

3. Estado de Arte

3.1. Hormigones de altas prestaciones

Se conoce por hormigón a la mezcla homogénea de un aglomerante y partículas o fragmentos de un agregado, mezclados con agua y otros aditivos. La *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)* define el hormigón como la mezcla de cemento, agua, áridos, aditivos y adicciones, cuya composición elegida de las mezclas destinadas a la construcción de estructuras o elementos estructurales deberá estudiarse previamente, con el fin de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas, reológicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta las condiciones de obra real.

El hormigón convencional es el resultado de la combinación de un árido y un material ligante hidráulico. El cemento Portland es el más utilizado. Sin embargo, poco a poco, están introduciéndose nuevos materiales en los campos de construcción e ingeniería civil, reemplazando materiales que hasta el día de hoy habían sido casi insustituibles, como el cemento Portland.

Los hormigones con polímeros pertenecen al grupo de los materiales compuestos. El hormigón polimérico (PC) es un material compuesto con una gran diversidad de aplicaciones. Principalmente se emplean en la construcción de pavimentos, reparación de estructuras, puentes, tuberías etc.

Los materiales compuestos presentan mejores características que los tradicionales en cuanto a resistencia mecánica, rigidez, comportamiento ante altas temperaturas, estabilidad química y conductividad. Se trata de la combinación de varios materiales, en la que cada uno mantiene su identidad original, produciéndose un efecto de mejora y refuerzo de las propiedades de cada material por separado.

Los PC han sido comercializados desde 1950. Su uso no ha sido rápidamente implantado por la dificultad en su fabricación utilizando las técnicas tradicionales, aunque ya hoy en día supone un ahorro considerable por lo que se está asentando en el mercado.

Para que un material pueda considerarse compuesto, debe existir una combinación de dos o más materiales, cuya proporción sea superior al 5% del total, que muestre la presencia de la interfase y además cuyas propiedades difieran de las iniciales mostradas por los materiales.

Los constituyentes de un material compuesto son los siguientes:

- Matriz: fase primaria, es la que contiene la fase dispersa y distribuye la carga. Puede ser de metal (MMC), polímero (PMC) o cerámica (CMC). Es deseable que sea algo dúctil. Su finalidad es la de hacer de ligante de los refuerzos, ya sean partículas o fibras, soportarlos mecánicamente y transferir las cargas, aunque la

distribución de cargas dependerá de la unión en la interfase. También protegen la fase dispersa del daño superficial que puedan causarle ataques químicos o abrasión.

- Fase dispersa (o de refuerzo): fase secundaria, embebida en la matriz de modo continuo o discontinuo. Normalmente esta fase es más fuerte que la matriz, incorporada para alcanzar las propiedades deseadas. Se pueden encontrar tanto fibras como partículas de cualquier forma, ambas tendrán una baja ductilidad. Las características, en general, que pueden influir en las propiedades de los compuestos son la concentración, la forma, el tamaño, la distribución.
- Interfase: zona de interacción entre la matriz y la fase dispersa. Su finalidad es transferir las cargas desde la matriz a los refuerzos.

Los materiales compuestos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Materiales compuestos reforzados con partículas: tanto partículas grandes como de tamaño menor.
- Materiales compuestos reforzados con fibras: tanto fibra continua (alineadas) como discontinua, siendo estas últimas de menor longitud y pudiendo estar tanto alineadas como orientadas arbitrariamente.
- Materiales compuestos estructurales: laminados y paneles sándwich.

En este proyecto se va a realizar un estudio sobre hormigón polimérico, por tanto se va a trabajar con diferentes resinas poliméricas (PMC) como material aglomerante. El uso de polímeros en la fase primaria del compuesto tiene tanto ventajas como limitaciones. Por un lado, aunque los polímeros en sí no son adecuados para aplicaciones estructurales, estos pueden, sin embargo, ser ampliamente mejorados mediante los refuerzos. Estos permiten ser procesados con unos requerimientos de presión y temperatura menores que los hormigonados tradicionales y además requieren equipos menos robustos. Entre sus desventajas están el decremento de la temperatura máxima de trabajo, el relativamente alto coeficiente de dilatación térmica de éstas, que pueden ocasionar inestabilidades dimensionales, así como la sensibilidad que presentan a la radiación y, en algunos de los casos, a la humedad.

Existen tres posibilidades de matrices poliméricas: termoplásticas, termoestables y elastómeros. La elección de uno u otros recae generalmente en las especificaciones requeridas en su finalidad. Pero en rangos generales, es posible aportar unos valores de las principales magnitudes

Propiedades	Termoestables	Termoplásticos
Módulo de Young (Gpa)	1.3-6.0	1.0-4.8
Resistencia a la tracción	20-180	40-190
Máxima T de servicio (°C)	50-450	25-230
Tenacidad a la fractura K_{IC} , ($MPa^{1/2}$)	0.5-1.0	1.5-6.0

Tabla 3.1: Comparación de valores típicos de termoplásticos y termoestables.

En este proyecto se trabaja con cuatro resinas diferentes: resina epoxi (termoestable), resina poliéster insaturada (termoestable), Emulsión Sintética Compodur (termoestable) y Emulsión KP de TL - 2000 (termoplástico). De ellas, la resina epoxi es la que mayor costo supone, pero también puede ofrecer otras ventajas como la adhesión a superficies mojadas. Por otro lado, las matrices a base de poliéster insaturado son las más utilizadas en PC, debido a su bajo costo.

3.1.1. Áridos

Se denomina árido el conjunto de material granulado utilizado como materia prima para la fabricación de hormigones y morteros. En general, suponen un 80 % del volumen total de hormigón por lo cual influye directamente en la economía de éste. Además, como se especifica en el documento anterior, las características del árido deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como cualquier otra exigencia que se requiera a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto. Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse, según *EHE-08*:

- Áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), de acuerdo a la norma UNE-EN 12620, que pueden ser rodados o procedentes de rocas machacadas.
- Escorias siderúrgicas enfriadas por aire según se establece en UNE-EN 12620.
- En el caso de áridos ligeros, el cumplimiento con lo indicado en el Anejo nº 16 de esta instrucción.
- Para áridos reciclados, se seguirá lo establecido en el Anejo nº 15.
- En general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.

El caso que ocupa este proyecto tiene como objetivo la fabricación de un hormigón de altas prestaciones a partir de áridos reciclados, provenientes de desechos de diferentes industrias, con tamaño de partícula inferior a 4 mm, con lo que queda fuera de las

especificaciones recogidas en el Anejo n^o 15 de la instrucción citada. Con todo, los áridos deberán satisfacer las condiciones físico-químicas, físico-mecánicas, características granulométricas y forma de árido necesarias para su aplicación.

El caso que aquí se estudia centra su investigación en el aprovechamiento de tierras de diatomeas residuales de las diferentes industrias, así como de polvo de vidrio proveniente del reciclaje de residuos urbanos.

Tierra de diatomeas

La diatomita es una roca silícica, que se presenta de color blanco, formada por la acumulación sedimentaria de los esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas, hasta formar grandes depósitos con un grosor suficiente como para su comercialización. En la diatomeas, la sílice se encuentra en estado amorfo, hidratada y con un cierto grado de cristalización.

Las tierras de diatomeas son muy útiles en diferentes procesos industriales, debido a sus propiedades. Por su capacidad de absorción de agua (la diatomita es capaz de absorber 2.5 veces su peso), por ser químicamente inerte y tener una gran área superficial por unidad de masa. Por todo ello, es muy utilizada para trasladar líquidos que supongan un riesgo, así como dispersantes de productos químicos. De ahí que uno de sus primeros usos haya sido como elemento auxiliar para llevar nitroglicerina.

Igualmente destacan sus propiedades térmicas. Su temperatura de fusión se encuentra entre 1500 °C y 1600 °C. Su punto de reblandecimiento oscila en 1100 °C, por lo que se trata de un material muy refractario, que junto con su baja densidad aparente, lo convierte en un gran aislante térmico, muy deseable en materiales de construcción.

Las propiedades ópticas y la gran blancura de este material justifica su aplicación en pinturas y recubrimientos de látex y papel. También se puede encontrar en otras aplicaciones como agente reforzante en cauchos sintéticos.

Además, la tierra de diatomeas es en sí misma un insecticida natural. Estas minúsculas partículas huecas con carga negativa perforan los cuerpos queratinizados de los insectos de sangre fría, que mueren por deshidratación. Este efecto insecticida, junto con su gran riqueza en minerales y oligoelementos (vitales para el metabolismo de los tejidos vegetales) justifican su gran aplicación en agricultura y jardinería.

Su capacidad para combatir parásitos hace que su uso como antipulgas, ácaros, anti-parasitarios sea muy extendido en materias de sanidad y nutrición animal. La tierra de diatomeas se incorpora en múltiples aplicaciones para cuidados de animales domésticos.

Sin embargo, es su uso como auxiliar filtrante el más extendido. Si se añade un líquido que contenga impurezas a la tierra de diatomeas, y ésta se hace pasar mediante presión a través de una tela o malla filtrante, se consigue retirar las impurezas, que quedan retenidas por absorción mecánica en los finísimos poros que constituyen la estructura

secundaria y terciaria de las frústulas de diatomeas. Es por ello que la tierra de diatomeas sea ampliamente utilizada por la industria de la cerveza, del vino, zumos de fruta y aceite vegetales, que consiguen ser filtrados a niveles de micras a décimas de micras. Los filtros de piscina y de piscifactorías también utilizan tierra de diatomeas, pues su capacidad de retención es tal que pueden retener en determinados casos incluso bacterias.

En España se producen 31.3 millones de hectolitros de cerveza, siendo el noveno productor de cerveza en el mundo y el tercero de la Unión Europea, por detrás de Alemania y Reino Unido. En el proceso de producción de la cerveza, la tierra de diatomeas se emplea en la fase de filtrado, generándose una cantidad de residuo entre 0.14 - 0.25 *kg/Hl* de cerveza. Esto supone una generación anual de aproximadamente 6 millones de toneladas de tierra de diatomeas residual en nuestro país.

Polvo de vidrio

El polvo de vidrio que se va a utilizar como árido proviene del reciclaje de envases caracterizados como residuos sólidos urbanos. El vidrio es un material 100% reciclable y además sin limitación de número de ciclos. Se trata de un material que no es en sí contaminante, pero su reciclaje supone un tremendo ahorro de materia prima y energía necesaria de su fabricación, que generalmente procede de fuentes contaminantes.

A nivel mundial, la mayor parte del vidrio es utilizado para la fabricación de envases. Según los datos de *Ecovidrio*, en España durante el 2012 se reciclaron 791414 toneladas, aumentado respecto al año anterior, tanto en reciclaje de vidrio contenido en contenedores en las vías públicas como el obtenido mediante otros canales. Desde la entrada en vigor de la Ley 11/199 *Envases y Residuos de Envases*, España ha aumentado con creces los objetivos planteados a nivel europeo y nacional, reciclándose un tercio de las botellas y envases que se consumen.

Sin embargo, el vidrio procedente de residuos de construcción o proveniente de demoliciones no es aún reciclado. Éste vidrio requiere unas plantas de reciclaje más complejas, así como unos controles de calidad más rigurosos por lo que es llevado a vertederos. Se estima que en Europa una cantidad aproximada de 1.2 millones de toneladas de vidrio con este origen son llevadas a vertederos.

El vidrio reciclado se usa principalmente para generar nuevos envases. Sin embargo, también tiene múltiples aplicaciones secundarias, como son entre ellas, su uso como agregado en materiales de construcción.

Presto Geosystem desarrolló un pavimento poroso, basado en fragmentos de vidrio resultando una capa muy porosa que permite un alto filtrado del agua. También ha sido actualizado para allanar caminos en vías o zonas verdes donde no se puede aplicar cemento.

Se trata de un material inerte y muy abrasivo lo cual transfiere propiedades muy valederas a su uso en el hormigón. Su capacidad para absorber agua es prácticamente nula, lo que le transfiere durabilidad al hormigón. Dependiendo del tamaño de las partículas es posible dar color al pavimento, también puede aportar características puzolánicas.

Sin embargo, su puesta en marcha aún no se ha producido para elementos estructurales, aunque sí en otros tipos de aplicaciones, como aceras, caminos de acceso, etc.

El *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)* desarrolló en el año 2012 un procedimiento para la fabricación de cementos haciendo uso del polvo de vidrio proveniente de los residuos vítreos urbanos (ya que son difícilmente reutilizables para la fabricación de vidrio), incorporándolo en el sector de la construcción para la fabricación de cementos y hormigones, pero su aplicación en la práctica no ha tenido lugar hasta el momento.

3.1.2. Aglomerante

En cuanto a aglomerantes y conglomerantes, los más usados en la construcción son los que se muestran a continuación:

- Cemento, especificados según la Instrucción *EHE-08*.
- Yesos, normalizados según la *RY-85*.
- Cal, cuya clasificaciones y características se encuentran recogidas en las normas UNE 41.067 y UNE 41.068.
- plásticos, como la resina epoxy, resina poliéster, PVC, látex, ...

En este proyecto se van a utilizar como aglomerantes resinas poliméricas. Las resinas epoxy y poliéster ya han sido en la actualidad estudiadas como aglomerantes del hormigón. Numerosos estudios han puesto de manifiesto que su uso como aglomerantes, en lugar de usar cemento, provee hormigones más resistentes. Se puede establecer que, comparado con un hormigón tradicional (con cemento Portland como aglomerante), se tienen las siguientes variaciones:

- La capacidad resistente a compresión es aproximadamente de 2 a 4 veces mayor, y además, aporta mucha resistencia a flexión y al ensayo de compresión diametral, que puede llegar a ser en torno 3 - 6 veces mayor. En general, la resina epoxy tiene propiedades mecánicas mayores que la resina poliéster, sin embargo, ésta última puede ser mejorada mediante aditivos y tener unos valores muy similares a los alcanzados con resina epoxy.

- Los hormigones con resinas poliméricas también presenta resistencia química notoriamente mayor respecto al hormigón basado en cemento (exceptuando alkalis por parte de la resina poliéster).
- La resistencia al impacto aumenta también considerablemente en los hormigones poliméricos.
- Los hormigones con resinas poliméricas apenas presentan valores de absorción de agua, siendo especialmente remarcable en los hormigones con resina epoxy, donde la absorción es prácticamente nula.
- La resistencia a abrasión apenas es mejorada con el uso de resinas poliméricas, pues los coeficientes de dureza (coeficiente de desgaste de Los Ángeles) son muy similares.
- En cuanto a la resistencia a deslizamiento, se tiene que los hormigones poliméricos presentan un coeficiente de fricción similar a los de cemento.

Para la realización de este proyecto, se va a utilizar resina epoxy y resina de poliéster no saturada, cuyas especificaciones se exponen en la sección de materiales.

Además se van a investigar la capacidad aglomerante de la Emulsión sintética Compodur L.S.P. y Emulsión KP de TL - 200, para comprobar la validez en cuanto a prestaciones que estas resinas podrían aportar.

3.1.3. Fibra de vidrio

La adición de fibras al hormigón ha impulsado un gran desarrollo en la tecnología del hormigón. Como se expone anteriormente, el hormigón es un material que presenta muy buenas características ante compresión, pero ofrece escasa resistencia a otros esfuerzos como tracción o flexión. Es por ello que desde hace mucho tiempo, se ha trabajado en el desarrollo de soluciones que permitan solventar esta carencia, que supone una gran limitación del hormigón como material de construcción. El desarrollo más notable es el conocido Hormigón Armado. Se trata de un refuerzo del hormigón con barras de acero en las zonas de tracción, que supone una importante solución para el uso del hormigón como elemento estructural, pero cuyas dimensiones, peso y forma de puesta en obra es aún un inconveniente para muchas otras aplicaciones. Por este motivo, las investigaciones se direccionaron en la búsqueda de soluciones mediante el uso de Fibras de Refuerzo que permitieran aligerar y reducir el espesor del hormigón. Desde entonces, son numerosas las clases de fibras que se han desarrollado, tanto orgánicas (nylon, polipropileno, etc), como inorgánicas (carbono, vidrio, acero, aluminio), resultando la fibra de vidrio la mejor en relación coste y propiedades.

En 1967 el Dr. A. J. Majundar, del *Building Research Establishment (BRE)* demostró cómo mediante la adición de fibra de vidrio a cemento Portland se conseguía aumentar su resistencia y además la resistencia que presentaba ante un medio alcalino, como es el cemento Portland.

El uso de fibras de vidrio en el hormigón polimérico ha resultado muy conveniente. Diversos estudios han revelado que el uso de fibras, además de aumentar las prestaciones mecánicas, también mejora sustancialmente la respuesta del material una vez se ha producido la fractura. La resistencia tanto a compresión como a impacto se ven aumentadas con el aporte de fibra de vidrio, si bien es en cuanto a la flexión donde se aprecia una enorme diferencia debido a la adición de fibra.

Actualmente, el uso GRC (*Glass Reinforced Concrete*) está bastante extendido en multitud de aplicaciones como la construcción de postes, farolas, escaleras. Es su versatilidad y su mayor conocimiento y su precio lo que está dando lugar a su puesta en marcha.

3.2. Hormigones fotocatalíticos

El desarrollo y progreso tecnológico a servicio del ser humano ha desencadenado diversos e importantes problemas a nivel global como la producción masiva de residuos y las diversas formas de contaminación ambiental, que alteran nocivamente el medio y afectan de manera significativa a la salud de las personas y de los demás seres vivos. Por ello el desarrollo científico no puede entenderse como un proceso aislado, sino que tiene adoptar un enfoque socioambiental, lo que exige la compatibilidad con el medio y la consideración de la extensión en el tiempo. La creciente preocupación tanto pública como por parte de las instituciones queda reflejada en la implantación de los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) que se han instaurado, mediante los cuales se establecen políticas de gestión ambiental acorde a la actividad realizada y su impacto ambiental.

La contaminación del aire está causada por la acumulación en la atmósfera de ciertas sustancias, que a partir de determinadas concentraciones supone un peligro para la salud humana y los ecosistemas.

Se pueden establecer dos niveles de contaminación del aire:

- Contaminación primaria. Se refiere a la contaminación que altera la composición de la atmósfera de manera directa mediante el vertido de sustancias contaminantes desde los focos emisores. Este tipo de contaminantes tiene su origen en los procesos de combustión de carbón, derivados del petróleo, madera, gas metano, etc, en el que se liberan gases y pequeñas partículas sólidas que se mezclan con gases atmosféricos.

Los contaminantes más frecuentes en la atmósfera son los aerosoles (en los que se incluyen partículas en suspensión, aerosoles y humos), óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, hidrocarburos, monóxido de carbono y dióxido de carbono. También es posible encontrar, aunque más raramente, otros contaminantes que en determinadas localizaciones pueden producir efectos muy negativos como son los halógenos y sus derivados, otros derivados de azufre, arsénico y sus derivados, partículas de metales pesados y ligeros, sustancias radiactivas, componentes orgánicos y partículas de sustancias minerales.

- Contaminación secundaria. Se denomina así a los contaminantes que se producen como consecuencia de las transformaciones físicas y químicas que sufren los contaminantes primarios al reaccionar con los gases presentes en la atmósfera. Las principales alteraciones atmosféricas debido a los contaminantes secundarios son el *smog* fotoquímico, la lluvia ácida y el efecto invernadero.

Su origen puede ser tanto natural como artificial. Entre los casos de contaminación mediante fenómenos naturales destacan las erupciones volcánicas, fuegos forestales, descomposición de materia orgánica, etc.. Sin embargo, son los contaminantes antropogénicos los que presentan una gran amenaza a largo plazo para la biosfera. Anualmente se liberan miles de millones de toneladas a la atmósfera como subproductos de las actividades humanas. Los principales focos de contaminación artificial son los procesos industriales, las emisiones por parte de los vehículos automóviles y las calderas industriales para generación de calor así como las calefacciones domésticas. La 3.2 muestra una distribución de los contaminantes más frecuentes en función de su origen. Como se observa de los datos, los contaminantes por causas naturales son en general mayores que los antropogénicos, salvo el caso de los óxidos de azufre que mantienen un orden similar.

Focos de emisión		
Contaminante	Antropogénicos (%)	Naturales (%)
Aerosoles	11.3	88.7
SO_x	42.9	57.1
NO	9.4	90.6
CO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Tabla 3.2: Proporción entre emisiones primarias naturales y antropogénicas.

Es preciso atender a la distribución espacial de los focos emisores, en áreas de alto desarrollo industrial y mucha población los índices de contaminación por actividad humana son muy superiores a los naturales. La cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera excede su capacidad de autopurificación. Estas circunstancias hacen que

la contaminación a escala regional sea predominante. Sin embargo, el problema de la contaminación es un problema de naturaleza global. Diferentes estudios han demostrado que las circulaciones de aire vinculadas con los monzones esparce la contaminación localizada en determinadas regiones. Este fenómeno ocurre en países como China o India, donde el efecto del monzón asiático provoca un ascenso de los contaminantes hasta la estratosfera, y una vez ahí circulan alrededor de la tierra durante años hasta descender a niveles inferiores de la atmósfera o diluirse.

En cuanto al estado del aire en España, según el informe de *Sostenibilidad de España 2012*, aunque la calidad media del aire en España ha mejorado, el análisis por ciudades refleja que se siguen superando los objetivos marcados. A pesar de esta reducción de los valores de concentración de contaminación máximos alcanzados en años anteriores, las cifras siguen estando por encima de los valores legales establecidos por la normativa europea (Directiva 2008/SO/CE), y más por encima de los valores recomendados por la OMS. También se presentan dificultades para cumplir los objetivos de techos nacionales de emisión de determinados contaminantes, como se especifica en la Directiva 2001/81/CE. Además, es preciso indicar que la disminución de los valores más altos de contaminación están estrechamente relacionados con la situación económica actual, con la consecuente reducción de tráfico y de actividad industrial provocada por la crisis. También las mejoras en las emisiones de contaminantes de los nuevos vehículos han contribuido a este aumento de la calidad del aire. En este marco, atendiendo al *Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera 2013-2016*, publicado en Febrero 2013, donde en la tabla 3.3 se observan los frecuentes incumplimientos que se dan en España.

	PM_{10}	NH_3	SO_x	NO_x
Objetivos de techo (kt)	662	353	746	847
Emisiones 2010	620	389	449	901
Superación en 2010 (%)	-6.34	10.20	-39.81	6.38
Emisiones en 2011(kt)	598	381	499	934
Superación en 2011 (%)	-9.67	7.93	-33.11	10.27

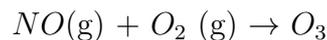
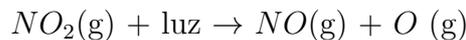
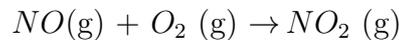
Tabla 3.3: Techos nacionales de emisión.

Por tanto, los esfuerzos del plan de actuación se centran en la reducción de estos cuatro contaminantes.

- SO_2 . De la 3.2 y 3.3 se observa que las emisiones de dióxido de azufre no tienen un carácter generalizado. Las fuentes principales de SO_2 son la producción de energía y los procesos industriales de combustión. El desarrollo y aplicación de plantas de desfiguración y otras técnicas ha permitido la reducción de este contaminante notoriamente, permitiendo el cumplimiento de los objetivos en lugares como

Madrid y otras ciudades europeas. El informe demuestra que las incidencias por superación de este parámetro han sido localizadas puntualmente en Algeciras y Santa Cruz de Tenerife.

- Ozono troposférico. En la troposfera el ozono se produce como resultado de reacciones muy complejas entre los óxidos de nitrógeno (NO_x), emitidos por los automóviles y por la industria, con vapores orgánicos volátiles (COV), procedentes tanto de la industria (gasolina, disolventes y otros) como de la vegetación natural, que por acción de la luz solar reaccionan produciendo ozono. Se trata de un contaminante secundario, con una alta naturaleza transfronteriza. Las reacciones que tienen lugar con el NO_x se presentan a continuación,



Es preciso puntualizar que la formación de ozono se produce también con otros contaminantes en procesos similares.

- Partículas PM_{10} . Como se recoge en el informe, España siempre ha presentado niveles altos de partículas debido en muchas ocasiones a las intrusiones de polvo africano. La composición química de estas partículas varía mucho en función de su origen. En el informe se recogen las superaciones por fuentes no naturales, se tratan principalmente de humos y metales pesados que pasan a formar parte de la atmósfera tras procesos de combustión de carbón, petróleo, madera, residuos domésticos, y también productos procedentes de la fabricación de alimentos y de la industria química.

En áreas urbanas, se realizan actividades como la limpieza de las calles en húmedo, para evitar la recirculación de material particulado así como limpieza en obras urbanas. Como se recoge en el informe, los niveles de PM_{10} son en la actualidad altos (a pesar del descenso observado en los últimos años debidos principalmente al efecto de la crisis y unas condiciones meteorológicas benignas), no cumpliendo los objetivos marcados por la Directiva, lo que requiere continuar trabajando en técnicas y aplicaciones que permitan reducir sus emisiones o formación de partículas.

- Amoníaco NH_3 . Tal y como se especifica en el informe, el amoníaco ha sido incluido en el estudio por su contribución a la formación de contaminantes secundarios, más que por su impacto directo. Su principal emisor es la actividad

agraria y ganadera, por lo que el desarrollo de técnicas para el cumplimiento del techo de emisiones, que actualmente en España es rebasado, han de focalizarse en estos sectores.

- Dióxido de nitrógeno, NO_2 . Tal y como se recoge en el estudio, la principal causa de este contaminante es el transporte, y se localiza principalmente en áreas urbanas. Las emisiones de NO_x por parte de las industria es también destacable, pero por su localización y condiciones de emisión (chimeneas de altura considerable), suelen cumplir los objetivos. Sin embargo, su aportación a la formación de ozono sí es destacable.

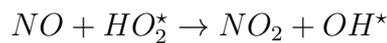
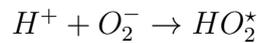
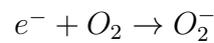
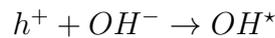
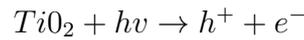
Como se estableció en la tabla 3.3, las emisiones de NO_x son mayores en motores diésel que en motores de gasolina (que emiten menos NO_x y PM_{10}). El aumento de porcentaje de los vehículos diésel en los últimos años ha originado un aumento de la concentración de este contaminante. Este incremento de volumen de emisión supone en la actualidad un grave problema en cuanto al cumplimiento de los actuales objetivos de calidad de aire. España es uno de los siete países de los Estados miembros que supera el techo nacional de emisión, a pesar de la reducción que sufre desde el año 2007 y posteriores, como consecuencia de la actividad económica, éste sigue estando por encima de lo establecido.

Por tanto, la calidad del aire es en la actualidad un grave problema, de informes de instituciones como *Ecologistas en Acción sobre la Calidad del Aire* en 2011 se extrae que el 94 % de la población respira aire contaminado según los índices recomendados por la OMS, y un 22 % de la población atendiendo a los límites marcados por la legislación. La Unión Europea se encuentra en la actualidad revisando su política sobre calidad de aire, y se espera que para Otoño 2013 la Comisión Europea publique una propuesta de revisión de techos de emisiones, de la que se espera un endurecimiento del volumen admitido de emisiones máximas para 2020.

El principal foco contaminador del aire en las zonas urbanas es el tráfico rodado, las medidas adoptadas hasta el momento son insuficientes para solucionar este grave problema de salud pública. La cantidad de emisión de óxido de nitrógeno están muy por encima de lo permitido, y se tienen zonas de alta concentración de este contaminante, cuya descomposición de manera natural con la luz de sol, concretamente con la radiación UV, ocurre de manera muy lenta.

Desde la aparición del primer manuscrito sobre el potencia del óxido de Titanio como fotocatalizador, publicado por Fujishima y Honda en 1972, se han desarrollado numerosos estudios sobre su aplicación para tratamiento y purificación del aire, si bien no se han cumplido las expectativas desde un punto de vista práctico. Aunque existen otros aditivos con efecto fotocatalizador como el TiO_2 , es éste el más extendido, existiendo en la actualidad más de 120 patentes en tratamientos del aire basados en la fotocatalisis.

Como se ha indicado, existen diferentes aditivos con potencial fotocatalizador, sin embargo el óxido de titanio el más expandido gracias a su alta estabilidad química frente a ácidos y bases fuertes, baja toxicidad, facilidad de dispersión, su estabilidad bajo a irradiación, bajo coste, compatibilidad con otros materiales de construcción y su elevada actividad fotocatalítica en comparación con otros óxidos metálicos. La degradación del TiO_2 se produce con la secuencia de reacciones mostradas a continuación:



Donde se demuestra que el uso de TiO_2 es muy efectivo para oxidar los gases NO_x a nitratos. En la aplicación de pavimentos en hormigón, es deseable preparar un revestimiento de TiO_2 con propiedades hidrofóbicas, de modo que durante el proceso, las partículas de contaminante se adhieran a las gotas de agua en caso de lluvia, o limpieza, permitiendo ser retiradas, proveyendo así superficies autolimpiables.

Este potencial descontaminante y autolimpiable del dióxido de titanio, y su efectividad en el tratamiento de aire de zonas urbanas y áreas metropolitanas con alta concentración de contaminantes ha sido reconocida en diferentes estudios. Son numerosas las publicaciones que proponen su aplicación en forma de polvo formando una película para su aplicación en forma de capa o *slurry* en diferentes substratos, incluyendo capas o losas de hormigón. Además, el TiO_2 ha sido evaluado y patentado como cemento ecológico (*TioCem*), en hormigones arquitectónicos, fachadas de edificios, etc, donde los resultados obtenidos en pavimentos de revestimiento TiO_2 muestran la alta capacidad de eliminación de NO_x , SO_2 y VOC (compuestos orgánicos volátiles) de la atmósfera en función de la distancia a la fuente de contaminación.

En España y en la Unión Europea es la carretera el principal medio de transporte de pasajeros y mercancías. Según los datos de la *Dirección General de Tráfico (DGT)*, la red de carreteras en España comprende un total de 165907 Km, de los cuales :

- 25835 Km pertenecen a la Red de Carreteras del Estado y presentan un 51,3 % del tráfico.

- 71853 *Km* forman parte de la red de carreras de las Comunidades Autónomas, abarcando el 42.2 % del tráfico
- 68219 *Km* pertenecen a la Red de Diputaciones Provinciales y Cabildos Insulares, por las que circula el 6.5 % del tráfico.

Además, 372872 *Km* de vías urbanas gestionadas por los Ayuntamientos y otros organismos que acogen un 2.5 % del tráfico total.

Según los datos de *DGT* en España se llevaron a cabo 364.8 millones de desplazamientos de largo recorrido, reduciéndose un 4.5 % respecto al año 2011. Esta disminución, como se ha indicado anteriormente, está causada principalmente por la situación económica actual. Lo cierto es que a pesar de la caída de tráfico, la situación medioambiental derivada de este medio de transporte supone actualmente un grave riesgo para la salud de la población. Es por eso que han de aplicarse medidas ambientales eficientes para preservar la salud pública y garantizar el crecimiento de la economía. El uso de TiO_2 como descontaminante ha sido muy limitado en las ciudades. Existen algunos edificios civiles donde se ha aplicado *TioCem*, los más destacados son la iglesia *Dives in Misericordia* (Roma, Italia)



Figura 3.1: Iglesia *Dives in Misericordia* (Roma)

y el edificio público *Cité de la Musique et des Beaux-Arts* (Chambéry, Francia). La falta de una política clara, tanto nacional como internacional, respecto a la aplicación de materiales descontaminantes en los proyectos, además del coste de este aditivo han sido los principales limitantes de su uso de forma extendida.

Hoy en día el titanio es uno de los 8 materiales más usados. Su aplicación como óxido de titanio está presente en todas las industrias, utilizándose mayoritariamente en pinturas, recubrimientos, industria del plástico, papel, cerámica, cosmética

en alimentos, industria farmacéutica, etc. Se trata del pigmento blanco más utilizado a escala mundial, por ser una de las sustancias químicas más blancas que existe.

El pigmento de TiO_2 se obtiene principalmente de ilmenita ($FeTiO_3$) y cristaliza de tres formas diferentes: rutilo (tetragonal), anatasa (octahédrico) y brookita (ortorrómbico). Industrialmente sólo se produce en forma de rutilo y anatasa. La exigencia de alta pureza (superior al 98 %), su proceso de obtención, la gran demanda actual y el precio de la ilmenita son los factores que han provocado su alto coste y lo que condiciona su inviabilidad para proyectos de pavimentado a gran escala.

Sin embargo, su alta utilización también ha derivado a la existencia de muchos subproductos y residuos con contenido de titanio. La propia producción de pigmento de TiO_2 a partir de ilmenita tiene como subproducto los llamados yesos rojos, con contenido de óxido de hierro y titanio, así como el lodo rojo, subproducto de la industria del aluminio, con un contenido de 4 - 5 % de TiO_2 , que, teniendo en cuenta la gran superficie de acción disponible en esta aplicación, resulta suficiente.