

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS V

RESUMEN VII

SUMMARY IX

ABSTRACT XI

1. INTRODUCCIÓN

2. ESTADO DE LA TÉCNICA Y DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES.

2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CERRAMIENTOS ACRISTALADOS

2.3. CASAS ENERGÍA-CERO. COMPETICIÓN E INVESTIGACIÓN: EL CONCURSO SOLAR DECATHLON.

2.4. EL VIDRIO EN LA EDIFICACIÓN. MEJORAS EN SU EFICIENCIA: DOBLE PIEL, VIDRIOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS.

2.5. CONCLUSIONES PARCIALES

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

3.2. JUSTIFICACIÓN

3.3. OBJETIVOS CONCRETOS O PARTICULARES

3.4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1. SELECCIÓN DE VIDRIOS

4.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ENERGÉTICO

4.3. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y DE SIMULACIÓN

4.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO CON CÁMARA DE AGUA.

5. METODOLOGÍA DOCUMENTAL

- 5.1. SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE VIDRIOS
- 5.2. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DISPONIBLES
- 5.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DE REFERENCIA
- 5.4. CONCLUSIONES PARCIALES
6. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN
 - 6.1. RESUMEN
 - 6.2. SELECCIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN
 - 6.3. DEFINICIONES
 - 6.4. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN
 - 6.5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN EDIFICIOS REALES
 - 6.6. CARACTERIZACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LOS ENSAYOS FÍSICOS.
 - 6.7. SIMULACIONES
 - 6.8. CONCLUSIONES PARCIALES
7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL: ENSAYOS FÍSICOS
 - 7.1. ANTECEDENTES DE MÉTODOS DE ENSAYO EN CONDICIONES DE INTERIOR Y DE EXTERIOR.
 - 7.2. MÉTODO DE ENSAYO
 - 7.3. CONDICIONANTES DEL ENSAYO.
 - 7.4. MODIFICACIONES DEL ENSAYO.
 - 7.5. ENSAYOS ESPECIALES PARA VIDRIOS CON AGUA
 - 7.6. CICLO DE ENSAYOS
 - 7.7. CONCLUSIONES PARCIALES:
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 8.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN.
 - 8.2. ESTIMACIÓN DE LAS MEJORAS ENERGÉTICAS APORTADAS POR EL VIDRIO CON AGUA CIRCULANTE EN LA CÁMARA.
 - 8.3. CONCLUSIONES PARCIALES
9. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

9.1. CONCLUSIONES GENERALES

9.2. CONCLUSIONES PARTICULARES

9.3. PROYECCIÓN DE NUEVOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN:

CONCLUSIONI E FUTURE LINEE DI RICHERCA

CONCLUSIONI GENERALI

CONCLUSIONI PARTICULARI

PROGETTAZIONE DI NUOVI LAVORI DI RICERCA.

10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

10.1. REFERENCIAS

10.2. BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN DE LA TESIS

Durante las últimas décadas el vidrio se ha convertido en un material de construcción indispensable, dadas sus excelentes características y propiedades. Además la envolvente acristalada juega un papel vital en el intercambio de energía del edificio, siendo un elemento de expresión arquitectónica fundamental como se ha demostrado a lo largo de los siglos XIX y XX.

Durante el pasado siglo, hemos sido testigos de una gran evolución, tanto en el desarrollo de la fabricación del vidrio que ha permitido la creación de nuevos tipos, como de la gran evolución constructiva, que ha originado el aumento de las superficies acristaladas, con respecto a la superficie total del cerramiento, trayendo consigo una baja significativa de los costes de producción de los acristalamientos y por tanto de comercialización.

La utilización de grandes superficies acristaladas es una práctica arquitectónica cada vez más frecuente. Pero hoy día, el acristalamiento usado convencionalmente en viviendas no alcanza la eficiencia energética deseable en una casa de máximo ahorro energético. La justificación de la presente investigación está, por tanto, en intentar mejorar este comportamiento y reducir el consumo energético en edificios, más concretamente en viviendas. Se trata de acercarnos lo más posible a un edificio con una mayor eficiencia térmica, un ahorro de energía y una contribución a la disminución de las emisiones de CO₂.

Sin embargo, aún cuando la transparencia es una de sus propiedades más importantes, que impulsa al arquitecto a la utilización de grandes superficies acristaladas para conseguir el efecto de la fluidez espacial y de las vistas, puede a veces, llegar a convertirse en un gran inconveniente, debido por un lado, al efecto invernadero, al permitir el paso de una gran cantidad de calor, y por otro, las grandes pérdidas térmicas que ocasiona, debido a su alto coeficiente de transmisión. Es por ello por lo que se plantea la necesidad de la investigación sobre nuevos tipos de vidrios. Entre los posibles candidatos a la contribución a la mejora en su comportamiento frente a las cargas térmicas, y por tanto en eficiencia energética, están los vidrios actualmente conocidos como bajo emisivos y de control solar. Sin embargo, tanto unos como otros, tienen un comportamiento óptimo frente a condiciones concretas de invierno o de verano, resultando desfavorables en otras. Debido a ello se plantea el estudio de vidrios capaces de cambiar sus propiedades según ciertas condiciones, que llamaremos vidrios dinámicos. Este nuevo campo, aún en proceso de investigación y de comercialización, aporta dos tipos de vidrio capaces de responder favorablemente a las demandas de mejora energética, los denominados vidrios electrocrómicos y vidrios con fluido circulante en su cámara.

Estos nuevos tipos de vidrio, pueden ayudar a controlar el efecto de las cargas térmicas, tanto en las pérdidas como en ganancias, los dos puntos débiles del vidrio convencional. Ante ello se propone una investigación ante estos nuevos productos frente a unas exigencias crecientes, en lo referente a la eficiencia energética en viviendas, ahora en alza desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación.

La investigación se desarrolla en cinco fases:

En una primera fase, se expone el estado de la técnica y de la investigación, analizando tanto los antecedentes de la eficiencia energética en edificios y el problema energético en la edificación, estudiando aquellas experiencias que aportan datos de interés sobre este tema. Entre ellas destacan tanto las reflejadas en artículos técnicos como las que se inscriben en el marco del concurso Solar Decathlon. Por último, en esta primera fase, estudiamos los vidrios existentes a fin de analizar diversas técnicas de mejora en la eficiencia energética, realizando una descripción fundamentada en un análisis pormenorizado de las distintas estrategias conocidas que podrían mejorar la eficiencia energética de los acristalamientos convencionales. Estos tres nuevos tipos que se van a estudiar son:

- Fachadas de doble piel, que permiten con más o menos restricciones una circulación de aire que optimiza el comportamiento.
- Vidrios con adición de delgadas capas dinámicas; los llamados vidrios cromogénicos capaces de cambiar su color o transparencia.
- Vidrios con cámara con fluidos circulantes, en el que la reducción de cargas térmicas se obtiene gracias a la circulación de un fluido por su cámara, ya que algunos de ellos son capaces de absorber parte de la radiación infrarroja incidente.

En una segunda parte, se concretan los objetivos específicos de las siguientes fases, a la luz del estado de la técnica y de la investigación realizada. En esta fase se caracteriza el comportamiento de los vidrios tanto a pérdidas como en ganancias, determinando aquellos vidrios con mejores características para su posterior estudio experimental, analizado en las siguientes fases.

En una tercera fase se desarrolla una metodología de simulación, mediante la aplicación de programas de simulación energética por ordenador, con el fin de comprobar las transmisiones térmicas que se producen a través de los diferentes tipos de vidrio a estudiar.

En una cuarta fase se desarrolla una metodología experimental, mediante la creación de un nuevo método de ensayo, capaz de medir el comportamiento térmico de determinados vidrios elegidos, tanto a pérdidas como en ganancias, exponiendo los resultados obtenidos.

En una quinta fase se desarrolla la discusión de resultados, mediante la comparación de resultados obtenidos mediante las metodologías de simulación y experimental.

En una sexta fase se exponen las conclusiones obtenidas de todo el estudio precedente, discriminando entre las conclusiones generales de la tesis, y aquellas particulares, distinguiendo entre conclusiones medioambientales, proyectuales, metodológicas, experimentales, científicas, tecnológicas, industriales y normativas. Esta fase finaliza con la proyección de nuevos trabajos, definiendo aquellas posibles líneas de investigación derivadas del presente estudio, algunas de ellas ya en marcha.

INTRODUCCIÓN

A raíz de la primera crisis energética mundial que tuvo lugar en el año 1973, debida esencialmente al encarecimiento del precio del petróleo, se toman las primeras medidas encaminadas a reducir los consumos energéticos de los edificios, mediante el uso de las normativas existentes y regulación energética de las técnicas constructivas.

Como respuesta a esta situación y como medio para dar una solución a todos estos problemas, se abren desde una perspectiva internacional grandes protocolos destinados tanto a la reducción de emisiones de CO₂, como con la sostenibilidad del planeta.

Los dos principales están relacionados con la reducción de emisiones de CO₂. Se trata de los protocolos de Kioto y de Bali, enmarcados dentro de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Los siguientes, se relacionan con la sostenibilidad, desarrollo de energías renovables y protección de los recursos de los que dispone nuestro planeta, así como su conservación. Se trata del protocolo de Montreal y del Programa 21 de la ONU.

Dando respuesta a estas actuaciones mundiales, la Unión Europea, a mediados de la década de 1980, comienza a exigir niveles de formación, estándares profesionales y códigos deontológicos para la prestación de servicios profesionales de arquitectura en Europa, desarrollando normativas tendentes a la integración de la eficiencia energética en los edificios.

La creación en 1999 de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), culminó con la aparición del CTE (Código Técnico de la Edificación), aprobado el 17 de Marzo de 2006, teniendo por objeto establecer las exigencias básicas de calidad así como los procedimientos para cumplirlas con suficientes garantías técnicas, que deben cumplir los edificios, para satisfacer, entre otros, los requisitos básicos de ahorro de energía y aislamiento térmico. La aprobación del Código Técnico de la Edificación supuso la superación y modernización del marco normativo de la edificación en España, que había establecido las anteriores Normas Básicas de la Edificación, creadas como disposiciones de obligado cumplimiento en el proyecto y la ejecución de los edificios. Y no solo la creación del CTE, sino la aprobación del Real Decreto 47/2007, creando el procedimiento básico para la calificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Se estima que la puesta en práctica de esta medida conducirá a un ahorro próximo al 20% respecto al consumo actual.

Si se estudia más concretamente el consumo energético en las edificaciones de viviendas residenciales, se puede ver que el mayor consumo se genera en climatización. Una parte importante de esta ineficiencia energética de los edificios se debe al acristalamiento. Los tipos de vidrio existentes en el mercado tienen que enfrentarse a situaciones climáticas cambiantes, lo que hace que los acristalamientos solo sean eficientes en una determinada época del año o en una situación en concreto.

Algunas líneas de trabajo se orientan a la reducción de las superficies acristaladas con el fin de minimizar sus efectos negativos. Sin embargo, la aspiración de la transparencia como valor arquitectónico se ha puesto de manifiesto a través de la

historia reciente mediante el testimonio de obras de los mejores arquitectos, reivindicando en todo momento la importancia de las vistas. Es por este motivo por el que se tiene un especial interés en la búsqueda de un acristalamiento más eficiente energéticamente hablando, dado que los actuales son ineficientes.

El vidrio, por tanto, tiene un comportamiento energético peculiar, que lo hace singular y único en su especie, que lo hace diferente de los materiales opacos de la envolvente. En consecuencia, esta tesis trata de estudiar los distintos tipos de vidrios, que siendo capaces de cambiar sus propiedades ópticas modificando su transparencia u opacidad, puedan reducir o aumentar la carga térmica de las edificaciones, como respuesta a una situación exterior cambiante, como posible mejora de la eficiencia energética.

Por tanto, la manera de conseguir mejora en la eficiencia energética de los acristalamientos sería por un lado el estudio de los vidrios bajos emisivos y de control solar, aplicados de un modo sencillo o con soluciones más complejas o sofisticadas, como son las fachadas de doble piel, a la que pueden incorporarse cualquier tipo de vidrio. Finalmente como la experiencia indica, que a pesar de todo, todavía habría que conseguir mejoras en las prestaciones de los cerramientos acristalados, no conseguidos con los anteriores, se estudia la posibilidad de obtener mejora con los denominados vidrios cromogénicos, capaces de cambiar su color o transparencia bien en función de las condiciones climáticas exteriores o por el propio usuario. Otro tipo de acristalamiento, que podemos incluir dentro del grupo de los vidrios dinámicos, son los vidrios con fluido circulante, capaces de controlar la radiación entrante mediante la circulación de un fluido caloportador, comportándose todo el conjunto como un intercambiador de calor entre el exterior y el interior, manteniendo en todo momento la transparencia.

En consecuencia, esta tesis trata de demostrar que se pueden conseguir mejoras en la eficiencia energética mediante la utilización de vidrios dinámicos. Para ello nos adentraremos primero en un estudio teórico, basado en el análisis de revistas científicas y tesis doctorales. Con el fin de confirmar aquellos vidrios, seleccionados mediante la metodología documental, capaces de ofrecer una mejora energética, se propone una metodología experimental mediante la ejecución y diseño de un nuevo método de ensayo físico capaz de estudiar el comportamiento térmico tanto a pérdidas como ganancias, de los vidrios elegidos, bajo condiciones reales. Como complemento a la metodología experimental propuesta, se analizarán diversas herramientas de simulación energética por ordenador, construyendo modelos tridimensionales con objeto de poder comparar los resultados obtenidos en la simulación con aquellos realizados experimentalmente y en segundo lugar extraer conclusiones sobre la fiabilidad de estos programas de simulación y su capacidad de reproducir situaciones reales. Esto es de gran importancia ya que el realizar simulaciones por ordenador es mucho más rentable en tiempo, esfuerzo y dinero, que realizar ensayos físicos. Todo ello con el objetivo de demostrar que existen vidrios dinámicos hoy día, que pueden superar en prestaciones al resto de los vidrios, siendo además capaces de controlar la carga térmica de las edificaciones y consiguiendo un cierto ahorro de energía que trataremos de definir.

EXPLICACIÓN DE LAS TAREAS DE PERFECCIONAMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS

La redacción de una tesis, no es por mucho, la de un libro, lo que implica encontrar en la tesis lo que puede ser valioso para alcanzar un público de lectores más amplio. Implica por tanto corregirlo, acortar las partes tediosas necesarias en la tesis para demostrar lo bien que se sabe uno el tema y juzgar la utilidad de todas esas cosas desde diferentes perspectivas donde se emplea la particular capacidad de análisis, en resumen, revisar la escritura académica: el número de páginas y la densidad de notas al pie.

Una tesis doctoral, consta de una introducción, un estado de la cuestión, una metodología, unos resultados, una discusión de resultados y unas conclusiones, que no coincide para nada con la estructura que debe tener un libro. Por lo que para intentar publicar esta tesis habría que prescindir de algunos capítulos, entre ellos el de metodología y resultados, hacer una nueva enumeración y renombrarlos, lo cual podría ser lo siguiente:

1. Agradecimientos
2. Introducción: Eficiencia energética de los cerramientos acristalados hoy día.
3. El uso de nuevos acristalamientos y su influencia a la eficiencia energética.
4. Nuevos métodos de ensayo capaces de evaluar la eficiencia energética.
5. Conclusiones

Se trataría de hacer un resumen, uniendo varios capítulos en uno solo, y cambiar el estilo de tesis, que tiene demasiadas connotaciones que habría que reducir:

- Dependencia de citas y a anexos, que habría que eliminar.
- Reiteradas declaraciones de intenciones (voy a hacer, he analizado...).
- Numerosas referencias a anexos y citas.

Por último, terminar diciendo que la tesis que acabo de leer, prácticamente sería publicable, primeramente reduciendo y eliminando las connotaciones típicas de una tesis doctoral como acabo de comentar anteriormente, y en segundo caso, para eliminar el carácter de tesis, aunque esto iría en función del editor, resumir y reducir algunos capítulos aunándolos en solo uno.