



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Análisis de calidad de aire en el interior de los C-Ddl del proyecto PSE - ARFRISOL

Autor: Oscar Seco Calvo

Institución: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y
Tecnológicas (CIEMAT)

e-mail: oscar.seco@ciemat.es

Otros Autores: Antonio garrido; José Antonio Ferrer; Maria del Rosario Heras
Celemín

RESUMEN

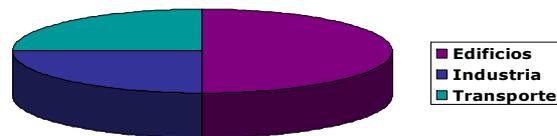
El proyecto singular y estratégico de arquitectura bioclimática y frío solar, PSE-ARFRISOL tiene como objetivo principal la reducción del 90% de energía convencional en el ámbito de la edificación y su uso final mediante la construcción de 5 edificaciones bioclimáticas en diferentes zonas climáticas de España. Para tal propósito, se potenciarán las EERR y se maximizará la eficiencia energética en el interior de las 5 edificaciones bioclimáticas con un correcto planteamiento que potencie el confort ambiental interior asegurando que la calidad del aire interior de las edificaciones reúna unas condiciones adecuadas de calidad sensitiva y salubridad no sensitiva. El problema de la calidad del aire interior no es un tema trivial: desde 1970 se ha experimentando un crecimiento en el número de compuestos y concentraciones presentes en el aire interior de oficinas y viviendas, con resultados perjudiciales para la salud como el síndrome del edificio enfermo. Este conjunto de patologías presentadas por individuos que habitan de forma frecuente estos edificios, que no sufren una lesión orgánica y que, generalmente, se diagnostican por exclusión, incluye irritación de ojos, sequedad, sensación de ahogo, picores generalizados, dolores de cabeza etc. Considerando que el porcentaje de tiempo de permanencia en el interior de viviendas o edificios de oficinas puede cuadruplicar el tiempo de permanencia en exteriores, es evidente la gran importancia que tiene la calidad del aire interior. Como objetivo específico de este trabajo de investigación, englobado en el Subproyecto SP-7 del proyecto global, 'Evaluación energética y análisis de la calidad del aire interior de los 5 contenedores – demostradores de investigación (C-DdI) desarrollados en el PSE – ARFRISOL', se monitoriza y analiza, en condiciones reales de uso, la calidad del aire interior de las edificaciones desarrolladas y de las condiciones de calidad sensitiva y salubridad no sensitiva para comprobar si son adecuadas. Para tal fin, se plantea el desarrollo de instrumentación y equipamiento para acometer y facilitar medidas cuantitativas fiables, en continuo, con sistemas de medida ágiles y correctamente validados, de manera que se abarate su costo y se aumente su rango inferior de aplicación. Las investigaciones realizadas se acometen por considerar que los sistemas de medida actuales están mayoritariamente enfocados a la higiene industrial, diseñados para determinar concentraciones elevadas con una alta especificidad en los tipos de contaminantes; estos métodos pueden aplicarse al aire interior si se consideran varios factores: ajuste a los niveles de concentración habituales en el aire interior, aumento de sensibilidad sin reducir la precisión (por ejemplo, aumentando el volumen del aire ensayado) y validación de su especificidad.

1 INTRODUCCION.

1.1 Arquitectura bioclimática.

El acelerado desarrollo industrial y el empleo masivo de energía convencional de las últimas décadas, está produciendo un agotamiento de los recursos naturales de los que dispone el planeta, con un preocupante impacto ambiental, significativos incrementos de los contaminantes más habituales en la atmósfera e incorporación de nuevas sustancias derivadas de recientes procesos industriales. El cuidado de las condiciones ambientales y la reducción del consumo de energía en el conjunto de la sociedad son, cada día más, de interés estratégico a nivel nacional, con implicaciones sociales y económicas.

Una parte importante de este consumo energético está encuadrado en el sector de la edificación y su uso final: 40% del consumo de energía convencional es producto del servicio habitual de los edificios en el conjunto de la Unión Europea, siendo algo menor en España, con un 33%.



Gráfica I: consumo energético medio en Europa.

El problema de la contaminación y empeoramiento de la calidad del aire también se presenta en el sector de uso final de edificaciones: desde 1970 se ha experimentando un crecimiento en el número de compuestos y concentraciones presentes en el aire interior de oficinas y viviendas, con resultados perjudiciales para la salud; claro ejemplo es el síndrome del edificio enfermo. Este deterioro se debe principalmente a la incorporación de nuevos materiales y al uso de nuevas técnicas de ventilación que reducen la circulación y renovación del aire interior, para minimizar la factura energética.

La arquitectura bioclimática nace como una nueva filosofía constructiva que trata de dar respuesta a estas nuevas exigencias, replanteando las técnicas constructivas actuales; interpretada y propuesta como un hábito de racionalidad ante este panorama, se plantean, por la importancia de sus efectos, tres grandes bloques para su análisis:

- **ASPECTOS ENERGÉTICOS:** vinculados a los consumos de materias primas y de racionalidad económica/ecológica.
- **CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR:** condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire, etc.
- **CONTAMINACIÓN Y MEDIO AMBIENTE:** vinculados a las sustancias desprendidas al exterior, el impacto del asentamiento y el desarrollo sostenible.

El correcto desarrollo de estos bloques permite maximizar la eficiencia energética, reduciendo el consumo y el impacto ambiental, con un adecuado planteamiento que potencie el confort ambiental interior, asegurando que la calidad del aire interior de las edificaciones reúna unas condiciones adecuadas de calidad sensitiva y salubridad no sensitiva.

En esta línea se plantea el Proyecto Singular y Estratégico PSE-Arfrisol (Proyecto Singular Estratégico – ARquitectura bioclimática y FRÍo SOLar), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y coordinado por el CIEMAT. El objetivo del proyecto pasa por materializar dicho ahorro energético desde la construcción de cinco contenedores-demostradores de investigación (CD-di), desarrollados en diferentes zonas de la península ibérica, con cinco climas diferentes: mediterráneo, semi-desértico, continental, continental extremo y atlántico. Estas edificaciones bioclimáticas sostenibles son capaces de ahorrar de un 80 a un 90% de energía convencional, sin que ello suponga un detrimento de las condiciones de confort ambiental.

El PSE-Arfrisol se completa con los subproyectos dedicados a la monitorización, análisis y desarrollo de mejoras de las condiciones de funcionamiento de los CD-di, haciendo uso de los distintos parámetros que definen la eficiencia y el comportamiento energético de las edificaciones, los factores humanos sociales de los usuarios y la salubridad de éstos. Este tipo de estudios analíticos, en condiciones reales de uso, que se realizan desde diversos grupos de investigación del Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales (CIEMAT) desde hace más de 20 años, son de especial relevancia para comprender y mejorar estas nuevas técnicas arquitectónicas.

Como objetivo específico del presente trabajo de investigación, englobado en el proyecto global dentro del subproyecto “SP-7, Evaluación energética y análisis de la calidad del aire interior de los 5 contenedores – demostradores de investigación (CD-di) desarrollados en el PSE – ARFRISOL”, se desarrolla el estudio del segundo bloque, con un profundo análisis de la calidad del ambiente interior de las edificaciones y de las condiciones de calidad sensitiva y salubridad no sensitiva.

El presente estudio entronca con el ya comentado empeoramiento del confort ambiental en el interior de edificaciones, de significativa importancia si tenemos en cuenta que permanecemos la mayor parte de nuestro tiempo en el interior de nuestras casas y oficinas; así, es primordial asegurar un confort ambiental interior óptimo, con adecuadas condiciones de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire, para evitar problemas de salud asociados como el síndrome del edificio enfermo.

La percepción social de la contaminación ambiental exterior está ampliamente extendida, existiendo una clara demanda de reducción de emisiones con el fin de evitar “daños a la salud y el entorno”. Sin embargo, la calidad del aire interior se ha situado en un segundo plano. El distinto interés e importancia que se ha prestado a ambos problemas de contaminación ha traído consigo un desarrollo desigual en los instrumentos de análisis, enfocados principalmente al cumplimiento de normativa e higiene industrial.

Debido a este tratamiento desigual, es necesario desarrollar nuevos sistemas de análisis, así como la instrumentación y equipamientos necesarios para evaluar en profundidad el confort ambiental. El objetivo final de este trabajo es obtener técnicas que faciliten medidas cuantitativas fiables, en continuo, con sistemas de medida ágiles y correctamente validados.

2 CUANTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.

2.1 Aire interior y arquitectura convencional. Síndrome del edificio enfermo.

Los cambios que se han producido desde 1970 en las técnicas constructivas, encaminados a reducir los altos consumos energéticos y económicos asociados a la construcción, han llevado a una economía del espacio, apostando por un crecimiento en altura, incorporación de nuevos materiales, sistemas de extracción y climatización centralizados y accionados mecánicamente en sustitución de los sistemas de extracción y ventilación natural tradicionales [1].

Con motivo de estos cambios en las técnicas constructivas, se ha detectado una mayor incidencia de patologías presentados por individuos que habitan de forma frecuente estos edificios, que no sufren una lesión orgánica y que, generalmente, se diagnostican por exclusión: la sintomatología debe estar siempre en relación temporal positiva con el edificio considerado como problema y desaparecer o mejorar sustancialmente al alejarse

del mismo, como pueden ser periodos de vacaciones. Cuando al menos un 20% de la población de ese edificio manifiesta un cuadro similar - irritación de ojos, sequedad, sensación de ahogo, picores generalizados, dolores de cabeza - se habla del “Síndrome del edificio enfermo” [2].

Diversos estudios han demostrado la relación existente entre la baja calidad del aire interior, debido a la presencia de contaminantes químicos y partículas, y la aparición del conjunto de estas molestias físicas presentadas por los usuarios. Como se recoge en trabajos previos realizados en el PSE-Arfrisol, especialmente importante es la concentración de monóxido y dióxido de carbono, los formaldehídos, emitidos por resinas sintéticas y diversos materiales, y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), siendo estos últimos prioritarios para el presente estudio por la influencia que presentan sobre la calidad del aire interior de edificaciones.

Considerando que el porcentaje de tiempo de permanencia en el interior de viviendas o edificios de oficinas puede cuadruplicar el tiempo de permanencia en exteriores, es evidente la gran importancia que tiene la calidad del aire interior: Un estudio realizado en 1995 en los Estados Unidos indica que el ciudadano medio consume un 88% de su tiempo en el interior de edificios más un 7% en su automóvil [3].

La arquitectura bioclimática pretende revertir esta tendencia perjudicial para el confort interior desde un punto de vista de calidad ambiental química. Para ello, se hace uso de las siguientes premisas:

- Frecuencia de renovaciones de aire interior de manera que se incremente la concentración de aire fresco en el interior y se reduzca la concentración de contaminantes.
- Empleo de materiales de acabado sanos, de manera que no emitan sustancias o cuerpos molestos perjudiciales para la salud.
- Temperatura, movimiento del aire y humedad interior adecuados.
- Sistema de distribución de energía adecuado, con un gradiente térmico óptimo.

2.2 Problemas de los contaminantes para nuestro confort.

La baja tasa de renovaciones de aire interior de los actuales edificios, en muchos casos del orden de 0,2 o 0,3 intercambios por hora [4], hace común encontrar concentraciones en algunos casos mayores que las existentes en aire exterior [5]: el aire interior incorpora contaminantes generados por los materiales de construcción y por las actividades que tienen lugar en el interior del edificio.



Gráfica II: Contaminación interior.

En un interesante artículo, Baek y col. [6] monitorizan en invierno y verano: partículas, monóxido y dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y un rango de compuestos orgánicos volátiles (COVs), además de algunos parámetros relacionados con el humo del tabaco, en seis emplazamientos distintos tanto en domicilios particulares como oficinas y restaurantes. Los resultados de este estudio confirman la clara relación entre contaminación exterior e interior, el aumento de concentraciones de COVs como el benceno durante los meses de verano, la influencia que presentaban las actividades culinarias y el uso de las calefacciones, así como el incremento que en un rango entre el 10-20% de la materia particulada genera el humo del tabaco (datos de 1997). Una síntesis de los datos obtenidos se representa en la tabla I.

Cabe resaltar la relación aire interior/externo (I/E) con valores por encima de 1, que informa de la significación que las concentraciones alcanzan en ambientes interiores. También es importante resaltar el papel que los COVs juegan en la contaminación atmosférica interior: los efectos de la acumulación de COVs en la atmósfera no son sólo los asociados a altas concentraciones, con riesgo carcinógeno, mutagénico y teratogénico, sino que también se ha asociado, a menores concentraciones, con la irritación de ojos y vías respiratorias, por lo que es importante analizar su presencia en interiores debido a la influencia negativa que tienen para el confort ambiental.

Parámetros	Aire interior		Aire exterior		Relación I/E Casas	Relación I/E Oficinas	Relación I/E Restaurante
	Mediana Casas	Rango Casas	Mediana casas	Rango Casas			
Partículas	91	12-244	68	12-271	1,3	1,3	2,4
CO (ppm)	1,8	0,1-6,2	1,6	0,2-7,0	1,1	1,0	2,0
CO ₂ (ppm)	685	369-3634	494	357-2881	1,4	1,8	2,0
NO ₂ (ppb)	24	9- 96	29	12-67	0,8	0,7	1,4
Benceno	7,9	0,1-27,2	6,9	0,1-47,2	1,1	1,6	0,9
Tolueno	31,0	0,6-202,4	27,4	0,1-222,1	1,1	2,4	1,4
Etilbenceno	4,0	0,6-17,0	3,9	0,1-23,1	1,0	1,7	1,5
<i>m+p</i> -Xileno	11,6	2,0-57,4	10,6	0,8-59,9	1,1	1,7	1,4
Estireno	3,7	0,6-8,3	3,3	0,3-15,6	1,1	1,3	1,2
<i>o</i> -Xileno	7,0	1,3-29,1	5,5	0,7-36,7	1,3	1,7	1,4
1,3,5- TMB	3,1	0,3-25,0	2,5	0,1-59,4	1,2	0,9	1,4
1,2,4-TMB	6,8	1,0-71,4	5,8	0,1-108	1,2	1,3	1,3
Nicotina	0,6	0,3-9,5	0,3	0,3-0,7	2,0	3,7	10,0
UVPM	13,2	3,3-146	6,4	1,6-42,0	2,1	1,5	6,6
FPM	6,0	0,6-77,9	3,4	0,1-15,7	1,8	2,0	6,4
SoIPM	1,0	1,0-131	1,0	1,0-12,2	1,0	3,0	15,2

TMB =Trimetilbenceno; **UVPM** = Absorción ultravioleta de la materia particulada;

FPM =Materia particulada fluorescente; **SoIPM** =Solanesol-materia particulada;

Tabla I. Sumario para concentraciones en mg m⁻³ de contaminantes en aire interior y exterior obtenidas para casas particulares, oficinas y restaurantes (1997). Se indica también la relación aire interior/exterior para los 3 tipos de espacios [6].

Los valores guía [7] propuestos para COVs totales en aire interior se representan en la tabla II. La concentración de un compuesto individual no deberá superar el 50% de la concentración asignada a su clase, de manera que la suma de las concentraciones de todos los compuestos de una misma clase sea igual o mayor que el doble de la concentración de cualquiera de éstos de manera individual. Por otra parte, la concentración de un compuesto individual no deberá superar el 10% de la suma de todas las concentraciones de los compuestos del tipo COVS.

El análisis de la presencia de contaminantes de manera fiable, hace necesaria la elección de un método adecuado de análisis. Con este cometido se lleva a cabo una comparativa entre los principales métodos disponibles, existiendo un elevado número de técnicas de medida de COVS; teniendo en cuenta el número también elevado de especies de COVS existentes, la elección y realización de muestreo y análisis de COVS no es un tema trivial.

COVs agrupados por familia	Concentración en g/m ³
Alcanos	100
Hidrocarburos aromáticos	50
Terpenos	30
Halocarbonos	30
Ésteres	20
Aldehídos y cetonas (exc. Formaldehído)	20
Otros	50
Valor guía TCOVs (Suma de COVs)	300

Tabla II. Valores guía propuestos para COVTs en aire interior [7].

Para seleccionar la metodología de análisis a utilizar en este trabajo, se lleva a cabo un minucioso estudio de los distintos métodos analíticos que se han utilizado en trabajos similares, la legislatura vigente y los COVs más comunes que otros investigadores han referenciado. Los aspectos más significativos de los trabajos más relevantes han sido determinantes para este estudio. A continuación se incluye un sucinto resumen de las técnicas revisadas, detallando los sistemas considerados como metodología de análisis para el presente estudio.

2.3 Sistemas de medida.

Las técnicas tradicionales de medida de COVS constan generalmente de unidad de muestreo, unidad de tratamiento y transferencia de los COVS, y unidad de cromatografía para el análisis, si bien en los últimos tiempos están proliferando aquellos sistemas de análisis automático.

Técnicas de análisis	Cromatografía	Muestreo sobre soporte seguido de análisis en laboratorio	Soporte líquido	Cromosorb Tenax
		Muestreo continuo	Soporte sólido	
	PID	Tubos colorimétricos Sensores de óxido-metal		

Tabla III: Principales técnicas de análisis.

2.3.1 Sistemas de muestreo sobre soporte físico.

Según el sistema de muestreo que lleven a cabo, se clasifican en muestreadores pasivos, aquellos que colectan las moléculas de COVS por simple difusión, sin involucrar ningún tipo de bombeo, y muestreadores activos, cuando el gas muestra se hace circular por bombeo a través del soporte de muestreo.

Los soportes pueden ser por adsorción en sólido, con compuestos carbonáceos-carbón activo, adsorbentes inorgánicos (sílice), polímeros o compuestos químicos (tenax), o por absorción en líquido, donde se hace pasar el gas muestra a través de la solución soporte, con técnicas como el borboteo, de manera que queda el gas muestra absorbido en la solución sólida. En los métodos de muestreo sobre soporte físico, es necesario tratar la muestra recogida antes de iniciar el proceso de análisis propiamente dicho. Según el método de muestreo empleado, la extracción puede ser hecha con solvente o por extracción térmica, también conocida como termodesorción, siendo mucho más utilizada esta última por ser más práctica, rápida y no necesitar solvente (producto tóxico para el ambiente).

Los sistemas de medida de muestreo sobre soporte, ya sea sólido o líquido, y posterior análisis en laboratorio, generalmente por cromatografía de gases/espectroscopia de masas, son técnicas baratas, sobradamente contrastadas, y que han dado muy buenos resultados analíticos, siendo usadas como principal medio de análisis durante años. Sin embargo, esta técnica tiene sus límites:

- Respuesta lenta, ya que es necesario analizar en laboratorio las muestras obtenidas.
- Alta especificidad de los muestreadores, de manera que la retención de un número elevado de compuestos no es posible.
- Resultados independientes del tiempo: esta técnica de muestreo no registra la posible existencia de picos en las concentraciones, responde lentamente a cambios en la concentración mostrando concentraciones medias en el tiempo.
- Uso de bajos volúmenes de muestreo, por lo que aparecen errores.
- Rápida saturación del adsorbente, según composición de los componentes del gas.

2.3.2 Sistemas de separación.

A partir del esquema sobre las distintas técnicas de detección que existen para el análisis de gases, se observa que algunos sistemas de medida incluyen un paso previo de separación de gases, dado la alta selectividad que exigen las medidas. El procedimiento de separación de gases más usado en la actualidad es la cromatografía: una vez capturadas la muestra sobre algún tipo de soporte se procede a la recuperación del contaminante y su posterior separación por cromatografía de gases seguida de alguna técnica de detección.

Las muestras también pueden ser analizadas en continuo y, por lo tanto, “in situ”, con el uso de técnicas de detección portátiles, por ejemplo, de un cromatógrafo de gas/espectrómetro de masas portátil. De esta manera no sería necesario realizar un muestreo mediante soportes, ya sean adsorbente o absorbentes, ni el posterior análisis en el laboratorio.

2.3.3 Sistemas de análisis. Comparativa.

SISTEMAS DE ANÁLISIS			
Tipo de técnica	Características	Ventajas	Inconvenientes
Tubos colorimétricos	Vial de cristal con reactivo químico en el interior, reacciona ante la presencia de otra sustancia química o familia de productos químicos.	Alta selectividad, muy útil cuando se desea analizar un gas en concreto.	Lectura subjetiva y tiempos de respuesta muy largos. Su alta especificidad invalida la técnica en análisis de amplia gama de compuestos. No miden en continuo.
Sensores óxido-metal	Fina lámina de semiconductor de óxido metálico, cambios en la conductancia en presencia de ciertos compuestos.	Buena sensibilidad. Analizan una amplia gama de compuestos.	Operación a temperaturas elevadas (100-600 °C). Precio elevado. Baja precisión.
Espectroscopia de masas	Previa ionización de especies atómicas y moleculares presentes en el gas muestra, separación en función de su relación masa/carga.	Técnica fiable y ampliamente utilizada. Alta sensibilidad y capacidad de analizar una amplia gama de compuestos.	Necesidad de un sistema de muestreo para capturar el gas. Lentos tiempos de respuesta.
PID	Ionización de gas muestra a través de una fuente de luz UV, aplicación de corriente eléctrica cuantificable proporcional a la concentración de compuestos presentes.	Facilidad de uso. Alta sensibilidad y precisión.	Técnica menos utilizada y contrastada en calidad de aire interior. Elevado precio.
FID	Ionización de llama a través de un quemador de H ₂ / O ₂ , que piroliza los COVs. Detección a partir de los iones y electrones generados.	Versatilidad.	Necesidad de usar y transportar botellas de H ₂ para análisis. Elevado precio.

Tabla IV: Comparativa de sistemas de análisis.

Una vez revisados el estado del arte y las principales metodologías de análisis y medida de contaminantes aéreos, es necesario referenciar el caso concreto del PSE-Arfrisol: COVs más comunes que se espera encontrar en los Contenedores demostradores de Investigación, niveles de concentración, zonas geográficas, influencia del emplazamiento objeto de estudio, así como las necesidades específicas del proyecto para elegir la técnica más adecuada.

En un primer acercamiento experimental a las técnicas de análisis se selecciona, como la más adecuada a los intereses del presente estudio, el muestreo sobre soporte seguido de análisis en laboratorio por GC / MS, técnica ampliamente validada y utilizada en diferentes campos.

2.4 Muestreo sobre soporte seguido de análisis en laboratorio por GC-MS.

El conocimiento y el trabajo experimental llevado a cabo con esta técnica constituyen el soporte y base del análisis cuantitativo de calidad de aire interior del PSE-Arfrisol y del desarrollo de los sistemas de análisis usados actualmente en el proyecto.

Ente la bibliografía considerada para justificar la experimentación realizada, destacar el estudio “CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN LOS CENTROS DE EDUCACIÓN INFANTIL DELPAÍS VASCO” [8], donde, según la metodología especificada en el EPA TO-2, se lleva a cabo la monitorización de 62 COVs en el aire urbano del País Vasco: compuestos no polares identificados (C2- C10), parafinas, oleofinas, aromáticos y compuestos clorados, que representan un 88% de la masa total de los hidrocarburos presentes en el ambiente urbano, siempre según el citado estudio.

Los datos de composición son obtenidos mediante un cromatógrafo de gases automático; la evaluación de la linealidad, precisión, límites de detección y estabilidad de los tiempos de retención indican que el equipo empleado resulta adecuado para la medición automática del aire ambiental durante periodos prolongados (seis meses). Los resultados logrados con este equipo presentan una correlación significativa con los obtenidos mediante el empleo de otras técnicas, ampliamente usadas en la determinación de COVs en aire ambiental:

1. GS automático.
2. GC portátil, equipado con un detector de fotoionización (PID).
3. Adsorción activa sobre Tenax-TA, seguida de una desorción térmica y análisis cromatográfico (ATD / GC-MS).

Teniendo este estudio presente, se determina que los resultados obtenidos en las tres técnicas son igualmente válidos, seleccionándose el método de adsorción activa como el más conveniente para los objetivos del estudio, con separación por desorción térmica y análisis cromatográfico. Además de ser un método de eficacia y exactitud de análisis contrastado, permite cambiar el tipo de adsorbente en función de las necesidades del momento.

2.4.1 Estrategia de muestreo.

Se estudian los contaminantes más frecuentes que se pueden encontrar en los entornos sujetos a estudio y, a partir de aquí, cómo se puede identificar y posteriormente cuantificar estos COVs. En este caso se incluyen referencias realizadas por otra gran variedad de estudios de manera que se cubra una mayor gama de compuestos.

Paralelamente, se evalúan las necesidades y requerimientos del proyecto, los emplazamientos objeto de análisis (climatología, tipo de edificio, tipología arquitectónica y diseño del CD-dl), logística disponible, viabilidad y comodidad para la toma de muestras, de manera que se pueda proponer una adecuada estrategia de muestreo.

La elección del adsorbente – soporte físico donde se retienen los contaminantes - es ciertamente importante, pudiendo ser de diferentes tipos; conociendo los Compuestos Volátiles Orgánicos (COVs) más frecuentes en el interior de edificios y basándose en la experiencia de la Unidad en este campo, se seleccionan dos tipos de adsorbente, “Cromosorb” y “Tenax”. Los tubos contenedores del adsorbente llevan acoplada una bomba de vacío de bajo caudal, para poder tomar la muestra “in situ” de forma cómoda.

Adsorbente	Tamaño de malla	Area superficial (m ² /g)	Densidad (g/ml)	Temp.Máx. (°C)	Aplicación
Carbones grafitados					
Carbotrap	20/40	100	0.36	400	C ₅ -C ₁₂
Carbotrap C	20/40	10	0.72	400	C ₁₂ -C ₂₀
Carbón tamiz molecular					
Carbosieve S-III	60/80	820	0.61	400	C ₂ -C ₅
Polimeros porosos					
Tenax TA	60/80	35	0.25	350	C ₅ -C ₂₆

Tabla V: Características de los adsorbentes principales.

Una vez fijadas las muestras de aire en los soportes Tenax y Cromosorb, son trasladadas al laboratorio para realizar, mediante un equipo de Desorción Térmica Programada (ATD-400 de Perkin Elmer) la extracción de los gases concentrados, mediante unos cambios de temperatura programables (de -30° C a 300° C) y, tras la extracción, su inyección automática en el detector de masas acoplado para su inmediato análisis. Este sistema acoplado se trata de un cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (HP5890 / 5971), que utiliza una columna de Agilent Technologies 122-5532 DB-5MS CATno 5860 de 30 m de largo x 0,25 mm x 0,25 µm.

Tras revisión de documentación, se decide emplear, como alternativa para la monitorización de estos hidrocarburos, la cromatografía de gases multidimensional. Esta técnica combina dos columnas, ofreciendo simultáneamente una resolución adecuada para cada componente de interés, en un corto periodo de análisis. La técnica se basa en "time commanded connection", seguida de diferentes columnas analíticas con capacidades de separación complementarias. La resolución obtenida será siempre mejor que empleando una única columna y sin necesidad de aumentar el tiempo de análisis. Entre las múltiples aplicaciones llevadas a cabo con esta técnica, una de ellas consistió en la monitorización de NMHC en aire urbano.

2.4.2 Resultados obtenidos.

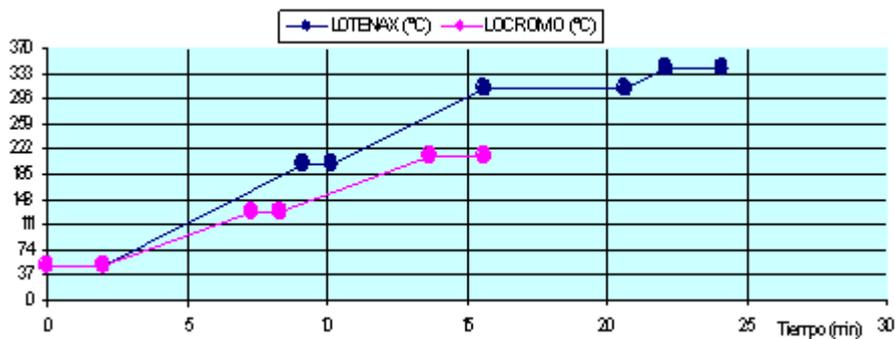
Como principales puntos a discutir, se pretende discernir sobre qué tipo de adsorbente es mejor para cada caso concreto y obtener una lista de los principales contaminantes, para lo que se realizan análisis en cada contenedor demostrador de investigación.

Las diferencias básicas entre los dos tipos de adsorbentes utilizados hasta el momento, son las temperaturas más elevadas soportadas por el adsorbente **Tenax** (óxido de 2,6 difenil-p-fenileno), mientras que el adsorbente **Cromosorb** (basado en carbón activado) libera de manera más eficaz los compuestos retenidos, dando así un cromatograma más

claro. A continuación se observan las condiciones de programación del equipo de desorción, que son las mismas para ambos casos, y gráfica comparativa de los parámetros utilizados en este estudio, en el que sí se puede observar la agresividad del método LOTENAX.

método	01 SEGURO (C)	inyecciones	1	In split	No
vial inicial		rapidez de trampa	Sí	Out split	Sí
vial final		tiempo de ciclo	0	Recirculación	No
T horno	210	T baja en trampa	-26	T línea	210
T de desorción	5 min	T alta en trampa	210	psi mín	7
T válvula	210	Tiempo en la trampa	0,5	Inyección estándar	0

Tabla VI: Parámetros utilizados en el estudio.



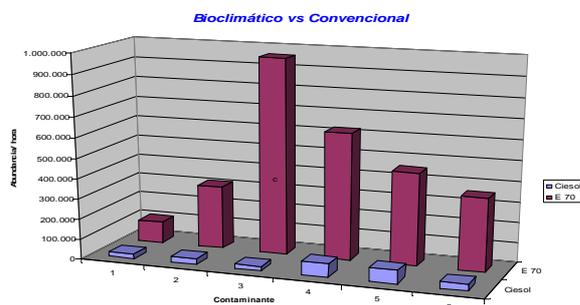
Gráfica III: Comparativa entre sistemas de muestreo.

Se observa a partir de la gráfica las diferencias significativas entre los dos tipos distintos de adsorbentes; la tabla siguiente muestra los resultados que se obtuvieron haciendo uso de ambas técnicas de manera complementaria.

muestra	Dichloromethane		Hexane		Toluene		1, 2-dimethyl-benzene 1, 3-dimethyl-benzene 1, 4-dimethyl-benzene Ethyl-benzene		Methylene Chloride		Benzaldehyde	
01C	10.000.000	1.225.791	2.000.000	245.158	3.000.000	367.737	20.000	2.452		0		0
02C		0		0		0	200.000	24.203	13.200.000	1.597.386		0
03C		0		0		0	920.000	158.959		0		0
04C	320.000	55.523		0		0		0		0		0
05C	420.000	18.481		0	100.000	4.400		0		0		0
06C		0		0		0		0	80.000	3.249		0
07C		0		0		0		0		0		0
08C	500.000	57.128	620.000	70.838		0	210.000	23.994		0		0
09C		0		0		0		0		0		0
10C	25.000.000	5.555.555.556		0		0		0		0		0
11T	790.000	136.584	2.900.000	501.383	2.800.000	484.094	7.810.000	1.350.277		0	600.000	103.734
12T		0		0		0	32.000.000	3.494.849		0	2.000.000	218.428
13T	1.800.000	115.014	4.000.000	255.586	4.000.000	255.586	3.900.000	249.196		0	2.400.000	153.351
14T		0		0	10.000.000	559.044	59.200.000	3.309.543		0	4.000.000	223.618
15T		0		0		0		0		0		0
16T	400.000	22.419	500.000	28.023	400.000	22.419	1.200.000	67.256		0	600.000	33.628
17T	900.000	108.035	2.600.000	312.100	8.000.000	960.307	5.200.000	624.200		0	3.000.000	360.115
18T		0	2.250.000	270.878	4.900.000	589.911	550.000	66.215	700.000	84.273	600.000	72.234
19T		0		0	9.000.000	580.776	54.000.000	3.484.658		0		0
20T	450.000	28.835	1.950.000	124.953		0	2.050.000	131.361		0		0
Cex1		0		0	310.000	57.080		0		0		0
Cex2		0		0		0		0		0		0
Cex3		0		0		0		0		0		0
Tex1		0	2.120.000	404.182		0	3.320.000	632.964	720.000	137.269		0
	abundancia	abundancia / horas	abundancia	abundancia / horas	abundancia	abundancia / horas	abundancia	abundancia / horas	abundancia	abundancia / horas	abundancia	abundancia / horas

Tabla VI: Resultados obtenidos.

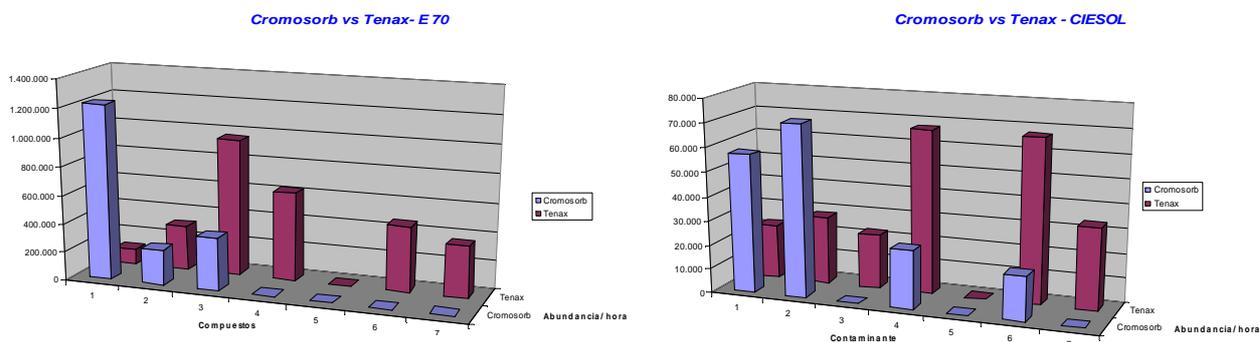
En la gráfica que se muestra a continuación se observa la menor abundancia/horas de contaminantes encontrada en el CD-dl CIESOL (situado en Almería), edificación realizada según técnicas bioclimáticas, frente a un edificio convencional conocido como ED-70 (situado en Madrid). Es necesario evaluar la importancia del emplazamiento, dado que el aire ambiente de Madrid tiene mayores concentraciones de contaminantes que el ambiente de Almería; tras tener en cuenta la diferencia de ambientes circundantes, los resultados obtenidos indican una menor concentración de contaminantes en los CD-dl, lo que se traduce en una influencia positivamente beneficiosa de la arquitectura bioclimática en la calidad del aire.



LEYENDA

1- Dichloromethane; 2-Hexane; 3-Toluene; 4- 1,2-dimethyl-benzene; 5-Methylene Chloride; 6-Acetic Acid; 7-Benzaldehyde.

Gráfica IV: Comparativa de contaminantes presentes en un edificio bioclimático (en azul, el CIESOL) vs. Edificio convencional (en granate, el ED70).



En la siguiente gráfica se observa la complementariedad de ambas técnicas.

LEYENDA

1- Dichloromethane; 2-Hexane; 3-Toluene; 4- 1,2-dimethyl-benzene; 5-Methylene Chloride; 6-Acetic Acid; 7-Benzaldehyde .

Gráfica V: Influencia del adsorbente empleado en la retención de contaminantes (ED70 y CIESOL).

Una vez identificados los COVs que se pueden encontrar mayoritariamente en los CD-dl, parece evidente que hay una amplia gama de compuestos, con múltiples especies y niveles de concentración bajos, que están presentes de forma general como “contaminantes comunes” o COVs más frecuentes.

Al hacer la comparativa de Cromosorb y Tenax, podemos deducir que cada adsorbente es más apropiado en función del contaminante objeto de estudio, siendo, de manera general, más agresivo el Tenax para arrastrar las cadenas policarbonadas que el de carbono activado.

2.5 Nuevas técnicas de análisis.

Gracias a la metodología descrita, se obtienen valores relativos de contaminantes en el interior de los edificios, equivalentes de unos análisis a otros, de manera que se puede comparar los edificios de referencia y conocer si la presencia de contaminante es mayor en uno o en otro.

El sistema de muestreo sobre soporte físico seguido de análisis en laboratorio por ADT / GC-MS presenta una serie de desventajas para los análisis previstos: el mayor inconveniente encontrado es su escasa utilidad al nivel de las concentraciones encontradas en el interior de las edificaciones, siendo necesario hacer circular una gran cantidad de aire por el adsorbente para disponer de una concentración capaz de ser analizada, desvirtuándose las medidas. Además, estas medidas tienen que ser analizadas en laboratorio, y no responden o informan ante cambios instantáneos en la concentración circundante, lo cual dificulta la realización del tipo de análisis deseados en este trabajo de investigación.

La cromatografía de gases y espectrometría de masa (GC-MS) puede ser realizada “in situ” por equipos portátiles, siendo realmente útil sólo para concentraciones en aire superiores o iguales a su límite de detección; de no ser así, será necesario concentrar la muestra previamente a su análisis, en perjuicio de la obtención de datos de manera instantánea, por lo que también se descarta.

De la misma manera que los sistemas GC-MS fijos o portátiles, los actuales sistemas de medida están mayoritariamente enfocados a la higiene industrial, diseñados para medir concentraciones elevadas con una alta especificidad en los tipos de contaminantes; por lo tanto, presentan una utilidad reducida en el presente estudio de análisis de calidad de aire en el interior de edificaciones bioclimáticas, donde los niveles de concentración manejados son significativamente inferiores que los valores de concentración encontrados en ambientes industriales.

Por estos motivos, en el segundo bloque de trabajo del presente estudio se pretende desarrollar sistemas adecuados para los análisis de caracterización y muestreo de contaminantes a la concentración existente en el interior de los CD-dl Arfrisol, de manera que se proponga una metodología propia de medida que facilite un control

cuantitativo de contaminantes fiable, que actúe de manera flexible, autónoma y rápida, con técnicas correctamente validadas y fácilmente reproducibles

A partir de la experiencia recogida anteriormente con los sistemas ATD-GC-MS, se propone el uso de técnicas y metodologías de innovadora aplicación en análisis de confort ambiental: análisis de infrarrojos por transformada de Fourier, y análisis por fotoionización (PID). Estos sistemas de medida se complementan con técnicas de contadores de partículas e IAQ, ya usadas previamente en análisis de calidad de aire interior.

El desarrollo de prototipos y metodologías de análisis adecuados para los sistemas de medida propuestos se realiza a partir de equipos ya existentes basados en las técnicas citadas. El trabajo de adaptación se lleva a cabo en conjunto con los fabricantes de dichos equipos y el cuerpo técnico de I+D relacionado, de manera que se obtengan respuestas adecuadas a las necesidades descritas, dotando al proyecto PSE-Arfrisol de un equipado laboratorio enfocado a la evaluación cuantitativa de las condiciones de confort ambiental en las edificaciones CD-dl desarrolladas.

Los sistemas de medida planteados tienen la ventaja de medir “in situ” y en continuo, con límites de detección al nivel de 1-0,5 ppm, de manera mucho más ágil y flexible que los usados hasta ahora. Los trabajos que se desarrollan actualmente tienen como objetivo la validación de los equipos desarrollados, de manera que se pueda asegurar que las medidas cuantitativas obtenidas son reproducibles y fiables.

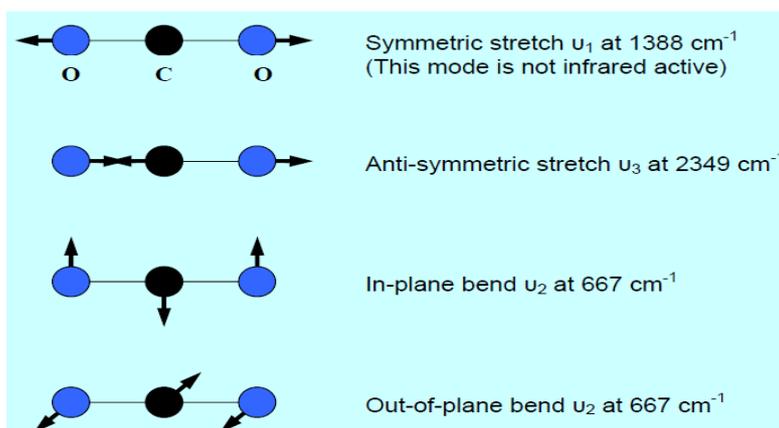
2.5.1 Analizador por espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR).

La técnica FTIR hace uso de la espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier para la identificación de gases, siendo una técnica muy adecuada para aplicaciones en las que un gran número de compuestos han de ser analizados. Esta técnica ha sido muy utilizada en aplicaciones de sala blanca y en control de ambientes en cirugía, donde el mantenimiento de las concentraciones de determinados componentes por debajo de un límite es vital para el correcto desarrollo de las operaciones.

Las medidas por FTIR implican la emisión de una radiación electromagnética en frecuencia de infrarrojos, que atraviesa el gas muestra. La radiación emitida es modulada ópticamente mediante un interferómetro, gracias a lo cual se consigue un amplio rango de frecuencias y, por tanto, de longitudes de onda, pudiéndose irradiar las

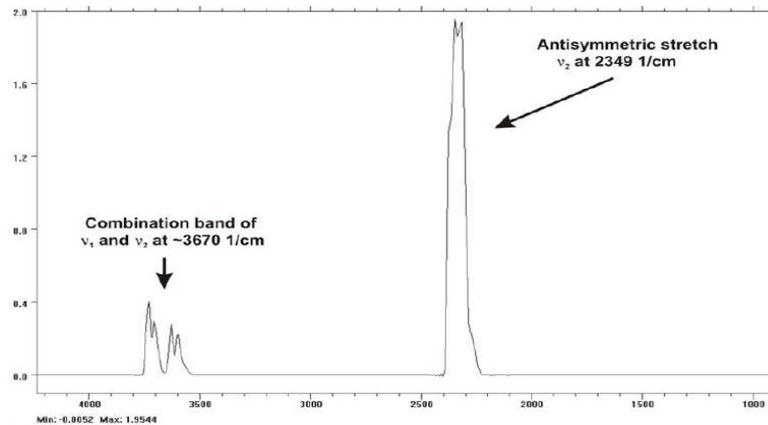
moléculas de gas presentes en la muestra. Esto permite conseguir una multitud de espectros en el infrarrojo que son recogidos a altas velocidades.

En este sistema de análisis se hace uso de los movimiento de rotación y vibración que tienen todas las moléculas en fase gas, como se observa en el gráfica VI: estos movimientos moleculares, que tienen lugar a unas frecuencias características, están asociados a un estado energético específico; al ser radiadas electromagnéticamente, las moléculas absorben parte de esta radiación, produciéndose una excitación energética y un salto a un estado energético superior, con la consiguiente frecuencia de vibración específica asociada a ese estado energético. Cada molécula absorbe radiación infrarroja a unas longitudes de onda características, únicas e identificativas, de manera que si se compara el espectro obtenido con espectros de referencia, se puede identificar los compuestos en función de la longitud de onda donde aparezcan los picos y la forma de éstos.



Gráfica VI: Vibración característica de una molécula de CO₂.

El espectro de absorbancia no sólo muestra gráficamente las sustancias que están presentes (análisis cualitativo), sino también, a través de cálculos fácilmente realizados a partir de la ley de Beer y de conceptos como absorbancia y transmitancia, las concentraciones de estas sustancias presentes al ser proporcionales a la cantidad de radiación absorbida (análisis cuantitativo).



Grafica VII: Espectro IR del CO₂.

A partir de la técnica de análisis FTIR se desarrolla un dispositivo - prototipo de medida adecuado a los objetivos del proyecto: un láser SiC emite radiación electromagnética, frecuencia de infrarrojos, que es modulada ópticamente mediante un interferómetro para ampliar el rango de frecuencias y longitudes de onda. A continuación se irradian las moléculas del gas muestra, que penetra al cuerpo principal del analizador gracias a una bomba que absorbe gas ambiente, a un caudal de 2-10 l/min. Cada molécula absorbe radiación infrarroja a unas longitudes de onda características; la radiación no absorbida es detectada por el propio dispositivo a una velocidad de 10 espectros por segundo, digitalizada y, mediante el uso de algoritmo de transformada de Fourier (FFT), convertida en un espectro IR. Podemos decir que cada espectro obtenido es único e identificativo de las sustancias que componen el gas muestra, de manera que si se compara el espectro obtenido con espectros de referencia, en función de la longitud de onda donde aparezcan los picos, se podrá identificar los compuestos.

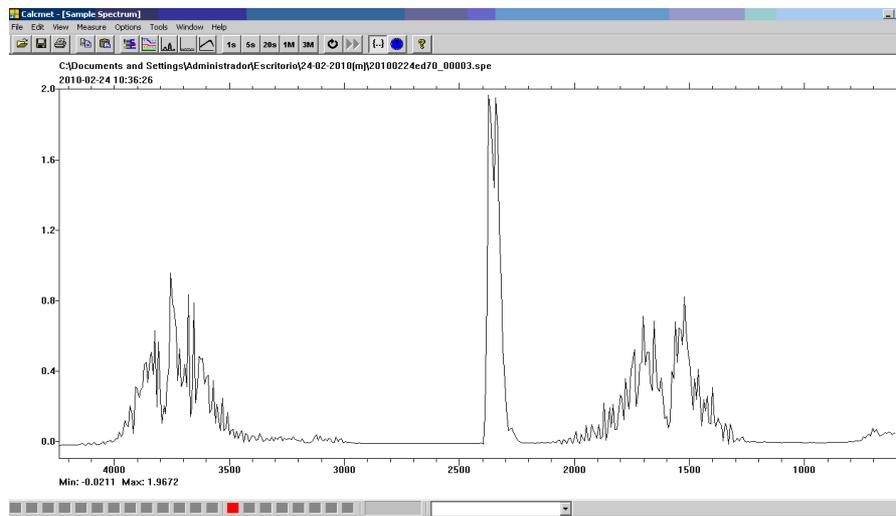


Gráfico VIII: Análisis de aire mediante técnica FTIR.

En el prototipo desarrollado se obtienen de forma simultánea el análisis de hasta 50 componentes con una simple medida. Las interferencias que se pueden producir debido a la matriz de gases presentes en la muestra son compensadas de forma automática.

Como se ha comentado, la tecnología desarrollada se basa en dispositivos preexistentes, muy usados en aplicaciones de detección de gases tóxicos debido a la rápida respuesta que es capaz de mostrar el dispositivo. Sin embargo, no existen aplicaciones de control cuantitativo en continuo a bajas concentraciones, por lo que se desarrolla el prototipo descrito en colaboración con el equipo técnico de I+D responsable de los sistemas de análisis preexistentes. El desarrollo presta atención especial a los siguientes aspectos:

- Aumento de sensibilidad, con límite inferior de detección de 0,5-1 ppm.
- Aumento de especificidad, de manera que se amplía el rango de compuestos que es capaz de detectar el prototipo. Se incluye un área de “incertidumbre”: si el sistema de medida detecta un compuesto, pero no se identifica en un primer análisis la naturaleza y composición, se marcará la zona de incertidumbre del espectro para tratar de identificarlo mediante estudios químicos complementarios. La base de datos del analizador podrá ser ampliada más adelante, con la carga de nuevos compuestos, de manera que incluya este compuesto no identificado para posteriores análisis.
- Los aparatos preexistentes se manejan de manera fija, pero la aplicación de confort ambiental exige portabilidad. Para ello, se incorporan unas baterías que garantizan la autonomía del sistema, se propone el uso de materiales más finos y

ligeros, aunque más resistentes que los usados habitualmente (latón), así como la incorporación de un adecuado sistema de transporte para un fácil manejo.

- Esta misma exigencia de portabilidad exige evolucionar la interfaz, de manera que se pase de un monitor fijo y estático, con conexión con el analizador por cable, a interfaz por PDA que recibe, almacena y muestra por pantalla, en tiempo real, los datos transmitidos desde el analizador gracias a una conexión por Bluetooth. Posteriormente, estos datos pueden ser cargados en un ordenador para su tratamiento y análisis.
- Facilidad de limpieza y fijado de la fuente de luz.

El prototipo desarrollado permite realizar, de manera rápida y simple, análisis exhaustivos de confort ambiental, con medida de CO₂, humedad, temperatura y una lista detallada de concentración de COVs presentes, entre otros compuestos.

2.5.2 Analizador por fotoionización (PID).

Un detector de fotoionización es, en esencia, un GC-MS en continuo, sin la columna de separación, por lo que presentan un reducido tamaño. El PID es un detector de espectro con alta sensibilidad, capaz de analizar una muestra o corriente de gas y determinar su concentración mediante técnicas de fotoionización. La detección por fotoionización ha sido muy utilizada en medidas de protección contra peligros de explosión y gases tóxicos y aplicaciones similares de prevención de riesgos laborales, siendo su aplicación en análisis de confort ambiental escasamente referenciada.

La técnica de análisis de los sistemas de medida PID se basa en la emisión de luz ultravioleta - mediante lámpara de Kriptón, por ejemplo - que incide sobre la muestra o corriente de gas a analizar. Al pasar las moléculas del gas por delante de la lámpara e incidir sobre ellas la luz UV, absorben parte de esta alta energía, lo que produce la excitación de la molécula: pérdida temporal de un electrón con carga negativa y la formación de un ión con carga positiva. El gas muestra se carga eléctricamente, encerrando una masa de moléculas cargadas en su seno, por lo que se puede producir una corriente cuantificable mediante la aplicación de electrodos en su interior. Esta corriente es directamente proporcional a las cargas presentes y, por tanto, a la concentración de moléculas existentes. Tras la medida, al descargarse los electrodos, los iones se recombinan para volver a su forma original, de manera que este método es no destructivo, como puede ser, por ejemplo, el método FID.

La fotoionización se basa en potenciales de ionización: todos los compuestos químicos se pueden ionizar si se aplica la energía necesaria para desplazar un electrón del seno de las partículas que forman dicho compuesto. Esta energía es conocida como potencial

de ionización, característica de cada sustancia ya que es una medida de la fuerza del enlace que la forma.

Los detectores por fotoionización son un método contrastado de medida de los compuestos orgánicos no volátiles en ambientes industriales. Estos instrumentos de lectura directa en continuo detectan niveles de concentración de COVs muy bajos: el rango de medida de los PID es de 0-2000 ppm, con una resolución de 0,1 ppm, límites de detección muy adecuados a las actividades planteadas en este estudio de calidad de aire interior y confort dentro de las edificaciones bioclimáticas.



Contenedor Demostrador de Investigación en Asturias, PSE-Arfrisol.

El sistema de análisis PID referencia las medidas en unidades totales, COVTs. El resultado del análisis realizado se muestra en unidades equivalentes de un único compuesto, isobutileno por defecto, al ser el gas utilizado en la calibración. Existen correlaciones y factores de corrección para poder transformar la lectura de COVTs en unidades equivalentes de concentración de cualquier gas deseado. Estos factores de corrección tienen una importante aplicación en el sistema propuesto, permitiendo la transformación de valores de concentración conocida, de cualquier compuesto, en unidades equivalentes de isobutileno. De esta manera se espera complementar la técnica FTIR: conociendo las concentraciones de COVs individuales, medidas por técnica FTIR, podremos transformarlas en unidades equivalentes de isobutileno. La medida de COVs totales (proporcionada por técnica PID) menos la suma de las medidas individuales (proporcionada por técnica FTIR), todas ellas calculadas en las mismas unidades equivalentes de isobutileno, será el número de COVs detectados pero no conocidos, sirviendo de base para el posterior trabajo de I+D en el que se procede a

determinar los compuestos presentes detectados y recogidos por el espectro pero no identificados.

2.5.3 Equipos de medición de partículas e IAQ.

Los aspectos claves del estudio integral del aire interior en las edificaciones bioclimáticas construidas en el PSE-Arfrisol son:

- composición del aire interior,
- eficacia de las técnicas de ventilación y número de renovaciones de aire interior por unidad de tiempo,
- posibles infiltraciones.

El equipamiento descrito previamente está enfocado principalmente al análisis de la composición de aire interior; para el estudio de ventilación, renovación de aire y posibles infiltraciones, se dota al proyecto de equipamiento de contadores de partículas e IAQ. Estos sistemas de medida son un complemento necesario a las técnicas descritas previamente, permitiendo obtener una medida integral de confort ambiental en continuo e “in situ”.

2.5.3.1 Equipos de IAQ

El equipamiento de medida de IAQ permite obtener medidas precisas de monóxido, dióxido de carbono, temperatura, y distintas características del aire como humedad, velocidad y temperatura de bulbo húmedo. El sistema es capaz de mostrar y almacenar hasta 5 medidas al tiempo. Se basa en técnicas ópticas para el cálculo de CO₂, uso de termistores para el cálculo de temperaturas y sensor capacitivo de película delgada para los análisis de humedad relativa. Asimismo, se dispone de sensores de medida de CO₂, temperatura y humedad en el interior de las edificaciones, midiendo de manera continua.



Sensores fijos en el interior del CD-dl de Madrid.

Las medidas obtenidas con este equipo, ampliamente contrastado y usado en este tipo de análisis, permiten contrastar las medidas recogidas con el detector FTIR, así como con los sensores fijos. Las medidas de CO₂ y termo higrométricas son de gran utilidad para estudiar la correcta ventilación de los CD-dl [8] y [9].

2.5.3.2 Contador de partículas ultrafinas

El laboratorio se equipa con dos sistemas de contadores de partículas ultrafinas:

- Contadores portátiles de partículas con rangos 0,02-1 micrómetro y 0,3-10 micrómetros. Flujo de absorción de aire ambiente de bajo caudal, totalmente configurable, de manera que se pueda obtener la cantidad de partículas entre dos rangos seleccionables, o el número de partículas totales menores de un tamaño determinado configurado por el propio usuario. Estos equipos son utilizados principalmente para conocer la eficacia de filtros así como en aplicaciones de detección de fugas, midiendo rango de nanopartículas con gran precisión.
- Rango de 0,02-1 micrómetros. Usado en investigaciones y aplicaciones industriales para seguir la pista y registrar fuentes de partículas e infiltraciones. Este sistema de medida es capaz de determinar la abundancia de partículas,

caracterizándolas por masa y tamaño simultáneamente, mostrando la cantidad de miligramos por metro cúbico de polvo y aerosol en ambiente.

El equipamiento de contadores de partículas ultrafinas facilita la evaluación de las renovaciones de aire y sirve de instrumento de localización de infiltraciones. Asimismo, mediante el uso de este equipamiento se obtienen datos de rango de tamaños en el que se encuentra las partículas de compuestos del aire interior: el conocimiento del tamaño de partícula de los compuestos detectados pero no identificados por las técnicas FTIR, facilita el desarrollo de estudios químicos teóricos para poder identificar los compuestos no conocidos presentes en el aire analizado.

3 CONCLUSIONES.

Al igual que los grandes consumos energéticos en el uso final de oficinas y viviendas, el empeoramiento general de las condiciones de confort ambiental y calidad de aire en el interior de estos edificios, con la aparición del síndrome del edificio enfermo, es un problema que no puede ser obviado en los nuevos planteamientos arquitectónicos que se vienen postulando en los últimos años, englobados en la conocida como arquitectura bioclimática.

Debido al alto porcentaje de tiempo que pasa un ciudadano medio en el interior de estas edificaciones, la construcción de un entorno confortable y adecuado ambientalmente a las actividades que se desarrollan en su interior revierte positivamente en la salud de los habitantes. Se ha demostrado en diversos estudios que una deficiente ventilación en las escuelas revierte negativamente en la concentración y rendimiento de los estudiantes. El desarrollo de edificaciones no sólo eficientes energéticamente, sino con una correcta ventilación y composición de aire interior y un confort ambiental adecuado, es el principal objetivo del PSE-Arfrisol.

En un primer acercamiento experimental a la evaluación de la calidad de aire en los contenedores – demostradores de Investigación desarrollados, CD-dl Arfrisol, se hace uso de las técnicas, ampliamente contrastadas, de muestreo sobre soporte físico seguido por desorción térmica y análisis GC – MS. Estos análisis realizados, al ser comparadas con edificios convencionales de similar superficie y emplazamiento, indican una menor contaminación ambiental en el interior de estas edificaciones bioclimáticas, lo cual implica que el cuidado en el desarrollo de los sistemas de ventilación, el uso de materiales adecuados y la correcta planificación arquitectónica recogidos en la

construcción de los CD-di influyen positivamente en el confort ambiental y la composición del aire interior de estas edificaciones.

Sin embargo, estas técnicas de análisis manejadas no han permitido realizar adecuadas medidas de cuantificación de contaminantes para la correcta evaluación de confort ambiental. Esta limitación se debe principalmente a fallos en el sistema de toma de muestras y tratamiento previo a identificación; el sistema de medida era adecuado desde el punto de vista cualitativo, pero no presentaba análisis cuantitativos fiables o válidos a las concentraciones manejadas.

Para poder evaluar más profundamente las condiciones de salubridad sensitiva y confort ambiental en el presente proyecto de investigación, es imprescindible analizar cuantitativamente la concentración interior de COVs. El correcto empleo de la metodología y los complementarios sistemas de análisis desarrollados en el proyecto, permite una completa caracterización de estos interiores, de manera que se puede evaluar cuantitativamente la mejora respecto a las edificaciones convencionales y se sientan las bases para estudios de mejora del confort ambiental en estos interiores, esperándose abrir camino para futuras actividades de I+D.

4 BIBLIOGRAFÍA.

[1] Lebuy F. Comparativa de la legislación en cuanto a higiene de la ventilación y tratamiento de sistemas de climatización. II Conferencia internacional ICVH-EVHA-AELSA. Madrid, Oct. 2001.

[2] Molhave, L.; Bach, R.; Pedrson, O. Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environ. Inter.* 1986, 12, 167-175.

[3] Robinson. J.; Nelson, W.C., National Human Activity. Pattern Survey Data Base. United States EPA, Research Triangle Park, NC. 1995.

[4] Platts-Mills, T.A.E., Woodfolk, JA., Chapman, M.D., Heymann, P.W., Changing concepts of allergic disease: the attempt to keep up with real changes in lifestyles. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 98 (Suppl), S27-S306. 1996.

[5] Teichman, K.Y., Indoor air quality: research needs. *Occupational Medicine* 10 (1), 217-227. 1995.

[6] Baek, S., Kim, Y., and Perry, R. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas –indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment* Vol. 31

[7] Berenguer M^a José y col. El síndrome del edificio enfermo. Inst Nac.de Seg. E Higiene en el trabajo. 1999.

[8] Online Hourly Determination of 62 VOCs in Ambient Air: System Evaluation and Comparison with Another Two Analytical Techniques. 2002. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad del País Vasco, Bilbao.

[9] Berenguer, M^a José y col. NTP 345: El control de la ventilación mediante gases trazadores. Inst Nac.de Seg. E Higiene en el trabajo.