



Criterios de selección del almacenamiento de energía en edificios

Autor: Margarita Arroba Fernández

Institución: IE Universidad

Resumen

En 2010, la Unión Europea publicó su directiva 2010/31 en la que obliga a que a partir de 2020 –2018 en el caso de edificios oficiales– a que los nuevos edificios que se construyan en el territorio de la unión sean del tipo usualmente denominado “casi cero energía”.

Aunque en la actualidad no existe total concordancia en la definición de dicho término, si queda claro que la transposición de dicha Directiva va a conllevar un sustancial cambio en el diseño y la dotación de los edificios.

El cambio comprenderá, por una parte, el diseño eficiente desde el punto de vista energético –con utilización de todo tipo de estrategias bioclimáticas e incremento de los niveles de aislamiento térmico–, la mejora de la eficiencia de equipos y sistemas que consuman energía y la incorporación de sistemas de producción energética distribuida en los mismos.

Aunque se están desarrollando interesantes sistemas de generación distribuida con energías convencionales, como la micro y minicogeneración, que permiten la utilización de los subproductos, con el consiguiente ahorro energético, lo evidente es que será prácticamente imposible conseguir un edificio “casi cero energía” sin la utilización in situ de energías renovables.

Sin embargo, muchas de estas energías renovables no son, por su propia naturaleza, continuas en el tiempo, presentando grandes periodos en que no se pueden utilizar –el sol por la noche o cuando está muy nublado, el viento cuando existe calma, etc.–, por lo que se deberá producir en exceso cuando exista disponibilidad y almacenar para cuando no exista. No obstante, el almacenaje de energía no es fácil y conlleva considerables dificultades al ser incorporado en un edificio.

La comunicación prevista aborta el análisis de diversos sistemas de almacenamiento de energía y las dificultades que va a conllevar su incorporación en un edificio, realizando una comparación entre los mismos que permita crear un criterio de selección para los mismos.

Palabras claves: Ahorro energético, construcción sostenible, almacenamiento de energía

1.- Introducción.

En 2010, la Unión Europea publicó su directiva 2010/31 en la que obliga a que a partir de 2020 –2018 en el caso de edificios oficiales– a que los nuevos edificios que se construyan en el territorio de la unión sean del tipo usualmente denominado “casi cero energía”.

Aunque en la actualidad no existe total concordancia en la definición de dicho término, si queda claro que la transposición de dicha Directiva va a conllevar un sustancial cambio en el diseño y la dotación de los edificios para evitar un excesivo consumo energético.

El cambio comprenderá, por una parte, el diseño eficiente desde el punto de vista energético –con utilización de todo tipo de estrategias bioclimáticas e incremento de los niveles de aislamiento térmico–, la mejora de la eficiencia de equipos y sistemas que consuman energía y la incorporación de sistemas de producción energética distribuida en los mismos.

En cualquier caso, y aunque no tuviéramos la obligación de transponer dicha Directiva, en España será vital en los próximos años la reducción del consumo energético de los edificios y la producción energética mediante energías renovables, por dos motivos principales: la firma por parte de nuestros sucesivos Gobiernos de diversos convenios en que se comprometían a reducir la emisiones de CO₂ a la atmósfera y nuestro crónica y excesiva dependencia energética.

Los consumos energéticos en edificios corresponden principalmente a la iluminación y climatización y, en el caso de viviendas, a la producción de agua caliente sanitaria, el consumo de los electrodomésticos y la cocción de alimentos¹, siendo los demás usos consumidores energéticos de mucha menor cuantía. Encontramos así que la demanda se centra casi exclusivamente en electricidad y calor y, puesto que la transformación de una en otro y viceversa supone pérdidas energéticas importantes, siempre que sea posible será conveniente captar y almacenar la energía en la forma en que va a consumirse finalmente evitando transformaciones.

La producción eléctrica es mayoritariamente en España de tipo centralizado², mientras que, por el contrario, la producción térmica es prioritariamente distribuida³, lo que no deja de ser un aspecto que debería combatirse con prioridad, dado que la mejora del rendimiento conforme se incrementa la potencia es general en los equipos de producción térmica –compensando sobradamente las pérdidas que puedan generarse en la distribución siempre que ésta se encuentre correctamente aislada–, mientras que las pérdidas eléctricas en distribución son muy elevadas (casi del 10% en España –de los que entre un 1% y un 2% corresponden a la red mallada (son pérdidas variables a lo largo del año y del día)–, la mayor parte de las cuales son de carácter técnico, es decir,

1 Según datos del IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía español– en la página 56 de su informe “Análisis del consumo energético del sector residencial en España”, en los edificios residenciales españoles el sistema de calefacción supone el 47% del consumo energético total, la producción de acs el 18,9%, la cocción de los alimentos el 7,4% y los electrodomésticos un 21,7%, mientras que la iluminación únicamente supone un 4,1% y el aire acondicionado un escasísimo 0,8% pese a que un 49% de los hogares disponen de algún tipo de sistema de refrigeración.

2 La Ley 17/2007, de 4 de julio, confirmó la condición de Red Eléctrica como gestor de la red de transporte y le atribuyó la función de transportista único, en régimen de exclusividad. En 2010, Red Eléctrica adquirió, en cumplimiento de esta Ley, los activos de Baleares y Canarias y el resto de los activos peninsulares pendientes de transferir de las empresas eléctricas. Esta compra supone la consolidación definitiva del modelo de transportista único y operador del sistema eléctrico.

3 Según datos del IDAE en la página 48 de ^{citado} informe, en el 82% de los edificios residenciales españoles el sistema de calefacción es individual, existiendo calefacción central únicamente en el 8% de los hogares.

tienen que ver con la estructura de la red y los elementos de transmisión, transformación y distribución así como con el sistema de medición de energía utilizado y se dan usualmente como producto de la operación normal del sistema. No obstante, un correcto diseño del sistema y una correcta selección de equipos o instrumentos pueden minorar sustancialmente estas pérdidas)⁴. La gestión de la red eléctrica es muy compleja debido a que este tipo de energía no se puede almacenar en grandes cantidades. Por eso, en todo momento, su producción debe igualarse a su consumo de forma precisa e instantánea lo que requiere su equilibrio constante.

Obviamente, si se producen pérdidas cuantiosas en la red y, adicionalmente, la gestión de dicha red –en cuanto a equilibrado de la demanda y la producción– es muy compleja, sería muy conveniente, por una parte, producir electricidad lo más cerca posible del consumidor final y, por otra parte, generar exclusivamente la energía que se va a consumir como electricidad, generando el calor –mucho más sencillo de almacenar– por otros métodos.

Otra opción es la producción lo más cerca posible del usuario final, pero de forma que se permitiera aportar el excedente a la red común para facilitársela a usuarios que tuvieran déficit de producción en esos momentos. La dificultad hasta tiempos recientes consistía en la legislación existente en la que podía producirse para autoconsumo pero se exigían ciertos requisitos que prácticamente lo hacían inviable para los pequeños productores por la complejidad de la gestión (alta fiscal como productor de energía, liquidación periódica de impuestos, etc.).

A este respecto, las perspectivas han cambiado satisfactoriamente tras la aprobación del Nuevo Marco Regulatorio para la Actividad de Distribución de Energía Eléctrica en España⁵.

Sin embargo, aunque se están desarrollando interesantes sistemas de generación eléctrica distribuida con energías convencionales, como la micro y minicogeneración, que permiten la utilización de los subproductos, con el consiguiente ahorro energético, lo evidente es que será prácticamente imposible conseguir un edificio “casi cero energía” sin la utilización in situ de energías renovables para la producción de energía térmica y energía eléctrica.

Sin embargo, muchas de estas energías renovables no son, por su propia naturaleza, continuas en el tiempo, presentando grandes periodos en que no se pueden utilizar –el sol por la noche o cuando está muy nublado, el viento cuando existe calma, etc.–, por lo que se deberá producir en exceso cuando exista disponibilidad y almacenar para cuando no exista. No obstante, el almacenaje de energía no es fácil y conlleva considerables dificultades al ser incorporado en un edificio.

No todas las energías renovables pueden ser incorporadas a un edificio. Las más habituales en la actualidad son la energía solar –en forma fotovoltaica y en forma térmica–, la eólica, la biomasa y, en forma incipiente, la química, principalmente mediante la utilización del hidrógeno.

⁴ Y esto pese a que los requerimientos de calidad de suministro se regularon en el RD 1955/2000, la Orden ECO/797/2002 y el RD 1634/2006, en los que se contempló, entre otros aspectos, el cumplimiento de unos límites de calidad zonal e individual denominados TIEPI y NIEPI.

⁵ El 18 de noviembre de 2011 el Consejo de Ministros, trasponiendo a la legislación española la correspondiente Directiva Europea sobre Energías Renovables, aprobó el Real Decreto que regula las condiciones administrativas y técnicas básicas para la conexión a la red eléctrica de las instalaciones de pequeña potencia que produzcan con fuentes renovables o con cogeneración.

Algunas de dichas energías renovables pueden almacenarse como energía primaria –por ejemplo, la biomasa–, pero el resto deben indefectiblemente almacenarse como electricidad, calor e, incidentalmente, mediante la utilización de reacciones químicas.

2.- Métodos de almacenamiento de energía susceptibles de ser integrados en edificios.

En primer lugar tendremos que distinguir si estamos hablando de energía eléctrica o energía calorífica, puesto que los almacenamientos de ambas son radicalmente distintos y, en segundo lugar habrá que eliminar aquellos métodos que no puedan integrarse en un edificio.

Así, por ejemplo, para la acumulación de energía eléctrica existen en las grandes centrales de producción métodos de almacenamiento de energía –si no plenamente eléctrica, que al menos puede transformarse en ésta–, como los bombeos⁶, que no pueden en ningún caso incorporarse a un edificio, o la acumulación mediante compresión de aire (CAES o *Compressed Air Energy Storage*) que podrían incorporarse con mucha dificultad, lo que los hace descartables en principio.

2.a.- Acumulación de energía eléctrica.

La acumulación de energía eléctrica en un edificio puede realizarse de cuatro formas: Medios químicos (Baterías, hidrógeno, etc), volantes de inercia, supercondensadores y SMES, pero no todas son adecuadas para el almacenamiento de una cantidad respetable de energía eléctrica durante periodos variables de tiempo que es lo que sería necesario para el almacenamiento de la energía generada en un edificio con fuentes renovables o cogeneración.

Los primeros de ellos –los volantes de inercia– tampoco son acumuladores específicos de energía eléctrica, dado que almacenan dicha energía en forma de energía cinética. Se utiliza la energía eléctrica que se pretende almacenar para hacer girar un rotor y un volante de inercia alrededor de un eje central, a una velocidad considerablemente elevada. La energía eléctrica vuelve a producirse invirtiendo el proceso y utilizando el motor como generador.

El problema es que estos volantes permiten, al invertir el proceso, generar altas potencias, pero durante periodos muy breves. Incluso los volantes de alta velocidad sólo pueden producir electricidad durante periodos de alrededor de una hora, lo que los hace idóneos para alimentar los breves periodos entre la caída de la red y la entrada de un grupo electrógeno, pero no para servir como sistema de almacenamiento de la energía producida en un edificio por una fuente renovable intermitente que permita su utilización

⁶ El sistema de bombeo, con el que se consiguen centrales eléctricas reversibles, ha sido tradicionalmente utilizado desde los años veinte. No se trata específicamente de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, dado que lo que almacena es energía potencial.

Consiste en utilizar la energía eléctrica que se produce en exceso en un determinado momento para volver a bombear el agua que ya ha pasado por la turbina en una central hidroeléctrica (suele denominarse este proceso turbinar el agua) hasta el embalse del que procede, de modo que quede disponible para volver a ser turbinada y generar de nuevo electricidad en otro momento en que se demande).

Obviamente no es una solución ideal, pero permite una cierta gestión del binomio producción–demanda en la red eléctrica sin desperdiciar el exceso de producción derivándolo a tierra.

durante los largos periodos en que es previsible que dicha fuente no esté disponible (por ejemplo, de noche, en el caso de una instalación fotovoltaica).

Los SMES (*Superconducting Magnetic Energy Storage*) transforman la energía eléctrica en magnética y la almacenan en dicha forma, para ello necesitan transformar la corriente alterna en continua mediante un rectificador de corriente y volver a transformarla en alterna mediante un alternador o inversor cuando son descargados.

Es necesario refrigerar los SMES, pero esto, que en principio podría ser un inconveniente, puede no serlo si se utiliza el calor generado para la calefacción o la producción del agua caliente sanitaria que demande el edificio.

Por otra parte, el rendimiento de los SMES es altísimo, lo que podría hacer muy interesante su utilización en los edificios si no fuera por dos inconvenientes: su precio y los campos magnéticos originados.

De momento esta tecnología se utiliza en grandes centrales de producción (del orden de cómo mínimo los 10 MW) lo que la convierte en poco indicada para su instalación en un edificio, aunque podría evaluarse su uso en un conjunto de edificios, sobre todo si la evolución de la tecnología abarata el sistema.

Los supercondensadores son similares a los condensadores convencionales pero con áreas mucho mayores (hasta diez mil veces mayores que las de un condensador convencional) y utilizando dieléctricos líquidos.

La utilización de estos dieléctricos líquidos obliga a que la tensión máxima a que son sometidos se mantenga por debajo de 3 Voltios para evitar que dicho dieléctrico de electrolice, lo que podría hacerlos ideales como sistema de almacenamiento de energía eléctrica de origen fotovoltaico. Además su rendimiento es elevadísimo (aproximadamente el 95%) y los tiempos de carga y descarga son muy breves.

El rango de potencia en que estos dispositivos son adecuados es desde cero hasta varios cientos de kilovatios, lo que permite su utilización en la gama de producción de cualquier edificio de tamaño medio. Su inconveniente principal es nuevamente el precio.

Finalmente encontramos el sistema de almacenamiento de energía eléctrica mediante procesos químicos, de los que la forma más conocida es la utilización de baterías y la más novedosa y con gran futuro, la utilización de electrolizadores que permitan extraer hidrógeno del agua para almacenarlo y volver a producir electricidad mediante pilas de combustible, encontrando un producto intermedio en las baterías de flujo Redox.

Las baterías son elementos que almacenan energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos. La energía almacenada puede ser luego recuperada en muchos casos casi en su totalidad (los rendimientos varían desde un 60 a un 95%).

Su mayor inconveniente es que todas las baterías presentan el denominada “efecto memoria”, que acorta su vida útil si no son descargadas en su totalidad antes de ser recargadas. Esto es un inconveniente enorme para su utilización asociada a la producción eléctrica con fuentes renovables, dado que dicha producción es variable, por lo que es prácticamente imposible ajustar la producción diaria a la demanda y vaciar las baterías antes de volver a comenzar su carga, salvo que se descargue la energía no consumida a tierra. Sin embargo, el descargar lo no consumido a tierra presenta el inconveniente de que no se pueden compensar los momentos de producción excedente con los escasos (por ejemplo no se podría acumular el exceso de energía generado un día soleado para aprovecharlo uno lluvioso).

De entre las baterías que encontramos en el mercado, las más comunes son las de Plomo-ácido (denominadas así porque tienen electrodos de plomo y un electrolito de ácido sulfúrico), pero son las que presentan menores densidades energéticas, por lo que requieren mayor número de unidades para acumular igual cantidad de energía.

Adicionalmente presentan una vida útil relativamente corta⁷ y necesitan mantener los niveles de agua en su interior, aunque sólo pierden alrededor de un 1% de energía mensual debido al proceso de autodescarga durante el modo espera.

Las baterías de Níquel–Cadmio –en las que el cátodo está compuesto de hidróxido de níquel y el ánodo de un compuesto de cadmio, mientras que el electrolito es de hidróxido de potasio– son también muy antiguas y presentan una densidad energética apenas ligeramente superior, pero, a cambio, su vida útil es elevada (bien cuidadas pueden funcionar correctamente entre 10 y 15 años) y soportan altas temperaturas (hasta 50°C), lo que las hace adecuadas para el almacenamiento de la producción de origen fotovoltaico, sin embargo, su proceso de autodescarga durante el modo espera presenta valores que pueden llegar a quintuplicar los de las baterías de Plomo–ácido.

Las baterías de Lón–Lítio pueden llegar a triplicar la densidad energética de las de Níquel–Cadmio y su tasa de autodescarga es la más baja de todas las baterías⁸, aunque la vida útil que presentan es menor que las anteriores (de seis a diez años).

Utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO₄) u óxido de manganeso, y trabajan con voltajes más elevados que las anteriores, pero su principal inconveniente es su coste.

Finalmente, las baterías NaS son las que presentan mayor densidad energética y además han sido diseñadas para ciclos de descarga largos (ocho horas) lo que las hace ideales para ciclos de carga–descarga diarios.

Su rendimiento y su vida útil son muy elevados (cerca del 90% y quince años), pero generan mucho calor (trabajan a más de 270°C) que deberá ser eliminado o utilizado como subproducto.

Las baterías de flujo Redox son consideradas como elementos intermedios entre las baterías propiamente dichas y las pilas de combustible. Tienen una vida útil elevada y un buen rendimiento, pero se trata de equipos más complejos que las baterías –lo que encarece su mantenimiento– y ocupan mayor volumen.

Finalmente, se puede utilizar la energía eléctrica excedente para operar un electrolizador que extraiga hidrógeno del agua. El hidrógeno así obtenido se almacena y es posteriormente utilizado para generar electricidad en una pila de combustible.

En el libro *Guía del Almacenamiento de Energía*, publicado en 2011 por la Consejería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid se incorpora una comparativa de estas tecnologías del almacenamiento de energía eléctrica⁹ que nos indica que para su utilización a largo plazo (considerando que este largo plazo son varias horas pero menos de un día) o muy largo plazo (entre 24 horas y una semana) los métodos más adecuados y que se pueden incorporar a los edificios son SMES, baterías, baterías de flujo redox e hidrógeno. Para un plazo superior a una semana sólo hidrógeno.

⁷ Sobre todo debido a que sus requisitos de mantenimiento son muy exigentes.

⁸ Lo que es muy importante para este tipo de baterías dado que sufren graves deterioros si se produce una descarga completa, lo que obliga a incorporar a las mismas mecanismos de protección que elevan su costo.

⁹ *Guía del Almacenamiento de Energía*, página 40.

2.b.- Acumulación de energía térmica.

Para el almacenamiento de energía térmica lo usual es elegir un método de almacenamiento de calor sensible, pero en estos momentos la tecnología permite ya evaluar la conveniencia de la acumulación de calor latente.

Para la acumulación de calor sensible lo más usual es la utilización de agua debido a que su capacidad térmica es muy elevada y además presenta otras ventajas como no ser inflamable ni tóxica. Sin embargo, se necesitan enormes volúmenes para poder contemplar no ya una acumulación estacional, sino simplemente para cubrir las demandas invernales diarias de calefacción o las de agua caliente sanitaria (en la tabla 1 se incluyen los volúmenes de agua caliente sanitaria a 60°C que exige el Código Técnico de la Edificación español), sobre todo si se acumula a baja temperatura (<50°C) para minimizar pérdidas. Esto ha hecho que se contemple con mayor interés otras opciones, como el almacenamiento geotérmico estacional (ASET o Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica) o las propias masas del edificio en lo que se denominan estructuras termoactivas.

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 1.- Volúmenes de acumulación mínimos de agua caliente sanitaria a 60°C de producción termosolar, incorporados en el apartado 3.1.1 del Documento Básico HE4 del Código Técnico de la Edificación (legislación española aprobada en 2006).

Vemos que, sólo para agua caliente sanitaria, una familia de cuatro personas que resida en una vivienda unifamiliar necesitaría 43.800 litros anuales a 60°C y, aunque obviamente no es necesario acumular la totalidad del agua necesaria para todo un año, si queremos garantizar que toda la necesaria se caliente con energía solar, habría que acumular al menos para una semana (y con dudas de que fuera suficiente ante, por ejemplo, una temporada lluviosa prolongada), lo que supone un volumen de casi un metro cúbico y un peso, sólo del agua, de una tonelada.

Para calefacción se estima una acumulación estacional de varios cientos de metros cúbicos por vivienda lo que suponen valores inviables en la mayor parte de los edificios,

con el inconveniente añadido de que los problemas de estratificación térmica obligan a establecer relaciones bastante estrechas entre las dimensiones de altura y anchura de los acumuladores.

Otro problema a considerar con la acumulación a baja temperatura es, por una parte, que obliga a considerar sistemas de calefacción de baja temperatura (suelo radiante, métodos convectivos, etc.) y, por ende, de mayor superficie radiante y que es necesaria mayor temperatura para la producción de frío por absorción, por lo que sólo podremos utilizar la energía almacenada para la calefacción y no para la refrigeración (al menos no sin la utilización de un método de sobrecalentamiento adicional).

Si deseamos acumular a media temperatura (entre 50 y 100°C), se suele utilizar agua y el consiguiente volumen se ve incrementado por la necesidad de excelentes aislamientos para evitar pérdidas.

La acumulación a alta temperatura (>100°C) se restringe hoy en día al ámbito puramente industrial, utilizándose para ello líquidos con punto de ebullición muy alto (aceite térmico, sales fundidas, hormigón o arcilla refractaria usualmente).

Una forma en que tradicionalmente se acumulaba calor sensible era en los propios paramentos del edificio en que incidía el sol. Con esto se conseguía desplazar y atenuar la onda térmica diaria, de manera que el calor pasaba al interior del edificio horas después de producirse la radiación solar y en forma atenuada; es decir, los cerramientos tradicionales de un edificio –fundamentalmente paredes y cubiertas– siempre se han comportado térmicamente de la misma forma: captan el calor del ambiente exterior y el procedente del sol y lo usan para calentarse ellos. Sólo cuando están más calientes que el espacio interior, comienzan a emitir calor hacia éste.

Esto supone que el calor exterior tarda un tiempo, tanto mayor cuanto mayor sea la inercia térmica del material de construcción, en pasar al interior: es lo que denominamos desfase de dicha onda térmica. Como además parte del calor se ha consumido en mantener caliente dicho material de cerramiento, sólo el resto del calor pasará al interior, es decir, la onda térmica se habrá amortiguado tanto más cuanto más energía se necesite para calentar dicho material (el metal, por ejemplo, se calienta mucho más rápidamente que el adobe, tal y como puede verse en la figura 1).

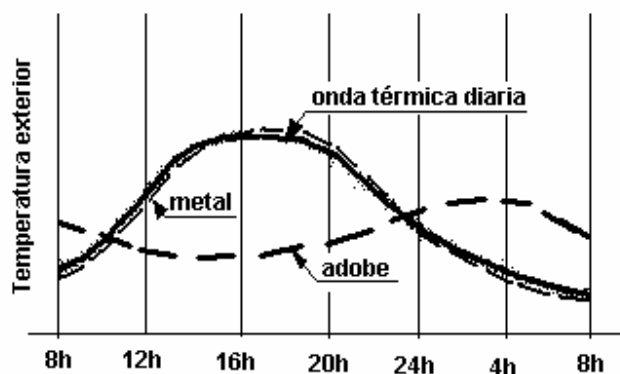


Fig. 1.- Onda térmica diaria y su desplazamiento en el adobe y en el metal.

Las tipologías constructivas de la arquitectura moderna –ejecutadas haciendo una enorme abstracción del clima y de la energía y basando el confort sólo en la temperatura seca del aire interior– han modificado la construcción tradicional, por una parte pasando a

depender de materiales de aislamiento de poco espesor en los paramentos opacos y, por otra parte, incorporando grandes paños acristalados.

Aunque la instalación de estos grandes paños acristalados disminuya paulatinamente, como será previsible con las nuevas normativas, lo que sí es seguro es que en los paramentos opacos se va a incrementar exponencialmente el espesor del aislamiento y esto ocasionará que, dependiendo de la posición de dicho aislamiento varíe la inercia térmica de la construcción –interior y/o exterior– y que la energía solar se acumule únicamente en aquellas partes donde sea factible que llegue, es decir en la cara exterior del cerramiento opaco o en paramentos interiores que sean accesibles para la radiación que penetre a través de dichos paramentos acristalados.

La acumulación de calor en la cara exterior de un cerramiento es prácticamente inútil (sólo altera ligeramente el coeficiente de película exterior), salvo que pueda encontrarse un método para trasladar este calor acumulado a una parte donde pueda ser utilizado directamente o almacenado para una utilización ulterior.

Existen métodos experimentales o que están experimentando una comercialización incipiente, para efectuar este traspaso (intelliglass o integración de microtubos en el material de acabado del paramento), pero, en cuanto a almacenamiento de energía, el resultado final es equivalente a tener más paneles solares térmicos, hay que acumular el calor obtenido en otro sitio.

La acumulación en paramentos interiores permite una conservación del calor acumulado de duración relativamente breve, dada la cantidad de masa de dichos paramentos. Adicionalmente, hay que tener cuidado con no elevar excesivamente la temperatura media radiante de los mismos para evitar el disconfort por asimetrías térmicas.

En la tabla 2 vemos los valores máximos admitidos de asimetrías térmicas, para conseguir que exista menos de un 5% de personas insatisfechas.

Valor de la Asimetría de la Temperatura radiante (°C) para un 5% de PPD			
Techo Caliente	Techo Frío	Pared Caliente	Pared Fría
4,5	14,0	22,5	10,5

Tabla 2.- Valor de la asimetría de la temperatura radiante para un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) del 5%.

Los datos se obtuvieron mediante experimentos realizados en cámaras climáticas, sobre personas sentadas y ataviadas con prendas de aislamiento 0,6 clo. En dichas cámaras climáticas se variaban alternativamente las temperaturas de techo, suelo y una o varias paredes manteniendo el resto de los cerramientos a temperatura constante. Los sujetos del experimento daban su opinión sobre la sensación de confort que tenían en cada momento (opinión, evidentemente, totalmente subjetiva) y de esta opinión se obtuvo el PPD.

Vemos que el valor más restrictivo, es decir la asimetría de la temperatura radiante que produce mayor número de personas insatisfechas, es el correspondiente a techo caliente, seguido a mayor distancia por la pared fría. Afortunadamente, los paramentos interiores

susceptibles de ser calentados por la radiación solar incidente a través de un paramento acristalado son con mayor frecuencia suelo o paredes interiores, por lo que estaríamos en los casos de techo frío y pared caliente, lo que nos permite asimetrías térmicas bastante amplias.

El almacenamiento en forma de calor latente (cambiando de estado el material de acumulación) es menos eficiente, pero para una acumulación diaria podría ser muy interesante, en tanto en cuanto, podría eliminar las asimetrías térmicas si se elige un material con temperatura de cambio de fase similar al de la temperatura operativa exigida para el confort, tanto más cuanto no presentan los problemas de estratificación térmica usuales en los acumuladores de calor sensible.

Los materiales más usualmente utilizados en estos momentos para este proceso son parafinas, ya que presentan temperaturas de cambio de fase adecuadas, calor de fusión alto (entre 200 y 240 kJ/kg) y capacidades térmicas bastante elevadas (~2,1 kJ/kg K) o ceras. Su gran inconveniente es su inflamabilidad, lo que obliga a protegerlas con materiales con buenas capacidades de resistencia al fuego.

También se puede acumular energía térmica utilizando materiales que produzcan reacciones químicas a una determinada temperatura y que dichas reacciones sean reversibles al liberar calor. Su mayor ventaja es que permiten separar los diversos materiales (reactantes) tras reaccionar de forma endotérmica y volverlos a juntar para producir la reacción exotérmica cuando deseemos recuperar el calor, por lo que no se producen pérdidas termodinámicas. Sin embargo, estos sistemas de acumulación adolecen aún de cierta inestabilidad cíclica y necesitan mayor investigación para encontrar mejores conductividades térmicas.

Una variante podría ser utilizar el fenómeno de sorción, dado que ciertos materiales son capaces de absorber o adsorber a otros (generalmente, en nuestro caso, vapor de agua) si se les suministra calor y romper la unión posteriormente, liberando simultáneamente calor.

Sin embargo, los almacenamiento termoquímicos y los de calor latente son aún poco usuales, por lo que es muy conveniente contemplar con detenimiento la utilización de estructuras termoactivas (acumular en los propios materiales de construcción del edificio, no el calor captado directamente en los mismos, sino también el captado en paneles solares térmicos que es transportado a estos materiales de construcción mediante circuitos hidráulicos que comunican los paneles con circuitos hidráulicos integrados en dichos materiales) y la de circuitos geotérmicos de calor sensible en sus dos variantes: ASET-A (Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en Acuíferos)¹⁰ y ASET-B (Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en Sondeos)¹¹.

En España los primeros son de gestión administrativa más compleja debido a que requieren de permisos de la Confederación Hidrográfica correspondiente y no sólo del Ministerio de Industria y Minas, pero también son más eficientes.

¹⁰ En inglés *Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)*.

¹¹ En inglés *Borehole Thermal Energy Storage (BTES)*.

3.- Impactos ocasionados en un edificio por los diversos Métodos de almacenamiento de energía.

3.a.- Acumulación de energía eléctrica.

Como ya hemos visto, dentro de los sistemas de acumulación de energía eléctrica, los únicos que es previsible que se utilicen en los próximos años son los químicos (baterías, baterías de flujo Redox e hidrógeno), aunque también es viable la utilización de supercondensadores pero de precio prohibitivo.

La instalación de supercondensadores solo influiría en el edificio en tanto en cuanto requieren espacio y la estructura portante del mismo debe soportar su peso. Al no necesitar contacto con el exterior, pueden instalarse en áreas de sótano y sobre solera, lo que evitaría la afección estructural del edificio.

El principal impacto ocasionado por las baterías es, igualmente, su peso y su volumen. A continuación se incluyen las densidades energéticas de los distintos tipos de baterías existentes en el mercado:

- Baterías de Plomo-ácido: 25 a 45 Wh/kg
- Baterías de Níquel-Cadmio: aprox. 50 Wh/kg
- Baterías de Ión-Lítio: 100 a 150 Wh/kg
- Baterías NaS: 150 a 240 Wh/kg

Esto significa que para la acumulación de una cantidad sustancial de energía se necesitan conjuntos de múltiples baterías, lo que se traduce en espacio y peso, aunque también es este caso pueden instalarse en áreas de sótano –sólo evacuando el calor generado– y sobre solera, lo que evitaría igualmente la afección estructural del edificio.

Adicionalmente, además del riesgo eléctrico, pueden producirse fugas de contaminantes (metales pesados) y ácidos corrosivos y, en algunos casos, temperaturas elevadas que obligarán a cuidar los acabados de las salas en que se instalen para que no se produzca una autoinflamación de los mismos.

Sin embargo, este calor residual puede ser utilizado como subproducto para el precalentamiento gratuito del aire de ventilación.

De igual forma, de una célula de combustible no sólo obtenemos energía eléctrica, sino también agua y una cantidad variable de calor que va a depender del tipo de célula de que se trate (incluso en condiciones de laboratorio isotérmicas, nunca se consigue convertir la totalidad de la energía química en eléctrica, sino que siempre se pierde una pequeña cantidad en forma de calor).

Dado que el objetivo esencial de las células de combustible es la obtención de electricidad, podemos considerar que los productos secundarios –agua y calor– deben eliminarse o reutilizarse para otros usos. Sin embargo, evidentemente la evacuación directa de vapor de agua a alta temperatura debería matizarse mucho, ya que, no solamente crearíamos en nuestras ciudades una enorme capa de gases de efecto invernadero, sino que podríamos estar modificando el microclima local en cuanto a temperatura y humedad relativa (incluso si el sistema se generaliza en grandes ciudades, podría alterarse el clima a nivel comarcal, con variaciones de temperatura y humedad relativa como en el caso anterior, pero también pluviométricas y de dirección e intensidad de vientos), por lo que lo lógico es reutilizar este vapor de agua para otros aprovechamientos energéticos. Es decir, la utilización de pilas de combustible va a verse indefectiblemente asociada a la trigeneración, en que el calor residual se utilice para

calefacción y producción de agua caliente sanitaria en invierno y para la producción de refrigeración en verano utilizando equipos de absorción, lo que nos obliga a no disminuir en exceso el calor generado o utilizar energía solar térmica como apoyo, ya que estos equipos necesitan una temperatura mínima para su funcionamiento.

Sin embargo, en el caso de la acumulación de energía eléctrica en forma de hidrógeno el gran problema va a ser la afección que podría sufrir el edificio tanto constructiva como estructuralmente, de modo que podrá adaptarse en edificios existentes, sólo si las condiciones de almacenaje son compatible con las condiciones constructivas y afectará considerablemente al diseño de los edificios nuevos, sobre todo dada la peligrosidad del hidrógeno, de la que tenemos abundantes pruebas.

El almacenaje de hidrógeno en forma gaseosa supone la utilización de enormes volúmenes, por lo que es poco probable que se opte por este tipo de depósitos, sobre todo en edificios preexistentes, por lo que será más probable que los depósitos utilizados para serán de dos tipos –sobrepresión o criogénicos–, y ambos supondrán impactos estructurales en los edificios.

Desde el punto de vista de la estructura local de los depósitos de hidrógeno licuado, hay que considerar que éstos deberán respetar los Códigos de diseño reconocidos internacionalmente, como ISO, ASME (USA), CODAP (Francia), AD-MERKBLATT (Alemania), el Código Sueco de Recipientes a Presión (Suecia), el British Standard (Inglaterra) o la MIE-AP10 de España, en los apartados existentes (esta norma hace referencia a su vez a los métodos de cálculo y diseño de las anteriores). Si el depósito está construido “in situ”, y, fundamentalmente, si es de alta capacidad, deberá además tener en cuenta los efectos sísmicos y las acciones meteorológicas, por lo que deberá cumplir todas las condiciones tanto estando vacío como lleno.

En cuanto el impacto que va a causar en la estructura portante de un edificio el almacenamiento del hidrógeno en forma líquida, se debe tener en cuenta tres aspectos muy importantes: su peso (el H₂ licuado es ochocientas veces más denso que en forma gaseosa), su temperatura (el H₂ se licua, en condiciones de presión normales, a una temperatura de –253°C, sólo 20K por encima del cero absoluto) y el hecho de que se trata de un líquido combustible, es decir, posee un punto de inflamación igual o superior a los 38°C, por lo que debe ser tratado como tal. Esto supone que se van a generar impactos de tres tipos:

- Los ocasionados por su peso.
 - Los generados por una eventual fuga de hidrógeno a muy baja temperatura.
 - Los ocasionados por eventuales explosiones que lleguen a colapsar la estructura de los edificios.
- Impactos estructurales generados por el peso propio del depósito.

En cuanto a los impactos estructurales, al instalarse estos nuevos sistemas, se produce una importante variación de la forma de trabajar de la estructura, principalmente por el aumento de cargas. Las correspondientes solicitaciones ocasionan una reducción de los coeficientes de seguridad considerados en el cálculo inicial sobre estructuras existentes, así como deterioros de los materiales de construcción e inicio de los procesos patológicos derivados. La influencia de estos efectos debe analizarse para los Estados Límites de Servicio de Deformación y para los Estados Límites Últimos de Capacidad Estructural

El almacenaje de 20.000 l de hidrógeno líquido supone un peso aproximado de 14 kN. A esto habrá que incrementar el peso del recipiente contenedor, que debiendo

soportar altas presiones y bajas temperaturas, pueden ser espesores importantes de material, que lleve a pesos mayores.

Sin embargo, esto no supone una dificultad a la hora de incorporarlo a las edificaciones, ya que las estructuras de edificación pueden ser diseñadas para soportar estas cargas. En cambio, el coste final de éstas aumentará (entre ligera a moderadamente) en función del área ocupada por los depósitos. La dificultad radicaría en la instalación en estructuras existentes, donde no se hubiera previsto dichas cargas.

- Impactos estructurales generados por una eventual fuga de hidrógeno a muy baja temperatura.

Un gran peligro que se debe afrontar al instalar estos recipientes en edificios será la afección que puedan sufrir los elementos estructurales del mismo ante una fuga. Esta posibilidad no es precisamente hipotética, ya que se estima que la evaporación y escape mínimos que se producirán en los depósitos es de alrededor del 1,7% diario.

Un escape de hidrógeno de un depósito criogénico causaría dos efectos diferentes: por una parte un enfriamiento brusco de todos los objetos y ocupantes que alcance y una expansión brusca del gas. Esto significa que todo lo que quede al alcance de una hipotética fuga –tanto si se trata de elementos de la propia instalación de hidrógeno (fundamentalmente del circuito primario y del depósito, como tuberías, válvulas, manómetros, niveles, etc.) como si se trata de elementos ajenos a dicha instalación– deberán soportar al menos la presión de prueba del depósito (la vaporización produce un enorme volumen de gas) y su temperatura, además de ser compatibles con el hidrógeno.

En la actualidad no es habitual verificar la presión en las estructuras de edificación en los casos de depósitos o silos, por lo que no es un parámetro frecuentemente manejado en el diseño y cálculo de estructuras. La incorporación de los depósitos de a los edificios supondría la necesidad de inclusión de estos parámetros en la normativa estructural de edificación (en España CTE SE), en la que en estos momentos no se contempla. Para encontrar alguna referencia hay que remitirse a la normativa de hormigón estructural (EHE), que contempla edificación y obra civil, y es en este último caso donde aparecen estos conceptos.

Las temperaturas de servicio a las que se suelen presentar las estructuras de edificios, no están preparadas para soportar muy bajas temperaturas. La exposición a temperaturas criogénicas causa una intensa fragilización de materiales como el acero, el aluminio o el hormigón, dando lugar a grietas en chapas o estructuras y pudiendo provocar el colapso de las mismas por rotura o desmoronamiento. Se han determinado casos de colapso de edificios realizados con estructuras metálicas expuestas a temperaturas de apenas 10°C bajo cero.

En edificios de nueva construcción, se podría adaptar los anteriores efectos de varias maneras. La primera pueden ser variar el material con el que se ejecuta la estructura (al menos en las partes de la estructura del edificio susceptibles de encontrarse en el camino de una posible fuga), como el hormigón o el acero estructural actuales por otros materiales resistentes a estas condiciones de presión y temperatura y compatibles con el hidrógeno (que no sean atacados por éste). Un ejemplo podría ser el acero austénico al cromo–níquel, ya que es capaz de soportar una temperatura de –270°C o los aceros estructurales soldables de grano fino, para bajas temperaturas. Éstos últimos se presentan en calidades altas como S355ML y

S460ML. Sin embargo, sea cual sea el material elegido, se deberá considerar en el cálculo estructural la reducción progresiva del espesor del material, en caso de que el hidrógeno provoque éste efecto.

Otra forma de actuar podría ser el aislar térmicamente el elemento estructural con un material aislante de suficiente espesor como para que la temperatura en la cara exterior del elemento estructural no afecte a su comportamiento mecánico. Este material aislante deberá ser resistente al hidrógeno, es decir, se tratará de materiales no combustibles y de punto de fusión superior de 850°C.

Finalmente, la tercera forma de protección estructural sería el separar el depósito de hidrógeno del elemento de estructura lo suficiente como para conseguir que el hidrógeno se haya calentado lo suficiente cuando lo alcance como para no afectarle.

- Impactos estructurales generados por eventuales explosiones.

Aun con toda la peligrosidad que presenta la fuga de hidrógeno, es aún más peligroso el riesgo de explosión, por lo que las normas de instalación de estos depósitos que se están publicando indican que deben ser dotados de válvulas de seguridad (al menos dos unidades) colocadas en la fase de gas –tras el gasificador–, de forma que la posibilidad de que sean bloqueadas por la formación de hielo sea mínima, y en comunicación permanente con el interior del recipiente.

Obviamente, la salida de estos elementos de seguridad debe estar dirigida de forma que no dañe los elementos estructurales del depósito o a las personas o bienes que puedan estar próximas (la temperatura del hidrógeno líquido causaría quemaduras de consideración o lesiones pulmonares a cualquier persona a la que alcanzase o que lo inhalase), ni debe crear condiciones peligrosas ambientales.

El Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España fijó en su momento –en la ITC MIE-AP10 (actualmente derogada)– unas distancias mínimas que hay que dejar entre los límites del depósito con sus equipos auxiliares y los elementos estructurales (tabla 3), para diversos riesgos y en función de la siguiente clasificación de los depósitos:

- A: Depósitos desde 450 a 5.000 litros.
- B: Depósitos desde 5.001 a 20.000 litros.
- C: Depósitos desde 20.001 a 60.000 litros.
- D: Depósitos desde 60.001 a 200.000 litros.
- E: Depósitos desde 200.001 a 400.000 litros.
- F: Depósitos desde 400.001 a 2.000.000 litros.

De dicha tabla, para los depósitos a utilizar para las pilas de combustibles, debemos centrarnos en los depósitos de gases comburentes para el oxígeno y en los de gases inflamables para el hidrógeno. En el actual RD 379/2001 podemos incluir el hidrógeno en el ámbito de la MIE-APQ-1 “almacenamiento de líquidos inflamable y combustibles”, pero también, para depósitos criogénicos, en la MIE-APQ-5 “almacenamiento de botellas y botellones de gases comprimidos licuados y disueltos a presión”

Tamaño del depósito		A		B		C		D		E		F	
Tipo de gas		Comb.	Inflam.	Comb.	Inflam.	Comb.	Inflam.	Comb.	Inflam.	Comb.	Inflam.	Comb.	Inflam.
Tipo de riesgo	Locales de trabajo (edificaciones, vestuarios) (1)	3	5	5	10	7,5	15	10	20	10	20	10	30
	Sótanos, alcantarillados, Galerías servicio	5	5	5	10	7,5	10	7,5	10	10	20	10	20
	Motores, Interruptores (No antideflagrantes)	–	5	–	10	–	15	–	15	–	15	–	20
	Depósitos aéreos de material Inflamable	5	5	10	10	15	10	15	10	20	10	30	20
	Depósitos subterráneos de material Inflamable	5	5	5	5	7,5	5	10	5	15	5	20	10
	Vías públicas, carreteras, ferrocarriles	3	5	5	10	5	15	5	25	10	(2)	20	(2)
	Instalaciones con peligro de incendio (madera, plástico, etc.)	5	8	5	10	7,5	15	10	25	15	30	20	30
	Llamas controladas (sopletes, mecheros, etc.)	5	7,5	5	10	7,5	15	10	25	15	30	15	30
	Propiedad colindante	1	2	1,5	3	2	4	2	4	5	(2)	10	(2)
	Proyección líneas eléctricas	–	8	–	15	5	15	5	15	3	15	5	15
Edificios habitables	5	7,5	7,5	10	10	12,5	12,5	15	15	(2)	15	(2)	

(1) Se excluyen las zonas de manipulación y utilización del producto (talleres, zona de producción)

(2) Se aplicará lo indicado en distancias de seguridad.

Tabla 3: Distancias mínimas recomendadas. Fuente: ITC MIE-AP10. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.

En el caso de existir varios depósitos en el mismo recinto, la anterior ITC MIE-AP10 indicaba que la separación recomendada entre ellos, siempre que sea posible, debería ser la semisuma de sus radios y siempre superior a 0,5 m. Las distancias indicadas en la tabla I se medirán siguiendo la posible trayectoria del gas en caso de escape contorneando las paredes de protección si existen, tanto en sentido horizontal como vertical, estimando además los ángulos rectos como equivalentes a 2,5 m. cuando los tramos que constituyan sus lados tuvieran una longitud mínima de 1,5 m.

También indicaba que cuando no fuera posible cumplir con dichas distancias, deberían justificarse todas las variaciones que se introdujeran y las medidas de otro orden que se tomaran en sustitución.

En el actual RD 379/2001 sólo se marcan distancias para depósitos de más de 50.000 litros (tabla 4), aplicándose estos valores con los coeficientes reductores contemplados en la tabla 5 o los multiplicadores de la tabla 6, del mismo RD, cuando los volúmenes acumulados son menores.

1	(1)																					
2	(3)	(2)																				
3.1	60	(4)	(6)																			
3.2	30	(4)	(6)	(6)																		
3.3	30	(4)	(6)	(6)	(6)																	
3.4	10	(4)	(6)	(6)	(6)	(6)																
4.1	60	(5)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(2)														
4.2	30	(5)	(7)	(7)	(7)	(7)	(12)	(2)														
4.3	20	(5)	(7)	(7)	(7)	(7)	(2)	(2)	(2)													
5	30	(5)	30	20	15	10	30	20	15	(1)												
6	(1)	30	60	30	20	20	60	20	15	30	(1)											
7	(1)	20	60	30	20	15	40	20	15	20	(8)											
8	(1)	20	60	30	25	10	30	30	25	20	20											
9	(1)	15	30	20	15	10	30	20	15	(9)	(8)											
10	(1)	20	60	30	25	10	60	(10)	(10)	20	(8)											
11	(1)	30	100	60	40	20	100	60	30	40	(8)											
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	5	6											

NOTAS:

- (1) No es objeto de este Reglamento.
- (2) Sin requerimiento especial de distancias.
- (3) Pertenecientes al parque de almacenamiento.
- (4) Salvo las bombas para transferencia de productos susceptibles de ser almacenados en el mismo cubeto, en cuyo caso es suficiente que estén situados fuera del cubeto. (En casos especiales, por ejemplo, por reducción del riesgo, y para clase D, las bombas podrían situarse dentro del cubeto.)
- (5) Salvo las bombas de transferencia propias de esta instalación.
- (6) Aplicar el artículo 18.
- (7) Salvo los recipientes auxiliares de alimentación o recepción directa del cargadero con capacidad inferior a 25 m³ que pueden estar a distancias no inferiores a: Clase A = 1.5 m, clase B = 10 m y clases C y D = 2 m.
- (8) Ver Reglamento de Aparatos a Presión.
- (9) Si el vallado es de obra de fábrica u hormigón y de altura no inferior a 1,5 m esta distancia no necesita ser superior a 10 m.
- (10) Respecto a la vía del ferrocarril de la que se derive un apartadero para carga o descarga de vagones cisterna, esta distancia puede reducirse a 15 m con un vallado de muro macizo situado a 12 m del cargadero y altura tal que proteja la instalación.
- (11) Las distancias entre tanques de almacenamiento y otras instalaciones se considerarán individualmente en función de la clase del producto almacenado en cada tanque y no de la clasificación global del cubeto.
- (12) Solamente se requerirá esta distancia cuando se opere simultáneamente en ambos cargaderos con emisión de vapores en alguno de ellos.

Donde:

1. Unidades de proceso.
2. Estaciones de bombeo y compresores.
- 3.1 Recipientes de almacenamiento. Clase A (Paredes del tanque).
- 3.2 Recipientes de almacenamiento. Clase B (Paredes del tanque).
- 3.3 Recipientes de almacenamiento. Clase C (Paredes del tanque).
- 3.4 Recipientes de almacenamiento. Clase D (Paredes del tanque).
- 4.1 Cargaderos. Clase A.
- 4.2 Cargaderos. Clase B.
- 4.3 Cargaderos. Clases C y D.
5. Balsas separadoras.
6. Zonas de fuego abierto.
7. Edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes.
8. Estaciones de bombeo de agua contra incendios.
9. Vallado de la planta.
10. Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación públicas.
11. Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia.

Tabla 4: Distancias mínimas en metros (') entre instalaciones fijas de superficie en almacenamientos con capacidad superior a 50.000 m³, según el RD 379/2001

CUADRO II-2

Capacidad global de almacenamiento de la instalación m ³	Coefficiente para reducción de distancias del cuadro II-1
Q >= 50.000	1
50.000 > Q >= 20.000	0,95
20.000 > Q >= 10.000	0,90
10.000 > Q >= 7.500	0,85
7.500 > Q >= 5.000	0,80

5.000 > Q >= 2.500	0,75
2.500 > Q >= 1.000	0,70
1.000 > Q >= 500	0,65
500 > Q >= 250	0,60
250 > Q >= 100	0,50
100 > Q >= 50	0,40
50 > Q >= 5	0,30
5 > Q	0,20

Nota 1: No se computará a efectos de capacidad global de la instalación la que pueda existir en recipientes móviles ni en recipientes enterrados.

Nota 2: La capacidad computable es la máxima real y no la geométrica.

Tabla 5: Coeficientes de reducción por capacidad de las Distancias mínimas en metros fijadas en la tabla 4, según el RD 379/2001

Características de los productos y/o de los almacenamientos	Coeficiente	Clases de líquidos a los que es aplicable
Líquidos inestables	2,0	A, B, C y D
Almacenamiento con venteos de emergencia que permitan el desarrollo de presiones superiores a 0,15 bar	1,5	B, C y D

Nota 1: Después de la aplicación de estos coeficientes de aplicación simultánea cuando proceda, las distancias obtenidas no necesitan ser superiores a 150 metros para líquidos de la clase A, 100 m para líquidos de la clase B y 75 metros para los de las clases C y D.

Nota 2: Para líquidos inestables de clases A, B y C, la distancia desde tanques o estaciones de carga/descarga a los conceptos 6, 7, 8, 10 y 11 del cuadro II-1 no será inferior a 45 metros, después de la aplicación de los coeficientes de este cuadro II-3.

Tabla 6: Coeficientes multiplicadores por capacidad de las Distancias mínimas en metros fijadas en la tabla 4, según el RD 379/2001

Si los depósitos se sitúan en recintos cerrados debería garantizarse la ventilación mediante procedimientos adecuados, tales como rejillas, ventiladores, etc., salvo en aquellos locales cuyas dimensiones permitan ubicarlo respetando una separación mínima de 15 m. con una pared y simultáneamente 5 m. en su dirección perpendicular.

Los depósitos para gases no inflamables con envolvente exterior de acero se considerarán protegidos por esta envolvente, debiendo en ese caso proteger las partes no incluidas dentro de la envolvente exterior (tuberías, equipos de control, válvulas, etc.).

La forma y dimensiones de las paredes de protección variarán dependiendo de los componentes del sistema y su colocación en el mismo. Las nuevas distancias se miden bordeando dichas protecciones. Para garantizar la ventilación, en ningún caso se pueden colocar más de tres lados con estas paredes. En casos especiales en que sea necesario hacer un cierre con más de tres lados deberían utilizarse muros de perfil autoventilante como los de la figura 3, ó colocar rejillas de aireación de dimensiones adecuadas.

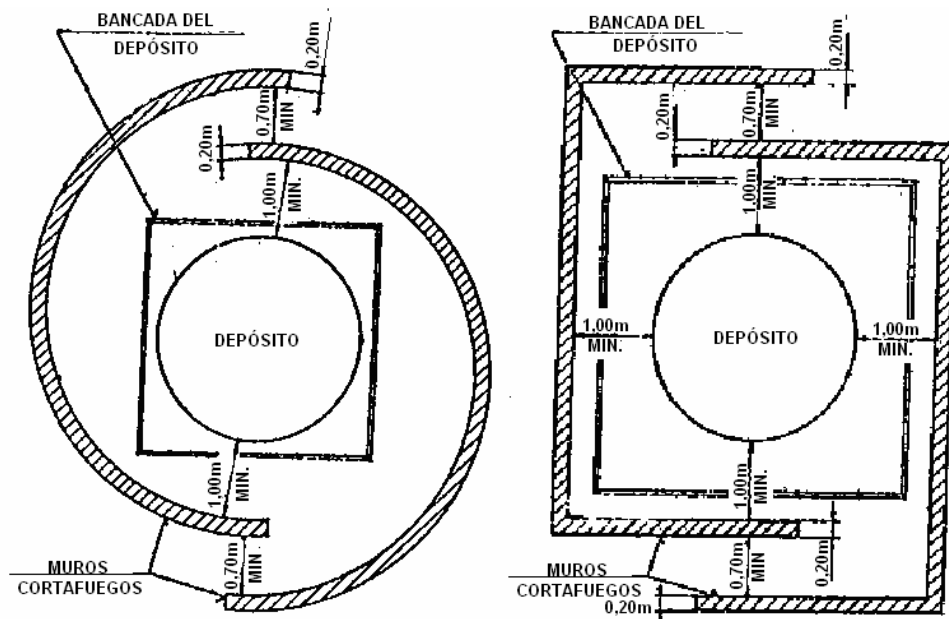


Figura 3.- Muros de perfil autoventilante. Fuente: ITC MIE-AP10. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.

El nuevo RD 379/2001 es más impreciso en la forma de instalación de los depósitos a presión de hidrógeno, puesto que marca venteos para depósitos cuya presión alcance hasta 0,15 bar, lo que es muy inferior a los valores utilizados para el almacenamiento de hidrógeno, aunque sí indica (artículo 14 de la MIE-APQ-1) que «el almacenamiento en recipientes fijos dentro de edificios o estructuras cerradas será permitido solamente si la instalación de recipientes de superficie o enterrados en el exterior no es práctica debido a exigencias locales o a consideraciones tales como temperatura, alta viscosidad, pureza, estabilidad, higroscopicidad, sensibilidad a cambios de temperatura u otras, lo cual debe justificarse en el proyecto».

La vaporización del hidrógeno licuado ocasiona un gran volumen de gas, desplazando el aire y ocasionando riesgo de asfixia. A este respecto el RD 379/2001 sí marca unos venteos de emergencia que permitan dar salida a los vapores producidos, limitando la presión en el interior del recipiente a presión, pero no dónde y cómo conducir el gran volumen de gas generado. El sentido común indica que esta evacuación debe realizarse en puntos donde no puedan afectar a personas ni objetos, lo que lleva a considerar que la extracción de estos escapes y de la nube de gas condensado que producen, debe realizarse de forma automática utilizando conductos de materiales que resistan el ataque del hidrógeno a temperaturas cercanas a su punto de ebullición y extractores de tipo antideflagrante. Lo ideal, dada la densidad de hidrógeno gaseosos en condiciones normales, es que la ventilación

se produzca por encima de la cubierta del edificio o lo suficientemente lejos del mismo (el RD 379/2001 indica que los vapores deben ser descargados en un lugar seguro, fuera de los edificios y a una altura de 3,6 metros sobre el nivel adyacente y, como mínimo, a 1,5 metros de cualquier abertura de un edificio)), para lo cual debería considerarse como regla general la conveniencia de que los depósitos se instalen alejados de los edificios y del las zonas ocupadas o, en caso de que no pueda realizarse, si es que deben instalarse en su interior y pese a su peso, que se ubiquen en la parte superior de dichos edificios.

3.b.- Acumulación de energía Térmica.

La acumulación de energía térmica a baja temperatura en agua es una tecnología sobradamente conocida, por lo que es de conocimiento general los problemas que presentan; el peso y los problemas subyacentes a una eventual fuga.

Sin embargo, estos problemas van a multiplicarse exponencialmente al elevarse las necesidades de almacenamiento; almacenar mayor cantidad de calor y durante más tiempo (el límite sería un almacenamiento estacional) supone más peso y más espacio.

En edificios de nueva construcción será factible incorporar grandes depósitos a nivel de cimentación, pero en edificios existentes, será vital cuidado que la incorporación de dichos depósitos no genere descalses de la cimentación, bien directos o bien indirectos provocados por una eventual fuga que genere un lavado de finos.

La acumulación en los propios paramentos del edificio tiene la limitación de la temperatura radiante de los mismos, si se acumula en forma sensible, y de la fácil inflamabilidad de los materiales de cambio de fase (PCM) actualmente utilizados, lo que es una lástima dado que el profesor Domínguez del CSIC ha demostrado que «la onda térmica anual puede retardarse su entrada una estación, es decir, hasta tres meses, si el aislamiento y la capacidad térmica del cerramiento son adecuados (por ejemplo emplear materiales de cambio de fase)¹².

Otra opción es utilizar materiales de cambio de fase insertos en depósitos acumuladores o fuera de zonas ocupadas, lo que permite utilizar materiales que tengan temperaturas de cambio de fase distintas a las temperaturas radiantes de confort. «Se ha visto que los PCM pueden colocarse en la edificación en salas de máquinas, en terrazas y hasta enterrados, en los circuitos de agua a temperaturas de 7°C para frío 60°C para calor. En los cerramientos por el interior se pueden colocar con temperaturas de 23°C; en suelos radiantes, bien con agua o electricidad a 28°C y en techos fríos a 16°C»¹³, lo que evidentemente nos da una flexibilidad y un margen de maniobra muy amplios.

Acumulando el calor obtenido en paneles solares de vacío o concentradores en materiales de cambio de fase en depósitos separados de la construcción, podemos utilizar PCM con temperaturas de cambio de fase de hasta 100°C, lo que no sólo permitiría reducir los volúmenes de acumulación drásticamente, sino poder utilizar ese calor acumulado para la refrigeración por absorción. El inconveniente que aún

¹² *Acumulación de calor con materiales de cambio de fase en aplicaciones de energía solar.* Pág 137.

¹³ *Acumulación de calor con materiales de cambio de fase en aplicaciones de energía solar.* Pág 138.

presentan estos sistemas es su precio y que en muchos casos son aún materiales experimentales.

Lo ideal en todos los casos sería la utilización de materiales sólidos para evitar los problemas de posibles fugas en la fase líquida, pero esto es obviamente imposible si lo que deseamos que la acumulación sea en forma de calor latente.

La acumulación geotérmica es viables en cualquier edificio de nueva construcción (salvo que el nivel freático sea excesivamente fluctuante ya que eliminaría el calor acumulado) sin afectar al mismo en absoluto, puesto que se desarrollará por debajo de él.

En un edificio nuevo, su instalación es más compleja, pero siempre que sea posible su hincapié, pueden instalarse pilotes prefabricados para efectuar el intercambio con el terreno, con la sola afección del edificio de la mejora de la capacidad portante de dicho terreno.

4.- Conclusiones.

La acumulación de energía eléctrica en un edificio es un proceso difícil y que permite pocos métodos, de los que el más importante en la actualidad son las baterías.

La instalación de baterías en un edificio es un proceso relativamente frecuente y, por tanto, controlado. Sólo se necesitan salas reservadas para esta función – desgraciadamente de considerable volumen para una cantidad de energía suficiente para garantizar el autosuministro– y la seguridad de que la estructura del edificio es capaz de soportar la carga correspondiente.

La inclusión de las pilas de combustible en edificios existentes, trae consigo una serie de impactos sobre la estructura portante de la edificación que puede tener uno o varios de los siguientes orígenes

- Aumento de las solicitaciones al aumentarse las cargas.
- Existencia de efectos no previstos tales como cargas dinámicas y vibraciones.
- Ataques que una fuga a bajísima temperatura podrían ocasionar sobre los elementos de estructura.
- Explosiones
- Aplicación de medidas de protección contra incendios de las estructuras.

Las consecuencias del aumento significativo de cargas son en primer lugar, aumento de deformaciones, ya que en Estado Límite de Servicio (ELS) las cargas son directamente mayores porque sus coeficientes de seguridad suelen coincidir con la unidad. En segundo lugar, la reducción de la seguridad puede llevar a la estructura al Estado Límite Último (ELU), cerca del colapso, especialmente en los casos de estructuras ligeras o sensibles a un aumento de cargas significativo.

La aparición de esfuerzos no previstos puede variar radicalmente la forma de trabajo de la estructura diseñada. Este punto es especialmente sensible ya que las estructuras de edificación no se diseñan para cargas dinámicas y la aparición de estas puede producir el colapso estructural, que dependerá fundamentalmente del cómo se instale. Asimismo, pueden aparecer fenómenos de fatiga no estudiados inicialmente, que pueden reducir notablemente la capacidad portante.

La aplicación de medidas de protección ante el fuego de la estructura debe considerarse primordial, ya que la instalación de sistemas de generación energética en edificios

existentes puede modificar las condiciones de evacuación, sectorización y necesidades de resistencia al fuego.

Por tanto, la implantación de estos sistemas necesitan un estudio exhaustivo y en profundidad sobre las consecuencias que su instalación pueda provocar en las estructuras de los edificios, muy especialmente en edificios existentes que no han sido diseñados para tal fin.

Los depósitos de almacenamiento deben situarse preferentemente al aire libre y sobre el nivel de la cubierta del edificio (si se colocan a nivel del suelo se deberán retirar considerablemente del edificio para evitar que la fuga del gas a bajísima temperatura pueda llegar a afectar a la estructura del inmueble hasta llegar a colapsarla).

Además, al destinarse a contener gases inflamables, cualquier elemento de protección meteorológica que se ubique sobre él debe ser de construcción ligera para facilitar la salida de la onda expansiva en caso de explosión y que ésta afecte lo menos posible a la estructura portante del edificio.

El diseño de la estructura deberá contemplar la presión de servicio de los depósitos, ser capaz de mantener sus propiedades resistentes a muy bajas temperaturas (utilizando para ello por ejemplo, aceros austeníticos o de grano fino o aislándolos convenientemente) y diseñarse para soportar las cargas introducidas.

En el diseño de los edificios también habrá que considerar que el emplazamiento del depósito será tal que permita el fácil acceso a los vehículos de personal autorizado, así como disponer de las canalizaciones necesarias para poder abastecer los depósitos desde el exterior en caso necesario.

Por todo ello, siempre será más fácil estudiar la posibilidad de acumular fuera de los edificios permitiendo la utilización de contadores de doble sentido y el vertido de la electricidad excedente a la red para ser recomprada en el momento en que la demanda supere a la producción.

En el caso de la acumulación de energía térmica, el incremento de la necesidad de acumulación podría volver inviable o difícilmente realizable la acumulación de calor sensible en depósitos de agua, por su peso y su volumen, lo que hace que sea muy ventajosa la elección de acumulaciones de tipo geotérmico sobre todo si se trata de acumulaciones estacionales o acumulaciones sensibles o latentes en los propios paramentos del edificio o en exclusivamente latentes en PCM para periodos más breves.

También habrá que considerar el emplazamiento de estos depósitos en el diseño de los edificios, aunque al presentar menores problemas de inflamabilidad que el hidrógeno su ubicación será menos exigente (siempre teniendo en cuenta que muchos PCM, al ser fácilmente inflamables, podrían llegar a requerir la sectorización de su recinto para la protección contra incendios).

5.- Referencias bibliográficas.

- Consejería de Economía y Hacienda y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *Guía del Almacenamiento de Energía*. Madrid. 2011. (Puede descargarse en pdf de la web de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid – www.fenercom.com–).
- Domínguez, M. y García, C.. *Acumulación de calor con materiales de cambio de fase en aplicaciones de energía solar*. Libro de Actas del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo (España). 2008.
- IDAE. *Análisis del Consumo energético del sector residencial en España*. Departamento de Planificación y estudios de la Secretaría General del IDAE. Madrid. Julio de 2011.
- Nordel, B. & Gehlin, S.. *30 Years of Thermal Energy Storage –A Review of the IEA14 ECES15 Stock Conferences*. International Conference on Thermal Energy Storage. Junio de 2009.
http://www.energy-storage.org/files/30_years_of_stock_confrences__1_.pdf.
- Nordel, B. & Gervet, B.. *Global energy accumulation and net heat emission*. International Journal of Global Warming; Volume 1, Journal number: 1/2/3, pages 378–391. 2009. ISSN: 1758–2083
http://pure.ltu.se/portal/files/3004559/Nordell-Gervet_IJGW_2009_Vol.1.p.378-391.pdf
- REE (Red Eléctrica española). *Informe de Sistema Eléctrico en 2010*.
http://www.ree.es/sistema_electrico/informeSEE.asp
- REMAR (Red de Energía y Medio Ambiente; Réseau Énergie et Environnement; www.redremar.com). *Almacenamiento y nuevos materiales en las energías renovables*. 2011. <http://www.redremar.com/Documents/Guias/Renovables.pdf>

¹⁴ International Energy Agency

¹⁵ Energy Conservation through Energy Storage