro para medir la calidad del aire: cuando las renovaciones son insuficientes, la concentración de CO₂ supera las 1.000 ppm (partes por millón).

Problemas frecuentes de los edificios con aire acondicionado y bajo nivel de renovación del aire interior

- Contaminantes procedentes del exterior que ingresan por las tomas de aire.
- Contaminación generada por los ocupantes: tabaco, fotocopiadoras, operaciones de pintura, limpieza, reparación cuya renovación es insuficiente.
- Contaminantes que provienen de zonas especiales: cocina, imprenta, laboratorio y que distribuyen al resto del edificio por los conductos
- Olores permanentes
- Diferencias de calidad del aire entre zonas próximas
- Presencia elevada de contaminantes biológicos (virus y bacterias) que se depositan en los conductos e instalaciones.

CASO PRÁCTICO.

2.

CALIDAD DEL AIRE DE VALENCIA. APLICACIÓN EN LA LONJA.

2.1 Introducción. La Lonja de la Seda.

El interés que suscita la Lonja de la Seda (también conocida como la Lonja de los Mercaderes) para aplicar el estudio de la ventilación natural proviene principalmente de la información conocida respecto a su evolución durante sus más de 500 años de vida. La Lonja de los Mercaderes se ha visto envuelta en numerosas rehabilitaciones, reformas y construcciones modificando tanto el uso del edificio como la conexión entre sus diferentes cuerpos.

Esta evolución permite analizar como los condicionantes internos debidos a su uso (paso de personas por el edificio, contaminantes generados, uso dado al edificio) influyen en la contaminación generada en su interior y las necesidades de ventilación desde el punto de vista higiénico, cálculo.

La Lonja de la Seda empezó a construirse el 26 de Diciembre de 1482 cuando se coloca la primera piedra y finaliza en diciembre de 1498 la construcción del Salón de Contrataciones y de la Torre mientras que el Consulado del Mar se terminó en el año 1548.

Antes de entrar de lleno en el estudio de la ventilación natural es necesario definir los cuerpos que forman la Lonja de la Seda atendiendo especialmente a las aberturas existentes y la conexión que se consigue entre los diferentes recintos.

La Lonja está formada por 4 cuerpos principales:

1) Salón Columnario

Conocido también como la Sala de Contrataciones se utilizaba inicialmente para el comercio, este espacio cuenta con 8 columnas exentas y otras 16 columnas alineadas con los muros perimetrales. Esta estructura soporta el tejado y las 15 bóvedas que conforman el techo de dicha sala. El Salón mide 35,79 metros de longitud, 21,46 metros de anchura y 17 metros de altura.

2) Torre

Fue construida al mismo tiempo que el Salón Columnario y cuenta con 3 plantas, la planta baja era utilizada anteriormente como capilla. En la actualidad no es posible visitar las plantas superiores debido al mal estado de conservación de la escalera. A partir de su tercera planta la escalera de caracol se introduce dentro de la planta de la Torre y deja de ser visible por el exterior. Su altura total aproximada es de 27,5 metros, y su planta es cuadrada con una dimensión de 6,87 metros.

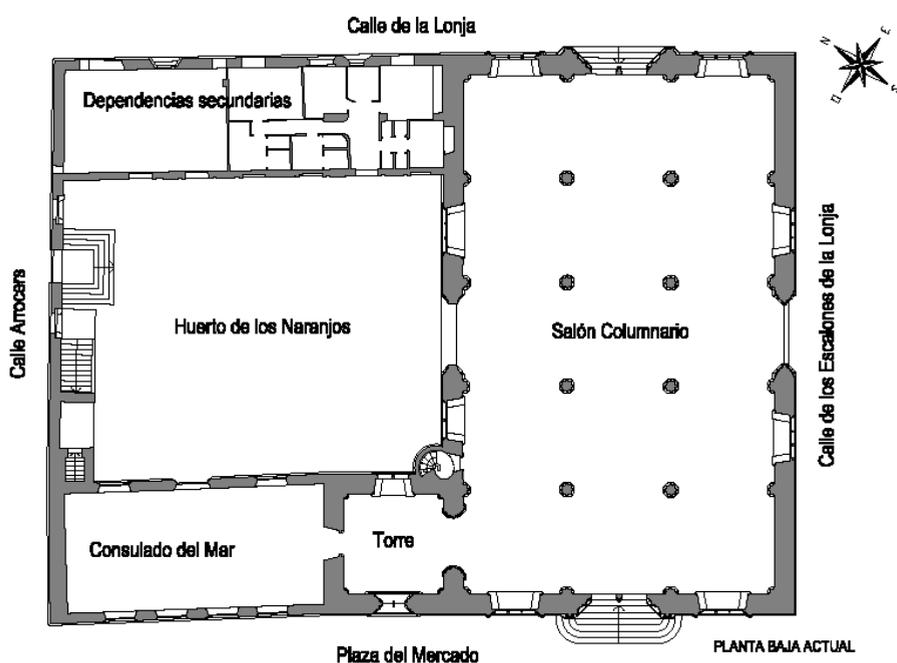
3) Consulado del Mar

Este edificio se construye más tarde, se deduce de la falta de trabazón en la fachada suroeste (dicha fachada recae a la plaza del mercado) entre el Consulado y el Salón Columnario. Cuenta con semisótano y 3 plantas, la planta baja, llamada Sala de Comercio, la primera planta donde se encontraba el Tribunal de Comercio y donde tuvo que construirse otra planta a causa de su altura y los empujes transmitidos por la bóveda.

La altura total del Consulado es de 25,44 metros, su longitud es de 18,89 metros y cuenta con una anchura de 9,58 metros

4) Huerto de los Naranjos

Recibe su nombre de la primera plantación que se realizó en el jardín. Es el cuerpo que ha sufrido más modificaciones a lo largo de su historia. El huerto mide en su eje noroeste-sureste 26,17m y en su eje noreste-suroeste 29,22m, aunque una parte de su superficie está ocupada por las dependencias secundarias.



Plano descriptivo de los cuerpos de la Lonja de los Mercaderes.

Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.²²⁾

2.2.1 Historia de la Lonja de la Seda.

Se han utilizado los planos de la Tesis del Dr. Manuel Jesús Ramírez²²⁾ para definir la Lonja de la Seda.

22) Ramírez Blanco, Manuel Jesús. *La Lonja de Valencia y su entorno monumental: origen y desarrollo constructivo, evolución de sus estructuras, sinopsis de las intervenciones más relevantes, siglos XV al XX*, 3 volúmenes, 1999.

Como ya se ha dicho anteriormente, la Lonja ha sufrido diferentes cambios de uso desde su construcción hasta el día de hoy. Vamos a distinguir los tres usos principales que se le han dado para analizar las necesidades requeridas en cuanto a la ventilación del edificio.

Primer periodo (1493-1707)

El edificio se construyó para satisfacer las necesidades comerciales de la creciente ciudad. El Salón Columnario fue utilizado para actividades de mercadería. La Torre contaba en su planta baja con una capilla y el Consulado del Mar albergaba el Tribunal de Comercio y la Cámara del Consulado. El Huerto de los Naranjos está exento de construcciones significativas pues aun no se han construido las dependencias secundarias.

A continuación se adjunta una tabla donde se detallan las modificaciones realizadas en la Lonja que influyen en el flujo de aire, estas actuaciones afectan a las aberturas, ya sean puertas o ventanas, así como la creación de nuevos cuerpos construidos y las modificaciones interiores de su distribución.

Las siguientes tablas sobre las actuaciones en la Lonja están realizadas con los datos sobre la rehabilitación de la tesis del Dr. Manuel Jesús Ramírez Blanco²³⁾.

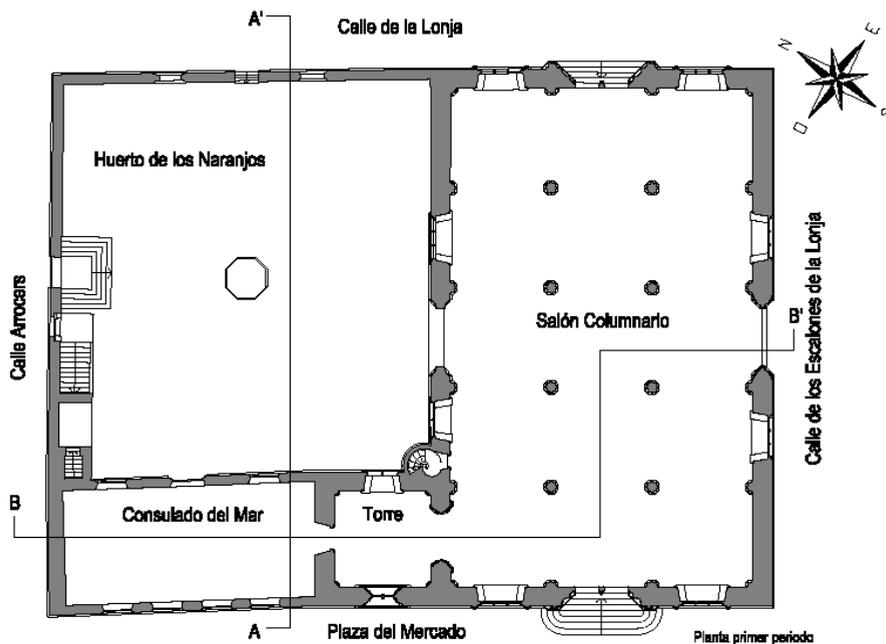
Para realizar el análisis se reproduce la situación de la Lonja tras las modificaciones en el año 1549 puesto que el semisótano se ha dejado fuera del análisis del flujo de aire y no se conoce la duración del enrejado de madera del Huerto de los Naranjos. Además no se tiene en cuenta las letrinas al no poder ubicarlas a ciencia cierta en el Huerto de los Naranjos.

La geometría del edificio durante el primer periodo a analizar se define en los siguientes esquemas:

23) Ramírez Blanco, Manuel Jesús. *La Lonja de Valencia y su entorno monumental: origen y desarrollo constructivo, evolución de sus estructuras, sinopsis de las intervenciones más relevantes, siglos XV al XX*, 3 volúmenes, 1999.

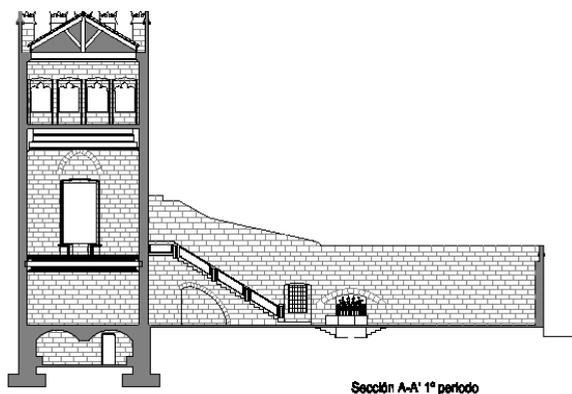
Siglo	Año	Actuación
XIV	1483	Colocación primera piedra del Salón Columnario
XIV	1498	Finalización de la construcción del Salón Columnario y la Torre
XVI	1506	Se procede al cierre del muro de cerca del Huerto de los Naranjos
	1510	Construcción puerta en la 1º planta de la Torre. Unión Torre-Consulado
	1520	Construcción de letrinas en el Huerto de los Naranjos
	1526	Construcción del artesanado primera planta del Consulado del Mar
	1533	Apertura de ventana sobre el muro de cerca noreste (calle la Lonja)
		Construcción fuente octogonal en el Huerto de los Naranjos
	1548	Finalización de la construcción del Consulado del Mar
1549	Traslado del altar de mármol de la capilla de la Torre	
	Construcción puerta en la capilla de la Torre	
XVII	1611	Construcción enrejado de madera en el Huerto de los Naranjos
	1634	Construcción en semisótano de puerta. Unión Consulado-Plaza Mercado

Tabla 19. Actuaciones en el primer periodo que influyen en el flujo de aire

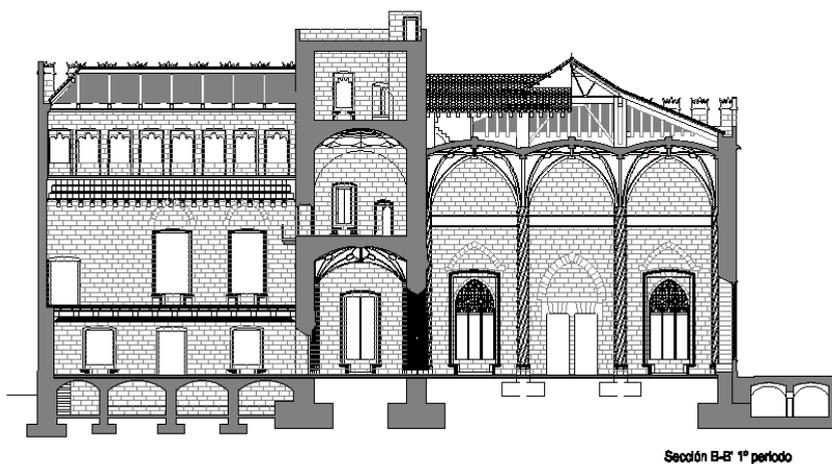


Esquema de la planta baja de la Lonja en 1549 utilizada para el primer cálculo.

Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.



Sección A-A' por el huerto de la Lonja en 1549 utilizada para el primer cálculo.
Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.



Sección transversal B-B' de la Lonja en 1549 utilizada para el primer cálculo.
Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.

Segundo periodo (1707-1918)

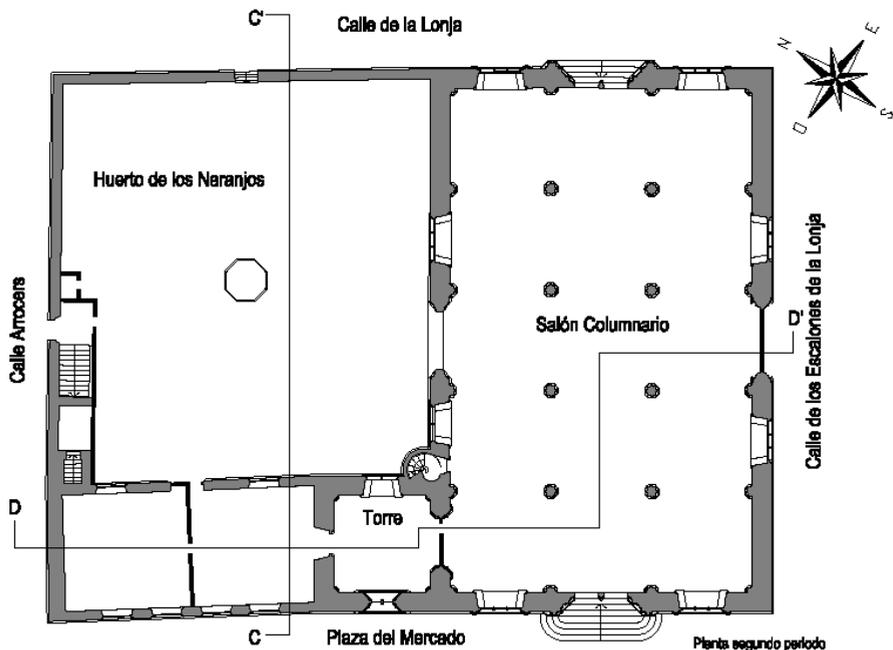
La Lonja se ve sometida a un cambio de uso drástico al utilizar el recinto como cuartel para alojar a la tropa e interrumpiendo las actividades de mercadería. Todos los cuerpos constructivos sufrieron modificaciones, la mayoría de ellas destinadas a reducir los accesos a la Lonja debido a su uso como cuartel.

Siglo	Año	Actuación
XVIII	1707-1724	Posible cegado de la puerta sur del Salón Columnario
		Cegado de accesos a la capilla de la Torre
		Compartimentación planta baja del Consulado del Mar
		Cegado de huecos planta baja del Consulado del Mar
		Tapiado de la escalera de acceso a la primera planta del Consulado
		Cegado de los ventanales del Huerto de los Naranjos
	1724-1749	Construcción de las dependencias secundarias en el Huerto de los Naranjos
1749-1807	Ampliación de las dependencias secundarias	
XIX	1808	Reforma general de las dependencias secundarias
	1836-1900	Apertura de la portada Neogótica en el Salón Columnario. Unión Salón-Dependencias
	1863	Transformación de ventana en puerta en el muro noreste del Huerto de los Naranjos
	1870	Cegado huecos de la loggia renacentista
	1897	Apertura de puerta segunda planta del Consulado. Unión Consulado-Torre
	1898	Reforma interior de dependencias secundarias
XX	1914	Transformación de ventana en puerta en el muro noreste del Consulado.
		Construcción de servicios higiénicos junto a las dependencias secundarias
		Tapiado de la ventana en planta baja del Consulado

Tabla 20. Actuaciones en el segundo periodo que influyen en el flujo de aire

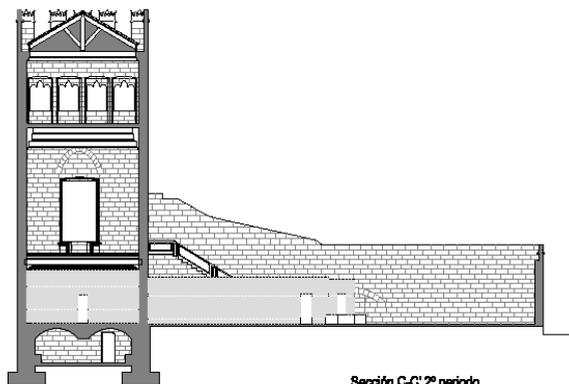
Durante la primera mitad del siglo XVII se convierte la Lonja en cuartel, por tanto, para realizar el análisis de dicho periodo se tiene en consideración aquellas modificaciones realizadas hasta el año 1724, las dependencias secundarias no se toman en cuenta debido a sus continuas modificaciones y serán consideradas en el tercer periodo.

La geometría del edificio durante el segundo periodo a analizar se define en los siguientes esquemas:



Esquema de la planta baja de la Lonja en 1724 utilizada para el segundo cálculo.

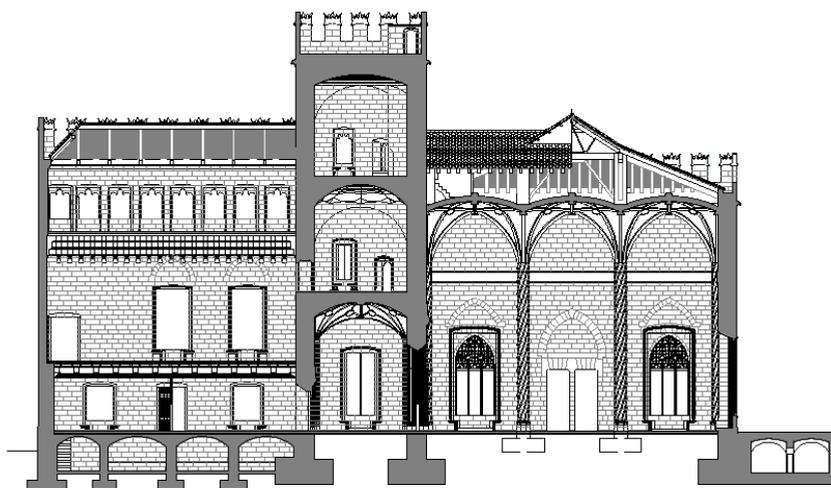
Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.



Sección C-C' 2º periodo

Sección C-C' por el huerto de la Lonja en 1724 utilizada para el segundo cálculo.

Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.



Sección D-D' 2º periodo

Sección transversal D-D' de la Lonja en 1724 utilizada para el segundo cálculo.

Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.

Tercer periodo (1918- Actualidad)

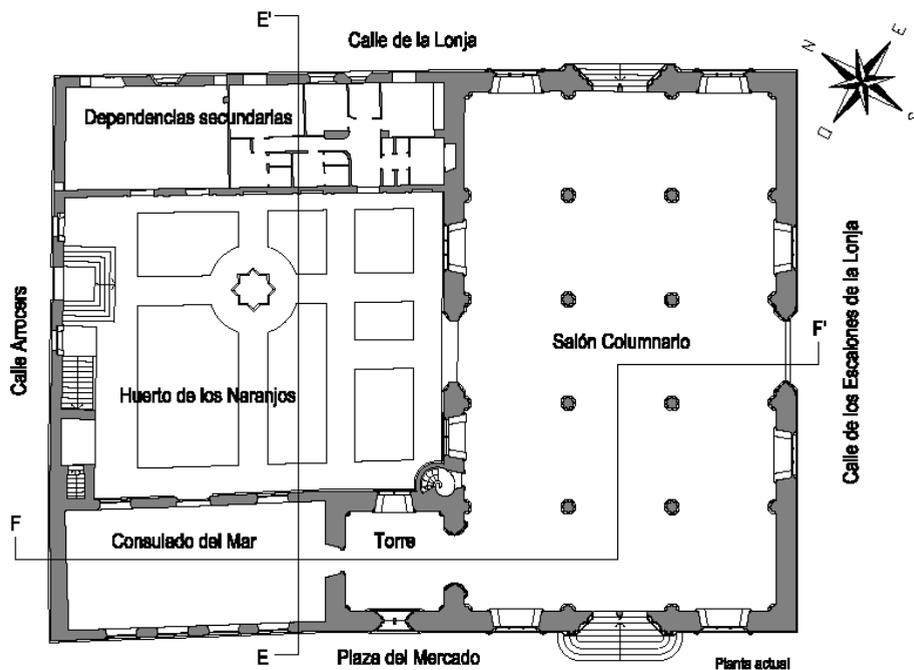
En este período la Lonja deja de utilizarse como cuartel, se restaura y recupera en cierto grado su estado inicial, a excepción de las dependencias secundarias. La Lonja es una obra maestra del gótico flamígero y en 1996 fue declarada patrimonio de la humanidad por la UNESCO. Actualmente recibe cerca de 1.000 visitas diarias.

Siglo	Año	Actuación
XX	1921	Vaciado dependencias secundarias
	1928	Construcción de ventanas metálicas en la escalera de caracol
	1957-1960	Reforma interior de las dependencias secundarias
	1958	Demolición servicios higiénicos
	1961	Apertura de ventanal en el muro noroeste del Huerto de los Naranjos
	1966	Instalación vidrieras de seguridad en la puerta del Salón Columnario que recae al Huerto de los Naranjos.
	1967	Reforma de servicios higiénicos en las dependencias secundarias

Tabla 21. Actuaciones en el tercer periodo que influyen en el flujo de aire

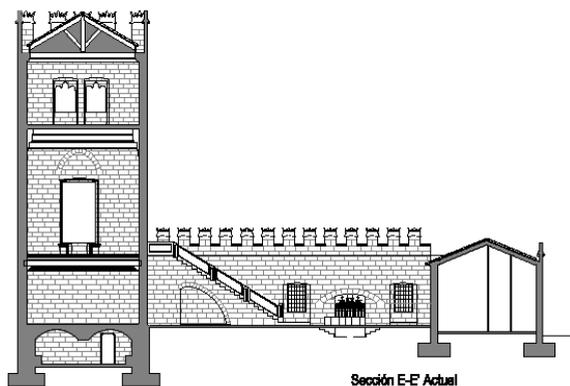
Para analizar la ventilación natural en este periodo se utilizada el estado actual de la Lonja tras la restauración realizada por el doctor Manuel Ramírez.

La geometría del edificio durante el segundo periodo a analizar se define en los siguientes esquemas:

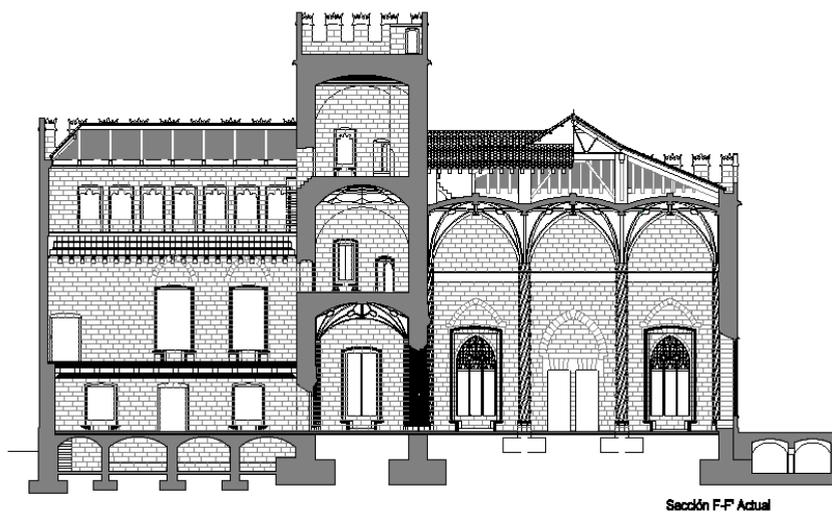


Esquema de la planta baja de la Lonja en 2012 utilizada para el tercer cálculo.

Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.



Sección E-E por el huerto de la Lonja en 2012 utilizada para el tercer cálculo.
Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.



Sección transversal F-F de la Lonja en 2012 utilizada para el tercer cálculo.
Fuente: Fondo UPV. Tesis del profesor. Dr. M.Ramírez.

2.2 Resultados experimentales. Calidad ambiental interior.

El cálculo de la ventilación mediante el CTE no tiene en cuenta la calidad del aire exterior y su influencia sobre la calidad del aire interior, tampoco tiene en cuenta la contaminación generada en el interior de la vivienda, obteniendo unas exigencias que, debido al margen de seguridad introducido en su cálculo, en la mayoría de los casos suele ser suficiente pero en otras ocasiones no se consigue renovar el aire interior aumentando la concentración de contaminantes en el interior del edificio.

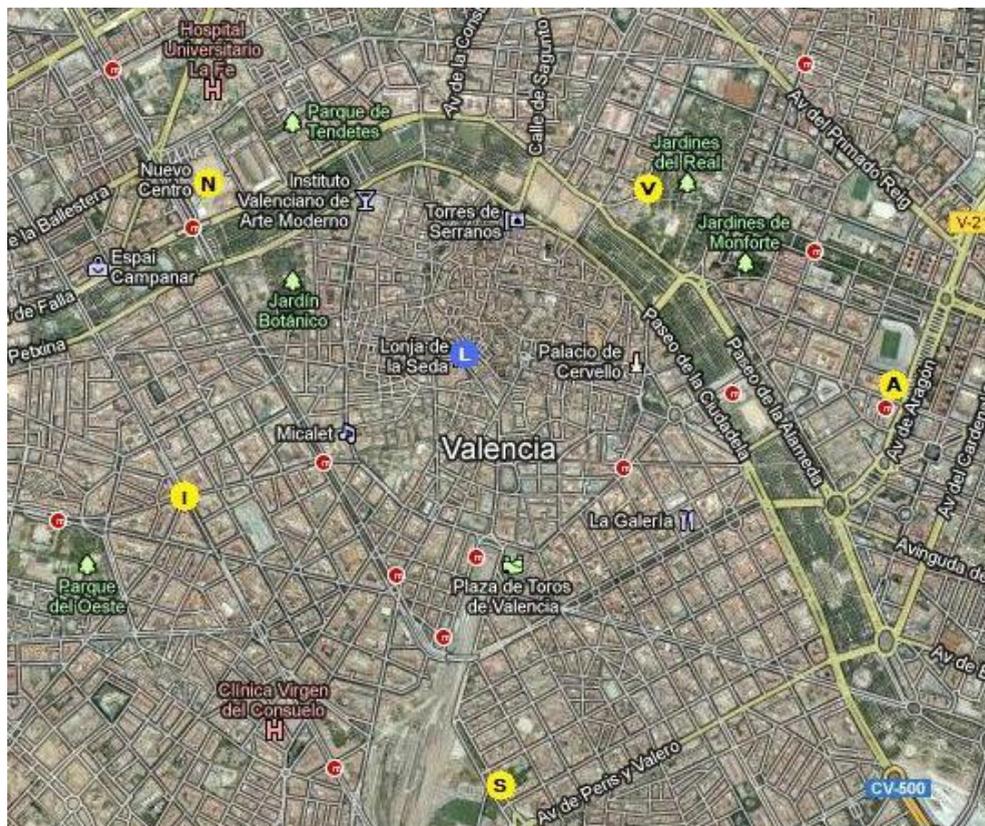
Para determinar la calidad del aire exterior que envuelve el edificio se han analizado los datos de las cinco estaciones de medición de la calidad del aire más cercanas, en el siguiente mapa²⁴⁾ está señalada la ubicación de la Lonja de Valencia y de las cinco estaciones.

Como ya se ha dicho en el apartado de metodología se han estudiado los 8 últimos años (2004- inicio 2012) mediante los de los datos históricos facilitados por la Generalitat Valenciana²⁵⁾ en su página web, pudiendo diferenciarse dos fases:

- 2004-2008: existen datos de las 5 estaciones, se evalúa la calidad del aire en el centro de la ciudad obteniendo la contaminación exterior a la que están expuestos los edificios y habitantes de Valencia.
- 2009-2012: no existen datos de las 5 estaciones. Con estos datos se analiza la evolución de la contaminación en las estaciones de las que se disponen datos. Éste análisis permite determinar si la concentración de la contaminación a lo largo de los años va en aumento.

24) El mapa utilizado como base está extraído de Google Maps. En el mapa están situadas las estaciones y la Lonja de la Seda.

25) Generalitat Valenciana. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. *Datos históricos*. 2012.



Mapa 1. Situación de la Lonja y las estaciones utilizadas

La Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente mediante la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica ha facilitado los datos a través de su página web: www.cma.gva.es.

Los datos obtenidos son valores diarios y horarios, de dichos datos se obtienen los valores anuales y octohorarios. Los datos octohorarios corresponden a la media de 8 horas consecutivas, la media octohoraria obtenida es atribuida a la última hora del periodo calculado.

2.2.1 Análisis de la calidad del aire exterior

El cuerpo humano se ve sometido a la influencia de los contaminantes presentes en el aire, su concentración y el tiempo de exposición son esenciales a la hora de cuantificar los daños que pueden generar. Una concentración alta de un contaminante específico puede producir grandes daños en la salud en poco tiempo pero también pequeñas concentraciones aumentan la morbilidad y mortalidad a causa de la exposición prolongada.

Las personas pasan la mayor parte de su tiempo dentro de los edificios, de esta situación surge la necesidad de controlar la calidad del aire interior. Para ello, es necesario conocer la calidad del aire exterior que envuelve el edificio, las fuentes de contaminación interior, el nivel de concentración interior requerida, la eficacia de la ventilación y la carga contaminante. Para calcular el caudal de ventilación necesaria se utiliza la siguiente ecuación²⁶⁾:

$$I_{vn} = \frac{C_c}{C_r - C_e} \times \frac{1}{\epsilon_v}$$

- I_{vn} : Índice de ventilación necesaria para la salud (m^3/s).
- C_c : Carga contaminante generada en el interior del edificio ($\mu g/s$).
- C_r : Concentración requerida en el interior ($\mu g/m^3$).
- C_e : Concentración exterior ($\mu g/m^3$).
- ϵ_v : Eficacia de la ventilación.

Ecuación 8. Índice de ventilación necesaria, según criterio higiénico.

Casuística

Este análisis, realizado desde el punto de vista higiénico, solo es útil si la concentración del contaminante interior (C_i) es superior a la concentración de contaminante exterior (C_e), $C_i > C_e$. En caso contrario, $C_i < C_e$, no es posible reducir la C_i mediante el uso de la ventilación natural.

26) Cristalería Española. *Calidad del aire (Indoor air quality)*, Madrid, Cristalería española, 1992, pp. 277.

Si analizamos la posible relación de C_r con C_i y C_e , exigiendo que $C_i > C_e$, observamos que puede existir 3 tipos distintos de casos:

- 1) $C_r > C_i > C_e$: No es necesario ningún tipo de actuación ya que se satisface la Calidad de Aire Interior (CAI) exigida.
- 2) $C_i > C_r > C_e$: El aire exterior es capaz de reducir C_i hasta alcanzar C_r .
- 3) $C_i > C_e > C_r$: El aire exterior no es capaz de reducir C_i hasta su nivel requerido pero sí que mejora las condiciones iniciales del aire interior.

2.2.1.1 Determinación de la concentración requerida (C_r)

Tras conocer la casuística derivada del análisis higiénico de la CAI es necesario definir los valores de concentración requeridos (C_r).

Según el uso del edificio, la concentración requerida (C_r) variará, aunque siempre se deberá buscar el máximo aprovechamiento de la ventilación natural. En edificios destinados a vivienda, comercio y edificios donde no exista actividad industrial la única fuente de contaminación constante que existe son las personas que mediante la respiración expulsan CO_2 . En dichos casos debería ser posible obtener una calidad de aire interior cercana a la exterior.

En este caso, al tratarse de un edificio de carácter público se han escogido las concentraciones según la normativa vigente²⁷⁾ en cuanto a calidad ambiental:

27) España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2011, BOE 25, p.9574-9626.

	Valor límite horario	Valor límite diario	Valor límite anual	Umbral de alerta
Período promedio	1 hora	24 horas	Año civil	3 horas consecutivas
SO₂	350 µg/m ³ , no podrá superarse más de 24 veces por año civil	125 µg/m ³ , no podrá superarse más de 3 veces por año civil	-	500 µg/m ³
NO₂	200 µg/m ³ , no podrá superarse más de 18 veces por año civil	-	40 µg/m ³	400 µg/m ³
PM₁₀	-	50 µg/m ³ , no podrá superarse más de 35 veces por año	40 µg/m ³	-
PM_{2,5}	-	-	25 µg/m ³	-
Pb	-	-	0,5 µg/m ³	-
Benceno	-	-	5 µg/m ³	-
CO	10 mg/m ³	-	-	-

	Parámetro	Valor
Ozono troposférico (O₃)	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 µg/m ³ , no deberá superarse mas de 25 días por cada año civil

	Valor objetivo
Período promedio	Niveles en la fracción PM ₁₀ durante un año natural
Arsénico (As)	6 ng/m ³
Cadmio (Cd)	5 ng/m ³
Níquel (Ni)	20 ng/m ³
(Benzo (a) Pireno) (B(a)P)	1 ng/m ³

Tabla 22-24. Concentraciones máximas requeridas para los contaminantes estudiados.

Contaminantes analizados

A la hora de analizar los contaminantes debemos matizar que se deben analizar por separado los contaminantes que se generan en el interior del edificio de los que no se generan dentro de él.

Si un contaminante se genera dentro del edificio se utilizará la **ecuación 1** para cuantificar la ventilación necesaria, mientras que si el contaminante no se genera dentro del edificio solo podrá introducirse en él mediante el aire exterior y por tanto la ventilación natural será beneficiosa siempre que $C_i > C_e$.

El único contaminante que se produce dentro de la Lonja es el CO₂ debido a las personas que vienen a visitarlo, por tanto se analizará mediante la **ecuación 1**. Al producirse solo CO₂ dentro del edificio la ventilación mínima necesaria será aquella que nos asegure que los niveles de este contaminante estén por debajo del límite fijado. Al no haber normativa que especifique la concentración de dicho contaminante se ha recurrido a diferentes referencias y estudios sobre los efectos adversos que produce el CO₂ en la salud de las personas.

En cuanto a la calidad del aire exterior, tras analizar los datos de los contaminantes obtenidos de las cinco estaciones escogidas y comprobar que contaminantes superan las concentraciones máximas requeridas, se obtiene que los principales problemas de contaminación exterior se deben a partículas PM₁₀, NO₂ y benceno, además de episodios puntuales de concentraciones que superan los niveles permitidos de O₃, por tanto, se han escogido para analizar estos contaminantes al ser los que definirán si la calidad del aire es óptima para su uso.

Con este análisis se delimita cuando es posible utilizar el aire exterior disponible para la ventilación natural, el tiempo máximo que se puede mantener el edificio sin ventilar y sin que perjudique a sus ocupantes.

Como podemos comprobar en el anexo sobre los datos de las estaciones de medición de calidad de aire, ninguna de ellas mide el contenido de CO₂ ambiental, dificultando el análisis de la ventilación necesaria para controlar este contaminante sin la necesidad de recurrir a un medidor de CO₂.

Primero, vamos a analizar el aire exterior de Valencia para determinar si el aire exterior puede ser utilizado para ventilar o si la concentración de contaminantes desaconseja utilizar el aire a no ser que sea filtrado.

En ciertas ocasiones será imposible filtrar el aire, como es nuestro caso, la Lonja de la Seda es un edificio abierto al público durante un horario marcado (de martes a sábado de 10.00 a 14.00 y de 16.30 a 20.30h; domingos y festivos de 10.00 a 15.00h), durante estas horas la Lonja tiene sus puertas abiertas siendo imposible filtrar el aire que se introduce por las aberturas.

2.2.1.2 Análisis de los datos diarios de PM₁₀

En las siguientes gráficas podemos comprobar la evolución anual y horaria de los contaminantes analizados. En las gráficas pueden aparecer líneas horizontales, las líneas según su color indican diferentes límites:

- Línea roja: marca el límite máximo permitido por la normativa española.
- Línea amarilla: marca el nivel crítico a partir del cual se ha demostrado que afecta a la salud.
- Línea azul: marca el límite máximo definido por la Organización Mundial de la Salud.

Es importante destacar que en 2006 la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó guías sobre la calidad del aire²⁸⁾ para la protección de la salud pública mundial, en dicha publicación recomendaba nuevos límites, entre ellos:

Contaminante	Nuevos límites
PM₁₀	20µg/m ³ media anual, 50 µg/m ³ media diaria
PM_{2,5}	10µg/m ³ media anual, 25 µg/m ³ media diaria
O₃ *	100µg/m ³ media octohoraria, 0,05 ppm
NO₂	40µg/m ³ media anual, 200 µg/m ³ media horaria
SO₂	20µg/m ³ media diaria, 500 µg/m ³ media en 10 minutos

* El límite recomendado antes (media de 120 µg/m³ en 8 horas) se ha reducido a 100 µg/m³, dado que recientemente se han establecido asociaciones concluyentes entre la mortalidad diaria y concentraciones de ozono inferiores a 120 µg/m³.

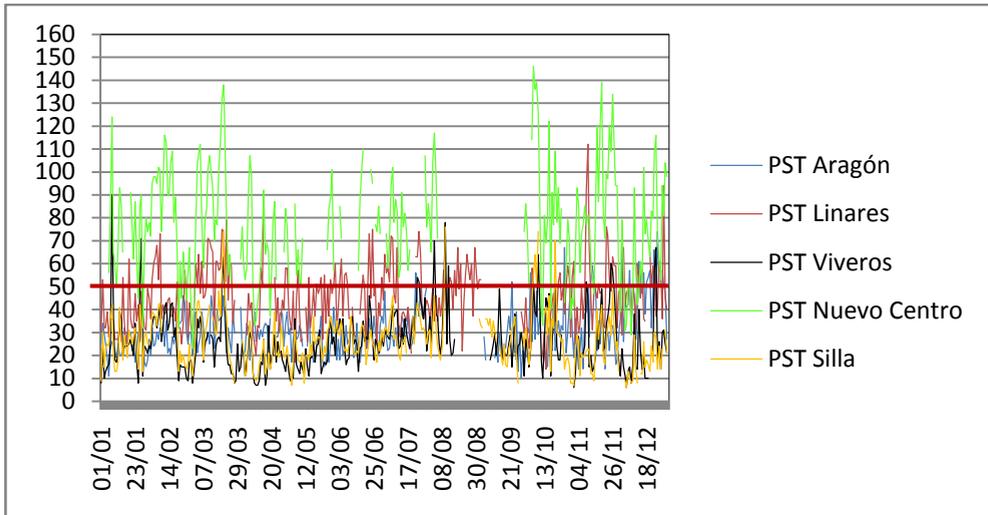
Tabla 25. Concentraciones marcadas por la Organización Mundial de la Salud.

2.2.1.2.1 Valor promedio diario de PM₁₀

El valor límite diario de las partículas PM₁₀ es de 50 µg/m³. A continuación se muestra mediante gráficas los valores promedios diarios obtenidos entre 2004 y 2012 de los datos de las estaciones analizadas.

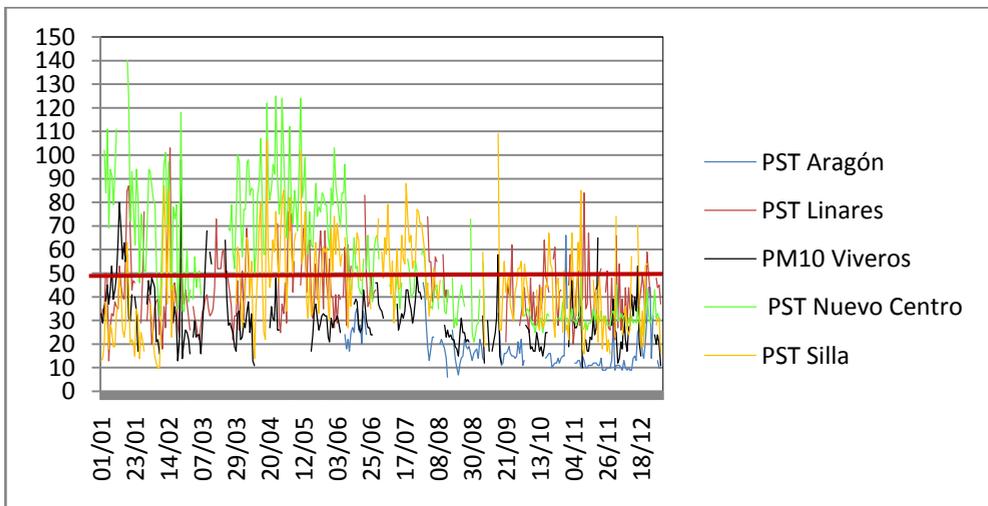
En esta ocasión la línea horizontal roja marca el límite máximo diario de la concentración de PM₁₀.

28) Organización Mundial de la Salud. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. 2006



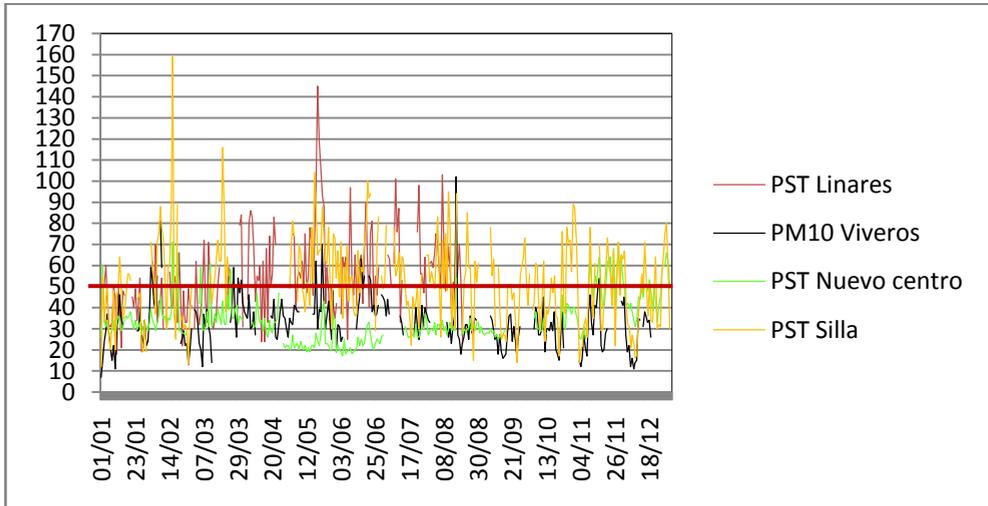
Gráfica 1. Valor diario PM10 año 2004

Desde el año 2004 podemos comprobar que la concentración diaria de partículas suspendidas (PST) varía rápidamente de un día a otro, esta variabilidad que se agudiza al analizar las PST a causa del diámetro utilizado en la selección de las partículas $100\mu\text{g}$ deja de estar presente cuando se analiza el nivel de PM_{10} .



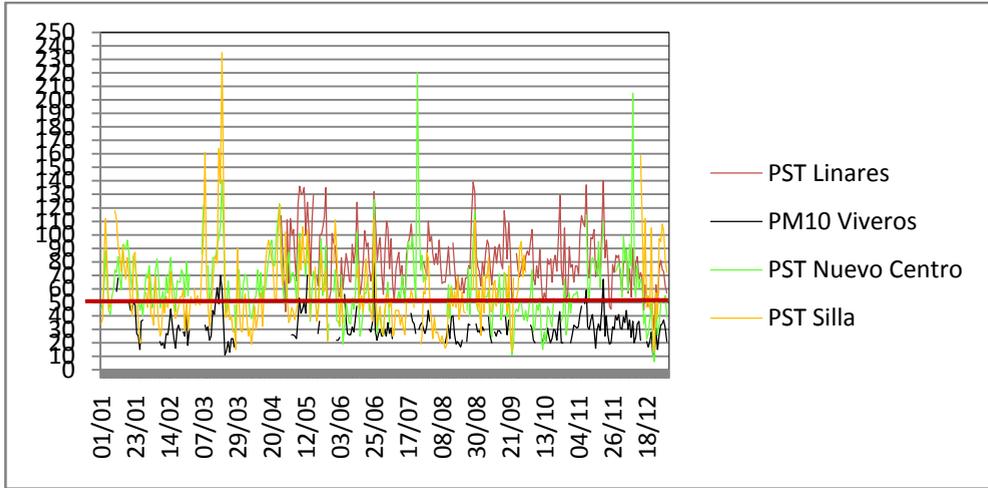
Gráfica 2. Valor diario PM_{10} año 2005

Durante este año podemos comprobar la baja concentración de PST en la estación de Aragón y como el PM_{10} en Viveros se mantiene generalmente por debajo del límite diario



Gráfica 3. Valor diario PM_{10} año 2006

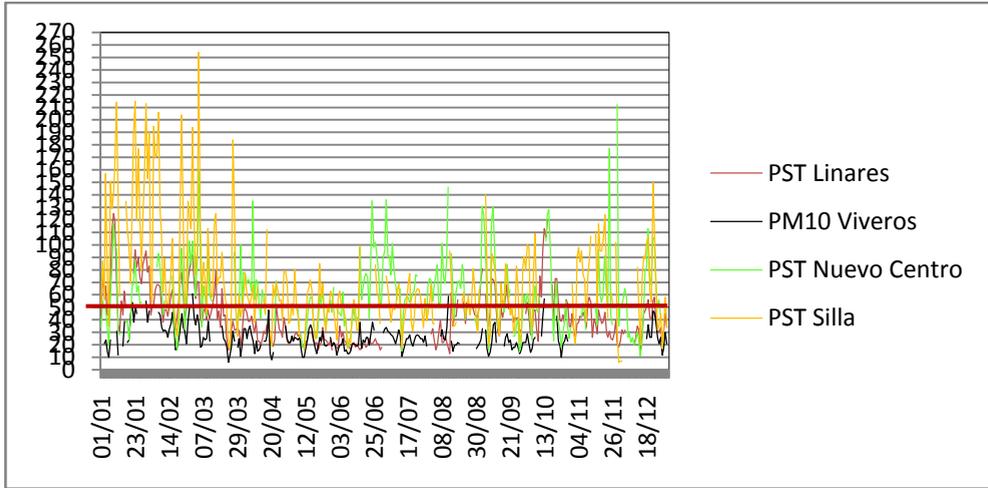
Hasta el año 2006 las concentraciones de PST suelen estar sobre $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los episodios de contaminación pico suelen alcanzar los $150\text{-}175\mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir de 2006 estas concentraciones aumentan ligeramente, sobre todo las concentraciones máximas.



Gráfica 4. Valor diario PM₁₀ año 2007

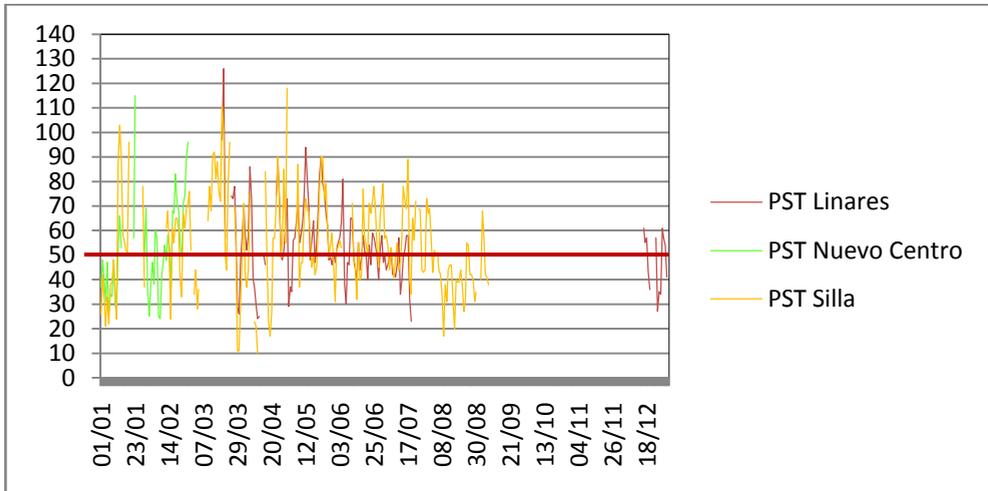
Las concentraciones de PM₁₀ en la estación de Viveros suelen mantenerse por debajo del límite legal según la normativa española, pero podemos comprobar cómo las concentraciones de partículas suspendidas totales alcanzan máximos de 200µg/m³.

Aunque ya se ha dicho que las partículas empiezan a ser más dañinas a partir de las PM₁₀, las altas concentraciones de PST también afectan al organismo, así como a la calidad ambiental.



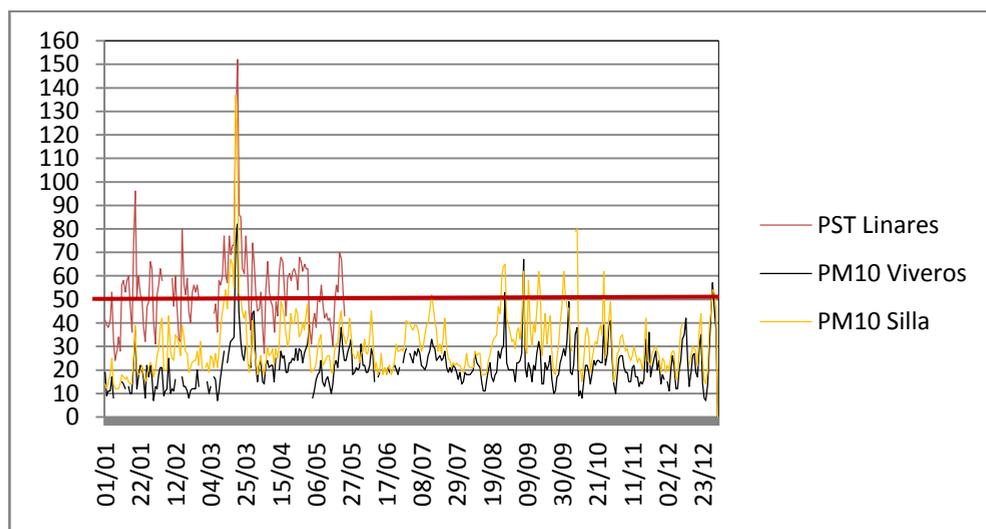
Gráfica 5. Valor diario PM₁₀ año 2008

Durante 2008 se incrementa el número de concentraciones pico al inicio del año. Llegando a alcanzar los $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PST, a principios de marzo.



Gráfica 6. Valor diario PM₁₀ año 2009

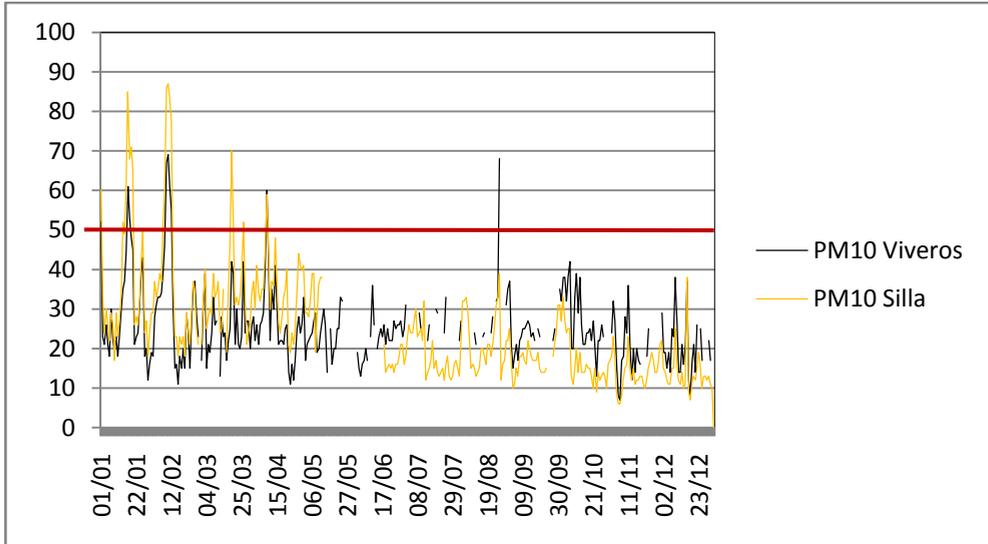
En la mayoría de los años se puede apreciar como hay una tendencia anual a descender la concentración de contaminación por partículas a lo largo del año. Durante los primeros meses las concentraciones suelen ser más altas, así como el número y la intensidad de las concentraciones puntuales.



Gráfica 7. Valor diario PM₁₀ año 2010

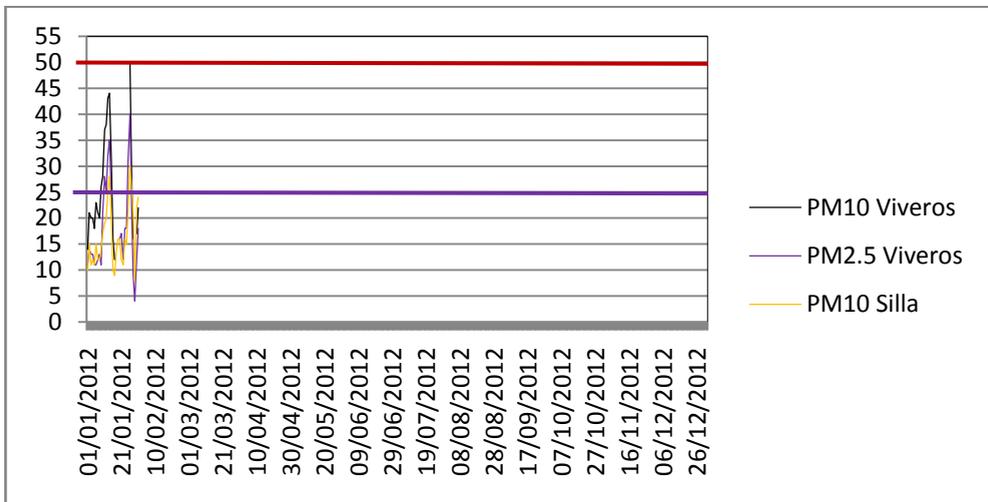
Los valores PM₁₀, no suelen superar el valor límite diario marcado por la normativa española, por tanto las medias anuales suelen cumplir normativa aunque en ciertos días los valores máximos horarios pueden ser sobrepasados incluso triplicados, como en este caso la concentración de PM₁₀ en la estación de Silla a mediados de marzo.

Estos sucesos son incapaces de predecirse, ya que pueden ser debidos a sucesos naturales como los vientos que aportan contaminación transfronteriza (partículas suspendidas provenientes de África) o a otros factores como por ejemplo inversiones térmicas que imposibiliten disipar los contaminantes en la atmósfera.



Gráfica 8. Valor diario PM₁₀ año 2011

A lo largo de los últimos años los episodios puntuales de altas concentraciones han disminuido tanto en cantidad como en gravedad.



Gráfica 9. Valor diario PM₁₀y PM_{2,5}año 2012

En la gráfica anterior aparece una líneas más para marcar el límites de la contaminación debida a $PM_{2,5}$:

- Línea morada: marca el límite máximo permitido por la normativa española para $PM_{2,5}$. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

La recopilación de datos para el año 2012 solo comprende el mes de enero, pero los pocos datos analizados permiten comprobar como en el primer mes no se ha superado el nivel máximo diario permitido en ningún momento respecto a PM_{10} . El nivel medio mensual ha sido inferior al límite anual de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque ha sido superado varios días. Este diámetro de partículas suele penetrar más profundamente en el aparato respiratorio debido a su diámetro, siendo más dañino que las partículas PM_{10} .

Se puede comprobar que generalmente Valencia tiene una alta concentración de partículas suspendidas totales llegando a alcanzar los $250\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En cuanto a los niveles de PM_{10} diarios hasta el año 2010 solo hay datos disponibles de la estación de Viveros, la concentración de este contaminante no suele sobrepasar el límite diario permitido según la norma europea y aunque se suele superar varias veces durante el año, la normativa española permite que se supere dicho valor hasta 35 veces en un año. No suele sobrepasarse el límite marcado con grandes concentraciones sino que suelen mantenerse por debajo de los $75\mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque existen episodios preocupantes en la estación de Silla donde se llegan a alcanzar los $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , este valor supera peligrosamente el límite máximo permitido.

Destacar que las partículas $PM_{2,5}$, solo han podido analizarse durante el año 2012 en la estación de Viveros y aunque se comprueba que generalmente la concentración es inferior al límite anual establecido por la normativa española, sí que se supera dicho valor en varias ocasiones, la

Organización Mundial de la Salud (OMS) marca como máximo valor diario el valor máximo anual que marca la normativa española de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.1.2.2 Valores anuales de partículas en suspensión

Valores anuales para PST, PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Límite anual de $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} y $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, según la normativa española. Límite anual de $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} y $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, según la recomendación de la OMS.

Año	PST				PM_{10}			$\text{PM}_{2,5}$
	A	L	NC	S	V	NC	S	S
2004	30,99	45,55	77,36	26,16	26,21			
2005	17,58	43,03	55,13	44,81	30,82			
2006		54,76	33,89	52,07	32,65			
2007		81,68	61,33	58,58	31,38			
2008		42,21	60,41	71,53	25,52			
2009		54,35	52,35	54,5				
2010		54,06			21,86		31,12	
2011					25,6		24,6	
2012						25,8	16,52	17,75

Tabla 26. Valores medios anuales de PST, PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$.

Los promedios anuales de partículas suspendidas demuestran el cumplimiento de la normativa española actual tanto en PM_{10} como en $\text{PM}_{2,5}$. El valor de las PST aunque no tiene límite normativo sí que permite analizar la evolución del aire en la ciudad.

Vemos como en los últimos años de medición de PST (2008-2010), el contaminante tiende a reducirse en la mayoría de estaciones, sobre todo si comparamos con los niveles obtenidos en 2007, aunque en las estaciones de Silla y Linares ha aumentado la concentración desde 2004. Silla ha reducido sus niveles de PM_{10} desde 2010 hasta la actualidad a la mitad.

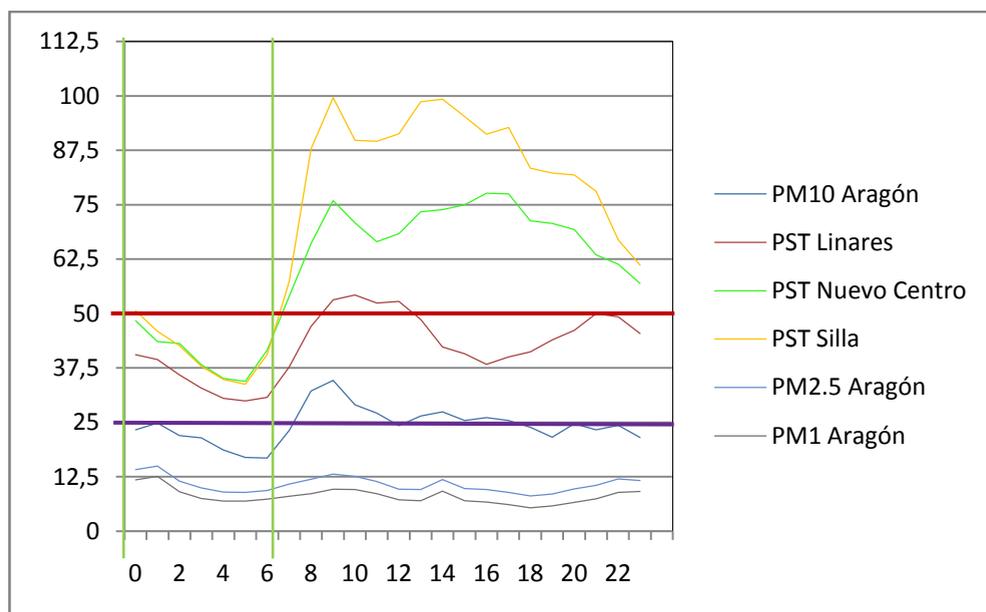
Podemos concluir que según la normativa española, Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, la calidad de aire en Valencia ha mejorado en los últimos años en la estación de Silla y Nuevo Centro, manteniendo la calidad del aire en Viveros desde 2004 y según demuestran los datos hasta 2010, empeorando la calidad en la zona de la estación de Linares, aunque todas cumplen la normativa siendo la calidad del aire apta para su utilización.

Si tenemos en cuenta las recomendaciones de la OMS, que marca como máximo valor diario para PM_{10} , $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para $PM_{2,5}$, $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, la calidad del aire en Valencia sigue cumpliendo los requisitos, pero cuando analizamos los valores anuales establecidos en $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} , y para $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2,5}$, podemos comprobar que en todos los años analizados (2004-2012) tan sólo la estación de Silla en el año 2012 cumple este requisito, por tanto, la calidad del aire en Valencia cuando hablamos de concentración media anual se sitúa por encima de la recomendación de la OMS.

2.2.1.2.3 Promedio de partículas suspendidas por hora

En este caso se han utilizado los datos de los últimos años analizados, concretamente desde 2008 a 2012, para obtener el perfil horario de contaminación con datos más recientes.

Si realizamos el promedio de nivel de contaminantes de partículas suspendidas por horas a lo largo del día, obtenemos una gráfica donde se observan períodos de baja concentración y períodos de alta concentración, de este modo es fácil analizar la idoneidad de utilizar el aire para la renovación según la hora del día:



Gráfica 10. Promedio horario de PST, PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ en 2008.

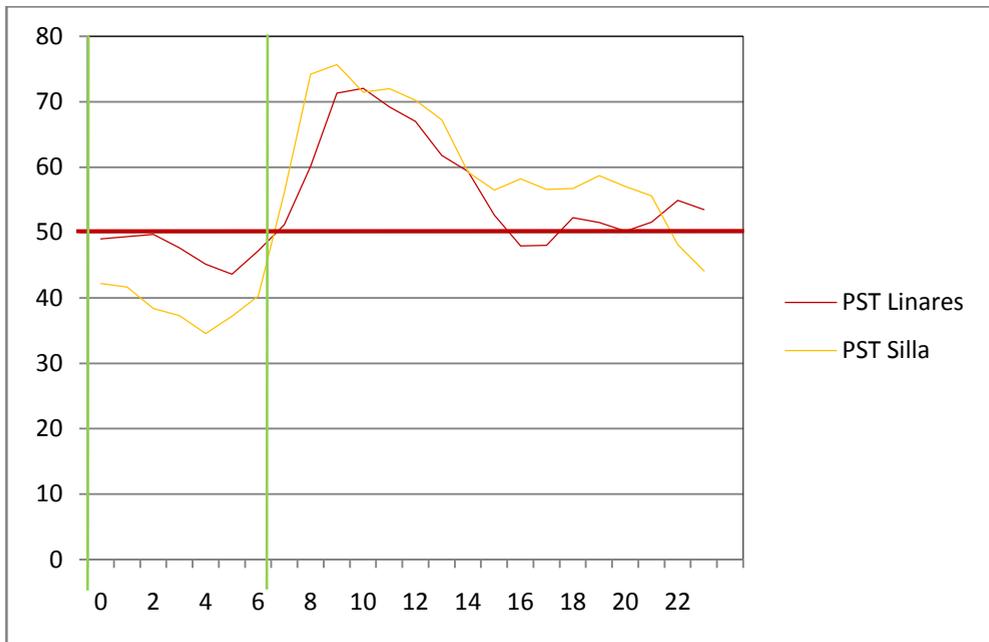
En estas gráficas se utiliza el mismo grafismo utilizado en las gráficas anteriores, el valor límite diario de PM₁₀ según la normativa española y la recomendación de la OMS se grafía con la línea roja horizontal y el valor límite diario según la recomendación de la OMS para PM_{2,5} se grafía con la línea morada horizontal.

Vemos como los valores de PST superan el nivel de 50 µg/m³, incluso roza los 100 µg/m³, pero la normativa no limita las PST. Las partículas más dañinas para el cuerpo humano son las partículas menores a 10 µm, valor que utiliza la normativa en el nivel PM₁₀, por tanto este valor es más indicado para determinar si el aire óptimo para renovar el aire interior de la estancia.

El nivel de PM₁₀ obtenido en la estación de Aragón no llega al nivel máximo de 50 µg/m³, sino que oscila sobre 25 µg/m³, por tanto, durante el día el aire está en buenas condiciones para ser utilizado en la renovación de

aire de la estancia, aunque podemos comprobar que entre las 00.00h y las 06.30h de la mañana es cuando el aire contiene menos partículas suspendidas, siendo dichas horas las más indicadas para la renovación de aire.

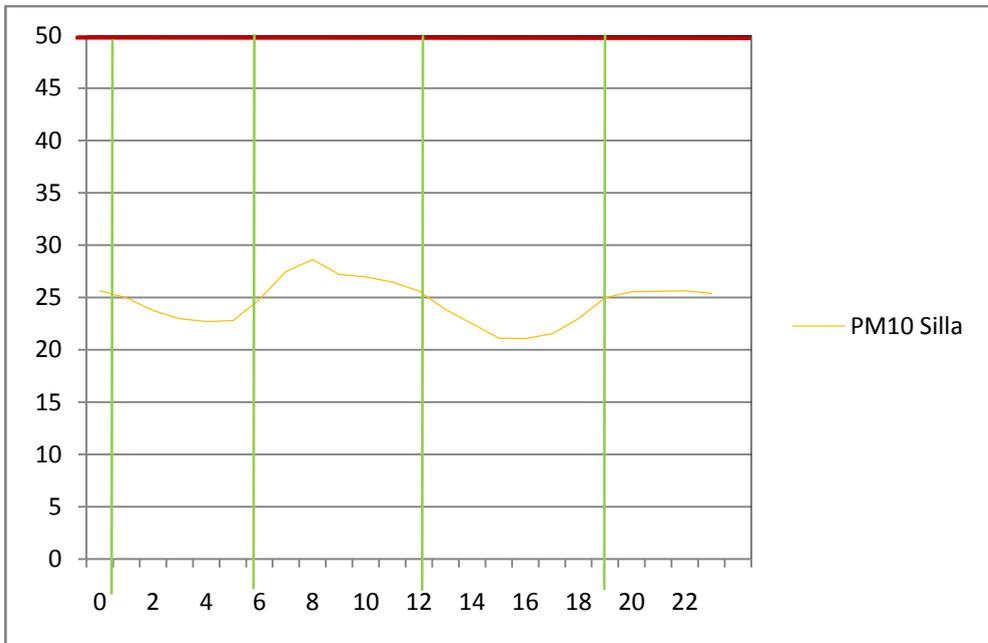
También se observa que generalmente todas las mediciones, tanto de PST como de PM_{10} , siguen el mismo patrón a lo largo del día, mínimos por la mañana hasta las 08.00h, donde la concentración sube hasta alcanzar el máximo diario a las 10.00h de la mañana; a partir de las 03.00h ya vemos en el nivel de PM_{10} una tendencia a la reducción del nivel de concentración, aunque las PST se mantienen en niveles más altos.



Gráfica 11. Promedio horario de PST en 2009.

Se observa el mismo patrón de concentración de partículas en todos los años estudiados, confirmando así la idoneidad de utilizar el aire nocturno

cuerpo humano al introducirse a través del aparato respiratorio, el periodo indicado se podría utilizar también para renovar el aire interior, siempre teniendo en cuenta que la concentración de las PST sigue siendo alto, como ya hemos comentado anteriormente.



Gráfica 13. Promedio horario de PM_{10} en 2011.

Durante el periodo analizado, se observa como el nivel de partículas va reduciéndose en la estación de Silla, tanto niveles de PST en 2008 y 2009, como niveles de PM_{10} en 2010 y 2011.

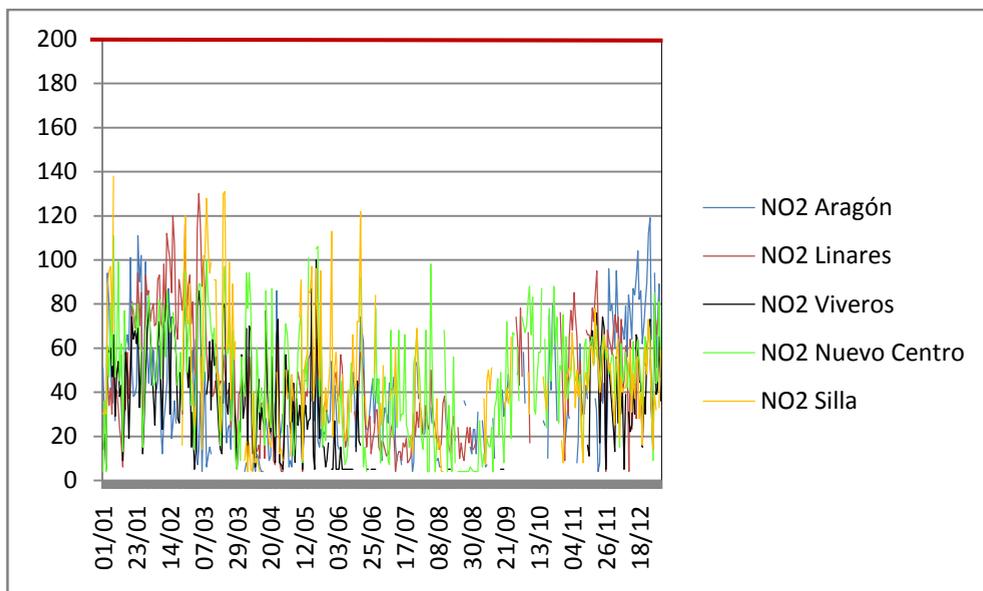
Las gráficas horarias analizadas confirman que la calidad del aire permite su utilización para renovar el aire de los edificios a cualquier hora del día y también que se puede dividir la calidad del aire en tres tipos de concentración a lo largo del día:

- Concentración alta de partículas de 08.00h a 15.00h (concentraciones altas de PST y PM₁₀).
 - Concentración media de partículas de 06.00 a 08.00 y de 15.00h a 00.00h (concentración alta de PST y baja de PM₁₀).
 - Concentración baja de partículas de 00.00h a 06.00h (concentraciones bajas de PST y PM₁₀).
- **2.2.1.3 Análisis de los datos horarios de NO₂**

Las gráficas de este análisis muestran valores promedios diarios, pues no es posible graficar los 8760 valores horarios anuales, Tras cada gráfica se adjuntan tablas correspondientes a cada estación con los datos de las concentraciones que superan el límite máximo permitido y que, a causa de los promedios realizados, no han podido graficarse en la gráfica.

2.2.1.3.1 Valores horarios de NO₂

El valor límite diario de las partículas NO₂es de 200 µg/m³. Este límite no debe sobrepasarse más de 18 ocasiones anualmente según la normativa española. La OMS marca el mismo límite diario que la normativa española. La línea roja horizontal marca este límite diario, aunque para comprobar los máximos alcanzados se necesario consultar las tablas adjuntas.



Gráfica 14. Valores horarios de NO₂ año 2004

Generalmente la concentración de NO₂ suele ser mucho menor a la concentración permitida por la normativa en todas las estaciones estudiadas, sin embargo, este valor se sobrepasa en todas ellas como se puede comprobar en las siguientes tablas:

FECHA	HORA	NO2 Aragón (µg/m ³)
19-ene	19	274
19-ene	20	247
19-ene	21	284
20-ene	9	200
20-ene	19	226
02-dic	8	209
10-dic	19	222
10-dic	20	210
22-dic	18	203

23-dic	20	205
23-dic	21	211
30-dic	9	219

Tabla 27. Aragón 2004 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Linares (µg/m³)
11-feb	20	201
11-feb	21	204
12-feb	20	208
16-feb	8	202
01-mar	19	200
02-mar	17	216
02-mar	19	203
02-mar	20	231
03-mar	8	236
03-mar	18	212
03-mar	19	231
03-mar	20	246
03-mar	21	276
04-mar	19	219
04-mar	20	279
04-mar	21	230
05-mar	15	212
05-mar	16	206
05-mar	17	226
05-mar	18	233
05-mar	20	222
08-mar	9	200
16-nov	17	204
16-nov	21	201
17-nov	19	214
18-nov	19	201
18-nov	20	201

Tabla 28. Linares 2004 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

En la estación de Linares se observan graves problemas con la contaminación por NO₂, superando con creces el máximo permitido llegando a los 279 µg/m³ y superando el máximo más de 18 veces por año, como permite la normativa, llegando a superarse 27 veces.

FECHA	HORA	NO2 Nuevo Centro (µg/m ³)
30-dic	9	224

Tabla 29. Nuevo Centro 2004 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

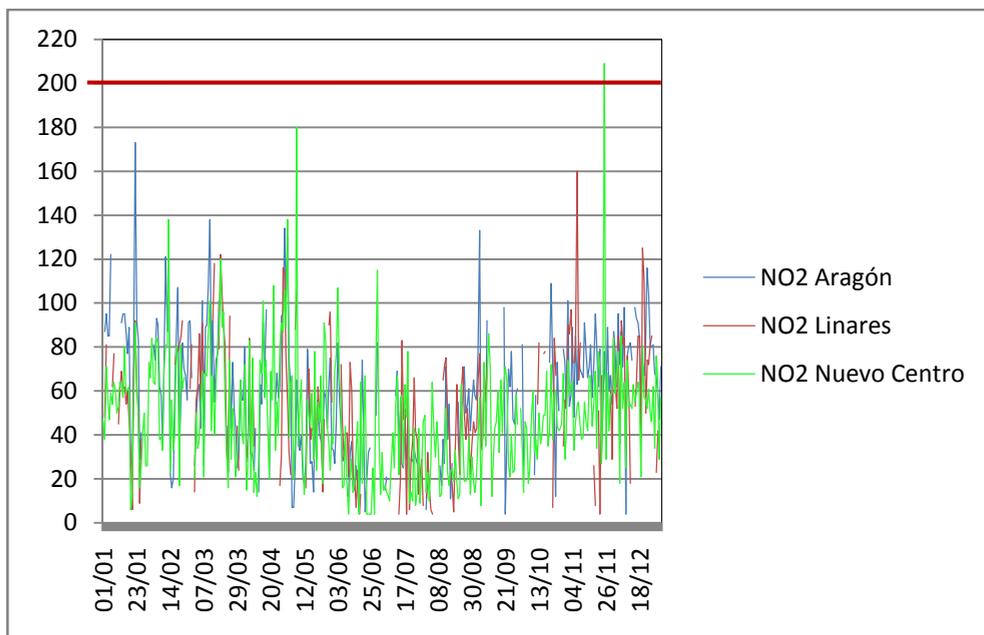
FECHA	HORA	NO2 Silla (µg/m ³)
04-mar	21	209
05-mar	18	205
08-mar	22	202
05-oct	13	210
08-oct	15	211

Tabla 30. Silla 2004 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Viveros (µg/m ³)
04-may	8	238
21-may	11	205

Tabla 31. Viveros 2004 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

Como podemos comprobar durante el 2004 se incumple claramente la normativa española de calidad de aire, sin embargo, en el año 2004 aún no había sido aprobada, por tanto, aunque en su día no estuviera aprobada la normativa, a la hora de analizar la calidad del aire y sus efectos sobre la salud de los ciudadanos y usuarios de los edificios hay que tener en cuenta la magnitud y gravedad de la concentración.



Gráfica 15. Valores horarios de NO2 año 2005

Durante el 2005 aumentó el número de episodios de alta concentración así como la concentración de NO₂, llegando el promedio diario del día 7 de noviembre a 210 µg/m³.

Tablas con valores de concentración superior a la permitida:

FECHA	HORA	NO2 Aragón (µg/m ³)
05-ene	19	200
24-ene	9	216
17-nov	19	205
17-nov	20	223
14-dic	19	228
14-dic	21	209
15-dic	19	203
16-dic	19	207

CASO PRÁCTICO. CALIDAD DEL AIRE DE VALENCIA.
 APLICACIÓN EN LA LONJA DE LA SEDA.

16-dic	21	241
23-dic	18	216

Tabla 32. Aragón 2005 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Linares (µg/m ³)
14-jun	12	208
03-nov	8	206
03-nov	9	253
03-nov	10	217
07-nov	1	245
07-nov	19	226
07-nov	20	204
08-nov	19	215
08-nov	20	205
07-dic	19	211
12-dic	19	205
12-dic	20	277
12-dic	21	217
14-dic	20	248
15-dic	18	217
15-dic	19	227
15-dic	20	254
16-dic	9	211
16-dic	12	208
16-dic	17	240
16-dic	18	222
16-dic	19	214
16-dic	20	280
16-dic	21	222
16-dic	22	219
19-dic	11	259
19-dic	18	205
19-dic	19	228

19-dic	20	219
19-dic	21	251
19-dic	22	210
21-dic	21	230

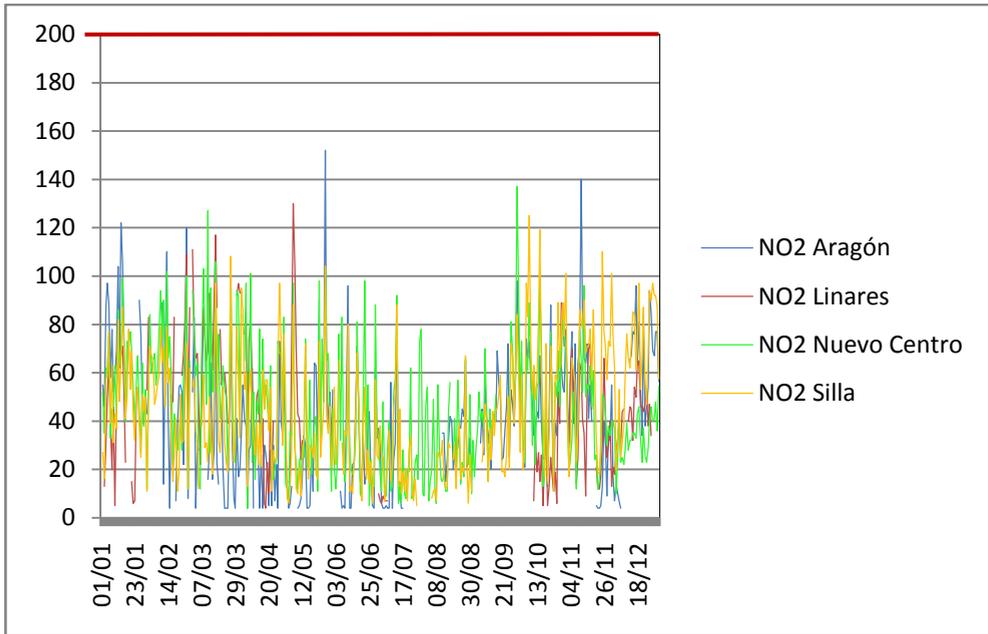
Tabla 33. Linares 2005 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

Persiste el problema de contaminación por NO₂ en la estación de Linares, superando el máximo marcado por la normativa (aún no aprobada) en 32 ocasiones, llegando a una concentración máxima de 280 µg/m³.

FECHA	HORA	NO2 Nuevo Centro (µg/m ³)
07-ene	21	203
09-ene	19	211
11-ene	20	201
17-nov	19	218
25-nov	0	209

Tabla 34. Nuevo Centro 2005 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

Se pone en evidencia el problema de la ciudad de Valencia con la contaminación por NO₂, sobre todo en ciertas áreas.



Gráfica 16. Valores horarios de NO₂ año 2006

Durante 2006, las concentraciones obtenidas en Linares descienden, pero en cambio la estación de Aragón registra concentraciones superiores.

Las gráficas anteriores demuestran que durante los meses de verano desciende la concentración de NO₂ y no se registran concentraciones superiores al límite marcado por la normativa.

FECHA	HORA	NO2 Aragón (µg/m ³)
13-ene	20	220
13-ene	21	208
22-may	10	204
10-jul	10	220
13-nov	8	229
13-nov	20	213

15-nov	7	229
13-dic	11	202
14-dic	7	207
16-dic	21	201
18-dic	18	204
26-dic	19	252
27-dic	19	211

Tabla 35. Aragón 2006 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Linares (µg/m ³)
04-may	20	208
30-oct	13	217

Tabla 36. Linares 2006 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

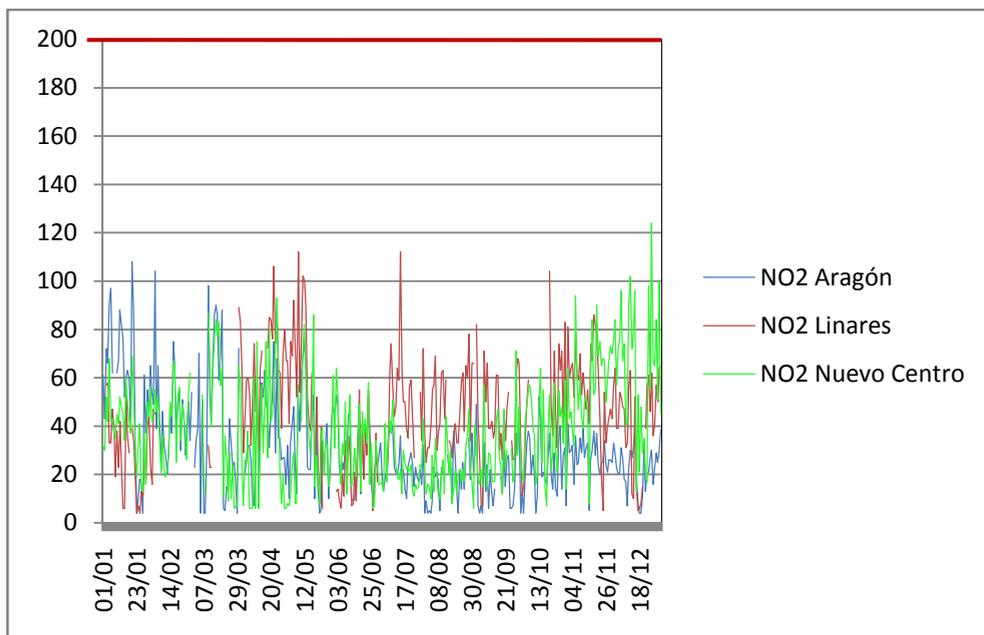
FECHA	HORA	NO2 Nuevo Centro (µg/m ³)
07-feb	19	201
07-mar	20	200
07-mar	21	200

Tabla 37. Nuevo Centro 2006 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Silla (µg/m ³)
27-nov	20	200
18-dic	20	218
21-dic	19	217
21-dic	20	213

Tabla 38. Silla 2006 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

En este año (2006) la OMS publica sus recomendaciones sobre calidad de aire, incluido el NO₂. Limitando su concentración a 200 µg/m³ y sin permitir su superación, por tanto no se cumplen las recomendaciones de la OMS en materia de NO₂ durante este año.



Gráfica 17. Valores horarios de NO₂ año 2007

En 2007 se consigue paliar el problema de NO₂ en todas las zonas de la ciudad, aunque sí que se supera el límite normativa, no se supera en ninguna estación las 18 veces que la norma permite desviarse del máximo.

En contraposición, se obtiene el máximo histórico de la serie analizada, llegando a 323 µg/m³ en la estación de Linares siendo extraño que el máximo anual se produzca a finales de agosto, este valor no se ajusta a la línea observada en el estudio de los datos.

FECHA	HORA	NO2 Aragón (µg/m ³)
19-ene	20	214
19-ene	21	210
25-sep	7	219

Tabla 39. Aragón 2007 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

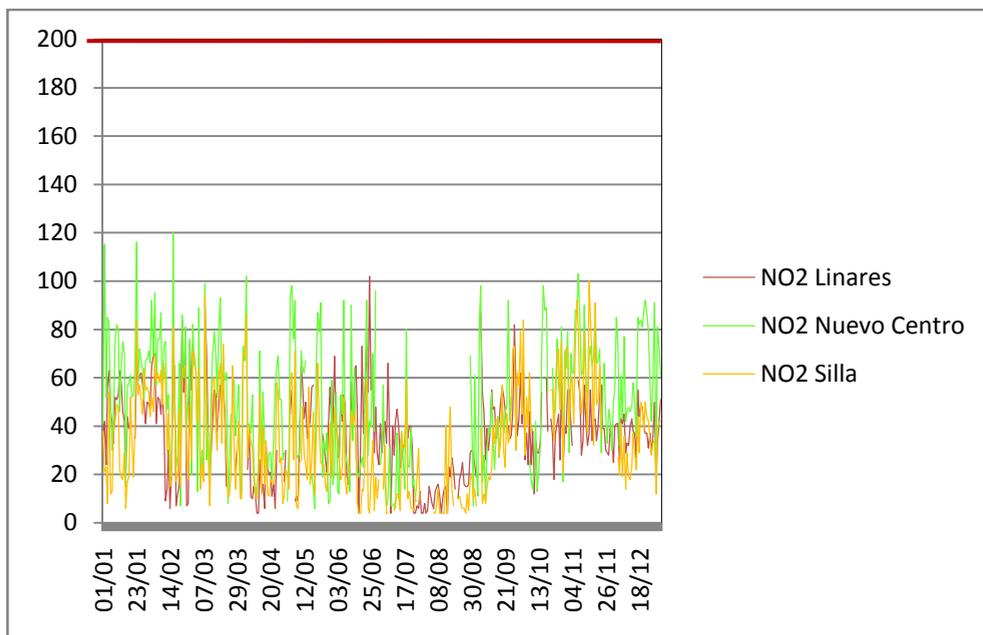
FECHA	HORA	NO2 Linares ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
29-ago	11	323
19-nov	20	259

Tabla 40. Linares 2007 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Nuevo Centro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17-nov	19	222
03-dic	21	223
12-dic	19	226
12-dic	20	228
13-dic	18	205
27-dic	19	218
30-dic	21	229
31-dic	19	205

Tabla 41. Nuevo Centro 2007 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

En 2007 se aprueba la ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, donde se detallan que industrias afectan gravemente a la calidad del aire y se detallan los procedimientos a seguir para determinar la calidad del aire, pero hasta que no se aprueba el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire no se detallan los límites legales normativos, por tanto aún no se había limitado en España el NO₂ pero sí que se incumplen las recomendaciones de la OMS.



Gráfica 18. Valores horarios de NO₂ año 2008

Se corrobora la tendencia de las bajas concentraciones de NO₂ en verano y vuelven los problemas con la concentración de este contaminante en ciertas zonas, en esta ocasión en la estación de Nuevo Centro superando el máximo de 200 µg/m³ en 29 ocasiones.

FECHA	HORA	NO2 Linares (µg/m ³)
25-jun	13	200

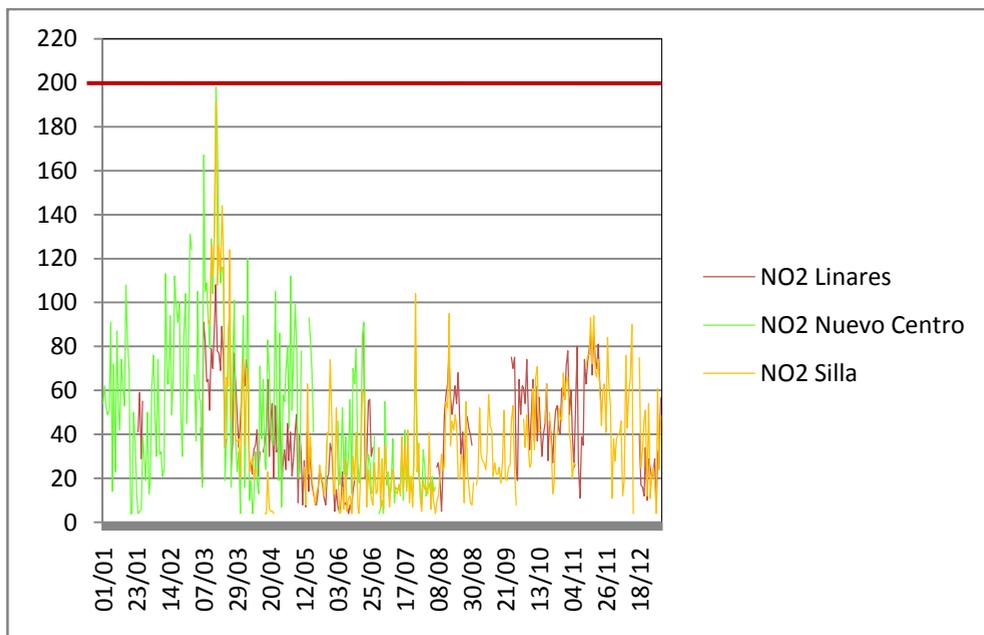
Tabla 42. Linares 2008 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Nuevo Centro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
04-ene	19	214
03-sep	12	225
14-oct	7	203
14-oct	8	423
10-nov	18	202
12-nov	18	200
12-nov	19	202
14-nov	19	222
15-nov	19	232
15-nov	20	236
16-nov	20	209
17-nov	8	203
17-nov	18	226
17-nov	19	235
17-nov	20	241
21-nov	19	213
18-dic	18	251
18-dic	20	221
19-dic	19	243
19-dic	20	284
20-dic	19	223
20-dic	20	270
21-dic	19	206
22-dic	18	220
22-dic	19	237
22-dic	21	223
23-dic	18	216
23-dic	19	286
23-dic	20	276

Tabla 43. Nuevo Centro 2008 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Silla ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17-nov	20	203

Tabla 44. Silla 2008 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido



Gráfica 19. Valores horarios de NO₂ año 2009

El NO₂ según las gráficas mostradas de los años anteriores es un contaminante muy variable que cambia año tras año, altas concentraciones un año no conlleva que al año siguiente se tenga el mismo problema con este contaminante en la misma zona.

FECHA	HORA	NO2 Linares ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
29-sep	21	210
16-nov	20	212

Tabla 45. Linares 2009 valores de NO₂ que sobrepasan el máximo permitido

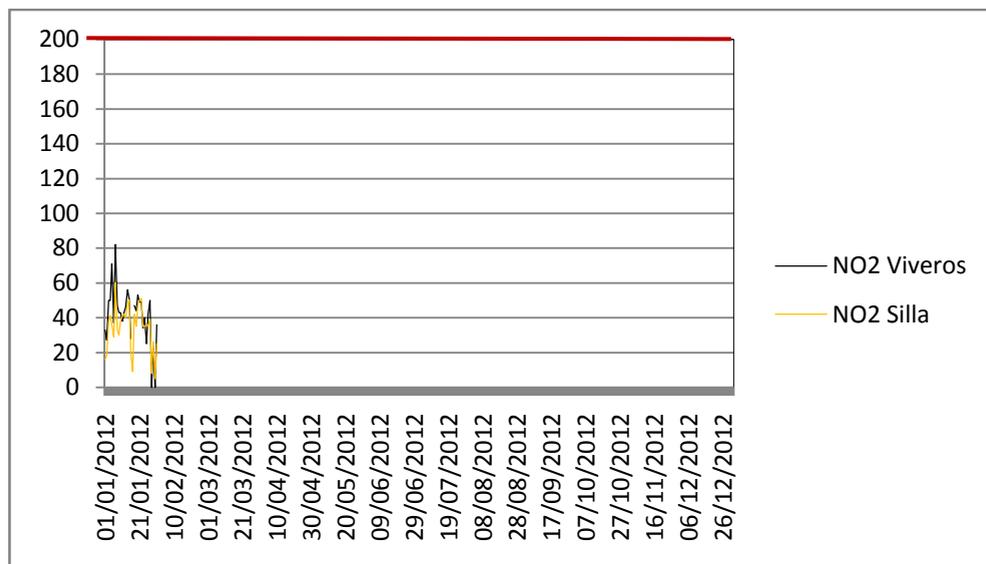
FECHA	HORA	NO2 Nuevo Centro($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
12-ene	19	204
12-ene	20	241
13-ene	8	222
19-feb	20	202
06-mar	21	200
06-mar	22	230
06-mar	23	205
21-abr	20	215
26-may	8	200

Tabla 46. Nuevo Centro 2009 valores de NO_2 que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	NO2 Silla ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14-mar	7	203
24-sep	20	204
11-oct	14	223
22-dic	9	215

Tabla 47. Silla 2009 valores de NO_2 que sobrepasan el máximo permitido

A partir de 2009 no se han registrado problemas con el NO_2 , la normativa española se introdujo en el año 2011, durante los años 2010 y 2011 no se sobrepasó el máximo de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero por la gran variabilidad de este contaminante para el cálculo y análisis del mismo se tendrá en cuenta los graves problemas que ha ocasionado durante el periodo estudiado.



Gráfica 48. Valores horarios de NO₂ año 2012

2.2.1.3.2 Valores anuales de NO₂

Valores medios anuales para NO₂ en µg/m³. Límite anual de 40 µg/m³ de NO₂. Nivel crítico de 30 µg/m³ de NO₂. La recomendación de la OMS respecto al límite anual es de 40 µg/m³ igual que la normativa española.

En el periodo estudiado se demuestra que se supera con creces el nivel máximo permitido en la mayoría de estaciones estudiadas hasta el año 2009, a partir del 2010 no se recopilan datos de la estación de Nuevo Centro, una de las zonas más afectadas, de la estación de Linares existen datos hasta mayo de 2010 y arrojan una medida preocupante 70,09 µg/m³.

Año	NO ₂				
	A	L	V	NC	S
2004	46,54	58,59	36,08	55,25	58,6
2005	70,56	73,77		56,77	
2006	55,6	62,88		53,99	56,86
2007	38,44	64,04		45,07	
2008		50,43		60,54	41,78
2009		56,05		57,64	48,06
2010		70,09	28,79		44,55
2011			26,03		31,30
2012			36,73		37,55

Tabla 49. Valores medios anuales de NO₂.

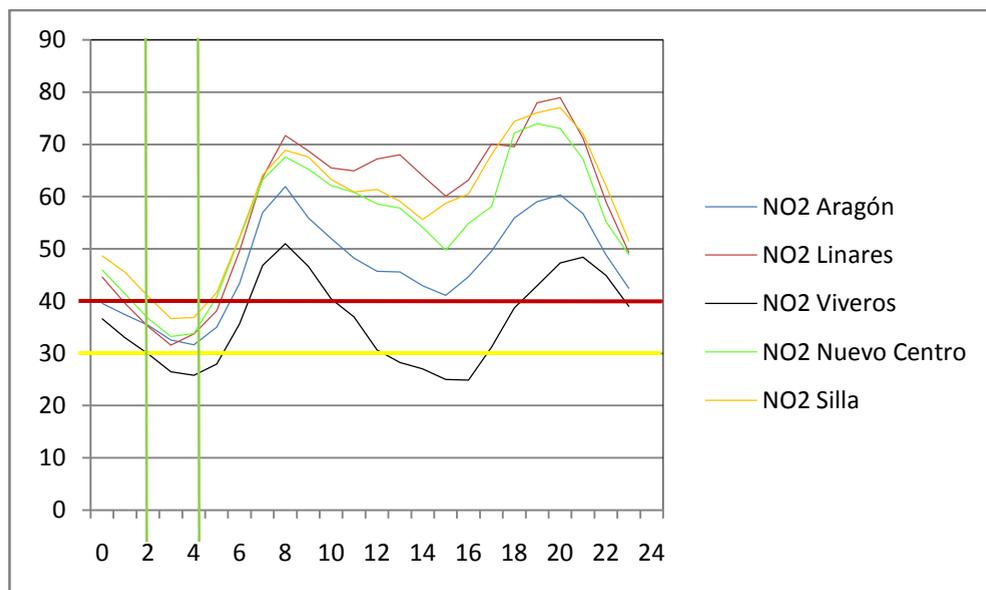
La estación de Viveros se mantiene durante el periodo estudiado por debajo del límite legal y en la zona de la estación de Silla se consigue disminuir la contaminación por NO₂ hasta cumplir con la normativa vigente. Desgraciadamente no existen datos de las zonas más conflictivas.

A la hora de renovar el aire interior de los edificios hay que tener especial atención a la contaminación por NO₂, ya que hay evidencias de que el aire de Valencia contiene demasiada concentración de este contaminante.

2.2.1.3.3 Promedio de NO₂ por hora

El evidente problema en la concentración de NO₂ en Valencia, así como la falta de datos de los últimos dos años en las estaciones con mayores problemas por este contaminante incrementan la necesidad de analizar el promedio de NO₂ y concienciar especialmente a todos los ciudadanos y ocupantes de edificios de la necesidad de ventilar las estancias en las horas de mínima concentración de contaminantes.

En las gráficas siguientes la línea roja horizontal marca el límite normativo anual para la concentración de NO₂, mientras que la línea amarilla horizontal marca el nivel crítico marcado en la norma como dañino para la salud de las personas.

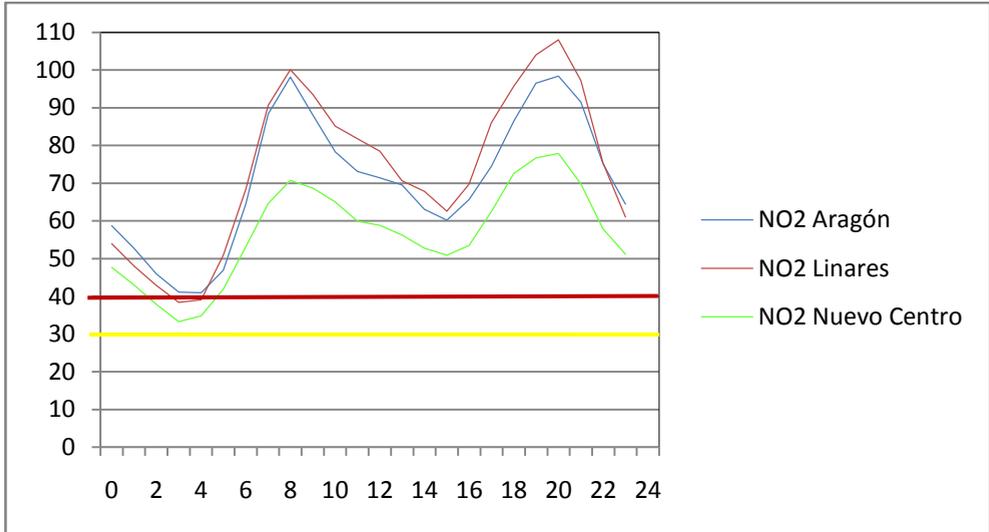


Gráfica 20. Promedio horario de NO₂ año 2004

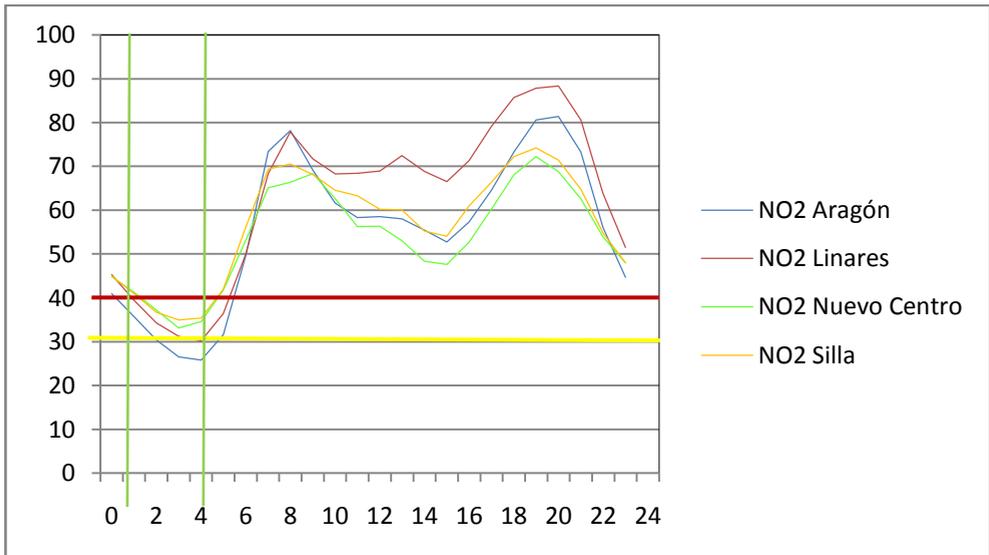
Durante 2004 el promedio horario de NO₂ solo se encuentra por debajo del límite normativo anual fijado en 40 µg/m³ entre las 02.30h y las 04.30h, además tan solo la estación de Viveros marca mínimos de concentración por debajo del nivel crítico de efectos para la salud humana entre las 02.00h y las 05.00h.

La gráfica del año 2005 demuestra un aumento de la concentración de NO₂ en el año 2005, siendo completamente desaconsejable el uso de aire natural para ventilar los edificios si no se usan filtros especiales para reducir el nivel de NO₂ del aire ambiental. Las horas de concentración punta aumentan hasta sobre pasar los 100 µg/m³.

CASO PRÁCTICO. CALIDAD DEL AIRE DE VALENCIA.
APLICACIÓN EN LA LONJA DE LA SEDA.

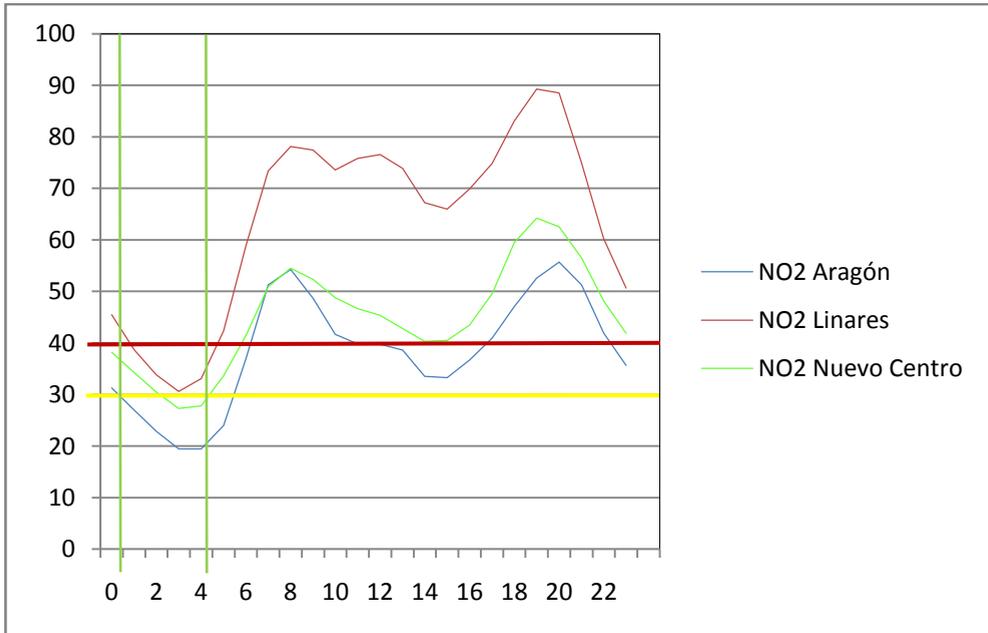


Gráfica 21. Promedio horario de NO₂ año 2005



Gráfica 22. Promedio horario de NO₂ año 2006

En el año 2006 se observa un ligero descenso en la concentración de NO_2 que permite ventilar durante ciertas horas, de 01.30h a 04.30h pero que es insuficiente pues en la mayoría de estaciones se supera el nivel crítico normativo.

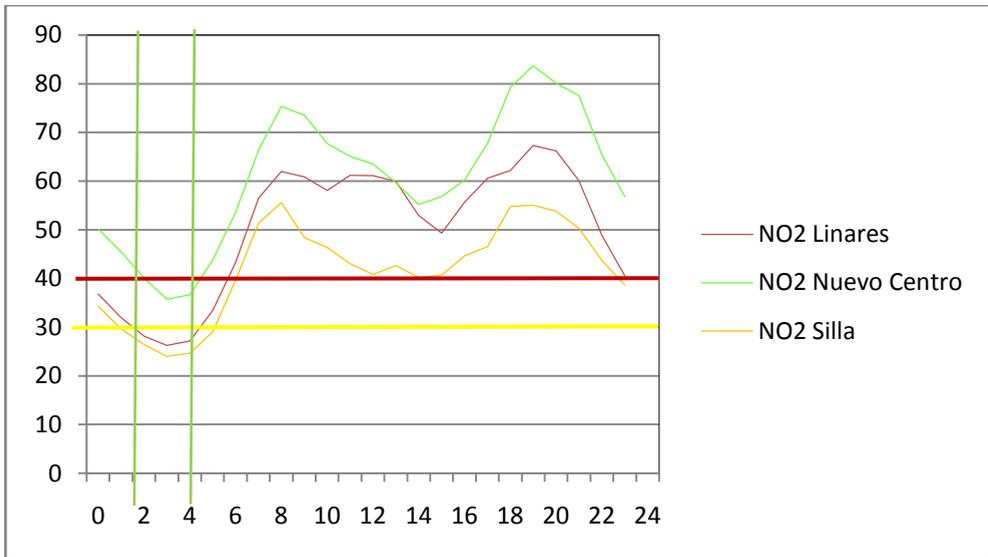


Gráfica 23. Promedio horario de NO_2 año 2007

En las estaciones de Aragón y Nuevo Centro se observa un descenso en la concentración de contaminante a partir de las 14.00h pero sin llegar a reducirse lo suficiente para estar por debajo del nivel crítico.

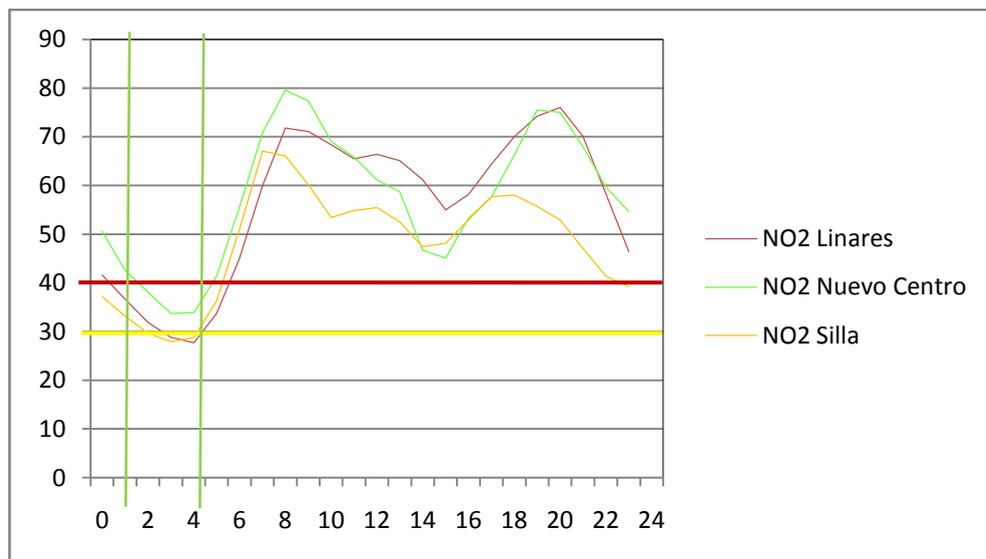
La concentración de NO_2 entre 01.00h y 04.30h permiten la utilización del aire para ventilación natural, sobre todo en la zona de Aragón y Nuevo Centro.

En la mayoría de las gráficas se observan dos puntos máximos de concentración, a las 08.00h y a las 19.00h, y dos puntos mínimos, a las 03.00h y otro mínimo más alto a las 14.00h.



Gráfica 24. Promedio horario de NO₂ año 2008

Los problemas con el NO₂ continúan en 2009, aunque se acentúa el segundo punto mínimo sobre las 14.00h.



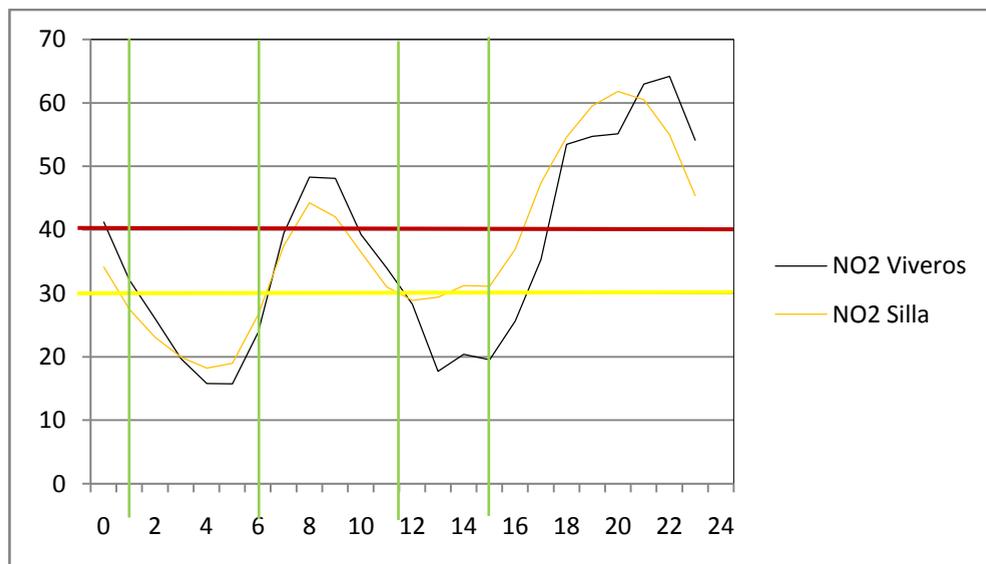
Gráfica 25. Promedio horario de NO₂ año 2009

La falta de datos no permite reproducir los promedios horarios de los años 2010 y 2011.

Mediante el análisis de las anteriores gráficas podemos dividir el día en 3 periodos según la concentración de NO₂.

- Concentración alta de 06.00h a 10.00h y de 18.00 a 21.30h (concentración mayor a 60 µg/m³).
- Concentración baja de 01.30h a 04.30h (concentración inferior a 40 µg/m³).
- Concentración media de 04.30h a 06.00h, de 10.00h a 18.00h y de 21.30h a 01.30h (concentración entre 40 y 60 µg/m³).

Según los periodos descritos anteriormente, solo se recomienda ventilar los edificios en los periodos de concentración baja.



Gráfica 26. Promedio horario de NO₂ año 2012

Es a partir de los datos del primer mes de 2012 cuando se comprueba que las concentraciones de NO₂ disminuyen, aunque no se cuenta con los datos de las estaciones de Linares, Nuevo Centro y Aragón.

Se observa claramente los dos mínimos de contaminación, los periodos definidos anteriormente pueden modificarse, aunque para poder utilizar los periodos que se definirán a continuación el técnico responsable deberá asegurarse que se mantiene la calidad de aire que se ha observado al inicio del año 2012:

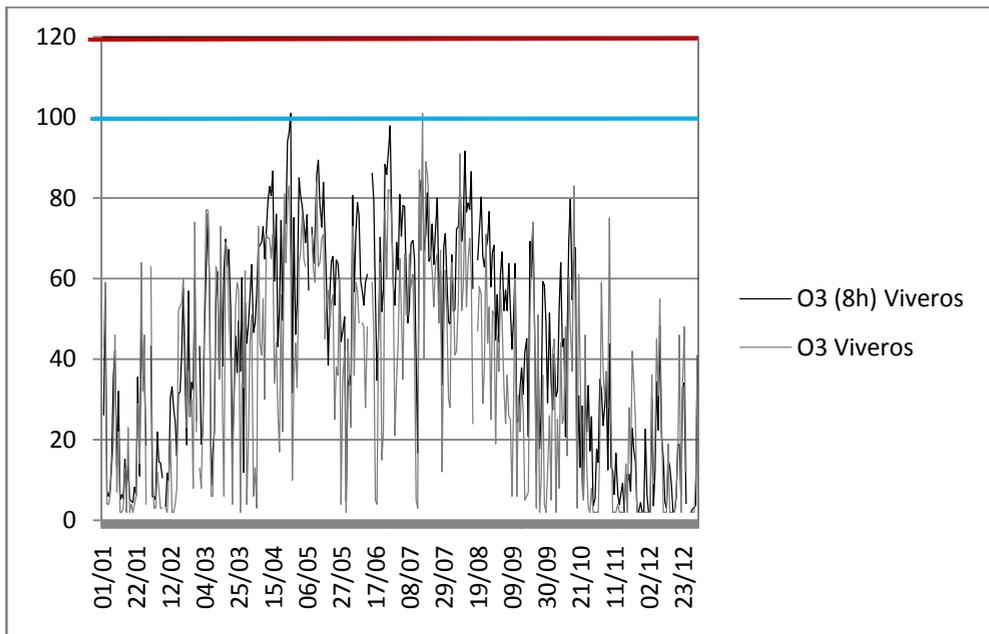
- Concentración alta de 17.00h a 00.00h (concentración mayor a 40 µg/m³).
- Concentración baja de 01.30h a 06.30h y de 12.00h a 15.00h (concentración inferior a 30µg/m³).
- Concentración media de 00.00h a 01.30h, de 06.30h a 12.00h y de 15.00h a 17.00h (concentración entre 30 y 40µg/m³).

El dióxido de nitrógeno es el contaminante más preocupante en Valencia, limita la ventilación natural a escasas horas nocturnas pero la normativa de calidad de aire parece resolver este problema según los datos de 2012.

2.2.1.4 Análisis de los datos horarios de O₃ (ozono troposférico)

2.2.1.4.1 Valores horarios de O₃

El valor máximo diario de las medias móviles octohorarias de las partículas O₃ es de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La normativa permite que se supere hasta 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años. La OMS recomienda como máximo octohorario 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 0,05 ppm pues recientemente se han establecido asociaciones concluyentes entre la mortalidad diaria y concentraciones de ozono inferiores a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gráfica 27. Valores horarios de O₃ año 2006

En las gráficas sobre el Ozono troposférico existe el mismo problema gráfico que en las gráficas para el dióxido de nitrógeno, no es posible graficar todos los valores horarios existentes, por eso, se adjuntan las tablas correspondientes:

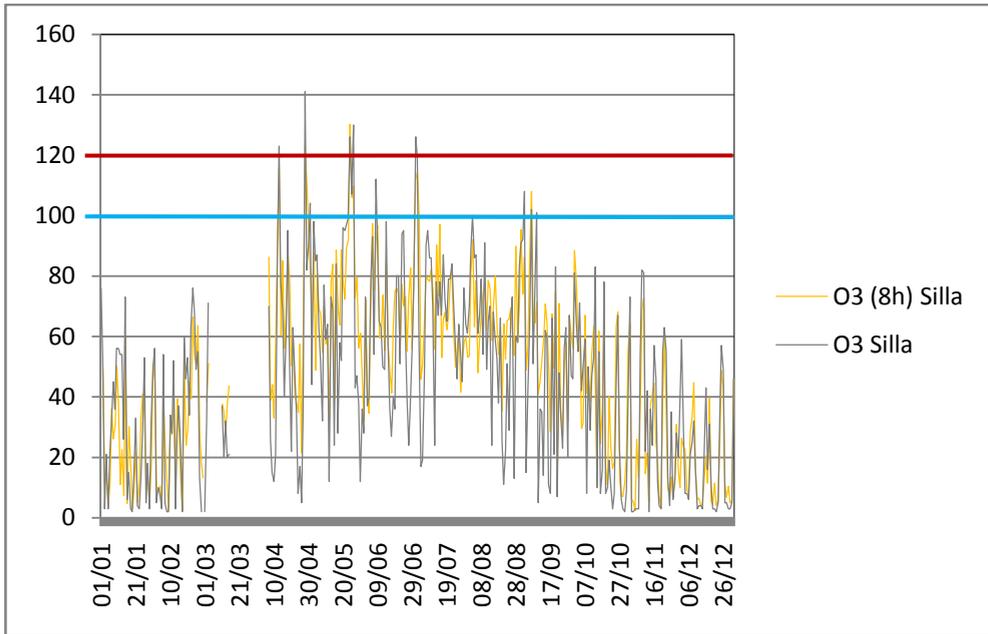
FECHA	HORA	O3 (8h) Viveros ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
25-abr	17	123,375
25-abr	18	125,5
25-abr	19	126
25-abr	20	125,5
25-abr	21	122,125

Tabla 50. Viveros 2006 valores de O3 que sobrepasan el máximo permitido

Durante el año 2006 solo se superan los límites de concentración de la normativa española durante un día (25 de abril), aunque como podemos comprobar en la gráfica, la recomendación de la OMS se supera en más ocasiones.

Durante los siguientes años 2007-2009 el ozono troposférico no representa ningún problema para la salud.

A partir de 2010 vuelven a aparecer los problemas con la concentración de O₃ en la estación de Silla. Se sobrepasa en varias ocasiones el máximo legal permitido pero sin llegar a las 25 veces permitidas por la normativa.



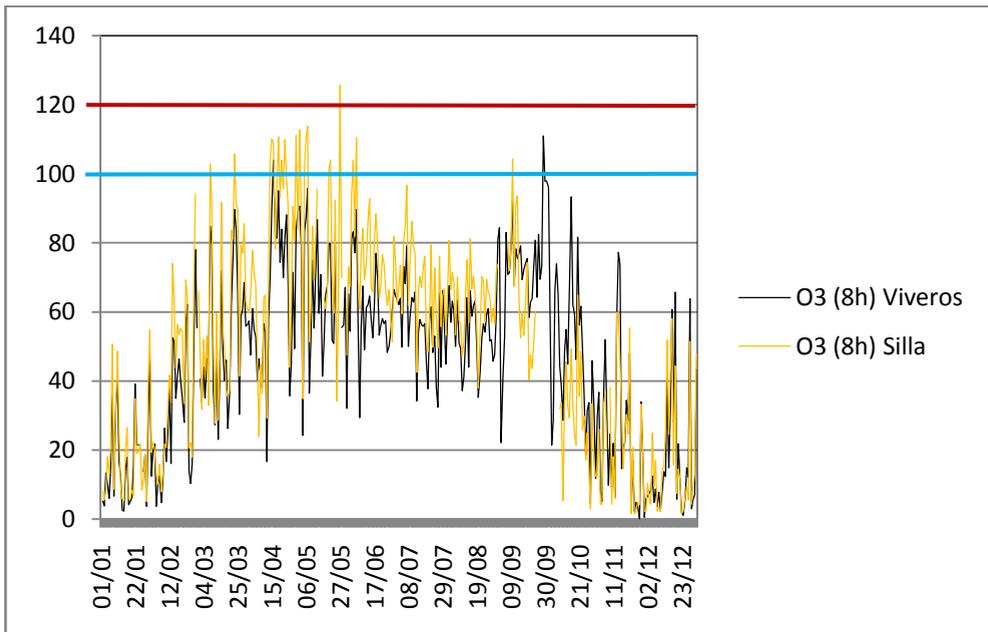
Gráfica 28. Valores horarios de O₃ año 2010

Ozono troposférico. Tabla de datos horarios de las medias móviles octohorarias que sobrepasan el máximo permitido:

FECHA	HORA	O3 (8h) Silla (µg/m ³)
12-abr	15	122
12-abr	16	127,5
12-abr	17	128,625
12-abr	18	129,125
12-abr	19	127,125
12-abr	20	123,875
12-abr	21	121,25
13-abr	3	120,125
13-abr	4	121,75
27-abr	21	120,875
27-abr	22	121

27-abr	23	121,625
28-abr	0	123
28-abr	1	125,25
28-abr	2	125,375
28-abr	3	123,5
23-may	18	122,5
23-may	19	125,375
23-may	20	128,5
23-may	21	130,125
23-may	22	130
23-may	23	130,125
24-may	0	130,25
24-may	1	127,625
24-may	2	121,875

Tabla 51. Silla 2010 valores de O₃ que sobrepasan el máximo permitido



Gráfica 29. Valores horarios de O₃ año 2011

Para poder hablar de la superación de la normativa, cuando nos referimos a O₃ troposférico, debemos asegurarnos que nos encontramos sobre la gráfica de los valores octohorarios, pues es el valor que limita la normativa.

Ozono troposférico. Tablas de datos horarios de las medias móviles octohorarias que sobrepasan el máximo permitido:

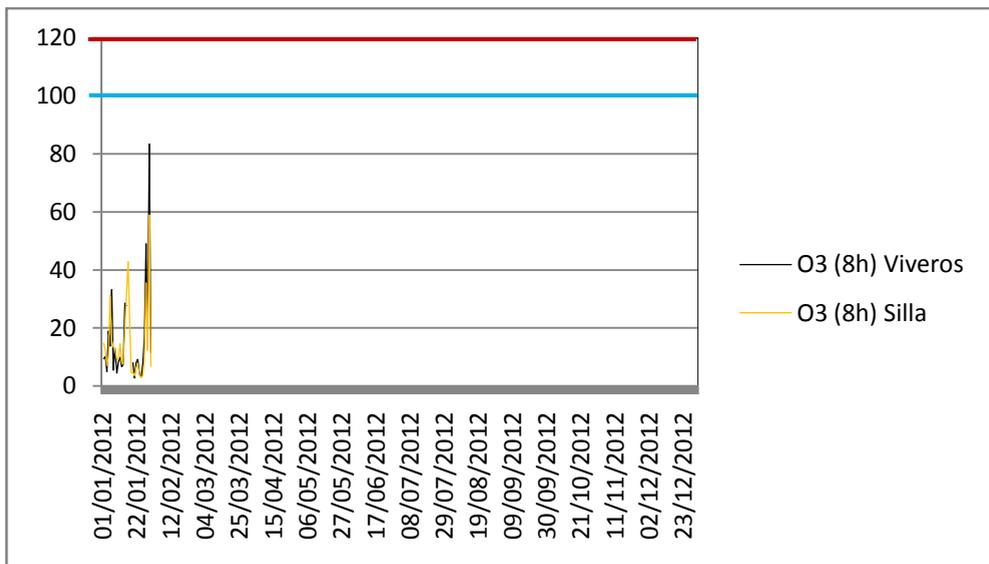
FECHA	HORA	O3 (8h) Silla ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
29-abr	19	121,75
29-abr	20	121,25
20-may	18	121,125
20-may	19	121,5
20-may	20	120,625
21-may	18	120,25
26-may	23	124,375
27-may	0	125,625
27-may	1	125,625
27-may	2	125,25
27-may	3	125,25
27-may	4	124,5
27-may	5	122,25
11-sep	18	120,125
11-sep	19	121,25
11-sep	21	120,625

Tabla 52. Silla 2011 valores de O₃ que sobrepasan el máximo permitido

FECHA	HORA	O ₃ (8h) Viveros (µg/m ³)
28-sep	20	121,75
30-sep	17	129,375
30-sep	18	131,75
30-sep	19	129,25
30-sep	20	123,375

Tabla 53. Viveros 2011 valores de O₃ que sobrepasan el máximo permitido

Durante el año 2011 persisten los problemas con el ozono troposférico, aunque no se sobrepasa la normativa con concentraciones altas o en numerosas ocasiones.



Gráfica 30. O₃ año 2012

Los datos obtenidos del año 2012 podrían hacer pensar que el problema con el ozono troposférico están solucionados, sin embargo, tras

analizar todas las gráficas del O₃ se encuentra un patrón anual muy destacado.

El ozono troposférico aumenta su concentración en los meses de verano, en todas las gráficas vemos como aumenta la concentración de ozono entre los meses de marzo y octubre. Comparando las concentraciones obtenidas en enero de 2012 con concentraciones del mes de enero de otros años vemos que en 2012 el mes de enero tiene la mayor concentración de O₃.

2.2.1.4.2 Valores anuales O₃

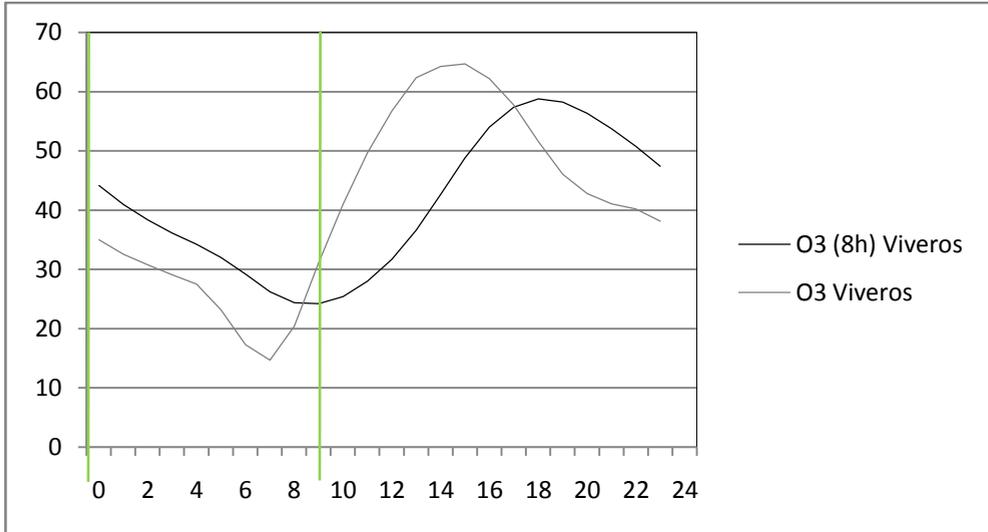
La normativa no marca ningún límite anual para este contaminante, pero el cálculo de estos valores será necesario a la hora de determinar la concentración del contaminante.

Año	O ₃ troposférico (µg/m ³)	
	V	S
2006	40,89	
2010		45,99
2011	43,39	47,94
2012	21,67	22,93

Tabla 54. Valores anuales de ozono troposférico en las estaciones de Silla y Viveros.

2.2.1.4.3 Promedio de O₃ por hora

Al contrario que ocurría cuando se analizaba la concentración a lo largo del año del ozono troposférico, donde utilizábamos las medidas octohorarias para poder comparar los resultados obtenidos con la normativa vigente, a la hora de conocer como varía el ozono a lo largo del día debemos trabajar con los datos horarios, esta metodología queda claramente explicada en la siguiente gráfica:

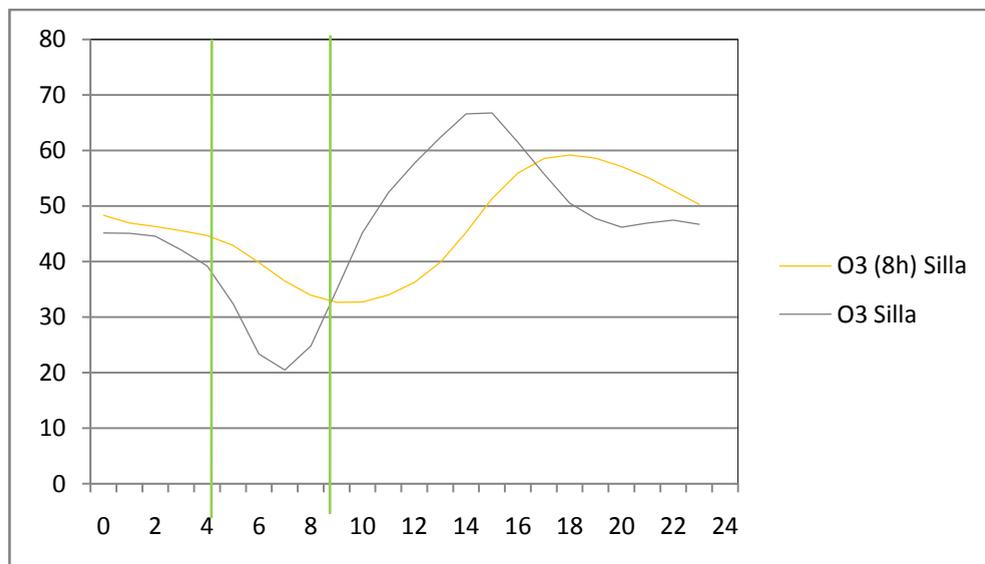


Gráfica 31. Promedio horario de O₃ horaria año 2006

Podemos ver en esta gráfica los datos horarios del O₃ en la estación de Viveros marcados en gris y los datos octohorarios marcados en negro.

Si utilizásemos los datos octohorarios para hacer la recomendación sobre la viabilidad para utilizar la ventilación natural se cometería un grave error al afirmar que la concentración baja de O₃ es de 04.00h a 13.00h, ya que realmente a partir de las 09.30h los datos horarios ponen de manifiesta que la concentración de O₃ en el aire exterior ya es superior a 35 µg/m³, y a las 12.00h se encuentra alrededor de los 55 µg/m³, casi en su máximo diario.

Durante el año 2006, el período de concentración mínima diaria es de 00.00h a 09.30h, se puede comprobar que existe una gran diferencia entre la concentración mínima y máxima (de 15 µg/m³ a 63 µg/m³).

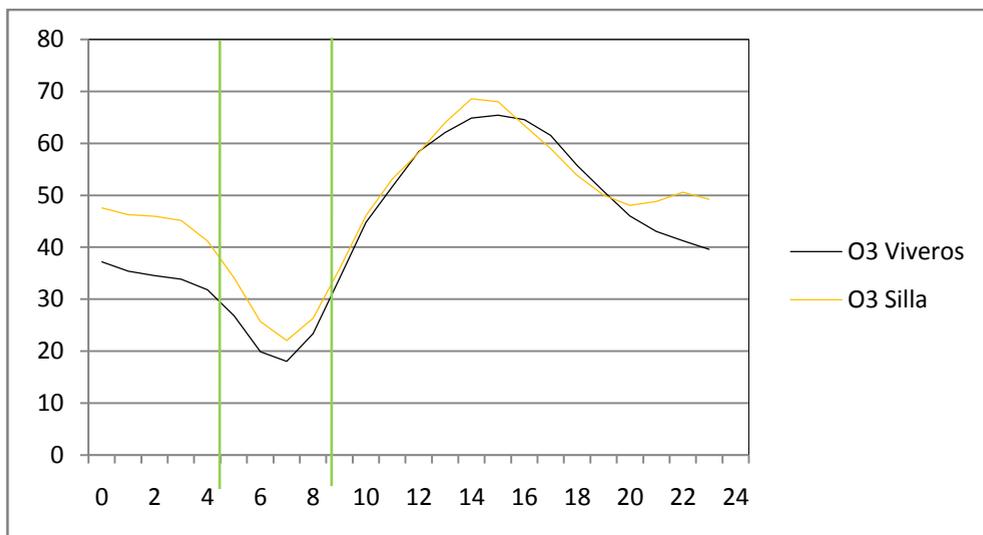


Gráfica 32. Promedio horario de O₃ año 2010

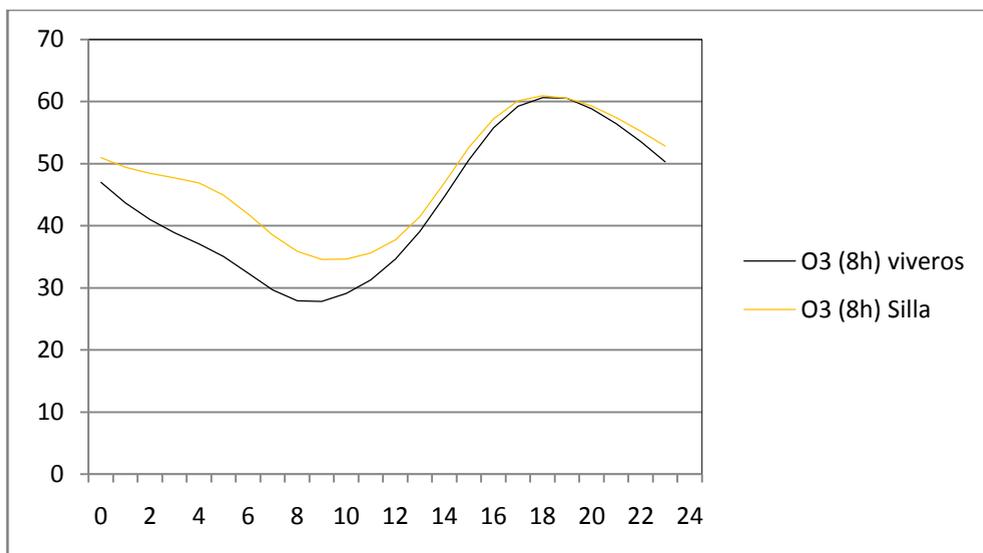
La concentración de ozono troposférico aumenta drásticamente en 2010, tras varios años sin superar el límite diario máximo. Hay que destacar que como el límite diario máximo es de 120 µg/m³ según la normativa española y la recomendación de la OMS fija la concentración en 100 µg/m³, el ozono troposférico no presenta ningún problema para su uso como ventilación natural ya que la concentración promediada por horas no sobrepasa los 70 µg/m³.

Mediante el análisis de las anteriores gráficas podemos dividir el día en 3 periodos según la concentración de O₃ troposférico.

- Concentración alta de 10.30h a 18.00h (concentración mayor a 50 µg/m³).
- Concentración baja de 04.30h a 09.00h (concentración inferior a 35µg/m³).
- Concentración media de 09.00h a 10.30h y de 18.00h a 04.30h (concentración entre 35 y 50 µg/m³).

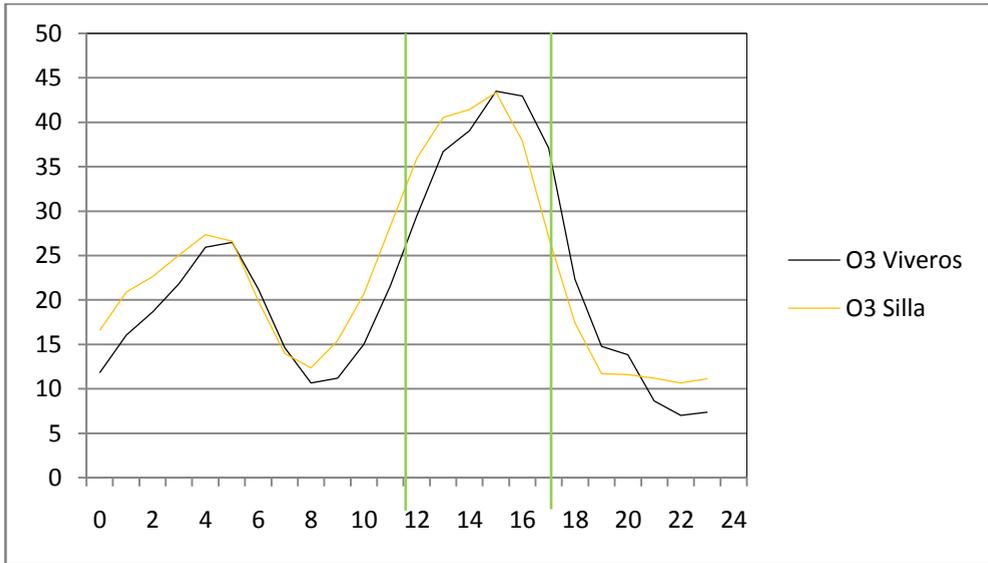


Gráfica 33. Promedio horario de O₃ año 2011



Gráfica 34. Promedio octohorario de O₃ año 2011

El uso de la medida octohoraria suaviza las máximas y mínimas concentraciones, a la vez que retrasa ligeramente el aumento y disminución de su concentración, haciendo difusa su lectura cuando hablamos de espacios de tiempo diarios.



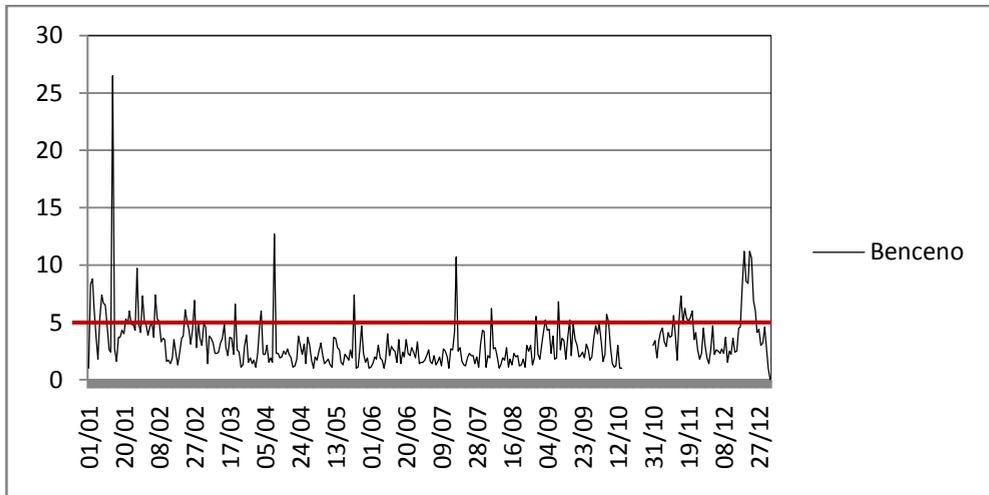
Gráfica 35. Promedio horario de O₃ horaria año 2012

Los datos de 2012 solo se corresponden al mes de enero de dicho año, aquí aparece otro punto máximo situado sobre las 04.00h, este punto máximo no aparece en ninguna otra gráfica y se sitúa fuera del comportamiento esperado de este contaminante, por tanto, no va a ser tomado en cuenta.

2.2.1.5 Análisis de los datos horarios y anuales de C₆H₆ (benceno)

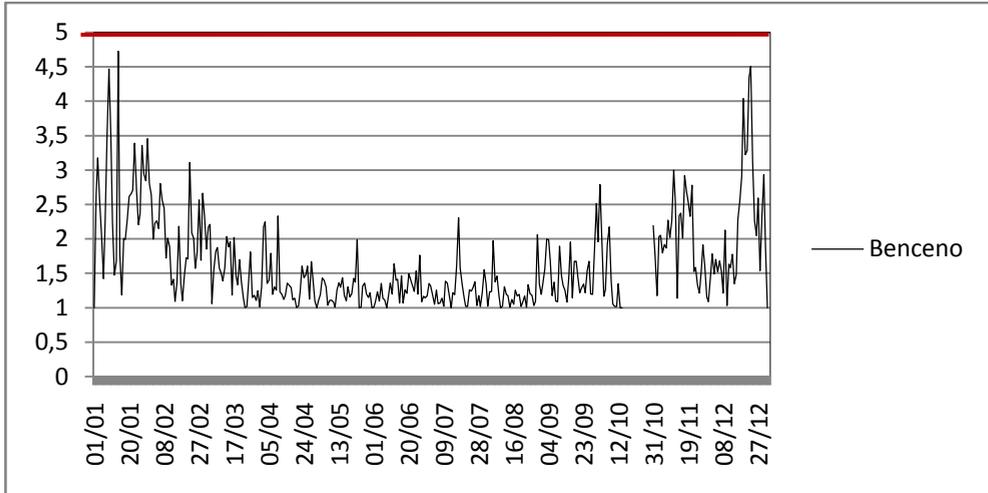
El valor límite anual marcado al benceno (C₆H₆) es de 5 µg/m³. A continuación se aportan gráficas de los valores máximos diarios y gráficas de los valores promedios diarios ya que no se pueden graficar todos los valores horarios.

2.2.1.5.1 Valores horarios de benceno

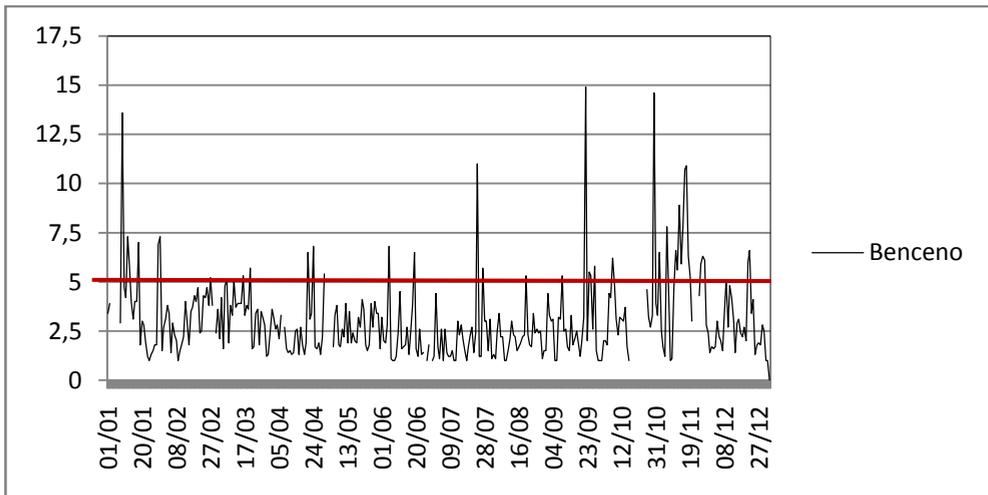


Gráfica 36. Valores máximos diarios de benceno en 2008

En la gráfica de 2008 de datos horarios máximos se comprueba como el benceno llega a alcanzar valores que superan con creces los 5 µg/m³, hasta alcanzar los 27 µg/m³, sin embargo los valores promediados de cada día no superan el límite normativo.

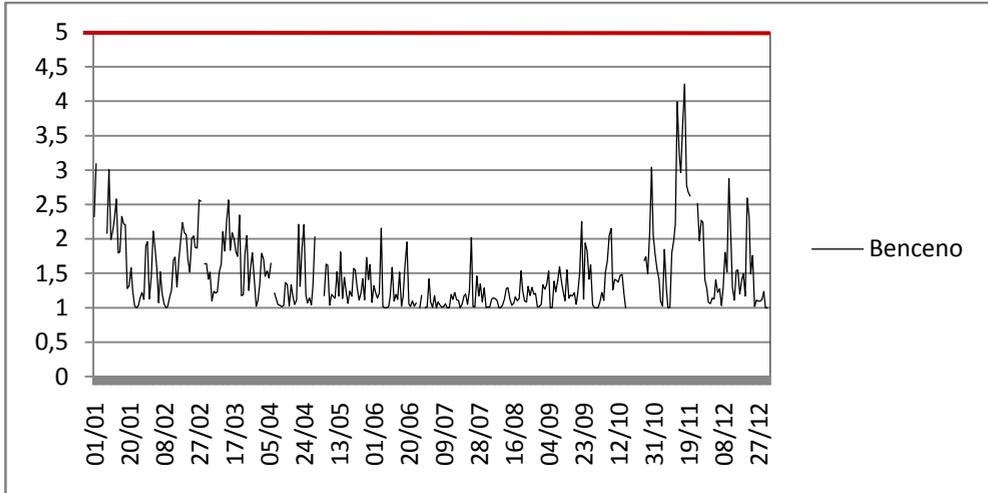


Gráfica 37. Valores promedio diarios de benceno en 2008



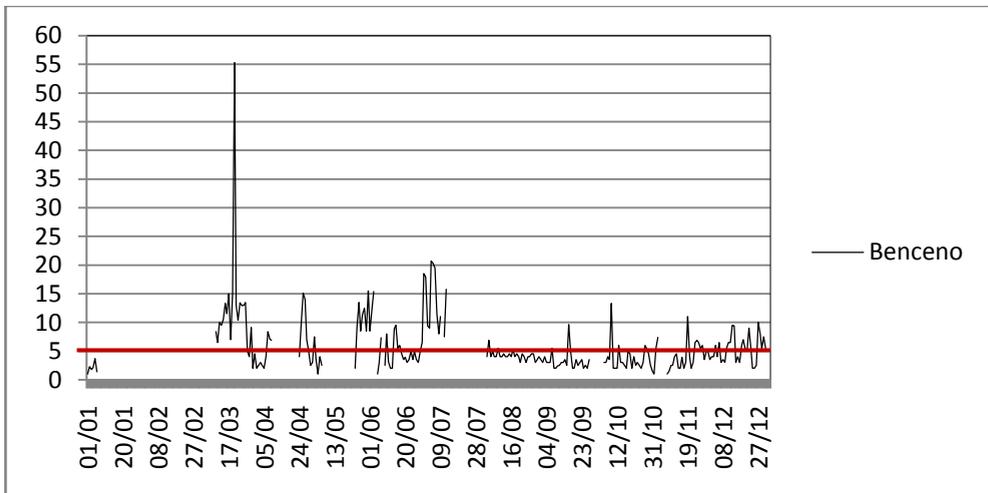
Gráfica 38. Valores máximos diarios de benceno en 2009

La única estación que mide el benceno es la situada en Viveros, todas las gráficas y datos aportados se extraen de esa estación.

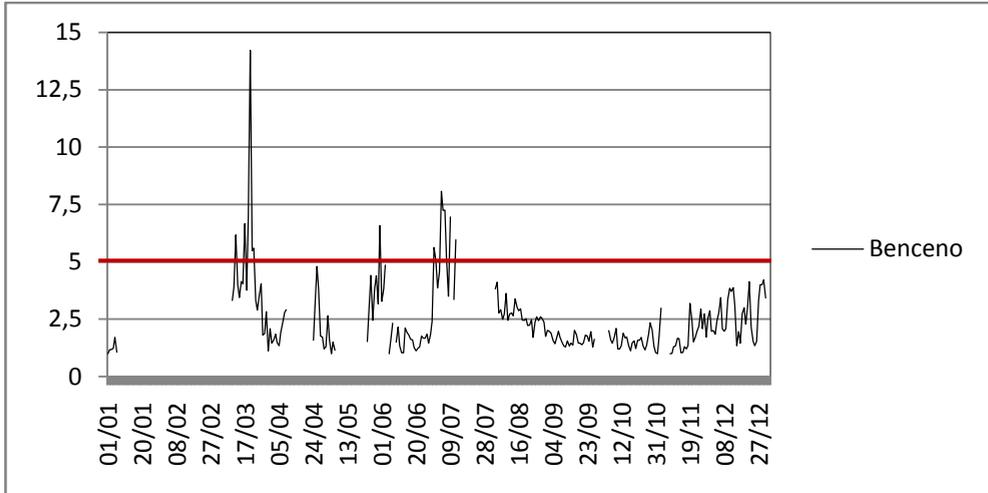


Gráfica 39. Valores promedio diarios de benceno en 2009

En 2009 se reducen los valores máximos diarios, y también los valores promediados diarios. Además, el benceno no sigue ningún patrón a lo largo del año.

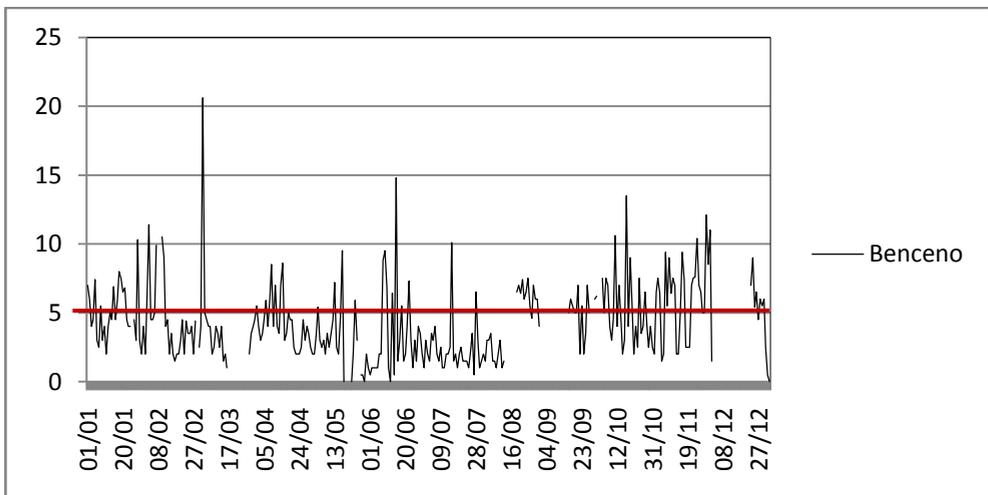


Gráfica 40. Valores máximos diarios de benceno en 2010

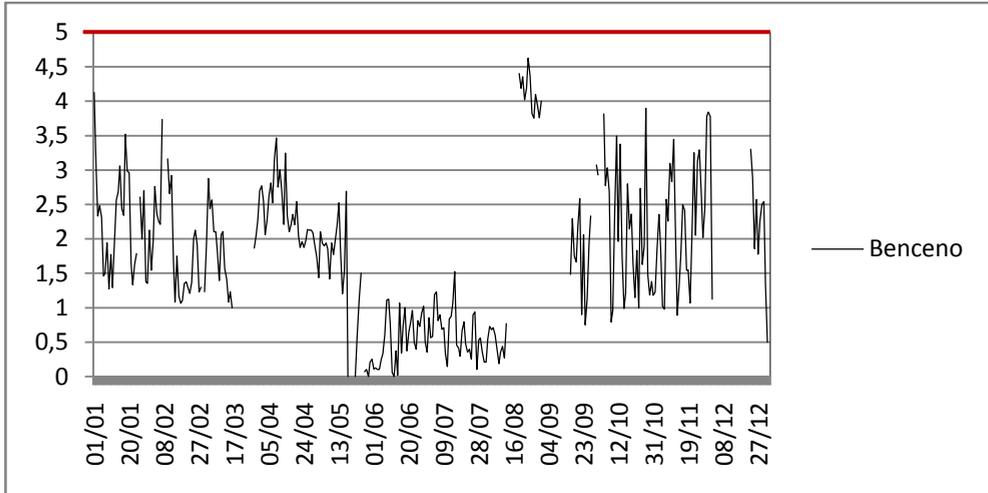


Gráfica 41. Valores promedio diarios de benceno en 2010

En el año 2010 se produce el valor máximo diario de benceno de los años estudiados llegando a alcanzar los $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuando observamos los valores promedios diarios se observa que la media diaria de exposición sobrepasa el valor límite anual de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

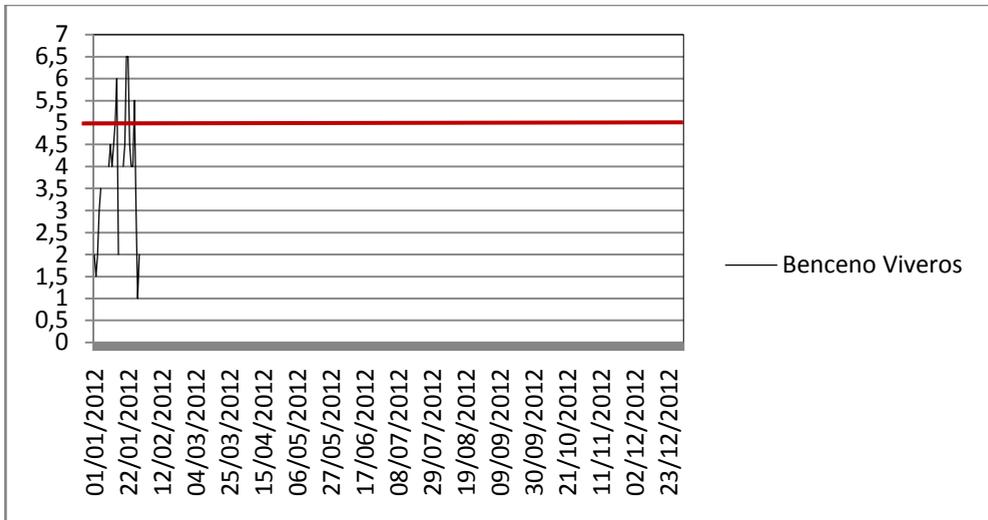


Gráfica 42. Valores máximos diarios de benceno en 2011



Gráfica 43. Valores promedio diarios de benceno en 2011

Como se puede comprobar a lo largo de las gráficas, aunque el benceno alcance niveles altos de concentración, estas concentraciones solo se mantienen por poco tiempo.



Gráfica 44. Valores máximos diarios de benceno en 2012

Al no establecerse un límite máximo diario de exposición y realizar el control de la concentración del contaminante a lo largo de un año la media anual no supera el límite legal marcado, como puede deducirse de la gráfica de valores promedio diarios del benceno, tan solo en el año 2010 se sobrepasó el valor promedio diario de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.1.5.2 Valores anuales de benceno

Valores medios anuales para el benceno en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Límite anual de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Año	Benceno
	Viveros
2008	1,65
2009	1,47
2010	2,46
2011	1,76
2012	2,12

Tabla 55. Valores medios anuales de Benceno.

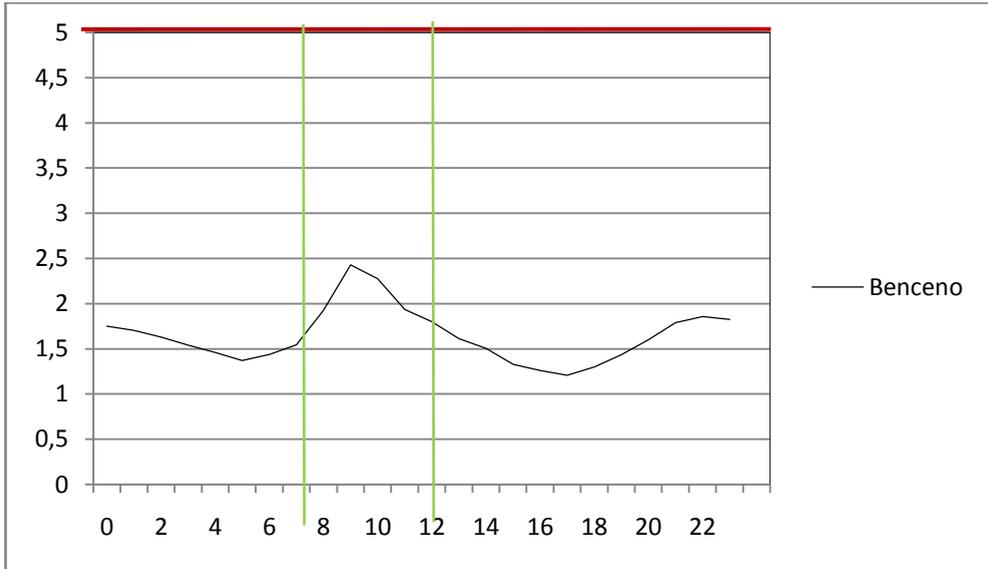
Los límites anuales de benceno se cumplen todos los años sin problemas.

2.2.1.5.3 Promedio de benceno por hora

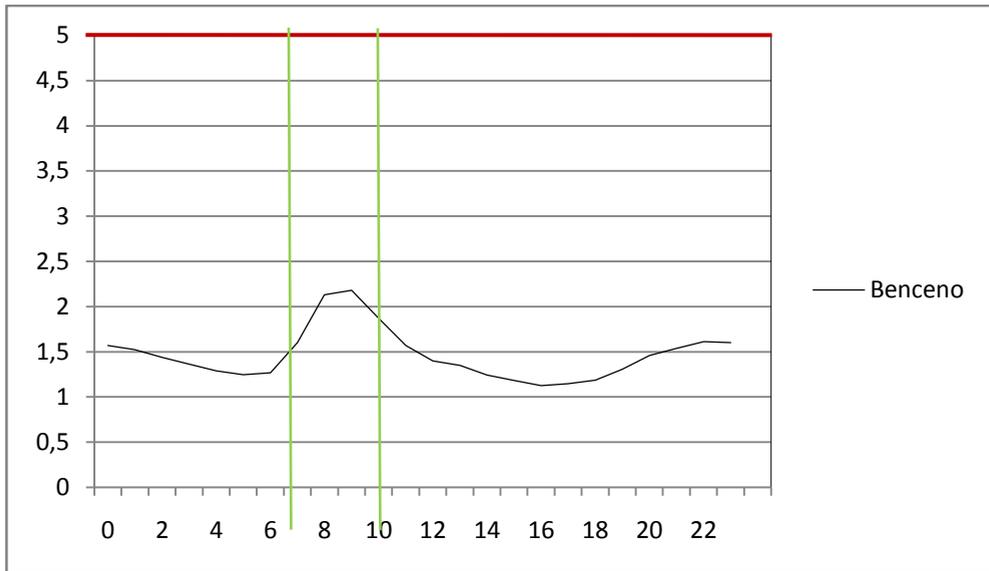
La concentración de Benceno en Valencia no conlleva ningún problema aunque existan episodios puntuales de altas concentraciones, aunque sí que sería necesario recopilar más datos en otros puntos distintos a la estación de Viveros, pues las características de las estaciones actuales no permite obtener un perfil de la ciudad bien definido, tan se puede afirmar

que el benceno se encuentra a bajas concentraciones en la estación de Viveros.

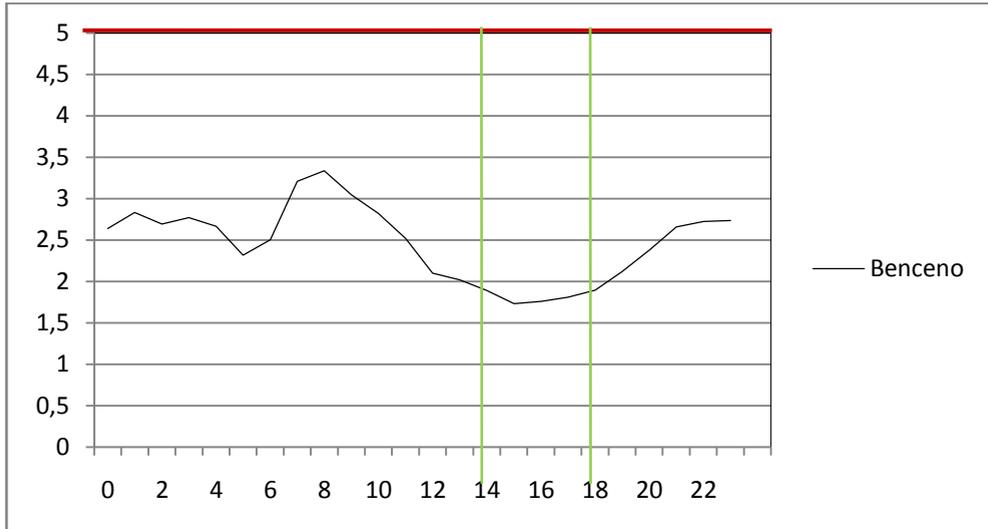
En las gráficas siguientes la línea roja horizontal marca el límite normativo anual para la concentración de benceno.



Gráfica 45. Promedio horario de benceno 2008

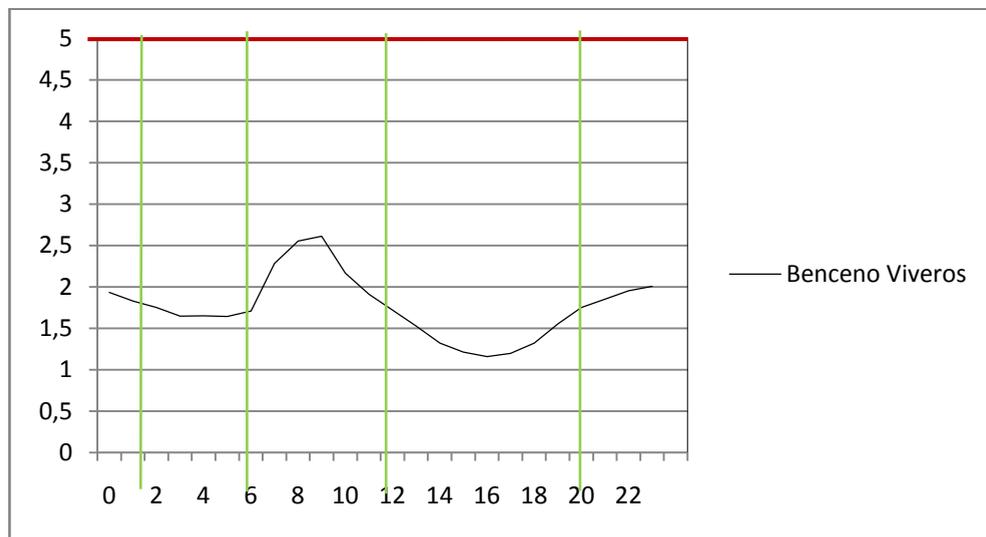


Gráfica 46. Promedio horario de benceno 2009



Gráfica 47. Promedio horario de benceno 2010

Durante el año 2010 la concentración de benceno durante las horas nocturnas aumenta, es el único año analizado donde las horas nocturnas no son la mejor opción para ventilar el interior del edificio.



Gráfica 48. Promedio horario de benceno 2011

La falta de datos no permite definir claramente la calidad del aire respecto al benceno, pues solo se tienen datos de la estación de Viveros, sin embargo, la baja concentración de benceno en dicha zona y la alta homogeneidad entre las estaciones al comparar otros contaminantes permiten ser optimistas a la hora de evaluar la concentración de benceno en las otras zonas de la ciudad.

Mediante el análisis de las anteriores gráficas podemos dividir el día en 3 periodos según la concentración de Benceno.

- Concentración alta de 07.30h a 10.00h y de 20.30 a 00.00h (concentración mayor a $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Concentración baja de 01.30h a 06.00h y de 14.00 a 18.00h (concentración inferior a $1,75\mu\text{g}/\text{m}^3$).

- Concentración media de 00.00h a 01.30h, de 06.00h a 07.30h, de 10.00h a 14.00h y de 18.00 a 20.30h (concentración entre 1,75y 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

.El benceno por lo comprobado, no representa riesgos a tener en cuenta.

2.2.1.6.Determinación de la concentración de contaminantes exterior (C_e)

Tras analizar los contaminantes criterio escogidos (PST, PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 , O_3 troposférico y benceno) es necesario definir los niveles de cálculo a utilizar para aquellos edificios donde se produzcan estos contaminantes, para ello se toman como referencia los datos anuales obtenidos de cada contaminante y la ecuación 1 definida anteriormente:

PST, PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$

Año	PST				PM_{10}			$\text{PM}_{2,5}$
	A	L	NC	S	V	NC	S	S
2004	30,99	45,55	77,36	26,16	26,21			
2005	17,58	43,03	55,13	44,81	30,82			
2006		54,76	33,89	52,07	32,65			
2007		81,68	61,33	58,58	31,38			
2008		42,21	60,41	71,53	25,52			
2009		54,35	52,35	54,5				
2010		54,06			21,86		31,12	
2011					25,6		24,6	
2012						25,8	16,52	17,75

Tabla 56. Valores medios anuales de PST, PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$.

Se recomienda utilizar para C_e un valor conservador, podemos comprobar que para las PM_{10} , la media de los valores de los últimos tres años es de **28,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (91% del máximo valor en la estación de Silla de $31,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aconsejando este valor para el cálculo.

Para $PM_{2,5}$ solo se ha obtenido un dato anual de $17,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, al contar con un único valor y tras comprobar que al mismo tiempo en la estación de Silla se obtiene el mínimo valor para PM_{10} es necesario multiplicar el valor obtenido por un coeficiente de seguridad mediante la hipótesis de que el valor obtenido puede verse superado en los siguientes años, el coeficiente de seguridad asignado es de 1,25, por tanto el valor a utilizar en los cálculos es de **22,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

NO₂

Año	NO ₂				
	Aragón	Linares	Viveros	Nuevo Centro	Silla
2004	46,54	58,59	36,08	55,25	58,6
2005	70,56	73,77		56,77	
2006	55,6	62,88		53,99	56,86
2007	38,44	64,04		45,07	
2008		50,43		60,54	41,78
2009		56,05		57,64	48,06
2010		70,09	28,79		44,55
2011			26,03		31,30
2012			36,73		37,55

Tabla 57. Valores medios anuales de NO₂.

Se recomienda utilizar para C_e un valor conservador, la media de los valores de los últimos tres años es de $39,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (56% del máximo valor en la estación de Silla de $31,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a causa de la falta de datos de las dos principales estaciones donde se obtienen los mayores valores de NO₂ y

comparando el valor obtenido de la media con el mayor valor de los últimos tres años se comprueba que es necesario aumentar el valor de cálculo, pues realizar el cálculo con el valor 39,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ viendo la variabilidad del dióxido de nitrógeno podría provocar que las necesidades de ventilación requeridas fueran inferiores a las reales a causa de una concentración de NO_2 superior en el aire ambiente. Como la concentración de 70,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es inusual tras comprobar el periodo de años 2008-2010, se decide obtener la media de dichos años, **50,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , aconsejando este valor para el cálculo de la ventilación necesaria.

O₃ troposférico

Año	O ₃ troposférico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Viveros	Silla
2006	40,89	
2010		45,99
2011	43,39	47,94
2012	21,67	22,93

Tabla 58. Valores medios anuales de ozono troposféricos.

El valor C_e para realizar cálculos de contaminación de ozono troposférico se obtiene con la misma metodología empleada en los otros contaminantes, se calcula la media de los últimos tres años, 36,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (76% del máximo valor de los últimos tres años), a causa del rápido descenso de la concentración los valores del año 2012 reducen excesivamente el valor obtenido con la media de los valores de los últimos años, además los valores utilizados para obtener la media del año 2012 son los datos correspondientes al mes de enero y como hemos podido comprobar con las gráficas anuales, la concentración de O_3 aumenta significativamente en verano y comparando los valores de enero de 2012 con los valores obtenidos en enero en otros años se observa que en el año

2012 la concentración de O_3 ha aumentado, por tanto, para realizar el cálculo de las necesidades de ventilación se incluye el coeficiente de seguridad debido al aumento de la concentración de ozono troposférico desde el año 2006. El coeficiente de seguridad a utilizar es de **1,25** y se aplica a la media de los valores obtenidos en 2010 y 2011, el valor medio de dichos años es $45,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor a utilizar en el cálculo es **$57,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .

Benceno

Año	Benceno
	Viveros
2008	1,65
2009	1,47
2010	2,46
2011	1,76
2012	2,12

Tabla 59. Valores medios anuales de Benceno.

El valor C_e para realizar cálculos de contaminación de benceno es de $2,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la escasa variabilidad del valor del benceno en Valencia, es razonable utilizar el valor máximo de los últimos tres años para el cálculo de ventilación.

2.2.1.7.Determinación del horario óptimo de ventilación

A continuación se determina el horario óptimo de ventilación en Valencia mediante la puesta en común de los periodos definidos en cada contaminante.

Cada columna corresponde a la concentración de un contaminante criterio subdividido en los tres periodos definidos anteriormente, la última

columna califica la calidad del aire ambiente con una escala de cinco subdivisiones que depende de los periodos de los contaminantes estudiados.

La columna de la calidad del aire se define mediante cinco colores diferentes:

- Verde: se recomienda ventilar los edificios en este horario.
- Amarillo: aún es posible ventilar los edificios aunque no es el mejor horario para realizar la ventilación.
- Naranja: la contaminación del aire empieza a ser significativa y ya no se recomienda la ventilación en este horario.
- Rojo: la contaminación es alta no siendo recomendable la ventilación en dicho horario.
- Granate: no se debería de ventilar las estancias sin utilizar filtros específicos debido a la alta concentración de varios contaminantes.

La recomendación de ventilar se realiza atendiendo principalmente a la concentración del dióxido de nitrógeno principalmente, ya que es el contaminante más restrictivo en la ciudad de Valencia, las partículas suspendidas también influyen significativamente a la hora de realizar esta división ya que también suelen sobrepasar los límites normativos.

El ozono troposférico y el benceno, aunque en sus columnas estén marcados con alta concentración debemos recordar que estos contaminantes no superaban los límites normativos, teniendo menos peso a la hora de determinar la idoneidad de la ventilación.

Hora\Contaminante	PM	NO ₂	O ₃	C ₆ H ₆	Calidad del aire
00.00-01.00	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
01.00-02.00	Green	Green	Yellow	Green	Green
02.00-03.00	Green	Green	Yellow	Green	Green
03.00-04.00	Green	Green	Yellow	Green	Green
04.00-05.00	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
05.00-06.00	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
06.00-07.00	Yellow	Red	Green	Yellow	Red
07.00-08.00	Yellow	Red	Green	Red	Red
08.00-09.00	Red	Red	Green	Red	Dark Red
09.00-10.00	Red	Red	Yellow	Red	Dark Red
10.00-11.00	Red	Yellow	Red	Yellow	Red
11.00-12.00	Red	Yellow	Red	Yellow	Red
12.00-13.00	Red	Yellow	Red	Yellow	Red
13.00-14.00	Red	Yellow	Red	Yellow	Red
14.00-15.00	Red	Yellow	Red	Green	Red
15.00-16.00	Yellow	Yellow	Red	Green	Orange
16.00-17.00	Yellow	Yellow	Red	Green	Orange
17.00-18.00	Yellow	Yellow	Red	Green	Orange
18.00-19.00	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red
19.00-20.00	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red
20.00-21.00	Yellow	Red	Yellow	Red	Dark Red
21.00-22.00	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Dark Red
22.00-23.00	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
23.00-00.00	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red

Tabla 60. Calidad del aire definida mediante diferentes colores

2.2.2 Determinación de la carga contaminante interior (C_i)

Llegados a este punto es necesario retomar el hilo utilizado al inicio de la tesina, a la hora de determinar las cargas de los contaminantes interiores es imprescindible conocer el uso al que va a ser destinado el edificio y los contaminantes que se van a generar en su interior.

En edificios donde la principal fuente de contaminación son las personas el cálculo de las cargas contaminantes se simplifica notoriamente, pues solo es necesario determinar el dióxido de carbono que los ocupantes generan. En el marco teórico ya se ha expuesto la metodología apoyada con varias tablas, a continuación se remarcan las necesarias para el cálculo:

Datos	Aire exterior puro	Aire expirado
Oxígeno	21 %	14-16 %
Dióxido de carbono	0,03 - 0,04 %	4 – 5,6 %
Nitrógeno	78 %	79,7 %
Vapor de agua por m ³	5 -25 g	45 g (a 37°C)

Tabla 61. Composición del aire atmosférico y del aire expirado.

Tipo de persona	Respiraciones por minuto
Recién nacido	35 – 56
Lactante	45 – 56
Niño de 1 año	26 – 32
Niño de 3 años	30 – 40
Niño de 5 años	25
Después de los 6 años	20
Adulto	16 – 20

Tabla 62. Frecuencia respiratoria según la edad de la persona

Tipo de actividad	Tasa metabólica M	
	W	Kcal / h
Metabolismo basal	69,78 – 81,4	60-70
Sentado descansando	77,38 – 116,3	90-100
Actividad sedentaria	116,3 – 139,56	100-120
Caminando a 4 km/h	244,23 – 314,01	210-270
Caminando a 7 km/h	348,9 – 465,2	300-400
Trabajo liviano	174,45 – 348,9	150-300
Trabajo moderado	348,9 – 558,24	300-480
Trabajo pesado	523,35 – 697,68	450-600
Trabajo muy pesado	697,68 – 872,25	600-750

Tabla 63. Niveles de calor metabólico para distintos tipos de actividad.

Tipo de actividad	Tasa metabólica M (W)	Cantidad media de CO ₂ producido por persona (l/h)
Metabolismo basal	80	11,5
Sentado descansando	105	16
Actividad sedentaria	130	19
Caminando a 4 km/h	280	39
Caminando a 7 km/h	406	60
Trabajo liviano	260	37
Trabajo moderado	470	66
Trabajo pesado	610	90
Trabajo muy pesado	784	115

Tabla 64. Niveles de CO₂ producido por persona en función del calor metabolismo y del tipo de actividad

En edificios donde se produzcan otro tipo de contaminantes (edificios de uso industrial, educativo, sanitario, comercial, oficinas) es necesario realizar un estudio exhaustivo de los contaminantes generados, magnitud de la carga contaminante, detección de fuentes y ubicación de las mismas.

En el caso práctico abordado, la Lonja de la Seda, ha sufrido cambios a lo largo de los diferentes periodos desde su construcción (a lo largo de su vida). En cada periodo la ocupación máxima de personas varía, variando también la carga contaminante interior. Se estima la siguiente afluencia punta en cada periodo en un mismo espacio, Salón columnario:

- Estado actual de la Lonja (monumento): 50 personas
- Segundo periodo de la Lonja (cuartel militar): 100 personas
- Primer periodo de la Lonja (comercio): 150 personas

Cantidad de CO₂ producido con una tasa metabólica alrededor de 180W, 26,31 l/h para una actividad menor a caminar a 4 km/h, expresado en gramos 51,69 g/h, 14,36 mg/s :

- Estado actual de la Lonja (monumento): 718 mg/s
- Segundo periodo de la Lonja (cuartel militar): 1.436 mg/s
- Primer periodo de la Lonja (comercio): 2.154 mg/s

2.2.3. Eficacia de la ventilación

En el marco teórico se ha definido la eficacia y los tipos de ventilación que existen (por mezcla y por desplazamiento).

Si analizamos la Lonja, todos los espacios cuentan con grandes volúmenes, por tanto, la principal característica de la ventilación natural es que ni el técnico que calcula las necesidades de ventilación ni los ocupantes del edificio son capaces de controlar la velocidad del viento.

Para definir la eficacia de ventilación es necesario conocer ante qué tipo de ventilación nos encontramos y cuál es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. La diferencia de temperatura en la Lonja de la Seda es nula, pues los grandes espacios que tienen sus estancias y su abertura durante el horario de visitas hacen que la diferencia de temperatura sea mínima. La variación de la velocidad del viento obteniendo ráfagas dentro del edificio facilita la ventilación por mezcla.

La eficacia de ventilación en el estado actual de la Lonja es de 0,9 según la tabla facilitada.

En el segundo periodo de la Lonja de la Seda, cuando se utilizaba como cuartel militar se cerraron ciertas entradas y sus accesos ya no estaban abiertos durante mucho tiempo seguido. En esta situación es fácil que la temperatura entre el aire exterior e interior aumente, siendo mayor en el interior del edificio.

La eficacia de ventilación en el segundo periodo de la Lonja sería de 0,8 según la tabla facilitada.

Durante el primer periodo de la Lonja de la Seda, cuando se utilizaba como Lonja de mercaderes, zona de comercio, sus accesos estarían abiertos durante las horas de comercio, pero la gran afluencia de personas al interior de la misma haría que la temperatura dentro de la Lonja aumentara drásticamente.

La eficacia de la ventilación en el primer periodo de la Lonja sería de 0,7 según la tabla facilitada.

Existe otro método de obtener la eficacia de ventilación que es mediante la ecuación que se puede encontrar en el marco teórico, pero al no ser posible medir la eficacia de la ventilación en los dos primeros periodos de la Lonja resulta conveniente calcular la eficacia de la ventilación mediante la tabla proporcionada.

2.2.4 Resultados del uso de la ventilación natural

Tras obtener todos los datos necesarios (concentración de contaminación exterior, concentración interior requerida, carga contaminante interior y eficacia de ventilación) se procede a realizar el cálculo:

2.2.4.1 Cálculo de caudal de renovación necesario

Periodo actual de la Lonja: monumento

$$I_{vn}(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{718\text{mg}/\text{s}}{1300\text{mg}/\text{m}^3 - 775\text{mg}/\text{m}^3} \times \frac{1}{0,9}$$

$$I_{vn} = 1,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

Segundo periodo: cuartel general

$$I_{vn} = \frac{1436\text{mg}/\text{s}}{1300\text{mg}/\text{m}^3 - 775\text{mg}/\text{m}^3} \times \frac{1}{0,8}$$

$$I_{vn} = 3,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Primer periodo: comercio

$$I_{vn} = \frac{2154\text{mg}/\text{s}}{1300\text{mg}/\text{m}^3 - 775\text{mg}/\text{m}^3} \times \frac{1}{0,7}$$

$$I_{vn} = 5,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como se puede comprobar la eficacia de la ventilación afecta sensiblemente a las necesidades de ventilación, así como la calidad de aire exterior y la calidad requerida en el interior del edificio.

2.2.4.2 Ejemplo de cálculo en vivienda con ocupación de 3 personas

Para el ejemplo, se utiliza una tasa metabólica de actividad sedentaria con una tasa metabólica alrededor de 130W, 19 l/h, expresado en gramos 37,32 g/h, 10,37 mg/s y manteniendo la eficacia de ventilación y los datos de concentración requerida y concentración exterior:

$$I_{vn}(m^3/s) = \frac{31,11mg/s}{1.300mg/m^3 - 775mg/m^3} \times \frac{1}{0,9}$$

$$I_{vn} = 0,066 m^3/s = 66 l/s$$

Según el Código Técnico de Edificación la ventilación mínima exigida es de 5 l/s por ocupante, si calculamos la concentración interior conseguida con dicha ventilación obtenemos:

$$0,009(m^3/s) = \frac{31,11mg/s}{C_r - 775mg/m^3} \times \frac{1}{0,9}$$

$$C_r = 4615,74 mg/m^3$$

Esta concentraciones demasiado alta como podemos comprobar en el marco teórico, a partir de 1.360 mg/m³ se produce mal olor en el interior del edificio. Según se ha demostrado, el cálculo de caudales desde el punto de vista higiénico es más conservador, exige una mayor ventilación que el cálculo realizado mediante el Código Técnico de la Edificación, pero limita la contaminación interior al nivel deseado.

3. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.

Para finalizar el trabajo de esta tesina se exponen a continuación las conclusiones y las posibles líneas futuras de trabajo.

3.1. Conclusiones

Sobre la calidad de aire en Valencia

1. La base de datos resulta de gran utilidad para conocer el estado de la calidad del aire y evaluar como varía la calidad a lo largo del día y del año, extrayendo patrones que se repiten a lo largo del tiempo y permitiendo estimar con datos iniciales la evolución de la concentración a lo largo de un año natural, como se ha realizado con los datos de 2012:

Los altos valores obtenidos en el ozono troposférico en el mes de enero de 2012, al comparar su concentración con años anteriores. Este efecto es debido a que el ozono troposférico se forma durante el día al ser un contaminante secundario que se forma a través del proceso químico que se activa durante las horas diurnas, por tanto, en verano aumenta su concentración al haber más horas de sol.

2. Las partículas suspendidas presentan altas concentraciones durante el día, pero se reducen considerablemente en las horas nocturnas y decrecen a lo largo de la tarde.

3. El dióxido de nitrógeno en Valencia presenta graves problemas para utilizar el aire natural como aire de renovación sin necesidad de utilizar filtros específicos. En 2005 llega a no ser recomendable su utilización, aunque su nivel ha descendido en los últimos años y actualmente permite ventilar los edificios en las horas nocturnas.

El uso masivo de transporte particular causa que el dióxido de nitrógeno alcance altas concentraciones, se ha demostrado en las gráficas horarias que las concentraciones máximas se alcanzan en las horas punta donde los ciudadanos suelen ir hacia el trabajo, centros académicos, etc. Durante los meses de verano, las concentraciones de dióxido de nitrógeno suelen descender.

4. La concentración de ozono troposférico está aumentando en los últimos años, en el año 2011 por primera vez se registran valor altos de concentración en dos estaciones diferentes (Silla y Viveros), aunque el nivel de concentración de ozono troposférico sigue siendo muy inferior al marcado en la normativa y por tanto no presenta ningún problema a la hora de ventilar las estancias.
5. El benceno se mantiene estable durante los últimos años y su concentración es muy inferior al límite máximo normativo. Es el único contaminante que durante las horas centrales del día desciende su concentración considerablemente.
6. Se comprueba que todos los contaminantes se reducen considerablemente en las horas nocturnas y aumentan drásticamente en las primeras horas de la mañana para alcanzar su máximo a mediodía.

7. La calidad del aire en Valencia es óptima para su utilización como ventilación natural sin utilización de filtros, aunque las horas de ventilación se reducen drásticamente como consecuencia de los altos niveles de dióxido de nitrógeno.
8. La división de la calidad del aire en cinco niveles permite la identificación y cualificación visual rápida de la evolución del aire a lo largo del día.

Sobre la calidad de aire en los edificios

9. La calidad del aire exterior afecta sensiblemente a los caudales de renovación necesarios, a mayor contaminación exterior más difícil resulta reducir la concentración de contaminantes interiores.
10. Hay que tener en cuenta la hora de ventilación de los edificios si no se desea introducir contaminantes exteriores innecesarios, pues durante el día la concentración de contaminantes puede triplicarse en comparación a la ventilación de los edificios en horas óptimas.
11. La eficacia de la ventilación influye en el caudal necesario para reducir los niveles de contaminación a las necesidades requeridas.
12. El cálculo de caudales según el Código Técnico de Edificación infravalora las necesidades de ventilación, existiendo la posibilidad de que aparezcan malos olores en las estancias, incluso se puede sobrepasar el máximo valor recomendado en la práctica de 2.713 mg/m^3 en reuniones u otros contextos.
13. El cálculo de ventilación mediante el punto de vista higiénico es más preciso y elimina los problemas de contaminación del aire si se tienen en cuenta correctamente las necesidades que se pueden dar a lo largo de la vida útil del edificio.

3.2. Líneas futuras

La tesina realizada expone diferentes problemas a solucionar y sobre los que es conveniente trabajar exhaustivamente.

Como se ha demostrado, la metodología empleada actualmente para definir las necesidades de ventilación resulta inexacta al no tener en cuenta la calidad del aire exterior ni los diferentes contaminantes que pueden generarse dentro de los edificios, sobre todo en los edificios destinados a la vivienda ya que el Código Técnico de la Edificación se basa sólo en el número de personas en su interior.

Es necesario conocer exactamente la calidad del aire donde se va a situar el edificio, por tanto resulta conveniente ampliar y actualizar constantemente la base de datos creada en este trabajo para poder definir con mayor exactitud las exigencias en materia de ventilación. Para facilitar este trabajo, se adjunta la base de datos utilizada en esta tesina, que espero que se vaya ampliando a lo largo del tiempo.

Para poder conocer con mayor exactitud la calidad de la aire y definir las concentraciones exteriores de cálculo conviene ampliar las características de las estaciones de medición de contaminantes instaladas en Valencia.

Actualmente la normativa marca los límites de la calidad del aire, pero se ha hecho patente la falta de estudios sobre cómo afecta a las personas la exposición a bajas concentraciones de contaminantes durante largos periodos. Puede ser necesaria la reducción de los valores dados en este estudio en cuanto a la concentración requerida en el interior del edificio si se demuestra que valores inferiores a los permitidos por la normativa son perjudiciales para la salud.

Otro aspecto importante a completar es el estudio de la contaminación que generan los materiales de construcción utilizados en la construcción del edificio profundizando en aquellos materiales de acabado

que son los que expulsan diferentes contaminantes al interior del edificio y que pueden afectar a la salud de los ocupantes. Cabe destacar que en este tema ya se está trabajando en Francia, donde a finales de 2013 será obligatorio que los materiales de acabado lleven una etiqueta donde indique la cantidad de contaminante que expulsan durante su periodo de uso.

La finalidad de la presente tesina, ha sido definir la calidad del aire en Valencia a partir de los datos obtenidos por las estaciones de medición de calidad del aire y mediante el cálculo de la ventilación desde el punto de vista higiénico resolver la ventilación de un edificio concreto. Este trabajo forma parte de la línea de investigación de la calidad ambiental interior en la edificación y la intención es continuar este trabajo durante la investigación correspondiente al doctorado, para ello, la Lonja gracias a sus modificaciones y los cambios de uso a lo largo de su historia permitirá la comparación dentro de una misma envolvente constructiva y situación geográfica comprobar cómo el cambio de uso del edificio y sus particiones interiores influyen en las necesidades de ventilación y en el movimiento del flujo de aire en el interior del edificio. Además de comprobar si se alcanzan los caudales de renovación necesarios en la Lonja.

4 ● BIBLIOGRAFÍA.

4.1. Normativa

- 1) Unión Europea. DIRECTIVA 89/654/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo (1.2.3 definición aire ambiente), *Diario Oficial de la Unión Europea*, 30 de diciembre de 1989, L393, p.0001-0012.
- 2) Unión Europea. DIRECTIVA 96/62/CE DEL CONSEJO de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de localidad del aire ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 21 de noviembre de 1996, L296, p.0055-0063.
- 3) Unión Europea. DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, *Diario Oficial de la Unión Europea*, 11 de junio de 2008, L152, p. 0001-0044.
- 4) Organización Mundial de la Salud. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. 2006

- 5) España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. Notas Técnicas de Prevención 549, 2001.
- 6) España. Código Técnico de Edificación. Documento básico de salubridad. Sección 3 Calidad de aire interior, *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, BOE 74, p.11816-11831.
- 7) España. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE), *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, BOE 207, p.35931-35984.
- 8) España. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, *Boletín Oficial del Estado*, 16 de noviembre de 2007, BOE 275, p.46962-46987.
- 9) España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2011, BOE 25, p.9574-9626.
- 10) AENOR. *Ventilación de los edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos*. Norma UNE-EN 13779. Madrid: AENOR, mayo 2008.
- 11) AENOR. *Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido*. UNE-EN 15251. Madrid: AENOR, septiembre 2008.

4.2 Libros

- 12) Seinfeld, John H. *Air pollution. Physical and chemical fundamentals*, 1º edición, New York, McGraw-Hill, 1975(tr.española de Rafael Mujeriego, Contaminación atmosférica. Fundamentos físicos y químicos, Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1978, pp.578).
- 13) Crespi, María Alicia. *Acondicionamiento ambiental. Vol.2, Acondicionamiento higrotérmico de la calidad del aire y acústico*, 2ª edición, Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1981, pp. 189.
- 14) Cristalería Española. *Calidad del aire (Indoor air quality)*, Madrid, Cristalería española, 1992, pp. 277.
- 15) Neila González, F. Javier, et al. *Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*, 1ª edición, Madrid, Munilla-Lería, 1994 (2ª edición, 1997) pp. 430.
- 16) Mermet, Alejandro Javier. *Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos*, 1ª edición, Buenos Aires, Nobuko, 2005, edición literaria al cuidado de Eduardo Yarke, pp.140.
- 17) Rey Martínez, Francisco Javier, et al.. *Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas*, Madrid, Thomson, 2006, pp. 313.
- 18) Rey Martínez, Francisco Javier, et al. *Calidad de ambientes interiores*, Madrid, Thomson, 2007, pp. 311.

- 19) AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción. *Guías de sostenibilidad en la edificación residencial. Calidad del ambiente interior*, 1ª edición, Generalitat Valenciana, Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, 2009, pp.56.
- 20) Ayuntamiento de Madrid. *Estrategia local de calidad de aire de la ciudad de Madrid 2006-2010*, Madrid, pp.267.
- 21) Consejería de Sanidad de Madrid. *Calidad del aire interior en edificios de uso público*, 1º edición, Madrid, Dirección General de Ordenación e Inspección Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid, diciembre 2010, pp.98.

4.3. Artículos de investigación de revistas

- 22) Castilla, M., et al. «Técnicas de Control del Conforten Edificios», *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* Vol. 7, núm. 3, pp. 5-24, 2010.
- 23) La Roche, P. «Calculating green house gas emissions for buildings: analysis of the performance of several carbon counting tools in different climates», *Informes de la Construcción*, Vol. 62, núm. 517, pp.61-80, 2010.
- 24) Lertxundi, Aitana, et al. «Air quality assessment in urban áreas of Gipuzkoa (Spain)», *Gaceta sanitaria*, Volume 24, Issue 3, pp. 187-192, 2010.
- 25) Querol, Xavier. «Calidad del aire, partículas en suspension y metales», *Revista Española*, Vol. 82, núm. 5, pp.447-453, 2008.

- 26) Jiménez Herrero, Luís M. «Calidad del aire y sostenibilidad urbana», *Ambienta: la revista del Ministerio de Medio Ambiente*, número 76, pp.18-27, 2008.
- 27) Vargas Marcos, Francisco. «La contaminación ambiental como factor determinante de la salud», *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79, no. 2, 2005.
- 28) Ballester, Ferran. «Comentario. Contaminación atmosférica y salud: acción estratégica en salud pública», *Gaceta sanitaria*, Volume 23, Issue 3, pp. 198-199.
- 29) Vargas Marcos, et al. «Calidad ambiental interior: bienestar, confort y salud», *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79, no. 2, marzo-abril, pp. 243-251, 2005.
- 30) Boldú, J., et al. «Enfermedades relacionadas con los edificios», *Anales del sistema sanitario de Navarra*, Vol. 28, nº extra 1, pp. 117-122, 2005.
- 31) García Doñoro, Pilar. «La directiva de calidad del aire y una atmósfera más limpia en Europa», *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, nº 75, pp.6-10, 2008.

4.4. Tesis

- 32) Simancas Yovane, Katia Carolina. *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*, 1º edición, Barcelona, 2003.
- 33) Ramírez Blanco, Manuel Jesús. *La Lonja de Valencia y su entorno monumental: origen y desarrollo constructivo, evolución de sus estructuras, sinopsis de las intervenciones más relevantes, siglos XV al XX*, 3 volúmenes, 1999.

4.5. Datos de la calidad del aire

- 34) Generalitat Valenciana. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica. *Datos históricos*. 2012.

5. ANEXOS

5.1 Datos de las estaciones de medición de calidad de aire

Los datos han sido facilitados por la. Tras analizar la ubicación de las estaciones se han escogido aquellas estaciones más cercanas a la Lonja, en total se han utilizado 5 obteniendo los datos sobre los contaminantes del centro de la ciudad.

A continuación se facilitan los datos de la posición de cada estación y las variables que mide cada estación.

(A) Aragón

Dirección de la estación:

Provincia: Valencia

Municipio: Valencia

Zona: Residencial

Dirección: Avenida Aragón, s/n

Código: 46250033

(I) Linares

Dirección de la estación:

Provincia: Valencia

Municipio: Valencia

Dirección: Esquina C/ Linares – C/Lorca

Código: 46250034

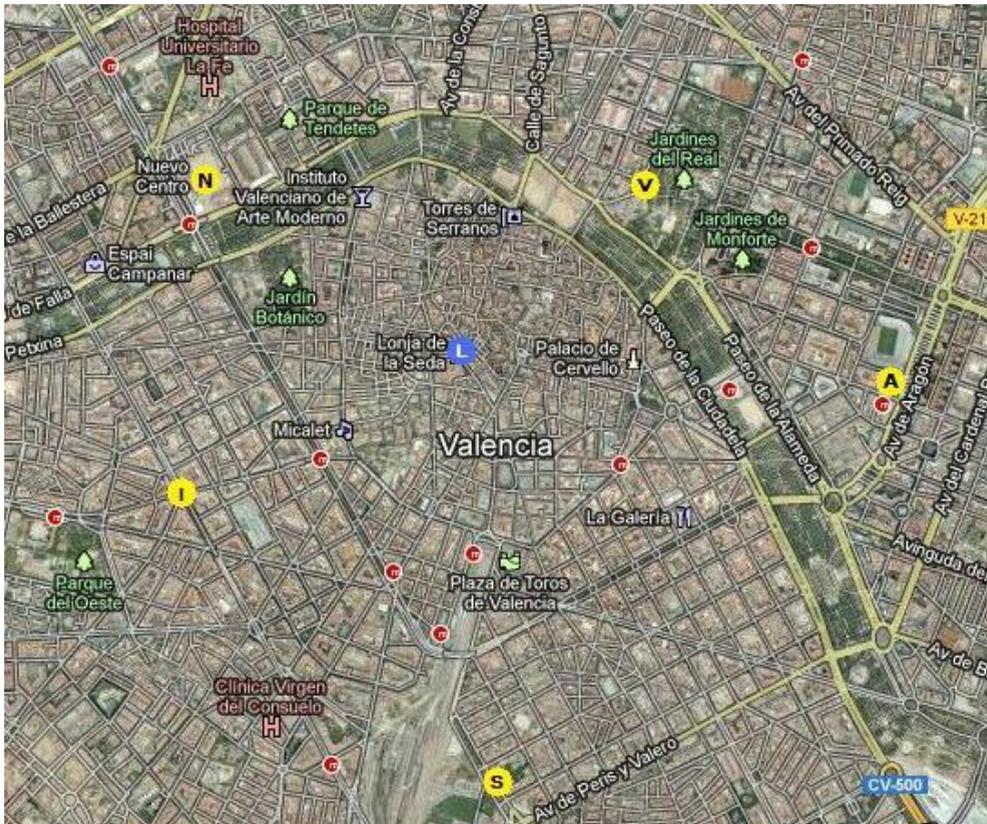
(N) Nuevo Centro**Dirección de la estación:****Provincia:** Valencia**Municipio:** Valencia**Zona:** Residencial**Dirección:** Avenida Menéndez Pidal, s/n**Código:** 46250031(S) Pista de Silla**Dirección de la estación:****Provincia:** Valencia**Municipio:** Valencia**Zona:** Residencial**Dirección:** C/Filipinas s/n**Longitud:** 0° 22'36'' Oeste**Latitud:** 39°17'29'' Norte**Altitud:** 11m**Código:** 46250030(V) Viveros**Dirección de la estación:****Provincia:** Valencia**Municipio:** Valencia**Zona:** Residencial**Dirección:** Jardines de Viveros**Código:** 46250043**Longitud:** 0°22'10'' Oeste**Latitud:** 39°28'46'' Norte**Altitud:** 11m

Tabla que recoge las características de las diferentes estaciones estudiadas.

Contaminantes y variables medidas	Aragón (A)	Linares (I)	Nuevo Centro (N)	Pista de Silla (S)	Viveros (V)
Dióxido de azufre	X	X	X	X	X
Dióxido de Nitrógeno	X	X	X	X	X
Monóxido de Carbono	X	X	X	X	X
Monóxido de Nitrógeno	X	X	X	X	X
Óxidos de Nitrógeno totales	X	X	X	X	X
Ozono	X	X	X	X	X
Partículas en Suspensión (<10µm)				X	X
Partículas en Suspensión (<2,5µm)					X
Partículas en suspensión totales	X	X	X	X	X
Plomo				X	X
Arsénico					X
Benceno					X
Benzo(a)pireno					X
Cadmio					X
Níquel					X
Tolueno					X
Xileno					X
Hidrocarburos totales	X				
Metano (CH ₄)	X				
Hidrocarburo no metálico (HNM)	X				
Dirección del viento				X	
Humedad relativa				X	
Nivel sonoro equivalente			X	X	X
Presión barométrica				X	
Radiación solar				X	
Temperatura media				X	
Velocidad del viento				X	

Tabla 65. Variables medidas por las diferentes estaciones

Los datos han sido facilitados por la Red de Vigilancia y Control de Contaminación Atmosférica. Tras analizar la ubicación de las estaciones se han escogido aquellas estaciones más cercanas a la Lonja, en total se han utilizado 5 obteniendo los datos sobre los contaminantes del centro de la ciudad.



Mapa 2. Situación de la Lonja y las estaciones utilizadas

5.2 Límites normativos en otros países

5.2.1 Normas oficiales mexicanas

Las normas oficiales mexicanas marcan los siguientes límites para los contaminantes:

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)	
Ozono (O ₃)	0,11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-020-SSA1-1993 ⁽²⁾
	0,08 ppm (8 horas)	Quinto máximo en un año		
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12.595 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993 ⁽¹⁾
Dióxido de azufre (SO ₂)	0,13 ppm (24 hora) (341 µg/m ³)	1 vez al año	0,03 ppm (media anual)	NOM-022-SSA1-1993 ⁽¹⁾
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993 ⁽¹⁾
Partículas suspendidas totales (PST)	210 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24h)	24 horas	-	NOM-024-SSA1-1993 ⁽³⁾
Partículas con diámetro menor a 10 µm (PM ₁₀)	120 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24h)	24 horas	50 µg/m ³ (promedio anual)	NOM-025-SSA1-1993 ⁽³⁾
Partículas con diámetro menor a 2,5 µm (PM _{2,5})	60 µg/m ³ (percentil 98 promedio de 24h)	24 horas	15 µg/m ³ (promedio anual)	NOM-025-SSA1-1993 ⁽³⁾
Plomo (Pb)	-	-	1,5 µg/m ³ (promedio trimestral)	NOM-026-SSA1-1993 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994.

⁽²⁾ Diario Oficial de la Federación del 30 de octubre de 2002.

⁽³⁾ Diario Oficial de la Federación del 26 de septiembre del 2005.

Tabla 66. Estándares mexicanos de contaminantes criterio.

5.3.2. Normas de Estados Unidos y California.

La agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA – Environmental Protection Agency) regula los seis contaminantes criterio, estableciendo los tiempos de exposición y las concentraciones para la protección del ser humano (estándar primario) y el entorno (estándar secundario).

Contaminante	Tiempo promedio	Estándar de California	Estándar Federal	
			Primario	Secundario
Ozono (O ₃)	1 h ⁽⁷⁾	(0,09 ppm California – 180 µg/m ³)	0,12ppm	Igual
	8 h ⁽⁶⁾	(0,07 ppm California – 137 µg/m ³)	0,08 ppm (157µg/m ³)	igual
PM ₁₀	24 h ⁽³⁾	50 µg/m ³	150 µg/m ³	igual
	Media anual ⁽²⁾	20 µg/m ³	50 µg/m ³ ⁽²⁾	Igual
PM _{2,5}	24 h ⁽⁵⁾	35 µg/m ³	35 µg/m ³	Igual
	Media anual ⁽⁴⁾	12 µg/m ³	15 µg/m ³	Igual
Monóxido de carbono (CO)	8 h ⁽¹⁾	9 ppm (10 mg/m ³)	9 ppm (10 mg/m ³)	Ninguno
	1 h ⁽¹⁾	20 ppm (23 mg/m ³)	35 ppm (40 mg/m ³)	Ninguno
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Media anual	0,03 ppm (56 µg/m ³)	0,053 ppm (100 µg/m ³)	Igual
	1 h	0,18 ppm (338 µg/m ³)	-	Igual
Dióxido de sulfuro (SO ₂)	Media anual	-	0,03 ppm	-
	24 h ⁽¹⁾	0,04 ppm (105 µg/m ³)	0,14 ppm	-
	3 h ⁽¹⁾	-	No hay	0,5 ppm (1300 µg/m ³)
	1 h	0,25 ppm (665 µg/m ³)	No hay	-
Plomo (Pb)	Media mensual	1,5 µg/m ³	-	Igual
	Media trimestral	-	1,5 µg/m ³	-

⁽¹⁾ No debe exceder más de una vez por año.

- (2) Debido a falta de evidencia de problemas de salud ligadas a este límite de exposición de partículas gruesas, la agencia decidió revocar el estándar anual de PM_{10} en 2006 (efectivo a partir de diciembre, 2006).
- (3) No debe exceder más de una vez por año, en un periodo de 3 años.
- (4) Para cumplir este estándar, el promedio de 3 años de las concentraciones ponderadas anuales medias de $PM_{2.5}$ de uno o múltiples monitores orientados a la comunidad no deben exceder de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- (5) Para cumplir este estándar, el promedio de 3 años del percentil 98 de concentraciones de 24 h en cada monitor orientado a la población no debe exceder de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (efectivo desde diciembre, 2006).
- (6) Para cumplir este estándar, el promedio de 3 años, de los cuatro valores diarios más altos en promedios máximos de 8 h de las concentraciones de ozono medidos en cada monitor dentro de un área durante cada año no debe exceder 0,08 ppm.
- (7) En junio de 2005 la EPA revocó el estándar de 1h en todas las áreas, excepto en áreas designadas en: EarlyAction Compact (EAC) Areas.

Tabla 67. Límites de los contaminantes criterio establecidos por la EPA.

5.4. Conversión entre escalas de concentración de gas

Conversión de concentración de gas en % a gas en ppm

$$C_{ppm} = C_{\%} \cdot 10.000$$

Para pasar una concentración en % (tanto por ciento o partes por cien) a una concentración dada en ppm (partes por millón) solo hay que multiplicar la concentración dada en % por 10.000.

Conversión de concentración de gas en ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$$C_{\mu\text{g}/\text{m}^3} = n_{mol}(C) \cdot \text{peso molecular}(C)$$

$$n_{mol}(C) = C_{ppm} \cdot n_{mol}(\text{aire})$$

$$n_{mol}(\text{aire}) = \frac{PV}{RT}$$

$C_{\mu\text{g}/\text{m}^3}$ = concentración del contaminante en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$n_{mol}(C)$ = número de moles del contaminante.

peso molecular (C) = peso molecular del contaminante (es necesario conocer su fórmula).

C_{ppm} = concentración del contaminante en ppm.

$n_{mol}(\text{aire})$ = número de moles del 1 m^3 de aire.

P = presión en atmósferas

V = volumen en litros ($1 \text{ m}^3 = 1000\text{l}$)

R = constante de los gases. Valor = $0,082 \text{ l}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

T = temperatura en grados Kelvin. Valor = 298 K

Ecuaciones. Para cambiar de escala de concentración de gas

Para pasar una concentración de gas en ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es más complicado. Primero calculamos los moles que tenemos de aire en 1 m^3 gracias a la fórmula de los gases ideales. Tras multiplicar los moles de aire por la concentración en ppm obtendremos los moles del contaminante que queremos calcular. En este momento necesitamos conocer la fórmula química del contaminante y calcular su peso molecular. Multiplicando el peso molecular por los moles del contaminante obtendremos los $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.4. Tabla resumen de contaminación en ambientes exteriores

Tipo de contaminación	Características y elementos relacionados	Origen contaminante	Contaminante
Contaminantes procedentes del ambiente exterior	Ubicación del edificio	Combustión (calderas, tráfico) Actividad industrial próxima Terreno Vertederos, solares, escombros, cuencas fluviales, obras...	CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , partículas, metales NO _x , SO _x , COVs Radón, polvo Olores, polvo, insectos, roedores, bacterias
Contaminantes generados en el edificio	Uso y distribución del edificio: <ul style="list-style-type: none"> - Zonas reprografía - Restaurantes y cocinas - Zonas de aparcamiento - Aseos y vestuarios - Materiales de construcción y elementos decorativos Instalaciones del edificio: <ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones de acondicionamiento de aire - Instalaciones de agua - Gestión de residuos - Depósitos de combustibles - Almacenes, salas de usos especiales - Sistema de saneamiento 	Fotocopiadoras, impresoras láser Combustión Combustión Humedades, desagües Aislantes, conglomerados de madera, moquetas, barnices, pinturas	Ozono NO _x , olores, CO, partículas, Mohos, olores Amianto, radón, COVs, polvo, formaldehído, ácaros, creosota Legionela, olores, fibras, amianto, COVs, bacterias, hongos, artrópodos, roedores
Contaminantes generados por los ocupantes y	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupantes - Mantenimiento del 	Tabaco Operaciones de limpieza,	CO ₂ , humo de tabaco, amianto, polvo, plaguicidas,

sus actividades	edificio - Remodelación del edificio	desinfección, control de plagas, jardinería y plantas verdes, ambientadores...	productos químicos, hongos, ácaros, legionela, bacterias, artrópodos, roedores
Disconfort: factores físicos	- Instalaciones de acondicionamiento de aire - Sistema de calefacción - Equipos y aparatos	Sistema de aire acondicionado, ventilación y calefacción Equipos informáticos Pantallas de visualización Cableado eléctrico	Humedad relativa Temperatura Ruido Vibraciones Campos electromagnéticos

Tabla 68. Extracto del documento oficial: Calidad de aire interior en edificios de uso público. Madrid.