VALIDACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOS CERRAMIENTOS DE LA
EDIFICACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DECISIÓN
MULTICRITERIO. APLICACIÓN AL CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL
CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.

TESIS DOCTORAL

DOCTORANDO: ERNESTO A RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

DIRECTOR DE TESIS: JUAN MONJO CARRIÓN

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Ecmo. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid el día de 2.016.

Presidente D.

Vocal D.

Vocal D.

Vocal D.

Secretario D.

Realizado el acto de defensa y lectura de Tesis el díade

De 2.016, en Madrid.

Calificación:

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

Se reconocen en estas líneas las aportaciones que personas e instituciones han realizado a la redacción de la Tesis durante el tiempo que ha transcurrido desde el inicio de su redacción hasta su conclusión definitiva.

En primer lugar, destacar el reconocimiento al apoyo y estímulo que para la redacción y conclusión de la Tesis se ha recibido de su director, el Dr. Arquitecto y Catedrático de Universidad D. Juan Monjo Carrió.

A los arquitectos D. Juan M. Toledano y D. Daniel de Antonio por su apoyo y por compartir conocimientos e inquietudes, a D. Manuel Domínguez, director del Instituto del Frío (CSIC), D. Ángel Teso, Dr. ingeniero agrónomo, D. Emiliano López, D^a Carmen Dulin y D. Claudio Alonso.

Al Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, por constituir la plataforma de conocimiento compartido desde la cual se ha podido realizar la Tesis; a D^a Concepción Calvo y D^a Eva M^a Delgado por su apoyo en su tramitación administrativa.

Al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja por haber compartido información e interés por el trabajo realizado.

Final y muy especialmente, agradecer a mi familia y amigos su apoyo constante durante el dilatado tiempo que ha requerido la elaboración de esta Tesis.

ABSTRACT EN CASTELLANO

Como punto de partida para el desarrollo de la Tesis, se mantiene la hipótesis de que es posible establecer **métodos de evaluación global sobre el grado de utilidad** de los sistemas constructivos correspondientes a los cerramientos de la edificación. Tales métodos habrían de posibilitar, de entre una serie finita de sistemas alternativos, cuáles de ellos son los objetivamente más adecuados para su selección en un entorno de decisión concreto, y habrían de permitir fundamentar la justificación objetiva de tal decisión.

Paralelamente a esta hipótesis de carácter general, se planteó desde el inicio la necesidad de comprobación de una hipótesis de partida particular según la cual **los sistemas constructivos basados en la utilización de componentes prefabricados, o procesos de puesta en obra con un alto grado de industrialización arrojarían valores de utilidad mayores que los sistemas tradicionales basados en la albañilería.**

Para la verificación de estas dos hipótesis de partida se ha procedido inicialmente a la selección de un conjunto coherente de doce sistemas de cerramientos de la edificación que pudiese servir como testigo de su diversidad potencial, para proceder a su valoración comparativa.

El método de valoración propuesto ha entrado a considerar una serie de **factores de diversa índole que no son reducibles a un único parámetro o magnitud** que permitiese una valoración de tipo lineal sobre su idoneidad relativa, ni que permitiese establecer un grado de prelación entre los distintos sistemas constructivos alternativos de manera absoluta.

Para resolver este *tour de force* o desafío metodológico se ha acudido a la aplicación de metodologías de valoración que nos permitiesen establecer de forma racional dicha comparativa. Nos referimos a una serie de metodologías provenientes en primera instancia de las ciencias exactas, que reciben la denominación de métodos de ayuda a la decisión multicriterio, y en concreto el denominado método ELECTRE.

Inicialmente, se ha planteado la aplicación del método de análisis sobre doce sistemas constructivos seleccionados de tal forma que representasen de forma adecuada las tres categorías establecidas para caracterizar la totalidad de sistemas constructivos posibles; por peso, grado de prefabricación y grado de ventilación.

Si bien la combinación de las tres categorías básicas anteriormente señaladas produce un total de 18 subcategorías conceptuales, tomamos finalmente doce subcategorías dado que consideramos que es un número operativo suficiente por extenso para el análisis propuesto y elimina tipos no relevantes.

Aplicado el método propuesto, a estos doce sistemas constructivos "testigo", **se constata el mayor grado de utilidad de los sistemas prefabricados, pesados y no ventilados.**

Al hilo del análisis realizado en la Parte II de la Tesis sobre los doce sistemas constructivos "testigo", se ha realizado un volcado de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (versión 2010) sobre las dieciocho subcategorías definidas en dicha Parte II para caracterizar los sistemas constructivos "testigo".

Posteriormente, se ha procedido a una parametrización de la totalidad de sistemas constructivos para cerramientos de fachadas incluidos en este Catálogo.

La parametrización sistemática realizada ha permitido establecer, mediante el cálculo del valor medio que adoptan los parámetros de los sistemas pertenecientes a una misma familia de las establecidas por el Catálogo, una **caracterización comparativa del grado de utilidad de dichas familias**, tanto en lo relativo a cada uno de los parámetros como en una valoración global de sus valores, de carácter indicativo.

Una vez realizada una parametrización completa de la totalidad de sistemas constructivos incluidos en el Catálogo, se ha realizado una simulación de aplicación de la metodología de validación desarrollada en la Parte II de la presente Tesis, con el objeto de comprobar su adecuación al caso.

En conclusión, **el desarrollo de una herramienta de apoyo a la decisión multicriterio aplicada al Catálogo de Elementos constructivos del CTE se ha demostrado técnicamente viable y arroja resultados significativos.**

Se han diseñado dos sistemas constructivos mediante la aplicación de la herramienta desarrollada, uno de fachada no ventilada y otro de fachada ventilada.

Comparados estos dos sistemas constructivos mejorados con otros sistemas constructivos analizados Se comprueba el **alto grado de utilidad objetiva de los dos sistemas diseñados** en relación con el resto.

La realización de este ejercicio de diseño de un sistema constructivo específico, que responde a los requerimientos de un decisor concreto **viene a demostrar**, así pues, **la utilidad del algoritmo propuesto en su aplicación a los procesos de diseño de los sistemas constructivos.**

La tesis incorpora dos innovaciones metodológicas y tres innovaciones instrumentales.

ABSTRACT EN INGLÉS

The starting point for the thesis is the hypothesis that it is possible to devise **suitability degree evaluation methods** of building enclosure systems. Such methods should allow optimizing appraisal, given a specific domain of decision, among a finite number of alternative systems, and provide objective justification of such decision.

Along with the above mentioned general assumption, a second hypothesis whereby constructive systems based on the use of prefabricated components, or high industrialization degree work processes, would throw efficiency values higher than traditional masonry systems needed to be tested.

In order to validate these two hypothesis a coherent set of twelve enclosure systems that could serve as a reference sample of their potential diversity was selected and a comparative evaluation was carried out.

The valuation method proposed has considered several different factors that are neither reducible to a single parameter or magnitude that would allow a linear evaluation of their relative suitability nor allow to establishing an absolute priority ranking between different alternative constructive systems.

In order to resolve this *tour de force* or methodological challenge, valuation methodologies that enable use establishing rational assessments were used. We are referring to a number of methodologies taken from the exact sciences field, usually known as aid methods for multi-criteria decision, in particular the so-called ELECTRE method.

Even though the combination of the mentioned three basic categories result in eighteen conceptual sub categories, we are finally considering just twelve since we deem it adequately extended for the our intended purpose and eliminates non relevant instances.

The method of analysis was initially applied to the set of twelve selected constructive systems is a way that they could represent adequately the three previously established categories set out to characterize all possible enclosure systems, namely weight, prefabrication degree and ventilation degree.

Once the proposed method is applied to the sample systems, **the higher efficiency of the prefabricated, heavy and not ventilated systems was confirmed.**

In line with the analysis in Part II of the thesis on the twelve chosen enclosure systems, it has done an uploading data of construction systems listed in the Catalogue of constructive elements of the CTE (version 2010)

according the eighteen subcategories used in this part II to characterize the construction systems taken as sample.

Subsequently, a parameterization of all enclosure facade systems included in this catalog has been undertaken.

The systematic parameterization has allowed to set, by means of calculating the average values of the parameters of the systems belonging to the same family of those established by the Catalog, **a comparative characterization of the efficiency degree of these families**, both in relation to each parameter as to an overall evaluation of its values, in a indicative way.

After the parameterization of all enclosure systems included in the Catalog, a simulation of validation methodology application developed in Part II of this Thesis has been made, in order to assess its consistency to the referred case.

In conclusion, the development of a multi-criteria decision aid tool, applied to the CTE Catalog of constructive elements, has proved to be technically feasible and yields significant results.

Two building systems through the application of the developed tool, a non-ventilated façade and a ventilated façade have been designed.

Comparing these two improved construction systems with other building systems analyzed, **we were able to assess the high degree of objective efficiency of the two systems designed** in relation to the rest.

The exercise of designing a specific enclosure system that meets the requirements of a particular decision-maker hence **shows the suitability of the proposed algorithm applied to the process of enclosure systems design**.

This Thesis includes two methodological innovations and three instrumental innovations.

ÍNDICE

PARTE I. PRINCIPIOS GENERALES, ESTADO DEL ARTE, METODOLOGÍA.....	1
CAPÍTULO 1.- OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN	1
CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1.- <i>Tesis doctorales relativas al objeto de la presente</i>	7
2.1.1.- Tesis doctorales sobre las fachadas y los sistemas constructivos para su ejecución.....	8
2.1.2.- Tesis doctorales relativas a aspectos metodológicos y su aplicación concreta	11
2.2.- <i>Publicaciones y estudios</i>	13
2.3.- <i>La regulación normativa y el estado del arte</i>	22
CAPÍTULO 3.- OPORTUNIDAD DE LA REDACCIÓN DE LA TESIS	24
3.1.- <i>Oportunidad de la redacción de la tesis a la luz del estado del arte</i>	24
3.2.- <i>Oportunidad de la redacción de la tesis por el interés de su objeto</i>	24
<i>El interés del objeto de la presente Tesis viene justificado por la relevancia que para la arquitectura construida tienen los cerramientos de fachada, tanto por su repercusión en la imagen externa de la misma como por su contribución a sus condiciones prestacionales, especialmente las ligadas al aislamiento térmico y acústico.</i>	24
3.2.1.- La fachada como elemento definidor de la arquitectura	24
CAPÍTULO 4.- SOBRE LA METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y LA VALIDACIÓN	34
4.1.- <i>Utilidad Objetiva y Utilidad Subjetiva</i>	34
4.2.- <i>Los métodos de decisión multicriterio</i>	38
4.2.1.- Antecedentes y formación de las teorías de decisión multicriterio	40
4.2.2.- Campos disciplinares de aplicación	43
4.2.3.- Estado actual del desarrollo de los métodos de decisión multicriterio	51
CAPÍTULO 5.- PROCESO DE VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS. ELABORACIÓN DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.	53
PARTE II.- ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOCE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS “TESTIGO”	55
CAPÍTULO 6.- DEFINICIÓN DEL ESPACIO MUESTRAL.....	55
6.1.- <i>Determinación del campo muestral</i>	55
6.2.- <i>Estructura del campo de muestras</i>	56
6.2.1.- Categorías constructivas en función del peso	56
6.2.2.- Categorías constructivas en función del grado de prefabricación.....	57
6.2.3.- Fachadas ventiladas y no ventiladas.....	59
6.3.- <i>Determinación del campo de muestras</i>	61
6.4.- <i>Sistemas constructivos no considerados</i>	64
6.4.1.- Fachadas respirantes.....	64
6.4.2.- Las “fachadas de doble piel”.....	64
6.4.3.- Instalaciones solares integradas.....	67
CAPÍTULO 7.- CONTENIDO SUSTANCIAL DE LA DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS. PARÁMETROS ASOCIADOS A LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN	68
7.1.- <i>Determinación de criterios y atributos</i>	68
7.2.- <i>Criterio de valoración del aislamiento térmico</i>	68
7.3.- <i>Criterio de valoración de la inercia térmica</i>	71
7.4.- <i>Criterio de valoración del aislamiento acústico</i>	75
7.5.- <i>Criterio de evaluación de los factores de certidumbre en la ejecución de la obra</i>	78
7.6.- <i>Criterio de valoración de los costes de construcción</i>	82

7.7.- Criterio de valoración del tiempo de ejecución.....	82
7.8.- Criterio de valoración de condiciones de mantenimiento de la edificación y de sus componentes.	82
CAPÍTULO 8.- CONTENIDO FORMAL DE LA DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS “TESTIGO”	84
8.1.- Descripción de los sistemas considerados	84
8.2.- Fichas de características de los sistemas.....	85
8.3.- Cuadro de características de los sistemas analizados	98
8.4.- Gráficos de representación del valor de los criterios.....	99
8.4.1. Metodología de representación	99
8.4.2.- Propuesta de método de representación de los criterios según esquema radial, para la homogeneización de su valor de superficie.....	104
8.4.3.- Aplicación del método de representación.....	104
CAPÍTULO 9.- PROCESO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA	110
9.1.- La Matriz de Decisión.....	111
9.2.- Las evaluaciones y su normalización. Matriz de Decisión Normalizada	111
9.3.- Caracterización de los decisores y su jerarquía de preferencias. Evaluación de los pesos	112
9.5.- Construcción de la Matriz de Decisión Normalizada y Ponderada	115
9.6.- Construcción de la “Matriz de Concordancia”	115
9.7.- Construcción de la “Matriz de Discordancia”	115
9.8.- Análisis de las relaciones de sobreclasificación	115
9.8.1.- Matriz de Dominancia Concordante.....	116
9.8.2.- Matriz de Dominancia Discordante	116
9.8.3.- Matriz de Dominancia Agregada (Concordante-Discordante).....	116
9.9.- Realización del grafo Electre.....	117
9.9.1.- Determinación del núcleo del grafo Electre	119
9.11.- Determinación del Ranking de alternativas.....	122
CAPÍTULO 10.- CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALORACIÓN COMPARATIVA ADOPTADA	128
PARTE III: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA AL CATALOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE.....	131
CAPÍTULO 11.- OPORTUNIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA AL CATÁLOGO DE ELEMENTOS COSTRUCTIVOS DEL CTE	131
11.1.- Sobre el Código Técnico de la Edificación y su Catálogo de Elementos Constructivos. El marco institucional.	132
11.1.1.- La regulación normativa del CTE	133
11.1.2.- El Código Técnico de la Edificación en desarrollo de la LOE	134
11.1.3.- El CTE como Código prestacional	135
11.1.4.- Documentos Reconocidos del CTE	139
11.1.5.- Consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación (CSICE).....	140
11.1.6.- Registro General del CTE	141
11.1.7.- Desarrollo del CTE mediante la aprobación de DR durante el periodo de vigencia del CTE hasta la actualidad	141
11.1.8.- El Documento de Idoneidad Técnica (DIT)	145
11.2.- El catálogo de soluciones constructivas del CTE a la luz de las categorías establecidas	149
CAPÍTULO 12.- PARAMETRIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CATÁLOGO DEL CTE ..	159
12.1.- Acotaciones previas.....	159
12.2.- Resultado de la parametrización realizada.	160
CAPÍTULO 13.- ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS VALORES DE PARAMETRIZACIÓN POR FAMILIAS	163
13.1.- Caracterización de las familias de sistemas constructivos para cerramientos de fachadas incluidas en el Catálogo del CTE	163

13.1.1.- Consideración sobre la varianza de los valores de los distintos sistemas constructivos incluidos en cada una de las familias	179
13.2.- Conclusiones sobre el análisis comparativo por familias.....	194
CAPÍTULO 14.- SIMULACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA A LA PARAMETRIZACIÓN DEL CATÁLOGO	195
14.1.- Resultado de la simulación	201
14.2.- Ranking de alternativas para los tres decisores considerados	204
CAPÍTULO 15.- SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PROPUESTOS COMO SÍNTESIS Y MEJORA DERIVADA DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE FAMILIAS	206
PARTE IV: INNOVACIONES REALIZADAS	217
CAPÍTULO 16.- INNOVACIONES METODOLÓGICAS	217
16.1 Método de representación de los criterios según un esquema radial, para la homogeneización de su valor de superficie	217
16.2.- Método para la eliminación de la incidencia de la varianza de la serie de valores correspondientes a cada criterio en la aplicación del método de validación comparativa	218
CAPÍTULO 17.- INNOVACIONES INSTRUMENTALES	220
17.1.- PROPUESTA DE VALIDACIÓN DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DEL CATÁLOGO	220
17.2.- PROPUESTA DE NUEVA REGULACIÓN NORMATIVA DE LA INNOVACIÓN.....	222
17.3.- Propuesta de normativa urbanística compensatoria para muros de gran espesor.....	224
17.3.1.- Justificación de la viabilidad económica de la modificación normativa	227
17.3.2.- Condiciones para la aplicabilidad de la Norma.....	232
17.3.3.- Viabilidad económica de la reforma normativa propuesta	235
PARTE V: CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN	236
CAPÍTULO 18.- CONCLUSIONES	238
18.1.- Conclusiones de la aplicación del método de análisis comparativo a doce sistemas constructivos “testigo”	238
18.2.- Conclusiones derivadas de la parametrización de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo de elementos constructivos del CTE	240
18.3.- Conclusiones derivadas de la aplicación del método de análisis comparativo al Catálogo de elementos constructivos del CTE.....	244
18.4.- Sistemas constructivos propuestos como síntesis y mejora derivada del análisis comparativo entre familias.....	245
18.5.-Reflexión final.....	249
CAPÍTULO 19: PROYECCIÓN. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PROPUESTAS EN DESARROLLO DE LA TESIS.	251
19.1.- Incorporación de nuevos criterios de valoración de los sistemas constructivos	251
19.2.- Oportunidad de la extensión del método de validación comparativa propuesto a otros elementos constructivos	253
19.3.- Extensión del método de validación comparativa propuesto al análisis y valoración de tipologías edificatorias y morfologías urbanas.....	254
19.4.- Desarrollo de la herramienta informática precisa para la aplicación del método propuesto	255
19.5.- Propuesta de incorporación de métodos de decisión multicriterio al desarrollo de programas de formación técnica en las materias de proyecto arquitectónico.....	256

ANEJOS

- ANEJO I: PROCESO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA DE LOS DOCE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS "TESTIGO"
- ANEJO II: TABLAS DE CÁLCULO (PARAMETRIZACIÓN Y APLICACIÓN DEL MÉTODO ELECTRE)
- ANEJO III: FICHAS POR FAMILIAS DEL CATÁLOGO DEL CTE
- ANEJO IV: FICHAS DE PARAMETRIZACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DEL CATÁLOGO DEL CTE
- ANEJO V: BIBLIOGRAFÍA
- ANEJO VI: LEGISLACIÓN VIGENTE
- ANEJO VII: LISTADO DE CUADROS
- ANEJO VIII: LISTADO DE GRÁFICOS
- ANEJO IX: LISTADO DE ABREVIATURAS

VALIDACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOS CERRAMIENTOS DE LA EDIFICACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO. APLICACIÓN AL CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.

MEMORIA

PARTE I. PRINCIPIOS GENERALES, ESTADO DEL ARTE, METODOLOGÍA

CAPÍTULO 1.- OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la Tesis consiste en el desarrollo de una metodología de análisis y valoración comparativa de los sistemas constructivos para cerramientos en la edificación, tanto de los comúnmente utilizados en el sector de la construcción convencional como de de aquéllos que constituyen una novedad con respecto a los tradicionales.

Se parte de la constatación de la relevancia que tienen el diseño y la ejecución de las fachadas dentro de la concepción general de la obra en la arquitectura contemporánea.

Dicha importancia viene dada por las nuevas posibilidades compositivas y formales que adquiere la fachada gracias al empleo de nuevos sistemas constructivos y estructurales que liberan al cerramiento de su función sustentante, y la posterior reflexión disciplinar que la libera así mismo de sus limitaciones compositivas; en palabras de Graciella Trovato¹:

"(...) De ello deriva una independencia y estilización de las cáscaras, que se vuelven relativas entre sí, vistiendo, revistiendo y envolviendo a las cosas, en un proceso análogo al que se da en la evolución de algunas especies animales cuando la forma se exterioriza en torno del objeto como un caparazón."

Pese a las transformaciones ocurridas en la relación entre cerramiento y edificio la fachada pierde el carácter de elemento privilegiado para la lectura y aporte significativo de la arquitectura².

¹ TROVATO, Graziella: *Des-velos. Autonomía de la envolvente en la arquitectura contemporánea*. Ed. AKAL/TEXTIS, Madrid, 2.007, pág. 18

² GAUSA, Manuel: "METÁPOLIS diccionario de arquitectura avanzada." ACTAR editorial, 2001.

"La arquitectura contemporánea sustituye la idea de fachada, por la de piel: capa exterior mediadora entre el edificio y su entorno. No un alzado neutro sino una membrana activa, informada, comunicada y comunicativa. Más que meros agujeros, pieles técnicas interactivas. Piel colonizadas por elementos funcionales capaces de alojar instalaciones y servicios, capaces de captar y transmitir energías, pero también capaces de soportar otras capas incorporadas: solapadas más que adheridas"

Manuel Gausa

Por otro lado, la relevancia del cerramiento en el contexto de la obra arquitectónica está ligada a la componente tipológica y a la relación con la morfología urbana.

En las construcciones que responden a las tipologías de edificación en manzana cerrada entre medianeras, la fachada es entendida como cerramiento que delimita el volumen construido en relación con la calle y como cerramiento privilegiado o principal sobre el que recae la función representativa de la arquitectura, frente al resto de cerramientos, tales como los que se producen al interior de la parcela, hacia patios interiores o de manzana.

En tipologías edificatorias de bloque abierto, todos los cerramientos deben atender a las exigencias formales de representación, aunque respondiendo a un nuevo universo de valores y contenidos significantes.

Atendiendo a la relevancia de los cerramientos en la definición de la arquitectura construida, el objeto de la tesis trata de instrumentar un procedimiento para la validación de sistemas constructivos que incluya tanto las características físicas de los sistemas constructivos a emplear como las condiciones de su puesta en obra en casos concretos, así como las propias de su gestión y promoción.

La validación comparativa de distintos sistemas constructivos entre sí consistirá en el establecimiento de una clasificación (ranking) entre las diferentes alternativas consideradas para su comparación relativa.

Hay que hacer la precisión de que los distintos sistemas analizados constituyen sistemas constructivos completos que incluyen la totalidad de la secuencia constructiva que constituye el cerramiento, y que en todos los casos se analiza la parte opaca y fija del cerramiento.

El método de valoración propuesto entra a considerar una serie de **factores de diversa índole** que **no son reducibles a un único parámetro o magnitud** que permitiese una valoración de tipo lineal sobre su idoneidad relativa, ni que permitiese establecer un grado de prelación entre los distintos sistemas constructivos alternativos de manera absoluta.

En los procesos habituales de elección entre alternativas relativas a soluciones o sistemas constructivos, el procedimiento de valoración suele ser planteado en los términos de decisiones.

Para resolver este *tour de force* o desafío metodológico acudiremos a la aplicación de metodologías de valoración que nos permitan establecer de forma racional dicha comparativa. Nos referimos a una serie de metodologías provenientes en primera instancia de las ciencias exactas, en concreto de la denominada teoría de juegos.

Como desarrollo de estas teorías, a partir de los años 50 se diseñan las metodologías de decisión multicriterio, con una aplicación inmediata a las ciencias económicas y sociales. Posteriormente, han sido aplicadas a otros campos disciplinares del más variado tipo, como se verá más adelante, aprovechando la capacidad de estas metodologías para implementar procesos de tomas de decisión en los que intervienen criterios de diversa índole.

La necesidad de recurrir a los métodos de decisión multicriterio deriva del hecho de que no resulta previsible que una alternativa de las analizadas supere a las demás atendiendo a todos los criterios. En este contexto no tienen sentido buscar la "optimización", tal como ésta se define en las técnicas clásicas de investigación de operaciones.

Los métodos de decisión multicriterio discreta se desarrollan con la finalidad de poder seleccionar entre un número finito de alternativas atendiendo a la variación de criterios múltiples y heterogéneos. Para ello se produce una modelización de las distintas alternativas, que permita, mediante un tratamiento de los datos establecer unas comparativas racionales entre las mismas, de dos en dos, o estableciendo un ranking ordenado, según una estrategia epistemológica que supone "desplazar la racionalidad substantiva de un objeto u objetos a analizar hacia una racionalidad de procedimiento"

Deben existir varios criterios en conflicto, que sean independientes entre sí.

En una primera aproximación habría que distinguir entre dos categorías básicas de las técnicas de decisión multicriterio, la **decisión multicriterio discreta (DMD)**, que se aplica a un campo finito de alternativas, y la **decisión multicriterio objetiva (MODM)** aplicable a un campo infinito de alternativas, como puede ser un conjunto continuo.

Dado el objeto de nuestra investigación, según el cual las alternativas a valorar constituyen un repertorio finito de soluciones, los posibles métodos a emplear son los pertenecientes a la categoría DMD.

Dado que el método de validación propuesto se aplica no sólo a las características del sistema desde el punto de vista de su mera fabricación, sino teniendo en cuenta igualmente otros aspectos como su puesta en obra, mantenimiento posterior, etc., entendemos que puede servir como herramienta para la certificación del sistema a los efectos de probar su

garantía frente a agentes certificadores del proceso de proyecto o construcción, compañías aseguradoras o similares.

En palabras de Barba-Romero³:

"La ayuda a la Decisión es la actividad de aquel que, apoyándose sobre modelos claramente explicitados pero no completamente formalizados, ayuda a obtener elementos de respuesta a las pregunta que se plantea un interviniente en un proceso de decisión, elementos que conducen a esclarecer la decisión y normalmente a recomendar, o simplemente a favorecer, un comportamiento que proporcione una coherencia entre la evolución del proceso de una parte, los objetivos y el sistema de valores al servicio de los cuales este interviniente se encuentra situado en otra parte."

En su inicio, el proyecto de investigación que soporta esta tesis se plantea como un ejercicio de validación de una serie de sistemas constructivos que por sus características pudiesen resultar expresivos de la variedad tipológica de los mismos, aún ciñéndose a la comparativa entre doce sistemas elegidos, que por sus características pudiesen resultar representativos de la variedad de sistemas posibles, a los que se ha venido a denominar como sistemas constructivos "testigo".

En una fase posterior, y comprobada la eficacia del método de validación comparativa entre los doce sistemas constructivos alternativos, planteamos la aplicación sistemática del modelo de parametrización aplicado a estos doce sistemas constructivos "testigo" a la totalidad de los sistemas constructivos del Catálogo de elementos constructivos del CTE.

El interés de esta aplicación sistemática del método de análisis al Catálogo, es el de posibilitar una reflexión de carácter general sobre el universo de soluciones contempladas en el mismo, en el entendimiento de que tal visión de conjunto aporta un valor disciplinar necesario para la reflexión sobre la utilidad de los distintos sistemas constructivos.

Por otra parte, y sin pretender que la parametrización propuesta tenga carácter definitivo o no perfectible, entendemos que aporta al contenido del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE la consideración de una serie de parámetros que, yendo más allá de la comprobación del cumplimiento de requisitos prestacionales derivados del propio CTE, enriquecen el conocimiento de los sistemas constructivos, de forma sistemática, en aspectos no contemplados en la actualidad.

Finalmente, la parametrización sistemática de la totalidad de los "elementos" constructivos del Catálogo, entendimos que podría servir como

³ BARBA-ROMERO, Sergio: "Conceptos y soportes informáticos de la decisión multicriterio Discreta". En: *Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias*. Santiago: USACH UNESCO © 1997.

soporte para el diseño de una herramienta de validación comparativa entre sistemas constructivos de interés para los agentes intervinientes en el diseño de las soluciones constructivas para cerramientos de fachadas.

Dicha herramienta, entendemos que podría incorporarse como documento no normativo, pero sí de carácter instrumental, dentro del corpus doctrinal del CTE.

A tal efecto, y para demostrar la factibilidad, se ha realizado un ejemplo de aplicación del método de validación comparativa, en el supuesto de varios decisores que de entre las diversas alternativas contempladas en el Catálogo, optan por la comparación de entre cinco de ellas.

Una vez realizado este ejercicio de aplicación del método, se ha comprobado su validez instrumental, como prerequisite para su implementación práctica, que constituye un objetivo de la tesis complementario de la labor descriptiva y analítica desarrollada.

En tal sentido, entendemos que gran parte del interés de los análisis y propuestas de la presente Tesis, más allá de los valores de lo analítico, consiste en la elaboración de un horizonte instrumental de ayuda a la valoración comparativa de distintos sistemas constructivos en su aplicación práctica al proceso de toma de decisiones implícito en el desarrollo de los procesos de diseño.

Como desarrollo futuro del trabajo de investigación realizado, se propone la implementación de los programas informáticos que permitan al usuario un acceso directo y fácilmente operativo a los diagnósticos ofrecidos por la metodología desarrollada.

El interés de la aplicación del método propuesto de validación comparativa resulta particularmente adecuado al caso de edificaciones que no presenten especiales valores de singularidad. En los casos de diseño de arquitecturas de carácter singular pueden ser determinantes decisiones de carácter apriorístico, tales como las de carácter estético o representativo, decisiones que hacen innecesaria la intervención de procesos de ayuda a una decisión de diseño tomada de antemano y de forma apriorística.

Por el contrario la aplicación del método propuesto resulta particularmente adecuada en su aplicación a entornos de decisión abiertos, no apriorísticos, o a aquellos en los que la intervención de un decisor colectivo recomienda su utilización por constituir un procedimiento útil para la discusión racional sobre la optimidad de distintas alternativas.

El método se plantea como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en los procesos de diseño, tanto en el marco del estudio de arquitectura, donde el decisor es el profesional del diseño sujeto en cualquier caso a una serie de restricciones externas, como sobre todo en el caso de que en dicho proceso de diseño entendido como dinámica iterativa de decisiones, se produjese la intervención de diversos agentes con

capacidad de decisión, tales como promotores, empresas aseguradoras, usuarios finales de la edificación, etc.

Finalmente, la tesis propone la introducción en el campo de la definición normativa surgida de la aplicación del CTE, de nuevas figuras normativas o para-normativas que permitiesen la constitución de una biblioteca de soluciones constructivas que ampliase, de forma significativa, la actualmente existente.

Para ello se proponen procedimientos de validación de sencilla tramitación y bajo coste que pudiesen permitir a los agentes intervinientes en el sector de la construcción (fabricantes de materiales y sistemas, arquitectos e ingenieros) la incorporación de soluciones constructivas innovadoras al bagaje profesional y tecnológico.

El requisito inicial para estas incorporaciones sería que los sistemas constructivos hubiesen sido sometidos a la comprobación de los requisitos prestacionales en la fase de redacción de los proyectos de edificación y que contasen con una constatación de dicho cumplimiento en la obra definitivamente construida.

En cuanto a las líneas de desarrollo de lo propuesto por esta tesis, junto con la implementación del programa informático de validación comparativa anteriormente señalado, se apunta la necesidad y la conveniencia de ampliar el número de parámetros de validación (criterios), con la inclusión de otros que viniesen a considerar aspectos relevantes no considerados en la Tesis, como son los relativos a la contribución a la sostenibilidad ambiental y económica, y a la consideración de la vida útil de sistemas y componentes.

La utilización de las herramientas desarrolladas en la tesis se inscribe en el marco deontológico que debe guiar la actividad profesional del arquitecto, marco deontológico que debe atender a tres tipos de requerimientos; en primer lugar el compromiso con el medio social, entendida la arquitectura como una actividad social y pública; en segundo lugar en la consideración del trabajo del arquitecto como un proceso de comunicación; y en tercer lugar en la necesaria conciliación entre lo utilitario y lo estético.

En palabras de Juan Calduch⁴:

"El buen profesional no sólo se ajusta a la legalidad vigente, sino que, además, realiza bien su cometido en interés general. En definitiva, la deontología presupone un ethos profesional que trasciende al mero sujeto jurídico."

⁴ **Calduch, Juan:** "Temas de composición arquitectónica. Arquitectura y ética". Editorial Club Universitario, San Vicente de Raspeig (Alicante) 2004, pág. 84.

CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se ofrece una panorámica del estado del arte relativo a las materias que son objeto de la Tesis, es decir la descripción y análisis sobre los sistemas constructivos para cerramientos de la edificación.

Por otra parte, y dado el protagonismo que en el desarrollo de la Tesis tiene la metodología de análisis, se ofrece una panorámica sobre la aplicación de los métodos de decisión multicriterio, utilizados en su desarrollo.

La exposición de este estado del arte tiene una doble finalidad; por una parte, ofrecer una panorámica de los estudios, análisis y teorías existentes, que permitan servir de soporte y punto de partida para el desarrollo de la Tesis propuesta; por otra parte, y en base al diagnóstico y valoración crítica sobre dicho estado del arte servir, para la justificación sobre la oportunidad de redacción de la presente Tesis.

La valoración crítica sobre el estado del arte, entre otras consideraciones, justifica la oportunidad sobre la redacción de la tesis

Los tipos de documentos considerados para establecer el estado del arte son los siguientes

- Tesis doctorales.
- Publicaciones y estudios.
- Regulación normativa.

Dado el carácter académico de la Tesis resultan de especial relevancia las tesis doctorales relacionadas con su objeto.

Por otra parte, se hará referencia a estudios y publicaciones que aún no siendo provenientes del ámbito académico, ofrecen una interesante información sobre la panorámica de los sistemas constructivos, en especial de los que constituyen una innovación sobre los más conocidos e implantados en la práctica del sector de la construcción.

2.1.- Tesis doctorales relativas al objeto de la presente

En el presente epígrafe se ofrece una panorámica y valoración de las tesis doctorales relacionadas con el objeto de la presente tesis. Se ha distinguido entre aquéllas que se refieren a los sistemas constructivos de cerramientos de fachadas en la construcción de aquéllos que inciden en aspectos metodológicos de análisis.

Dado que finalmente los sistemas constructivos analizados en la tesis se refieren fundamentalmente a los sistemas constructivos utilizados en nuestro país, nos hemos centrado de forma prioritaria en aquéllas Tesis doctorales aprobadas en las distintas universidades del Estado, con especial atención a las de más reciente publicación.

2.1.1.- Tesis doctorales sobre las fachadas y los sistemas constructivos para su ejecución

En los últimos años se ha producido la lectura de una amplia serie de Tesis doctorales que tienen por objeto el estudio de los cerramientos de fachadas, abordado desde múltiples puntos de vista.

En el Anejo V: Bibliografía, se ha incluido una relación de Tesis que tienen por objeto el estudio de los cerramientos, que figuran bajo el epígrafe "Tesis doctorales relacionadas", que incluye un total de 26 referencias.

De entre ellas, por su especial relevancia, o por proximidad al objeto de la presente Tesis, se destacan a continuación las que se han considerado más significativas.

Existe una serie de Tesis que, atendiendo a la relevancia que la imagen exterior de la arquitectura ha ido adquiriendo en las últimas décadas, han centrado su análisis en los aspectos compositivos y estéticos o en la incidencia de las nuevas tecnologías de construcción en la **configuración externa de la arquitectura**.

Por ejemplo, la tesis de Graciela Trovato (2004) supone una reflexión sobre el papel comunicativo que recae en la fachada, en el marco de la nueva sociedad de la información en la que el carácter significativo de la arquitectura adquiere un gran protagonismo⁵.

"Desvinculada de sus relaciones estructurales y formales con el objeto arquitectónico, la piel se convierte en el principal objeto de una hibridación tecnológica que, empezando por los límites del cuerpo propio, afecta por extensión a la arquitectura y a las ciudades. Estas entidades viven, como recuerda Virilio, entre una dimensión real, del planeta y de la ecología, y una virtual de la tecnología electrónica y de las redes. Nuestro entorno es finalmente el resultado de la superposición de estadios de diferente naturaleza que se entrecruzan continuamente. Los límites, los puntos de contacto entre las diferentes esferas de nuestra existencia se ponen en discusión.

El cambio de paradigma, es decir el comienzo de una era marcado por la revolución informática y nuevos sistemas de producción y consumo, impone una visión renovada del planeta y de las ciudades, como un todo artificial que no puede ser retratado con los sistemas de representación tradicionales ni percibido a través de las leyes de la perspectiva central de matriz renacentista. Lo que tratábamos como contexto natural o urbano es ahora una masa estratificada donde lo virtual se cruza con lo real continuamente y donde reina el control en todas sus acepciones.

⁵ TROVATO, Graziella: *La fachada como lugar en la arquitectura contemporánea*. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004, pág. 137.

El objeto arquitectónico no puede relacionarse con el contexto sobre la base de reglas compositivas determinadas, de fachadas compuestas con las "recetas" de orden y armonía, pues el propio concepto de contexto impone una reflexión renovada dentro del marco contemporáneo".

Como ejemplo de Tesis doctoral que explora la utilización de **materiales constructivos alternativos a los convencionales**, en este caso con la finalidad de optimizar factores como el ciclo de vida de los materiales, debería señalar la de **Gerardo Wadel** (2009), que en su preámbulo expresa lo siguiente:⁶

"Esta tesis doctoral tiene por objeto el estudio teórico y experimental de las posibilidades de la arquitectura industrial izada, modular y ligera aplicada a la vivienda, como construcción sostenible. (...)

La hipótesis planteada es que, en el ámbito descrito y con la tecnología actualmente disponible, se puede desarrollar un sistema de gestión de los recursos empleados en el ciclo de vida de los edificios capaz de aproximarse significativamente al cierre de los ciclos materiales. La construcción convencional de edificios en el ámbito local alcanza, tal como se determina en esta investigación, una tasa de reciclaje de un 10 de los recursos empleados. El sistema de gestión desarrollado define las estrategias que lo aproximan el máximo posible al 100 de reciclaje. Encontrar las maneras de evitar el consumo de recursos no renovables y la emisión de residuos contaminantes a lo largo del ciclo de vida del edificio fueron las claves para ello."

Uno de los sistemas constructivos para fachadas propuestos en esta Tesis ha sido utilizado como *sistema testigo*, en la Parte III de la presente Tesis.

Por otra parte, existen varias tesis doctorales que tienen por objeto profundizar en métodos experimentales para perfeccionar el diagnóstico sobre el comportamiento prestacional de los sistemas constructivos. Por ejemplo la tesis de Emanuela Giancola (2010), que en su exposición expone lo siguiente⁷:

"En este trabajo se muestra un estudio del comportamiento térmico y dinámico de una fachada ventilada de juntas abiertas. Más concretamente, se han realizado medidas experimentales y simulaciones numéricas orientadas a la investigación del funcionamiento de una fachada ventilada de juntas abiertas expuesta

⁶ WADEL, Gerardo: *Sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Cataluña. Julio 2009, pág. 7.

⁷ GIANCOLA, Emanuela: *"El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas"*. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid. 2010, pág. 6

a la radiación solar en periodo de verano y de invierno.

En el estudio experimental, primeramente, se han obtenido las características globales de funcionamiento de una fachada ventilada de junta abierta situada en un edificio en la ciudad de Almería. Después, mediante la utilización de sensores de temperatura se han obtenido las distribuciones de las temperaturas en la cara interior del revestimiento exterior (plaquetas cerámicas), en el canal de aire y en la pared interior del cerramiento. Se ha estudiado la validez de los distintos resultados mediante un correspondiente análisis."

Existen tesis que profundizan en **casos particulares de sistemas constructivos para cerramientos o de materiales novedosos**, con la aplicación de ensayos para determinar su comportamiento prestacional.

A este tipo de tesis centradas en el estudio de casos particulares de sistemas constructivos o materiales novedosos pertenece la Tesis doctoral de José Antonio Tenorio Ríos, en la que se estudia la aplicación de materiales de cambio de fase en la edificación, con especial incidencia en su aplicación a los cerramientos⁸.

A este tipo pertenecería también el Proyecto fin de carrera de Anouch Adjemian (2011), centrado en el análisis de las fachadas ventiladas y la aplicación de materiales constructivos novedosos en su configuración⁹. Pese a no ser una tesis doctoral, este Proyecto fin de carrera se ha incluido por su carácter académico y por su interés específico. En su capítulo introductorio, define los sistemas de fachadas ventiladas:

"(...) Finalmente podemos definir la fachada ventilada como un sistema constructivo que puede ser utilizado tanto en obra nueva como en rehabilitación. La fachada ventilada está compuesta por paneles independientes al muro soporte fijados a través de una estructura portante, de modo que se crea una cámara ventilada, que contribuye a reducir los efectos negativos de los agentes externos y de la humedad, permitiendo minimizar el sobrecalentamiento en verano, facilitando la transpiración de la fachada y evitando las condensaciones. La mejora térmica y acústica se consigue al fijar el aislamiento a la cara externa del muro soporte, evitando los posibles puentes térmicos.

⁸ TENORIO RÍOS, José Antonio: "Ahorro energético en edificios mediante el almacenamiento estructural con materiales de cambio de fase", Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid. 2014.

⁹ ADJEMIAN ORIA, Anouch: "La evolución de las fachadas ventiladas, nuevos materiales y sistemas constructivos". Proyecto fin de carrera. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2011.

La utilización de paneles independientes para el revestimiento permite una gran versatilidad en el diseño gracias a la gran cantidad de acabados que ofrece, tanto en la amplia gama de colores, como en diversidad de materiales y texturas.

Otra Tesis que aborda el estudio sistemático de las fachadas ventiladas, aunque ciñéndose al análisis de su cara interior es la leída por Cristina Pardal March (2009), que en su página 8 expone, de forma sucinta la problemática analizada¹⁰:

"En la fachada ventilada convencional conviven dos sistemas constructivos muy distintos. Así como la hoja exterior y sus mecanismos de fijación han experimentado un gran desarrollo en estos últimos años que los ha llevado a un alto nivel de tecnificación acompañada del montaje en seco confiado a especialistas; la hoja interior sigue, en general, atada a la tradición.

La albañilería, tanto de pieza cerámica como de bloque de hormigón, es la técnica empleada habitualmente para esta hoja. Su ejecución precisa otro tipo de operario, un albañil con oficio, un artesano, capaz de unir con pasta de mortero una serie de pequeños elementos hasta conformar un muro bien trabado. Es de su buen hacer de lo que depende el correcto funcionamiento de la fachada.

Dos técnicas muy distintas conviven en un mismo elemento arquitectónico. Así como la primera confía en el desarrollo tecnológico, la segunda lo hace en las capacidades de la mano de obra. Una es limpia y seca mientras que la otra va acompañada de una considerable generación de escombros y del empleo de aglomerantes que precisan de un tiempo de fraguado.

Esta convivencia no supondría ningún problema si permitiera concebir la fachada como un conjunto. Las pocas garantías, principalmente de estabilidad y planeidad, que da la hoja interior no permiten confiar en ella como soporte. La hoja exterior se diseña de manera autónoma, fijándose únicamente a los cantos de los forjados en muchos casos e incorporando más o menos complejos mecanismos para regular la planimetría.

2.1.2.- Tesis doctorales relativas a aspectos metodológicos y su aplicación concreta

De entre la muy extensa literatura existente sobre los métodos de ayuda a la decisión multicriterio destacan tesis como la de María A. Vicente y Oliva, que además de ofrecer una descripción extensa de su contenido y describir

¹⁰ PARDAL MARCH, Cristina: *La hoja interior de la fachada ventilada: Análisis, taxonomía y prospectiva*. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 2009.

el panorama de su evolución, contribuyen con una reflexión sobre el aspecto metodológico de la caracterización de los criterios.

En su introducción realiza una definición sintética de estos métodos¹¹:

"La Ayuda a la Decisión es la actividad de aquel que, apoyándose sobre modelos claramente explicitados pero no completamente formalizados, ayuda a obtener elementos de respuesta a las preguntas que se plantea un interviniente en un proceso de decisión, elementos que conducen a esclarecer la decisión y normalmente a recomendar, o simplemente a favorecer, un comportamiento que proporcione una coherencia entre la evolución del proceso de una parte, los objetivos y el sistema de valores al servicio de los cuales este interviniente se encuentra situado de otra parte.

Es decir, la aportación de la Ayuda a la decisión no se limita a la recomendación final sino que acoge también el espíritu en el que dicha recomendación ha sido concebida."

Como ejemplo de Tesis que abordan la aplicación de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio al campo de la edificación podemos mencionar la leída por Esteban Fraile García (2012) en la que se propone la aplicación de estos métodos para el análisis comparativo de diversos sistemas de forjados unidireccionales¹².

La tesis justifica la oportunidad de aplicación de estos métodos al caso concreto de estudio:

"De acuerdo al estado del conocimiento expuesto a lo largo del capítulo, se identifican dos puntos que pretenden constituir la aportación de esta Tesis Doctoral.

Estos puntos hacen referencia a la constitución de una nueva metodología (prestaciones y sostenibilidad), y a la construcción de una herramienta de valoración de forjados unidireccionales para la edificación residencial.

Esta metodología y esta herramienta se fundamentan en la toma de decisiones y en el análisis de valor visto desde otra perspectiva. Con esta metodología, y por ende; con esta herramienta, se busca no solamente definir un modo de evaluar diversas alternativas, sino de establecer un procedimiento que sirva de guía al diseñador de estructuras, en el análisis y selección de las soluciones a adoptar en los edificios."

¹¹ VICENTE Y OLIVA, María A. de: *Ayuda multicriterio a la decisión: Problemática de los criterios en los métodos de sobreclasificación*. Tesis doctoral: Universidad Complutense de Madrid. 1998, pág. 5.

¹² FRAILE GARCÍA, Esteban: *"Análisis multicriterio de forjados unidireccionales"*. Tesis doctoral: Universidad de la Rioja. 2012, pág. 34.

A destacar la Tesis doctoral de G. Ormazábal, orientada a la toma de decisión en la gestión de proyectos constructivos, cuya aproximación al objeto de estudio es cercana a la concepción teórica de las metodologías de ayuda a la toma de decisión multicriterio. Dicha tesis tiene su fundamento en una reflexión teórica sobre el concepto de valor (concepto próximo al utilizado en la presente tesis como **grado de utilidad**) enfrentando los dos paradigmas existentes sobre la consideración del valor, el denominado *neoclásico*, y el derivado del nuevo paradigma multicriterio, exponiendo su grado de vigencia¹³ :

"(...) al igual que en el problema de la toma de decisión, la última década ha sido testigo de un cierto solape de tendencias y propuestas correspondientes a los diversos enfoques anteriormente descritos. De hecho, a pesar de que los planteamientos postmodernistas del valor han experimentado una cierta difusión (Green, 1999), el enfoque neoclásico sigue presente en las publicaciones recientes. Baste considerar, por ejemplo, las referencias al concepto de optimización (Smith, 1999)."

2.2.- Publicaciones y estudios

Existen numerosas publicaciones y estudios sobre sistemas constructivos para cerramientos en fachadas, siendo particularmente relevante la literatura procedente de revistas especializadas como *Informes de la construcción*, *Tectónica*, *CiC*, *Arte y cemento*, etc.

En cuanto a las consideraciones de tipo generalista, se puede citar el artículo de Luis de Villanueva Domínguez (2005) publicado en *Informes de la construcción*, en el cual se ofrece una panorámica histórica sobre la evolución de los sistemas constructivos, con especial referencia a los sistemas constructivos de las fachadas de la edificación.

Su reflexión sobre la evolución histórica sirve de punto de anclaje para la reflexión sobre el momento actual, situando el panorama contemporáneo en la serie histórica de la evolución de las técnicas constructivas¹⁴:

"Lo característico de nuestra época, en lo que a la construcción se refiere, es la pervivencia de técnicas artesanales que se superponen a sistemas industrializados, junto con los primeros síntomas de una nueva etapa."

¹³ ORMAZÁBAL, G:

"Un Nuevo sistema integrado de toma de decisión para la gestión de proyectos constructivos". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Pág. 34.

¹⁴ VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, Luis de: "Las tres edades de la construcción". En *Informes de la Construcción*, Vol. 57, 498 (2005), pág. 42.

En la historia, desde el neolítico hasta la actualidad, las técnicas constructivas han ido evolucionando, para poder resolver problemas cada vez más complejos. Se ha producido una notable evolución en las tres componentes esenciales de la construcción: mano de obra, materiales y medios auxiliares. Pero esa evolución está jalonada por momentos revolucionarios que cambian sustancialmente el hecho constructivo."

Revolución neolítica (la agricultura permite el sedentarismo y comienza la construcción)

ARTESANAL	Naturales: piedra, madera, tierra. Artificiales: yeso, cal, cerámica.	Artesanos cualificados organizados en oficios y gremios.	Evolución lenta que cristaliza en culturas y sistemas constructivos.
-----------	--	--	--

Revolución industrial (introducción de la máquina en los procesos)

INDUSTRIAL	Hierro, acero, cemento, vidrio. Producción seriada. Normalización. Control de calidad.	Se diferencia la mano de obra del taller o fábrica de la de obra. Aparece el montador	Prefabricación. Mejoran los medios auxiliares.
------------	---	--	---

Síntomas diversos de una nueva revolución

POSTINDUSTRIAL	Plásticos sintéticos. Recepción en obra de productos terminados. Se diseña el material.	Predomina el montador. Tienden a desaparecer los oficios.	Automatización. Medios auxiliares muy complejos.
----------------	---	--	---

Resulta interesante su reflexión final sobre la relación entre la evolución tecnológica y el proceso de diseño¹⁵:

"Se llega así al momento actual, caracterizado por la transición de la etapa industrial a otra todavía no bien denominada, que podemos llamar postindustrial. Esta situación es particularmente importante y tiene consecuencias inmediatas sobre el panorama actual de la construcción, así como de la investigación y desarrollo que sobre ella se efectúa.

(...) Con independencia de los datos tecnológicos citados, aunque en relación con ellos, se observa en un nivel más conceptual, una desvinculación de la arquitectura con la construcción. Constató un hecho, aunque no me gusta. El progreso tecnológico que facilita la materialización de cualquier idea parece que invita a potenciar la

¹⁵ VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, Luis de: "Las tres edades de la construcción". En *Informes de la Construcción*, Vol. 57, 498 (2005), pág. 45.

imaginación figurativa, sin las limitaciones que el proceso constructivo supuso en las etapas anteriores.”

En un ámbito de reflexión generalista desde la arquitectura sobre los cerramientos podríamos citar el artículo publicado en la red por Nuria Forqués Puigcervé, que constituye una lucida reflexión sobre la fachada y su contemporánea categorización como *piel* de la arquitectura, término éste que por su capacidad de evocación ha pasado a formar parte de la crítica arquitectónica¹⁶:

"Según el artista y arquitecto austriaco Hundertwasser, hacemos uso de cinco pieles diferentes., La primera de ellas es la nuestra, la epidermis; la segunda, la vestimenta; la tercera la casa, los edificios; la cuarta piel es la identidad, es nuestro entorno más cercano nuestra familia, nuestro barrio o ciudad, en resumen, todo aquello ajeno a nosotros que nos ayuda a definimos. Por último, la quinta piel es la Tierra, nuestro planeta, el mismo que con su atmósfera protectora nos permite vivir, generándonos un ambiente que nos aísla del resto del hostil y frío universo exterior.

Nosotros aquí nos vamos a referir a la tercera piel. A ese límite que separa el interior de un espacio del exterior de este. La fachada, el muro, el cerramiento. Ese elemento que va formando, por acumulación, el escenario de nuestras ciudades y, que a la vez, nos permite protegernos de ellas para mirarlas y admirarlas a través de una ventana. Su misión es acogernos en su interior, marcar una barrera en cuyo seno podamos recrear un universo ajeno al exterior; pero a su vez, no nos aislamos del todo, no queremos dar la espalda a aquello que sucede más allá de nuestro hogar, sino que necesitamos comunicarnos, de un modo u otro, con el resto del mundo; ver cómo transcurre el día, cómo se suceden las estaciones, enmarcar una vista o abarcar todo el paisaje. Y sobre todo, lo que necesitamos es poder cruzar ese límite y decidir, en cada momento, en qué cara de la moneda queremos estar.”

En este ámbito generalista de reflexión se puede situar el artículo publicado por Leandro Madrazo, Avellaneda y González, en el que se reivindica el carácter interdisciplinar del proyecto de arquitectura y la exigencia de eficacia que debería guiarle, similar al aplicado en el diseño industrial¹⁷:

"Kieran y Timberlake (2004), defienden que la construcción arquitectónica debería guiarse por los mismos criterios de eficiencia

¹⁶ FORQUÉS PUIGCERVÉ, Nuria: *La piel que habitamos*. @nuforpui

¹⁷ MADRAZO, Leandro; AVELLANEDA, Jaume y GONZÁLEZ, Josep María:

"BAR-CODE HOUSING SYSTEM: la creación de un espacio de investigación interdisciplinar en torno al proyecto de arquitectura".

económica que rigen en la industria naval, aeronáutica y aeroespacial. Al igual que ocurre en estas industrias, se trata de abandonar el paradigma representado por la fórmula (1)

$$(1) \quad Q \times S = C \times T$$

para sustituirlo por el paradigma representado por la fórmula (2)

$$(2) \quad Q \times S \# C \times T$$

en las que Q (quality) es la calidad global, S (scape) son las prestaciones del edificio, C(cast) es el coste y T (time) el tiempo de producción. Así, mientras que en las industrias más avanzadas un aumento de calidad y prestaciones en sus productos no deriva en un incremento paralelo en el coste y el tiempo de producción (2), en la construcción arquitectónica sigue ocurriendo que los aumentos de calidad y prestaciones del edificio conllevan un mayor coste y dedicación del arquitecto (1). Según Kieran y Timberlake, en la construcción arquitectónica debería imponerse el mismo modelo que en las industrias más desarrolladas, es decir, que un aumento de la calidad (Q) y/o de las prestaciones (S) de un edificio no debería implicar necesariamente un aumento de los costes (C) y del tiempo de construcción (T). O que una disminución del tiempo de construcción y por tanto un aumento de productividad no debería suponer una reducción de prestaciones y de calidad de la edificación o un aumento de su coste. "

En relación sobre los **procesos de prefabricación en la construcción** se puede citar el artículo publicado por Juan Monjo Carrió en la revista Informes de construcción, que ofrece una panorámica sobre la aparición y desarrollo de los sistemas industrializados de prefabricación de elementos y sistemas constructivos. En dicho artículo se expone la exigencia que la aplicación de estos sistemas impone al proceso de diseño, en atención a su carácter modular¹⁸:

"Tratar de establecer una base de coordinación modular para la geometría de los elementos constructivos que pueda ofrecer el mercado; de hecho, ésta es una idea que lleva planteándose desde antiguo (1950) y hasta el momento no parece haber tenido éxito. Conocer bien los productos que ofrece el mercado, con todos los datos geométricos y técnicos necesarios, para poder estudiar su acoplamiento en un mismo proyecto desde el principio.

Que los productores ofrezcan una geometría relativamente flexible en sus elementos para que su incorporación en el edificio no se vea tan condicionada por los tamaños, y que adquieran más importancia

¹⁸ MONJO CARRIÓ, J.: "La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización". En: *Informes de la Construcción*, nº 500, p.p. 37 a 54. Madrid, 2005, pág. 51.

los servicios que ofrece, así como su calidad.”

Aspectos parciales de reflexión sobre los sistemas constructivos para fachadas son también numerosos, por ejemplo, el contenido en el artículo de J. Wadel, Avellaneda y Cuchí referido al concepto de sostenibilidad en la arquitectura industrializada. Ya fue citada anteriormente la Tesis doctoral de J. Wadel, cuyo contenido está en sintonía con el artículo ahora citado. En él, y para determinar el grado de sostenibilidad de la aplicación de los sistemas constructivos, se tienen en cuenta factores multicriterio, en sintonía con la metodología de análisis de la presente Tesis. Quede como testimonio de esta consideración el siguiente párrafo¹⁹:

“Tomando un indicador de indicadores como las emisiones de CO₂ para las distintas fases del ciclo de vida (Figura n puede comprobarse que aunque existen grandes diferencias en algunas etapas, en el total del ciclo de vida los sistemas tienden a igualarse, debido a su diferente capacidad de respuesta frente a las demandas de cada fase. Materiales como la madera, por ejemplo, obtienen valores muy bajos en extracción y fabricación (7) (8), que no se mantienen cuando se evalúa el transporte (por la localización lejana de su fábrica, en Austria) o el uso (su escasa inercia térmica no le permite retener o ceder calor), aunque aún así es el sistema con mejor desempeño global. En el caso del acero su dependencia de materiales de industrialización intensiva.”

Son numerosos los estudios que proponen la aplicación de nuevos materiales, estudios tales como el desarrollado por Manuel Domínguez et al.²⁰, en el que se describen sistemas constructivos con la introducción de materiales de cambio de fase (PCM). Dado su interés, reproducimos las conclusiones de artículo:

- *“Las entradas de calor en las construcciones, se pueden reducir grandemente concibiendo a los cerramientos con otro criterio al actualmente considerado, que es partir del régimen estacionario. Es decir, que en lugar de buscar que la resistencia térmica R sea grande, se debe buscar que lo sea el producto de ésta por la capacidad.*
- *Tanto la impedancia, como el desfase, de los cerramientos dependen del producto $\rho R C$, cuanto más alto sea, es mayor la impedancia o resistencia térmica real. El desfase interesante será de 12 h para la onda diaria y de tres a seis meses en la anual, éste valor puede conseguirse con*

¹⁹ WADEL, G; Avellaneda, J y Cuchi, A.: “La sostenibilidad en Arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales”. En *Informes de la Construcción*, vol. 62, nº 517, pp. 37-51.

²⁰ DOMÍNGUEZ, Manuel; GARCÍA, Carmen; ARIAS, José María: *Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase*. Madrid: Instituto del frío CSIC, 2009, pág. 7

los PCM.

- *El introducir los PCM en la construcción, entraña problemas y requiere un desarrollo, siendo en forma de micro encapsulado la más interesante, bien directamente incorporada a los aislantes o a los morteros.*
- *El panel "súper aislante" (aislamiento con vacío) en el que el micro grano es el propio micro encapsulado con el PCM, puede ser una solución muy interesante, sobre todo en la industrialización y rehabilitación de la vivienda."*

En relación con los métodos de ayuda a la decisión multicriterio, es también abundante la literatura, tanto de carácter divulgativo como especializado y de carácter fundamentalmente técnico dirigido a especialistas. Para nuestro propósito ha resultado en inicio muy valioso el texto de Gabriela Fernández y M^a del Carmen Escribano titulado "La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual", pues ofrece una panorámica de carácter sintético sobre estos métodos muy orientativa de su situación actual. Así, por ejemplo, en su página 15²¹:

"Quien mejor ha definido la Ayuda a la Decisión es, sin duda alguna, Bernard Roy, quien considera que la Ayuda a la Decisión es la actividad de una persona física quien, mediante el uso de modelos explícitos aunque no completamente normalizados, ayuda a responder las cuestiones propuestas por el asesor o analista (elemento clave en todo proceso de decisión). Los elementos puestos en juego pretenden clarificar la decisión y, usualmente, están orientados a obtener una adecuada recomendación, o bien, intentan simplemente, favorecer un comportamiento que podría incrementar la consistencia entre la evolución del proceso, los objetivos y el sistema de valores del analista. En este contexto, la palabra "recomendación" es utilizada para llamar la atención sobre el hecho de que tanto el analista como el decisor son conscientes de que el decisor es completamente libre de comportarse como desee después de haber sido asesorado o recomendado. La palabra "recomendación" se utiliza en el ámbito de la Ayuda a la Decisión para reemplazar el término "receta" o "regla". Estos últimos son, en la mayoría de los casos, inapropiados para designar aquello que un grupo de analistas que asesora al decisor podría alcanzar.

Definida de esta forma, la Ayuda a la Decisión, apoyada sobre bases científicas reconocidas en lo que a hipótesis se refiere, se orienta hacia las formulaciones de proposiciones (elementos de respuesta a

²¹ FERNÁNDEZ BARBERIS, Gabriela y ESCRIBANO RÓDENAS, M^o del Carmen: "La ayuda a la decisión multicriterio: orígenes evolución y situación actual." Departamento de Métodos cuantitativos e Informáticos, Facultad de CC. Económicas y Empresariales, Universidad CEU San Pablo, Madrid, pág. 15.

las cuestiones, una presentación de soluciones satisfactorias o posibles soluciones de compromiso, etc.) que luego son sometidas al decisor y/o varios actores involucrados en el proceso, para su juicio y evaluación.”

Como ejemplo de texto que ilustra la esencia y aplicación de estos métodos de ayuda a la decisión se puede citar el de Carlos Romero López (1996), que igualmente ilustra sobre sus propósitos y su implementación en la práctica social y profesional²²:

“En su dimensión más básica un proceso de toma de decisión puede concebirse como la elección por parte de un centro decisor (un individuo o un grupo de individuos) de «lo mejor» entre «lo posible». Los problemas analíticos surgen a la hora de definir «lo mejor» y «lo posible» en un determinado contexto decisonal.

El enfoque tradicional para abordar este tipo de cuestiones puede resumirse de la siguiente manera. La existencia de recursos limitados entendiendo el término recurso en un sentido amplio generan las restricciones del problema. El valor de las variables de decisión que satisfacen las restricciones constituye lo que se denomina el conjunto factible o alcanzable que estructura y formaliza lo que se entiende por lo posible. Este conjunto puede ser continuo (esto es, existen infinitas soluciones factibles) o discreto (esto es, existe un número finito de soluciones factibles).

Resulta interesante observar que la primera fase del proceso decisonal que acabamos de describir requiere una información exclusivamente de tipo técnico. Dicho con otras palabras, para determinar el conjunto factible sólo se necesita información no preferencial. Las preferencias reales del centro decisor aparecen en la segunda fase cuando se establece la función de criterio o de utilidad. Dicho brevemente, en la primera fase a partir de una información técnica se define lo que es posible mientras que en la segunda fase los juicios preferenciales del centro decisor definen lo mejor. La intersección de ambas fases determinan la mejor de entre las elecciones posibles; esto es, la «solución óptima»”.

Por último, hay que reseñar la existencia de numerosas publicaciones que ilustran la aplicación de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio a una gran diversidad de campos disciplinares, a los que se hará referencia de forma sistemática en cuerpo de la Tesis; hay que decir que la consulta de este tipo de referencias ha servido de especial estímulo para su desarrollo.

²² ROMERO LÓPEZ, Carlos: *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid, Isdefe, 1996, págs 14 y 15.

Un ejemplo de utilización de estas metodologías al campo de la planificación territorial es la ponencia de F.B. Galacho y C. Ocaña (2006) sobre **optimización de la implantación territorial de los usos residencial y comercial**. En justificación de la aplicación de estas metodologías, se expresa lo siguiente²³:

"Las ventajas de utilizar estas técnicas combinadamente con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser dentro de él, ponderados como un factor positivo o negativo para un determinado objetivo. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la evaluación multicriterio, combinada con SIG, para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio es muy extenso, citamos algunos trabajos: Eastman et al. (1993), Malczewski (1999), Gómez y Barredo (2005, anteriormente Barredo, 1996), Bosque y García (1999), Barredo y Bosque (1995), Bosque y Moreno (2004)."

En el mismo sentido de oportunidad de utilización de estas herramientas se pronuncian E. Martínez, M. Álvarez y M. Romero (2010) en su aplicación a la toma de decisiones en relación con la mejor **ubicación de equipamientos urbanos**²⁴:

"Uno de los nuevos campos en el que los SIG son necesarios, es la gestión eficaz de los espacios y equipamientos urbanos, tanto desde el punto de vista medioambiental, respetando la idea de desarrollo sostenible; como del mantenimiento de sus infraestructuras, generando soluciones inmediatas a problemas urgentes.

(...)

Los SIG ayudados de aplicaciones multicriterio se muestran como una herramienta sencilla y potente para la toma de decisiones sobre las alternativas de localización, como el caso que se presenta en este trabajo. Su potencialidad radica básicamente en que permiten el uso de una gran variedad de información geográfica y ambiental sobre las parcelas de ubicación definitiva."

²³ GALACHO JIMÉNEZ, F. B. y OCAÑA OCAÑA, C: "Tratamiento con SIG y técnicas de evaluación multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales". En *Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* p.p. 1509 a 1525. 2006, pág. 1513.

²⁴ MARTÍNEZ, E.; ÁLVAREZ, M.; ROMERO, M.: "Apoyo a la selección de emplazamientos óptimos de edificios. Localización de un edificio universitario mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)". En: *Informes de la Construcción*, vol.62, 519, pp. 34-35. Año 2010, P.p. 35 y 42.

Un ejemplo de aplicación de estos métodos a un objeto de estudio cercano al que interesa a esta Tesis es el expuesto en el artículo de J. Armengou, A. Aguado y G. Ormazábal, referido a toma de decisiones en un proceso de diseño de estructuras de Hormigón ²⁵:

"Las soluciones prefabricadas, tanto en obra civil como en edificación, que sustituyen a soluciones usualmente resueltas en hormigón in situ es cada vez mayor (1) (2), siendo antiguo el debate de las ventajas e inconvenientes de ambos tipos de solución y su presencia en diferentes mercados (3) (4) (5).

Una forma de cuantificar las características de cada alternativa, para la toma de decisiones en la gestión de proyectos, es mediante técnicas multicriterio. Estas empezaron a tratarse de forma teórica en el ámbito de la economía y la gestión empresarial'.

(...) Podríamos, sin duda, acudir a otras metodologías, dentro de la misma lógica difusa, o de tipo análisis multicriterio (34); sin embargo, aparte de cuál es el método que describamos aquí, es relevante el hecho de que el proceso de análisis ya obliga a una búsqueda del planteamiento de alternativas y del consenso que serán un paso imprescindible para lograr la idoneidad de la solución escogida y facilitar su implantación sin conflictos ni ineficiencias."

El artículo de Marietta Llanes publicado en 2010 constituye un ejemplo de aplicación de estos métodos para establecer el tipo de actuaciones edificatorias más conveniente para las operaciones de intervención urbanística y edificatoria en cascos urbanos consolidados.²⁶

"En las zonas centrales compactas de la ciudad, producto del deterioro y derrumbe de algunos de sus inmuebles han quedado lotes vacíos que pueden rellenarse nuevamente con edificios multifamiliares, de esta forma se redensifica la ciudad desde dentro como promueve la Dirección Provincial de Planificación Física.

A raíz de esta problemática el grupo de investigación de la vivienda de la Facultad de Arquitectura de la CUJAE ha venido desarrollando un trabajo que lleva por título "Vivienda apropiada para ciudad de La Habana" y que tributa al Programa Ramal de la Construcción 01 "Desarrollo de la construcción, el mantenimiento y la rehabilitación de la vivienda y las urbanizaciones". De esta investigación se ha

²⁵ ARMENGOU, J.; Aguado, A. y Ormazábal, G: "Sistema integrado para toma de decisiones en el diseño de estructuras de hormigón". En *Informes de la Construcción*, Vol., 64, 527, pp. 391-400, cita, pág. 392

²⁶ LLANES, Marietta: "Evaluación de soluciones constructivas de vivienda para insertar zonas compactas centrales de la ciudad". En *Arquitectura y Urbanismo*, volumen XXXI, nº 3 de 2010. La Habana (Cuba).

derivado un trabajo encaminado a evaluar posibles soluciones constructivas disponibles en el País o en proceso de desarrollo que resulten apropiadas para tales fines.”

2.3.- La regulación normativa y el estado del arte

En la exposición del estado del arte en relación con el objeto de la Tesis, adquiere una particular relevancia, pese a no circunscribirse al ámbito de lo académico, un análisis de los sistemas constructivos a la luz del Código Técnico de la Edificación.

En efecto, el CTE, por su carácter normativo de obligado cumplimiento para las actividades de edificación en el ámbito del Estado, y pese a no pretender contemplar todas las soluciones constructivas posibles, sí que constituye en la práctica un documento de referencia esencial para el arquitecto, en el ejercicio de su actividad profesional. Por su obligado cumplimiento y por la extensión de su aplicación está imbuido para los profesionales de un cierto carácter doctrinal.

En consecuencia, consideramos necesario para el desarrollo y proyección del nuestro análisis crítico de las soluciones constructivas en fachadas que se proponen en la presente Tesis proceder con carácter previo a una descripción, análisis y diagnóstico de la estructura y contenido del CTE, intentando identificar las posibles disfunciones que pudiese propiciar su estructura normativa y, en su caso, las consecuencias que de ello se derivarían en la práctica de la edificación; todo ello guiados por la finalidad operativa que se pretende para la Tesis.

En el epígrafe 11.1 de la presente Tesis se ofrece una descripción extensa del contenido normativo del Código Técnico de la Edificación, y en particular de su Catálogo de Elementos Constructivos.

Pese a la transcendencia de la implantación del CTE, y al carácter referencial que con respecto a los sistemas constructivos supone su Catálogo de Elementos Constructivos, no existen a nuestro juicio estudios que hayan establecido un diagnóstico sobre la evolución de su propósito.

Sí se editaron con ocasión de la entrada en vigor del CTE numerosos artículos, informes que sirvieron de introducción y guía al profesional para su aplicación, serie de publicaciones que en general y por ser de carácter predominantemente informativo, y a la espera de poder realizar unos análisis más pormenorizados a la vista de la puesta en práctica de la nueva norma no profundizan en su contenido normativo, como por ejemplo el artículo de Inés Leal (2006) que ofrece una visión de su contenido y aplicación. En general las conclusiones que se extraen de esta serie de

publicaciones apelan más a las expectativas de futuro creadas por el nuevo código que profundizan en su contenido²⁷:

"El objetivo final del CTE es promover una construcción más sostenible aumentando los niveles de exigencias respecto a la normativa actual, a partir de la mejora de la envolvente de los edificios y la eficiencia de sus instalaciones, exigiendo unas condiciones higrotérmicas aptas para el uso de los mismos, reduciendo las necesidades de consumo de energía fósil y avanzando hacia el uso generalizado de las energías renovables."

Existen, no obstante, reflexiones parciales sobre su aplicación a determinadas series constructivas o sobre la estructura documental de dicho Catálogo, publicadas años después de la puesta en práctica del CTE.

Así, por ejemplo, el artículo publicado por Ignacio Miguel San Ginés (2010)²⁸, referido a sistemas de cubierta

"La adopción de soluciones técnicas basadas en el correspondiente Documento Básico del Código Técnico de la Edificación (CTE) resulta ardua y laboriosa. Sin menoscabo de la promoción de la investigación y del progreso tecnológico que pretende alentar el CTE, es necesaria una estandarización y una tipificación de soluciones que interprete con sencillez las diversas tablas y matizaciones del CTE."

²⁷ Leal, Inés: "Análisis general del Código Técnico de la Edificación". En *CONSTRUIBLE.es*, 17 de marzo de 2006, pág. 6.

²⁸ SAN GINÉS GARRIDO, Ignacio Miguel: "El "Cubo Rubik" (CTE) vs. – manual de sistemas. En: *Obras Urbanas*, diciembre de 2010, pág.54.

CAPÍTULO 3.- OPORTUNIDAD DE LA REDACCIÓN DE LA TESIS

La oportunidad de redacción de la presente Tesis deriva de dos tipos de consideraciones. Por un lado, se parte de un diagnóstico sobre el estado del arte que nos permite comprobar si el objeto de la Tesis está suficientemente tratado en la literatura existente. Por otro lado, se estimará el interés que tiene el desarrollo de la tesis tanto para el campo académico como para el ámbito de sector de la construcción, el diseño y el proyecto de arquitectura.

3.1.- Oportunidad de la redacción de la tesis a la luz del estado del arte

Un análisis sobre la serie de documentos que constituyen el estado del arte en relación con el objeto de la Tesis nos lleva a establecer las siguientes consideraciones:

Tanto las Tesis doctorales, estudios académicos, como publicaciones estudiadas en relación con el objeto de la tesis, algunas de las cuales se han referido en el Capítulo anterior, tienen en general el carácter de estudios particulares que analizan aspectos parciales en relación con los cerramientos. Por ejemplo, tesis que se circunscriben a un determinado elemento de la secuencia constructiva, tal como la Tesis de Cristina Pardal que centra su análisis en la hoja interior de las fachadas ventiladas; así, mismo otras que profundizan en el cumplimiento prestacional de ciertos requisitos, o en la aplicación de nuevos materiales.

Por otra parte, existen estudios que aun aplicando métodos de análisis como el propuesto en la Tesis no lo hacen al estudio de los cerramientos de la edificación.

El estudio sistemático, por su extensión, y por la complejidad de la aplicación que se propone, no ha sido abordado hasta ahora.

3.2.- Oportunidad de la redacción de la tesis por el interés de su objeto

El interés del objeto de la presente Tesis viene justificado por la relevancia que para la arquitectura construida tienen los cerramientos de fachada, tanto por su repercusión en la imagen externa de la misma como por su contribución a sus condiciones prestacionales, especialmente las ligadas al aislamiento térmico y acústico.

3.2.1.- La fachada como elemento definidor de la arquitectura

El interés de abordar un estudio sistemático de los sistemas constructivos para cerramientos de fachadas en la edificación radica en primer lugar en la importancia de los cerramientos verticales, las fachadas en la determinación de la arquitectura. Seguidamente, se argumenta la trascendencia del protagonismo que adquiere la fachada en la materialización de la

arquitectura, importancia que justifica el interés sobre su estudio constructivo sistemático.

La arquitectura construida consiste en la creación de espacios destinados a la habitación; se construye en primer lugar con la finalidad de configurar un límite entre un fuera y un dentro. En tal sentido, podría considerarse que lo esencial a la arquitectura, antes que lo geométrico, basa su esencia en lo topológico; pues es en la reflexión sobre los fenómenos de la continuidad y la discontinuidad, la fenomenología del fuera, el dentro y sus modulaciones, donde encuentra su fundamento la arquitectura entendida como herramienta necesaria para la habitación humana y la construcción de sus símbolos, siendo este territorio en el que la arquitectura ha venido encontrando históricamente su carácter diferencial respecto de otros actos de la creación humana.

Entendemos que la esencia de la arquitectura, como concreción del acto de la edificación, parecería tener como propósito fundacional la construcción de espacios para el habitar del hombre, sus símbolos y sus instituciones.

Para ello, en primer lugar, una de las funciones esenciales a la arquitectura es la posibilidad de establecer la separación entre un fuera y un dentro; propósito que por una parte comporta la dimensión meramente funcional de establecer unas condiciones ambientales de protección frente a las inclemencias del exterior, y por otra la de establecer una separación simbólica respecto de la naturaleza y la construcción de los universos simbólicos de la civilización y de la intimidad.

Para el cumplimiento de esta función primordial de la arquitectura, la definición de los cerramientos de fachadas constituyen un elemento fundamental, al constituir, según una metáfora frecuentemente utilizada, la piel de lo construido.

La invocación al cuerpo humano como referente imaginario de la arquitectura construida va más allá de lo metafórico; pues en cierto sentido, la edificación debe considerarse como una extensión cultural del cuerpo biológico.

En lo que nos concierne, cabría destacar la obra del filósofo Peter Sloterdijk, que en su trilogía *Esferas*, que debería entenderse como una ontogénesis de los espacios humanos, desarrolla el concepto de *Esferas* como metáforas de los constructos tanto mentales como físicos que el hombre produce para dar forma a su relación con el mundo²⁹:

"La esfera es la redondez con espesor interior, abierta y repartida, que habitan los seres humanos en la medida en que consiguen convertirse en tales. Como habitar significa siempre formar esferas, tanto en lo pequeño como en lo grande, los seres humanos son los

²⁹ SLOTERDIJK, Peter: *Esferas I*. Madrid: Ed. Siruela, 2003, pág. 37.

seres que erigen mundos redondos y cuya mirada se mueve dentro del horizonte. Vivir en esferas significa crear la dimensión que pueda contener seres humanos. Esferas son creaciones espaciales, sistémico-inmunológicamente efectivas, para seres estáticos en los que opera el exterior.”

En tal sentido, podríamos afirmar que al construir su entorno habitado, en el mismo sentido en que al construir su sistema social o sus lenguajes, el hombre viene a construir su identidad.

El edificio, ante todo la casa, el hogar entendido en sus límites como extensión metafórica de nuestra piel, límite simbólico y físico, constituye en este sentido una interface en nuestra relación con el mundo exterior.

Interpretaciones sobre la esencia de la arquitectura como la propuesta por Bruno Zevi³⁰, privilegian una interpretación según la cual lo que resultaría definitorio de lo arquitectónico sería la capacidad de creación de espacios dispuestos a la habitación; en especial, la capacidad de formalización de espacios interiores y habitables. En su propósito, polémico y sin duda militante tanto para su época como para la nuestra, Zevi llega a la osadía, sin duda iconoclasta, de entender el Partenón de Atenas como una obra que por sus características, y por no tener como principal propósito la creación de un espacio interior dispuesto a la habitación, debería entenderse como atribuible a la historia de artes plásticas como la escultura, más que como un episodio de la historia de la arquitectura.

En su militante visión sobre la historia de la arquitectura, Zevi viene a privilegiar, frente al reconocible icono del Partenón griego como cumbre de la arquitectura clásica, el espacio interior del romano Panteón de Agripa.

Esta reivindicación de la arquitectura como arte de configuración de los espacios habitados, sin duda fue oportuna en su momento y aun lo sigue siendo, en especial cuando la valoración de la arquitectura en la actual cultura de la imagen, y en relación con edificaciones emblemáticas tiene como fundamento de sus condiciones de singularidad la propuesta de una imagen exterior propicia a la foto de recuerdo.

Por otra parte, y sin embargo, habría de considerarse el hecho de que más allá de una historia de la arquitectura que estuviese centrada en la descripción y glosa de la edificación de los espacios singulares dedicados al poder, religioso o civil, la producción cuantitativamente más significativa de lo construido se produce en los edificios destinados al uso de vivienda.

Y es en esta realidad de la producción de los espacios residenciales en la que sin duda la evolución de las técnicas constructivas ha tenido un protagonismo fundamental en la historia de la arquitectura del siglo XX.

³⁰ ZEVI, Bruno: *Saber ver la arquitectura. Ensayo sobre la interpretación espacial de la arquitectura*. Barcelona: Editorial Apóstrofe, 1998.

Puestas en práctica las propuestas del movimiento moderno en la configuración de un nuevo modelo de ciudad que partiendo de la reflexión sobre los modelos tipológicos de la arquitectura recaban en una nueva morfología urbana, parecería como si el nuevo modelo de ciudad, aún desde la altura de las consideraciones estructurales sobre la ciudad, y en el escenario provisionalmente final del recorrido de su propósito, moviesen a una reflexión sobre las condiciones primigenias de posibilidad de estas arquitecturas, es decir a una reflexión sobre sus límites, en definitiva sobre su piel.

La nueva reflexión sobre el cerramiento de la arquitectura, entendido como piel queda expresada en las palabras de Conrad Schitich³¹

"La envolvente del edificio representa el subsistema constructivo central para influir en las condiciones externas existentes de tal manera que se pueda satisfacer las exigencias de comodidad del usuario en el interior del edificio. El cumplimiento de esta tarea – como en el caso de la piel y de los vestidos del hombre_ reclama la adopción de un gran número de funciones posibilitada por una concepción y una construcción correspondientes de la envolvente de edificio. De este contexto resultan los planteamientos siguientes que son de importancia central tanto para un análisis profundo de la arquitectura como para la planificación y el diseño."

3.2.2.- Nacimiento y evolución histórica del concepto de fachada

Considerando los orígenes históricos del habitar, la cueva primitiva constituye en lo arquitectónico algo así como el *grado cero del concepto de fachada*.

Atendiendo a la reflexión primera que hemos avanzado, según la cual lo esencial a la arquitectura es la capacidad de crear nuevos espacios topológicos, deberíamos considerar que este modelo primigenio de habitación, el de las cuevas habitadas, responde a una topología distinta a la de la definición del límite entre un fuera y un dentro.

En efecto, el espacio interior de la cueva, a la luz de la topología, se constituye en continuidad con el espacio exterior; podría decirse así que dicho espacio "interior", topológicamente no es interior en absoluto, pues se no es distinto a un espacio exterior al que en definitiva *pertenece*.

Más que como una discontinuidad, la cueva primitiva constituye una hendidura en el continuo del espacio exterior, hendidura que por sus condiciones geométricas y físicas crea una modulación de sus

³¹ SCHITICH, Conrad (editor): *"Piel nuevas, conceptos, capas, materiales"*. ED. DETAIL, Munich. 2.001

características, la principal de las cuales, a los efectos de la habitación humana, es la capacidad de crear un microclima.

Pues hemos imaginado la cueva fundacional de la arquitectura habitada como una cueva “*sin puertas*”.

La cueva como espacio antropológico de la habitación

En esta percepción, **debemos entender la puerta de la cueva como la primera fachada construida**, el primer artefacto que define una discontinuidad, bien que precaria y discontinua en el tiempo, entre el fuera y el dentro.

En cierto sentido, la puerta de la cueva, en su aparente insignificancia física, podría considerarse como el artefacto más poderoso de la historia de la

arquitectura en la definición de los espacios habitados, pues aún en su precariedad tiene la facultad de transformar topológicamente el espacio, con la mayor economía de medios imaginable.

La tratadística arquitectónica, desde el siglo XVIII, en su búsqueda de un fundamento racional para la arquitectura evoca los modelos primitivos que constituyen el origen de la arquitectura construida. Así, Jacques- François Blondel remite a tres modelos tipológicos que vinculados a distintos modelos de civilización, estarían en el origen de la arquitectura, la cueva o la caverna como refugio del cazador, la tienda como cobijo de los pueblos pastores nómadas, y la cabaña como hábitat de las culturas agrícolas.

Según expresa Joseph Rykwert en su libro "La casa de Adán en el paraíso", la referencia a esta cabaña primordial sirve como arquetipo de referencia para las propuestas innovadoras, cuando no revolucionarias, de arquitectos de la vanguardia del movimiento moderno, tales como Le Corbusier.

La Tesis doctoral de Graciela Trovato, mencionada en la descripción del estado del arte, señala esta función simbólica de la fachada como expresión de la discontinuidad entre los espacios interiores y exteriores de la arquitectura³²:

"La máscara en la arquitectura antigua es la fachada, el rostro representativo que se aplica a una superficie del objeto construido, destacándola con respecto a las demás a través de un tratamiento diferenciado. La fachada indica por lo tanto una contraposición, la existencia de ámbitos opuestos (abierto- cerrado, público - privado) y supone una manifestación al exterior de lo que la ciudad o el edificio representa dentro del contexto natural, social y urbano. La

³² TROVATO, Graziella: *La fachada como lugar en la arquitectura contemporánea*. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004, pág. 33.

idea de fachada supone por lo tanto un dentro y un afuera como entidades enfrentadas y diferenciadas.”

Con el movimiento moderno de la arquitectura, tras la emancipación de la piel del edificio de sus servidumbres estructurales, y de sus servidumbres simbólicas, el diseño de las fachadas, entendidas ahora sí como piel, pueden servir al propósito tanto de la cultura del espectáculo como de la alienación del *usuario*.

Con la progresiva toma de conciencia relativa a los aspectos vinculados a la sostenibilidad del modelo productivo y de consumo, la definición constructiva de las fachadas ha venido a estar más exigida en el cumplimiento de sus prestaciones, en especial en lo relativo al aislamiento térmico y acústico, pero también en lo relativo a la vida útil de sus sistemas y componentes.

Para atender de una forma más eficaz a estos requerimientos, el diseño de cerramientos ha evolucionado hacia la propuesta de sistemas constructivos en los que los distintos requerimientos funcionales y prestacionales se confían a componentes o capas especializados (secuencia constructiva) que resuelven dichos requerimientos de forma particularizada.

En esto, la evolución técnica de los cerramientos está siendo similar a la evolución biológica que convirtió la piel humana en un órgano especializado, el más extenso de nuestra anatomía, con la finalidad de permitir entre otras funciones las de protección y comunicación.

La estructura de la piel humana está constituida por la superposición de tres capas, epidermis, dermis y tejido subcutáneo, que alojan una serie de *dispositivos*, tales como receptores del calor y del frío, glándulas sebáceas, sudoríparas, el vello y los cabellos, que permiten mitigar los efectos del ambiente exterior sobre el cuerpo. Dicha necesidad viene dada por el hecho de que como animal de sangre caliente, el hombre necesita mantener el interior de su cuerpo a una temperatura constante, próxima a los 37º C, independientemente de las condiciones ambientales externas.

Dicha regulación se produce según unos mecanismos homeostáticos, autorregulables, que reaccionan a los cambios producidos en el exterior. Para dicha regulación las terminaciones nerviosas situadas en la piel envían su información al hipotálamo, situado en el cerebro y encargado de emitir de forma automática o no voluntaria, la orden para que se desarrollen aquellas acciones que permitan la regulación térmica. Dichas acciones son tales como la sudoración, la regulación de la presión sanguínea, los temblores, etc.

De este modo, la piel humana se comporta como un sistema multicapa con dispositivos de regulación térmica, autorregulados de forma homeostática mediante un sistema *inteligente*.

Volviendo a las fachadas, comprobamos cómo la evolución de los sistemas constructivos ha venido a producir cerramientos complejos, multicapa, en los cuales cada una de las capas que los constituyen resuelven de forma individual aunque solidaria las distintas funciones. Asistimos también a la aparición de fachadas a las que se incorporan mecanismos de regulación homeostática, producidos por la respuesta del propio material o mediante la intervención de sensores “inteligentes”.

Estas últimas soluciones constructivas son las que, más allá de la metáfora de la fachada como piel, muestran la *semejanza estructural* de los nuevos sistemas constructivos complejos con la piel humana.

El proceso de aparición de nuevos sistemas constructivos más complejos y especializados, la aparición de nuevos materiales y componentes, así como su incorporación a la serie constructiva completa del cerramiento debe entenderse en el marco de los procesos de innovación tecnológica.

Estos procesos son promovidos tanto por la administración pública como, en mayor medida por fabricantes de materiales y componentes de construcción.

En palabras de D. Antonio Blázquez (a la sazón coordinador de DIT y DITE del IETcc-CSIC) **la fachada es la unidad de obra que en la actualidad presenta un más alto grado de innovación**³³.

En los últimos años esta dinámica de innovación está animada por la existencia de dos principios complementarios que reciben la denominación “technology push vs. Market pull innovación”, principios que en su traslación al castellano podrían traducirse como: “Tecnología creada para generar demanda vs. Tecnología creada para satisfacer la demanda existente”.

La relevancia de estos procesos de innovación es puesta de relevancia por Javier Serra (2007)³⁴

“La innovación ha dejado de ser un fenómeno marginal de la economía moderna. Antes al contrario, la innovación es una actividad esencial para la dinámica industrial y el desarrollo de las naciones. Muchos estudios econométricos han tratado de evaluar el impacto de la investigación sobre la productividad y otros parámetros económicos sobre la base de resultados sociales y políticos y,

³³ BLÁZQUEZ, Antonio: “Fachadas ventiladas. Reglamento de Productos de Construcción y Código Técnico de la Edificación. DIT y DITE para la evaluación de sistemas”. Ponencia leída en el curso S5E, Seminario 6. Madrid IETcc, 9 de mayo de 2012.

³⁴ SERRA, Javier: “La innovación en el Código Técnico de la Edificación”. En: “La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. CEMCO 2007. Volumen I. Estructuras y habitabilidad en la construcción”. Madrid: IETcc – CSIC, 2007; pág. 2.

prácticamente todos, han mostrado retornos positivos con respecto a los fondos utilizados”.

Por otra parte hay que poner de manifiesto la relevancia de los cerramientos de fachadas en el rendimiento energético de la edificación, que hoy constituye una exigencia ineludible para el profesional de la arquitectura y para el promotor.

Esta exigencia es manifestada de forma expresa en multitud de estudio y artículos, como el de José Antonio Tenorio (2014)³⁵ del que aportamos una cita:

“En la Unión Europea el 40% del consumo total de energía corresponde a los edificios. La reducción del consumo de energía y el uso de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación constituyen una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la Unión y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ en el sector edificatorio, hace más de una década la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002 de Eficiencia Energética, se estableció como un instrumento normativo a nivel europeo que fijaba las pautas a seguir en los estados miembros. Posteriormente se ha revisado mediante la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición), tendiendo al endurecimiento de los requisitos mínimos y persiguiendo objetivos más ambiciosos, como conseguir edificios de consumo de energía casi nulo. (European Commission, 2010).”

Pese a lo sugerente del panorama teórico y del marco de la innovación en materia constructiva, existe de hecho una resistencia dentro del sector de los promotores de la edificación (especialmente de la edificación no singular) y del sector profesional de los arquitectos, a la utilización de sistemas constructivos novedosos, por la utilización de métodos y rutinas artesanales. No existe un saber asentado, saber implícito (Sennet), que cree una relación automática con los nuevos materiales.

La tesis propone una sistemática de catalogación “inteligente” de los distintos sistemas, que permita la constitución de un saber explícito sobre las nuevas soluciones, en el espíritu de constitución de una especie de Enciclopedia.

³⁵ TENORIO RÍOS, José Antonio: “Ahorro energético en edificios mediante el almacenamiento estructural con materiales de cambio de fase”, Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid. 2014, pág. 1

La utilización de las herramientas desarrolladas en la tesis se inscribe en el marco deontológico que debe guiar la actividad profesional del arquitecto, marco deontológico que debe atender a tres tipos de requerimientos; en primer lugar el compromiso con el medio social, entendida la arquitectura como una actividad social y pública; en segundo lugar en la consideración del trabajo del arquitecto como un proceso de comunicación; y en tercer lugar en la necesaria conciliación entre lo utilitario y lo estético. En palabras de Juan Calduch³⁶:

"El buen profesional no sólo se ajusta a la legalidad vigente, sino que, además, realiza bien su cometido en interés general. En definitiva, la deontología presupone un ethos profesional que trasciende al mero sujeto jurídico."

³⁶ Calduch, Juan: "Temas de composición arquitectónica. Arquitectura y ética". Editorial Club Universitario, San Vicente de Raspeig (Alicante) 2004, pág. 84.

CAPÍTULO 4.- SOBRE LA METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y LA VALIDACIÓN

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para la realización de la presente Tesis.

Se propone la aplicación de dos conceptos que resumen el conjunto de prestaciones de un sistema constructivo: el primero, relativo a las características de su configuración técnica, denominado utilidad objetiva; el segundo, relativo al grado de idoneidad ante los requerimientos particulares de los agentes intervinientes en el proceso de definición del proyecto, denominado utilidad subjetiva.

Para la determinación del grado de utilidad objetiva se ha procedido a la realización de una parametrización de los sistemas constructivos objeto de análisis que entra a considerar no sólo aspectos prestacionales finalistas sino también a las condiciones de sus procesos de producción.

Para la determinación del grado de utilidad subjetiva y para atender a los múltiples requerimientos considerados se ha recurrido a la utilización de los denominados Métodos de Ayuda a la Decisión Multicriterio.

4.1.- Utilidad Objetiva y Utilidad Subjetiva

La presente Tesis trata de instrumentar técnicas que permitan establecer el grado de utilidad de los sistemas constructivos para la construcción de cerramientos de fachadas.

Se entiende por utilidad la propiedad por la cual un bien o acción adquiere la condición de valor útil para satisfacer las necesidades humanas; aún así en su definición existen básicamente dos concepciones distintas; en palabras de Ormazábal³⁷, en relación con la teoría y disciplina de la economía:

"Los neoclásicos actuales tienen dos percepciones de la utilidad: la utilidad objetiva y la subjetiva. La primera sigue la tradición de Jeremy Bentham y la segunda de Jevons y Pareto. Los defensores de la Utilidad Objetiva dicen que la utilidad es la capacidad de un bien para satisfacer una necesidad. También afirman que esa capacidad es inherente al bien, esto es, la utilidad es algo que existe independientemente de los deseos del consumidor. Los teóricos de la

³⁷ ORMAZÁBAL, G: "Un Nuevo sistema integrado de toma de decisión para la gestión de proyectos constructivos". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Capítulo 2, pág. 17.

Utilidad Subjetiva afirman que ésta no es una cualidad innata en el bien, sino que surge de una relación entre el bien y el consumidor”.

Una primera reflexión sobre la consideración del grado de utilidad debe atender a una primera y fundamental cuestión metodológica y podríamos decir que epistemológica: que atienda al hecho de que el análisis sobre el grado de utilidad de un bien resulta más significativo cuando se define en base al propósito y a las necesidades particulares a las que debe servir.

Podríamos decir que cabe pensar en dos tipos de utilidad igualmente legítimos, pero de contenido y función diversos. Se podría distinguir, en este sentido, entre lo que denominamos como **utilidad objetiva** y **utilidad subjetiva**.

De nuevo, en palabras de Ormazábal en la aplicación de estos conceptos al sector del proyecto y la arquitectura³⁸, el autor expone lo siguiente:

"(...) Sin embargo, en lo que hace referencia a la vertiente subjetiva del concepto, según se visualiza en la figura 4.13 (que se adjunta más abajo), en el ámbito de la construcción cabe distinguir diversas perspectivas al juzgar el valor de un proyecto. Así, por ejemplo, un proyecto tendrá un valor para el cliente o accionistas cuando satisfaga sus requerimientos de coste, plazo, funcionalidad, etc. Sin embargo, puede que esas mismas condiciones impongan una serie de restricciones tan severas para contratistas y suministradores que no quieran intervenir en él”.

Se puede decir que el **grado de utilidad objetiva** de un sistema constructivo es aquél que depende exclusivamente de las características materiales de dicho sistema constructivo, en lo relativo a sus aptitudes prestacionales, económicas y de todo tipo, con independencia de las expectativas que un usuario concreto de dicho sistema constructivo pudiese albergar respecto del mismo.

³⁸ ORMAZÁBAL, G: "Un Nuevo sistema integrado de toma de decisión para la gestión de proyectos constructivos". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Pág. 142

De este modo, en la relación valorativa entre distintos sistemas se podrían establecer grados de utilidad objetiva de entre una serie discreta de sistemas constructivos en cuanto al cumplimiento de prestaciones concretas tales como el aislamiento térmico, el acústico, su coste, el grado de certidumbre de alcanzar determinados estándares de eficacia o calidad en el proceso de su construcción, etc.

Planteamos que dicho grado de utilidad se podría establecer en base al estudio de sus cualidades concretas, de forma objetiva y racionalmente parametrizable. De dicho grado de utilidad podría obtenerse un ranking del grado de utilidad de la serie de sistemas constructivos considerados en relación con el grado de cumplimiento de cada uno de los requerimientos exigibles al sistema constructivo.

Para el establecimiento del grado de utilidad objetiva se debe considerar el criterio de cumplimiento de cada uno de los objetivos prestacionales a considerar, cada uno por separado. Sin embargo, metodológicamente no resulta posible el establecimiento de un ranking objetivo de utilidad de un sistema constructivo en relación con otros que atendiese a la totalidad de sus requerimientos, pues la consideración del grado de utilidad de cada uno de ellos en el cumplimiento de sus distintos objetivos parciales no puede ser agregada de forma lineal.

Por otro lado, el que denominamos como **grado de utilidad subjetiva** de un sistema constructivo atendería, por el contrario, a la consideración de su aplicación a un acto constructivo concreto realizado por un concreto agente de la edificación. Este grado de utilidad subjetiva, al aplicarse sobre un acto de construcción concreto deberá atender a los requerimientos reales de su promotor y deberá establecerse no sólo sobre cada uno de los parámetros de valoración por separado, sino sobre la compleja realidad de su totalidad.

Para ello, el agente de la construcción que debe discernir sobre el grado de utilidad de sistemas constructivos alternativos establece de hecho, y de forma necesaria, una jerarquía de prioridades en lo relativo al cumplimiento de los distintos requerimientos a satisfacer dentro de un marco normativo de obligado cumplimiento.

Así pues, podríamos concluir que mientras que el grado de utilidad objetiva sólo puede aplicarse a la consideración de cada uno de los requerimientos prestacionales y de otro tipo, por separado y de forma objetiva y universal, el que denominamos como grado de utilidad subjetiva tiene como objetivo y potestad discernir sobre el grado de satisfacción de la totalidad de los requerimientos constructivos, en su aplicación a un acto concreto de edificación, según queda expresado en el siguiente cuadro:

TIPOS DE UTILIDAD	ÁMBITO DE VALIDEZ	ÁMBITO DE CONSIDERACIÓN	REQUERIMIENTOS	INSTRUMENTOS
UTILIDAD OBJETIVA	UNIVERSAL	SOBRE CADA PARÁMETRO	DEFINICIÓN DEL NIVEL DE IDONEIDAD	PARAMETRIZACIÓN OBJETIVA
UTILIDAD SUBJETIVA	PARTICULAR	SOBRE LA TOTALIDAD DE LOS PARÁMETROS	DEFINICIÓN DEL PERFIL SUBJETIVO	DMD U OTROS MÉTODOS

CUADRO nº 1: Caracterización de la Utilidad Objetiva y Subjetiva

Asistimos así pues a una aparente paradoja.

La consideración del grado de utilidad objetiva, pese a la universalidad de su aplicación y por su propia naturaleza, debe contraerse a la consideración tan sólo de aspectos parciales del cumplimiento de prestaciones de todo tipo, pero aún así por separado.

Cabría pensar que el grado de utilidad objetiva, por su carácter racional y de aplicación universal pudiese permitir establecer un grado de utilidad que pudiese considerar la totalidad de requerimientos exigidos a los sistemas constructivos.

Sin embargo, el acto constructivo, por su propia naturaleza, implica exigencias que no son necesariamente convergentes, sino que en muchos casos resultan contradictorias en la calidad de su cumplimiento. Así por ejemplo, la optimización del tiempo de ejecución de la obra y de su coste pueden ser en muchos casos antagónicas. En consecuencia, resulta imposible establecer un grado de utilidad objetivo que considerase la totalidad de los requerimientos.

De forma antagónica, la determinación del grado de utilidad subjetiva, al tener por finalidad la consideración de intereses particulares y por así decir subjetivos, tiene no sólo la capacidad sino la obligación de establecer un diagnóstico de los sistemas constructivos que entre a considerar la compleja realidad del hecho construido en su totalidad.

Así pues, asistimos al hecho en apariencia paradójico de que el grado de utilidad objetiva, pese al carácter universal de su aplicación paramétrica, debe contraerse a la consideración de aspectos particulares o parámetros, mientras que el grado de utilidad subjetivo, partiendo de un móvil particular, se expande a la consideración de la totalidad de dichos aspectos.

En todo caso, para la consideración del grado de utilidad subjetivo se hace necesario contar con una parametrización de los sistemas constructivos que daría respuesta a un grado de utilidad objetivo, parametrización y grado de utilidad objetivo que constituiría en cierto sentido el grado cero necesario para su implementación en lo subjetivo.

Podríamos concluir que la consideración de estos tipos de utilidad responde a dos distintos tipos de aproximación al análisis de la realidad.

Mientras que la utilidad objetiva responde al modelo analítico, que parte de una aproximación al estudio de la realidad que fragmenta su fenomenología en aspectos parciales, la consideración de la utilidad subjetiva responde a los modelos holísticos que consideran los fenómenos de estudio en la complejidad de su realidad fenomenológica.

El método de ayuda a la decisión multicriterio que se ha aplicado para la valoración comparativa de los sistemas constructivos en la presente Tesis debe considerarse que responde al modelo de evaluación del grado de utilidad subjetiva, en función de las expectativas e intereses del sujeto que la realiza (en la terminología del método adoptado, *el decisor*).

Carlos Romero³⁹ sobre la estructura de los procesos de decisión:

"En su dimensión más básica un proceso de toma de decisión puede concebirse como la elección por parte de un centro decisor (un individuo o un grupo de individuos) de lo «mejor» entre «lo posible». Los problemas analíticos surgen a la hora de definir «lo mejor» y «lo posible» en un determinado contexto decisonal."

4.2.- Los métodos de decisión multicriterio

El objetivo de la Tesis es desarrollar procedimientos que permitan establecer de la forma más eficaz posible el grado de utilidad de sistemas constructivos para los cerramientos de la edificación.

Estos procedimientos deberían constituir una herramienta útil en los procesos de diseño arquitectónico, procesos entendidos como concatenación de tomas de decisión.

Al hilo de la reflexión anteriormente introducida sobre la diferenciación entre grado de utilidad objetiva y subjetiva, la metodología empleada para discernir sobre el grado de utilidad de los sistemas constructivos analizados en la Tesis diferencia entre dichas modalidades de utilidad.

Por otra parte, para la comparación racional sobre estos grados de utilidad se ha considerado el hecho de que los requerimientos exigidos a los diferentes sistemas constructivos comparados, y por así decir puestos en competición, deben dar respuesta a múltiples requerimientos de distinto tipo y no necesariamente compatibles, en ocasiones contradictorios en su grado de cumplimiento.

Por todo ello, la metodología propuesta para la valoración comparativa de los sistemas estudiados en diferentes fases en el desarrollo de la Tesis ha sido la proveniente de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio, por entender que son los más adecuados al propósito analítico de la Tesis.

³⁹ ROMERO LÓPEZ, Carlos: *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid, Isdefe, 1996. Pág.14.

La adecuación del método de análisis y valoración adoptado queda ilustrada por el texto de Ormazábal⁴⁰ que reproducimos:

"La toma de decisión es una de las principales actividades de la gestión en todos sus ámbitos. La complejidad del problema puede llegar a ser extraordinariamente grande, pues en ocasiones implica la integración de aspectos muy heterogéneos y un grado de incertidumbre elevado. Esto se refleja en la importante evolución que ha experimentado el tratamiento teórico de la cuestión, de modo que a lo largo los años han ido apareciendo a este efecto distintos enfoques y herramientas teóricas muy diferentes entre sí, en medio de un considerable debate teórico".

La consideración de los múltiples atributos que concurren en la valoración comparativa entre distintos sistemas constructivos, por un lado, y de la utilidad subjetiva, por otro, han llevado a la utilización de un método de ayuda a la decisión multicriterio que más adelante se describirá, por considerar que responde de forma eficaz a los propósitos de la Tesis.

El empleo de esta metodología resulta coherente por otra parte con la visión holística que aquí se defiende en relación con la reflexión sobre los sistemas constructivos.

Según esta visión, un sistema constructivo completo debe entenderse que trasciende a la suma de sus partes; habría que decir que también como algo que trasciende a la suma de sus atributos.

Sorprendería aquí el hecho de que el Catálogo de Elementos constructivos del CTE apele a la denominación de Catálogo de **Elementos**, cuando sin duda la definición de dichos elementos se refiere a sistemas constructivos completos. Entendemos que se ha recurrido al término Elementos por cuanto los sistemas constructivos definidos responden a un modelo tipológico y no a soluciones industriales concretas.

Para recurrir a una definición de los métodos de ayuda a la decisión recurrimos al texto de Gabriela Fernández Berberis⁴¹

"Quien mejor ha definido la Ayuda a la Decisión es, sin duda alguna, Bernard Roy, quien considera que la Ayuda a la Decisión es la actividad de una persona física quien, mediante el uso de modelos explícitos aunque no completamente normalizados, ayuda a responder las cuestiones propuestas por el asesor o analista

⁴⁰ ORMAZÁBAL, G: "Un Nuevo sistema integrado de toma de decisión para la gestión de proyectos constructivos". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Capítulo 2, pág 15.

⁴¹ FERNÁNDEZ BARBERIS, Gabriela y ESCRIBANO RÓDENAS, M^o del Carmen: "La ayuda a la decisión multicriterio: orígenes evolución y situación actual." Departamento de Métodos cuantitativos e Informáticos, Facultad de CC. Económicas y Empresariales, Universidad CEU San Pablo, Madrid.

(elemento clave en todo proceso de decisión). Los elementos puestos en juego pretenden clarificar la decisión y, usualmente, están orientados a obtener una adecuada recomendación, o bien, intentan simplemente, favorecer un comportamiento que podría incrementar la consistencia entre la evolución del proceso, los objetivos y el sistema de valores del analista. En este contexto, la palabra "recomendación" es utilizada para llamar la atención sobre el hecho de que tanto el analista como el decisor son conscientes de que el decisor es completamente libre de comportarse como desee después de haber sido asesorado o recomendado. La palabra "recomendación" se utiliza en el ámbito de la Ayuda a la Decisión para reemplazar el término "receta" o "regla". Estos últimos son, en la mayoría de los casos, inapropiados para designar aquello que un grupo de analistas que asesora al decisor, podría alcanzar."

La aplicación de los métodos de decisión multicriterio para la determinación del grado de utilidad relativa resulta pertinente en casos en los que se debe elegir entre distintos sistemas sin estar sometidos a decisiones de carácter apriorístico y determinista. Este podría ser el caso de arquitecturas singulares en las que la primacía del diseño, la búsqueda de una imagen plástica concreta o la decisión a priori sobre la utilización de un material y/o diseño concreto hacen que la aplicación de la metodología propuesta no sea necesaria.

El entender los procesos de diseño bajo esta perspectiva nos ha permitido aproximarnos metodológicamente al marco teórico e instrumental de la Teoría de la Decisión, cuyos orígenes y desarrollo se describen en el epígrafe siguiente.

Baste por ahora señalar que la Teoría de la Decisión, nacida fundamentalmente en el campo la economía, ha tenido una extensión hacia otros campos disciplinares y ha profundizado en la capacidad de diagnóstico de sus métodos

A continuación, se ofrece una panorámica sobre el origen histórico, evolución y esencia de estos métodos.

4.2.1.- Antecedentes y formación de las teorías de decisión multicriterio

Entendiendo la Teoría de la Decisión como un instrumento para el análisis de sistemas complejos en un entorno de decisión, existen antecedentes históricos de este tipo de aproximación al estudio de la realidad que son reivindicados como tales por la generalidad de la literatura existente sobre el tema.

Suele citarse como uno de los antecedentes más significativos la figura del Marqués de Condorcet (1743-1793), que en relación con la decisión sobre la oportunidad de adoptar dos acciones distintas A y B expone el siguiente principio:

- Cuando una acción "A" es mejor que una "B" en la mayoría de criterios de decisión
- y además, no existe un criterio para el cual "A" es claramente peor que "B" ,
- entonces se puede decir sin riesgo alguno que "A" es mejor que "B", o en otras palabras, que "A" domina a "B", o bien, que **"B" está sobreclasificada respecto a "A"**

Sin embargo, el antecedente más claro de los métodos derivados de la Teoría de la decisión, reconocido aún hoy en día como sustrato teórico de las posteriores evoluciones, es el desarrollo del conocido como Óptimo de Pareto.

El concepto y teoría del Óptimo de Pareto fue propuesto en 1.896 por el economista italiano Vilfredo Pareto, que introduce el criterio de "optimalidad" que recibe su nombre. Este Óptimo se produce en una comunidad de intereses, si ninguna persona de esa colectividad puede mejorar su situación sin que empeore la situación de alguna otra persona.

El concepto de óptimo de Pareto se basa en la consideración de que en el marco de un proceso de toma de decisión complejo no existe necesariamente un óptimo absoluto, pudiendo aceptarse como válida la decisión según la cual ningún agente económico puede mejorar si no es a costa de que otro u otros empeoren.

Según la teoría de Pareto aplicada al campo de la economía y en concreto al estudio de la relación entre oferta y demanda, se considera que un conjunto de soluciones es eficiente (Óptimo de Pareto), cuando está integrado por soluciones factibles (que cumplan una serie de condiciones o estándares mínimos), tales que **no existe ninguna otra solución factible que**

proporcione una mejora en un atributo sin producir un empeoramiento en al menos algún otro atributo.

El criterio de óptimo de Pareto puede aplicarse al análisis decisional multicriterio sustituyendo los términos constituidos por las personas que integran la comunidad de intereses, por un conjunto de criterios que afecten a un problema de decisión multicriterio.

La teoría de Pareto avanza el concepto de dominancia de unas alternativas de decisión sobre otras que en el desarrollo teórico posterior constituye el elemento fundamental de su aplicación.

En tal sentido podría decirse que los enfoques multicriterio que serán de aplicación en la Tesis tienen por finalidad discernir de entre una serie de alternativas aquella o aquellas que constituyen un óptimo de Pareto, entendido tal y como se ha definido anteriormente.

En los antecedentes de las teorías y técnicas asociadas del Análisis de decisión multicriterio hay que destacar el desarrollo de la Teoría de Juegos iniciada por F.E.Justin Emille Borel (1871-1956) y John Von Neumann (1903-1957).

La Teoría de Juegos propone una serie de técnicas y estrategias para la negociación a partir de la **década de 1.950**, pasando a constituir una disciplina independiente, con vinculación y aplicación preferente a la economía y a las ciencias políticas y sociales.

“La Teoría de Juegos y el Comportamiento Económico” escrito por John Von Neumann en el año 1.944, en la que desarrolla el **teorema minimax** para incluir juegos que involucran información imperfecta y juegos de más de dos jugadores es exponente de esta escuela.

En desarrollo de esta escuela pionera, aparece la “Teoría de juegos no cooperativos”, desarrollada por el Premio Nobel de Economía **John Forbes Nash**, quien desarrolla su tesis doctoral, leída en el año 1.950, en la que crea el concepto y metodología de estudio de la **Teoría de juegos cooperativos (racionales), y no cooperativos**.

La vida de este matemático inspiró la película “Una mente prodigiosa”, estrenada en 2.001, y ganadora de cuatro Oscar.

En base a estas aportaciones se desarrolla la Teoría de juegos cooperativos (racionales), y no cooperativos, basada en los siguientes principios:

- Los enfoques básicos más reconocidos para el desarrollo de la negociación son la “**negociación posicional**” y la “**negociación basada en intereses**” también denominada “**negociación cooperativa**” o **con transferencia de utilidad**.
- “Negociación posicional” o “negociación no cooperativa” (modelo Halcón-paloma o dilema del prisionero): las partes actúan en la

búsqueda de su mayor beneficio a costa del contrario, en un escenario de escasez de recursos y de alternativas.

- Un buen esquema de negociación: buenos resultados para las dos partes y una mejora en las relaciones.
- Esta nueva percepción nos presenta a las partes que alcanzan un acuerdo como **finalmente "asociadas"**

Estos métodos permiten parametrizar los elementos de una negociación no cooperativa que permita la búsqueda racional de una solución óptima que satisfaga de forma equitativa a ambos negociadores y aumente el beneficio común, denominada "equilibrio de Nash".

Partiendo de estos antecedentes conceptuales, los métodos de decisión multicriterio, aparecen en la década de 1960, creando una metodología propia destinada resolver los problemas de selección de una alternativa, de entre un conjunto discreto de las mismas, en presencia de criterios múltiples de valoración, en ocasiones en conflicto entre sí.

Estas nuevas metodologías aparecen en estos años en los trabajos de Charnes y Cooper con su método de programación por metas y de Bernard Roy, con el desarrollo del método ELECTRE. Este método según una variante posterior y su adaptación al objeto de estudio mediante la realización de un algoritmo ad hoc es el que ha sido utilizado en la presente Tesis.

En 1972 se celebra el Primer Congreso Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio (Multiple Criteria Decision Making), que debe considerarse como el evento fundacional del paradigma de decisión multicriterio.

A partir de esta fecha, y especialmente a partir de 1985, se produce una diversificación de los distintos métodos en su aplicación tanto en los entornos de alternativas discretas como continuas, así como la decisiva influencia que ha tenido en su expansión el desarrollo de programas informáticos de fácil acceso y manejo para sus usuarios.

4.2.2.- Campos disciplinares de aplicación

Tal como ya se ha expuesto en la parte introductoria del presente capítulo, el origen de aplicación de los métodos de decisiones multicriterio se produjo históricamente en el **campo de las ciencias económicas**.

El éxito de la aplicación de estos métodos en este campo y el desarrollo, perfeccionamiento y aumento de la versatilidad de sus técnicas de modelización, ha propiciado en los últimos años su aplicación a otros campos disciplinares y técnicos. Se da el caso de ciertos campos disciplinares que han llegado a incorporar estas metodologías como una herramienta canónica de aplicación muy extendida, como es el caso de los análisis medioambientales y de sostenibilidad, como veremos más adelante.

Sin ánimo de exhaustividad se expone a continuación una panorámica de los campos de aplicación de los DMD.

4.2.2.1.- Economía y empresa

El de la economía y el marketing es el campo disciplinar y profesional en el que la aplicación de los DMD han tenido una aplicación más extendida.

Ejemplos de dicha aplicación son los siguientes:

Toskano Hurtado, Gèrard Bruno: "El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de proveedores". Tesis digitales UNMSM.

Yakelin Corzo Sánchez: "Propuesta metodológica para el Ranking de productos en entidades turísticas".

4.2.2.2.- Planificación medioambiental

La planificación medioambiental es uno de los campos en los que los DMD han irrumpido con más fuerza en los últimos años, pues por la naturaleza compleja de objeto es propicia para su utilización.

Los primeros estudios medioambientales, en especial los vinculados al impacto de infraestructuras, que requieren importantes inversiones públicas, fueron abordados desde la concepción de los análisis coste-beneficio, en el entendimiento de que ciertos déficits medioambientales podrían ser compensados con inversiones adicionales, reduciendo el proceso de toma de decisión al modelo monocriterio. Ejemplo de aplicación en este campo son los siguientes:

- **García Gutierrez, Isabel y Prida Romero, Bernardo:** "La gestión ambiental. Un ámbito adecuado para el desarrollo y aplicación de técnicas multicriterio en la toma de decisiones.

- **Gómez Orea, Domingo:** "*Ordenación territorial*". Ediciones Mundiprensa. Madrid 2007.

Desde los orígenes disciplinares y prácticos de las ciencias medioambientales, han venido utilizándose métodos de estructuración de la información que recurren a la utilización de matrices de correlación entre inputs de distinta índole. Así, por ejemplo, la "tabla de indicación de efectos de una alternativa sobre los criterios de evaluación", Gómez Orea (2.007).

4.2.2.3.- Planificación territorial y de recursos agropecuarios. Localización preferente de actividades

En este grupo incluimos todos aquellos procesos que tienen una vinculación con el territorio, ya sea por dirigirse a su planificación territorial global (promovido por la administración pública), o por estar dirigidos a decidir la

mejor implantación de usos, edificaciones o recursos concretos sobre un entorno geográfico delimitado.

En todos estos casos se precisa la intervención de sistemas de información geográfica para la obtención de los parámetros que permitan evaluar las distintas alternativas. Como ejemplos de aplicación reseñamos los siguientes:

- **Martínez E.; Álvarez, M.; Romero, M.:** "Apoyo a la selección de emplazamientos óptimos de edificios. Localización de un edificio universitario mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)". En Informes de la Construcción, vol. 62, 519, 34-35. Año 2.010.

Se trata de un estudio mediante la utilización del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), con datos generados por un SIG para seleccionar cual es el emplazamiento más adecuado para construir equipamientos urbanos. Dicho método se aplica para determinar el emplazamiento de una Biblioteca en el campus de Montegancedo (Boadilla del Monte, Madrid), donde se ubica la facultad de informática.

En este caso la aplicación del AHP se realiza con la intervención de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten operar con los datos derivados de la ubicación territorial de las distintas alternativas a la implantación del equipamiento.

Se utilizan funciones de análisis espacial SIG para generar mapas temáticos específicos clasificados en función del método seguido para su obtención; seleccionar las zonas mediante la utilización de secuencias SQL, que cumplen los criterios establecidos y mediante la definición de áreas de influencia crear mapas de accesibilidad y proximidad.

La herramienta informática utilizada fue Expert Choice

- **Arán Carrión, J, et. alt.:** "*Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants*". Renewable and sustainable Energy Reviews.

Este trabajo tiene por objetivo la ayuda a la decisión para la localización de plantas en generación de energía fotovoltaica en red (GPPP_s) sobre un territorio concreto de Andalucía mediante la utilización del método AHP con utilización de SIG.

La utilización de métodos DMD se basa en la necesidad de considerar varios criterios de adecuación de las distintas localizaciones alternativas que por ser de distinta naturaleza obligan a la utilización de una herramienta para su correcta incorporación al proceso de decisión en este caso se consideran los siguientes criterios y subcriterios: Medioambiental (uso del suelo e impacto visual), orografía (pendientes y orientación), localización (acceso a vías rápidas, distancia a subestaciones, distancia a áreas urbanas mayores

y menores de 5.000 habitantes), clima (radiación global, radiación difusa, horas de sol equivalentes, temperaturas).

Otros casos de aplicación, por ejemplo en Ávila Mogollón (Desarrollo agrícola sostenible)⁴² o Barredo Cano (SIG y evaluación multicriterio)⁴³.

4.2.2.4.- Aplicación a la Ingeniería

La aplicación de las técnicas de DMD a los campos de la ingeniería y el diseño industrial a diversas escalas y especialidades se produce cuando se precisa de un análisis transversal complejo, tanto para la toma de decisiones desde el punto de vista del prescriptor con una visión integradora de los procesos que confluyen en la redacción de proyecto de ingeniería, como desde el punto de vista del gestor que ha de tomar la decisión de cuáles pueden ser las mejores alternativas y/o productos que la industria le ofrece.

Esta aplicación queda ejemplificada en los siguientes estudios:

- **Barba Romero:** *"Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica"*. Alcalá de Henares: Colección de Economía, Servicio de Publicaciones, Universidad de Alcalá, 1997. Como ejemplo de un estudio para la elección de un modelo de avión de caza.

- **Fernández Sánchez, Gonzalo:** *"Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil"*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2.010.

Esta tesis estudia la aplicación de los métodos multicriterio al campo de la ingeniería civil y la edificación, con especial atención a los criterios de sostenibilidad de los procesos constructivos, con un análisis basado en la aplicación de los métodos DMD.

4.2.2.5.- Planeamiento urbanístico

Las técnicas de decisión multicriterio han sido incorporadas desde hace escasos años a la práctica del planeamiento urbanístico, y en especial del planeamiento territorial.

Tratados como el de Gómez Orea destacan la potencialidad de estas técnicas en su aplicación a la ordenación del territorio por su adecuación a

• ⁴² ÁVILA MOGOLLÓN, Ruth: *El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar el uso de las tierras. El caso de Brasil*. Santiago de Chile Proyecto Regional Información sobre Tierras y aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible. (Proyecto Gep/Rla/126/Jpn) 2000.

• ⁴³ BARREDO CANO, José Ignacio; GÓMEZ DELGADO, Monserrat: *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la Ordenación del territorio*. Madrid: Editorial RA-MA, 2005.

escenarios de toma de decisión en los que intervienen por un lado diversas aportaciones disciplinares y metodológicas, y por otro varios agentes colegiados para la toma de decisiones, tales como la administración, organismos sectoriales, representantes de la sociedad civil, etc.

Como ejemplo de aplicación de los métodos multicriterio al campo de urbanismo y del planeamiento territorial:

- GALACHO JIMÉNEZ, F.B. y OCAÑA OCAÑA: *Tratamiento con S.I.G y técnicas de evaluación multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales*. Málaga: Departamento de Geografía, Universidad de Málaga.

- BARREDO CANO, José Ignacio; GÓMEZ DELGADO, Monserrat: *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la Ordenación del territorio*. Madrid: Editorial RA-MA, 2005.

Presenta una aproximación clara y actualizada de los fundamentos de los estudios de decisión territorial. Aquí se abordan los problemas territoriales de decisión, desde el desarrollo de las bases de datos en Sistemas de Información Geográfica (SIG), los métodos de análisis y toma de decisiones en la evaluación multicriterio (EMC), hasta los procedimientos de evaluación de los resultados a través del tratamiento del error y la incertidumbre y los análisis de sensibilidad.

4.2.2.6.- Valoración inmobiliaria

Dado el elevado número de distintos factores que intervienen en la valoración de los bienes inmobiliarios, éste es un campo de actividad en el que recientemente se han utilizado los métodos de decisión multicriterio, especialmente destinados a inversores que más allá de la determinación un presunto valor objetivo de los bienes, necesitan introducir consideraciones relativas a la utilidad de su inversión en la compra de bienes y activos inmobiliarios, así por ejemplo:

- Zavadskas, Edmundas, et. Alt.: *"Application of a Multiple Criteria Analysis Method in the Valuation of Property"*. Vinius Gediminas Technical University. Vilnius (Lituania), 2.002.

4.2.2.7.- Sociología

La aplicación de los DMD al campo de la sociología se dirigen de forma prioritaria a aquéllos casos que más que al diagnóstico están enfocados a la intervención, en especial a aquéllos que requieren de una participación social y ciudadana, convirtiéndose en herramienta para la valoración razonada de opciones.

En este campo de reflexión y actividad se puede señalar el estudio de **Fürst Welgland, Edgar**: "Evaluación multicriterio social. ¿Una metodología participativa de ayuda a la toma de decisiones o un aprendizaje social

sujeto a una reinterpretación institucional-evolucionista?”. Centro internacional de política económica para el Desarrollo Sostenible. Costa Rica 2.008.

4.2.2.8.- Arquitectura

Pese a lo específico de la aplicación de la técnica de decisión multicriterio a un aspecto concreto de la construcción arquitectónica, que propone la presente Tesis, entendemos que su fundamento epistemológico enraíza con la propia naturaleza del proceso de diseño proyecto arquitectónico.

Aspectos que vinculan el proceso de proyecto con estos métodos de toma de decisión son los siguientes.

- Diversos criterios de calidad
- Intervención de un binomio decisor-técnico
- No se trata de decidir entre alternativas predefinidas, sino de crear una alternativa; para ello, en el proceso de su gestación se adoptan de forma recursiva decisiones que deben conciliar el respeto a las exigencias derivadas del cumplimiento de cada uno de los criterios, que no necesariamente son armónicos, y en ocasiones son contradictorios en su optimización.
- La consideración del diseño como **proceso de síntesis**, vinculado al denominado “pensamiento lateral”.

El proceso de síntesis que se produce con la elaboración de una o distintas propuestas de diseño supone el paso a un nuevo nivel factico, con la constitución de una nueva totalidad distinta de la suma de los requerimientos y condiciones obtenidos en la fase de análisis previo del programa.

El paso de la fase analítica a la de síntesis, constituye de hecho un proceso complejo de toma de decisiones en el que conducen a un resultado concreto de diseño que debe conciliar los distintos requerimientos.

Dicho proceso ha sido descrito mediante la metáfora de la “caja negra”.

“Es usual dar como ejemplo el caso de la “caja”. Se trataba de una caja negra, opaca, que no dejaba ver lo que acontece dentro de ella, el proceso más simple (una sola etapa), más oscuro (porque no se sabe lo que pasa dentro), y por ello mismo hermético (no solo en cuanto cerrado, sino en cuanto misterioso)”

“El proceso de diseño tiene como sujeto operativo al mismo diseñador. Su operación se realiza, de hecho, en un estudio, oficina, etc., una estructura ambiental y anímica que juega la función de una cierta interioridad. La realidad, por el contrario, es como una exterioridad, lo que debe ser siempre la referencia de su operación.” Pág. 215

No se puede hablar de propuesta óptima, siempre hay algo de apuesta por una solución, que en su formalización definitiva puede de hecho, de forma voluntaria y consciente, privilegiar unos aspectos por encima de otros no directamente armónicos a conciliables.

La experiencia profesional permite incorporar las decisiones relativas a la "constructibilidad" y los factores económicos desde el primer momento de elaboración de las propuestas. De este modo las primeras propuestas dejan de ser soluciones a priori que la técnica deberá resolver a posteriori.

La técnica DMD formaliza procesos que están implícitos en la actividad de la disciplina con un valor tanto para el proyectista como para el cliente y, en último término, si el proceso ha resultado exitoso, para la sociedad: Proyecto, Decisor (gestor), Usuario final (individual o colectivo) y Usuario global (la sociedad).

La utilidad de la aplicación de estas técnicas DMD es la de mejorar el proceso de la toma de decisiones entre decisor y técnico, o el debate interno en el caso de un **decisor colectivo**.

La utilización de estas técnicas se sitúa en la tradición de los métodos de diseño apoyados en el uso de herramientas de carácter matemático, como el desarrollado por Ch. Alexander, mediante su denominado "lenguaje de patrones".

Como ejemplos de aplicación de los DMD al campo de la arquitectura en su dimensión tecnológica se reproducen a continuación los siguientes trabajos de referencia:

- **Peldschus, Friedel; Kazimieras, Edmundas y Turskis, Zenonas:** *"Multicriteria optimization software LEVI-04. A tool to support design and management in construction"*. 25 International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Vilnius (Lituania). Junio 2.008.

- **Ormazábal, G.:** *"Un nuevo sistema integrado de toma de decisión para la gestión de proyectos constructivos"*. Tesis Doctoral. Departamento de ingeniería de la construcción. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña.

El objetivo de esta tesis doctoral es ahondar en el estudio de la toma de decisión en la gestión constructiva de cara a aportar una mejora en la práctica actual.

- **Alarcón Núñez, Deissy Bibiana:** *"Modelo Integrado de valor para estructuras sostenibles"*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona 2.005.

- **Wadel, Gerardo:** *"La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda"*. Tesis doctoral

Departamento de construcciones arquitectónicas 1. Universidad Politécnica de Cataluña. Julio 2009.

La tesis doctoral, según se expresa en su introducción *"tiene por objeto el estudio teórico y experimental de las posibilidades de la arquitectura industrializada, modular y ligera aplicada a la vivienda, como construcción sostenible"*.

La tesis plantea la necesidad de proceder a un cambio radical en el modelo productivo de la edificación, tendente a conseguir un ciclo de vida de los materiales empleados en la edificación que se aproxime al ideal del cierre del ciclo de materiales.

4.2.2.9.- Aplicación de los Métodos de Decisión Multicriterio en el Máster Universitario en Construcción y tecnología Arquitectónicas (MUCTA) impartido en la ETSAM durante el curso 2.013-2.014

Desde septiembre de 2.013 hasta enero de 2.014 se desarrolló en la ETSAM, y en sede del Máster Universitario en Construcción y Tecnología Arquitectónicas (MUCTA), el curso titulado "Parametrización de elementos constructivos, procedimientos de validación y aplicación de los métodos de decisión multicriterio al diseño constructivo", dirigido por el doctorando".

El objeto del curso era la aplicación de los Métodos de Decisión Multicriterio al estudio de los sistemas constructivos. El curso se planteó con el carácter de taller, en el que los alumnos pudiesen aplicar dichos métodos a problemáticas de decisión propuestas por ellos mismos, atendiendo a sus inquietudes académicas y profesionales.

La heterogeneidad del alumnado, tanto en lo relativo a su procedencia, dado que muchos de ellos eran extranjeros, como en lo relativo a sus inquietudes personales, propició una variedad de propuestas de trabajo que vino a enriquecer el contenido final del curso.

Pese a que inicialmente el planteamiento del curso parecía estar circunscrito a una reflexión sobre las características técnicas de los sistemas constructivos, y por iniciativa del propio alumnado, pronto se produjo una diversificación a nuestro juicio enriquecedora de los ámbitos de reflexión propuestos.

Brevemente se describe el contenido de los trabajos elaborados que se consideran más significativos:

- Título del trabajo: "Evaluación de sistemas constructivos de vivienda social en Ecuador".

Autores: Santiago Morales y Camilo Herrera.

- Título del trabajo: Análisis sobre cubiertas vegetales.

Autor: Belén Gómez Mendiguchía.

- Título del trabajo: Aislamientos

Autores: Daniel Larrea y Sergio Cidoncha.

- Título del trabajo: Sistemas de cerramientos verticales convencionales frente a las nuevas propuestas en la República Dominicana.

Autor: Jessica Ercilia Torres Echavarría.

- Título del trabajo: Parametrización de cerramientos de fachadas con aislamiento de lana de vidrio en función de su composición.

Autor: César O. Pérez Pérez.

- Título del trabajo: "Posibilidades laborales en el ámbito de la arquitectura".

Autor: Laura Martínez.

- Título del trabajo: Rehabilitación energética pasiva.

Autor: Cyntia Eugenia Gawurin

4.2.3.- Estado actual del desarrollo de los métodos de decisión multicriterio

Los distintos métodos de la ayuda a la decisión multicriterio pueden dividirse en tres grandes familias:

- Teorías de la utilidad multiatributo
- Métodos de sobreclasificación
- Métodos interactivos

Las teorías de utilidad multiatributo, conocidas como pertenecientes a la **escuela americana**, se desarrollan a partir los trabajos de Keeney y Raiffa (1976) sobre funciones multiatributo y teoría de la utilidad multiatributo.

Un método perteneciente a esta escuela es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) desarrollado por Saaty.

Los métodos de sobreclasificación (escuela europea) son desarrollados a partir del desarrollo de la serie de los métodos ELECTRE por B. Roy. A esta escuela pertenece el método PROMETHEE (Brans Marechal y Vincke, 1.984).

El desarrollo de los métodos pertenecientes a esta escuela se ha ido produciendo para dar satisfacción a los requerimientos impuestos por su aplicación a casos y campos de estudio concretos.

La tercera escuela, de más reciente creación, se basa en métodos que alternan las etapas de cálculo y las etapas de diálogo, mediante la interacción con la valoración de los criterios establecida inicialmente por el/los decisores.

Los distintos métodos DMD comparten en general una parecida metodología en cuanto a la estructuración de los datos, la necesidad de normalización y ponderación de los mismo en función de el/los decisores. Sus diferencias

más sustanciales dependen del tipo de problemática de elección entre las alternativas consideradas, y a los métodos de ordenación y diagnóstico de los datos y relaciones obtenidos en aplicación del método.

Los métodos desarrollados en los últimos años en el marco de la DMD pueden agruparse en las siguientes familias o categorías:

- Ordinales y lexicográficos
- Utilidad multiatributo
- Ponderación Lineal
- Método Jerárquico de Saaty (AHP)
- Método de concordancia
- Relaciones de superación
- Comparación de alternativas
- Distancia al ideal
- Permutación
- Análisis multivariante
- Inteligencia artificial y Redes neuronales

CAPÍTULO 5.- PROCESO DE VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS. ELABORACIÓN DE UN ALGORITMO DE DECISIÓN.

La presente Tesis plantea la aplicación de un método de validación comparativa entre sistemas constructivos de construcción de fachadas.

El interés de estudiar los sistemas constructivos en su totalidad radica en el hecho de que los sistemas deben entenderse como algo más que la suma de sus componentes.

Las patentes y certificaciones suelen validar más que los sistemas los componentes por separado.

La finalidad de la investigación desarrollada en la presente Tesis, además de proporcionar un catálogo descriptivo de los distintos sistemas constructivos, que por su adscripción a categorías constituyen una muestra significativa de la variedad existente o posible, consiste en la elaboración de un **algoritmo de validación de las propuestas**, previa definición del perfil de su decisor.

Dicho algoritmo está basado en el método ELECTRE de ayuda a la decisión multicriterio discreta. No obstante, se ha decidido oportuno no recurrir ningún programa comercial, sino desarrollar un algoritmo propio.

Entendemos aquí por algoritmo un conjunto finito y secuencial de operaciones que permiten hallar la solución de un problema, partiendo de unos datos de partida. Dicho algoritmo, por su propia naturaleza es susceptible de ser traducido en una aplicación informática que permita en su ejecución la resolución del problema simplemente con la aportación de los datos requeridos.

Dicho algoritmo está descrito, en el Capítulo 9 "Proceso de validación comparativa" y desarrollado en su aplicación al caso en el Anexo nº 1.

Para su desarrollo, se procede en primer lugar a la parametrización de los sistemas constructivos considerados.

Por otra parte se establece el perfil de decisión de tres decisores particularizados

Finalmente, la aplicación del algoritmo a estos datos de partida permite establecer un ranking que permite establecer el grado de utilidad subjetiva de los diferentes sistemas.

El algoritmo desarrollado queda expresado en el siguiente gráfico en que se representa la sucesión de operaciones realizadas.

GRÁFICO nº 1: Diagrama del algoritmo de decisión desarrollado

La Tesis presenta una metodología que, si bien no renuncia al cálculo preciso de la parametrización de los distintos criterios según los métodos estándar comúnmente empleados, no requiere de una extrema precisión asociada a una medición en laboratorio de cada uno de tales parámetros.

Ello es debido a que el método utilizado se basa no tanto en la consideración del valor absoluto de cada parámetro/criterio por separado para cada uno de los sistemas como en la comparación relativa que adoptan dichos valores para la serie de sistemas constructivos seleccionados para su análisis y valoración.

El grado de precisión de la parametrización debe atender al propósito de discriminar entre el grado de utilidad relativa de los diferentes sistemas.

PARTE II.- ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOCE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS "TESTIGO"

En esta Parte II de la Tesis se realiza un análisis comparativo entre doce sistemas constructivos para cerramientos de fachadas que permitan verificar las hipótesis de partida, a la vez que servir para el desarrollo de las herramientas de validación comparativa propuestas.

CAPÍTULO 6.- DEFINICIÓN DEL ESPACIO MUESTRAL

El objeto del presente capítulo es establecer un campo finito constituido por un número reducido de ejemplos de sistemas constructivos que pese a lo reducido de su muestra permita por un lado establecer un diagnóstico sobre su grado de utilidad objetiva y subjetiva de los mismos, como de forma inicial avanzar en una reflexión sobre valoraciones de carácter más sistemático.

6.1.- Determinación del campo muestral

"(...) los animales se dividen en a] pertenecientes al Emperador, b] embalsamados, c] amaestrados, d]lechones, e] sirenas, f] fabulosos, g] perros sueltos, h] incluidos en esta clasificación, i] que se agitan como locos, j] innumerables, k] dibujados con un pincel finísimo de pelo de camello, l] etcétera, m] que acaban de romper el jarrón, n] que de lejos parecen moscas".

(Michel Foucault)⁴⁴

La práctica profesional, la labor de los diseñadores y proyectistas, y la regulación normativa nos ofrecen el panorama de una considerable multiplicidad y diversidad de sistemas constructivos para la construcción de cerramientos de fachadas.

El objetivo de nuestra investigación, aun sin ánimo de una exhaustividad no necesaria a nuestro propósito, es analizar y evaluar de forma comparativa el comportamiento de una serie de sistemas lo más variada posible. Entendemos que como primer paso para la elaboración de un catálogo de sistemas suficientemente diversos, pero que no requieran de una muestra excesivamente prolija, es necesaria una caracterización de los sistemas según categorías que sean significativas de la totalidad.

Dicha caracterización permite, mediante la definición de tan sólo doce sistemas constructivos ofrecer en esta primera aproximación un acercamiento a la variedad de sistemas constructivos para cerramientos de fachadas, con las exclusiones que se dirá más adelante.

⁴⁴ Foucault, Michel: "Las palabras y las cosas. Una arqueología de las ciencias humanas. Editorial siglo XXI, México, 2.005

Para ello, se establece una estructura del campo de sistemas considerados que se expone a continuación.

6.2.- Estructura del campo de muestras

Para proporcionar una estructura al campo de muestras de estudio consideradas en esta Parte II, estableceremos tres categorías distintas de definición cualitativa de los sistemas, que posteriormente se combinarán entre sí para establecer una categorización más compleja, en base a lo que denominamos como subcategorías. Las categorías de caracterización de los sistemas se articularán en función de tres variables que consideramos que pueden considerarse como las más definitorias de un sistema de cerramiento:

- En función del peso por metro cuadrado.
- En función del grado de prefabricación.
- En función de si la fachada es o no ventilada

6.2.1.- Categorías constructivas en función del peso

En función del peso total del sistema constructivo por metro cuadrado de fachada, distinguiremos entre **fachadas pesadas, semipesadas y ligeras**.

El Documento Básico – HR “Protección frente al ruido” del CTE define la fachada ligera: Fachada continua y anclada a una estructura auxiliar, cuya masa por unidad de superficie es menor que 200 kg/m^2 .”

Estimamos que esta definición de las fachadas ligeras, que establece la distinción entre fachadas pesadas y ligeras no discrimina de forma adecuada y suficiente la variedad tipológica existente, dado que entre las calificadas como “ligeras” se incluyen soluciones que en función de su peso deberían considerarse cualitativamente distintas.

Proponemos distinguir entre las propiamente ligeras, que se corresponderían básicamente con muros cortina o cerramientos a base de paneles prefabricados ligeros o similares, y las soluciones “Semipesadas” en las que puede incorporarse incluso obras de fábrica, sin llegar a los 200 Kg/m^2 , como las existentes en el CTE que hemos incorporado a nuestro conjunto de muestras testigo, como se verá más adelante.

Así pues, consideraremos “**fachadas pesadas**” a aquellas que superan un peso de 200 kg/m^2 , “**semipesadas**” las que están entre 110 y 200 Kg/m^2 , y “**ligeras**”, las inferiores a 110 Kg/m^2 .

6.2.2.- Categorías constructivas en función del grado de prefabricación

La segunda caracterización distingue entre **fachadas en las que predominan los elementos prefabricados**, de aquellas otras en la que predominan los elementos fabricados en obra mediante procedimientos de índole artesanal.

Se trata pues, en este caso, de establecer un criterio de caracterización del grado de prefabricación.

Para ello, se propone establecer los rangos que nos permitan discernir la atribución a tres categorías expresivas de tal categorización, que denominaremos como sistema prefabricado, semiprefabricado y no prefabricado.

Para definir el denominado **"grado de prefabricación"** deberemos considerar varias características significativas a este respecto:

- atendiendo a la disposición y su configuración del espacio entre huecos, esto es, a su grado de modularidad o de modulación: **no Modular o Masivo, Semimodular o Semiproducto y Modular.**
- atendiendo a la puesta en obra: **Húmedo, semihúmedo y seco**

Así pues, para la caracterización del grado de prefabricación de los sistemas, se han considerado dos aspectos que se estiman definitorios de dicho grado de prefabricación.

Grado de definición modular

En primer lugar se considera su **grado de definición modular**, distinguiendo entre las siguientes tres modulaciones:

- Los sistemas constructivos cuyos elementos primarios se someten a una estricta definición dimensional, y que por tanto exigen una adecuación de sus constricciones dimensionales al proyecto de ejecución.
- Los sistemas que partiendo de unos módulos dimensionales básicos permiten su adaptación a los requerimientos del proyecto concreto de edificación, bien sea en su proceso de fabricación en fábrica en taller de prefabricación en obra, o en la propia obra; sistemas que pueden definirse como de **prefabricación flexible**.
- Por último, aquéllos sistemas que por la escala de sus materiales constituyentes no guardan relación necesaria con la geometría de la obra proyectada, ni pueden ser considerados como adaptación coyuntural a un módulo de referencia. Cabe referirse aquí a soluciones tradicionales, como las del ladrillo o incluso el bloque cerámico o de hormigón, cuya modularidad implícita, generalmente no está contemplada por el proyecto arquitectónico.

El mayor grado de valoración en cuanto a su consideración como sistemas prefabricados corresponde a la primera caracterización y el menor a la última.

Características de la puesta en obra.

En segundo lugar, se considerarán los métodos para la puesta en obra de los elementos constructivos, en el entendimiento de que aquéllos que se acercan más al patrón de la prefabricación son aquéllos que requieren de menos medios auxiliares para su puesta en obra, y en particular de la participación de elementos conglomerantes sean morteros, adhesivos sellantes, o similares. Atendiendo a esta consideración se establecen las siguientes categorías:

- Los sistemas que no requieren el uso de materiales conglomerantes.
- Los sistemas que requieren de materiales conglomerantes o aglomerantes de sellado de forma secundaria.
- Finalmente, aquéllos que requieren, principalmente, de conglomerantes para su puesta en obra.

El mayor grado de valoración en cuanto a su consideración como sistemas prefabricados corresponde a la primera caracterización y el menor a la última.

Valoración del grado de prefabricación del sistema.

Valorando de uno a tres el rango de las dos categorías consideradas se obtiene una matriz de valoración, que para la categorización de cada solución constructiva ofrece un valor como resultado de sumar su valoración para los dos criterios utilizados:

SISTEMA		Prefabricado	Flexible	Masivo
		3	2	1
Seco	3	6	5	4
Semihúmedo	2	5	4	3
Húmedo	1	4	3	2

CUADRO nº 2: Valoración del grado de prefabricación.

Los valores obtenidos por cada sistema oscilan, en intervalos de unidad, entre 2 y 6.

Para la adjudicación del grado de prefabricación de los sistemas se establecerán **tres niveles**. El mayor nivel se otorgará a los que en la aplicación de la valoración anteriormente descrita tengan un valor igual a 5 ó 6. El menor valor, a aquellos sistemas con valor a 2 ó 3 y el nivel medio a los que tengan valor 4.

No obstante lo anterior, si bien esta categorización teórica es compatible, de forma natural, con la estructura de ternas buscada, puede arrojar combinaciones que en la práctica no se correspondan con sistemas existentes. Como posible ejemplo de lo anterior, podríamos cuestionar la existencia de un sistema "prefabricado-húmedo".

6.2.3.- Fachadas ventiladas y no ventiladas

Por último, se distinguirá entre fachadas ventiladas y no ventiladas.

Se consideran ventiladas aquellas fachadas constituidas por una capa exterior y una interior, en las que la disposición constructiva de la capa exterior permite una ventilación suficiente de la cámara de aire que las separa.

Para la caracterización de las fachadas ventiladas recurrimos a la definición propuesta por Anouch Adjemian (2011)⁴⁵:

Sistema FAVETÓN con revestimiento cerámico (Anouch Adjemian, pág. 223)

"(...) Finalmente podemos definir la fachada ventilada como un sistema constructivo que puede ser utilizado tanto en obra nueva como en rehabilitación. La fachada ventilada está compuesta por paneles independientes al muro soporte fijados a través de una estructura portante, de modo que se crea una cámara ventilada, que contribuye a reducir los efectos negativos de los agentes externos y de la humedad, permitiendo minimizar el sobrecalentamiento en

⁴⁵ ADJEMIAN ORIA, Anouch: "La evolución de las fachadas ventiladas, nuevos materiales y sistemas constructivos". Proyecto fin de carrera. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2011.

verano, facilitando la transpiración de la fachada y evitando las condensaciones. La mejora térmica y acústica se consigue al fijar el aislamiento a la cara externa del muro soporte, evitando los posibles puentes térmicos.

La utilización de paneles independientes para el revestimiento permite una gran versatilidad en el diseño gracias a la gran cantidad de acabados que ofrece, tanto en la amplia gama de colores, como en diversidad de materiales y texturas.”

Se da la circunstancia de que incluso las cámaras de aire “no ventiladas no son totalmente herméticas, pues presentan de forma puntual aberturas para la evacuación del agua, permitiendo la entrada de aire. No obstante esta entrada de aire es mínima y no propicia el movimiento de aire por convección que caracteriza a las fachadas ventiladas.

Las fachadas ventiladas deben garantizar la evacuación del agua que penetra hasta la capa interior, y una ventilación suficiente que permita la evaporación de la que en cuantía menor se produzca.

El CTE establece en su Catálogo de soluciones constructivas las condiciones para que una cámara de aire pueda considerarse ventilada:

“Cámara de aire ventilada: Cámara de aire ventilada de espesor ≥ 3 cm. y ≤ 10 cm con un sistema de recogida y evacuación del agua, abertura de ventilación con una anchura > 5 mm.

El área de ventilación efectiva será 120 cm^2 por cada 10 m^2 de fachada entre forjados según establece el DB HS 1.

Las aberturas de ventilación se repartirán al 50% entre la parte superior y la inferior”.

La convección del aire de la cámara permite evitar el efecto de recalentamiento de la capa exterior, que tiende a tener la temperatura del ambiente exterior, reduciéndose la radiación de calor sobre la cara externa de la capa interior.

La capa interior del cerramiento suele soportar los requerimientos mecánicos, así como en gran medida, el aislamiento térmico, acústico y de protección.

Para un conocimiento detallado del comportamiento prestacional de la capa interior de las fachadas ventiladas, resulta de interés la Tesis doctoral de Cristina Pardal (2009)⁴⁶.

La ventilación de este tipo de fachadas se efectúa por convección natural o forzada. La convección natural se produce por “efecto chimenea” a causa

⁴⁶ PARDAL MARCH, Cristina: *La hoja interior de la fachada ventilada: Análisis, taxonomía y prospectiva*. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 2009.

del calentamiento del aire de la cámara, evacuando así, parte de la energía absorbida por los vidrios de la hoja exterior.

La ventilación forzada hace referencia a que se actúa voluntariamente sobre la velocidad de convección del aire dentro -de la cámara, controlando al mismo tiempo el flujo de aire que entra y que sale de la cámara.

A menudo, y en caso de que la capa exterior sea un material transparente o translúcido, se instala dentro de la cámara de aire ventilada una persiana u otro elemento de protección solar, que permita variar sensiblemente el factor solar, la transmisión luminosa, la temperatura superficial y el coeficiente de transmisión térmica a voluntad, sin tener que variar el vidrio exterior.

La parte interior de la fachada ventilada debe estar constituida por materiales térmicamente aislantes y materiales acústicamente absorbentes.

En el caso de fachadas ventiladas doblemente vidriadas es conveniente también colocar cortinas de protección en el interior de la cámara para reducir el máximo posible la cantidad de energía solar incidente en la segunda fachada.

Es habitual utilizar en este tipo de fachadas vidrios de tipo semirreflectante, coloreados o serigrafiados para la piel exterior, pudiendo jugar con distintos tonos, para así aportar una óptima transmisión luminosa y un buen reflejo de imagen. Para la piel interior se prefiere un doble acristalamiento, proporcionando al interior del edificio un buen aislamiento acústico y térmico.

6.3.- Determinación del campo de muestras

Mediante el cruce de las categorías básicas definidas en el anterior epígrafe se obtiene una caracterización de los distintos sistemas en base a las dieciocho siguientes subcategorías:

Categorías básicas			Categorías constructivas	
Ligeras	Prefabricadas	Ventiladas	1	Fachada ligera, prefabricada, ventilada
		No ventiladas	2	Fachada ligera, prefabricada, no ventilada
	Semiprefabricadas	Ventiladas	3	Fachada ligera, semiprefabricada, ventilada
		No ventiladas	4	Fachada ligera, semiprefabricada, no ventilada
	No prefabricadas	Ventiladas	5	Fachada ligera, no prefabricada, ventilada
		No ventiladas	6	Fachada ligera, no prefabricada, no ventilada
Semipesadas	Prefabricadas	Ventiladas	7	Fachada semipesada, prefabricada, ventilada
		No ventiladas	8	Fachada semipesada, prefabricada, no ventilada
	Semiprefabricadas	Ventiladas	9	Fachada semipesada, semiprefabricada, ventilada
		No ventiladas	10	Fachada semipesada, semiprefabricada, no ventilada
	No prefabricadas	Ventiladas	11	Fachada semipesada, no prefabricada, ventilada
		No ventiladas	12	Fachada semipesada, no prefabricada, no ventilada
Pesadas	Prefabricadas	Ventiladas	13	Fachada pesada, prefabricada, ventilada
		No ventiladas	14	Fachada pesada, prefabricada, no ventilada
	Semiprefabricadas	Ventiladas	15	Fachada pesada, semiprefabricada, ventilada
		No ventiladas	16	Fachada pesada, semiprefabricada, no ventilada
	No prefabricadas	Ventiladas	17	Fachada pesada, no prefabricada, ventilada
		No ventiladas	18	Fachada pesada, no prefabricada, no ventilada

CUADRO nº 3: Combinación de las categorías básicas

Para realizar una comparativa de los sistemas constructivos que agotase el universo completo de los sistemas posibles, se deberían comparar al menos un sistema correspondiente a cada una de las dieciocho familias.

Sin embargo, dada la complejidad del método de validación que se propone, se estima conveniente reducir el número de sistemas a comparar, aun sin por ello mermar la calidad de representación del espacio muestral considerado.

Para ello, se ha reducido el número de sistemas a estudiar a un total de **doce sistemas**, número éste que, como se comprobará, permite conciliar los dos objetivos anteriormente señalados (la comparación sistemática y la operatividad de la metodología de validación comparativa). Los sistemas finalmente propuestos como representativos son los que figuran en el cuadro siguiente:

Categorías básicas			Categorías constructivas	
Ligeras	Prefabricadas	Ventiladas	1	Fachada ligera, prefabricada, ventilada
	Semiprefabricadas	Ventiladas	2	Fachada ligera, semiprefabricada, ventilada
		No ventiladas	3	Fachada ligera, semiprefabricada, no ventilada
	No prefabricadas	No ventiladas	4	Fachada ligera, no prefabricada, no ventilada
Semipesadas	Prefabricadas	Ventiladas	5	Fachada semipesada, prefabricada, ventilada
	Semiprefabricadas	Ventiladas	6	Fachada semipesada, semiprefabricada, ventilada
	No prefabricadas	Ventiladas	7	Fachada semipesada, no prefabricada, ventilada
		No ventiladas	8	Fachada semipesada, no prefabricada, no ventilada
Pesadas	Prefabricadas	Ventiladas	9	Fachada pesada, prefabricada, ventilada
		No ventiladas	10	Fachada pesada, prefabricada, no ventilada
	Semiprefabricadas	No ventiladas	11	Fachada pesada, semiprefabricada, no ventilada
	No prefabricadas	No ventiladas	12	Fachada pesada, no prefabricada, no ventilada

CUADRO nº 4: Subcategorías propuestas para la valoración comparativa.

Desagregando el número de sistemas finalmente propuestos, en función de las distintas categorías de sistemas, se comprueba que cada una de ellas está suficientemente representada en el espacio muestral considerado, según queda expresado en el siguiente cuadro:

MUESTREO POR SUBCATEGORÍAS		
Categoría	Subcategorías	Nº sistemas
Por peso	Ligeras	4
	Semipesadas	4
	Pesadas	4
Total por peso		12
Por prefabricación	Prefabricadas	4
	Semiprefabricadas	4
	No prefabricadas	4
Total por prefabricación		12
Por ventilada o no	Ventiladas	6
	No ventiladas	6
Total por ventilación		12

CUADRO nº 5: Muestreo por subcategorías de los sistemas constructivos a proponer.

Se comprueba igualmente cómo la selección realizada optimiza el grado de representatividad y variación del campo muestral seleccionado, dado que para categoría básica, el número de sistemas constructivos considerados es igual para cada una de sus subcategorías.

Dentro de esta taxonomía sistemática, puede darse el caso de combinaciones que o son técnicamente inviables o pese a serlo no se han producido en la práctica del proyecto y de la ejecución de obra. Del mismo modo que en la taxonomía de las plantas existen “modelos” virtuales según la estructura taxonómica que no existen en la naturaleza.

6.4.- Sistemas constructivos no considerados

Pese a la intención de proceder al análisis comparativo de una muestra de la variedad de sistemas constructivos comúnmente aplicable en la actualidad, se ha decidido prescindir de una serie de ellos que por las dificultades para la parametrización de ciertas de sus características podrían incidir en la viabilidad de la investigación realizada.

Brevemente ofrecemos una descripción de estos tipos de cerramientos no considerados.

6.4.1.- Fachadas respirantes

La literatura existente distingue un tipo especial denominado “Fachada respirante”. Consiste en una fachada con una cámara de aire de dimensiones muy restringidas con la colocación de una barrera de vapor para permitir igualar la presión de vapor en su interior y su exterior. No requiere mantenimiento de la cámara de aire al ser prácticamente cerrada.

A los efectos de nuestra catalogación, estas “fachadas respirantes” se deberían considerar como no ventiladas.

6.4.2.- Las “fachadas de doble piel”

De entre la amplia variedad de sistemas constructivos para cerramientos de fachadas actualmente utilizadas, de forma más o menos generalizada, para la inclusión en la serie de doce sistemas que consideraremos para su análisis, se han excluido ciertos tipos, y en especial aquéllos que constituyen las denominadas **“fachadas de doble piel”**

En los últimos años han aparecido soluciones constructivas en las que se emplea una denominada “Segunda piel”, separada de lo que según la concepción tradicional podría considerarse propiamente como cerramiento, con la finalidad de mejorar las prestaciones de dicho cerramiento, y en especial las relativas a aislamiento térmico y condiciones de iluminación.

Esta segunda piel cumple en general la función de dispositivos de control del soleamiento tradicionales como persianas, toldos, que tienen el carácter de elementos muebles adicionales a la edificación propiamente dicha. Esta “doble piel” viene a incorporar a la propia arquitectura estas funciones de control del soleamiento, mediante una racionalización del diseño enfocado a esta función.

La “doble piel”, por la especialización de función y su relativa independencia de los aspectos estructurales permite la incorporación de mecanismos de adaptación a las condiciones exteriores de soleamiento durante el ciclo diario y el anual, optimizando de esta forma su rendimiento.

- Variabilidad en las condiciones de ventilación de la cámara de aire creada por la doble piel, que permiten evitar el efecto invernadero en el ciclo de verano.
- Utilización de elementos de geometría variable en función de la radiación solar, para modular tanto la iluminación como el calentamiento de la fachada. A este tipo corresponden las denominadas “fachadas homeostáticas, en las que la doble piel está constituida por elementos perfilados cuya geometría varía espontáneamente con la temperatura sin necesidad de mecanismos auxiliares para su modificación.
- Tratamiento de la “segunda piel en el caso de que sea acristalada, mediante un serigrafiado adecuado a la orientación de la fachada, utilización de cristales polarizados, etc.
- Utilización de lamas o elementos de geometría adecuada a la orientación y posibilidad de su variación diaria o estacional.
- Integración de células fotovoltaicas, para constituir una denominada fachada fotovoltaica. El proceso más empleado es la inclusión de las células solares agrupadas en módulos, en una capa de resina colocada entre las lunas de un vidrio laminar. Según el tipo de célula el resultado puede ser transparente, translúcido u opaco.
- Agregación de elementos de control solar entre la fachada y la segunda piel, tales como persianas, estores, etc.
- Mecanismos de ventilación forzada de la cámara, mediante la inyección en la misma de aire caliente del interior que se recalienta por efecto invernadero en el ciclo de invierno.

Edificio proyectado por Kravitz arquitectura con una segunda piel realizada con bambú.

La utilización de la doble piel se emplea aplica en el caso de fachadas acristaladas, en las que existe una primera facha de cristal, que cumple todos los requerimientos funcionales del cerramiento, y una "segunda fachada" al exterior de ésta, que constituye el límite del espacio habitable de la edificación, creando una cámara de aire, generalmente de grandes dimensiones (pudiendo ser visitable), con un control de sus condiciones de movimiento del aire y de ventilación.

El diseño de la "doble piel" es especialmente delicado cuando se aplica en aquéllas regiones climáticas, como las de clima continental, presentes en amplias regiones de España, que requieren calefacción en invierno y refrigeración en verano. En estos casos es necesario un estudio particularizado respecto al edificio y orientaciones concretas para la optimización del control solar.

En estos casos se deberá diseñar la solución constructiva teniendo en cuenta diversos factores que influyen en su comportamiento termofluidodinámico, como son el espesor y características de los cristales, la anchura y ventilación de la cámara etc.

El estudio del comportamiento térmico de estas soluciones resulta particularmente complejo, dado que por las dimensiones del ancho de la cámara de aire creada por la segunda piel, se hace necesario considerar además de los factores de transmisión comúnmente estimados, los efectos de la convección de aire interno, entendida dicha cámara como campo fluido

La utilización de estos sistemas de doble facha requieren pues de un diseño especializado y de una particularización que atienda a las condiciones concretas del cerramiento, así como un coste de construcción y elevado lo que dificulta su aplicación al campo de la edificación residencial convencional, siendo más aplicado, como así se demuestra la práctica, a edificios destinados a usos terciarios, con un alto nivel de exigencia tanto en lo prestacional como en lo representativo.

6.4.3.- Instalaciones solares integradas.

Las instalaciones solares integradas en las fachadas de los edificios son sistemas cada vez más presentes en la arquitectura actual ya que ofrecen la posibilidad de conseguir un resultado estético atractivo desde el punto de vista del diseño y ofrecen al mismo tiempo la posibilidad de generar electricidad por medio de la energía solar.

Las llamadas fachadas solares integran células fotovoltaicas que pasan a ser una alternativa sostenible de energía, haciendo interesante la introducción de estas fachadas en cualquier proyecto nuevo o de renovación, siendo una innovadora tecnología, tanto estética como ambiental. Existe la posibilidad de convertir la fachada en una gran manta solar, que combine la colocación de placas solares fotovoltaicas –destinadas a generar electricidad – y sistemas solares térmicos – para agua caliente sanitaria y calefacción.

CAPÍTULO 7.- CONTENIDO SUSTANCIAL DE LA DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS. PARÁMETROS ASOCIADOS A LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN

7.1.- Determinación de criterios y atributos

Para el proceso de validación comparativa propuesto, los **criterios** de valoración del grado de utilidad de los sistemas constructivos que se han considerado relevantes para la parametrización y posterior proceso de validación comparativa son los siguientes:

- Resistencia térmica.
- Inercia térmica.
- Aislamiento acústico.
- Grado de certidumbre en la ejecución.
- Coste de ejecución.
- Tiempo de ejecución.
- Costes de mantenimiento.

A su vez, para el dimensionamiento del valor del criterio de “Grado de certidumbre en la ejecución” se procederá mediante la valoración de **subcriterios**, según se expresa a continuación:

- Grado de certidumbre de la calidad de materiales y componentes (GCM)
- Grado de certidumbre operativo (GCO).
- Grado de certidumbre laboral e instrumental (GCLI).
- Grado de certidumbre derivado del control de la obra (GCC).

Para el cálculo de las condiciones de aislamiento térmico se calculará, para cada una de las soluciones constructivas analizadas, el valor de la **resistencia térmica total** y de la **inercia térmica**, magnitud esta última que si bien no está regulada por el CTE, consideramos que debe contemplarse en la evaluación del comportamiento térmico de los cerramientos estudiados

Se describe a continuación, someramente, la forma en que se procede al establecimiento del valor de los distintos atributos y criterios:

7.2.- Criterio de valoración del aislamiento térmico

Para determinar el grado de utilidad de los doce sistemas constructivos considerados en el cumplimiento prestacional del aislamiento térmico, se procederá a la parametrización de la resistencia térmica total de los sistemas, por entender que este es el parámetro que con el nivel de

definición que interesa al propósito de la Tesis permite establecer dicho grado de cumplimiento.

La resistencia térmica total **R_t de un componente constituido por capas térmicas** térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

siendo:

R_t la resistencia térmica total del cerramiento, expresada en $[m^2K/W]$.

$R_1, R_2 \dots R_n$ las resistencias térmicas de cada capa homogénea constituyente del cerramiento.

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla E.1 de la Norma Básica HE, de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo del calor y su situación en el edificio.

Para su aplicación a nuestro caso de estudio, dado que consideramos cerramientos verticales con flujo horizontal, las **resistencias térmicas superficiales** de los cerramientos en contacto con el aire exterior para el caso de cerramientos verticales son (medidas en $m^2 K / W$) para la cara exterior, **$R_{se} = 0,04$** y para la cara interior **$R_{si} = 0,13$** , según la Tabla E.1. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior m^2K/W .

Tabla E.1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

GRÁFICO nº 2: Resistencias térmicas superficiales (Norma Básica HE)

En función de estos valores de las resistencias superficiales, tendremos un valor de la resistencia superficial total igual a 0,17 en el caso de fachadas no ventiladas y de 0,26 para el caso de fachadas ventiladas.

Para el cálculo de la Resistencia térmica de cada una de las capas térmicamente homogéneas que constituyen los distintos sistemas (**R_i**), se aplicará la fórmula:

$$R = E/\lambda$$

Siendo:

e el espesor de la capa [m]

λ la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la Norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de Documentos Reconocidos [W/mK].

Los valores de conductividad para los distintos elementos han sido extraídos del documento "Tablas de propiedades higrotérmicas para el cálculo de parámetros característicos según el CTE DB HE-1" editado por el COACYL.

Siguiendo este procedimiento de cálculo, se ha elaborado la **Tabla nº 1** (Anejo), en la que figuran, para los doce sistemas constructivos considerados, los siguientes datos por columnas:

- (1) Número del sistema
- (2) Hoja.
- (3) Descripción de los componentes
- (4) Resistencia térmica por componente ($\text{m}^2\text{K/W}$).
- (5) Resistencia térmica por capa ($\text{m}^2\text{K/W}$).
- (6) Resistencia térmica total sin superficial ($\text{m}^2\text{K/W}$).
- (7) Resistencia térmica total con superficial ($\text{m}^2\text{K/W}$).
- (8) Transmitancia total del sistema ($\text{W/m}^2\text{K}$).

Se aporta el dato de **Transmitancia térmica, que** es la magnitud que mide la cantidad de energía que atraviesa en una unidad de tiempo, una unidad de superficie de un cuerpo de caras paralelas, cuando entre ambas existe un gradiente térmico igual a la unidad. Se expresa en [$\text{W/m}^2 \text{K}$].

La Transmitancia térmica se ha calculado como inversa de la Resistencia térmica.

Hay que considerar que el grado de cumplimiento prestacional del aislamiento térmico será mayor cuanto mayor sea su Resistencia térmica total, mientras que será menor cuanto mayor sea su Transmitancia térmica. Por ello, será la resistencia térmica del sistema la que se considerará como indicador del mayor grado de utilidad en la aplicación del método que se desarrollará en la Parte II de la Tesis

Los resultados de parametrización de este Criterio 1 quedan reflejados en la **Tabla nº 1: Cálculo de la Resistencia térmica** del Anejo II.

7.3.- Criterio de valoración de la inercia térmica

En el campo de la Física, y con carácter general, se entiende como Inercia la dificultad o resistencia que opone un sistema ante posibles cambios de sus condiciones. Un sistema tendrá mayor Inercia cuanto mayor sea su capacidad de resistencia ante la modificación de sus condiciones ante una acción externa al mismo.

La Inercia térmica de un sistema es la capacidad que tiene de conservar en su masa la energía térmica inicial, ante condiciones externas de mayor o menor valor, es decir, la capacidad de mantener su calor.

En su aplicación a la edificación, una mayor inercia térmica de los cerramientos en contacto con el exterior permite mejorar el comportamiento térmico frente los ciclos de variación de la temperatura exterior, tal y como queda expresado en el texto de Manuel Domínguez et al.⁴⁷

"Se ha visto, en estos últimos años que, el comportamiento de los cerramientos y en general de los componentes de la construcción y enseres de los edificios, tienen un doble papel desde el punto de vista térmico; uno puramente resistivo y otro, al que se le da mucha menor importancia, el capacitivo o inercial. El resistivo depende directamente del espesor e inversa mente del coeficiente de conductividad térmica, y el capacitivo es directamente proporcional, al calor específico, al espesor y a la densidad. Por lo tanto, los muros de gran espesor, como se construían antiguamente, conducen a resistencias y capacidades elevadas, dejando pasar muy mal las ondas periódicas de frecuencias de uno o varios días. Para comprender lo expuesto téngase en cuenta lo reducida variación de temperatura que se observa en las bodegas enterradas, minas o en las catedrales".

La inercia térmica es una característica de los materiales que expresa su capacidad específica para almacenar el calor en un entorno en el que sus dos capas interna y externa respecto de un ambiente exterior tienen distintas temperaturas. La inercia térmica de un material es función de tres características propias del material, **la masa, el calor específico y el coeficiente de conductividad térmica.**

La transmitancia de los elementos y sistemas constructivos se calcula para un escenario estacional, en el que las temperaturas del ambiente exterior y el interior se consideran constantes.

⁴⁷ DOMÍNGUEZ, Manuel; GARCÍA, Carmen; ARIAS, José María: *Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase*. Madrid: Instituto del frío CSIC, 2009, pág. 1.

La consideración de la inercia térmica permite ponderar el **efecto de la transmisión del calor** entre el ambiente interior y el exterior de la edificación **a lo largo del tiempo**, en particular a lo largo del ciclo diario, durante el cual las temperaturas del ambiente exterior y del ambiente interior son cíclicamente variables.

Al calcular la transmisión de calor en régimen dinámico se consideran las variaciones de temperatura en el ambiente exterior.

La consideración de los plazos en los que se estudia el comportamiento del factor de inercia térmica permite distintas conclusiones. Es distinto el estudio de los comportamientos de los cerramientos a lo largo del ciclo diario, que el correspondiente a los ciclos estacionales.

Hay que señalar que pese a que la normativa del CTE español no contempla la incidencia de la inercia térmica en el comportamiento real del régimen de flujo térmico, existen legislaciones que sí lo han incorporado a su normativa.

Es el caso de la normativa italiana, se calcula un coeficiente de transmitancia corregido por un factor que tiene en cuenta de forma simplificada la incidencia de la inercia térmica. Este factor de forma muy simplificada, depende del peso por metro cuadrado de fachada, y del área climática.

El parámetro que se propone para dimensionar la incidencia de la inercia térmica en el comportamiento térmico dinámico de los cerramientos en ciclo dinámico es la **impedancia térmica Z** , magnitud propuesta por Manuel Domínguez⁴⁸, junto con la de desfase térmico, con el objeto de parametrizar la inercia térmica.

El desfase es el tiempo que tarda en penetrar la temperatura exterior al interior del cerramiento, mientras que la impedancia térmica $|Z|$ es el cociente de la amplitud de la onda de temperatura exterior $|T|$ y la amplitud de la onda del flujo de calor $|Q|$:

$$|Z| = |T|/|Q|$$

El comportamiento térmico del cerramiento en régimen dinámico, esto es considerando el efecto de las variaciones periódicas de la temperatura exterior resultará mejorado cuanto mayor sea el valor de su inercia térmica.

El concepto de impedancia térmica se desarrolla teóricamente partiendo del paralelismo entre la transmisión del calor a través de un cuerpo y la corriente de un circuito eléctrico.

⁴⁸ DOMÍNGUEZ, M.; HERRERA, O.; ÁLVAREZ, I.: *Resolución de la ecuación de transmisión de calor en muros multicapa, aplicando la impedancia térmica*. Madrid: Instituto del Frío, CSIC, (1985).

Según el criterio del profesor Domínguez, la consideración de la impedancia térmica resulta de interés en su aplicación al estudio de cerramientos⁴⁹:

Se considera, que la magnitud "impedancia térmica", es idónea para el estudio de cerramientos y que permite determinar los flujos de calor que lo pueden atravesar bajo condiciones periódicas de variación de temperatura en la cara exterior, y el desfase de las ondas de temperatura y de flujo de calor y que las expresiones indicadas en este trabajo, resumen de las publicadas en (1), coinciden con los valores experimentales realizados y que se recogen parcialmente en este trabajo.

El módulo de impedancia térmica $|Z|$ es adimensional. **Se calcula según la siguiente fórmula:**

$$|Z| = R \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\omega \cdot R \cdot C}{4}\right)^2}$$

Donde:

R = Resistencia térmica [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

ω = Frecuencia de la onda [rad/seg]

C = Capacidad térmica [$\text{J}/\text{m}^2\text{K}$]

Así pues, las magnitudes propias del elemento constructivo que influyen en la **Inercia térmica** son:

1.- Resistencia térmica (R): es cociente entre el espesor, expresado en metros y el coeficiente de conductividad, expresado en W/mK : [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

2.- Capacidad térmica del material (C). Es una magnitud que tiene influencia en el comportamiento de los procesos de transmisión de calor en régimen transitorio, determinando en gran medida la inercia térmica de los elementos constructivos. Se expresa en [$\text{J}/\text{m}^2\text{K}$]

La capacidad térmica se calcula como producto del **calor específico** del material [$\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$], por la **densidad** [Kg/m^3], por el **espesor** [m]:

El calor específico y [$\text{J}/\text{Kg}\cdot^\circ\text{K}$], determina la capacidad térmica de los materiales. Su valor para los materiales constructivos habituales varía en un relativamente estrecho rango, aproximadamente entre 800 y 1.550 $\text{J}/\text{Kg } ^\circ\text{K}$.

⁴⁹ DOMÍNGUEZ, Manuel; GARCÍA, Carmen; ARIAS, José María: *Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase*. Madrid: Instituto del frío CSIC, 2009, pág. 8.

La densidad de los materiales constructivos expresada en Kg/m^3 , varía de forma sustancial de unos a otros materiales, y constituye la magnitud más significativa para el cálculo de la capacidad térmica.

3.- Frecuencia de onda (ω): Es la frecuencia de la onda térmica del flujo de calor entre exterior e interior, expresada en [rad/s].

La frecuencia de onda está relacionada con el periodo de tiempo para el cual se estudia el flujo de calor, que puede establecerse en periodos de tiempo que oscilan entre un día y el ciclo anual de 365 días.

El periodo de tiempo de estudio del flujo térmico que se estima como más significativo a los efectos de considerar la influencia de la inercia térmica en la optimización de las soluciones de cerramiento en cuanto al aislamiento térmico en régimen dinámico, es el periodo estadísticamente probable en que se producen temperaturas extremas de forma consecutiva (Domínguez 2.009):

“Se piensa que es más sencillo conseguir cerramientos con buenas propiedades térmicas, para frecuencias de las diadas más exigentes, entendiendo por ellas los días sucesivos de temperaturas extremas, suelen oscilar entre 5 a 10 días de duración en nuestras latitudes y no diseñarlos para retrasar la onda anual, medio año, pues serían soluciones costosas.”

La finalidad de nuestra Tesis es establecer un método de comparación de los distintos sistemas constructivos de fachadas. En este sentido, la consideración de la frecuencia de onda no resulta significativa, pues constituiría (en caso de considerarse) una constante en relación con la variedad de sistemas. Por otra parte, y nuestros efectos, no resulta de interés el cálculo de la impedancia térmica para una frecuencia de onda concreta.

Para el cálculo de la impedancia térmica de los cerramientos analizados, se ha considerado el ciclo diurno. Se han considerado la totalidad de los componentes que constituyen la capa interior y exterior siendo la impedancia térmica del sistema igual a la suma de la de éstos.

En el caso de fachadas ventiladas se ha despreciado la contribución de la capa exterior a la inercia térmica del sistema.

Los resultados de parametrización de este Criterio 2 quedan reflejados en la **Tabla nº 2: Cálculo de la Impedancia térmica** del Anejo II.

7.4.- Criterio de valoración del aislamiento acústico

Para el cálculo de los parámetros de protección frente al ruido se utilizará como referencia la normativa contenida en el **"Documento Básico HR Protección frente al ruido"** del CTE.

Se utilizarán como referencia las limitaciones establecidas en el epígrafe **"2.1.1. Aislamiento acústico a ruido aéreo"** de la citada Norma que establece:

"iv) Protección del ruido procedente del exterior:

- El aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, entre un recinto protegido y el exterior no será menor que los valores indicados en la tabla 2.1, en función del uso del edificio y de los valores del índice de ruido día, L_d , definido en el Anejo I del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, de la zona donde se ubica el edificio."

Se reproduce a continuación dicha tabla 2.1:

Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

La escala de medida de niveles se establece mediante el empleo de la curva de ponderación A, incluida en la Norma UNE 21-314-75, para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del campo auditivo. Se utiliza pues como unidad el decibelio A, dBA.

En el margen de frecuencias considerado por la Norma, la curva de ponderación A viene definida por los valores que figuran en la siguiente tabla:

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Ponderación (dBA)	19,1	16,1	13,4	10,9	8,6	6,6	4,8	3,2	1,0	0,8	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5

Para su aplicación al proceso de validación de las distintas soluciones, consideraremos el caso intermedio correspondiente al uso residencial hospitalario, para un intervalo de valores: $65 < L_d \leq 70$ dBA, y para el caso de

su aplicación a dormitorios, que arroja **un valor límite de aislamiento de 37 dBA.**

Por otra parte, el artículo 3.1.2.5 "*Condiciones mínimas de las fachadas, las cubiertas y los suelos en contacto con el aire exterior*" incluye la tabla 3.4 en la que se expresan los valores mínimos que deben cumplir los elementos que forman los huecos y la parte ciega de la fachada, la cubierta o el suelo en contacto con el aire exterior, en función de los valores límite de aislamiento acústico entre un recinto protegido y el exterior indicados en la Tabla 2.1. anteriormente representada, y del porcentaje de huecos expresado como la relación entre la superficie del hueco y la superficie total de la fachada vista desde el interior de cada recinto protegido.

Para el valor límite de aislamiento de 37 dBA, que estimamos de referencia, consideraremos el supuesto de que el porcentaje de huecos en fachada es de entre el 16% y el 30%.

En aplicación de la tabla 3.4. "Parámetros acústicos de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior de recintos protegidos, a la parte ciega constituida por el cerramiento, excluidos los huecos, le corresponde un **R_{Atr} de 39 dBA.**

Para el cálculo del aislamiento acústico proporcionado por los distintos sistemas constructivos consideraremos el determinado por el CTE para el caso de aquéllas que están incluidas el Catálogo de Elementos Constructivos del propio CTE.

En el caso de **sistemas no contemplados por el CTE**, calcularemos los parámetros de protección frente al ruido considerando los valores de aislamiento acústico R_A de los distintos componentes del sistema.

Se considerará que, en ausencia de ensayo, el índice de reducción acústica proporcionado por un elemento constructivo de una hoja de material homogéneo, es función casi exclusiva de su masa, siendo aplicables las siguientes expresiones (**ley de masas**) que determinan el aislamiento R_A , en función de la masa por unidad de superficie, m :

$$\text{Para } m \leq 150 \text{ Kg / m}^2: \quad R_A = 16,6 \times \log m + 5$$

$$\text{Para } m \geq 150 \text{ Kg / m}^2: \quad R_A = 36,5 \times \log m - 38,5$$

El resultado de este cálculo se considera como un valor de referencia ya que tiene en cuenta únicamente el valor de masa del cerramiento, despreciando circunstancias tales como procedimientos de puesta en obra, contigüidad de materiales etc. que disminuyen en la práctica el aislamiento teórico. Se suele considerar una minoración del índice de reducción acústica del 5% sobre el teórico.

Dado que la finalidad de nuestro estudio es una comparación relativa de los distintos sistemas, no consideraremos dicha reducción DADO que afectaría de forma lineal a las distintas alternativas.

En el cuadro que se adjunta a continuación se representa la relación entre el índice de reducción acústica R_A y la masa del cerramiento en kg/cm, para sistemas constructivos de una hoja homogénea

GRÁFICO nº 3: Índice global de reducción acústica

La absorción acústica **A** es la magnitud que cuantifica la energía acústica extraída del campo acústico cuando la onda sonora atraviesa un campo determinado o en el choque de la misma con las superficies del recinto. Se calcula según la siguiente fórmula:

$$A = \alpha_m \times S$$

donde: α_m es el coeficiente medio de absorción acústica

S es la superficie del material en m²

La absorción acústica del sistema constructivo se calculará como suma de los distintos elementos que le componen.

A los efectos comparativos que nos interesan, consideraremos los coeficientes α_m correspondientes a los distintos elementos constructivos componentes de los sistemas.

Con carácter general, los sistemas a analizar están constituidos por dos hojas (que a su vez pueden estar constituidas por varios elementos constructivos, separadas por un espacio vacío, relleno o no de material absorbente.

Para la comparación de los distintos sistemas constructivos consideraremos solamente la **transmisión acústica directa**, que es la que realiza exclusivamente a través de elemento separador, en este caso el

cerramiento. Se considera el caso de un cerramiento sin huecos, dado que a proporción y constitución de dichos huecos constituye una variable propia de las soluciones edificatorias concretas y por tanto una variable independiente a los efectos de nuestra comparación.

Por otra parte, y por el mismo motivo, no se considerarán las transmisiones indirectas, que se subdividen en indirectas por vía sólida o transmisiones por flancos (paredes, techos, suelo) e indirectas por vía aérea (techos suspendidos (conductos de ventilación)).

Comenzaremos calculando el aislamiento a ruido aéreo teórico de elementos constructivos simples de una hoja. Estos elementos constructivos simples son los constituidos por materiales homogéneos y continuos, tales como paredes de hormigón, de ladrillo, paneles de yeso laminado, etc. Los parámetros físicos que tienen influencia en el índice de reducción acústica R en este tipo de elementos son la masa, la rigidez, la resonancia y la frecuencia de las ondas acústicas.

Los resultados de parametrización de este Criterio 3 quedan reflejados en la **Tabla nº 3: Aislamiento acústico** del Anejo II.

Realizado el cálculo del Índice de reducción acústica de los doce sistemas constructivos analizados todos ellos cumplen con la exigencia de un mínimo de **39 dBA**, correspondiendo el menor valor al sistema nº cuatro con un índice de 39,75 dBA.

7.5.- Criterio de evaluación de los factores de certidumbre en la ejecución de la obra

El Criterio 4, referente a las condiciones de ejecución de la obra valora el grado de certidumbre relativa a la calidad y a los tiempos de ejecución de la obra que se producen por las características de los componentes del sistema, su fabricación y puesta en obra.

Para su determinación, se establecen cuatro subcriterios que se refieren a distintos aspectos de la puesta en obra. El valor del Criterio 4 será la media de los valores homogeneizados⁵⁰ de los subcriterios.

A continuación se describe el contenido y el método para establecer el valor de los cuatro subcriterios:

Subcriterio 1: Grado de certidumbre de la calidad de materiales y componentes (GCM).

⁵⁰ Para que los valores de los cuatro subparámetros se mantengan en el mismo rango, se calcularán para cada uno de ellos los valores normalizados en un rango de cero a uno (dividiendo los valores correspondientes a cada sistema constructivo entre el mayor valor de los obtenidos por la serie de los doce sistemas considerados para cada subcriterio).

El grado de certidumbre de calidad de materiales y componentes expresa mediante un coeficiente, la fiabilidad de los parámetros de calidad de materiales y componentes en relación con el modelo de referencia. Para ello, se adjudican a cada uno de los componentes del sistema una valoración que será función, en principio, de su grado de acreditación, según el siguiente cuadro, en el que se señala el nivel de certidumbre según los distintos supuestos:

Calidad de materiales y componentes (GCM)	
Rango	Tipo de certificación
4	Con DITE o DIT
3	Con DAU o marcado CE con certificación por tercera parte
2	Marcado CE sin certificación por tercera parte
1	Sin marcado CE

CUADRO nº 6: Rangos del subcriterio GCM

Subcriterio 2: Grado de certidumbre operativo (GCO).

El grado de certidumbre operativo es un coeficiente que expresa la certidumbre presente en la ejecución de la obra derivada del número de operaciones necesarias para la completa ejecución del sistema constructivo en su totalidad, desde el momento de la recepción en obra de los materiales y componentes.

Para el dimensionamiento del Grado de Certidumbre Operativo se calcula el número de operaciones del sistema como suma de las operaciones necesarias para la puesta en obra de cada uno de sus componentes. Dado que el número de operaciones es inversamente proporcional a su grado de utilidad, se calculan los valores inversos a dicho número.

Posteriormente, se normalizan dichos valores inversos, dividiendo entre el mayor valor obtenido para la serie de los doce sistemas constructivos considerados, con la finalidad de que los valores de los distintos subcriterios puedan ser agregados.

Finalmente calculamos el valor de GCO para cada sistema constructivo como suma de los valores normalizados de los cuatro subcriterios

Subcriterio 3: Grado de certidumbre laboral e instrumental (GCLI).

El grado de certidumbre laboral e instrumental valora la indeterminación derivada del grado de cualificación profesional de los operarios intervinientes y de la homologación del utillaje empleado para el montaje en

obra, considerando los mínimos exigibles en función del elemento constructivo concreto. Se aplican los siguientes coeficientes:

Personal y utillaje empleado para el montaje en obra (GCLI)	
Rango	Casos posibles
4	Todo el personal y utillaje homologados por el fabricante
3	Personal encargado y utillaje homologados por el fabricante
2	Personal o utillaje no homologados por el fabricante
1	Totalidad del personal y utillaje no homologados por el fabricante.

CUADRO nº 7: Rangos del subcriterio GCLI

El máximo grado de certidumbre se presentaría cuando la totalidad del personal encargado para el montaje en obra y el utillaje está homologado por el fabricante. Esto es, cuando en función de las características del elemento constructivo considerado, resulta necesario que la totalidad del personal reciba con aprovechamiento la formación correspondiente como instaladores autorizados por el fabricante o por el organismo certificador en quien delegue el primero.

En el caso del nivel de certidumbre laboral e instrumental "1" se considera que la condición limitante es que la totalidad del personal que trabaja en las labores de montaje en obra del sistema no necesite estar homologado. Esta condición es excluyente y por lo tanto no es necesario mencionar el grado de homologación del utillaje.

Llegados a este punto, se hace necesaria una reflexión que creemos importante; cuando se pretende mediante la metodología propuesta en la Tesis analizar las soluciones tradicionales asociadas a la albañilería, en tales sistemas de albañilería la puntuación correspondiente al concepto de **Personal y utillaje empleado para el montaje en obra** suele corresponderse con niveles de certidumbre no superiores, normalmente, al valor de "2". No obstante, tenemos constancia de soluciones en albañilería, especialmente en formatos mixtos con una tecnología de producto como transformado de la cerámica, esto es, "cerámica-otros materiales" y grandes formatos, en los que los fabricantes han venido estableciendo últimamente un alto grado de especialización en la mano de obra y en los

procesos de control de calidad tanto de recepción de materiales y componentes como de la unidad de obra realizada.

Por tanto, consideramos que el sistema de validación propuesto es adecuado, indistintamente de que se aplique a un sistema basado en las técnicas de albañilería de pequeños formatos tomados con morteros tradicionales o en la prefabricación más pesada.

Subcriterio 4: Grado de certidumbre derivado del control de la obra (GCC).

El Grado de certidumbre derivado del control de la obra (GCC), es el que se produce por la aplicación de los controles de recepción de materiales y de la calidad de la ejecución. Si bien puede entenderse que dichos controles son independientes del sistema constructivo, los sistemas prefabricados, dadas sus características técnicas, incorporan sus propios controles de calidad para asegurar su adecuada puesta en obra. Los parámetros que se proponen para cada uno de los elementos constructivos que componen el sistema son los siguientes:

Aplicación de Controles de Recepción y de Calidad de ejecución en obra (GCC).	
Rango	Control de calidad.
3	Control de calidad de la unidad de obra ejecutada mediante certificación independiente.
2	Control de calidad de procesos de ejecución y montaje, según determinaciones establecidas por el fabricante (para cada uno de los componentes o materiales).
1	Control de recepción de materiales y componentes, según determinaciones establecidas por el fabricante.

CUADRO nº 8: Rangos del subcriterio GCC

El valor del subcriterio GCC para cada uno de los sistemas se calculará como la media de los valores que adopta este subcriterio para cada uno de los elementos constructivos que lo componen.

Una vez calculados los valores normalizados de los cuatro subcriterios, se calculan los valores del Criterio 4 (grado de certidumbre), como media de los valores de los subcriterios. Los resultados de parametrización de este Criterio 4 quedan reflejados en la **Tabla nº 4: Atribución de valor al criterio de certidumbre** del Anejo II.

7.6.- Criterio de valoración de los costes de construcción

Empleando como referencia las bases de datos de la construcción para la definición y puesta en obra de sistemas prefabricados completos en cerramientos, se plantea la baremación de cada uno de los sistemas objeto de estudio.

No es posible desvincularse del “factor coste” en la toma de decisiones aunque el criterio establezca que tal valor no sea necesariamente el determinante.

En la consideración de los valores de coste, hay que tener en cuenta que dichos valores serán mejores cuando sean menores. Para transformar los valores en una escala ascendente, calcularemos para cada alternativa el valor inverso al calculado como coste real, tal y como aparecen en la **Tabla nº 5: Coste de ejecución** del Anejo II.

7.7.- Criterio de valoración del tiempo de ejecución

Provisionalmente, la baremación puede tomar como referencia una solución a determinar “canónica” o “base de referencia”. En este supuesto, podríamos determinar una base de referencia que se correspondiera con una solución constructiva ya catalogada en el CTE para sistemas de albañilería.

Se considerará el tiempo de ejecución de la puesta en obra de cada uno de los elementos constructivos por separado y se sumarán, calculándose el desagregado del coste por cada una de las capas que componen el sistema

En la consideración de los valores correspondientes al tiempo de ejecución hay que tener en cuenta que dichos valores serán mejores cuando sean menores. Para transformar los valores en una escala ascendente, calcularemos para cada alternativa el valor inverso al calculado como coste real, tal y como aparecen en la tabla correspondiente.

Los resultados de parametrización de este Criterio 6 quedan reflejados en la **Tabla nº 6: Tiempo de ejecución** del Anejo II.

7.8.- Criterio de valoración de condiciones de mantenimiento de la edificación y de sus componentes.

Para valorar de forma sencilla los costes de mantenimiento de los sistemas constructivos considerados se ha recurrido a la base de datos PRESTO, que incluye los costes estimados de mantenimiento y reposición de los distintos componentes que integran los sistemas, estimados en costes en €/m².

Dado que un mayor coste implica una menor utilidad, en las tablas se ha calculado el inverso de este valor, para proceder posteriormente a la

aplicación de la herramienta desarrollada por la Tesis para la validación comparativa de los sistemas.

Los resultados de parametrización de este Criterio 7 quedan reflejados en la **Tabla nº 7: Atribución de valor al criterio de mantenimiento** del Anejo II.

CAPÍTULO 8.- CONTENIDO FORMAL DE LA DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS "TESTIGO"

En el epígrafe 6.3. se determinó el perfil de 12 sistemas constructivos que, cada uno de ellos perteneciente a una de las subcategorías establecidas según nuestra propuesta, viniese a representar de forma discreta el universo de sistemas constructivos virtualmente posibles.

En el presente capítulo se describe una familia de doce sistemas constructivos, cada uno de ellos pertenecientes a estas doce categorías.

Descritos y parametrizados estos doce sistemas constructivos se procederá a la validación comparativa de estos sistemas constructivos propuesta por la Tesis.

Para proceder a la aplicación del sistema de análisis comparativo propuesto, tras la descripción formal de los distintos sistemas constructivos, se procederá a un parametrización que aporte los datos necesarios para la valoración de los siete criterios considerados para la validación de estos sistemas.

Dicha parametrización que atiende a los criterios expuestos en el Capítulo 7 de la presente Tesis ha sido vertida en una serie de fichas pormenorizadas para cada uno de los sistemas constructivos considerados.

Estas fichas contienen todos los datos de parametrización de los siete criterios de valoración considerados.

8.1.- Descripción de los sistemas considerados

Los doce sistemas constructivos considerados y su adscripción a las subcategorías establecidas en el epígrafe 6.3. quedan reflejados en el cuadro que figura en la página siguiente.

De los doce sistemas constructivos Testigo, seis pertenecen al Catálogo de elementos de sistemas constructivos del CTE y los seis restantes a sistemas que incluyen componentes comerciales, a propuestas contenidas en textos de referencia como las tesis doctorales de Cristina Pardal o de Gerardo Wadel (cuya referencia figura en la bibliografía), o la incorporación de sistemas constructivos comerciales para la construcción de fachadas ventiladas.

En el caso de los sistemas que responden al esquema de los elementos del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, para su inclusión en la serie de los doce sistemas constructivos testigo se les ha otorgado un nivel de definición dimensional y de atribución a marca y fabricante igual al considerado por el resto de los otros seis sistemas considerados.

CATEGORÍAS BÁSICAS			Nº	CATEGORÍAS CONSTRUCTIVAS	SISTEMAS SELECCIONADOS
Ligeras	Prefabricadas	Ventiladas	1	Fachada ligera, prefabricada, ventilada	Sistema DRACE + PLADUR interior
	Semiprefabricadas	Ventiladas	2	Fachada ligera, semiprefabricada, ventilada	Tesis Cristina Pardal Sistema F 6.5
		No ventiladas	3	Fachada ligera, semiprefabricada, no ventilada	Sistema F.11-5a del Catálogo CTE
	No prefabricadas	No ventiladas	4	Fachada ligera, no prefabricada, no ventilada	Tesis Gerardo Wadel
Semipesadas	Prefabricadas	Ventiladas	5	Fachada semipesada, prefabricada, ventilada	Panel de hormigón con cámara ventilada
	Semiprefabricadas	Ventiladas	6	Fachada semipesada, semiprefabricada, ventilada	Tesis Cristina Pardal Sistema F 14.2
	No prefabricadas	Ventiladas	7	Fachada semipesada, no prefabricada, ventilada	Sistema F.5.2. del Catálogo CTE
		No ventiladas	8	Fachada semipesada, no prefabricada, no ventilada	Sistema F.3.4 del Catálogo CTE
Pesadas	Prefabricadas	Ventiladas	9	Fachada pesada, prefabricada, ventilada	Sistema ECO VENTILATO
		No ventiladas	10	Fachada pesada, prefabricada, no ventilada	Sistema F.12.5 del Catálogo CTE
	Semiprefabricadas	No ventiladas	11	Fachada pesada, semiprefabricada, no ventilada	Sistema F.12.1. del Catálogo CTE
	No prefabricadas	No ventiladas	12	Fachada pesada, no prefabricada, no ventilada	Sistema F.1.2 del Catálogo CTE

CUADRO nº 9: Sistemas constructivos considerados. Adscripción a subcategorías.

8.2.- Fichas de características de los sistemas

Para la definición de los doce sistemas constructivos testigo, se ha realizado un serie de fichas en las quedan reflejadas sus características básicas.

Las fichas queda reflejada la pertenencia de cada sistema a las categorías establecidas por la Tesis para la caracterización de los sistemas; así por ejemplo, el sistema nº 1 pertenece a la categoría de los sistemas de fachada ligera, prefabricada, ventilada (L-P-V).

Se incluye una sección vertical del cerramiento de carácter esquemático, con la finalidad de mostrar la serie constructiva que constituye la totalidad del sistema, con indicación de sus componentes, con un grado de definición similar al utilizado en el Catálogo de Elementos constructivos.

Se aporta una descripción literal de la serie constructiva del sistema.

Finalmente, se aportan datos de la parametrización realizada de los sistemas necesaria para la posterior aplicación del método de validación comparativa desarrollado por la Tesis.

CUADRO nº 10: Fichas de características de los sistemas constructivos analizados

SISTEMA Nº 1		Sistema DRACE + PLADUR interior
Categoría:		Fachada ligera, prefabricada, ventilada (L-P-V)
<p>Diagrama de la fachada ligera prefabricada ventilada (L-P-V) mostrando la estructura de la hoja interior y exterior con sus respectivos espesores en mm.</p>		<p>Hoja interior:</p> <p>1 y 3.- Placa de yeso laminado PLADUR (15 mm.)</p> <p>2.- Estructura perfiles acero galvanizado (46 mm) con aislamiento térmico</p> <p>Cámara de aire:</p> <p>4.- Cámara de aire ventilada (60 mm.)</p> <p>Hoja exterior:</p> <p>Panel STUD-Frame de GRC tipo 6, marca DRACE</p>
Descripción de la serie constructiva		
<p>La capa interior es un tabique PLADUR 76/400 (46) LM foc constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm., a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) a cuya cara interna se atornillan dos placas PLADUR tipo N de 15 mm. de espesor. La capa exterior está constituida por un Panel STUD- Frame de la marca DRACE; es un panel de GRC tipo 6, fijado mediante conectores a un bastidor metálico formado por tubos huecos de acero ligero, galvanizado para evitar la corrosión, el bastidor metálico va fijado a la estructura. El panel tiene un espesor de 10 cm, con una superficie máxima por panel de 20 m² y un peso de 45 Kg/m². La cámara ventilada que incluye el sistema de fijación tiene un espesor de 60 mm.</p>		
Características		
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m ² K/W)	1,7620
	Resistencia térmica de E (m ² K/W)	1,7000
	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	2,0220
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	27,490
	Inercia térmica (Z)	2,8747
	Peso/m2 [kg/m ²] hoja interior	27,49
	Peso/m2 [kg/m ²] hoja exterior	19,00
Aislamiento acústico	Peso/m2 [kg/m ²]	46,49
	Coeficiente absorción acústica I (db)	28,89
	Coeficiente absorción acústica E (db)	26,23
Grado de certidumbre	Coeficiente absorción acústica total (db)	55,12
	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 2
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 4
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 2
	GCLI - hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	Rango 4
	GCC - hoja interior	Rango 3
Coste de ejecución	GCC - hoja exterior	Rango 3
	Coste hoja interior (€/m ²)	24,09
	Coste hoja exterior (€/m ²)	131,22
Tiempo de ejecución	Coste total (€/m ²)	155,31
	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	0,40
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	0,38
Coste de mantenimiento	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	0,78
	Coste mantenimiento hoja interior (€/m ²)	2,65
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m ²)	8,52
	Coste mantenimiento total (€/m ²)	11,17

SISTEMA Nº 2		Tesis Cristina Pardal, Sistema F 6.5	
Categoría:		Fachada ligera, semiprefabricada, ventilada (L-SP-V)
Hoja interior: 1.- Trasdoso semidirecto PLADUR N-15-M82/600, (31 mm. en total) 2.- Panel sándwich chapa de acero 80 mm., con aislante de lana de roca, monoblock. Cámara de aire: 3.- Cámara de aire ventilada (46 mm.) Hoja exterior: Placas cerámicas GRES DE LA MANCHA, con fijación metálica (14 mm.)	
Descripción de la serie constructiva			
<p>Fachada ventilada formada por una capa interior de panel sándwich monoblock de chapa de acero con relleno de lana de roca, con un espesor de 80 mm., que cumple las funciones de sustentación y resistencia a las cargas horizontales de viento. El panel está trasdosado mediante trasdosado semidirecto PLADUR N-15-M82 / 600, formado por una estructura a base de Maestras de chapa de acero galvanizada de 82mm. de ancho, separadas 600 mm. entre ellas y ancladas directamente al panel, al cual se atornilla por placa de yeso laminado PLADUR, tipo N, de 15 mm. de espesor.</p> <p>Entre la capa interior y la exterior se sitúa una cámara de aire ventilada de espesor mínimo 46 mm. Que aloja la subestructura metálica de anclaje de la capa exterior. La capa exterior está constituida por placas cerámicas GRES DE LA MANCHA, de 14 mm. de espesor sobre fijaciones a un entramado metálico fijado a la capa interior (Marcado CE sin certificación a tercera parte).</p>			
Características			
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m²K/W)	2.0935	
	Resistencia térmica de E (m²K/W)	0.0061	
	Resistencia térmica total con superficial (m²K/W)	2,3535	
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m²K]	23.460	
	Inercia térmica (Z)	3,3346	
	Peso/m2 [kg/m²] hoja interior	24,78	
	Peso/m2 [kg/m²] hoja exterior	35,00	
Aislamiento acústico	Peso/m2 [kg/m²]	59,78	
	Coefficiente absorción acústica I (db)	28,14	
	Coefficiente absorción acústica E (db)	30,63	
Grado de certidumbre	Coefficiente absorción acústica total (db)	58,77	
	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 3,5	
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 2	
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 6	
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 3	
	GCLI -hoja interior	Rango 3	
	GCLI- hoja exterior	Rango 3	
	GCC – hoja interior	Rango 3	
Coste de ejecución	GCC – hoja exterior	Rango 3	
	Coste hoja interior (€/m²)	87,11	
	Coste hoja exterior (€/m²)	121,31	
Tiempo de ejecución	Coste total (€/m²)	208,42	
	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m²)	0,89	
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m²)	1,30	
Coste de mantenimiento	Tiempo ejecución total (horas/m²)	2,19	
	Coste mantenimiento hoja interior (€/m²)	4,64	
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m²)	20,62	
	Coste mantenimiento total (€/m²)	25,26	

SISTEMA Nº 3	Sistema F 11.5a del Catálogo CTE
---------------------	---

Categoría:	Fachada ligera, semiprefabricada, no ventilada (L-SP-NV)
-------------------	---

	<p>Hoja interior:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Placa de yeso laminado PLADUR (15 mm.) 2.- Estructura perfiles acero galvanizado (44 mm) con aislamiento térmico <p>Cámara de aire:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3.- Cámara de aire no ventilada (60 mm.) <p>Hoja exterior:</p> <ol style="list-style-type: none"> 4.- Panel sándwich chapa de acero (80 mm.) con aislante de lana de roca monoblock.
--	---

Descripción de la serie constructiva

Cerramiento con cámara de aire no ventilada constituido por dos capas. La capa interior es un tabique PLADUR 59/400 (44) de 59 mm. de espesor, constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm. , a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) anclada a los forjados de suelo y techo, a cuya cara interna se atornilla una placa PLADUR tipo N de 15 mm. de espesor.

La cámara de aire no ventilada tiene un espesor de 60 mm.

La cara exterior es un panel sándwich de chapa de acero de 80 mm. con aislante de lana monoblock

Características

Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m^2K/W)	1,2050
	Resistencia térmica de E (m^2K/W)	2,0205
	Resistencia térmica total con superficial (m^2K/W)	3,3955
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m^2K]	23.180
	Inercia térmica (Z)	5,9276
	Peso/ m^2 [kg/m^2] hoja interior	13,50
	Peso/ m^2 [kg/m^2] hoja exterior	11,00
Aislamiento acústico	Peso/ m^2 [kg/m^2]	24,50
	Coefficiente absorción acústica I (db)	23,76
	Coefficiente absorción acústica E (db)	22,29
Grado de certidumbre	Coefficiente absorción acústica total (db)	46,05
	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 4
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 4
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 1
	GCLI -hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	Rango 4
	GCC - hoja interior	Rango 3
Coste de ejecución	GCC - hoja exterior	Rango 3
	Coste hoja interior ($€/m^2$)	22,08
	Coste hoja exterior ($€/m^2$)	65,93
Tiempo de ejecución	Coste total ($€/m^2$)	88,01
	Tiempo ejecución hoja interior (horas/ m^2)	0,35
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/ m^2)	0,54
Coste de mantenimiento	Tiempo ejecución total (horas/ m^2)	0,89
	Coste mantenimiento hoja interior ($€/m^2$)	2,43
	Coste mantenimiento hoja exterior ($€/m^2$)	5,27
	Coste mantenimiento total ($€/m^2$)	7,70

SISTEMA Nº 4

Tesis Gerardo Wadel

Categoría: Fachada ligera, no prefabricada, no ventilada (L-NP-NV)

Hoja interior:

- 1.- Tablero perforado de madera aglomerada (19 mm.)
- 2.- Grava reciclada (50 mm.)
- 3.- Tablero de madera aglomerada (22 mm.)
- 4.- Aislamiento térmico AISLANAT (60 mm.)
- 5.- Membrana transpirable (120 g/m²)

Cámara de aire:

- 6.- Cámara de aire no ventilada (25 mm.)

Hoja exterior:

- 7.- Chapa de aluminio reciclado (0,8 mm.)

Descripción de la serie constructiva

La secuencia de capas de materiales, de dentro hacia fuera, es tablero perforado de madera aglomerada (19 mm), grava reciclada entre estructura de listones de madera (50 mm), tablero de madera aglomerada (22 mm), aislamiento térmico AISLANAT (120 g/m²), cámara de aire no ventilada entre enrastrelado de madera (25 mm) y chapa de aluminio reciclado (0,08 mm).

Características

Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m ² K/W)	1,7662
	Resistencia térmica de E (m ² K/W)	-
	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	1,9362
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	142.318
	Inercia térmica (Z)	9,8911
	Peso/m ² [kg/m ²] hoja interior	124,05
	Peso/m ² [kg/m ²] hoja exterior	-
Aislamiento acústico	Peso/m ² [kg/m ²]	124,05
	Coefficiente absorción acústica I (db)	39,75
	Coefficiente absorción acústica E (db)	-
Grado de certidumbre	Coefficiente absorción acústica total (db)	39,75
	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 1,80
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	-
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 7
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	-
	GCLI -hoja interior	Rango 2,20
	GCLI- hoja exterior	-
	GCC - hoja interior	Rango 1,40
Coste de ejecución	GCC - hoja exterior	-
	Coste hoja interior (€/m ²)	131,22
	Coste hoja exterior (€/m ²)	-
Tiempo de ejecución	Coste total (€/m ²)	131,22
	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	1,10
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	-
Coste de mantenimiento	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	1,10
	Coste mantenimiento hoja interior (€/m ²)	46,68
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m ²)	-
	Coste mantenimiento total (€/m ²)	46,68

SISTEMA Nº 5		Panel de hormigón con cámara ventilada
Categoría:		Fachada semipesada, prefabricada, ventilada (SP-P-V)
<p>Hoja interior:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Placa de yeso laminado PLADUR (13 mm.) 2.- Estructura perfiles acero galvanizado (46 mm) con aislamiento térmico 3.- Panel prefabricado de hormigón aligerado macizo (80 mm.) 4.- Panel fibra de vidrio ACUSTILAINE 100 (40 mm.) <p>Cámara de aire: Cámara de aire ventilada (40 mm.)</p> <p>Hoja exterior:</p> <ol style="list-style-type: none"> 6.- Placas cerámicas GRES DE LA MANCHA con fijación sobre estructura metálica.
Descripción de la serie constructiva		<p>El núcleo portante está constituido por un panel prefabricado de hormigón aligerado macizo (1.812 Kg/m³) con anclaje por soldadura metálica a los forjados de suelo y techo. El panel está trasdosado por un tabique PLADUR 59/400 (46) de 59 mm. de espesor, constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm. , a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) anclada a los forjado de suelo y techo, a cuya cara interna se atornilla una placa PLADUR tipo N de 13 mm. de espesor. Sobre la cara exterior del panel se dispone aislante constituido por panel de fibra de vidrio ACUSTILAINE (λ 0,034 W/mK).</p> <p>La capa exterior está constituida por placas cerámicas GRES DE LA MANCHA, de 14 mm. de espesor</p>
Características		
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m ² K/W)	1,2050
	Resistencia térmica de E (m ² K/W)	1,1980
	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	1,4650
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	13.500
	Inercia térmica (Z)	1,5568
	Peso/m ² [kg/m ²] hoja interior	13,50
	Peso/m ² [kg/m ²] hoja exterior	290,00
Aislamiento acústico	Peso/m ² [kg/m ²]	303,50
	Coeficiente absorción acústica I (db)	23,76
	Coeficiente absorción acústica E (db)	51,78
Grado de certidumbre	Coeficiente absorción acústica total (db)	75,14
	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 4
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 2
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 3
	GCLI -hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	Rango 3
	GCC - hoja interior	Rango 3
Coste de ejecución	GCC - hoja exterior	Rango 3
	Coste hoja interior (€/m ²)	22,08
	Coste hoja exterior (€/m ²)	96,50
Tiempo de ejecución	Coste total (€/m ²)	118,58
	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	0,40
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	0,20
Coste de mantenimiento	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	0,60
	Coste mantenimiento hoja interior (€/m ²)	2,43
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m ²)	6,76
	Coste mantenimiento total (€/m ²)	9,19

SISTEMA Nº 6		Tesis Cristina Pardal, Sistema F 14.2	
Categoría: Fachada Semipesada, semiprefabricada, ventilada (SP- SP-V)
Hoja interior: 1 y 3.- Placas de yeso laminado PLADUR 2.- Estructura perfiles acero galvanizado (46 mm) con aislamiento térmico Cámara de aire: Cámara de aire ventilada Hoja exterior:	
Descripción de la serie constructiva			
<p>La capa interior es un tabique PLADUR 76/400 (46) LM foc constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm., a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) a cuya cara interna se atornillan dos placas PLADUR tipo N de 15 mm. de espesor.</p> <p>La cámara de aire ventilada aloja montantes de perfilera metálica para anclaje de la capa exterior de 150 mm. de espesor.</p> <p>La capa exterior está constituida por placas de piedra natural caliza, de 30 mm. de espesor sobre perfiles horizontales soldados a los montantes estructurales verticales que conforman la cámara de aire ventilada.</p>			
Características			
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m²K/W)	1,2720	
	Resistencia térmica de E (m²K/W)	0,0130	
	Resistencia térmica total con superficial (m²K/W)	1,5320	
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m²K]	25.500	
	Inercia térmica (Z)	1,8791	
	Peso/m2 [kg/m²] hoja interior	25,50	
	Peso/m2 [kg/m²] hoja exterior	71,85	
	Peso/m2 [kg/m²]	97,35	
Aislamiento acústico	Coeficiente absorción acústica I (db)	28,35	
	Coeficiente absorción acústica E (db)	35,82	
	Coeficiente absorción acústica total (db)	64,17	
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 4	
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 1,50	
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4	
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 3	
	GCLI -hoja interior	Rango 2	
	GCLI- hoja exterior	Rango 3	
	GCC – hoja interior	Rango 3	
	GCC – hoja exterior	Rango 1	
Coste de ejecución	Coste hoja interior (€/m²)	29,09	
	Coste hoja exterior (€/m²)	124,57	
	Coste total (€/m²)	153,66	
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m²)	0,40	
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m²)	1,30	
	Tiempo ejecución total (horas/m²)	1,70	
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior (€/m²)	2,43	
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m²)	19,66	
	Coste mantenimiento total (€/m²)	22,09	
SISTEMA Nº7		Sistema F 5.2 del Catálogo CTE	

Categoría: Fachada semipesada, no prefabricada, ventilada (SP-NP-V)
<div style="display: flex; flex-direction: column; justify-content: space-around; padding-left: 10px;"> <p>Hoja interior:</p> <p>Cámara de aire: Cámara de aire ventilada</p> <p>Hoja exterior:</p> </div>		
Descripción de la serie constructiva		
<p>La capa interior es un tabique Knauf Aquapanel, con un espesor total de 75 mm. constituido por dos placas de yeso laminado de 12,5 mm. a ambos lados de una estructura metálica de anclaje de 45 mm. de espesor.</p> <p>La capa exterior está constituida por muro de medio pie de ladrillo perforado, que cumple las funciones de sustentación y resistencia a las cargas horizontales de viento, sobre bandejas metálicas fijadas a los cantos de los forjados. En la cara exterior del muro de ladrillo se dispone un revoco de cemento de 15 mm. de espesor.</p> <p>Entre la capa interior y la exterior se sitúa una cámara de aire ventilada de espesor 30 mm.</p>		
Características		
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m^2K/W)	0,7000
	Resistencia térmica de E (m^2K/W)	0,2314
	Resistencia térmica total con superficial (m^2K/W)	0,9600
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m^2K]	25.000
	Inercia térmica (Z)	1,0474
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja interior	25,00
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja exterior	136,05
Aislamiento acústico	Peso/m2 [kg/m^2]	161,05
	Coeficiente absorción acústica I (db)	28,21
	Coeficiente absorción acústica E (db)	40,42
	Coeficiente absorción acústica total (db)	68,63
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 4
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 1,75
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 6
	GCLI - hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	Rango 2
	GCC - hoja interior	Rango 3
	GCC - hoja exterior	Rango 1
Coste de ejecución	Coste hoja interior ($€/m^2$)	24,83
	Coste hoja exterior ($€/m^2$)	56,27
	Coste total ($€/m^2$)	81,10
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/ m^2)	0,40
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/ m^2)	1,30
	Tiempo ejecución total (horas/ m^2)	1,70
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior ($€/m^2$)	2,73
	Coste mantenimiento hoja exterior ($€/m^2$)	4,18
	Coste mantenimiento total ($€/m^2$)	6,91

SISTEMA Nº8		Sistema F 3.4 del Catálogo CTE
Categoría: Fachada semipesada, no prefabricada, no ventilada (SP-NP-NV)
Hoja interior: 1.- Placa de yeso laminado PLADUR (15 mm.) 2.- Estructura perfiles acero galvanizado (46 mm) con aislamiento térmico Cámara de aire: 3.- Cámara de aire no ventilada (3 cm.) Hoja exterior: 4.- Muro de ladrillo perforado de medio pie (115 mm.) 5.- Revoco de cemento (15 mm.)
Descripción de la serie constructiva		
<p>El panel está trasdosado por Cerramiento formado por una capa de medio pie de ladrillo perforado, que cumple las funciones de sustentación y resistencia a las cargas horizontales de viento, trasdosada al interior por un tabique PLADUR 59/400 (46) de 59 mm. de espesor, constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm. , a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) anclada a los forjado de suelo y techo, a cuya cara interna se atornilla una placa PLADUR tipo N de 13 mm. de espesor.</p> <p>No existe cámara de aire.</p> <p>El revestimiento exterior de la hoja de ladrillo es un revoco continuo de cemento.</p>		
Características		
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m^2K/W)	1,3650
	Resistencia térmica de E (m^2K/W)	0,2314
	Resistencia térmica total con superficial (m^2K/W)	1,7664
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m^2K]	149.550
	Inercia térmica (Z)	7,1980
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja interior	13,50
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja exterior	136,05
	Peso/m2 [kg/m^2]	149,55
Aislamiento acústico	Coefficiente absorción acústica I (db)	23,76
	Coefficiente absorción acústica E (db)	40,42
	Coefficiente absorción acústica total (db)	64,18
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 4
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 1,75
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 5
	GCLI -hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	Rango 2
	GCC - hoja interior	Rango 3
	GCC - hoja exterior	Rango 1
Coste de ejecución	Coste hoja interior ($€/m^2$)	22,08
	Coste hoja exterior ($€/m^2$)	56,27
	Coste total ($€/m^2$)	78,35
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/ m^2)	0,40
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/ m^2)	1,30
	Tiempo ejecución total (horas/ m^2)	1,70
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior ($€/m^2$)	2,43
	Coste mantenimiento hoja exterior ($€/m^2$)	3,12
	Coste mantenimiento total ($€/m^2$)	5,55

SISTEMA Nº 9.		Sistema ECO VENTILATO
Categoría:		Fachada pesada, prefabricada, ventilada (P-P-V)
Hoja interior: 1.- Placa de yeso laminado PLADUR (13 mm.) 2.- Perfil omega de anclaje de la placa de yeso (16 mm.) Cámara de aire: Cámara de aire ventilada (40 mm.) Hoja exterior: 3 y 5.- Panel prefabricado de hormigón armado ECO VENTILATO (150 mm. en total) 4.- Cámara de aire ventilada (50 mm.)
Descripción de la serie constructiva		
<p>El sistema constructivo está compuesto de dos caras, la interior constituida por un trasdosado auto portante PLADUR WA-12,5-M-82/400, fijada a una cara exterior constituida por un panel prefabricado de hormigón armado de la marca ECO VENTILATO, que incluye una cámara de aire ventilada de 50 mm. de espesor. El espesor de las hojas de hormigón es de 50 mm.</p>		
Características		
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m^2K/W)	0,2580
	Resistencia térmica de E (m^2K/W)	2,8571
	Resistencia térmica total con superficial (m^2K/W)	3,2851
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m^2K]	12.220
	Inercia térmica (Z)	0,2584
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja interior	12,22
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja exterior	184,00
	Peso/m2 [kg/m^2]	196,22
Aislamiento acústico	Coficiente absorción acústica I (db)	23,05
	Coficiente absorción acústica E (db)	44,17
	Coficiente absorción acústica total (db)	67,21
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 4
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 2
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 4
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 2
	GCLI -hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	Rango 4
	GCC – hoja interior	Rango 3
	GCC – hoja exterior	Rango 3
Coste de ejecución	Coste hoja interior (€/m ²)	21,18
	Coste hoja exterior (€/m ²)	50,00
	Coste total (€/m ²)	71,18
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	0,40
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	0,20
	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	0,60
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior (€/m ²)	2,33
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m ²)	12,00
	Coste mantenimiento total (€/m ²)	14,33

SISTEMA Nº 10		Sistema F 12.5 del Catálogo CTE
Categoría:		Fachada pesada, prefabricada, no ventilada (P-P-NV)
Hoja única: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Panel PLADUR tipo (10mm.) 2.- Lana de roca de 90 Kg/m³ (30 mm.) 3.- Maestras de anclaje, chapa de acero galvanizado de 82 mm. de ancho. 4.- Panel de hormigón prefabricado macizo HORMITEC (120 MM.) Cámara de aire: Sin cámara de aire
Descripción de la serie constructiva		
<p>Sistema de fachada pesada, prefabricada, no ventilada. Está constituido por un Panel de hormigón prefabricado macizo HORMITEC con un espesor de 120 mm. (2.500 Kg/m³).</p> <p>Sobre su cara interior se adosa el sistema de trasdosado semidirecto Trasdós Pladur Lan N-9,5+30-M-82-600, formado por maestras de chapa de acero galvanizado de 82 m. ancladas panel, a la cual se atornilla un panel PLADUR LAN , formado por una placa de PLADUR tipo N de 10 mm. de espesor y 300 mm. de lana de roca de 90 Kg/m³.</p>		
Características		
Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m ² K/W)	1,0285
	Resistencia térmica de E (m ² K/W)	-
	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	1,1985
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	370.000
	Inercia térmica (Z)	7,1900
	Peso/m2 [kg/m ²] hoja interior	310,98
	Peso/m2 [kg/m ²] hoja exterior	-
	Peso/m2 [kg/m ²]	310,98
Aislamiento acústico	Coefficiente absorción acústica I (db)	55,24
	Coefficiente absorción acústica E (db)	-
	Coefficiente absorción acústica total (db)	55,24
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 2,5
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	-
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 5
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	-
	GCLI -hoja interior	Rango 2,5
	GCLI- hoja exterior	-
	GCC – hoja interior	Rango 3
	GCC – hoja exterior	-
Coste de ejecución	Coste hoja interior (€/m ²)	91,13
	Coste hoja exterior (€/m ²)	-
	Coste total (€/m ²)	91,13
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	0,60
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	-
	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	0,60
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior (€/m ²)	7,64
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m ²)	-
	Coste mantenimiento total (€/m ²)	7,64

SISTEMA Nº 11	Sistema F 12.1 del Catálogo CTE
----------------------	--

Categoría:	Fachada pesada, semiprefabricada, no ventilada (P-SP-NV)
-------------------	---

	<p>Hoja única:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Enlucido de yeso (15 mm.) 2.- Fábrica de ladrillo hueco doble (70 mm.) 3.- Panel de fibra de vidrio ACUSTILAIN 100 (40 mm.) 4.- Panel prefabricado de hormigón aligerado (160mm.) <p>Cámara de aire: Sin cámara de aire</p>
--	---

Descripción de la serie constructiva

Sistema de fachada pesada semiprefabricada, no ventilada. La secuencia constructiva del interior al exterior está constituida por un enlucido de yeso de 15 mm., Fábrica de ladrillo hueco doble, aislamiento térmico de panel de fibra de vidrio ACUSTILAIN 100 (40 mm.) y en la cara exterior, Panel prefabricado de hormigón aligerado (1,812 Kg/m³) 160 mm.de espesor.

Características

Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I (m ² K/W)	1,5343
	Resistencia térmica de E (m ² K/W)	-
	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	1,7043
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	376.350
	Inercia térmica (Z)	19,4980
	Peso/m2 [kg/m ²] hoja interior	377,35
	Peso/m2 [kg/m ²] hoja exterior	-
	Peso/m2 [kg/m ²]	377,35
Aislamiento acústico	Coeficiente absorción acústica I (db)	55,34
	Coeficiente absorción acústica E (db)	-
	Coeficiente absorción acústica total (db)	55,34
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 1,88
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	-
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 8
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	-
	GCLI -hoja interior	Rango 2
	GCLI- hoja exterior	-
	GCC – hoja interior	Rango 1,75
	GCC – hoja exterior	-
Coste de ejecución	Coste hoja interior (€/m ²)	132,40
	Coste hoja exterior (€/m ²)	-
	Coste total (€/m ²)	132,40
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	1,40
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	-
	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	1,40
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior (€/m ²)	9,04
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m ²)	-
	Coste mantenimiento total (€/m ²)	9,04

SISTEMA Nº 12	Sistema F 1.2 del Catálogo CTE
----------------------	---------------------------------------

Categoría:	Fachada pesada, no prefabricada, no ventilada (P-NP-NV)
-------------------	--

Hoja interior:

- 1.- Enlucido de yeso (15 mm.)
- 2.- Fábrica de ladrillo hueco doble (70 mm.)
- 3.- Panel de fibra de vidrio ACUSTILAIN 100 (40 mm.)

Cámara de aire: Cámara de aire no ventilada (30 cm.)

Hoja exterior:

- 5.- Enfoscado de cemento (15 mm.)
- 6.- Ladrillo visto de medio pie perforado

Descripción de la serie constructiva

Sistema de fachada pesada, no prefabricada, no ventilada. La secuencia constructiva del interior al exterior está constituida por un enlucido de yeso de 15 mm., Fábrica de ladrillo hueco doble, aislamiento térmico de panel de fibra de vidrio ACUSTILAIN 100 (40 mm.) y en la cara exterior, enfoscado de cemento de 15 mm. y ladrillo visto perforado de medio pie

Características

Aislamiento térmico	Resistencia térmica de I ($\text{m}^2\text{K/W}$)	1,4963
	Resistencia térmica de E ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0,2314
	Resistencia térmica total con superficial ($\text{m}^2\text{K/W}$)	1,8977
Inercia térmica	Capacidad térmica [$\text{J/m}^2\text{K}$]	222.400
	Inercia térmica (Z)	12,3330
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja interior	87,35
	Peso/m2 [kg/m^2] hoja exterior	136,05
	Peso/m2 [kg/m^2]	223,40
Aislamiento acústico	Coeficiente absorción acústica I (db)	37,22
	Coeficiente absorción acústica E (db)	40,42
	Coeficiente absorción acústica total (db)	77,64
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación hoja interior	Rango 1,83
	GCM - Marcado/certificación hoja exterior	Rango 1,75
	GCO - Número operaciones hoja interior	Rango 7
	GCO - Número de operaciones hoja exterior	Rango 5
	GCLI - hoja interior	Rango 1,67
	GCLI- hoja exterior	Rango 2
	GCC - hoja interior	Rango 1,33
	GCC - hoja exterior	Rango 1
Coste de ejecución	Coste hoja interior (€/m^2)	35,90
	Coste hoja exterior (€/m^2)	61,00
	Coste total (€/m^2)	96,90
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución hoja interior (horas/m ²)	1,04
	Tiempo ejecución hoja exterior (horas/m ²)	1,30
	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	2,34
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento hoja interior (€/m^2)	2,28
	Coste mantenimiento hoja exterior (€/m^2)	3,12
	Coste mantenimiento total (€/m^2)	5,40

8.3.- Cuadro de características de los sistemas analizados

A continuación, se aporta, como resumen de los datos contenidos en las fichas anteriores, un cuadro resumen que viene a describir los parámetros de definición de los sistemas constructivos seleccionados, con el objeto de su posterior análisis comparativo.

PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS												
PARAMETROS	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12
Aislamiento térmico												
Resistencia térmica de I (m^2K/W)	2,0935	2,0935	1,2050	1,7662	1,2050	1,2720	0,7000	1,3650	0,2580	1,0285	1,5343	1,4963
Resistencia térmica de E (m^2K/W)	0,0061	0,0061	2,0205	-	1,1980	0,0130	0,2314	0,2314	2,8571	-	-	0,2314
Resistencia térmica total con superficial (m^2K/W)	2,3535	2,3535	3,3955	1,9362	1,4650	1,5320	0,9600	1,7664	3,2851	1,1985	1,5343	1,8977
Inercia térmica												
Capacidad térmica (J/m^2K)	27.490	23.460	23.180	142.318	13.500	25.500	25.000	149.550	12.220	370.000	376.350	222.400
Impedancia térmica [Z]	2,8747	3,3346	5,9276	9,8911	1,5568	1,8791	1,0474	7,1980	0,2584	7,1900	19,4980	12,3330
Peso/m2 hoja interior (Kg/m^2)	27,49	24,78	13,50	124,05	13,50	25,50	25,00	13,50	12,22	310,98	377,35	87,35
Peso/m2 hoja exterior (Kg/m^2)	19,00	35,00	11,00	-	290,00	71,85	136,05	136,05	184,00	-	-	136,05
Peso/m2 total (Kg/m^2)	46,49	59,78	24,50	124,05	303,50	97,35	161,05	149,55	196,22	310,98	377,35	223,40
Aislamiento acústico												
Coefficiente absorción acústica I (db)	28,89	28,14	23,76	39,75	23,76	28,35	28,21	23,76	23,05	55,24	55,34	37,22
Coefficiente absorción acústica E (db)	26,23	30,63	22,29	-	51,78	35,82	40,42	40,42	44,17	-	-	40,42
Total (db)	55,12	58,77	46,05	39,75	75,14	64,17	68,63	64,18	67,21	55,24	55,34	77,64
Criterio de certidumbre												
GCM - Marcado/ certificación hoja interior (rango)	4,00	3,50	4,00	1,80	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,50	1,80	1,83
GCM - Marcado/ certificación hoja exterior (rango)	4,00	2,00	4,00	-	2,00	1,50	1,75	1,75	2,00	-	-	1,75
GCO - Número de operaciones hoja interior	4,00	6,00	4,00	7,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	8,00	7,00
GCO - Número de operaciones hoja exterior	2,00	3,00	1,00	-	3,00	3,00	6,00	5,00	2,00	-	-	5,00
GCLI - Hoja interior (rango)	2,00	3,00	2,00	2,20	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	2,00	1,67
GCLI - Hoja exterior (rango)	4,00	3,00	4,00	-	3,00	3,00	2,00	2,00	4,00	-	-	2,00
GCC - Hoja interior (rango)	3,00	3,00	3,00	1,40	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,75	1,33
GCC - Hoja exterior (rango)	3,00	3,00	3,00	-	3,00	1,00	1,00	1,00	3,00	-	-	1,00
Criterio de coste												
Coste hoja interior ($€/m^2$)	24,09	87,11	22,08	131,22	22,08	29,09	24,83	22,08	21,18	91,13	132,40	35,90
Coste hoja exterior ($€/m^2$)	131,22	121,31	65,93	-	96,50	124,57	56,27	56,27	50,00	-	-	61,00
Coste total ($€/m^2$)	155,00	208,42	88,01	131,22	118,58	153,66	81,10	78,35	71,18	91,13	132,40	96,90
Criterio de tiempo de ejecución												
Hoja interior (horas/ m^2)	0,40	0,89	0,35	1,10	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	1,40	1,04
Hoja exterior (horas/ m^2)	0,38	1,30	0,54	-	0,20	1,30	1,30	1,30	0,20	-	-	1,30
Total (horas/ m^2)	0,78	2,19	0,89	1,10	0,60	1,70	1,70	1,70	0,60	0,60	1,40	2,34
Criterio de mantenimiento												
Coste mantenimiento I ($€/m^2$)	2,65	4,64	2,43	46,68	2,43	2,43	2,73	2,43	2,33	7,64	9,04	2,28
Coste mantenimiento E ($€/m^2$)	8,52	20,62	5,27	-	6,76	19,66	4,18	3,12	12,00	-	-	3,12
Coste mantenimiento total ($€/m^2$)	11,17	25,26	7,70	46,68	9,19	22,09	6,91	5,55	14,33	7,64	9,04	5,40

CUADRO nº 11: Parámetros de definición de los sistemas analizados

8.4.- Gráficos de representación del valor de los criterios

Para cada uno de los sistemas analizados y validados, se han realizado unos gráficos que permiten visualizar de manera intuitiva sus características en relación con el grado de cumplimiento de cada uno de los criterios.

8.4.1. Metodología de representación

Con la finalidad expresada, para cada sistema se realiza un **gráfico de forma radial**, en el que se representan con un mismo origen, y separados un mismo ángulo, siete ejes sobre los cuales, y con una misma escala, se representarán los **valores normalizados** que adoptan los distintos criterios (en el rango de valores entre 0 y 1).

Uniando los puntos que representan los valores adoptados para los distintos criterios, se obtiene un polígono cuya forma da idea del valor relativo de cada criterio, y cuya área es un indicador del grado de calidad global de cada sistema.

La literatura existente relativa a la representación gráfica de las determinaciones de los métodos de decisión multicriterio, describe la virtualidad de este método de representación y su capacidad para ofrecer una imagen que de forma intuitiva permite la caracterización de cada una de las alternativas analizadas⁵¹:

"Esta representación es bastante poderosa visualmente si hay pocas alternativas. El área del polígono que representa cada alternativa respecto al área total del polígono convexo circunscrito puede (el subrayado es nuestro) conllevar el significado de probabilidad de elegir una determinada alternativa al azar. Puesto que para la alternativa A_j el polígono de evaluación parcial unitaria está bien definido en coordenadas polares (r_{jk}, θ_k) con $r_{jk} = e_{jk}$ y $0 \leq r_{jk} \leq 1$, el área total se compone de la suma de m triángulos según:

$$Area(A_j) = \frac{\sin(2\pi / m)}{2} \sum_{k=1}^m e_{jk} e_{j,k+1} \quad (\text{con } e_{j,m+1} \equiv e_{j1}).$$

El cociente A_j/A_m expresa la relación entre Área (A_j) y el área del polígono regular unitario de m lados y, por tanto, es un buen

⁵¹ ROBUSTÉ ANTÓN, Francesc et al: "Sobre representaciones gráficas para análisis multicriterio", pág. 8.

indicador de bondad de la alternativa A_j para una distribución equiprobable de pesos de los criterios.”

Fig. 5. Evaluación parcial

GRÁFICO Nº 4: Representación radial convencional del valor de criterios

Si bien es cierto que estas representaciones gráficas de los valores que adoptan los criterios normalizados “pueden ayudar a visualizar y mejorar el proceso de comunicación en la toma de decisiones”, no resulta cierto que la relación entre el área (A_j) y el área del polígono regular unitario de m lados, sea objetivamente expresiva de su calidad relativa, según se mostrará a continuación.

La representación gráfica descrita, que utilizaremos en nuestro caso de estudio, permite, para cada alternativa analizada, por un lado visualizar la importancia relativa que adopta cada criterio, y por otro, y en relación con las representaciones gráficas del resto de alternativas, expresar de forma aproximada su grado de validez, entendiendo que éste es **aproximadamente proporcional al área del polígono** que representa los valores propios de cada alternativa.

Decimos aproximadamente o intuitivamente, puesto que la medición de dicho área no constituye una referencia válida del valor de adecuación de las distintas alternativas, dado que depende de convenciones arbitrarias de representación adoptadas previamente por el analista, tal y como veremos:

En el caso de que los valores que adopten los distintos criterios sean muy dispares, el área del polígono representativo de la alternativa representada dependerá de la posición que adopten en el gráfico los valores situados junto al mayor valor. Hay que tener en cuenta que la designación de la numeración de referencia otorgada a los criterios es arbitraria, y en consecuencia también lo es su posición como vértice en el polígono unitario.

En el siguiente ejemplo se ha representado, para el caso de una alternativa en la que los valores de los criterios resultan dispersos, por un lado una representación en la que los valores de los vértices adyacentes al del valor máximo son los más altos, y por otro lado una representación en la que éstos son los menores.

NOMENCLATURA 1

P=3,2040

A=0.6241

NOMENCLATURA 2

P=3,4636

A=0.4755

GRÁFICO nº 5: Representación aleatoria de valores

Se aprecia cómo el valor del área de estas dos representaciones, en las que la designación de orden de los criterios es distinta, de forma arbitraria, el valor que adoptan tanto el perímetro como el área del polígono inscrito en los dos casos es distinta:

Nomenclatura 1: Perímetro = 3,2040

Área= 0,6241

Nomenclatura2: Perímetro = 3,4636

Área= 0,4755

Así pues, no puede considerarse que el área de los polígonos representativos de los valores de las distintas alternativas sea indicadora del valor de las distintas alternativas entre sí.

La distorsión de la representatividad del valor de superficie como índice de utilidad se debe a la influencia de la ordenación de los valores sobre el

gráfico. Dicha ordenación de valores sobre el gráfico se establece inicialmente según el orden de los criterios considerados, del 1 al 7.

La atribución concreta de los valores calculados para cada criterio, tal como se ha comprobado, aplicada a esta ordenación, provoca el efecto de que el valor de la superficie resultante del polígono de cierre de estos valores no resulte proporcional al grado de utilidad de la serie de valores, dependiendo de la contigüidad sobre el gráfico, de los valores mayores y menores.

Para mostrar este efecto de distorsión, se ha planteado un supuesto de atribución de valores sobre siete criterios, siendo tales valores 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Estos valores se han representado según varias series de ordenación, con el objeto de proceder a su representación mediante el gráfico radial y a la medición del área del polígono que representa los valores.

En la serie 1, los valores se han ordenado en una serie según la cual los mayores valores se encuentran flanqueados por los menores valores, de forma recurrente. Según esta ordenación de los valores, obtenemos el menor valor del área de representación, que es de 34,40.

En la serie 2, los valores se han ordenado en una serie según la cual cada uno de los valores se encuentra flanqueado por los valores que le son más próximos, de forma recurrente. Según esta ordenación de los valores, obtenemos el mayor valor del área de representación, que es de 50,63.

En la serie 3, los valores se han ordenado en una serie en la que los valores se ordenan de mayor a menor (de 7 a 1). Según esta ordenación de los valores, el valor del área de representación es de 46,52.

Por último, en la serie 4, los valores se han ordenado en una serie en la que los valores se ordenan de menor a mayor (de 1 a 7). Según esta ordenación de los valores, el valor del área de representación es de 50,63, valor que coincide con el de la serie 3 en la que los valores están ordenados de mayor a menor.

El valor del área del polígono que representa los valores se calcula según la siguiente fórmula:

$$\text{Área del polígono} = \frac{\sin(2\pi/m)}{2} \sum_{k=1}^m e_{jk} e_{j,k+1}$$

Donde m es el número de lados del polígono, en nuestro caso 7, que es número de criterios considerados.

La diferencia entre el menor valor de todas las posibles series (correspondiente a la serie 1) y el mayor valor (correspondiente a la serie 2) supone un **incremento sobre el menor igual a un 46,59%, lo cual se considera una diferencia significativa, expresiva de la distorsión anteriormente comentada.**

SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4
4	6	7	1
6	4	6	2
1	2	5	3
7	1	4	4
2	3	3	5
5	5	2	6
3	7	1	7
34,40	50,43	46,52	46,52

CUADRO nº 12: Área de los polígonos según series

En los siguientes gráficos se representan los valores correspondientes a las distintas series y los polígonos resultantes.

GRÁFICO nº 6: Representación de los valores correspondientes a las distintas series

8.4.2.- Propuesta de método de representación de los criterios según esquema radial, para la homogeneización de su valor de superficie

Para evitar la distorsión de valor descubierta, se propone la aplicación a todas las alternativas (sistemas constructivos) que se van a analizar de una misma ordenación de sus valores, que coincida con la **serie 3** de las que se han comparado, es decir una ordenación de los valores de mayor a menor. Para ello se procederá según el siguiente protocolo:

- Para cada sistema constructivo de los analizados se ordenan sus valores ponderados de parametrización, de mayor a menor.
- Se realiza el gráfico radial, siguiendo esta ordenación, de tal modo que los radios del gráfico quedan ordenados según esta jerarquía de valores.
- La gráfica obtenida adquiere de este modo la forma de una espiral en la que los valores expresados en los radios partiendo del mayor valor evolucionan hacia el menor.
- Esta disposición ordenada de valores elimina la distorsión descubierta, de tal modo que, en su virtud, la medición de la superficie del polígono resultante viene a ser expresiva en forma proporcional del grado de utilidad de cada uno de los sistemas constructivos analizados, con respecto a los demás.

8.4.3.- Aplicación del método de representación

Aplicando el método de representación anteriormente descrito a los doce sistemas constructivos analizados, se obtienen los resultados que se exponen a continuación.

El cálculo del área de los polígonos interiores del gráfico, se calcula según la fórmula:

$$\text{Área del polígono} = \frac{\sin(2\pi/m)}{2} \sum_{k=1}^m e_{jk} e_{jk+1}$$

ÁREA DE LOS POLÍGONOS		
SISTEMA	ÁREA	NORMALIZADA
1	0,9332	0,68
2	0,5966	0,43
3	1,3743	1,00
4	0,4804	0,35
5	1,0002	0,73
6	0,5470	0,40
7	0,8477	0,62
8	1,0834	0,79
9	1,1903	0,87
10	1,1770	0,86
11	0,8043	0,59
12	1,1348	0,83

CUADRO nº 13: Área de los polígonos correspondientes a los doce sistemas considerados.

Aplicada esta fórmula y en relación con la muestra analizada se obtienen los siguientes valores del área del polígono que representa a cada uno de los doce sistemas constructivos considerados:

En la tercera columna del cuadro anterior se indican los valores normalizados de las áreas, valores resultantes de dividir el valor de las áreas correspondientes a cada uno de los doce sistemas constructivos entre el mayor valor de las mismas (1,3743). La serie de estos valores normalizados de las áreas queda reflejada en el siguiente gráfico⁵²:

GRÁFICO nº 7: Valor normalizado de las áreas de los polígonos correspondientes a los doce sistemas

En el gráfico que se reproduce a continuación se representan los gráficos radiales de los valores que adoptan los criterios para los doce sistemas constructivos analizados.

En la columna de la izquierda se incluyen los gráficos radiales según su representación convencional y los valores que adquieren las áreas de los polígonos de representación de los valores de los criterios. En la columna de la izquierda, las representaciones radiales según su disposición espiral, y sus correspondientes valores de las áreas.

⁵² Estos valores de las áreas son adimensionales.

GRÁFICO nº 8: Gráficos radiales de representación de los valores de los criterios.

ÁREA CONVENCIONAL= 0,8501

ÁREA ESPIRAL= 0,9332

ÁREA CONVENCIONAL= 0,5497

ÁREA ESPIRAL= 0,5966

ÁREA CONVENCIONAL= 1,3134

ÁREA ESPIRAL= 1,3743

ÁREA CONVENCIONAL= 0,4289

ÁREA ESPIRAL= 0,4804

ÁREA CONVENCIONAL= 1,0297

ÁREA ESPIRAL= 1,0002

ÁREA CONVENCIONAL= 0,5397

ÁREA ESPIRAL= 0,5470

ÁREA CONVENCIONAL= 0,6813

ÁREA ESPIRAL= 0,8477

ÁREA CONVENCIONAL= 0,9373

ÁREA ESPIRAL= 1,0834

ÁREA CONVENCIONAL= 1,2461

ÁREA ESPIRAL= 1,1903

ÁREA CONVENCIONAL= 1,212

ÁREA ESPIRAL= 1,1770

ÁREA CONVENCIONAL= 0,7925

ÁREA ESPIRAL= 0,8043

ÁREA CONVENCIONAL= 0,9273

ÁREA ESPIRAL= 1,1348

CAPÍTULO 9.- PROCESO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA

El método que aplicaremos a la validación comparativa de los doce sistemas constructivos seleccionados es el método ELECTRE II (B. Roy, P. Bertier, 1.971) por ser el más adecuado al problema planteado que es el de establecer una ordenación de distintos sistemas constructivos para la cerramientos de la edificación según su validez relativa, ordenándolas de mejor a peor y tolerando las situaciones ex-aequo entre alternativas.

La aplicación del método adoptado se basa en los siguientes principios:

- Se parte de una descripción y parametrización de los doce distintos sistemas constructivos elegidos, que en la terminología del método de análisis elegido se consideran como "**alternativas**", alternativas en este caso son disjuntas y exhaustivas (no caben alternativas intermedias).
- Se definen los **criterios** (o atributos o características), que son un conjunto discreto. Los criterios pueden ser independientes, estar en conflicto o estar estrictamente en conflicto, lo que significaría que el incremento en la satisfacción de uno implicaría el decremento en la satisfacción del otro.
- Los valores que adoptan los criterios aplicados a las distintas alternativas constituyen la denominada **Matriz de decisión**.
- Se establece un valor de los "**pesos**" otorgado a cada criterio W_j , que representan la **estructura de preferencias del decisor y el orden de baremación asociado**.
- La aplicación de este método de Decisión Multicriterio Discreta DMD no tiene por objetivo el encontrar una solución "óptima", sino la "**mejor**" para la satisfacción de las preferencias y requerimientos de un decisor concreto.

Para la aplicación del método se ha elaborado **un algoritmo**, esto es una secuencia de operaciones sucesivas, adecuado al objeto concreto de análisis que constituye el eje de investigación de esta Tesis.

La aplicación del método ELECTRE a nuestro caso de estudio está desarrollada en detalle en el Anejo 1: "Proceso de validación comparativa" de la presente Tesis.

Pese a la existencia de programas que permiten la aplicación del método de forma sencilla, se ha preferido la construcción de un algoritmo propio, que basado en el modelo ELECTRE, permitiese cumplir el propósito de análisis de forma particularizada.

9.1.- La Matriz de Decisión

Habiendo completado la parametrización de los doce sistemas constructivos testigo, en base a los siete criterios considerados, los datos de dicha parametrización se vuelcan en la denominada **Matriz de Decisión**.

La Matriz de Decisión es una matriz cuadrada de orden m (número de alternativas) por n (número de criterios).

Se trata de establecer una matriz en la que se incluyen los valores que adoptan los distintos atributos o **criterios** de valoración para las distintas alternativas de los sistemas.

Para construir el proceso de validación de los distintos sistemas constructivos elegidos, que denominaremos como **alternativas**, se ha establecido un conjunto de **siete criterios**, que son los siguientes:

- Resistencia térmica.
- Inercia térmica.
- Aislamiento acústico.
- Grado de certidumbre en la ejecución.
- Coste de ejecución.
- Tiempo de ejecución.
- Mantenimiento y vida útil.

La consideración de cada uno de los criterios permite valorar el grado de utilidad de cada una de las alternativas. Por otra parte, la consideración de la totalidad de los criterios debe permitir una valoración global de las alternativas que atienda a los aspectos más relevantes para las mismas.

Las distintas matrices de decisión figuran bajo el título Tabla nº 8: Matriz de decisión, en el Anejo I.

9.2.- Las evaluaciones y su normalización. Matriz de Decisión Normalizada

Los datos introducidos en la Matriz de decisión están expresados en las distintas unidades correspondientes a cada criterio. Para que dichos datos puedan ser manipulados en el proceso de aplicación del algoritmo, hay que proceder a su **normalización**.

Partiendo de la matriz de decisión, y aplicando el método de normalización descrito en la página 15 del Anejo I se obtiene la **Matriz de Decisión Normalizada** (tras haber procedido al proceso de corrección de la varianza propuesto por la Tesis).

Según el método de normalización que hemos adoptado, los valores de las celdas se encuentran en el intervalo entre 0 y 1, correspondiendo el valor 1 a la alternativa que para el criterio en cuestión adopta el mayor valor de la serie.

Como resultado, se obtiene la **Matriz de Decisión Normalizada (Tabla nº 10 del Anejo IV)**.

9.3.- Caracterización de los decisores y su jerarquía de preferencias. Evaluación de los pesos

Un elemento fundamental en la implementación del análisis de decisión multicriterio es la intervención de **la figura del decisor**, es decir, aquél agente que debe decidir sobre la idoneidad de las diversas alternativas.

En la operativa general de la construcción, el decisor será, con carácter general, el promotor de la edificación.

Desde un punto teórico o más generalista, se podría entrar a considerar la posibilidad de un hipotético decisor que coincidiese con el usuario final de la edificación, o del conjunto de la sociedad entendida como usuario global, caso éste en el que la consideración de los aspectos vinculados a la sostenibilidad serían, por definición, los más determinantes en la ponderación de los criterios.

En una primera aproximación, consideraremos tres hipotéticos decisores. Todos ellos son promotores que por las características de la promoción y su destino final, y su uso definitivo, tienen distintos intereses, e implicaciones que suponen una distinta ponderación de los criterios de validación.

Se describen a continuación sus perfiles, y las tablas de determinación de los pesos resultantes para ponderación de los criterios, según sus prioridades de valoración.

1.- El promotor es la Administración pública. Programa de construcción de vivienda protegida, con un plazo de entrega perentorio. Su jerarquía de preferencia de criterios es la siguiente:

- 1: Tiempo de ejecución
- 2: Costes de mantenimiento
- 3: Costes de ejecución
- 4: Resistencia térmica
- 5: Inercia térmica
- 6: Grado de certidumbre
- 7.- Acústica

2.- **El promotor es un promotor privado** para la construcción de vivienda en régimen libre, promotor que no ha comercializado aún su promoción, su jerarquía es la siguiente:

- 1: Coste de ejecución
- 2: Tiempo de ejecución
- 3: Resistencia térmica
- 4: Grado de certidumbre
- 5: Acústica
- 6: Costes de mantenimiento
- 7: Inercia térmica

3.- **El promotor es un promotor privado**, para la edificación y posterior explotación de un hospital. Su jerarquía de valores es la siguiente:

- 1: Mantenimiento
- 2: Acústica
- 3: Inercia térmica
- 4: Grado de certidumbre
- 5: Resistencia térmica
- 6: Coste de ejecución
- 7: Tiempo de ejecución

La elección de estos tres decisores y su perfil de preferencias, tiene carácter meramente hipotético. En ningún caso se entra a valorar la "calidad" de estos tres decisores con consideración de aspectos como podrían ser su oportunidad social o su ética corporativa.

9.4.- Determinación de los pesos

Realizado el cálculo de los pesos correspondientes a los distintos criterios y a los distintos decisores considerados, se obtienen los siguientes valores:

CRITERIOS	DECISOR 1	DECISOR 2	DECISOR 3
W1	0,0731	0,1458	0,0806
W2	0,0731	0,0501	0,1683
W3	0,0392	0,0562	0,2815
W4	0,0700	0,0880	0,0864
W5	0,1771	0,3579	0,0404
W6	0,3730	0,2483	0,0404
W7	0,1946	0,0537	0,3024

CUADRO nº 14: Determinación de los pesos

En el siguiente gráfico se representan los valores de los pesos para los distintos decisores considerados:

GRÁFICO nº 9: Valores de los pesos para los tres decisores considerados.

9.5.- Construcción de la Matriz de Decisión Normalizada y Ponderada

Partiendo de la Matriz de Decisión Normalizada (Tabla nº 10 del Anejo 1) y multiplicando los valores de sus celdas por los valores correspondientes a los pesos (W), calculados en el epígrafe anterior, se obtiene la **Matriz de Decisión Normalizada y Ponderada (Tabla nº 13 del Anejo)**.

9.6.- Construcción de la "Matriz de Concordancia"

La **Matriz de Concordancia** es una matriz que sirve para comparar los valores que adoptan los distintos atributos para las distintas alternativas comparadas de dos en dos. En cada casilla de la matriz aparecerá un valor que denominaremos **índice de concordancia** (e_{kl}), que indicará el grado de prevalencia de una alternativa respecto de la otra. Las evaluaciones son comparadas por pares para cada uno de los criterios.

Las matrices de cálculo necesarias para la elaboración de la Matriz de Concordancia, correspondientes a los tres decisores considerados, forman la serie denominada "**Tabla nº 15: Matriz de Concordancia – Tabla de cálculo**", serie constituida por tres tablas, una para cada uno de los decisores considerados.

A partir de esta tabla se construye la serie de tablas denominadas "**Tabla nº 16: Matriz de Concordancia**", matriz de 12 por doce celdas, en la cual se expresa el valor de prevalencia de cada criterio con respecto al resto.

9.7.- Construcción de la "Matriz de Discordancia"

Los valores que se incluyen en esta matriz, que denominamos índices de discordancia (e_{kl}), permiten distinguir aquellos casos en los que una "alternativa débil", es decir con poca predominancia global sobre otra, presenta, pese a todo, una predominancia elevada en lo relativo a la valoración de algún criterio de validación

Para cada una de las casillas se calcula un valor, generando la matriz de discordancia: $D = d(a_k / a_l)$

El valor de cada casilla (e_{lk}) se calculará dividiendo la diferencia máxima en valor absoluto de aquellas evaluaciones que relacionan las alternativas *l* y *k* en las que $e_{lj} < e_{kj}$, entre el valor absoluto máximo de evaluación entre ambas alternativas *l* y *k*.

9.8.- Análisis de las relaciones de sobreclasificación

Las matrices de Concordancia y Discordancia calculadas en los dos epígrafes anteriores determinan el grado de prevalencia de las alternativas entre sí. Con la finalidad de reducir esta matriz a otra en la que los valores sean exclusivamente cero o uno, expresando de esta forma la prevalencia o no

de forma binaria, los valores de las matrices de Concordancia y de discordancia se comparan con los denominados “umbrales” de concordancia y de discordancia, uno por cada una de estas matrices.

Una vez calculados los umbrales de sobredeterminación, éstos se aplican a las matrices de concordancia y discordancia para establecer las matrices de dominancia concordante y discordante, matrices con valores 0 ó 1 que expresan las relaciones de dominancia o debilidad de las distintas alternativas entre sí, tal y como se verá a continuación.

9.8.1.- Matriz de Dominancia Concordante

Partiendo de la Matriz de Concordancia, se construye la **Matriz de Dominancia Concordante**. Esta es una matriz cuadrada cuyos valores serán iguales a cero o a uno, con el siguiente significado:

- Cuando en esta matriz una alternativa tiene con respecto a otra un valor uno, decimos que la primera alternativa tiene dominancia concordante con respecto de la segunda.
- Cuando una alternativa tiene con respecto a otra un valor cero, decimos que la primera alternativa no tiene dominancia concordante con respecto de la segunda.

9.8.2.- Matriz de Dominancia Discordante

Partiendo de la Matriz de Discordancia, se construye la Matriz de Dominancia Discordante. Esta es una matriz cuadrada cuyos valores serán iguales a cero o a uno, con el siguiente significado:

- Cuando en esta matriz una alternativa tiene con respecto a otra un valor uno, decimos que la primera alternativa tiene dominancia discordante con respecto de la segunda.
- Cuando una alternativa tiene con respecto a otra un valor cero, decimos que la primera alternativa no tiene dominancia discordante con respecto de la segunda.

9.8.3.- Matriz de Dominancia Agregada (Concordante-Discordante)

Tras haber elaborado las matrices de Dominancia Concordante y de Dominancia Discordante, se obtiene la Matriz de Dominancia Agregada (Concordante – Discordante), como resultado de multiplicar, celda a celda estas dos matrices, dando como resultado la serie de Tablas denominadas **“Tabla nº 21: Matriz de Dominancia Agregada (Concordante-Discordante)”**, serie que consta de tres tablas, correspondientes a los tres decisores considerados.

A título de ejemplo se adjunta en la página siguiente la Matriz de Dominancia Agregada (Concordante-Discordante) correspondiente al decisor nº 1 para un umbral medio $d = 0,6725$

TABLA Nº 21: MATRIZ DE DOMINANCIA AGREGADA (CONCORDANTE-DISCORDANTE)													DECISOR
PARA UMBRAL MEDIO $d = 0,6725$													Nº 1
Sistemas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
1	-	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5
2	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	-	1	1	1	1	0	0	0	1	1	8
4	0	1	0	-	1	1	0	0	0	0	0	0	3
5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	1
7	0	1	0	0	1	1	-	0	0	0	0	0	3
8	0	1	0	0	1	1	1	-	0	0	1	1	6
9	1	1	1	1	1	1	1	1	-	0	1	1	10
10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	-	1	1	9
11	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	-	0	3
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	1
TOTAL	3	9	2	4	8	9	5	1	0	0	4	4	49

CUADRO nº 15: Tabla nº 1 del Anexo II

9.9.- Realización del grafo Electre

Los datos de la Matriz de Dominancia Agregada, resultado del proceso de "filtrado" de las comparaciones entre los valores de las distintas alternativas, expresan la prevalencia o no de cada una de las alternativas con respecto de las demás. El Grafo ELECTRE sirve para visualizar de forma intuitiva dichas relaciones de prevalencia o dominancia.

A continuación se adjuntan los Grafos ELECTRE relativos a los doce sistemas constructivos "testigo", correspondientes a los tres decisores considerados.

DECISOR 1

DECISOR 2

DECISOR 3

GRÁFICO n° 10: Grafo ELECTRE para cada uno de los decisores

9.9.1.- Determinación del núcleo del grafo Electre

Como culminación del proceso desarrollado por el algoritmo, y del propio grafo anteriormente expuesto, el método ELECTRE propone la determinación del denominado núcleo del grafo. Tomamos su definición de José Manuel Martín (2003)⁵³:

*"A partir del grafo con todas las acciones del conjunto elección A, se intenta encontrar un subconjunto de alternativas de N, tales que cualquier alternativa esté en A-N es al menos superada por alguna alternativa de N, (existe al menos un arco desde alguna alternativa de N a otra alternativa que no forma parte de N), y las alternativas de N son incomparables entre sí (no existen arcos entre ellas): este tipo de subconjunto en la teoría de grafos es denominado núcleo del grafo, por lo tanto las alternativas que pertenecen al núcleo son **aquellas que dominan a todas las demás**".*

En la aplicación a nuestro caso, se han realizado los gráficos correspondientes a los núcleos del grafo ELECTRE correspondientes a los tres decisores (para un umbral de discordancia medio): Como consecuencia

⁵³ MARTÍN RAMOS, José Manuel: *Modelos Multicriterio Difusos: Aplicaciones*. Tesis doctoral: Universidad de Granada. Granada, 2003. Pág. 23

de la determinación de estos núcleos se llega a las siguientes conclusiones en relación con los tres decisores considerados:

Decisor 1: el núcleo está constituido por las alternativas números 9 y 10, dado que no existen entre ellas relaciones de sobredeterminación, y entre las dos establecen sobredeterminación sobre el resto.

Decisor 2: No puede hablarse propiamente de la existencia de un núcleo del grafo ELECTRE, dado que no se cumplen las condiciones para ello (la alternativa 3 no resulta sobredeterminada por ninguna de las alternativas del presunto núcleo). No obstante, la alternativa 12 establece relaciones de sobredeterminación sobre todas demás alternativas, salvo una (la alternativa 3).

Decisor 3: El núcleo del grafo ELECTRE está constituido por la alternativa 12, que establece relaciones de sobredeterminación con todas las demás alternativas.

DECISOR 1

DECISOR 2

DECISOR 3

GRÁFICO 11: Núcleo de los grafos ELECTRE.

9.11.- Determinación del Ranking de alternativas

Un procedimiento que en base a los datos de la Matriz de Dominancia Agregada permite discriminar sobre el grado de excelencia de cada una de las alternativas es la realización de un Ranking de la totalidad de dichas alternativas.

Para ello, y considerando los valores de la **Tabla nº 21: Matriz de Dominancia Agregada (Concordante-Discordante)**, se realiza una tabla denominada "Índice de calidad de las alternativas" (**Tabla nº 22 del Anejo**). En esta tabla se indica para cada alternativa el número de relaciones de fuerza o prevalencia con respecto del resto de las alternativas, y por otra parte el número de las relaciones de debilidad.

Para cada una de las alternativas, el número de relaciones de fuerza menos el número de relaciones de debilidad es un valor al que denominamos índice de Calidad de la alternativa.

Adjuntamos las tablas correspondientes los tres decisores, considerando un umbral d igual a la media.

TABLA Nº 22 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS ALTERNATIVAS DECISOR Nº 1 d = media			
Sistema	Fuerza	Debilidad	Calidad
1	5	3	2
2	0	9	-9
3	8	2	6
4	3	4	-1
5	0	8	-8
6	1	9	-8
7	3	5	-2
8	6	1	5
9	10	0	10
10	9	0	9
11	3	4	-1
12	1	4	-3

TABLA Nº 22 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS ALTERNATIVAS DECISOR Nº 2 d = media			
Sistema	Fuerza	Debilidad	Calidad
1	4	4	0
2	0	10	-10
3	8	0	8
4	2	5	-3
5	1	7	-6
6	0	8	-8
7	4	4	0
8	7	1	6
9	10	0	10
10	8	1	7
11	3	6	-3
12	3	4	-1

TABLA Nº 22 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS ALTERNATIVAS DECISOR Nº 3 d = media			
Sistema	Fuerza	Debilidad	Calidad
1	1	5	-4
2	1	8	-7
3	2	3	-1
4	0	11	-11
5	3	1	2
6	2	6	-4
7	7	2	5
8	7	1	6
9	1	2	-1
10	4	4	0
11	5	1	4
12	11	0	11

CUADRO nº 16: Tabla nº 22 del Anexo II. Índice de calidad de las alternativas

Ordenando las alternativas en el orden de mayor a menor de sus respectivos Índices de calidad, se obtiene el Ranking de calidad de las alternativas, que queda expresado en la serie "**Tabla nº 23-A: "Ranking de Alternativas"**" del Anejo, serie que reproducimos a continuación:

TABLA Nº 23-A RÁNKING DE ALTERNATIVAS DECISOR Nº 1 d = media	
ALTERNATIVAS	CALIDAD
9	10
10	9
3	6
8	5
1	2
4, 11	-1
7	-2
12	-3
5,6	-8
2	-9

TABLA Nº 23-A RÁNKING DE ALTERNATIVAS DECISOR Nº 2 d = media	
ALTERNATIVAS	CALIDAD
9	10
3	8
10	7
8	6
1	0
12	-1
4, 11	-3
5	-6
6	-8
2	-10

TABLA Nº 23-A RÁNKING DE ALTERNATIVAS DECISOR Nº 3 d = media	
ALTERNATIVAS	CALIDAD
12	11
8	6
7	5
11	4
5	2
10	0
3, 9	-1
1, 6	-4
2	-7
4	-11

CUADRO nº 17: Tabla nº 23-A del Anexo II. Ranking de alternativas

Finalmente, y para mejor visualizar el sentido de este Ranking, se han realizado unos gráficos que representan los valores de estos índices de calidad. A continuación se aportan los gráficos correspondientes a cada uno de los decisores considerados, para los distintos umbrales de discordancia considerados (umbral medio, 0,30 y 0,50).

GRÁFICO nº 12: Ranking de alternativas para los tres decisores

Umbral de discordancia medio. Adimensional.

Umbral de discordancia = 0,30. Adimensional.

Umbral de discordancia = 0,50. Adimensional.

CAPÍTULO 10.- CONCLUSIONES DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALORACIÓN COMPARATIVA ADOPTADA

En el capítulo anterior se ha mostrado el resultado de la aplicación del método de decisión multicriterio a los doce sistemas constructivos para cerramientos de fachadas propuestos por la Tesis para su valoración comparativa. Con la finalidad de establecer un diagnóstico sobre el grado de utilidad de las de los sistemas constructivos en función de las categorías que hemos aplicado para su caracterización (por peso, por grado de prefabricación y por su condición de fachadas ventiladas o no) se ha realizado una serie de tablas que permiten este diagnóstico.

Para cada uno de los decisores considerados se ha realizado una tabla (Tabla nº 23-B) en la que para cada una las subcategorías establecidas se ha realizado la suma de los valores del grado de utilidad subjetiva de los doce sistemas constructivos considerados; como ejemplo se acompaña a continuación la correspondiente al decisor nº 1:

TABLA Nº 23-B: MUESTREO POR SUBCATEGORÍAS				
DECISOR Nº 1				
Categoría	Subcategoría	SISTEMA	CALIDAD	
Por peso	Ligeras	1	2	-0,50
		2	-9	
		3	6	
		4	-1	
	Semipesadas	5	-8	-3,25
		6	-8	
		7	-2	
		8	5	
	Pesadas	9	10	3,75
		10	9	
		11	-1	
		12	-3	
Por prefabricación	Prefabricadas	1	2	3,25
		5	-8	
		9	10	
		10	9	
	Semiprefabricadas	2	-9	-3,00
		3	6	
		6	-8	
		11	-1	
	No prefabricadas	4	-1	-0,25
		7	-2	
		8	5	
		12	-3	
Por ventilada o no	Ventiladas	1	2	-2,50
		2	-9	
		5	-8	
		6	-8	
		7	-2	
		9	10	
	No ventiladas	3	6	2,50
		4	-1	
		8	5	
		10	9	
		11	-1	
		12	-3	

CUADRO nº 18: Tabla nº 23-B del Anexo II. Muestreo por subcategorías

Posteriormente, se ha realizado una tabla en la que se reflejan para cada subcategoría los datos resultado de la suma para los tres decisores considerados, con la intención de establecer unos valores medios del grado de utilidad de los sistemas constructivos pertenecientes a cada subcategoría, tabla que se muestra a continuación:

TABLA Nº 23-B: MUESTREO POR SUBCATEGORÍAS		
AGREGADO DE LOS TRES DECISORES		
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CALIDAD
POR PESO	LIGERAS	-7,50
	SEMIPEADAS	-3,00
	PESADAS	10,50
POR PREFABRICACIÓN	PREFABRICADAS	5,25
	SEMI PREFABRICADAS	-8,25
	NO PREFABRICADAS	3,00
POR VENTILADA O NO	VENTILADAS	-6,33
	NO VENTILADAS	6,33

CUADRO nº 19: Tabla nº 23-B del Anexo II. Muestreo por subcategorías.

Como conclusión del análisis realizado sobre los doce sistemas testigo aquí considerados, y en relación con las hipótesis planteadas de partida, cabe concluir las siguientes conclusiones:

- El método de validación comparativa propuesto, en su aplicación al caso, ofrece el resultado de un ranking de alternativas suficientemente expresivo sobre el grado de utilidad subjetiva de los diferentes sistemas constructivos analizados, dado que por ejemplo para el decisor nº 1 tan sólo se producen de entre los doce sistemas analizados, dos situaciones de prevalencia ex equo.
- El método de análisis comparativo empleado, muestra una respuesta eficaz ante la particularidad de los perfiles de prevalencia de los distintos decisores considerados para la determinación del grado de utilidad subjetiva de los doce sistemas constructivos *testigo*.
- Según la atribución de los doce sistemas constructivos testigo a las subcategorías establecidas, y según los datos expresados en la tabla 23-B *Muestreo por categorías - agregado de los tres decisores*, anteriormente expuesto, se puede avanzar la conclusión provisional de un grado de prevalencia de los sistemas constructivos pesados y prefabricados sobre el resto.
- Este grado de prevalencia de los sistemas pesados y prefabricados sobre los restantes debe ser puesto, no obstante en cuestión, dado

que este diagnóstico ha sido realizado en base al escrutinio sobre doce sistemas constructivos que, pese a haber sido representativos de las subcategorías establecidas para representar de forma significativa la diversidad de los sistemas constructivos posibles, no dejan de estar sometidos a su particularidad.

Esta reflexión es la que lleva a la elaboración de la Parte III de la Tesis, cuya oportunidad y desarrollo se exponen a continuación.

PARTE III: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA AL CATALOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE

CAPÍTULO 11.- OPORTUNIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA AL CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE

Como diagnóstico derivado del análisis comparativo de los doce sistemas constructivos testigo analizados en la Parte II de la presente Tesis, se ha constatado un más alto grado de utilidad de los sistemas constructivos basados en elementos prefabricados o con un alto grado de industrialización en su puesta en obra, con respecto al resto.

Los doce sistemas pertenecen a una serie de subcategorías, de las establecidas por la Tesis que en principio permitiría considerar a estos doce sistemas suficientemente representativos de la diversidad posible de los mismos.

Por otra parte, hay que considerar que los doce sistemas constructivos "testigo" considerados han sido definidos según una configuración precisa, con el nivel de definición propio de un Proyecto de Ejecución, mediante la aplicación de componentes constructivos con sus características dimensionales precisas y la definición de la marca y modelo de dichos componentes (prescripción de proyecto). Por tanto, estos doce sistemas constructivos constituyen casos particulares precisos, no modelos tipológicos.

En consecuencia, el diagnóstico provisional obtenido de la comparación de estos doce sistemas testigo, sí bien podría considerarse de forma provisional, como resultante de una muestra suficientemente representativa del universo constituido por la mayor parte de los sistemas constructivos posibles, no permitiría su generalización con carácter universal, precisamente por partir de la consideración de casos particulares.

Vista la dificultad de extrapolar dichas conclusiones con carácter general al universo de todas los sistemas constructivos posibles, se entendió como oportuno el ejercicio de extender el método de análisis aplicado a los doce sistemas constructivos testigo, a una serie de sistemas constructivos lo suficientemente extensa y variada como para permitir la generalización de estas conclusiones.

Se ha considerado que el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE podría cumplir la finalidad buscada de representar un inventario

relativamente completo de sistemas constructivos suficientemente expresivo de la variedad de soluciones posibles.⁵⁴

Habida cuenta del carácter normativo que presenta el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, los sistemas constructivos incluidos en el mismo garantizan el cumplimiento de las condiciones prestacionales establecidas por el propio CTE.

Por ello consideramos el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE como espacio muestral adecuado para la aplicación para desarrollar un método de análisis complejo como el propuesto y desarrollado en la presente Tesis.

Así pues, comprobada la eficacia del método de validación comparativa entre los doce sistemas constructivos alternativos, planteamos la aplicación sistemática del modelo de parametrización aplicado a éstos a la totalidad de los sistemas constructivos del Catálogo de elementos constructivos del CTE.

El interés de esta aplicación sistemática del método de análisis al Catálogo, es el de posibilitar una reflexión de carácter general sobre el universo de soluciones contempladas en el mismo, en el entendimiento de que tal visión de conjunto aporta un valor disciplinar necesario para la reflexión sobre la optimidad de los distintos sistemas constructivos.

Por otra parte, y sin pretender que la parametrización propuesta tenga carácter definitivo o no perfectible, entendemos que aporta al contenido del Catálogo una serie de parámetros que, yendo más allá de la comprobación del cumplimiento de requisitos prestacionales derivados del CTE, enriquecen el conocimiento de los sistemas constructivos, de forma sistemática, en aspectos no contemplados en la actualidad.

11.1.- Sobre el Código Técnico de la Edificación y su Catálogo de Elementos Constructivos. El marco institucional.

En el presente epígrafe se ofrece una descripción del contenido normativo del Código Técnico de la Edificación, como preámbulo necesario para el estudio sistemático que se realizará sobre su Catálogo de Elementos Constructivos. Por otra parte, esta descripción servirá de referencia para las innovaciones que se propondrán en el cuerpo de la presente Tesis en relación con la regulación normativa y documental del CTE.

Así mismo, se ofrece una panorámica del marco institucional de innovación normativa ligado a la gestión y seguimiento del CTE.

⁵⁴ Consideración que realizamos pese a la constatación realizada en el desarrollo de la Tesis de que dicha variedad no resulta del todo expresiva de la totalidad de sistemas constructivos posibles.

11.1.1.- La regulación normativa del CTE

Pese a la importancia del sector de la construcción en la economía y en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, éste carecía de una regulación legal de aspectos fundamentales, limitándose la legislación tan sólo a la regulación de aspectos técnicos de la construcción.

El primer marco normativo de regulación de las técnicas de la edificación fueron las normas técnicas conocidas como Normas MV, promulgadas en 1957 por el Ministerio de la Vivienda, que había sido creado ese mismo año. Dicha normativa fue elaborada por la Dirección General de Arquitectura del Ministerio de la Gobernación.

La fecha de promulgación de estas normas coincide con el inicio de un nuevo ciclo de desarrollo económico para España, que abandona el modelo autárquico iniciado en la posguerra. El motor de este nuevo modelo económico y social es el Plan de Estabilización de 1959, que sienta las bases para una liberalización del sistema económico y para la promoción de los denominados Planes de Desarrollo

El nuevo desarrollismo económico, el impulso de la creación de industrias y servicios en las ciudades, tendría como consecuencia un importante movimiento migratorio de población rural hacia las ciudades. Así pues, el Ministerio de la Vivienda mediante estas primeras normas técnicas de regulación de la edificación se dotaba de un marco de regulación que pudiese ser aplicable tanto a sus propias actuaciones de construcción de vivienda protegida.

Hay que recordar que el año anterior a la aparición de estas normas había sido aprobada la Ley del suelo de 1956, con la finalidad de dotar al Estado de instrumentos para una ordenación urbanística integral sobre el territorio de los términos municipales y servir de apoyo para la programación de una muy activa política de vivienda de promoción pública.

Los organismos encargados de la realización de estos programas de construcción de vivienda pública de bajo coste fueron el Instituto Nacional de la Vivienda, la Obra Sindical del Hogar y Ministerio de Trabajo.

Con anterioridad a la aprobación del CTE, el marco legal regulador de los aspectos técnicos de la edificación tenía como fuente principal el Real Decreto 1650/1977, de 10 de junio, sobre Normativa de la edificación.

Dicha disposición se promulga con la finalidad de establecer un marco legal de referencia para la regulación de todos los aspectos relacionados con la edificación, y establece por primera vez la distinción entre normas obligatorias y facultativas. Con esta finalidad se definen las Normas Básicas de la edificación NBE, y se impulsa su futura aprobación.

Por otra parte, dicho Real Decreto establecía que el Ministerio de la Vivienda continuaría con la elaboración de las Normas Tecnológicas de la Edificación

(NTE) de acuerdo con el decreto 3.565/1972, de veintitrés de diciembre, hasta completar el conjunto de normas previsto en su Anejo. Se establecía así mismo que las NTE no eran de obligado cumplimiento, al poderse adoptar otras reglas y condiciones que cumpliesen igualmente las disposiciones básicas.

La Ley 38/1.999, de 5 de Noviembre, de Ordenación de la Edificación (en adelante LOE) se promulga con la finalidad de establecer un marco legal unificado para regular diversos aspectos jurídicos que concurren en la actividad de la edificación.

Los principales aspectos regulados por la Ley son los siguientes:

- Regular el proceso de la edificación, definiendo la configuración legal de los distintos agentes que intervienen, estableciendo sus obligaciones y sus responsabilidades, con el fin de cubrir de forma adecuada las garantías a los usuarios.
- Se define el concepto de edificación y se precisa el tipo de obras a los que resulta aplicable la Ley.
- Se establecen los requisitos básicos que deben cumplir los edificios en lo relativo a funcionalidad, seguridad y habitabilidad.
- Se instituye el **"Código Técnico de la Edificación"** (art 3.2):

"2. El Código Técnico de la Edificación es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones, de tal forma que permite el cumplimiento de los anteriores requisitos básicos."

Se autoriza al Gobierno para su aprobación por Real Decreto en el plazo de dos años desde la entrada en vigor de la Ley. Dicho Código debe establecer las exigencias técnicas que deben cumplir los edificios para dar cumplimiento a los requisitos básicos establecidos por la Ley sobre seguridad y habitabilidad.

Quizás el impulso para la aprobación del CTE sea una de las innovaciones de mayor calado de la Ley, pues su posterior aprobación ha creado un nuevo marco reglamentario de regulación de diversos aspectos técnicos de la construcción.

11.1.2.- El Código Técnico de la Edificación en desarrollo de la LOE

Los trabajos preparatorios para la reacción del CTE fueron realizados a partir de 2.001.

Tras estos trabajos preparatorios y después de su tramitación parlamentaria, fue aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Su vigencia comienza al día siguiente al de su publicación en el BOE, el 28 de marzo de 2006.

No obstante, dada la complejidad técnica del Código, y para dar cabida a la tramitación de Proyectos en marcha bajo la regulación de la normativa derogada, el CTE previó un periodo de aplicación parcial de sus normas, estableciendo un periodo de aplicación voluntaria de sus determinaciones durante doce meses, excepto en lo que se refiere al ahorro energético y la seguridad contra el fuego, cuestiones cuyos preceptos deberían aplicarse a los seis meses.

Finalmente, tras este periodo de transición, el CTE pasó a ser de aplicación plena el 24 de abril de 2.009, a partir de la cual pasó a ser de obligado cumplimiento el documento DB HR, de Protección contra el ruido.

Las principales determinaciones normativas del CTE son las siguientes:

- Se define el concepto de proyecto, y su coordinación con los posibles proyecto parciales, como los de instalaciones u otros.
- Se regula el acto de recepción de obra, acto que constituye la referencia temporal para la delimitación de los plazos de responsabilidad y prescripción establecidos por la propia Ley.
- Se impone la obligación de redactar el denominado "Libro del Edificio", que deberá entregarse una vez finalizada la obra, y contendrá las denominadas "instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y de las instalaciones"
- Se definen los distintos agentes que intervienen en la edificación, cuales son el promotor, el proyectista, el constructor, el director de obra, el director de la ejecución de la obra. Para cada uno de ellos se establecen las obligaciones que les corresponden en la ejecución de la obra.

11.1.3.- El CTE como Código prestacional

Existen a grandes rasgos dos modelos para la determinación y configuración normativa de los Códigos técnicos, los denominados Códigos prescriptivos y los Códigos prestacionales. Cada uno de estos modelos responde a concepciones y estructuras distintas de regulación normativa.

Los **Códigos prescriptivos** son aquéllos cuyas determinaciones son de obligado cumplimiento, con remisión a un conjunto finito y cerrado de alternativas técnicas. A este modelo respondían las **Normas Básicas de la Edificación (en adelante NBE)** vigentes hasta la aprobación del CTE y que fueron formuladas al amparo de Real Decreto 1650/1997, de 10 de junio, del Ministerio de la Vivienda sobre Normativa de la Edificación.

Los Códigos prescriptivos, como las NBE, pueden cumplir de forma adecuada su función reguladora de los aspectos técnicos de la edificación en escenarios de gran dinamismo del sector de la construcción, que requieran

un marco regulatorio de carácter eminentemente práctico y de sencilla aplicación.

En este sentido hay que destacar el importante papel que las NBE desarrollaron durante su periodo de vigencia, entre el año 1.977 y 2.006, periodo durante el que se produce el mayor desarrollo del sector de la construcción en España, con el impulso que proporcionan los programas de vivienda pública o protegida y los de construcción de equipamientos urbanos de los que adolecía la ciudad consolidada. Esta etapa coincide con un periodo de continuado crecimiento económico y homologación de los parámetros productivos y sociales a los del entorno de referencia de los países de la Comunidad Europea.

Por otro lado, se aprobaron las denominadas Normas Tecnológicas de la Edificación, un conjunto de 155 Normas establecidas por el Decreto 3565/1772, de 22 de diciembre, del Ministerio de la Vivienda.

Como ejemplo de estas NTE, se adjunta la primera página de la NTE FFL "Fachadas de ladrillo".

Fachadas

Fábrica de Ladrillo

External masonry walls of brickwork. Design.

1. Ambito de Aplicación

Cerramientos, muros resistentes y de arriostramiento de fábrica de ladrillo cerámico. El cálculo de los muros resistentes y de arriostramiento se contempla en la NTE-EFL "Estructuras de Fábrica de Ladrillo".

2. Información previa

De Proyecto

Plantas y secciones acotadas del edificio con indicación de disposición de muros y direcciones de forjados.

Estructural

Carga total por m^2 que soportan los forjados.
Grado sísmico de la zona de ubicación del edificio.

Legal

Aislamientos térmico y acústico exigidos en la normativa obligatoria vigente.

3. Criterio de diseño

Coordinación dimensional

A efectos de esta norma se han considerado como módulos M de coordinación dimensional los valores del formato del ladrillo métrico de dimensiones 24; 11,5; 5,3 y del catalán de dimensiones 29; 14; 6,5. Se ha tomado para las juntas el valor de 1 cm.

Las dimensiones de los entrepaños de los muros deberán ser múltiplos del módulo menos una junta.
Las dimensiones de los huecos deberán ser múltiplos del módulo más una junta.

Pese a lo adecuado de las NBE a este entorno de consolidación y afianzamiento del sector de la construcción, y en el marco estructural de la plena integración en las estructuras de la Comunidad Europea, se hacía necesaria la elaboración de un nuevo marco normativo que atendiese a los siguientes propósitos:

- Adecuación de la normativa a la regulación de carácter global establecido por la LOE.
- Homologación con los marcos reguladores contenidos en otros países de la Comunidad Europea, así como adaptación a las directivas comunitarias reguladoras del sector.
- Adecuación del marco normativo a las exigencias de un nuevo escenario económico y productivo caracterizado por la exigencia de estándares de calidad superiores, y por la necesidad de actualización permanente de las soluciones técnicas.

- Necesidad de dar respuesta a los procesos de innovación tecnológica inherentes a un modelo productivo en el que adquieren mayor peso la economía del conocimiento.

La adopción del modelo prestacional para la formación del CTE viene condicionada también por la necesidad de atender a las nuevas exigencias que recaen en la edificación con el objetivo de mejorar las condiciones de sostenibilidad económica y medioambiental y limitación de los recursos energéticos, dentro del marco del Plan de Acción de la Estrategia Española de ahorro y eficiencia energética.

Para dar respuesta a estos requerimientos, se optó por la formulación del CTE con arreglo al modelo de los **Códigos prestacionales**. Este enfoque prestacional supone el establecimiento explícito de una serie de objetivos y el modo de alcanzarlos, sin obligar al uso de un procedimiento o solución determinados.

El CTE tiene como finalidad principal el definir y cuantificar un conjunto de condiciones por parte de la edificación finalmente construida.

El cumplimiento del Código se deberá justificar, así pues, en la propuesta de soluciones constructivas que garanticen el cumplimiento de todos y cada uno de los requerimientos prestacionales que éste establece como mínimos.

La justificación del cumplimiento de estas condiciones prestacionales se puede realizar siguiendo dos procedimientos alternativos:

- Mediante soluciones **técnicas basadas en los DB**, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas relacionadas con dichos DB; por ejemplo, por referencia a los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo de elementos constructivos del propio CTE, convenientemente parametrizados en su aplicación al proyecto concreto.
- Mediante la propuesta de sistemas no incluidos en dicho Catálogo (**soluciones alternativas**), en cuyo caso se deberá demostrar el cumplimiento de los requerimientos prestacionales de forma específica y pormenorizada. En este caso, la responsabilidad sobre el cumplimiento de las condiciones prestacionales recae en el arquitecto, previa conformidad del promotor.

Así pues, esta modalidad de regulación permite, mediante los adecuados procedimientos de validación, **la incorporación de nuevas soluciones constructivas al contenido normativo del CTE**, que en lo referente al Catálogo queda constituido como un documento vivo, **que puede ser enriquecido con la aportación de nuevos documentos normativos**, bajo la estructura normativa y amparo legal del CTE en su conjunto, sin necesidad de tramitar dichas incorporaciones como modificación de la Norma.

De esta manera, el CTE permite al proyectista la propuesta de soluciones novedosas en relación con las previstas en el por el propio CTE y en especial en su Catálogo de Elementos Constructivos, lo cual en principio parecería ser un incentivo a la innovación, de acuerdo con los principios inspiradores del Código.

La virtualidad innovadora del Código queda expresada en la exposición de motivos del Real Decreto:

"Además, frente a los tradicionales códigos prescriptivos, la adopción de un código basado en prestaciones, supone una mayor apertura a la innovación que se justifica también por la consideración de que los conocimientos y la tecnología de la edificación están en continuo progreso, de tal forma que la normativa promueva la investigación y no dificulte el progreso tecnológico."

11.1.4.- Documentos Reconocidos del CTE

Con la finalidad anteriormente expuesta, como complemento de los Documentos Básicos, de carácter reglamentario incluidos en el CTE, y con el fin de lograr una mayor eficacia en su aplicación, se crea la figura de los **Documentos Reconocidos** del CTE, que se definen como documentos externos e independientes del CTE cuya utilización facilita el cumplimiento de determinadas exigencias. El DR no tiene carácter reglamentario, pero sí reconocimiento oficial, tal como establece en su literalidad el propio CTE.

Hay que señalar que la ambigüedad del alcance del contenido normativo de los DR no permite una utilización de los mismos con garantía legal ni técnica en su aplicación práctica, lo cual puede haber redundado en su escasa acogida por el sector de la construcción, como se demostrará más adelante.

Según el art.4 del CTE, los DR podrán tener el contenido siguiente:

- Guías técnicas o códigos de buena práctica que incluyan procedimientos de diseño, cálculo, ejecución, mantenimiento y conservación de productos, elementos y sistemas constructivos.
- Métodos de evaluación y soluciones constructivas, programas informáticos, datos estadísticos sobre la siniestralidad en la edificación u otras bases de datos.
- Comentarios sobre la aplicación del CTE.
- Cualquier otro elemento que facilite la aplicación del CTE, excluidos los que se refieran a la aplicación de un producto particular o bajo patente.

Pese al reivindicado carácter innovador del Código, y pese a que dicha capacidad de innovación se confía a la futura incorporación de los DR, la referencia a la definición de nuevas soluciones constructivas que viniesen

completar la nómina de las incluidas en el Catálogo se enuncia de forma sumaria, en extraña conjunción con los métodos de evaluación (métodos de evaluación “y” soluciones constructivas).

Las nuevas soluciones constructivas constituyen una única categoría de entre el total de las nueve enunciadas; siendo el resto, de contenido instrumental o interpretativo, destinadas al análisis, la evaluación, control o interpretación de las normas contenidas en el CTE, pero en ningún caso destinadas a la incorporación de nuevos sistemas constructivos.

Así pues, si la totalidad de los DR que se incorporasen al Registro General del CTE (del que luego hablaremos) reprodujesen en su composición la proporción de las categorías enunciadas para la descripción su casuística, sólo cabría esperar que los DR relativos a nuevos sistemas constructivos serían tan sólo uno de cada nueve, lo cual se antoja un número escaso para lo que debería constituir el núcleo de la innovación.

11.1.5.- Consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación (CSICE)

Para cuidar del seguimiento y revisión del CTE, se prevé la creación del Consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación (CSICE) -creado por Real Decreto 315/2006, de 17 de marzo, publicado en el BOE de 28 de marzo de 2006- órgano colegiado adscrito al Ministerio de la Vivienda, con la finalidad de promover medidas que permitan la incorporación de innovaciones tecnológicas y soluciones técnicas tendentes a una mayor sostenibilidad del sector de la construcción.

Según el Real Decreto de constitución, el CSICE está presidido por el Ministro de la Vivienda, quien puede delegar en el Vicepresidente, o en el Secretario General de la Vivienda, y está constituido por:

- El Director General de Arquitectura y Política de Vivienda, que actúa como secretario.
- 11 vocales en representación de distintos de la administración central del Estado.
- 19 Titulares de Departamentos o Consejerías de las diferentes Comunidades autónomas.
- Representantes de los distintos agentes y corporaciones que intervienen en el sector de la construcción.

Del CSICE dependen orgánicamente una serie de comisiones de seguimiento sectoriales. Cada cinco años deben revisarse los requerimientos técnicos exigidos por el CTE para dar cumplimiento a las exigencias comunitarias en la materia.

11.1.6.- Registro General del CTE

En aplicación del Código, y para la administración y gestión de las incidencias derivadas de su aplicación y la incorporación de sus innovaciones, se crea el Registro General del CTE. En dicho Registro en cual podrán inscribirse, además de Documentos Reconocidos, otros relacionados con el cumplimiento del CTE, que podríamos agrupar en tres modalidades:

- Los relativos al objeto de cumplimiento o certificación: Las marcas, los sellos, las certificaciones de conformidad y otros distintivos de calidad voluntarios de las características técnicas de los productos, los equipos o sistemas que se incorporen a los edificios y que contribuyan al cumplimiento de las exigencias básicas.
- Los relativos a procedimientos para la validación o certificación: Los sistemas de certificación de conformidad de las prestaciones finales de los edificios, las certificaciones de conformidad que ostenten los agentes que intervienen en la ejecución de las obras, las certificaciones medioambientales que consideran el ciclo de vida de los productos, otras evaluaciones ambientales de edificios y otras certificaciones que faciliten el cumplimiento del CTE y fomenten la mejora de la calidad de la edificación.
- Los relativos a los agentes que intervienen en la certificación: Los organismos autorizados por las Administraciones Públicas competentes para la concesión de evaluaciones técnicas de la idoneidad de productos o sistemas innovadores u otras autorizaciones o acreditaciones de organismos y entidades que avalen a prestación de servicios que faciliten la aplicación del CTE.

De la serie de documentos susceptibles de formar parte del Registro General del CTE, entendemos que la definición de nuevos sistemas constructivos estaría incluida en el primer grupo, sin embargo la propia redacción y composición de conjunto de este grupo parece orientada más a los componentes que a los propios sistemas.

11.1.7.- Desarrollo del CTE mediante la aprobación de DR durante el periodo de vigencia del CTE hasta la actualidad

En epígrafes anteriores se han descrito los mecanismos previstos por el CTE para la incorporación a su texto normativo de nuevos documentos que viniesen a complementar o ampliar la nómina de soluciones constructivas que por estar incluidas en su Catálogo de soluciones constructivas no necesiten de certificación para su utilización en la práctica constructiva.

En el presente capítulo se realizará un estudio sobre el grado de desarrollo que ha tenido en la práctica la posibilidad abierta por el CTE de ampliar su contenido normativo, a instancias de la propia administración o de los particulares (tanto las empresas del sector de la fabricación de

componentes como las dedicadas a la promoción y construcción de viviendas.

Aún sin la perspectiva necesaria para la realización de un diagnóstico preciso al respecto, no han faltado quienes al poco tiempo de la vigencia plena del CTE o incluso antes, diagnosticaron de forma apresurada, el éxito de su aplicación.

En entrevista concedida a D. Javier Serra María-Tomé, a la sazón Subdirector General de Innovación y Calidad de la Edificación de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda del Ministerio de la Vivienda, éste presentaba la relación de documentos inscritos en Registro General del CTE en la fecha de marzo de 2.009, es decir, tres años después de su aprobación.

En dicha fecha figuraban inscritos un número de tan sólo tres documentos, elaborados por el Ministerio de la Vivienda consistentes en instrucciones o programas para la aplicación del CTE (Programa LIDER HE1, Catálogo de elementos constructivos y Hojas de cálculo de la opción general de BD HR) y cuatro documentos propuestos por la Comunidades Autónomas relativas a datos climáticos para el cálculo del DB HE-I; es decir un total de siete documentos inscritos de carácter instrumental; si bien se señalaba la existencia de 29 solicitudes de reconocimiento e inscripción.

Reproducimos dicha relación:

Referencia	Título	Entidad	Inscripción
CTE-DR/ VN-001/09	Programa LIDER. HE1: Limitación de la demanda energética.	Ministerio de Vivienda	24/03/2009
CTE-DR/ VN-002/09	Catálogo de elementos constructivos. Versión preliminar: mayo 2008	Ministerio de Vivienda	24/03/2009
CTE-DR/ VN-003/09	Hojas de cálculo de la opción general de BD HR. Versión 20-02-2008	Ministerio de Vivienda	24/03/2009

- Documentos propuestos por Comunidades Autónomas sobre datos climáticos más precisos para el cumplimiento del DB HE-I:

Referencia	Título	Entidad	Final audiencia pública
prCTE-DR/ CCAA-004/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. 1ª. Zonas Climáticas municipios de Cataluña (HE 1). Septiembre 2008	Generalidad de Cataluña	30/04/2009
prCTE-DR/ CCAA-005/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. 2ª. Tabla G2: Datos medios mensuales de las comarcas de Cataluña (HE 1)	Generalidad de Cataluña	24/03/2009
prCTE-DR/ CCAA-006/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. 3ª. Clasificación de las zonas de radiación solar media diaria con sus valores unitarios, municipios de Cataluña en orden alfabético (HE 4)	Generalidad de Cataluña	24/03/2009
prCTE-DR/ CCAA-007/09	Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el CTE Ahorro de Energía. Limitación de la Demanda CTE HE 1). Rev 0: 20-julio-2008	Junta de Andalucía. Agencia Andaluza de la Energía.	24/03/2009

Listado de DR, marzo 2.009

Actualmente, y según consulta realizada últimamente a los documentos de acceso público telemático del Registro General del CTE, los documentos

incorporados al Registro General del CTE son los que figuran en la siguiente tabla:

Referencia	Título	Entidad	Inscripción
CTE-DR/004/14	Zonas climáticas de los municipios de Cataluña, clasificados por demarcaciones territoriales y en orden alfabético, según su altitud y DB HE-1 de 2013	Generalidad de Cataluña	08/05/2015
CTE-DR/005/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. 2ª. Tabla G2: Datos medios mensuales de las comarcas de Cataluña (HE 1)	Generalidad de Cataluña	10/06/2009
CTE-DR/006/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. 3ª. Clasificación de las zonas de radiación solar media diaria con sus valores unitarios, municipios de Cataluña en orden alfabético (HE 4)	Generalidad de Cataluña	10/06/2009
CTE-DR/007/09	Zonificación climática de Andalucía por municipios para su uso en el CTE Ahorro de Energía. Limitación de la Demanda CTE-HE 1). Rev. 0: 20-julio-2008	Junta de Andalucía.	10/06/2009
CTE-DR/008/09	Caracterización climática de las Islas Canarias para la aplicación del Código Técnico de la Edificación, CLIMCAN-010 y de su aplicación informática	Gobierno de Canarias	11/10/2011
CTE-DR/010/11	Formato de intercambio de Datos de Edificación, FIDE	Generalidad Valenciana	21/06/2011
CTE-DR/011/11	Registro ITeC de Materiales	ITeC	08/09/2011
CTE-DR/ 045/13	Guía para la planificación y realización de estudios geotécnicos para la edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias GETCAN-011	Consejería de Obras Públicas y transportes del Gobierno de Canarias.	18/12/2013
CTE-DR/048/14	Método de evaluación de riesgo en caso de incendio en el marco del Código Técnico de la Edificación – MEREDICTE ©	Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid	1/12/2014
CTE-DR/004/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. Zonas Climáticas municipios de Cataluña (HE 1). Septiembre 2008	Generalidad de Cataluña	10/06/2009
CTE-DR/			
CTE-DR/	Registro de datos climáticos de Cataluña. 2ª. Tabla G2: Datos medios mensuales de las comarcas de Cataluña (HE 1)	Generalidad de Cataluña	10/06/2009
CTE-DR/006/09	Registro de datos climáticos de Cataluña. 3ª. Clasificación de las zonas de radiación solar media diaria con sus valores unitarios, municipios de Cataluña en orden alfabético (HE v4)	Generalidad de Cataluña	10/06/2009
CTE-DR/007/09	Zonificación Climática de Andalucía por municipios para su uso den el CTE Ahorro de Energía. Limitación de la Demanda CTE HE 1. Rev 0: 20-julio-2008	Junta de Andalucía	10/06/2009
CTE-DR/008/09	Caracterización climática de las Islas Canarias para la aplicación del Código Técnico de la Edificación. CLIMCAN-010 y de su aplicación informática	Gobierno de Canarias	11/10/2011
CTE-DR/010/11	Formato de Intercambio de Datos de Edificación, FIDE	Generalidad Valenciana	21/06/2011
CTE-DR/011/11	"Registro ITeC de materiales"	ITeC	08/09/2011
CTE-DR/045/13	"Guía para la planificación y realización de estudios geotécnicos para la edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias GETCAN-011	Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias	18/12/2013

CUADRO nº 20: Listado de DR, octubre 2.015

Como comentario a este inventario de documentos, sólo cabe decir que, pese el escenario de vocación innovadora que se diagnosticaba como cierto y expectante, el número y el contenido de las nuevas aportaciones tecnológicas se considera de escasa relevancia.

Frente al panorama que se descubre en cuanto al aparentemente fallido propósito de crear un entramado legal abierto a nuevas aportaciones, solo cabe preguntarse por sus causas, derivadas sin duda de un desajuste entre el contenido y estructura de la norma y la realidad del sector de la construcción entendido en sentido amplio.

Al interrogarse por las causas de esta situación, deberíamos buscar respuesta en el análisis de las implicaciones del CTE sobre dos ámbitos diferenciados de actuación:

1) El ámbito de intervención de los **agentes potencialmente interesados en la promoción de nuevas soluciones constructivas**:

- La Administración del Estado en sus tres niveles, el estatal, el autonómico y el local.
- Las empresas del sector de la fabricación de componentes y sistemas (especialmente los prefabricados)
- Los profesionales responsables de la redacción de proyectos de edificación y dirección de las obras, bien a título particular o mediante la intervención de sus asociaciones corporativas.

2) El ámbito de los agentes que podrían demandar un enriquecimiento del catálogo de soluciones constructivas:

- Las administraciones públicas como garantes de los intereses generales y en su labor de fomento
- Los técnicos responsables de la redacción de proyectos, la gestión y la dirección técnica de las obras. Según la definición y el contenido normativo otorgado a los DR por el CTE, éstos tienen meramente el carácter de “documentos reconocidos” y no carácter reglamentario. En consecuencia, entendemos que la referencia a soluciones constructivas que estuviesen incluidas en el DR poseería un mero valor referencial, pero no eximirían de la obligación de justificar su comportamiento prestacional.
- Los promotores privados y las empresas constructoras. No existe un incentivo real. En el ámbito de la construcción de vivienda, el mercado de producción de la edificación no está sometido a las leyes de la globalización, por tanto, en un marco de competencia local, el estímulo a la innovación no siente la misma urgencia que éste tendría si concurriesen al mismo empresas constructoras con sistemas con certificación comunitaria.

En un marco de competencia internacional, las soluciones prefabricadas o las de alta tecnología que viniesen de otros países serían sin duda competitivas.

Los agentes que podrían haber intervenido más activamente en el enriquecimiento del bagaje técnico asociado al CTE:

- **La Administración pública**, que tan sólo ha venido proponiendo herramientas para verificar el cumplimiento prestacional derivado del CTE, herramientas que el técnico podrá aplicar a sus soluciones novedosas en su aplicación individual a un proyecto concreto, pero que no tendrán para él más validez posterior que la de la experiencia adquirida.
- **Los fabricantes de materiales**, componentes o sistemas constructivos completos, que sólo puede obtener de la inclusión de subproducto en el Registro General del CTE el beneficio de la publicidad del mismo.
- **El profesional de la arquitectura**, que se convierte en el punto de convergencia a través de su actividad de la totalidad de los procesos de innovación tecnológica que ofrece la industria y que tiene necesariamente que hacer compatibles con el cumplimiento normativo y prestacional bajo su responsabilidad directa.

11.1.8.- El Documento de Idoneidad Técnica (DIT)

El CTE en su artículo 5.2., apartado 5, establece que un **sistema constructivo es conforme** con el propio **CTE** si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para un uso previsto. Existen entidades certificadoras con capacidad para realizar este tipo de evaluaciones; entre otras están los Documentos de Idoneidad Técnica (DIT).

Por otra parte, los DITE, documentos análogos a los DIT, de ámbito de validez europeo, aparecen definidos y regulados en el Decreto 89/106/CEE (art.8.1):

"1.- El documento de idoneidad técnico europeo es la evaluación técnica favorable de la idoneidad de un producto para el uso asignado, fundamentado en el cumplimiento de los requisitos esenciales previstos para las obras en las que se utiliza dicho producto."

Los DIT son certificaciones técnicas emitidas en España por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, que suponen una apreciación técnica favorable de aptitud para el empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no convencionales destinados a un uso específico.

La emisión de este documento no es preceptiva a efectos administrativos, siendo su tramitación voluntaria por parte del fabricante; sin embargo otorga a los productos que lo poseen una certificación de garantía de cara a sus posibles consumidores.

Los DIT son expedidos por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja en virtud del Decreto 3.652/1963, de 26 de diciembre, de la Presidencia del Gobierno, por el cual queda facultado para ello; así mismo

está facultado la confirmación de otros DIT concedidos por alguno de los Organismos Miembros de la Organización Europea en el ámbito de la UEAtc.

La Orden nº 1265/1988, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno regula la tramitación para su concesión.

Dado que los DIT certifican la calidad final del producto y su aptitud para la puesta en obra, su validez debe ser revisada en plazos de renovación generalmente de cinco años, previa inspección de las instalaciones de fabricación y comprobación de las características técnicas del producto terminado.

El DIT de un material o de un componente se otorga para un empleo determinado. Si el material se utiliza para distintos usos a los previstos será necesario un DIT diferente para cada uno de ellos. Pueden ser objeto de DIT aquellos materiales, sistemas o procedimientos constructivos para los que no se han desarrollado NORMAS que regulen **tanto** las características o prestaciones del producto **como** su empleo o puesta en obra, y que además satisfagan las siguientes condiciones:

- Materiales y equipos fabricados industrialmente o procedimientos que hayan sido empleados en aplicaciones reales.
- Materiales o sistemas perfectamente identificables.
- Materiales o sistemas que estén previstos para un empleo determinado e inequívoco.

El DIT de un material se otorga para un empleo determinado. Si el material se utiliza para distintos empleos será necesario un DIT diferente para cada uno de ellos.

Por último hay que decir que la posesión de la certificación DIT garantiza, en su ámbito, el cumplimiento del CTE.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS NO TRADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA		367-R
	Sistema DRACE para cerramiento de fachadas con paneles prefabricados de G.R.C.		RENOVACIÓN

C/ SERRANO GALVACHÉ, 4 28033 MADRID España	Fabricante: CONSTRUCCIONES ESPECIALES Y DRAGADOS, S.A. Domicilio Social: Avda. Fuente la Mora, 2 28050 MADRID España	Fábricas: TORREJÓN DE ARDOZ (Madrid) CHILOECHES (Guadalajara) CABEZAS DE SAN JUAN (Sevilla)	C.D.U.: 691.81 Revêtement de Façades External Panels

MUY IMPORTANTE

El DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico. No tiene, por sí mismo, ningún efecto administrativo, ni representa autorización de uso, ni garantía. Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento íntegro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad. La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica. Cualquier reproducción de este Documento debe ser autorizada por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Este Documento consta de 15 páginas.

DECISIÓN NÚM. 367/R

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto nº 3.652/1983, de 26 de diciembre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden nº 1.265/1988, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno, por la que se regula su concesión,
- considerando el artículo 5.2, apartado 5, del Código Técnico de la Edificación sobre conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,
- considerando la solicitud formulada por la Sociedad CONSTRUCCIONES ESPECIALES Y DRAGADOS, S.A., para la renovación del DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA nº 367, del Sistema DRACE para cerramientos de fachadas con paneles prefabricados de G.R.C.,
- en virtud de los vigentes Estatutos de l'Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAt),
- teniendo en cuenta los informes de vistas a obras realizadas por representantes del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, los informes de los ensayos realizados en el IETCC, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos, en sesiones celebradas los días 19 de julio de 2001 y 21 de diciembre de 2006.

DECIDE

Renovar el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 367, con el número 367/R, al Sistema DRACE para cerramientos de fachadas con paneles prefabricados de G.R.C., considerando que,

La evaluación técnica realizada permite concluir que el Sistema es CONFORME CON EL CTE, siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:

Modelo de certificación DIT

Dada la relevancia del número de DIT/DITE emitidos a partir de 2.006, se ha realizado un desglose de los emitidos en este periodo, según los grupos de clasificación establecidos por el listado del IETCC, según las veinticuatro categorías establecidas por el mismo, con el objeto de cuantificar el porcentaje que suponen respecto del total, los correspondientes a sistemas constructivos de cerramientos de fachada.

Según se aprecia en la tabla, en número de DIT emitidos pertenecientes al **Grupo 04.04**. Fachadas supone un 37,76% del total, lo que da idea de su importancia relativa, con respecto al resto de categorías.

	Tipo	Tipo	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012	Total	Porcentaje
1	01.06	Equipamiento carreteras		12		3	4	2		21	7,34%
2	01.10	Tuberías especiales				1				1	0,35%
3	02.03	Sistemas integrales edific.		2	1	1	1		1	6	2,10%
4	02.04	Sistemas parciales edific.	3	6	1	3	3	2	1	19	6,64%
5	03.01	Hormigón		3	4	3	1	3	5	19	6,64%
6	03.02	Acero		2			3			5	1,75%
7	03.05	Fábricas	1							1	0,35%
8	04.01	Cubiertas. Aislam. térmico	13	5	5	5	24			52	18,18%
9	04.02	Cubierta. Imperm.	2			3		2	5	12	4,20%
10	04.03	Comp. contacto con terreno		1		3	1	1		6	2,10%
11	04.04	Fachadas	13	31	12	18	12	11	11	108	37,76%
12	05.02	Suelos. Aislamiento acústico				1				1	0,35%
13	05.03	Revestimiento de suelos		1			1			2	0,70%
14	05.04.	Revestimiento paredes		1						1	0,35%
15	05.05	Tabiquerías	2	1	2			2		7	2,45%
16	06.06	Adhesivos				2				2	0,70%
17	07.01	Tuberías			1					1	0,35%
18	07.02	Suministro de agua					3	1		4	1,40%
19	07.04	Drenaje y alcantarillado					1	2		3	1,05%
20	08.03	Sistemas de ventilación					1			1	0,35%
21	08.06	Paneles termodinámicos					1			1	0,35%
22	11.3	Sistema extinción incendios					1		1	2	0,70%
23	12.01	Aislamiento térmico	1			1	2	1	3	8	2,80%
24	12.03	Otros sistemas: aisl. acústico			1		1		1	3	1,05%
TOTAL			35	65	27	44	60	27	28	286	100,00%

CUADRO nº 21: Desglose de número de DIT/DITE emitidos por año según grupo (2.006-2.011)

El siguiente gráfico resulta expresivo de la importancia relativa que los componentes y sistemas para fachadas suponen con respecto del resto.

Gráfico n° 13: Número de DIT por categorías

En relación con los DIT, hay que destacar la tesis doctoral de D. Antonio Blázquez Morales titulada “Metodología para la evaluación de productos innovadores de construcción”, Tesis en la que se parte de un diagnóstico sobre los procedimientos de certificación de los DIT y DITE emitidos por el IETCC, según el cual, los plazos de emisión de estas certificaciones son excesivos, lo cual desincentiva a los fabricantes para su solicitud. La Tesis propone un procedimiento de tramitación que permite agilizar sus plazos y que incentiva su formulación por parte de los agentes privados.

11.2.- El catálogo de soluciones constructivas del CTE a la luz de las categorías establecidas

En el epígrafe 6.3. se ha definido el campo de muestras que constituirá el objeto de nuestro análisis, siguiendo el criterio de que dicho campo de muestras sea representativo de las diferentes variantes resultantes de combinar las tres variables consideradas para la caracterización de los sistemas.

Esta selección “neutral” a partir del universo de posibles soluciones no ha tenido en cuenta el hecho cierto que alguna de estas categorías por sus propias características técnicas y atendiendo al panorama del mercado actualmente existente de materiales y componentes fabricados, deberían incluir un número superior al correspondiente a otras no desarrolladas, o de aplicación muy restringida.

No obstante, en la presente tesis se plantea el escrutinio sobre el universo virtual de soluciones, independientemente del nivel actual de su desarrollo industrial, por la vocación de constituir un marco teórico de referencia.

Teniendo por modelo el campo de muestras que hemos estructurado, estimamos conveniente analizar y cuantificar la adscripción del conjunto de soluciones constructivas contenidas en el Catálogo de soluciones constructivas del CTE a las categorías teóricas que hemos definido, en el intento de establecer un diagnóstico sobre el grado de acercamiento del Catálogo a la diversidad de soluciones constructivas posibles.

En el Preámbulo del Catálogo de soluciones constructivas del CTE por otra parte se dice que el conjunto de las soluciones aportadas por el Catálogo posee una variedad considerable.

*"El Catálogo contienen un **amplio abanico de materiales**, productos y elementos constructivos para cubiertas, fachadas, huecos y particiones interiores con las características higrotérmicas y acústicas relacionadas con las exigencias mencionadas anteriormente".*

Como se verá más adelante, resulta palpable que pese al considerable número de soluciones propuestas, su variedad tipológica es relativamente reducida.

En el mismo Preámbulo se dice que para los productos de construcción fabricados industrialmente, los valores aportados tienen carácter orientativo.

"El Catálogo aporta valores para determinadas características técnicas exigidas en los documentos básicos del CTE. Los valores que el Catálogo asigna a soluciones constructivas que no se fabrican industrialmente sino que se generan en la obra tienen garantía legal en cuanto a su aplicación en los proyectos, mientras que para los productos de construcción fabricados industrialmente dichos valores tienen únicamente carácter genérico u orientativo".

Sin embargo se constata que ninguna de las soluciones incluidas en la primera versión del Catálogo (versión provisional mayo 2008) puede considerarse como prefabricada, ni tan siquiera semiprefabricada (según los criterios utilizados en la presente tesis).

Para testar el grado de variedad de estas soluciones, se ha realizado un "vaciado" de las soluciones previstas por el Catálogo sobre el sistema de caracterización que ponemos para cualificar el universo de soluciones posibles según se expresa en el Cuadro nº 22.

En el siguiente Cuadro nº 8 se indica el número de sistemas constructivos que pertenecen a cada una de las categorías cruzadas propuestas para categorizar las posibles soluciones de fachada.

Considerando este cuadro, se realiza el Cuadro nº 9 en el que se pormenoriza el número de soluciones que pertenecen a cada subcategoría de las establecidas para la caracterización.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DEL CTE: 4.2. FACHADAS (VERSIÓN PRELIMINAR MAYO 2008)																	
4.2.1.		4.2.2.		4.2.3.		4.2.4.		4.2.5.		4.2.6.		4.2.7.		4.2.8.		4.2.9.	
Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº
F 1.1	6	F 2.1	5	F 3.1	6	F 4.1	12	F 5.1	5	F 6.1	6	F 7.1	5	F 8.1	11	F 9.1	6
F 1.2	6	F 2.2	11	F 3.2	6	F 4.2	6	F 5.2	11	F 6.2	6	F 7.2	11	F 8.2	5	F 9.2	6
F 1.3	12	F 2.3	5	F 3.3	11	F 4.3	6	F 5.3	5	F 6.3	12	F 7.3	5	F 8.3	11	F 9.3	6
F 1.4	12	F 2.4	5	F 3.4	11	F 4.4	6	F 5.4	5	F 6.4	12	F 7.4	11	F 8.4	11		
F 1.5	6	F 2.5	5	F 3.5	6	F 4.5	12	F 5.5	11	F 6.5	6	F 7.5	5	F 8.5	5		
F 1.6	6	F 2.6	5	F 3.6	6	F 4.6	6	F 5.6	5	F 6.6	6	F 7.6	5	F 8.6	5		
F 1.7	6	F 2.7	11	F 3.7	6	F 4.7	6	F 5.7	11	F 6.7	6	F 7.7	11				
F 1.8	6			F 3.8	6	F 4.8	6	F 5.8	5	F 6.8	6	F 7.8	5				
F 1.9	6			F 3.9	6	F 4.9	6	F 5.9	5	F 6.9	6	F 7.9	5				
F 1.10	6			F 3.10	6			F 5.10	5	F 6.10	6	F 7.10	5				
F 1.11	6	F 3.11	6					F 6.11	6	F 7.11	5						
F 1.12	6	F 3.12	6			F 6.12	6	F 7.12	11								
F 1.13	6	F 3.13	6			F 6.13	6	F 7.13	5								
F 1.14	6	F 3.14	6			F 6.14	6	F 7.14	5								
F 1.15	6	F 3.15	6			F 6.15	6	F 7.15	5								
F 1.16	12	F 3.16	6			F 6.16	6	F 7.16	11								
F 1.17	12	F 3.17	6			F 6.17	6	F 7.17	5								
						F 3.18	6			F 6.18	6	F 7.18	5				
				F 3.19	6	F 6.19	6			F 7.19	5						
				F 3.20	6	F 6.20	6			F 7.20	5						
				F 3.21	6	F 6.21	6			F 7.21	5						
				F 3.22	6	F 6.22	6			F 7.22	5						
				F 3.23	6	F 6.23	12										
				F 3.24	6	F 6.24	12										
				F 3.25	6	F 6.25	6										
				F 3.26	6	F 6.26	6										
				F 3.27	6	F 6.27	6										
				F 3.28	6	F 6.28	6										
				F 3.29	6	F 6.29	6										
				F 3.30	6	F 6.30	6										
				F 3.31	12	F 6.31	6										
				F 3.32	12	F 6.32	6										
				F 3.33	6	F 6.33	6										
				F 3.34	6	F 6.34	6										
				F 3.35	6	F 6.35	6										
				F 3.36	6	F 6.36	6										
				F 3.37	6	F 6.37	6										
F 3.38	6	F 6.38	6														

CUADRO nº 22: Categorización de las soluciones constructivas del Catálogo del CTE (2008)

CATEGORÍAS BÁSICAS			CATEGORÍAS CONSTRUCTIVAS		
Peso	Prefabricación	Ventilación	Nº orden	Caracterización	Nº
Pesadas	Prefabricadas	Ventiladas	1	Fachada pesada, prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	2	Fachada pesada, prefabricada, no ventilada	0
	Semiprefabricadas	Ventiladas	3	Fachada pesada , semiprefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	4	Fachada pesada , semiprefabricada, no ventilada	0
	No prefabricadas	Ventiladas	5	Fachada pesada, no prefabricada, ventilada	32
		No ventiladas	6	Fachada pesada, no prefabricada, no ventilada	91
Semipesadas	Prefabricadas	Ventiladas	7	Fachada semipesada, prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	8	Fachada semipesada, prefabricada, no ventilada	0
	Semiprefabricadas	Ventiladas	9	Fachada semipesada, semiprefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	10	Fachada semipesada, semiprefabricada, no ventilada	0
	No prefabricadas	Ventiladas	11	Fachada semipesada, no prefabricada, ventilada	15
		No ventiladas	12	Fachada semipesada, no prefabricada, no ventilada	12
Ligeras	Prefabricadas	Ventiladas	13	Fachada ligera, prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	14	Fachada ligera, prefabricada, no ventilada	0
	Semiprefabricadas	Ventiladas	15	Fachada ligera, semiprefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	16	Fachada ligera, semiprefabricada, no ventilada	0
	No prefabricadas	Ventiladas	17	Fachada ligera, no prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	18	Fachada ligera, no prefabricada, no ventilada	0
Total					150

CUADRO nº 23: Número de sistemas constructivos por subcategorías

Categorías básicas				MAYO-2008		
Tipo	Nº	Tipo	Nº	Tipo	Nº orden	Cantidad
Pesadas	123	Prefabricadas	0	Ventiladas	1	0
				No ventiladas	2	0
		Semiprefabricadas	0	Ventiladas	3	0
				No ventiladas	4	0
		No prefabricadas	123	Ventiladas	5	32
				No ventiladas	6	91
Semipesadas	27	Prefabricadas	0	Ventiladas	7	0
				No ventiladas	8	0
		Semiprefabricadas	0	Ventiladas	9	0
				No ventiladas	10	0
		No prefabricadas	27	Ventiladas	11	15
				No ventiladas	12	12
Ligeras	0	Prefabricadas	0	Ventiladas	13	0
				No ventiladas	14	0
		Semiprefabricadas	0	Ventiladas	15	0
				No ventiladas	16	0
		No prefabricadas	0	Ventiladas	17	0
				No ventiladas	18	0
Total	150		150			150

CUADRO nº 24: Muestreo por subcategorías de las soluciones constructivas del Catálogo del CTE (2008)

MUESTREO POR CATEGORIAS. MAYO 2008		
Categorías	Nº	%
Pesadas	123	82,00%
Semipesadas	27	18,00%
Ligeras	0	0,00%
Prefabricadas	0	0,00%
Semiprefabricadas	0	0,00%
No prefabricadas	150	100,00%
Ventiladas	47	31,33%
No ventiladas	103	68,67%

CUADRO nº 25: Muestreo por categorías (2.008)

El siguiente gráfico expresa el número de sistemas incluidos en el Catálogo que pertenece a cada una de las dieciocho subcategorías establecidas por la Tesis.

GRÁFICO nº 14: Número de soluciones constructivas por subcategorías (2008)

Se aprecia así pues cómo esta primera versión del Catálogo presenta una cierta insuficiencia, al no contemplar gran número de las posibles categorías. No obstante, en la siguiente versión de 2009 se eleva el número de sistemas constructivos incluidos en el Catálogo, de 150 a 197, con la incorporación de nuevos sistemas pertenecientes a categorías anteriormente no representadas, o representadas de forma insuficiente.

Es el caso de los sistemas incluidos en las nuevas familias números 10 a 16, que son las siguientes:

- F.2.10. Fachada ligera ventilada.
- F.2.11. Fachada de panel sándwich con alma aislante, no ventilada.
- F.2.12. Fachada de paneles prefabricados de hormigón, no ventilada.
- F.2.13. Fachada de hormigón visto, armado in situ.
- F.2.14. Fachada de GRC, no ventilada.
- F.2.15. Fachada de entramado estructural de madera, con cámara de aire ventilada.
- F.2.15. Muro cortina.

Se aprecia cómo todas estas nuevas familias, con la introducción elementos prefabricados, materiales ligeros y la incorporación de nuevos sistemas de fachadas ventiladas introducen, respecto de la versión anterior, significativas novedades.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DEL CTE: 4.2. FACHADAS. VERSIÓN PRELIMINAR SEPTIEMBRE 2009																															
4.2.1.		4.2.2.		4.2.3.		4.2.4.		4.2.5.		4.2.6.		4.2.7.		4.2.8.		4.2.9.		4.2.10.		4.2.11.		4.2.12.		4.2.13.		4.2.14.		4.2.15.		4.2.16.	
Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº	Código	Nº
F 1.1	6	F 2.1	5	F 3.1	6	F 4.1	12	F 5.1	5	F 6.1	6	F 7.1	5	F 8.1	11	F 9.1	6	F 10.1	15	F 11.1	14	F 12.1	4	F 13.1	6	F 14.1a	16	F 15.1	15	F 16.1	1
F 1.2	6	F 2.2	11	F 3.2	6	F 4.2	6	F 5.2	11	F 6.2	6	F 7.2	11	F 8.2	5	F 9.2	6	F 10.2	15	F 11.2	17	F 12.2	4	F 13.2	6	F 14.1b	16	F 15.2	15	F 16.2	1
F 1.3	12	F 2.3	5	F 3.3	12	F 4.3	6	F 5.3	5	F 6.3	12	F 7.3	5	F 8.3	11			F 10.3	15	F 11.3	11	F 12.3	2	F 13.3	6	F 14.2a	14	F 15.3	15		
F 1.4	12	F 2.4	5	F 3.4	12	F 4.4	6	F 5.4	5	F 6.4	12	F 7.4	11	F 8.4	11			F 10.4	15	F 11.4a	15	F 12.4	2	F 13.4	6	F 14.2b	14	F 15.4	15		
F 1.5	6	F 2.5	5	F 3.5	6	F 4.5	12	F 5.5	11	F 6.5	6	F 7.5	5	F 8.5	5			F 10.5	15	F 11.4b	15	F 12.5	2	F 13.5	6	F 14.3a	14	F 15.5	15		
F 1.6	6	F 2.6	5	F 3.6	6	F 4.6	6	F 5.6	5	F 6.6	6	F 7.6	5	F 8.6	5					F 11.5a	15	F 12.6	4	F 13.6	6	F 14.3b	14	F 15.6	15		
F 1.7	6	F 2.7	11	F 3.7	6	F 4.7	6	F 5.7	11	F 6.7	6	F 7.7	5							F 11.5b	15	F 12.7	4	F 13.7	6	F 14.4	14				
F 1.8	6			F 3.8	6	F 4.8	6	F 5.8	5	F 6.8	6	F 7.8	5							F 11.6a	15	F 12.8	2	F 13.8	6	F 14.5	16				
F 1.9	6			F 3.9	6	F 4.9	6			F 6.9	6	F 7.9	5							F 11.6b	15	F 12.9	2	F 13.9	6	F 14.6a	14				
F 1.10	6			F 3.10	6					F 6.10	6	F 7.10	5									F 12.10	2	F 13.10	6	F 14.6b	14				
F 1.11	6			F 3.11	6					F 6.11	6	F 7.11	5																		
F 1.12	6			F 3.12	6					F 6.12	6	F 7.12	11																		
F 1.13	6			F 3.13	6					F 6.13	6	F 7.13	5																		
F 1.14	6			F 3.14	6					F 6.14	6	F 7.14	5																		
F 1.15	6			F 3.15	6					F 6.15	6	F 7.15	5																		
F 1.16	12			F 3.16	6					F 6.16	6	F 7.16	11																		
F 1.17	12			F 3.17	6					F 6.17	6	F 7.17	5																		
				F 3.18	6					F 6.18	6	F 7.18	5																		
				F 3.19	6					F 6.19	6	F 7.19	5																		
				F 3.20	6					F 6.20	6	F 7.20	5																		
				F 3.21	6					F 6.21	6																				
				F 3.22	6					F 6.22	6																				
				F 3.23	6					F 6.23	12																				
				F 3.24	6					F 6.24	12																				
				F 3.25	6					F 6.25	6																				
				F 3.26	6					F 6.26	6																				
				F 3.27	6					F 6.27	6																				
				F 3.28	6					F 6.28	6																				
				F 3.29	6					F 6.29	6																				
				F 3.30	6					F 6.30	6																				
				F 3.31	12					F 6.31	6																				
				F 3.32	12					F 6.32	6																				
				F 3.33	6					F 6.33	6																				
				F 3.34	6					F 6.34	6																				
				F 3.35	6					F 6.35	6																				
				F 3.36	6					F 6.36	6																				
				F 3.37	6					F 6.37	6																				
				F 3.38	6					F 6.38	6																				

CUADRO nº 26: Categorización de las soluciones constructivas del Catálogo del CTE (2009)

CATEGORÍAS BÁSICAS			CATEGORÍAS CONSTRUCTIVAS		
Peso	Prefabricación	Ventilación	Nº orden	Caracterización	Nº
Pesadas	Prefabricadas	Ventiladas	1	Fachada pesada, prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	2	Fachada pesada, prefabricada, no ventilada	6
	Semiprefabricadas	Ventiladas	3	Fachada pesada , semiprefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	4	Fachada pesada , semiprefabricada, no ventilada	4
	No prefabricadas	Ventiladas	5	Fachada pesada, no prefabricada, ventilada	29
		No ventiladas	6	Fachada pesada, no prefabricada, no ventilada	100
Semipesadas	Prefabricadas	Ventiladas	7	Fachada semipesada, prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	8	Fachada semipesada, prefabricada, no ventilada	0
	Semiprefabricadas	Ventiladas	9	Fachada semipesada, semiprefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	10	Fachada semipesada, semiprefabricada, no ventilada	0
	No prefabricadas	Ventiladas	11	Fachada semipesada, no prefabricada, ventilada	13
		No ventiladas	12	Fachada semipesada, no prefabricada, no ventilada	14
Ligeras	Prefabricadas	Ventiladas	13	Fachada ligera, prefabricada, ventilada	0
		No ventiladas	14	Fachada ligera, prefabricada, no ventilada	10
	Semiprefabricadas	Ventiladas	15	Fachada ligera, semiprefabricada, ventilada	17
		No ventiladas	16	Fachada ligera, semiprefabricada, no ventilada	3
	No prefabricadas	Ventiladas	17	Fachada ligera, no prefabricada, ventilada	1
		No ventiladas	18	Fachada ligera, no prefabricada, no ventilada	0
Total					197

CUADRO nº 27: Número de sistemas constructivos por categorías (2009)

CATEGORÍAS BÁSICAS				SEPTIEMBRE-2009		
Tipo	Nº	Tipo	Nº	Tipo	Nº ORDEN	CANTIDAD
Pesadas	139	Prefabricadas	6	Ventiladas	1	0
				No ventiladas	2	6
		Semiprefabricadas	4	Ventiladas	3	0
				No ventiladas	4	4
		No prefabricadas	129	Ventiladas	5	29
				No ventiladas	6	100
Semipesadas	27	Prefabricadas	0	Ventiladas	7	0
				No ventiladas	8	0
		Semiprefabricadas	0	Ventiladas	9	0
				No ventiladas	10	0
		No prefabricadas	27	Ventiladas	11	13
				No ventiladas	12	14
Ligeras	31	Prefabricadas	10	Ventiladas	13	0
				No ventiladas	14	10
		Semiprefabricadas	20	Ventiladas	15	17
				No ventiladas	16	3
		No prefabricadas	1	Ventiladas	17	1
				No ventiladas	18	0
Total	197		197			197

CUADRO nº 28: Muestreo por subcategorías de las soluciones constructivas del Catálogo del CTE (2009)

MUESTREO POR CATEGORÍAS		
CATEGORÍAS	Nº	%
Pesadas	139	70,56%
Semipesadas	27	13,71%
Ligeras	31	15,74%
Prefabricadas	16	8,12%
Semiprefabricadas	24	12,18%
No prefabricadas	157	79,70%
Ventiladas	60	30,46%
No ventiladas	137	69,54%

CUADRO nº 29: Muestreo por categorías de las soluciones constructivas del Catálogo del CTE ((2008)

El siguiente gráfico expresa el número de sistemas incluidos en el Catálogo que pertenece a cada una de las dieciocho subcategorías establecidas por la Tesis. En amarillo se representan las subcategorías que aparecen por primera vez en el Catálogo en la versión de 2009.

GRÁFICO nº15: Número de soluciones constructivas por subcategorías (2009)

Como lectura de los datos del anterior cuadro se desprende la conclusión de que pese a la incorporación de nuevos sistemas constructivos en esta nueva versión del catálogo, existe un predominio sustancial de los sistemas constructivos pesados, no prefabricados y no ventilados, vinculados a sistemas tecnológicos de base tradicional y la ausencia de sistemas

constructivos atribuibles a un total de siete subcategorías de las dieciocho definidas (las número 1, 3, 7, 8, 9, 13 y 18).

Pese a este diagnóstico tan indiscutible, habría que hacer la matización de que de entre las siete subcategorías sin representación en el Catálogo, resultantes del cruce entre categorías básicas, pueden existir algunas subcategorías que por su caracterización resulten de difícil o escasa viabilidad constructiva, al menos con los materiales y procedimientos actualmente existentes en el sector de la construcción. Por ejemplo, entendemos que resulta de difícil viabilidad constructiva el diseño de sistemas constructivos que respondan a la categorización de fachadas tales como: fachada ligera, no prefabricada, ventilada; fachada pesada, no prefabricada, ventilada o fachada semipesada, no prefabricada, ventilada, entre otras.

Estas categorías de difícil materialización constituirían el equivalente a lo que en los inicios de la Historia Natural significaban los episodios de la denominada teratología, esto es la definición de animales imposibles, descritos como combinación bizarra de las características de animales reales, pero inexistentes en la realidad; animales que ocupaban el espacio de las combinaciones posibles pero de imposible o monstruosa constitución.

Monstruos dibujados por Ulisse Aldrobandi en el S.XVI.

CAPÍTULO 12.- PARAMETRIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CATÁLOGO DEL CTE

Con el objeto de aplicar a los elementos constructivos para cerramientos de fachadas incluidos en el Catálogo del CTE la metodología de valoración comparativa aplicado en la Parte II, se ha procedido a una parametrización igual a la realizada en dicha Parte.

12.1.- Acotaciones previas

El Catálogo de elementos constructivos del CTE incluye ciertos sistemas constructivos considerados como "muros cortina"; los incluidos en el epígrafe 4.2.16 "Muros cortina".

Se han excluido estos sistemas constructivos del análisis completo del Catálogo por las siguientes razones:

1.- En el estudio y parametrización de la serie completa de sistemas constructivos se ha considerado que para la construcción de la fachada, dichos sistemas, entendidos como la parte "maciza" de la construcción, ocupan un porcentaje mucho mayor sobre la totalidad de su superficie que el estimado como porcentaje medio del 60% para los restantes sistemas que se analizan en la presente Tesis.

Los muros cortina, por su propia naturaleza, podrían considerarse como un caso límite, en el cual el porcentaje del hueco se aproxima al 100% de la superficie total de la fachada. Por ello, la solución constructiva de los muros cortina no resulta comparable con el resto de sistemas constructivos del Catálogo.

2.- La propia parametrización del Catálogo reconoce de hecho la singularidad que constituyen los muros cortina con respecto al resto de soluciones constructivas, pues por un lado no establece los valores de U, y por otro, los valores de aislamiento acústico necesariamente se hacen depender de la solución concreta en lo relativo al espesor de las láminas de vidrio y de la cámara de aire así como de la configuración específica de la perfilería a emplear.

Podríamos decir que en el caso de los muros cortina los parámetros que consideramos con carácter general en nuestro estudio dependen tanto de la solución concreta adoptada que no permiten la consideración de un sistema constructivo "canónico" que se pudiese considerar representativo de los "muros cortina" considerados como familia dentro de la catalogación del CTE.

Por otra parte, hay que hacer una distinción entre el método empleado para parametrizar los doce sistemas constructivos testigo y los incluidos en el Catálogo del CTE.

Esta distinción está basada en el hecho de que mientras que la definición constructiva de los doce sistemas constructivos testigo considerados en la Parte II tienen el grado de definición propio del proyecto, con especificación concreta de sus dimensiones y atribución a los productos y componentes concretos, los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo de Elementos constructivos del CTE poseen una definición genérica de sus características tipológicas pero no la definición concreta que se aplicó en la Parte II.

De esta forma, por ejemplo, mientras que el grado de definición de los doce sistemas testigo permitió la consideración de las cuatro subcategorías establecidas para la determinación del grado de certidumbre, en el caso de los sistemas del Catálogo del CTE, por su grado de determinación no se puede establecer el valor de las subcategorías GCLI (Personal y utillaje empleado para el montaje en obra) y GCC (Grado de certidumbre derivado del control de la obra).

12.2.- Resultado de la parametrización realizada.

La parametrización realizada sobre los sistemas constructivos contenidos en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE está reflejada en las tablas 24 a 32 contenidas en el Anexo II de la presente Tesis.

Se han realizado unos gráficos en los cuales, para cada uno de los criterios de evaluación considerados, se representan los valores que adoptan dichos criterios para cada uno de los sistemas constructivos. Cada una de las familias de sistemas construidos se ha representado por un color distinto.

La representación que se incluye a continuación permite visualizar el grado de utilidad de los sistemas constructivos pertenecientes a las diferentes familias en la evaluación de cada uno de los criterios.

GRÁFICO nº 16: Valor de los distintos criterios para la totalidad de sistemas constructivos del Catálogo, por familias

CAPÍTULO 13.- ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS VALORES DE PARAMETRIZACIÓN POR FAMILIAS

13.1.- Caracterización de las familias de sistemas constructivos para cerramientos de fachadas incluidas en el Catálogo del CTE

Una vez realizada la parametrización de todos los sistemas constructivos para fachadas incluidos en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (versión septiembre de 2009), se ha procedido a realizar un estudio comparativo entre las quince familias contempladas en el Catálogo (excluida la familia 16 por las razones anteriormente expuestas) agrupando los valores correspondientes a los sistemas incluidos en cada una de las quince familias. En efecto, la parametrización sistemática realizada permite una valoración comparativa del grado de utilidad objetiva de las soluciones constructivas pertenecientes a las distintas "familias" que componen el Catálogo, entre sí.

También ha permitido establecer, mediante el cálculo del valor medio que adoptan los parámetros de los sistemas pertenecientes a una misma familia de las establecidas por el Catálogo, una **caracterización comparativa del grado de utilidad de dichas familias**, tanto en lo relativo a cada uno de los parámetros como en una valoración global de sus valores, de carácter indicativo.

Para ello, se han calculado los valores medios que adquieren los siete parámetros considerados para los sistemas incluidos en cada una de estas familias (normalizados para valores entre 0 y 1). Dichos valores medios para cada familia constituyen una serie de siete cuadros como el siguiente, correspondiente al criterio nº 1:

VALOR MEDIO CRITERIO 1		
FAMILIA	SUMA	VALOR MEDIO
F1	6,0576	0,3563
F2	2,2336	0,3191
F3	14,0187	0,3689
F4	2,4738	0,2749
F5	2,5787	0,3223
F6	14,1252	0,3717
F7	6,5997	0,3300
F8	1,6875	0,2813
F9	0,2320	0,1160
F10	1,6922	0,3384
F11	6,0336	0,6704
F12	3,2278	0,3228
F13	3,5218	0,3522
F14	6,1499	0,6150
F15	2,2125	0,3687

CUADRO nº 30: Valores medios del criterio nº 1 para los sistemas incluidos en la familia nº 1.

Se ha realizado un Catálogo de fichas de características de las distintas familias del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, que constituyen el Anejo III de la presente Tesis.

En dicho Catálogo figuran los datos de parametrización de los sistemas constructivos incluidos en las distintas familias, con el detalle que queda expresado en la introducción a dicho Anejo III.

Se reproduce a continuación, a título de ejemplo, la ficha correspondiente a la Familia 1:

GRÁFICO nº 17: Ejemplo de ficha de las familias de sistemas constructivos del Catálogo del CTE

En el gráfico nº 18 denominado “Valores medios de los distintos criterios por familias”, que se incluye en la página siguiente, se incluye un gráfico de barras para cada uno de los criterios, en el que se representa el valor medio que adopta cada criterio en cuestión para la totalidad de los sistemas constructivos incluidos en la correspondiente familia.

Para cada una de las familias, se han representado los valores que adoptan los valores medios de los siete criterios, según el modelo de gráficos radiales empleado en la Parte II de la presente Tesis.

Posteriormente, se ha realizado la representación radial según la disposición “espiral” de dichos valores propuesta como innovación en la presente Tesis. Dicha representación permite obtener el valor del área del polígono interior de representación de los valores,

pudiendo considerarse dicho valor de superficie como un indicador del grado de utilidad objetiva de cada una de las familias.

En páginas siguientes, se aportan estos gráficos, tanto en su representación convencional, como en su representación “espiral”.

GRÁFICO nº 18: Valores medios de los distintos criterios por familias

GRÁFICO nº 19: Valores medios de los criterios para cada una de las familias del Catálogo de sistemas constructivos del CTE. Representación convencional

GRÁFICO nº 20: Valores medios de los criterios para cada una de las familias de sistemas constructivos del Catálogo del CTE. Representación "espiral"

Por otra parte, para cada una de las familias de sistemas constructivos se ha representado el valor medio de cumplimiento respecto de los siete criterios considerados, en relación con los valores medios de dicho cumplimiento para la totalidad de los sistemas incluidos en el Catálogo.

GRÁFICO nº 21: Valores medios de los distintos criterios por familias

En el siguiente cuadro titulado "Porcentaje de incremento sobre los valores medios de cada criterio para cada una de las familias" se incluyen, para cada familia, los datos de **incremento del valor de cumplimiento de cada criterio respecto de la media de la totalidad de sistemas constructivos del Catálogo**.

Así, por ejemplo, el valor medio para los sistemas constructivos incluidos en la familia F1 del criterio C7 es un 81,64% superior al valor medio que adopta como media para la totalidad de las soluciones constructivas del catálogo.

También se indica, para cada familia (señalado en gris y denominado como "media") la media de los valores de mejora correspondientes a los siete criterios.

Así, por ejemplo, se indica cómo para la familia F1 se produce un incremento total del 16,29% respecto de la media correspondiente a la totalidad de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo. De la misma manera, la familia F-10 presenta un valor -36,75%; por tanto, un valor que indica una inferioridad del valor medio de la misma respecto de la media de la totalidad de las familias.

FAMILIA	CRITERIO	PORCENTAJE	FAMILIA	CRITERIO	PORCENTAJE	FAMILIA	CRITERIO	PORCENTAJE
F1	C1	-4,61%	F2	C1	-14,58%	F3	C1	-1,24%
	C2	19,81%		C2	-69,33%		C2	30,47%
	C3	6,25%		C3	18,80%		C3	-0,37%
	C4	-4,60%		C4	-4,84%		C4	-9,09%
	C5	26,43%		C5	17,44%		C5	39,72%
	C6	-10,90%		C6	-5,39%		C6	1,49%
	C7	81,64%		C7	46,34%		C7	56,85%
	MEDIA	16,29%		MEDIA	-1,65%		MEDIA	16,83%
F4	C1	-26,42%	F5	C1	-13,71%	F6	C1	-0,49%
	C2	-37,16%		C2	-66,49%		C2	44,94%
	C3	-25,03%		C3	21,95%		C3	2,69%
	C4	-4,14%		C4	-20,09%		C4	-21,22%
	C5	63,67%		C5	13,45%		C5	-29,58%
	C6	14,84%		C6	-17,40%		C6	-44,74%
	C7	73,19%		C7	-10,06%		C7	-55,07%
	MEDIA	8,42%		MEDIA	-13,19%		MEDIA	-14,78%
F7	C1	-11,67%	F8	C1	-24,71%	F9	C1	-68,95%
	C2	-29,34%		C2	-50,02%		C2	-81,79%
	C3	17,89%		C3	15,95%		C3	-15,73%
	C4	-16,77%		C4	-19,74%		C4	-4,45%
	C5	-46,11%		C5	-43,33%		C5	76,77%
	C6	-49,45%		C6	-43,84%		C6	25,31%
	C7	-71,46%		C7	-69,86%		C7	68,84%
	MEDIA	-29,56%		MEDIA	-33,65%		MEDIA	0,00%
F10	C1	-9,40%	F11	C1	79,46%	F12	C1	-13,59%
	C2	-80,29%		C2	-32,67%		C2	14,69%
	C3	-7,94%		C3	-37,66%		C3	6,69%
	C4	10,66%		C4	42,26%		C4	40,05%
	C5	-48,06%		C5	28,30%		C5	-1,35%
	C6	-42,90%		C6	103,53%		C6	73,69%
	C7	-79,30%		C7	4,03%		C7	25,16%
	MEDIA	-36,75%		MEDIA	26,75%		MEDIA	20,76%
F13	C1	-5,72%	F14	C1	64,63%	F15	C1	-1,29%
	C2	18,02%		C2	3,40%		C2	-77,68%
	C3	3,88%		C3	-35,33%		C3	-12,03%
	C4	45,00%		C4	60,76%		C4	5,48%
	C5	-1,35%		C5	-29,45%		C5	-50,32%
	C6	83,51%		C6	95,19%		C6	-27,85%
	C7	25,16%		C7	-28,30%		C7	-84,57%
	MEDIA	24,07%		MEDIA	18,70%		MEDIA	-35,47%

CUADRO nº 31: Porcentaje de incremento sobre los valores medios de cada criterio para cada una de las familias

Como expresión gráfica de la tabla anterior, en la siguiente serie de gráficos figuran, para cada una de las familias, los valores del grado de mejora de los valores de cumplimiento de los siete criterios considerados. En la cabecera de cada gráfico figura el nombre de la familia correspondiente y el valor de incremento o decremento (en %) de la media de dichos valores con respecto de la media correspondiente a la totalidad de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo.

La última barra de cada gráfico por la derecha, que figura indicada como "media", expresa el valor medio del grado de mejora del cumplimiento de los criterios para cada familia. Dicha barra se representa en color azul cuando su valor es positivo, y en color naranja cuando su valor es negativo.

GRÁFICO nº 22: Porcentaje de incremento sobre los valores medios de cada criterio para cada una de las familias.

Los valores anteriormente representados en los gráficos de barras se han representado a continuación según gráficos radiales en los que, para cada familia, se grafían en color rojo sus valores y en color verde el valor medio para la totalidad de los sistemas del Catálogo, que figura como referencia con valor 0.

En el encabezamiento de cada gráfico, para cada familia, se indica el valor de incremento o decremento (en %) de la media de dichos valores con respecto de la media correspondiente a la totalidad de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo.

Así, por ejemplo, se indica cómo para la familia F1 se produce un incremento total del 16,29% respecto de la media correspondiente a la totalidad de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo. De la misma manera, por ejemplo, la familia F-10 presenta un valor -36,75%, por tanto, un valor que indica una inferioridad del valor medio de la misma respecto de la media de la totalidad de las familias.

*GRÁFICO nº 23: Porcentaje de mejora sobre la media de las familias
(en página siguiente)*

En el siguiente gráfico de barras se representan los valores medios que para cada familia adoptan los porcentajes de mejora para la totalidad de los siete criterios considerados, respecto de los valores medios para la totalidad de los 195 sistemas constructivos considerados.

GRÁFICO n° 24: Porcentaje de mejora sobre la media

En base a estos valores representativos del grado de mejora para cada familia con respecto de la media de la totalidad de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo, se ha realizado un ranking que viene a ser indicador del grado de utilidad objetiva de cada una de las quince familias, ranking que es el siguiente (se indica entre paréntesis el valor considerado como indicador, y los sistemas constructivos se han ordenado en este ranking de mayor a menor valor):

RANKING POR FAMILIAS (MEDIA DEL PORCENTAJE DE MEJORA DE LOS CRITERIOS RESPECTO DEL VALOR MEDIO PARA LA TOTALIDAD DE SISTEMAS DEL CATÁLOGO) Pestaña: CARACTERIZACIÓN-2

- **F-11.** Fachada de panel sándwich con alma aislante, no ventilada (26,75%)
- **F-13.** Fachada de hormigón visto armado in sito, no ventilada (24,07%).
- **F-12.** Fachada de paneles prefabricados de hormigón, no ventilada (20,76%).
- **F-14.** Fachada de GRC, no ventilada (18,70%).
- **F-3.** Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior (16,83%).
- **F-1.** Fábrica vista, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior (16,29%).

- **F-4.** Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el exterior (8,42%).
- **F-9.** Fábrica sin aislamiento (0,00%).
- **F-2.** Fábrica vista, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior (-1,65%).
- **F-5.** Fábrica con revestimiento continuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior (-13,19%).
- **F-6.** Fábrica con revestimiento discontinuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior (-14,78%).
- **F-7.** Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior (-29,56%).
- **F-8.** Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el exterior (-33,65%).
- **F-15.** Fachada de entramado estructural de madera, con cámara de aire no ventilada (-35,47%).
- **F-10.** Fachada ligera ventilada (-36,75%).

Los valores de dicho ranking quedan expresados en el siguiente gráfico de barras:

GRÁFICO nº 25: Ranking según porcentaje de mejora sobre la media.

Como conclusión del diagnóstico realizado, cabe decir que la parametrización ampliada de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo permite comprobar cómo las distintas familias de sistemas incluidas en el Catálogo presentan, con respecto a la totalidad de las mismas, **perfiles diferenciados** en el cumplimiento de los distintos criterios de valoración utilizados, y que **su grado de utilidad objetiva presenta una variabilidad significativa**.

13.1.1.- Consideración sobre la varianza de los valores de los distintos sistemas constructivos incluidos en cada una de las familias

En el epígrafe anterior se estableció un ranking provisional entre las distintas familias de sistemas constructivos del Catálogo.

Dicho ranking y la caracterización de las distintas familias en cuanto al cumplimiento de cada uno de los criterios de valoración establecidos se han obtenido en base al valor medio de mejora de los distintos sistemas incluidos en cada familia, con respecto de la totalidad de los sistemas considerados

Para estimar que dicha caracterización fuese aplicable a cada una de los sistemas constructivos incluidos en cada una de las familias se hace necesario entrar a considerar el grado de variación que adoptan estos valores para la totalidad de los sistemas incluidos en cada familia; es decir, el grado de homogeneidad de las características de tales sistemas en el conjunto de sus familias.

Para cuantificar dicho grado de homogeneidad, se han calculado la varianza y el coeficiente de variación del valor de área del polígono de la representación radial corregida o "espiral", referido a los sistemas constructivos incluidos en cada una de las familias. Los resultados de dicho cálculo quedan representados en el siguiente cuadro:

VARIANZA DEL VALOR DE LAS ÁREAS ESPIRALES PARA CADA FAMILIA					
FAMILIA	VARIANZA	COEF. VARIACIÓN	DIFERENCIA CON LA MEDIA DE LOS COEF. DE VARIACIÓN	% RESP MEDIA	% DESV. /MEDIA
F1	0,0090	18,60%	3,35%	15,26%	69,53%
F2	0,0272	40,00%	-18,06%	-82,29%	-374,99%
F3	0,0077	17,09%	4,86%	22,13%	100,84%
F4	0,0027	12,04%	9,90%	45,11%	205,58%
F5	0,0121	33,98%	-12,04%	-54,86%	-250,00%
F6	0,0076	28,84%	-6,89%	-31,42%	-143,17%
F7	0,0034	27,96%	-6,02%	-27,43%	-124,99%
F8	0,0003	10,00%	11,95%	54,45%	248,13%
F9	0,0002	4,01%	17,93%	81,73%	372,45%
F10	0,0011	19,45%	2,49%	11,35%	51,74%
F11	0,0354	36,21%	-14,27%	-65,03%	-296,36%
F12	0,0068	17,02%	4,92%	22,44%	102,27%
F13	0,0053	14,56%	7,39%	33,67%	153,44%
F14	0,0437	45,02%	-23,07%	-105,16%	-479,21%
F15	0,0001	4,38%	17,56%	80,04%	364,76%
MEDIA	0,0108	21,94%			

CUADRO nº 32: Varianza del valor de las áreas espirales para cada familia.

Los valores positivos del porcentaje de incremento sobre la media se han señalado en color verde y los valores negativos en color naranja.

La media de los coeficientes de variación por familias, según se aprecia en el cuadro anterior y en el gráfico que se reproduce a continuación, es de 21,94%, lo cual podría considerarse como un valor adecuado al propósito de aplicar la caracterización de cada familia a los sistemas constructivos incluidos en la misma.

No obstante, se observa cómo los coeficientes de variación correspondientes a las distintas familias presentan entre sí valores muy diversos, como se aprecia en el siguiente gráfico:

GRÁFICO nº 26: Coeficientes de variación por familias

En el gráfico siguiente, en el que quedan representados los valores para cada familia del incremento sobre la media de los coeficientes de variación por familias, se aprecia dicha dispersión.

GRÁFICO nº 27: % de aumento sobre la media de los coeficientes de variación por familias.

Los mayores valores positivos de desviación con respecto de la media de los coeficientes de variación por familias corresponden a las familias F-14 (105,16%) y F-2 (82,29%), y los mayores valores negativos a las familias F-9 (-81,73%) y F-15 (-80,04%).

Las razones de la diferencia en el grado de homogeneidad al interior de cada familia se debe a la propia caracterización establecida por el Catálogo para la definición de cada una en relación a los sistemas que la configuran.

Así por ejemplo, se observa cómo la familia F-14 queda definida en el Catálogo con la siguiente descripción genérica:

“Fachada de GRC, no ventilada”.

Los sistemas constructivos incluidos en ésta, en efecto, constan de paneles GRC en su cara exterior, siendo la cara interior variable en su composición. Como ejemplo de esta variabilidad se consideran los sistemas constructivos F 14.1a, F 14.2a y F 14.6b.

Se adjunta una sección constructiva de dichos sistemas y entre paréntesis el valor del *área espiral* adoptado como indicador de la utilidad objetiva de los mismos.

F 14.1a (0,3163)

F 14.2a (0,3423)

F 14.6b (0,7159)

A la vista de los esquemas de sección constructiva de estos tres sistemas, se puede apreciar que pese a responder a la muy genérica categorización de constituir "fachadas de GRC, no ventiladas" constituyen constructivamente sistemas muy diversos.

Como consecuencia de esta heterogeneidad interna a la familia, se produce una dispersión de los valores indicadores de utilidad objetiva.

En el otro extremo de la consideración de la heterogeneidad interna de las familias está la familia F-9, que queda definida en el Catálogo con la siguiente descripción genérica:

"Fábrica sin aislamiento".

F 9.1 (0,3994)

F 9.2 (0,3686)

Dicha familia está constituida por tan sólo dos sistemas constructivos, que por su configuración ofrecen una homogeneidad muy considerable. Es por

ello que el coeficiente de varianza propio de esta familia sea el más bajo de todas las familias que integran el Catálogo.

Así pues, comprobamos cómo en función de las características que definen cada una de las familias éstas pueden presentar un grado de heterogeneidad relativamente alto entre los distintos sistemas constructivos que la integran.

Así pues, comprobamos cómo en función de las características que definen cada una de las familias éstas pueden presentar.

13.1.2.- Corrección del ranking por familias tras la consideración de la varianza interna de los valores de los sistemas constructivos incluidos en cada una de las familias

En el epígrafe anterior se constató que las distintas familias de sistemas constructivos del Catálogo poseen unos coeficientes de variación de los valores de los porcentajes de mejora de los sistemas constructivos que las integran (valores tomados como indicadores de su utilidad relativa) que varían entre sí de forma significativa.

En el caso de familias con un coeficiente de variación elevado, resulta difícil asegurar que cualquiera de los sistemas constructivos incluidos en la misma posea un grado de utilidad objetiva similar al medio de su familia.

Así pues, se entiende necesaria una corrección del ranking establecido entre las familias que atienda a la fiabilidad de su valoración relativa derivada del grado de heterogeneidad de los sistemas constructivos que las integra, grado de heterogeneidad que se manifiesta en la varianza de los valores que adoptan los distintos sistemas constructivos incluidos en las mismas.

Para introducir esta corrección, se ha procedido a multiplicar los valores que se han adoptado como indicadores del grado de utilidad de cada familia por un coeficiente igual a 1 menos el coeficiente de variación. Se ha estimado de forma previa a su aplicación que el resultado de multiplicar por este coeficiente no debería modificar los valores de utilidad, para la media de las familias, en más de un 20%. Esta limitación deberá contrastarse con los resultados de aplicación de esta corrección propuesta.

Tras la corrección relativa a la varianza interna de los valores de cada familia, el ranking establecido queda expresado en el siguiente listado (se indica entre paréntesis el valor considerado como indicador, y los sistemas constructivos se han ordenado en este ranking de mayor a menor valor):

RANKING POR FAMILIAS (MEDIA DEL PORCENTAJE DE MEJORA DE LOS CRITERIOS RESPECTO DEL VALOR MEDIO PARA LA TOTALIDAD DE SISTEMAS DEL CATÁLOGO)

- **F-13.** Fachada de hormigón visto armado in situ, no ventilada (24,07%).

- **F-12.** Fachada de paneles prefabricados de hormigón, no ventilada (20,76%).
- **F-11.** Fachada de panel sándwich con alma aislante, no ventilada (26,75%)
- **F-3.** Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior (16,83%).
- **F-1.** Fábrica vista, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior (16,29%).
- **F-14.** Fachada de GRC, no ventilada (18,70%).
- **F-4.** Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el exterior (8,42%).
- **F-9.** Fábrica sin aislamiento (0,00%).
- **F-2.** Fábrica vista, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior (-1,65%).
- **F-5.** Fábrica con revestimiento continuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior (-13,19%).
- **F-6.** Fábrica con revestimiento discontinuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior (-14,78%).
- **F-8.** Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el exterior (-33,65%).
- **F-15.** Fachada de entramado estructural de madera, con cámara de aire no ventilada (-35,47%).
- **F-7.** Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior (-29,56%).
- **F-10.** Fachada ligera ventilada (-36,75%).

Se adjunta un fichero que incluye las características más relevantes de cada una de las familias, fichero ordenado según el ranking corregido anteriormente expuesto. Las fichas correspondientes a cada una de las familias incluyen los siguientes campos:

- Número de orden del ranking
- Denominación y descripción de la familia (según texto literal del Catálogo)
- Sección constructiva del sistema constructivo perteneciente a la familia en cuestión con el mayor valor del "área espiral", según la representación gráfica del propio Catálogo)

- Gráfico radial en el que se representa el porcentaje de mejora que se produce, en su caso, para cada criterio, respecto de la media de la totalidad de sistemas constructivos considerados⁵⁵.
- Leyenda: Se indica en esta fila la leyenda de los siete criterios de valoración empleados, que ilustra el gráfico radial.
- Características: Diagnóstico somero sobre el grado de excelencia de cada familia, con expresión de sus fortalezas y debilidades relativas. También se incluyen los datos de coeficiente de variación de los valores del área de la representación espiral de los sistemas incluidos en cada familia, y del tanto por ciento de incremento sobre la media de los coeficientes de variación para la totalidad de los sistemas constructivos del Catálogo.
- Observaciones: Observaciones particulares sobre la cualidades constructivas particulares de cada familia.

Como se podrá apreciar, se han señalado con un fondo azul aquellos coeficientes de variación presentan un valor positivo y en fondo naranja los que presentan un valor negativo.

⁵⁵ Se ha optado por la representación radial convencional, dado que el dato cuantitativo que se ha utilizado para el establecimiento del ranking entre familias es el porcentaje medio de mejora respecto de la totalidad de sistemas constructivos. El fondo señalado en color azul representa aquellas familias cuyos valores están por encima de la media, en color sepia los correspondientes a familias con valores inferiores a la media.

GRÁFICO n° 28: Caracterización de las distintas familias

1	<p>F-13. Fachada de hormigón visto armado in situ, no ventilada.</p>			<p>% SOBRE LA MEDIA - F13 (24,07%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: Operacional: C2 – Inercia térmica, C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución y C7 – Costes de mantenimiento</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica y C5 – Coste de ejecución</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 14,56% (+33,67%)</p> <p>Se comprueba cómo el perfil del grado de utilidad de los sistemas incluidos en esta familia coinciden sustancialmente con el de la familia F-12 que figura en el número 2 del ranking</p> <p>El conjunto de criterios sobre lo operacional queda condicionado al empleo de sistemas industrializados de puesta en obra y control del hormigón.</p>		

2	<p>F-12. Fachada de paneles prefabricados de hormigón, no ventilada.</p>			<p>% SOBRE LA MEDIA - F12 (20,76%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica y C5 – Coste de ejecución</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 17,02% (+22,44%)</p> <p>Se comprueba cómo el perfil del grado de utilidad de los sistemas incluidos en esta familia coinciden sustancialmente con el de la familia F-13 que figura en el número 1 del ranking</p>		

Nº	FAMILIA	SECCIÓN	MEJORA (%)
3	F-11. Fachada de panel sándwich con alma aislante, no ventilada.	<p>PS</p> <p>F-11.1</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F11 (26,75%)</p>
	LEYENDA	C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.	
	CARACTERÍSTICAS	FORTALEZAS: C1 – Resistencia térmica ; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución y C6 – Tiempo de ejecución DEBILIDADES: C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico y C7 – Costes de mantenimiento	
	OBSERVACIONES	COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 36,21% (65,03%) La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo realativo al coste y tiempo de ejecución. Por todo lo anterior, se recomienda un una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia.	
4	F-3. Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior.	<p>RE BC C AT LH RI</p> <p>F-3.26</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F3 (16,83%)</p>
	LEYENDA	C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.	
	CARACTERÍSTICAS	FORTALEZAS: C2 – Inercia térmica; C5 – Coste de ejecución y C7 – Costes de mantenimiento DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre y C6 – Tiempo de ejecución	
	OBSERVACIONES	COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 17,09% (+22,13%) La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas para aquellos elementos que no presenten cámara en su secuencia constructiva. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo realativo al coste y tiempo de ejecución. Por todo lo anterior, se recomienda un una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia.	

5	<p>F-1. Fábrica vista, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior.</p>		<p>F-1.11</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F1 (16,29%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C2 – Inercia térmica; C5 – Coste de ejecución y C7 – Costes de mantenimiento</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre y C6 – Tiempo de ejecución</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 18,60% (+15,26%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas para aquellos elementos que no presenten cámara en su secuencia constructiva. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda un una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia.</p>		
6	<p>F-4. Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el exterior.</p>		<p>F-4.6</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F4 (8,42%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución y C7 – Costes de mantenimiento</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico y C4 – Grado de Certidumbre</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 12,04% (+45,11%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas para aquellos elementos que no presenten cámara en su secuencia constructiva. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda un una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia.</p>		

7	F-9. Fábrica sin aislamiento.
	LEYENDA	C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.		
	CARACTERÍSTICAS	FORTALEZAS: C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre		
	OBSERVACIONES	COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 4,01% (+81,73%) La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución. Por todo lo anterior, se recomienda una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia.		
8	F-14. Fachada de GRC, no ventilada.
	LEYENDA	C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.		
	CARACTERÍSTICAS	FORTALEZAS: C1 – Resistencia térmica; C4 – Grado de Certidumbre y C6 – Tiempo de ejecución DEBILIDADES: C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C5 – Coste de ejecución y C7 – Costes de mantenimiento.		
	OBSERVACIONES	COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 45,02% (-105,16%)		

9	<p>F-2. Fábrica vista, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior.</p>		<p>F-2.4</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F2 (-1,65)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C3 – Aislamiento acústico; C5 – Coste de ejecución y C7 – Costes de mantenimiento.</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C4 – Grado de Certidumbre y C6 – Tiempo de ejecución</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 40,00% (-82,29%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda una consulta pormenorizada del repertorio completo de sistemas constructivos incluidos en la familia.</p>		
10	<p>F-6. Fábrica con revestimiento discontinuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior.</p>		<p>F-6.6</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F6 (-14,78%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C2 – Inercia térmica y C3 – Aislamiento acústico</p> <p>DEBILIDADES: C2 – Inercia térmica; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 28,84% (-31,42%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas para aquellos elementos que no presenten cámara en su secuencia constructiva. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda una consulta pormenorizada del repertorio completo de sistemas constructivos incluidos en la familia.</p>		

11	<p>F-5. Fábrica con revestimiento continuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior.</p>		<p>F-2.4</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F5 (-13,19%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C3 – Aislamiento acústico; C5 – Coste de ejecución</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C4 – Grado de Certidumbre; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 33,98% (-54,86%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas para aquellos elementos que no presenten cámara en su secuencia constructiva. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia.</p>		

12	<p>F-15. Fachada de entramado estructural de madera, con cámara de aire no ventilada.</p>		<p>F-15.5</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F15 (-35,47%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C4 – Grado de Certidumbre;</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 4,38% (+80,04%)</p>		

13	<p>F-8. Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el exterior.</p>		<p>F-8.6</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F8 (-33,65%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C3 – Aislamiento acústico</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 10,00% (+54,45%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda una consulta pormenorizada del repertorio completode sistemas constructivos incluidos en la familia</p>		
14	<p>F-7. Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior.</p>		<p>F-7.18</p>	<p>% SOBRE LA MEDIA - F7 (-29,56%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>C3 – Aislamiento acústico</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 27,96% (-27,43%)</p>		

15	<p>F-10. Fachada ligera ventilada.</p>			<p>% SOBRE LA MEDIA - F10 (-36,75%)</p>
	LEYENDA	<p>C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C4 – Grado de Certidumbre; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento.</p>		
	CARACTERÍSTICAS	<p>FORTALEZAS: C4 – Grado de Certidumbre</p> <p>DEBILIDADES: C1 – Resistencia térmica; C2 – Inercia térmica; C3 – Aislamiento acústico; C5 – Coste de ejecución; C6 – Tiempo de ejecución; C7 – Costes de mantenimiento</p>		
	OBSERVACIONES	<p>COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 19,45% (+11,35%)</p> <p>La solución de proyecto que desarrolle este modelo podrá necesitar, según los usos determinados, un trasdosado que permita alojar las instalaciones o mejorar las condiciones termico-acústicas. Si esto fuese así, el grado de utilidad se verá mermado, especialmente en lo relativo al coste y tiempo de ejecución.</p> <p>Por todo lo anterior, se recomienda una consulta pormenorizada del repertorio completo de sistemas constructivos incluidos en la familia.</p>		

El ranking del grado de utilidad objetiva de las distintas familias de sistemas constructivos, corregido por la consideración de su grado de variación interna queda expresado en el siguiente gráfico

Gráfico nº 29: Porcentaje de mejora corregido en varianza

13.2.- Conclusiones sobre el análisis comparativo por familias

Como conclusión del diagnóstico realizado, cabe decir que la parametrización ampliada de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo permite comprobar cómo las distintas familias de sistemas incluidas en el Catálogo presentan, con respecto a la totalidad de las mismas, **perfiles diferenciados** en el cumplimiento de los distintos criterios de valoración utilizados, y que **su grado de utilidad objetiva presenta una variabilidad significativa**.

Se constata que las familias constructivas que presentan una mejor posición en el ranking sobre el grado de utilidad objetiva son las familias F-13 y F-12 que constituyen sistemas constructivos pesados y con un alto grado de prefabricación.

CAPÍTULO 14.- SIMULACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALIDACIÓN COMPARATIVA A LA PARAMETRIZACIÓN DEL CATÁLOGO

La parametrización sistemática de la totalidad de los “elementos” constructivos del Catálogo realizada en la Parte II podría servir como soporte para el diseño de una **herramienta de validación comparativa entre sistemas constructivos** de interés para los agentes intervinientes en el diseño de las soluciones constructivas para cerramientos de fachadas, basada en el algoritmo desarrollado y aplicado con resultados significativos en la Parte II de la Tesis.

Dicha herramienta podría incorporarse como documento no normativo, pero sí de carácter instrumental, dentro del corpus doctrinal del CTE, tal y como se desarrollará más adelante.

Para demostrar su viabilidad se ha realizado, con el carácter de simulación, un **ejemplo de aplicación del método de validación comparativa**, en el supuesto de varios decisores que, de entre las diversas alternativas contempladas en el Catálogo, optan por la comparación entre cinco de ellas. Para tal simulación se parte del siguiente supuesto:

- Definición del perfil de tres decisores, que coincidirán con los establecidos en la Parte II de la presente Tesis.
- Cada uno de dichos decisores, contando con la parametrización del Catálogo, durante el proceso de definición de sus proyectos, realizan una preselección de cinco soluciones constructivas que a su entender responden a sus necesidades y expectativas, de entre la totalidad de los sistemas incluidos en el Catálogo
- Sobre la familia de estos cinco sistemas constructivos preseleccionados se aplica la metodología de validación comparativa.
- Para simplificar, y con la intención de que los resultados de selección obtenidos para cada uno de los distintos decisores sean comparables entre sí, se ha optado por que la preselección hipotéticamente realizada por los tres decisores sea la misma para los tres.
- En el supuesto que contemplamos, los decisores preseleccionan **cinco sistemas constructivos**, pertenecientes a las cinco primeras familias de sistemas contempladas en el Catálogo, y en concreto los siguientes sistemas:
 - F.1.1
 - F.2.7
 - F.3.38
 - F.4.9
 - F.5.8

Se aportan las fichas de características y parametrización correspondientes a estos cinco sistemas construidos, de las incluidas en el Anejo IV:

GRÁFICO nº 30: Fichas de características de los cinco sistemas constructivos elegidos.

F 3.38	DESCRIPCIÓN: Placa de yeso laminado. Aislamiento térmico, fibra de vidrio. Cámara de aire no ventilada. Fábrica de bloque de picón. Revestimiento exterior continuo.						
PARÁMETROS	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
	0,3982	0,4157	0,6199	0,3167	0,6039	0,2631	0,5409
F 3.38 ÁREA = 0,5722

F 4.9	DESCRIPCIÓN: Revestimiento interior formado por un enlucido, un enfoscado o un alicatado. Fábrica de bloque de picón. Aislamiento térmico, poliestireno extruido. Revestimiento exterior continuo.						
PARÁMETROS	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
	0,3000	0,2423	0,4238	0,3125	0,6898	0,2680	0,5769
F 4.9 ÁREA = 0,4617

F 5.8	DESCRIPCIÓN: Revestimiento interior formado por enlucido, enfoscado o alicatado. Fábrica de bloque de picón. Aislamiento térmico, fibra de vidrio. Tablero o panel impermeable. Cámara de aire ventilada. Fábrica de bloque de picón. Revestimiento exterior continuo.						
PARÁMETROS	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
	0,3451	0,1862	0,6943	0,2543	0,3642	0,1622	0,0960
F 5.8 ÁREA = 0,2447

La metodología de validación comparativa aplicada es la que quedó descrita en la Parte II de la presente Tesis, habiendo sido comprobada en dicha parte la robustez del método aplicado, para la construcción de la Matriz de dominancia discordante se considerará tan solo un umbral de discordancia $d = \text{media de los valores de la Matriz de Discordancia}$.

Su desarrollo queda descrito en la serie de Tablas números 33 a 48 del Anejo II.

Corrección de la varianza de los valores

En los siguientes gráficos se representan los valores que adquieren los distintos criterios de validación para cada uno de los cinco sistemas constructivos considerados, siendo sus unidades de medida las siguientes: Resistencia térmica ($\text{m}^2 \text{ K /W}$), Inercia térmica (Impedancia térmica [Z] adimensional), Aislamiento acústico (dB), Certidumbre (adimensional, factor de rango), Coste de ejecución ($\text{€}/\text{m}^2$), Tiempo de ejecución (horas/m^2), costes de mantenimiento ($\text{€}/\text{m}^2$).

GRÁFICO nº 31: Valores de los distintos criterios para los cinco sistemas constructivos

En la siguiente tabla se incluyen los datos de varianza, desviación típica y coeficiente de variación correspondientes a cada uno de los criterios, datos que servirán para calcular el valor medio de los coeficientes de variación correspondientes a cada uno de los criterios de validación.

CUADRO nº 27: CÁLCULO DEL VALOR MEDIO DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN.

CRITERIOS	VARIANZA	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	DIFERENCIA	FCV
1	0,0411	0,2027	10,00%	-19,47%	-1,33920
2	42,2364	6,4990	50,41%	20,94%	9,16000
3	182,7733	13,5194	21,04%	-8,44%	-18,39000
4	0,0065	0,0806	13,49%	-15,99%	-0,32430
5	0,0000	0,0029	25,62%	-3,86%	-0,00147
6	0,0092	0,0960	25,51%	-3,96%	-0,05050
7	0,0038	0,0616	60,25%	30,78%	0,10680
SUMA			206,32%		
CRV MEDIO			29,47%		

Cuadro nº 33: Cálculo del valor medio del coeficiente de variación.

Para cada uno de los criterios se ha calculado el valor del factor FCV (Factor de Corrección de Varianza) que sumado a los valores que adquieren los criterios para cada uno de los sistemas constructivos permite que la varianza de los valores de los siete criterios considerados sea igual para los siete criterios considerados.

En los siguientes gráficos se representan los valores resultantes de dicha suma de los valores originales de los distintos parámetros más el valor del factor FCV.

En el caso de que el valor de FCV sea positivo, dicho valor, en color más oscuro, se representa por encima del eje de abscisas; en caso de que sea negativo, por debajo. En ambos casos, la altura de las columnas de color claro representan el valor corregido por la aplicación del método de corrección propuesto, siendo sus unidades de medida las siguientes: Resistencia térmica ($\text{m}^2 \text{ K} / \text{W}$), Inercia térmica (Impedancia térmica $[Z]$ adimensional), Aislamiento acústico (dB), Certidumbre (adimensional, factor de rango), Coste de ejecución ($\text{€}/\text{m}^2$), Tiempo de ejecución (horas/m^2), costes de mantenimiento ($\text{€}/\text{m}^2$).

GRÁFICO nº 32: Valores corregidos por el factor FCV

14.1.- Resultado de la simulación

Como resultado de la aplicación de la metodología de validación comparativa a los supuestos considerados, se obtienen los grafos ELECTRE y los Ranking de alternativas que se muestran en los siguientes gráficos:

DECISOR 1

DECISOR 2

DECISOR 3

GRÁFICO nº 33: Grafo ELECTRE para cada uno de los tres decisores

Se ha realizado el gráfico del denominado **Núcleo del grafo ELECTRE**, y se comprueba cómo para los tres decisores el núcleo está compuesto por los sistemas 3 y 4.

DECISOR 1

DECISOR 2

DECISOR 3

GRÁFICO nº 34: Núcleo del grafo ELECTRE para cada uno de los tres decisores

14.2.- Ranking de alternativas para los tres decisores considerados

Como resultado de la aplicación del Método de Decisión Multicriterio aplicado, se obtiene el ranking de prevalencia entre los cinco sistemas constructivos preseleccionados por los tres hipotéticos decisores.

Su resultado es que se muestra en los siguientes gráficos:

I. Calidad	Alternativas
3	3
2	4
-1	1,2
-3	5

I. Calidad	Alternativas
3	3
2	4
0	1
-2	2
-3	5

I. Calidad	Alternativas
3	3
2	4
-1	5
-2	1,2

Por último, se ha realizado el gráfico de la suma de los valores correspondientes a los tres decisores.

GRÁFICO nº 35: Ranking de alternativas por decisores.

Como conclusión de los procesos de parametrización realizados, se concluye lo siguiente⁵⁶:

- La parametrización realizada permite la introducción de información no contenida en el Catálogo que se considera relevante, así como necesaria par a la aplicación del sistema de validación comparativa posteriormente realizada.
- La parametrización permite la caracterización de las distintas familias integrantes del Catálogo y una evaluación orientativa del grado de utilidad objetiva de dichas familias.
- Para tener constancia del perfil de utilidad objetiva de las distintas familias se han realizados fichas de características de cada una de ellas.
- Se ha constatado el alto grado de utilidad objetiva de las familias de sistemas de fachadas pesadas y con alto grado de prefabricación.
- La aplicación del método de validación comparativa desarrollado en la Parte II a cinco de los sistemas constructivos del Catálogo ofrece resultados significativos y un suficiente grado de consistencia.

⁵⁶ Las presentes conclusiones expuestas aquí de forma resumida se desarrollan en el epígrafe 19.2

CAPÍTULO 15.- SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PROPUESTOS COMO SÍNTESIS Y MEJORA DERIVADA DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE FAMILIAS

El análisis comparativo realizado entre las distintas familias ha arrojado como resultado la prevalencia de las familias 12 y 13, definidas genéricamente por el Catálogo de la siguiente forma:

- F 12: Fachada de paneles prefabricados de hormigón, no ventilada
- F 13: Fachada de hormigón visto armado in situ, no ventilada

No obstante, pese a presentar ventajas notables en aspectos como el grado de certidumbre, el tiempo de ejecución o los costes de mantenimiento, los sistemas constructivos pertenecientes a estas dos familias presentan debilidades en otros aspectos, tal como expresan los gráficos radiales realizados:

F-12:

F-13:

GRÁFICO nº 36: Mejora de los valores de las familias F-12 y F-13 sobre los valores medios del Catálogo

Considerando el alto grado de utilidad de estas familias se proponen mejoras en los sistemas constructivos que las constituyen y que tiendan a corregir dichas debilidades.

Se ha utilizado como herramienta el algoritmo propuesto en la presente tesis para diseñar dos sistemas constructivos, tomando como punto de partida de su diseño dos sistemas constructivos con un alto grado de utilidad, mejorando sus condiciones de cumplimiento prestacional.

A tal efecto, se han diseñado dos sistemas constructivos, uno de fachada no ventilada como síntesis de las propiedades de las dos familias anteriores y otro de fachada ventilada como contraposición al primero, considerando que entre ambos vienen a resolver la mayor parte de los requerimientos técnicos y compositivos que se demandarían por la mayor parte de los proyectistas. **La primera como respuesta a una arquitectura de apariencia masiva; la segunda a una arquitectura de expresión modular.**

El propósito del diseño de ambos sistemas es mejorar las características genéricas de sus familias de procedencia, en corrección de sus debilidades, en especial en lo relativo a resistencia térmica, inercia térmica o costes de mantenimiento.

Se comprobará si la solución de diseño propuesta como sistema constructivo nº1 supone una mejora de las dos familias de procedencia (F-12 y F-13) por el hecho de que la secuencia constructiva que presenta tal solución invierte la situación del aislamiento (que en las familias de referencia se encuentra al interior) disponiéndolo ahora en el exterior.

Igualmente, se comprobará si la solución de diseño propuesta como sistemas constructivo nº 2 supone una mejora respecto de la tipología de procedencia (Familias 5, 7, 8, 9 y 15 correspondientes a fachadas ventiladas) por el hecho de que presenta una secuencia constructiva ordenada que permitiría un aprovechamiento de las condiciones de inercia térmica del elemento de mayor masividad disponiendo el aislamiento en la cara exterior de éste.

Las hojas interiores en ambas soluciones se ha propuesto que sean idénticas en ambos casos con el objeto de poder comparar sus grados de utilidad relativa. La diferencia entre ambas reside básicamente en la condición de ventilada y no ventilada, respectivamente. Los sistemas diseñados propuestos son los siguientes:

Sistema constructivo nº 1 (nombrado como sistema nº 1 de la serie de doce)

El sistema constructivo nº 1 propuesto está constituido por los siguientes componentes⁵⁷:

- Tabique PLADUR, 76/400 (46) LM foc.

⁵⁷ Dado que el sistema constructivo diseñado no contempla la existencia de cámara de aire (ventilada o no), no es preciso distinguir entre hoja interior y hoja exterior, debiendo ser considerado como un sistema constructivo de un sola capa.

- Panel industrializado de hormigón macizo, de 8 cm. de espesor.
- Sistema BAUMIT open System, sistema SATE de aislamiento por el exterior, cuyos componentes quedan expuestos en la siguiente imagen⁵⁸:

1. Baunit open KlebeSpachtel W. Mortero adhesivo y de refuerzo más transpirable.
2. Baunit open reflect. Panel aislante para fachadas transpirable, sobre la base Eps, de color gris (valor $\mu = 10$), con propiedades termoaislantes mejoradas (valor $\lambda = 0,031$ W/mK) y revestimiento reflecto blanco.
3. Baunit open KlebeSpachtel W como refuerzo y Baunit StarTex, malla de fibra de vidrio.
4. Baunit UniPrimer. Imprimación, para aplicar como tapaporos y adherente para Baunit NanoporTop.
5. Baunit NanoporTop. Revoco mineral, altamente transpirable y autolimpiable. Con photokat y coolpigments.
6. Baunit StarTrack. Anclaje adhesivo que evita puentes térmicos.
7. Accesorios. Con garantía del sistema.

Sistema constructivo nº 2⁵⁹ (nombrado como sistema nº 9 de la serie de doce)

El sistema constructivo nº 2 propuesto está constituido por los siguientes componentes:

- Tabique PLADUR Metal, 59/400 (46), placa de yeso laminado de 13 mm.
- Panel industrializado de hormigón macizo, de 8 cm. de espesor.
- Baunit open reflect. Panel aislante para fachadas transpirable, sobre la base Eps, de color gris (valor $\mu = 10$), con propiedades termoaislantes mejoradas (valor $\lambda = 0,031$ W/mK) y revestimiento reflecto blanco.⁶⁰

⁵⁸ Se ha optado por el dimensionamiento de un panel aislante de EPS (de un espesor de 10 cm.)

⁵⁹ La capa exterior del cerramiento está constituida por el sistema de revestimiento exterior de fachadas ULMA con placas de hormigón polímero, con DIT nº 476/A

⁶⁰ Se ha optado por el dimensionamiento de un panel aislante de EPS (de un espesor de 10 cm.)

- Cámara de aire ventilada
- Placa de fachada de hormigón polímero ULMA, gama *easy*, de 11 mm. de espesor, conductividad 0,033 W/mK, peso 25,93 Kg/m².

Se adjuntan las fichas de características de los dos sistemas propuestos:

GRÁFICO nº 37: Fichas de características de los dos sistemas propuestos

SISTEMA Nº 1																																			
<p>Categoría: Fachada pesada, prefabricada, no ventilada (P-P-NV)</p>																																			
<div> <p>Hoja interior:</p> <p>1 y 2.- Placa de yeso laminado PLADUR (15 mm. cada una)</p> <p>3.- Estructura perfiles acero galvanizado (46 mm) con aislamiento térmico</p> <p>4.- Panel industrializado de hormigón macizo, de 80 mm. de espesor.</p> <p>5.- Sistema BAUMIT open System, sistema SATE de aislamiento por el exterior (100 mm.)</p> <p>6.- Baumit Nanopor Top, revoco mineral (15 mm.)</p> <p>Cámara de aire: Sin cámara de aire</p> </div>																																			
<p>Descripción de la serie constructiva</p> <p>El núcleo portante del cerramiento está constituido por un panel industrializado de hormigón macizo de 80 mm. de espesor anclado mediante soldadura metálica a los forjados de suelo y techo (2.000 Kg/m³)</p> <p>Este panel está trasdosado por un tabique PLADUR 76/400 (46) LM foc constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm., a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) a cuya cara interna se atornillan dos placas PLADUR tipo N de 15 mm. de espesor.</p> <p>Sobre la capa exterior del panel portante se aplica el sistema de aislamiento BAUMIT open System, sistema SATE de aislamiento por el exterior (anteriormente descrito), con un espesor de 100 mm. (20 Kg/m³). Sobre la cara exterior del aislamiento se aplica una capa de revoco mineral Baumit Nanopor Top, con un ancho de 15 mm., con las especificaciones técnicas utillaje y elementos auxiliares prescritos por la marca.</p>																																			
<p>Características</p> <table> <tr> <td rowspan="2">Aislamiento térmico</td><td>Resistencia térmica total (m²K/W)</td><td>4,9690</td></tr> <tr> <td>Resistencia térmica total con superficial (m²K/W)</td><td>5,1390</td></tr> <tr> <td rowspan="3">Inercia térmica</td><td>Capacidad térmica [J/m²K]</td><td>208.080</td></tr> <tr> <td>Inercia térmica (Z)</td><td>100,04</td></tr> <tr> <td>Peso/m2 [kg/m²] total</td><td>208,24</td></tr> <tr> <td>Aislamiento acústico</td><td>Coeeficiente absorción acústica I (db) total</td><td>46,13</td></tr> <tr> <td rowspan="4">Grado de certidumbre</td><td>GCM- Marcado/certificación (media)</td><td>Rango 3,25</td></tr> <tr> <td>GCO - Número operaciones (media)</td><td>Rango 0,10</td></tr> <tr> <td>GCLI (media)</td><td>Rango 4</td></tr> <tr> <td>GCC (media)</td><td>Rango 3</td></tr> <tr> <td>Coste de ejecución</td><td>Coste total (€/m²)</td><td>120,95</td></tr> <tr> <td>Tiempo de ejecución</td><td>Tiempo ejecución total (horas/m²)</td><td>1,97</td></tr> <tr> <td>Coste de mantenimiento</td><td>Coste mantenimiento total (€/m²)</td><td>3,93</td></tr> </table>			Aislamiento térmico	Resistencia térmica total (m ² K/W)	4,9690	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	5,1390	Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	208.080	Inercia térmica (Z)	100,04	Peso/m2 [kg/m ²] total	208,24	Aislamiento acústico	Coeeficiente absorción acústica I (db) total	46,13	Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación (media)	Rango 3,25	GCO - Número operaciones (media)	Rango 0,10	GCLI (media)	Rango 4	GCC (media)	Rango 3	Coste de ejecución	Coste total (€/m ²)	120,95	Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	1,97	Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento total (€/m ²)	3,93
Aislamiento térmico	Resistencia térmica total (m ² K/W)	4,9690																																	
	Resistencia térmica total con superficial (m ² K/W)	5,1390																																	
Inercia térmica	Capacidad térmica [J/m ² K]	208.080																																	
	Inercia térmica (Z)	100,04																																	
	Peso/m2 [kg/m ²] total	208,24																																	
Aislamiento acústico	Coeeficiente absorción acústica I (db) total	46,13																																	
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación (media)	Rango 3,25																																	
	GCO - Número operaciones (media)	Rango 0,10																																	
	GCLI (media)	Rango 4																																	
	GCC (media)	Rango 3																																	
Coste de ejecución	Coste total (€/m ²)	120,95																																	
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución total (horas/m ²)	1,97																																	
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento total (€/m ²)	3,93																																	

SISTEMA Nº 2

Categoría:

Fachada pesada, prefabricada, ventilada (P-P-V)

Hoja interior:

- 1.- Placa de yeso laminado PLADUR (13 mm.)
- 2.- Estructura perfiles acero galvanizado (46 mm) con aislamiento térmico
- 3.- Panel industrializado de hormigón macizo, de 80 mm. de espesor.
- 4.- Sistema BAUMIT open System, sistema SATE de aislamiento por el exterior (100 mm.)
- 5.- Cámara de aire: Con cámara de aire ventilada
- 6.- Placa de hormigón polímero, marca ULMA (11 mm.)

Descripción de la serie constructiva

Fachada ventilada cuyo núcleo portante está constituido por un panel industrializado de hormigón macizo de 80 mm. de espesor anclado mediante soldadura metálica a los forjados de suelo y techo (2.000 Kg/m^3)

Este panel está trasdosado por un tabique PLADUR 59/400 (46) de 59 mm. de espesor, constituido por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado de 46 mm. , a base de Montantes (elementos verticales), separados 400 mm. entre ellos y Canales (elementos horizontales) a cuya cara interna se atornilla una placa PLADUR tipo N de 13 mm. de espesor.

La cámara ventilada que incluye el sistema de fijación tiene un espesor de 40 mm.

La capa exterior está constituida por un Panel STUD- Frame; es un panel de GRC tipo 6, fijado mediante conectores a un bastidor metálico formado por tubos huecos de acero ligero, galvanizado para evitar la corrosión, el panel tiene un espesor de 11 mm., con una superficie máxima por panel de 20 m^2 y un peso de 45 Kg/m^2 .

Características

Aislamiento térmico	Resistencia térmica total ($\text{m}^2\text{K/W}$)	4,4092
	Resistencia térmica total con superficial ($\text{m}^2\text{K/W}$)	4,6642
Inercia térmica	Capacidad térmica [$\text{J/m}^2\text{K}$]	173.740
	Inercia térmica (Z)	68,8751
	Peso/m2 [kg/m^2] total	201,43
Aislamiento acústico	Coefficiente absorción acústica I (db) total	45,60
Grado de certidumbre	GCM- Marcado/certificación (media)	3,50
	GCO - Número operaciones (media)	0,08
	GCLI (media)	3,50
	GCC (media)	3,00
Coste de ejecución	Coste total (€/m^2)	160,41
Tiempo de ejecución	Tiempo ejecución total (horas/ m^2)	1,77
Coste de mantenimiento	Coste mantenimiento total (€/m^2)	5,09

Los sistemas constructivos propuestos, concebidos como mejora sobre los sistemas constructivos pertenecientes a las familias del Catálogo del CTE que aparecen mejor valoradas, se han sometido a un proceso de parametrización y de validación comparativa, para certificar su grado de

utilidad relativa, en relación con los sistemas constructivos “testigo” analizados en la Parte II de la Tesis.

Como expresión del resultado de dicha parametrización se han realizado, para los sistemas constructivos diseñados, los gráficos radiales “espirales” que se adjuntan a continuación:

GRÁFICO nº 38: Representación “espiral” de la parametrización de los doce sistemas constructivos comparados

Para los sistemas diseñados, el área del polígono interior del gráfico radial espiral (expresivo de los valores que adoptan los distintos criterios) adoptan unos valores iguales a 1,4171 para el **Sistema nº1, que es el mayor valor** para la serie de los doce sistemas constructivos comparados entre sí, y 1,0203 para el **Sistema nº 9, que es el tercer mayor valor**.

Los siguientes gráficos de barras representan los valores de dicha serie y el ranking de sistemas en función de dichos valores (en color verde, los sistemas constructivos diseñados):

GRÁFICO nº 39: Valor del área espiral de los sistemas

GRÁFICO nº 40: Ranking del valor del área espiral de los sistemas.

Estos gráficos ponen de manifiesto el **alto grado de utilidad objetiva de los dos sistemas diseñados**, en relación con el resto.

Posteriormente, se ha aplicado el método Electre para la comparación de los dos sistemas constructivos diseñados, con diez de los doce sistemas constructivos descritos en la Parte II (habiendo excluido el primero de ellos y el número 9 para mantener el número total en doce). Los sistemas constructivos 1 y 9 presentan una utilidad subjetiva inmediatamente por debajo de la media, es decir, no se ha prescindido de sistemas constructivos altamente cualificados que hubiesen podido en situación de ventaja con los propuestos, sino que se ha optado por conservar los sistemas más

cualificados para que compitan con los dos sistemas propuestos. Por otra parte, si se hubiese prescindido de los dos sistemas con una utilidad subjetiva menor (sistemas 2 y 4) la preponderancia de los sistemas propuestos habría sido finalmente mayor aún.

En la aplicación del método, se ha considerado la intervención del decisor nº 3, de los descritos en dicha Parte II, que se definía como "Promotor privado de un hospital". El perfil de este decisor quedaba expresado en el peso otorgado por el mismo a los distintos criterios de valoración adoptados, que figuran en el siguiente cuadro:

CRITERIOS		PESOS
1	RESISTENCIA TÉRMICA	0,0806
2	INERCIA TÉRMICA	0,1683
3	ACÚSTICA	0,2815
4	CERTIDUMBRE	0,0864
5	COSTE	0,0404
6	TIEMPO	0,0404
7	MANTENIMIENTO	0,3024

CUADRO nº 34: Pesos de los criterios para el decisor nº 3

De acuerdo con esta tabla, los criterios más valorados por este hipotético decisor son el de **costes de mantenimiento, aislamiento acústico e inercia térmica (por este orden)** y los que menos, coste y tiempo de ejecución. En el diseño de los dos sistemas constructivos, se han privilegiado aquellas soluciones que diesen respuesta de forma preferente a los tres criterios más valorados, constituyendo pues una **solución de diseño personalizada en función del perfil del decisor**.

Como resultado de la aplicación de método Electre, se obtiene el Gráfico ELECTRE que expresa las relaciones de dominancia de unos sistemas respecto de los demás.

GRÁFICO nº 41: Grafo ELECTRE de los doce sistemas constructivos

Por otra parte, en función de dichas relaciones de dominancia (fuerza y debilidad) se establecen los índices de calidad relativa de los sistemas constructivos.

ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS ALTERNATIVAS			
DECISOR Nº 3		d = media	
Sistema	Fuerza	Debilidad	Calidad
S-1	11	0	11
S-2	0	11	-11
S-3	1	6	-5
S-4	1	9	-8
S-5	4	4	0
S-6	2	8	-6
S-7	4	7	-3
S-8	5	3	2
S-9	8	1	7
S-10	6	1	5
S-11	4	1	3
S-12	7	2	5

CUADRO nº 35: Índice de calidad de las alternativas

Estos índices de calidad establecen un ranking entre los doce sistemas constructivos, ranking que queda expresado en la siguiente tabla y representado en el gráfico de barras posterior, en el que se ha señalado en color verde los dos sistemas diseñados, que figuran con la denominación S-1 y S-9).

RÁNKING DE ALTERNATIVAS DECISOR Nº 3 d = media	
ALTERNATIVAS	CALIDAD
S-1	11
S-9	7
S-10 y S-12	5
S-11	3
S-8	2
S-5	0
S-7	-3
S-3	-5
S-6	-6
S-4	-8
S-2	-11

CUADRO nº 36: Ranking de alternativas

GRÁFICO nº 42: Ranking de los doce sistemas constructivos

Hay que decir que para la definición final de ciertos aspectos del diseño de los sistemas constructivos propuestos como mejora, tales como el dimensionamiento de los espesores del panel de hormigón o del aislamiento, se ha procedido de forma iterativa, modificando sus valores y comprobando, mediante la aplicación de la herramienta, el efecto de dichas modificaciones sobre el índice de calidad y la posición de los sistemas constructivos diseñados en el ranking de sistemas constructivos elegidos como testigos comparativos de su grado de utilidad subjetiva.

La posibilidad de utilización de la herramienta propuesta en el proceso de diseño resulta posible por su grado de interactividad y de automatismo.

La realización de este ejercicio de diseño de un sistema constructivo específico, que responde a los requerimientos de un decisor concreto, viene a demostrar, así pues, la utilidad de la herramienta propuesta en su aplicación a los procesos de diseño de los sistemas constructivos.

Por último, hay que considerar que la utilización de la herramienta predefinida en la presente Tesis permitiría a su usuario (promotor,

arquitecto, usuario final, etc.) una autocertificación que le permitiese establecer de forma racional su grado de utilidad subjetiva, en comparación con una serie de sistemas testigo.

PARTE IV: INNOVACIONES REALIZADAS

En base al proceso de investigación y a los diagnósticos obtenidos como resultado del trabajo de investigación desarrollado en la presente Tesis, se han desarrollado una serie de innovaciones de diverso tipo y alcance, que se exponen a continuación.

De entre estas innovaciones, hay que distinguir entre aquéllas que suponen una mejora sobre los métodos de análisis comúnmente utilizados, a las que denominamos “innovaciones metodológicas” y aquéllas otras que consisten en la implementación de nuevos instrumentos de validación o de medidas de carácter administrativo o normativo que vienen a dar respuesta a problemáticas detectadas en el proceso de análisis realizado.

CAPÍTULO 16.- INNOVACIONES METODOLÓGICAS

En este subcapítulo se describen, de forma somera las innovaciones metodológicas propuestas como mejora en relación con los métodos convencionalmente utilizados.

16.1 Método de representación de los criterios según un esquema radial, para la homogeneización de su valor de superficie

La innovación metodológica propuesta está descrita y justificada de forma exhaustiva en el epígrafe 8.4.2. de la presente Tesis.

La innovación consiste en la implementación de un método por el cual la representación canónica en un gráfico radial de los valores de los criterios de parametrización considerados pudiese arrojar un valor cuantitativo (el valor del área del polígono interior representativo de dichos valores) que sirviese como indicador de su grado relativo de utilidad; más allá del valor meramente intuitivo que posee la representación gráfica que le sirve de soporte.

Dicho valor del área del polígono representativo de los valores que adoptan los criterios, según la disposición convencional de los valores sobre los ejes, no resulta significativo del grado de utilidad relativo de las alternativas consideradas entre sí. La disposición convencional de los valores consiste en ordenar los ejes, en su aplicación a los distintos sistemas alternativos analizados, siempre según el orden correlativo de los criterios.

Según esta disposición se produce una distorsión metodológica que impide que el valor del área del polígono sea representativo del grado relativo de utilidad de los distintos sistemas analizados, tal y como queda demostrado en el citado epígrafe 8.4.2.

Para evitar la distorsión de valor descubierta, se propone la aplicación, a todas las alternativas (sistemas constructivos) que se van a analizar, de una misma ordenación de sus valores de mayor a menor sobre el gráfico radial. Esta disposición ordenada de valores, que adopta una forma que denominamos "espiral", elimina la distorsión descubierta, de tal modo que, en su virtud, la medición de la superficie del polígono resultante viene a ser expresiva en forma proporcional del grado de utilidad de cada uno de los sistemas constructivos analizados, con respecto a los demás.

REPRESENTACIÓN CONVENCIONAL

REPRESENTACIÓN "ESPIRAL"

GRÁFICO nº 43: Representación convencional y radial de los valores

16.2.- Método para la eliminación de la incidencia de la varianza de la serie de valores correspondientes a cada criterio en la aplicación del método de validación comparativa

La segunda innovación metodológica propuesta está descrita y justificada de forma exhaustiva en el capítulo 3 del Anejo 1.

La innovación consiste en el desarrollo de un método que permite eliminar la distorsión que puede provocar la existencia circunstancial de una varianza de los valores adoptados por los sistemas constructivos alternativos considerados para los distintos criterios, coeficientes de variación que fuesen muy distintos para los distintos criterios.

Se parte de la constatación de que en el caso concreto analizado en la Parte II se produce efectivamente esta circunstancia de existencia de valores de varianza y coeficientes de variación muy distintos para los distintos criterios, cual es la apreciada en el caso concreto de estudio, según se aprecia en el siguiente gráfico:

GRÁFICO nº 44: Coeficientes de variación por criterios

El método propuesto para conseguir que la varianza de las series de valores de Parametrización de los distintos criterios de valoración sea la misma consiste en sumar linealmente a los valores de los distintos sistemas estudiados correspondientes a un criterio determinado, un valor tal que permita que el coeficiente de variación de la serie de valores sea igual a un valor dado igual para todos los criterios considerados; a este valor se le ha denominado **Factor de Corrección de la Varianza (FCV)**.

El resultado de sumar a los valores adoptados por este criterio su correspondiente coeficiente FCV, proporciona los que hemos venido a denominar "*valores corregidos en varianza*", valores que quedan representados en el siguiente gráfico:

GRÁFICO nº 45: Ejemplo de representación de los valores de un criterio "corregidos en varianza"

La corrección metodológica propuesta, cuyo origen proviene de una reflexión sobre el caso concreto de análisis que es objeto de la presente Tesis Doctoral, entendemos que resulta aplicable a entornos de análisis similares.

CAPÍTULO 17.- INNOVACIONES INSTRUMENTALES

Junto a las innovaciones metodológicas descritas en el Capítulo anterior, se han previsto en el proceso de desarrollo de la presente Tesis una serie de innovaciones de carácter instrumental y propositivo, sometidas sin duda al impulso necesario de una concreción posterior, innovaciones que aunque avanzadas en su propósito fundamental, quedan descritas en la Parte IV de la presente Tesis, con el carácter de líneas de desarrollo de lo propuesto.

Se procede a la descripción de estas propuestas de innovación.

17.1.- PROPUESTA DE VALIDACIÓN DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DEL CATÁLOGO

El actual método de acceso a la información sobre el Catálogo de soluciones constructivas del CTE accesible desde la red de internet, pese a ser interactivo, presenta para el usuario la dificultad de no permitirle disponer de una visión panorámica o global de las soluciones disponibles, como la que la antigua versión podía proporcionar de forma fácil y asequible, mediante la simple consulta del fichero completo “en papel” del contenido completo del Catálogo.

Por el contrario, la actual versión de acceso a la información del contenido del Catálogo, pese a su carácter interactivo con el usuario, permite a éste la información sobre las características de un sistema constructivo previamente elegido por el mismo.

Por otra parte, la parametrización de los sistemas constructivos del Catálogo se reduce a la expresión de aquéllos parámetros ligados al cumplimiento de las exigencias prestacionales del CTE. Esta parametrización, sin embargo, no contiene datos relevantes para la elección de un sistema constructivo concreto en relación con otros alternativos; datos como los relativos al coste y tiempo de ejecución, fiabilidad de su puesta en obra, costes de mantenimiento posterior, etc.

La consideración de estos parámetros complementarios, sin embargo, resulta relevante en los procesos de decisión sobre el diseño de los proyectos de edificación concretos por parte de los agentes intervinientes en las actuaciones de edificación; proyectistas, promotores y usuarios finales.

La presente Tesis ha incorporado una parametrización de los sistemas constructivos del Catálogo que permite la consideración de estos parámetros añadidos.

Finalmente, la parametrización sistemática de la totalidad de los “elementos” constructivos del Catálogo, entendimos que podría servir como soporte para el diseño de una **herramienta de validación comparativa**

entre sistemas constructivos de interés para los agentes intervinientes en el diseño de las soluciones constructivas para cerramientos de fachadas.

Dicha herramienta, entendemos que podría incorporarse como documento no normativo, pero sí de carácter instrumental, dentro del corpus del CTE, que no sólo tiene carácter normativo, sino que de hecho, y es ésta una de sus virtudes, posee un cierto carácter *doctrinal* para los profesionales del mundo de la construcción.

A tal efecto, y a título de ejemplo, se ha realizado un **caso de aplicación del método de validación comparativa**, en el supuesto de varios decisores que de entre las diversas alternativas contempladas en el Catálogo, optan por la comparación de entre cinco de ellas (Capítulo 14 de la presente Tesis).

Una vez realizado este ejercicio de aplicación del método, se ha comprobado su validez instrumental, como prerequisite para su implementación práctica, que constituye un objetivo final de la tesis, más allá de la labor descriptiva y analítica desarrollada.

Como desarrollo del trabajo de investigación realizado, se propone la implementación de las aplicaciones que permitan al usuario un acceso directo y fácilmente operativo a los diagnósticos ofrecidos por la metodología desarrollada.

El interés de la aplicación del método propuesto de validación comparativa resulta particularmente adecuado al caso de edificaciones que no presenten especiales valores de singularidad.

Pues en efecto, en el caso de edificaciones singulares, en los que la obtención de un efecto singular de imagen, la adopción de un sistema constructivo concreto en función de sus cualidades plásticas, puede resultar determinante y por así decir apriorísticas.

El método planteado se ofrece como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en los procesos de diseño, tanto en el marco del estudio de arquitectura, donde el decisor es el profesional del diseño sujeto en cualquier caso a una serie de restricciones externas, como, sobre todo en el caso de que en dicho proceso de diseño entendido como dinámica iterativa de decisiones, se produce la intervención de diversos agentes con capacidad de decisión, tales como propietarios, empresas aseguradoras, usuarios finales de la edificación, etc.

Si por un lado la herramienta a desarrollar deberá permitir determinar el grado de utilidad subjetiva de entre una serie discreta de sistemas constructivos de los incluidos en el Catálogo del CTE, podría pensarse en la posibilidad de que también pudiese servir a un proyectista para comprobar el grado de utilidad de un sistema constructivo novedoso diseñado por él mismo y no incluido en el Catálogo, por comparación con una serie de sistemas preseleccionados pertenecientes al Catálogo.

El diseño de dos sistemas de cerramiento planteados como mejora de los pertenecientes a las dos familias mejor cualificadas de entre las quince familias del Catálogo del CTE, diseño personalizado con ayuda de la herramienta desarrollada, que se desarrolla en el capítulo 5 de la Parte IV, constituye un ejemplo de la potencialidad que dicha herramienta supone en los procesos de diseño.

Para cumplir con las finalidades señaladas, la herramienta propuesta debería incorporar las siguientes utilidades:

- Una plantilla que permita incluir la parametrización del sistema constructivo diseñado en base a los criterios establecidos por la herramienta.
- Una plantilla que permita establecer los pesos relativos que adquieren los distintos criterios en función del proyecto concreto al que se destina el diseño a evaluar.
- Una aplicación que permita incorporar dichas plantillas personalizadas para el caso concreto al método de validación comparativa establecido con carácter general para los sistemas constructivos del Catálogo.
-

El desarrollo de esta utilidad permitirá al proyectista contar con una especie de **autocertificación** para su propio uso que le permita determinar la validez comparativa de su solución para dar respuesta a los requerimientos concretos de su proyecto.

Así pues, si por un lado la herramienta a desarrollar deberá permitir determinar el grado de utilidad subjetiva de entre una serie discreta de sistemas constructivos de los incluidos en el Catálogo del CTE, podría pensarse en la posibilidad de que también pudiese servir al proyectista para comprobar el grado de utilidad de un sistema constructivo novedoso diseñado por él mismo y no incluido en el Catálogo, por comparación con una serie de sistemas preseleccionados pertenecientes al Catálogo

17.2.- PROPUESTA DE NUEVA REGULACIÓN NORMATIVA DE LA INNOVACIÓN

Vista la tímida acogida que ha tenido el desarrollo del CTE por parte del sector de la construcción, mediante los mecanismos previstos en la misma para la incorporación al cuerpo normativo de las innovaciones técnicas, entendemos que resulta interesante analizar las causas del escaso desarrollo normativo realizado hasta la fecha, y plantear la propuesta de nuevos métodos de validación de sistemas con efectos prácticos.

La Tesis propone la introducción en el campo de la definición normativa surgida de la aplicación del CTE, de **nuevas figuras normativas** que permitan la constitución de una biblioteca de soluciones constructivas que amplíe la actualmente existente, en la línea de incorporar la experiencia

profesional concreta como un marco referencial coordinado con la normativa de aplicación, tal como se expresa en la exposición de motivos del CTE.

La Tesis propone la introducción en el campo de la definición normativa surgida de la aplicación del CTE, de **nuevas figuras normativas** que permitan la incorporación de sistemas constructivos novedosos experimentados en el campo profesional de la práctica de la construcción.

Esta propuesta coincide en espíritu y en propósito con la realizada por el arquitecto Ignacio Miguel San Ginés (2010) en relación con la impermeabilización de las cubiertas⁶¹:

"Sin menoscabo de la promoción de la investigación y del progreso tecnológico que pretende alentar el CTE, es necesaria una estandarización y una tipificación de soluciones que interprete con sencillez las tablas y matizaciones del Catálogo de elementos Constructivos del CTE.

Para ello, proponemos la composición de un Manual de sistemas de impermeabilización.

Creemos que la utilización del Manual de sistemas de impermeabilización promoverá la mejora del proceso general del proyecto y construcción de las impermeabilizaciones."

La propuesta de San Ginés, si bien circunscrita a la particularidad de las impermeabilizaciones de cubiertas parte del mismo diagnóstico realizado en la presente Tesis. Los dos objetivos del manual propuesto por San Ginés son los siguientes⁶²:

"2.1. Se propone presentar los sistemas tipificados entre los colectivos interesados (colegios profesionales y asociaciones de constructores) para lograr un conocimiento común de los mismos y las ventajas inherentes.

2.2. Esta divulgación también puede servir para presentar ante los citados colectivos a las empresas especializadas en la ejecución de impermeabilizaciones con láminas asfálticas y para facilitar la consecución de contratos de obra."

Con respecto de esta propuesta, la que aquí se realiza aporta lo siguiente:

- La posibilidad de extender el objeto del nuevo instrumento normativo a la totalidad de la secuencia del sistema constructivo.
- La incorporación una serie más completa de criterios de utilidad

⁶¹ SAN GINÉS GARRIDO, Ignacio Miguel: "El "Cubo Rubik" (CTE) vs. – manual de sistemas. En: Obras Urbanas, diciembre de 2010, pág.56.

⁶² Id. Anterior, pág. 57.

- La aplicación de la herramienta de ayuda a la decisión multicriterio desarrollada en la presente Tesis
- Todo ello tras haber sido demostrada en el desarrollo de la Tesis, tanto su oportunidad como su viabilidad técnica y la consistencia de los resultados de su aplicación.

Para incentivar el desarrollo y la aplicación nuevos sistemas constructivos no previstos en el Catálogo, se plantea la implementación de un Catálogo complementario al propio del código normativo que viniese a complementar a éste, con la finalidad de incentivar de forma eficaz la incorporación de innovaciones tecnológicas.

Mediante la implementación de este Catálogo complementario propuesto se desarrollaría un **Protocolo de Integración** en el catálogo del CTE para las soluciones que se han venido desarrollando en los últimos años o que respondan a experiencias reseñables.

El requisito inicial para estas incorporaciones sería que los sistemas constructivos hubiesen sido sometidos a la comprobación de los requisitos prestacionales en la fase de redacción de los proyectos de edificación, y que contasen con una constatación de dicho cumplimiento en la obra definitivamente construida.

Los nuevos sistemas constructivos incorporados al cuerpo normativo del Catálogo extendido propuesto deberían estar parametrizados de forma homogénea a los ya incluidos en el Catálogo y parametrizados de forma ampliada para la aplicación de la herramienta propuesta, descrita en el epígrafe anterior.

Estos sistemas constructivos incorporados a esta nueva figura con el carácter de normativa, deberían estar definidos con el nivel de precisión propio del Proyecto de arquitectura, con indicación precisa de sus características dimensionales y de los componentes constructivos, con indicación incluso de la marca de sus fabricantes.

La integración de sistemas constructivos no contemplados en el Catálogo debería suponer un reconocimiento explícito de la autoría del proyectista y de los fabricantes de los componentes constructivos, lo que redundaría en un incentivo comercial para sus proponentes.

17.3.- Propuesta de normativa urbanística compensatoria para muros de gran espesor

En el capítulo en el que se parametrizaban los costes de construcción, se entró a considerar el sobrecoste que supone, para las soluciones constructivas cuyo espesor es superior a la media, el hecho de que dicho espesor se consigue, en el caso de que el Proyecto de Ejecución de la edificación agote la edificabilidad permitida por el planeamiento, a costa de una merma de la superficie útil de la edificación.

Sin que por ello se pretenda privilegiar las soluciones de fachada de gran espesor, se entiende como pertinente la posibilidad de establecer mecanismos que permitiesen compensar la pérdida de superficie útil que implica su empleo en los cerramientos en el caso anteriormente descrito de agotamiento de la edificabilidad por parte del proyecto de ejecución, cual viene a ser el caso más común en la promoción inmobiliaria que tiende a optimizar el aprovechamiento edificatorio permitido por la normativa urbanística, dada la alta repercusión que el coste del suelo supone sobre el producto inmobiliario.

La medida que se propone sería de interés para soluciones como las de fachadas ventiladas u otras que por la propia configuración de su solución técnica requieren un espesor superior al espesor medio necesario para la construcción de sistemas constructivos convencionales. En estos casos, la aplicación de la normativa urbanística supone, de hecho, una penalización económica no prevista, que constituye una carga diferencial respecto a estos sistemas convencionales, lo cual desincentiva la posible extensión de la implantación de otros sistemas constructivos en los actos de edificación más comunes.

El origen de la reflexión que lleva a la formulación de esta propuesta viene inspirado por la experiencia profesional del doctorando (que entendemos común a tantos otros profesionales) según la cual, ante la propuesta de posibles sistemas constructivos de sección superior a la convencional, se encuentra por parte del promotor de la edificación la objeción de la penalización que supone la aplicación de dichos sistemas, por la consiguiente merma de la superficie útil resultante, y por tanto, por la merma en el valor de venta del producto inmobiliario.

Esta penalización ha sido ya advertida en por otros autores⁶³:

Por otra parte, en las construcciones de los centros de negocios de las grandes ciudades, en los que el suelo es muy caro, al ganar unos metros cuadrados de superficie, por disminución de los espesores de los cerramientos, se rentabiliza la construcción.

La propuesta de modificación normativa planteada no parte de un diagnóstico general que mantuviese la idea de que un cerramiento de fachada fuese necesariamente mejor por el simple hecho de que su sección fuese superior a la media. Ello no obstante, la finalidad de la reforma normativa planteada pretende que, como quedó dicho anteriormente, la adopción de sistemas constructivos de gran sección, tanto tradicionales como innovadores, no queden penalizados de hecho por la aplicación de la normativa urbanística.

⁶³ DOMÍNGUEZ, Manuel; GARCÍA, Carmen; ARIAS, José María: *Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase*. Madrid: Instituto del frío CSIC, 2009, pág. 2.

Dado que la regulación de los parámetros de edificabilidad constituyen una determinación urbanística contenida en las Normas Urbanísticas de planeamiento de cada municipio, consideramos que el procedimiento más adecuado para instrumentar la compensación propuesta sería la introducción en el articulado de dichas Normas Urbanísticas de cláusulas que contemplasen de forma explícita este supuesto.

La compensación propuesta sería aplicable a aquellas soluciones constructivas que, a costa de un incremento del espesor del cerramiento, permitiesen una mejora de sus cualidades prestacionales; en especial las relativas a resistencia térmica, inercia térmica y aislamiento acústico.

El mecanismo compensatorio que se propone para corregir la penalización de hecho anteriormente descrita consistiría en considerar como no computable a efectos del cálculo de la superficie construida (y por lo tanto en el cómputo de la edificabilidad) la superficie construida correspondiente al mayor espesor de los muros con respecto de una solución constructiva estándar de referencia, a determinar como tal por la propia normativa urbanística municipal.

La regulación del cómputo de la edificabilidad según el modelo normalmente establecido por la Normativa Urbanística del planeamiento municipal contempla la exención de dicho cómputo de una serie de superficies construidas, tales como conductos para instalaciones, ascensores, soportales, etc.

Exponemos como ejemplo la Normativa urbanística del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid, que establece de forma resumida lo siguiente:

“Artículo 6.5.3. Superficie edificada por planta (N-2)

*Es el área de la proyección horizontal de la superficie comprendida dentro del perímetro exterior de la planta, considerada, **excluidas de ésta las zonas o cuantías que a continuación se enumeran** y las que a estos efectos se establecen en las normas zonales o condiciones particulares de los usos:*

- a) Los soportales, los entresijos, los pasajes de acceso a espacios libres públicos, los patios de parcela que no estén cubiertos, (...)*
- b) Las superficies destinadas a garaje-aparcamiento en ciertas situaciones:*
- c) En plantas baja, bajo rasante y en construcciones por encima de la altura reguladas en el art. 6.6.11, los locales destinados a alojar las instalaciones al servicio del edificio.*
- d) Los espacios destinados a carga y descarga cuando constituyan la dotación fijada como mínima al servicio de los usos del edificio.*

- e) Los locales destinados a albergar centros de transformación de acuerdo con lo determinado en el art. 7.13.8.*
- f) Los grandes conductos o conjuntos de conductos de ventilación o alojamiento de instalaciones con dimensiones superiores a cincuenta (50) decímetros cuadrados.*
- g) Los huecos de aparatos elevadores.*
- h) Los balcones, balconadas y miradores autorizados en la norma zonal de aplicación, o en la ordenanza particular del planeamiento incorporado, específico o de desarrollo del Plan General.*
- i) Los primeros tres (3) metros cuadrados de superficie destinada a terraza-tendedero en cada vivienda, o cuatro (4) si incluye preinstalación de aire acondicionado.*
- j) Los trasteros que cumplan las condiciones señaladas en el art. 7.3.4, apartado d), en categoría de vivienda colectiva.*
- k) Las zonas comunitarias que cumplan las condiciones del art. 7.3.4, apartado e), en la categoría de vivienda colectiva. (...)”*

La propuesta normativa que aquí se plantea consistiría, en este caso concreto, en añadir un nuevo epígrafe i) a la normativa urbanística por el cual quedaría excluido del cómputo de la superficie construida por planta el exceso que supondría la previsión de un muro de espesor superior al espesor medio de referencia.

Entendemos que la legitimidad de esta medida compensatoria viene dada por el hecho de considerar que tales compensaciones no suponen tanto un incremento del volumen aparente de la edificación, sino unos criterios que permitan optimizar los cálculos tradicionales de espacios comunes, que normalmente suponen un importante factor de consumo de edificabilidad.

17.3.1.- Justificación de la viabilidad económica de la modificación normativa

Según lo expresado en el epígrafe anterior, la resistencia a la aplicación de sistemas constructivos alternativos con un mejor grado de cumplimiento prestacional con una sección constructiva mayor de la canónica por parte de los promotores de la edificación vendría dada en primer lugar por la consiguiente merma de la superficie útil de la edificación.

Por otra parte, y por constituir soluciones constructivas más complejas, estos sistemas constructivos conllevan generalmente un mayor coste de construcción, por lo cual su adopción resulta doblemente penalizada.

En el presente epígrafe se justificará la viabilidad económica de la adopción alternativa de estos sistemas constructivos, resultante de la aplicación de la reforma normativa propuesta.

La reforma normativa permite eximir del cómputo de la superficie construida el exceso de la misma producido por la aplicación de sistemas constructivos de un espesor superior al canónico. Esta exención supone, para el promotor de la edificación lo que podría denominarse como una “*bonificación*”, que le permitiría aumentar de hecho la superficie útil de la edificación.

El beneficio económico de esta bonificación se puede cuantificar considerando la repercusión sobre metro cuadrado construido del valor del aprovechamiento urbanístico, derivado en último término del valor del coste del suelo.

Para cuantificar y por tanto verificar la viabilidad económica de esta propuesta normativa, planteamos el ejemplo de su aplicación a una serie de ocho casos concretos correspondientes con otros tantos sistemas constructivos de los contemplados en el Catálogo del CTE, con las siguientes particularidades:

Se han elegido ocho sistemas constructivos para construcción de cerramientos para fachadas cuya sección excede de la considerada como canónica, que es de 27 cm⁶⁴. Entendemos que la consideración de este número de ocho sistemas constructivos adoptados como testigos de la eficacia de la aplicación de la norma debe considerarse como una muestra suficiente.

Los ocho sistemas constructivos considerados están incluidos en el Catálogo de elementos constructivos del CTE. El hecho de que respondan en general a la utilización de materiales de construcción tradicionales, no excluye la posibilidad de la extensión de las conclusiones obtenidas a otros sistemas constructivos innovadores, dado que en lo fundamental dichas conclusiones derivan de la consideración del exceso de sección constructiva y del posible sobre coste sobre la solución canónica considerada como *testigo*.

Para el cálculo del test de viabilidad económica planteado se han considerado las siguientes hipótesis:

- Se ha considerado una altura de cerramiento igual a 2,90 m.
- Se ha estimado una repercusión del coste por metro cuadrado de aprovechamiento urbanístico de 2.000 €/m².

Con estas premisas, se ha realizado el Cuadro nº 28, que se adjunta, en el cual figuran los siguientes datos:

(1) Número de referencia (el sistema constructivo testigo, F 1.2, se ha numerado como 0)

⁶⁴ Para la consideración de este ancho de sección considerada como canónica de referencia, se ha adoptado como referencia el sistema constructivo F 3.1 de los incluidos en el Catálogo de sistemas constructivos del CTE.

- (2) Denominación del sistema constructivo.
- (3) Ancho del sistema constructivo.
- (4) Diferencia entre el ancho del sistema constructivo y el del sistema canónico de referencia (F 1.2)
- (5) Coste de construcción del sistema constructivo por metro cuadrado construido.
- (6) Coste de construcción del sistema constructivo por metro lineal.
- (7) Diferencia entre el coste de construcción del sistema constructivo y el del sistema canónico de referencia (F 1.2)
- (8) Porcentaje de aumento del coste de construcción del sistema constructivo, respecto del sistema canónico de referencia.
- (9) Coste de repercusión del aprovechamiento urbanístico sobre metro cuadrado construido.
- (10) Coste de repercusión del aprovechamiento urbanístico sobre metro lineal de fachada (en relación con el mayor ancho).
- (11) Porcentaje de (10) sobre el coste de ejecución por metro lineal del sistema de referencia.
- (12) Diferencial de costes por metro lineal de fachada resultante de restar al incremento del coste de ejecución por metro lineal de fachada respecto del sistema canónico (7) el coste de repercusión del aprovechamiento urbanístico sobre metro lineal de fachada correspondiente al exceso que supone en planta el sistema constructivo en cuestión respecto del sistema canónico establecido como tal (11).

A continuación de dicha tabla se adjuntan un cuadro en el que figuran las fichas de los distintos sistemas constructivos considerados, en las que se recogen los siguientes datos:

- (1) Coste de ejecución (€/ m.l.)
- (2) Bonificación por aprovechamiento edificatorio (€)
- (3) Incremento de la resistencia térmica (% sobre sistema de referencia)
- (4) Incremento de la inercia térmica (% sobre sistema de referencia)
- (5) Incremento del aislamiento acústico (% sobre sistema de referencia)
- (6) Balance económico: incremento del coste de ejecución menos bonificación (€)

CUADRO nº 28: CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE COSTES POR METRO LINEAL DE FACHADA

SISTEMA		SECCIÓN (mm.)		COSTE CONSTRUCCIÓN				REPERCUSIÓN			DIFERENCIAL DE COSTES €/ML
		SISTEMA	DIFERENCIA CON F 3.1	SISTEMA		DIFERENCIA CON F 3.1		REP €/M2	REP €/M.L.	(%)	
				COSTE €/M2	COSTE €/M.L.	TOTAL	(%)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
0	F 3.1	255	0	81,92	237,57	0,00	0,00%	2.000,00	0,00	0,00%	0,00
1	F 3.6	410	155	104,69	303,60	66,03	27,80%	2.000,00	310,00	130,49%	-243,97
2	F 3.15	380	125	88,25	255,93	18,36	7,73%	2.000,00	250,00	105,23%	-231,64
3	F 3.18	420	165	81,98	237,74	0,17	0,07%	2.000,00	330,00	138,91%	-329,83
4	F 3.26	410	155	87,96	255,08	17,52	7,37%	2.000,00	310,00	130,49%	-292,48
5	F 3.38	340	85	74,52	216,11	-21,46	-9,03%	2.000,00	170,00	71,56%	-191,46
6	F 6.25	400	145	166,84	483,84	246,27	103,66%	2.000,00	290,00	122,07%	-43,73
7	F 6.38	350	95	141,54	410,47	172,90	72,78%	2.000,00	190,00	79,98%	-17,10
8	F 7.20	375	120	195,02	565,56	327,99	138,06%	2.000,00	240,00	101,02%	87,99

COSTE POR METRO LINEAL PARA UNA ALTURA DE 2,60+0,40= 3,00

CUADRO nº 37: Cálculo del diferencial de costes por metro lineal de fachada

GRÁFICO nº 29: Fichas de los sistemas constructivos considerados para la justificación de la viabilidad económica de la modificación normativa.

SISTEMA	SECCIÓN	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		COSTE	BONIFIC.	Δ R. T.	Δ I. T.	Δ ACUS	BALANCE
F 3.1		237,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F 3.6		303,60	310,00	17,24%	135,31%	88,39%	-243,97
F 3.15		255,93	250,00	1,92%	72,30%	17,18%	-231,64
F 3.18		237,74	330,00	6,71%	117,55%	94,79%	-329,83
F 3.26		255,08	310,00	24,91%	156,91%	86,69%	-292,48
F 3.38		216,11	170,00	13,11%	23,56%	54,97%	-191,46

F 6.25		483,84	290,00	17,87%	146,95%	19,54%	-43,73
F 6.38		410,47	190,00	13,28%	35,44%	57,63%	-17,10
F 7.20		565,56	240,00	8,73%	4,31%	65,88%	87,99

A la vista de los datos contenidos en esta tabla, se comprueba que el beneficio económico obtenido por el hecho de incrementar la superficie construida admisible oscila entre un perjuicio de 87,99 €/m.l. correspondientes al sistema F 3.38 y un beneficio de 329,83 €/m. l. para el sistema F 3.18.

Dado que el importe de la "bonificación" propiciada por la aplicación de la innovación normativa propuesta depende proporcionalmente del valor de repercusión sobre metro cuadrado construido del valor del aprovechamiento urbanístico, dicha aplicación será tanto más rentable cuanto mayor sea dicho valor de repercusión.

Así, se ha comprobado que para el caso hipotético que se ha propuesto como testigo de la viabilidad económica de la modificación de la Norma, si se considerase un valor de repercusión igual a $3.000/m^2_c$ frente a los $2.000/m^2_c$ considerados de inicio, se obtendría un incremento medio del valor de la "bonificación" de un 45,29%.

En definitiva, la aplicación de la corrección normativa propuesta presenta una mayor optimización económica cuanto mayor sea el valor de repercusión del suelo.

17.3.2.- Condiciones para la aplicabilidad de la Norma

La finalidad de la reforma normativa propuesta es la de despenalizar la adopción de sistemas constructivos para cerramientos en fachada con un ancho de sección constructiva superior al canónico, para el caso de que

dichos sistemas constructivos propicien un comportamiento prestacional comparativamente mejor.

En consecuencia, con el objeto de garantizar el cumplimiento de dicha finalidad, los sistemas constructivos que se propusiesen para la aplicación de la "bonificación" urbanística propuesta deberían justificar la mejora relativa de dicho comportamiento prestacional.

A título de ejemplo, y para su aplicación al caso concreto que hemos propuesto como testigo para evaluar la viabilidad económica de la propuesta, al sistema constructivo propuesto se le plantearían las siguientes exigencias para la aplicación del grado de excepcionalidad planteado por la reforma normativa propuesta:

- La Resistencia Térmica deberá superar en un 15% la del sistema constructivo de referencia.
- La Inercia Térmica deberá superar en un 30% la del sistema constructivo de referencia.
- El Aislamiento Acústico deberá superar en un 30% la del sistema constructivo de referencia.

El cumplimiento de cada una de estas condiciones permitiría la aplicación del supuesto excepcional planteado por la reforma normativa propuesta.

En el cuadro nº 30 que se adjunta a continuación, quedan incorporados los datos de la mejora prestacional de los distintos sistemas constructivos adoptados como testigo, respecto del sistema constructivo canónico de referencia.

No obstante lo anterior, se plantea la posibilidad hipotética de que aunque la mejora de alguno de los tres parámetros considerados no superase dichos mínimos, si la suma de los incrementos porcentuales de los tres parámetros prestacionales considerados superase el 100% sobre los de referencia, se estimaría la aplicación de dicho supuesto de excepcionalidad.

Para discriminar dicha posibilidad, se ha realizado el cuadro nº 31, en el cual se calcula la suma de los incrementos porcentuales de los tres parámetros considerados.

En función de dicho cálculo, los sistemas constructivos a los cuales sería aplicable el régimen de excepcionalidad propuesto serían los F 3.6, F 3.18, F 3.26, F 3.38, F 6.38 y F 7.20.

SISTEMA		RESISTENCIA TÉRMICA			INERCI A TÉRMICA			AISLAMIENTO ACÚSTICO		
		SISTEMA	DIFERENCIA CON F 3.1		SISTEMA	DIFERENCIA CON F 3.1		SISTEMA	DIFERENCIA CON F 3.1	
			TOTAL	(%)		TOTAL	(%)		TOTAL	(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	F 3.1	2,0877	0,0000	0,00%	17,5656	0,0000	0,00%	47,04	0,00	0,00%
2	F 3.6	2,4477	0,3600	17,24%	41,3339	23,7683	135,31%	88,62	41,58	88,39%
3	F 3.15	2,1277	0,0400	1,92%	30,2653	12,6997	72,30%	55,12	8,08	17,18%
4	F 3.18	2,2277	0,1400	6,71%	38,2144	20,6488	117,55%	91,63	44,59	94,79%
5	F 3.26	2,6077	0,5200	24,91%	45,127	27,5614	156,91%	87,82	40,78	86,69%
6	F 3.38	2,3614	0,2737	13,11%	21,7048	4,1392	23,56%	72,90	25,86	54,97%
7	F 6.25	2,4607	0,3730	17,87%	43,3779	25,8123	146,95%	56,23	9,19	19,54%
8	F 6.38	2,3649	0,2772	13,28%	23,791	6,2254	35,44%	74,15	27,11	57,63%
9	F 7.20	2,27	0,1823	8,73%	18,3222	0,7566	4,31%	78,03	30,99	65,88%

CUADRO nº 38: Cuantificación de la mejora prestacional

SISTEMA		R. TÉRMICA	I. TÉRMICA	ACÚSTICO	TOTAL
1	F 3.1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	F 3.6	17,24%	135,31%	88,39%	240,95%
3	F 3.15	1,92%	72,30%	17,18%	91,39%
4	F 3.18	6,71%	117,55%	94,79%	219,05%
5	F 3.26	24,91%	156,91%	86,69%	268,51%
6	F 3.38	13,11%	23,56%	54,97%	91,65%
7	F 6.25	17,87%	146,95%	19,54%	184,35%
8	F 6.38	13,28%	35,44%	57,63%	106,35%
9	F 7.20	8,73%	4,31%	65,88%	78,92%

CUADRO nº 39: Sistemas para los cuales la norma podría ser aplicable

17.3.3.- Viabilidad económica de la reforma normativa propuesta

En base a lo expresado en los anteriores epígrafes, y por análisis de la aplicación a los casos hipotéticos propuestos, cabe extraer las siguientes conclusiones respecto de la viabilidad económica de la reforma normativa propuesta:

- Por las condiciones de su configuración constructiva, existen sistemas constructivos de ancho de sección superior al considerado como canónico de referencia (a título de ejemplo) que permiten adoptar valores de cumplimiento prestacional superiores a los de dicho sistema canónico.
- Con carácter general, dichos sistemas constructivos tienen un coste de construcción más elevado que el de referencia.
- Pese a ello, también con carácter general, la bonificación económica que se produciría de hecho con la exención del cómputo de la superficie construida del exceso de ocupación por la edificación producido por la mayor sección del cerramiento, compensa económicamente dicho mayor coste de edificación. Así pues, el promotor de la edificación vería amortizado dicho sobrecoste de la edificación, por la simple aplicación de la reforma normativa, sin entrar en otras consideraciones.
- La ventaja para el promotor consistiría en la oferta de una edificación con unas mejores condiciones prestacionales, sin penalización económica para su promoción inmobiliaria.
- El usuario de la edificación tendría la ventaja de las mejoras prestacionales introducidas, especialmente la mejora en el balance energético de la misma.

PARTE V: CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN

Como punto de partida para el desarrollo de la presente Tesis, se mantiene la hipótesis de que, en relación a los cerramientos de la edificación, es posible establecer métodos de evaluación del grado de utilidad de sus correspondientes sistemas constructivos. Tales métodos han de posibilitar, de entre una serie finita de sistemas alternativos, la selección de cuáles son los objetivamente más adecuados para su selección en un entorno de decisión concreto, y han de fundamentar la justificación objetiva de tal decisión.

Tal selección debe poder darse ante un planteamiento abierto que permita la mayor adaptación a la situación concreta (el proyecto) y expresarse en términos de racionalidad constructiva.

Para la verificación de esta hipótesis de partida, se ha procedido a la selección de un conjunto coherente de sistemas de cerramientos de la edificación que pudiesen servir como testigo de su diversidad potencial.

Por otra parte, el Catálogo de Elementos Constructivos incluido como anejo normativo dentro del Código Técnico de la Edificación (CTE) constituye un espacio muestral altamente cualificado por la diversidad de sistemas que presenta para el caso concreto de España. Además de lo anterior, el CTE en su exposición de motivos traza un camino de ampliación de su contenido normativo mediante la incorporación de la experiencia técnica de los agentes intervinientes en el proceso edificatorio.

Dentro de este marco de innovación, teniendo en cuenta la aparición continua de materiales, componentes y sistemas, parece muy interesante contrastar las posibilidades y conveniencia de incorporar los mismos en un futuro que se adivina próximo y, a la vez, ofrecer herramientas que permitan a los agentes intervinientes en el proceso edificatorio, especialmente al proyectista, manejar tal diversidad de información con un grado suficiente de normalización que permita primero la comparación y después la selección.

El desarrollo de la Tesis y sus resultados han posibilitado tanto verificar la posibilidad de implementar los mecanismos previstos en la hipótesis de partida como su realización práctica en el análisis de casos concretos.

La metodología de análisis comparativo propuesta no sólo permite sino que propicia la extensión de su contenido en diversas líneas de actuación. Por un lado, mediante la consideración de nuevos criterios de valoración y, por otro, mediante la incorporación de nuevos sistemas constructivos innovadores.

Por último, hay que decir que en el desarrollo de la investigación realizada, inicialmente de carácter analítico sobre las características constructivas de los diferentes sistemas analizados, se llega a un diagnóstico sobre la oportunidad de complementar los instrumentos previstos por el CTE, tanto para el enriquecimiento de su bagaje documental como para su operatividad en los procesos de toma de decisión.

Así pues, partiendo de una finalidad analítica y en base a los resultados derivados de dicho análisis, la Tesis, avanza en la propuesta de innovaciones metodológicas y normativas que vengan a intervenir de forma proactiva en la resolución de la problemática existente diagnosticada.

Dicho esto, las conclusiones de la Tesis respondiendo a las características de su objeto y a lo variado de su alcance y propósito, son de diverso tipo, tal como quedó dicho anteriormente y se exponen a continuación.

CAPÍTULO 18.- CONCLUSIONES

Como punto de partida para el desarrollo de la presente Tesis, se mantiene la hipótesis de que, en relación a los cerramientos de la edificación, es posible establecer **métodos de evaluación global sobre el grado de utilidad** de sus correspondientes sistemas constructivos. Tales métodos habrían de posibilitar, de entre una serie finita de sistemas alternativos, la cuáles de ellos son los objetivamente más adecuados para su selección en un entorno de decisión concreto, y habrían de permitir fundamentar la justificación objetiva de tal decisión.

En el desarrollo de la tesis, atendiendo a la relevancia de los cerramientos en la definición de la arquitectura construida, se ha instrumentado un procedimiento para la validación de procesos constructivos que incluye tanto los sistemas constructivos a emplear como las condiciones de su puesta en obra en casos concretos, con las condiciones propias de su gestión y promoción.

Paralelamente a esta hipótesis de carácter general, se planteó desde el inicio, la necesidad de comprobación de una hipótesis de partida particular según la cual **los sistemas constructivos basados en la utilización de componentes prefabricados, o procesos de puesta en obra con un alto grado de industrialización, arrojarían valores de utilidad mayores que los sistemas tradicionales basados en la albañilería.**

18.1.- Conclusiones de la aplicación del método de análisis comparativo a doce sistemas constructivos "testigo"

Para la verificación de estas dos hipótesis de partida, se ha procedido inicialmente a la selección de un conjunto coherente de doce sistemas de cerramientos de la edificación que pudiese servir como testigo de su diversidad potencial, para proceder a su valoración comparativa.

El método de valoración propuesto ha entrado a considerar una serie de **factores de diversa índole que no son reducibles a un único parámetro o magnitud** que permitiese una valoración de tipo lineal sobre su idoneidad relativa, ni que permitiese establecer un grado de prelación entre los distintos sistemas constructivos alternativos de manera absoluta.

Para resolver este *tour de force* o desafío metodológico se ha acudido a la aplicación de metodologías de valoración que nos permitiesen establecer de forma racional dicha comparativa. Nos referimos a una serie de metodologías provenientes en primera instancia de las ciencias exactas, que reciben la denominación de métodos de ayuda a la decisión multicriterio, y en concreto el denominado método ELECTRE.

Para establecer el grado de utilidad de cada uno de los sistemas constructivos se han considerado los siete criterios de valoración propuestos de las alternativas correspondientes a los sistemas constructivos.

Los doce sistemas constructivos considerados en una fase inicial de análisis se han parametrizado en base a estos siete criterios de valoración.

Para la aplicación del método ELECTRE se han considerado tres *decisores*, con su perfil diferenciado en cuanto a la valoración preferencial respecto de los distintos criterios.

Los resultados obtenidos en la aplicación del método han permitido finalmente la comprobación de que el perfil de los distintos decisores influye sustancialmente en la determinación del grado de utilidad subjetiva de los sistemas.

Se ha desarrollado un algoritmo para la aplicación del método **ELECTRE**. Como resultado de su aplicación, se ha obtenido, para cada decisor, el denominado gráfico **ELECTRE**, que permite visualizar las relaciones de predominancia o debilidad entre las distintas alternativas.

Por otra parte, y en función de dichas relaciones de fuerza o debilidad se ha realizado un Ranking de alternativas entre los doce sistemas constructivos.

Aplicado el método propuesto, a estos doce sistemas constructivos "testigo", **se constata el mayor grado de utilidad de los sistemas prefabricados, pesados y no ventilados.**

Para la definición de los doce sistemas constructivos considerados se tuvo en cuenta que éstos representasen de forma adecuada las tres categorías establecidas para caracterizar la totalidad de sistemas constructivos posibles; por peso, grado de prefabricación y grado de ventilación.

Se ha realizado un **diagnóstico sobre el grado de utilidad de las distintas categorías de los sistemas constructivos**. Como consecuencia de esta comparativa, se extraen las siguientes conclusiones:

- En relación con el peso del sistema constructivo, **resultan mejor valorados**, independientemente del decisor considerado, **los sistemas pesados**, siendo los peor valorados los ligeros.
- En relación con su grado de prefabricación, **los mejor valorados son los prefabricados**, y los peor valorados, los no prefabricados.
- En relación con su consideración como fachadas ventiladas o no ventiladas, han resultado mejor valoradas las soluciones no ventiladas.

Pese al valor que tales conclusiones puedan significar respecto de los doce sistemas constructivos propuestos para el análisis, las conclusiones finalmente obtenidas en relación con su tipología deben ser en cierto modo relativizadas por el hecho de responder a soluciones particulares. Esta

última reflexión lleva a la propuesta desarrollada en la Parte III cuyas conclusiones que se exponen a continuación.

18.2.- Conclusiones derivadas de la parametrización de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo de elementos constructivos del CTE

Con la intención de que el diagnóstico establecido en la Parte II de la Tesis poseyese un carácter más general, el método de validación comparativa utilizado en su aplicación a los doce sistemas constructivos “testigo” se ha aplicado a la totalidad de los sistemas constructivos del Catálogo de Elementos Constructivos incluido como anejo normativo dentro del Código Técnico de la Edificación (CTE), por entender que éste constituye un espacio muestral altamente cualificado por la diversidad de sistemas que presenta para el caso concreto de España.

Al hilo del análisis realizado en la Parte II de esta Tesis sobre los doce sistemas constructivos “testigo”, se ha realizado un volcado de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo de elementos constructivos del CTE (versión 2010) sobre las dieciocho subcategorías utilizadas en dicha Parte II para caracterizar los sistemas constructivos “testigo”.

Como resultado de este volcado, se ha constatado que **en su mayor parte⁶⁵ los sistemas constructivos del Catálogo pertenecen a sistemas constructivos tradicionales**; ello pese a haberse detectado un progresivo enriquecimiento respecto de la primera versión del Catálogo.

Por el contrario, un total de ocho categorías de las propuestas en la presente Tesis como clasificación tipológica no tienen ninguna representación en el Catálogo.

Comprobada la eficacia del método de validación comparativa entre los doce sistemas constructivos alternativos considerados en la primera fase de nuestra investigación, en una fase posterior se ha planteado la aplicación sistemática del modelo de parametrización aplicado a estos doce sistemas constructivos “testigo” a la totalidad de los sistemas constructivos del Catálogo de elementos constructivos del CTE.

El interés de esta aplicación sistemática del método de análisis al Catálogo, es el de posibilitar una reflexión de carácter general sobre el universo de soluciones contempladas en el mismo, en el entendimiento de que tal visión de conjunto aporta un valor disciplinar necesario para la reflexión sobre la utilidad de los distintos sistemas constructivos.

Por otra parte, y sin pretender que la parametrización propuesta tenga carácter definitivo o no perfectible, entendemos que aporta al contenido del Catálogo la consideración de una serie de parámetros que, yendo más allá

⁶⁵ Un 50,25% de la totalidad responden a la categoría de fachadas pesadas, no prefabricadas y no ventiladas.

de la comprobación del cumplimiento de requisitos prestacionales derivados del CTE, enriquecen el conocimiento de los sistemas constructivos, de forma sistemática, en aspectos no contemplados en la actualidad.

Con esta finalidad, se ha procedido a una parametrización de la totalidad de sistemas constructivos para cerramientos de fachadas incluidos en este Catálogo, que ha permitido una caracterización y una **evaluación del grado de utilidad objetiva**⁶⁶ de cada una de las “familias” de sistemas incluidos en el mismo.

Esta parametrización, en una primera aproximación permite evaluar el grado de **utilidad objetiva**⁶⁷ de los distintos sistemas constructivos de forma comparativa.

Se ha realizado un fichero que incluye la totalidad de los sistemas constructivos del Catálogo, fichero que incluye los valores normalizados de cumplimiento de los siete criterios considerados, la representación radial de los mismos y el valor del área del polígono interior representativo de los mismos, corregida según el método que, como innovación de la presente Tesis, queda expuesto en el epígrafe 8.4.2.

Tal como se expresa en dicho epígrafe, el valor de dicha superficie ofrece de forma intuitiva y de carácter aproximado una referencia sobre el grado de utilidad objetivo relativo del sistema constructivo, en la consideración de los siete criterios de valoración considerados.

A título de ejemplo, se adjunta la ficha correspondiente al sistema F 1.1.

⁶⁶ Según la definición de este concepto que se desarrolla en capítulo de descripción de la metodología

⁶⁷ Según el concepto de *utilidad objetiva* expuesto en la parte de introducción metodológica de la Tesis.

GRÁFICO nº 46: Ejemplo de Ficha de características de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo del CTE

Los parámetros cuyos valores aparecen representados en el cuadro son los siguientes:

- C-1: Valor de la Resistencia térmica
- C-2: Valor de la Impedancia Térmica
- C-3: Valor del aislamiento acústico
- C-4: Valor del grado de certidumbre en la ejecución de la construcción
- C-5: Valor del coste de la construcción
- C-6: Valor del tiempo de ejecución de la construcción
- C-7: Valor de los costes de mantenimiento de la construcción

La parametrización sistemática realizada permite una valoración comparativa del grado de utilidad de las soluciones constructivas pertenecientes a las distintas "familias" que componen el Catálogo, entre sí.

También ha permitido establecer, mediante el cálculo del valor medio que adoptan los parámetros de los sistemas pertenecientes a una misma familia de las establecidas por el Catálogo, una **caracterización comparativa del grado de utilidad de dichas familias**, tanto en lo relativo a cada uno de los parámetros como en una valoración global de sus valores, de carácter indicativo.

En los gráficos realizados, como el que se acompaña a continuación a título de ejemplo, relativo al valor de cumplimiento del criterio de resistencia térmica, quedan representados los valores medios por familias de dicho cumplimiento.

GRÁFICO nº 47: Ejemplo de representación de los valores medios por familias de un criterio

En el cuadro titulado “Porcentaje de incremento sobre los valores medios de cada criterio para cada una de las familias” se incluyen los datos de **incremento del valor de cumplimiento de cada criterio para cada familia respecto de la media de la totalidad de sistemas constructivos del Catálogo.**

Se reproducen a título de ejemplo los resultados correspondientes a las familias F1, F2 y F3:

FAMILIA	CRITERIO	PORCENTAJE	FAMILIA	CRITERIO	PORCENTAJE	FAMILIA	CRITERIO	PORCENTAJE
F1	C7	81,64%	F2	C7	46,34%	F3	C7	56,85%
	C5	26,43%		C3	18,80%		C5	39,72%
	C2	19,85%		C5	17,44%		C2	30,51%
	C3	6,25%		C4	-4,84%		C6	1,49%
	C4	-4,60%		C6	-5,39%		C3	-0,37%
	C1	-4,61%		C1	-14,58%		C1	-1,24%
	C6	-10,90%		C2	-69,32%		C4	-9,09%

CUADRO nº 40: Porcentaje de incremento de los valores medios de cada criterio para cada una de las familias

La parametrización sistemática realizada permite una valoración comparativa del grado de utilidad de las soluciones constructivas pertenecientes a las distintas “familias” que componen el Catálogo, entre sí.

También ha permitido establecer, mediante el cálculo del valor medio que adoptan los parámetros de los sistemas pertenecientes a una misma familia de las establecidas por el Catálogo, una **caracterización comparativa del grado de utilidad de dichas familias**, tanto en lo relativo a cada uno de los parámetros como en una valoración global de sus valores, de carácter indicativo.

Los valores de dicho ranking por familias quedan expresados en el siguiente gráfico:

GRÁFICO nº 48: Ranking de familias por valores medios de las áreas (espiral)

Como conclusión, cabe decir que la parametrización ampliada de los sistemas constructivos incluidos en el Catálogo permite comprobar cómo **las distintas familias de sistemas incluidas en el Catálogo presentan, con respecto a la totalidad de las mismas, perfiles diferenciados** en el cumplimiento de los distintos criterios de valoración utilizados, y que **su grado de utilidad objetiva presenta una variabilidad significativa**.

Por otra parte, y ratificando las conclusiones obtenidas en la Parte II de la Tesis, se ha llegado a la constatación de **la mayor utilidad objetiva que presentan los sistemas constructivos basados en sistemas prefabricados o con un alto grado de industrialización en su puesta en obra**.

18.3.- Conclusiones derivadas de la aplicación del método de análisis comparativo al Catálogo de elementos constructivos del CTE

Una vez realizada una parametrización completa de la totalidad de sistemas constructivos incluidos en el Catálogo, se ha realizado una simulación de aplicación de la metodología de validación desarrollada en la Parte II de la presente Tesis, con el objeto de comprobar su adecuación al caso.

El objeto de esta aplicación es comprobar la viabilidad de la misma, con vistas a la implementación de una herramienta de acceso a la información y ayuda a la decisión aplicable al Catálogo de elementos constructivos del CTE, que se plantea como innovación.

Realizada dicha comprobación, aplicada al caso de tres decisores similares a los considerados en el capítulo 9.4. de la presente Tesis y a cinco sistemas constructivos pertenecientes al Catálogo, se constata que dicha aplicación arroja resultados significativos y coherentes.

Como resultado de la aplicación del Método de Decisión Multicriterio aplicado, se obtiene el ranking de prevalencia entre los cinco sistemas constructivos seleccionados, por los tres hipotéticos decisores.

Como ejemplo de los rankings obtenidos, se adjuntan el gráfico y la tabla correspondientes al decisor nº 1:

Alternativas	I. Calidad
3	3
4	2
2	-1
1 y 5	-2

GRÁFICO nº 49: Ejemplo de ranking obtenido

Como resultado de aplicación del método de análisis comparativo a cinco sistemas constructivos de los pertenecientes al Catálogo de elementos constructivos del CTE, se constata que el resultado final del análisis resulta significativo, y que discrimina sus resultados en función del perfil del decisor.

En conclusión, **el desarrollo de una herramienta de apoyo a la decisión multicriterio aplicada al Catálogo de Elementos constructivos del CTE es técnicamente viable y arroja resultados significativos.**

18.4.- Sistemas constructivos propuestos como síntesis y mejora derivada del análisis comparativo entre familias

El análisis comparativo realizado entre las distintas familias ha arrojado como resultado la prevalencia de las familias 12 y 13, definidas genéricamente por el Catálogo de la siguiente forma:

- F 12: Fachada de paneles prefabricados de hormigón, no ventilada
- F 13: Fachada de hormigón visto armado in situ, no ventilada

Se han diseñado dos sistemas constructivos mediante la aplicación de la herramienta desarrollada, uno de fachada no ventilada como síntesis de las propiedades de las dos familias anteriores y otro de fachada ventilada como contraposición al primero, considerando que entre ambos vienen a resolver la mayor parte de los requerimientos técnicos y compositivos que se demandarían por la mayor parte de los proyectistas. **El primero, como respuesta a una arquitectura de apariencia masiva,**

no ventilada; el segundo, a una arquitectura de expresión modular de fachada ventilada.

Comparados estos dos sistemas constructivos mejorados, se ha comprobado cómo suponen una mejora con respecto las dos familias de procedencia (F-12 y F-13) por el hecho de que la secuencia constructiva que presenta tal solución invierte la situación del aislamiento (que en las familias de referencia se encuentra al interior) disponiéndolo ahora en el exterior.

Estos dos sistemas constructivos “mejorados” se han comparado mediante el método de decisión multicriterio desarrollado en la Parte II con diez de los sistemas constructivos que se comparaban en dicha Parte, para corroborar su alto grado de utilidad relativa.

Se comprueba el **alto grado de utilidad objetiva de los dos sistemas diseñados** en relación con el resto.

Posteriormente, se ha aplicado el método Electre para la comparación de los dos sistemas constructivos diseñados, con diez de los doce sistemas constructivos descritos en la Parte II.

En la aplicación del método, se ha considerado la intervención del decisor nº 3, de los descritos en el epígrafe 9.4.; que se definía como “Promotor privado de un hospital”.

En el diseño de los dos sistemas constructivos, se han privilegiado aquellas soluciones que diesen respuesta de forma preferente a los tres criterios más valorados por dicho decisor, constituyendo pues una **solución de diseño personalizada en función del perfil del decisor**.

Los índices de calidad obtenidos en aplicación del método Electre establecen un ranking entre los doce sistemas constructivos, ranking que queda expresado en la siguiente tabla y representado en el gráfico de barras posterior, en el que se ha señalado en color verde los dos sistemas diseñados, que figuran con la denominación S-1 y S-9.

RÁNKING DE ALTERNATIVAS	
DECISOR Nº 3	d = media
ALTERNATIVAS	CALIDAD
S-1	11
S-9	7
S-10 y S-12	5
S-11	3
S-8	2
S-5	0
S-7	-3
S-3	-5
S-6	-6
S-4	-8
S-2	-11

CUADRO nº 41: Ranking de alternativas

GRÁFICO nº 50: Ranking de utilidad subjetiva para el decisor nº 1

Finalmente, el grafo ELECTRE expresa la predominancia de los sistemas mejorados, el 1 y el 9:

GRÁFICO nº 51: Grafo ELECTRE, con los sistemas mejorados

Se ha realizado el gráfico del núcleo del grafo ELECTRE, y se comprueba cómo el núcleo del grafo está constituido por el sistema 1.

GRÁFICO n° 52: Núcleo del grafo ELECTRE, con los sistemas mejorados

Se comprueba cómo los dos sistemas constructivos diseñados como mejora, ocupan los dos primeros lugares del ranking.

Para la definición final de ciertos aspectos del diseño del sistema constructivo, como el dimensionamiento de los espesores del panel de hormigón o del aislamiento, se ha procedido de forma iterativa, modificando sus valores y comprobando, mediante la aplicación del algoritmo, el efecto de dichas modificaciones sobre el índice de calidad y la posición en el ranking de sistemas constructivos elegidos como testigos comparativos de su grado de utilidad subjetiva.

La eficacia de la utilización del algoritmo en el proceso de diseño resulta posible por su grado de interactividad y de automatismo.

La realización de este ejercicio de diseño de un sistema constructivo específico, que responde a los requerimientos de un decisor concreto **viene a demostrar**, así pues, **la utilidad del algoritmo propuesto en su aplicación a los procesos de diseño de los sistemas constructivos.**

Por último, hay que considerar que **la utilización del procedimiento predefinido** en la presente Tesis **permitiría** a su usuario (promotor, arquitecto, usuario final, etc.) **una autocertificación** que le permitiese establecer de forma racional su grado de utilidad subjetiva, en la comparación con una serie de sistemas testigo.

El desarrollo de la Tesis y sus resultados han posibilitado tanto verificar la posibilidad de implementar los mecanismos previstos en la hipótesis de partida como su realización práctica en el análisis de casos concretos.

La Tesis avanza en la necesidad de elaboración de herramientas que permitan a los agentes intervinientes en los procesos de diseño y construcción la definición de los sistemas constructivos para cerramientos.

Estas nuevas herramientas permitirían, especialmente al proyectista, manejar la múltiple y diversa información existente y futura relativa a componentes y sistemas con un grado suficiente de normalización que permita primero la comparación entre alternativas posibles y después la selección de la más adecuada en función de sus requerimientos particulares.

Finalmente, **la metodología de análisis comparativo propuesta no sólo permite sino que propicia la extensión futura de su contenido en diversas líneas de actuación**; por un lado, mediante la incorporación de nuevos criterios de valoración y, por otro, mediante la incorporación de nuevos sistemas constructivos innovadores.

El fundamento para el desarrollo de estas herramientas está descrito en el capítulo 17 de la presente Tesis.

18.5.-Reflexión final

Se podría decir que la arquitectura moderna aparece como una consecuencia de la revolución tecnológico- estructural de finales del XIX gracias a la aplicación industrial del hormigón armado y del acero, tecnologías constructivas que permiten el planteamiento de una nueva expresión del espacio interior y de la envolvente del edificio, ambas liberadas compositivamente de la estructura y, por tanto, de la modulación de los componentes clásicos de la fachada (sillares o sus representaciones) y sus proporciones.

Sin embargo, no es hasta finales del siglo XX, momento en el que se produce una segunda revolución en los materiales de aislamiento y revestimiento, cuando se alcanza la posibilidad de materializar soluciones tan eficientes para tales expresiones de la envolvente como lo fueron las que tuvieron lugar en la primera revolución para la configuración estructural de los edificios.

La arquitectura moderna de inicios del siglo XX se alejó del orden compositivo clásico de la fachada basado en la estereotomía real o recreada de las arquitecturas clásicas hacia la formulación de superficies de fachadas sin juntas basadas en la aplicación de revestimientos continuos que dotaban de una mayor abstracción formal a la visión del edificio.

Tal tendencia ha sido considerada como una virtud por muchos autores hasta nuestros días pero paradójicamente en su aplicación a la realidad

tecnológica española han supuesto una contradicción funcional, puesto que ha supuesto una tendencia al dimensionamiento insuficiente de los cerramientos en su sección (liberados de la función estructural) y como consecuencia de ello un déficit que podríamos calificar de endémico de las características del aislamiento térmico/acústico de los cerramientos de la edificación, especialmente deficiente en su comportamiento térmico / energético.

Como complemento a lo anterior, curiosamente, la fachada ventilada, que presenta una mayor ligereza de sus elementos, es la que parece recuperar la referencia más cercana a la modulación de la estereotomía vista de la fachada de la arquitectura clásica, que puede considerarse en ocasiones como una virtud dependiendo del entorno y la tendencia estilística.

Es sólo recientemente, y esta tesis lo ha demostrado, a través de la revolución de los materiales de aislamiento, revestimiento y soporte industrializados, cuando se puede considerar a la envolvente de la edificación con la misma o mayor eficiencia que la que tuvieron las soluciones masivas tradicionales basadas en fábricas de gran sección, pero con un menor coste, dimensión y peso y un aseguramiento mayor de la calidad, de manera que pueda elegirse, por fin, con mucha mayor libertad y asegurando una similar utilidad tanto para el proyecto de fachadas que presenten un aspecto continuo como modular.

CAPÍTULO 19: PROYECCIÓN. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PROPUESTAS EN DESARROLLO DE LA TESIS

Tras el desarrollo de los trabajos que han dado por resultado la presente Tesis Doctoral, y tomando como punto de partida sus conclusiones definitivas, se propone la continuación de la línea de investigación emprendida, a través de una serie de propuestas que se describen a continuación.

19.1.- Incorporación de nuevos criterios de valoración de los sistemas constructivos

En la presente Tesis Doctoral, tanto en la aplicación inicial a los doce sistemas constructivos considerados inicialmente como testigos, como en la posterior aplicación a la totalidad de los incluidos en el Catálogo del CTE, se ha considerado una serie de siete criterios de validación comparativa que estimamos como los más relevantes de cara a la implementación del método de ayuda a la decisión propuesto.

No obstante, e independientemente del hecho de considerar que la consideración de estos siete criterios amplía significativamente la operatividad de la parametrización de los sistemas constructivos, somos conscientes del grado de relativa discrecionalidad de esta propuesta.

También somos conscientes del hecho de que el método de validación comparativa propuesto admite, de forma sencilla, a partir de la base metodológica propuesta en la presente Tesis, la incorporación de otros criterios.

La parametrización que ha sido aplicada hasta aquí no responde sólo al propósito de una descripción más extensa de los sistemas constructivos, sino que está orientada al propósito operativo de la toma de decisión en el proceso de diseño, considerando que se han cumplido los objetivos.

Una de las posibles ampliaciones que de forma más inmediata podrían plantearse en relación con la metodología de análisis implementada en la Tesis, consistiría en incorporar **nuevos criterios de valoración** de los sistemas constructivos no contemplados en nuestro caso.

Así, por ejemplo, en el proceso de parametrización de los sistemas constructivos podrían entrar a considerarse aspectos relacionados con la evaluación de la sostenibilidad de dichos sistemas, como resultantes de un proceso constructivo.

La consideración de estos aspectos viene inspirada (y entendemos que deberá ser exigida en un futuro cercano) por la aplicación de políticas públicas, como la Política de Productos Integrada de la Unión Europea (2001) que plantea la necesidad de "establecer un nuevo paradigma de

crecimiento y una mayor calidad de vida mediante la creación de riqueza y competitividad sobre la base de productos más ecológicos”.

Para la evaluación de la sostenibilidad de los procesos constructivos se han desarrollado en los últimos años metodologías que permiten considerar los diversos aspectos que inciden en dicha sostenibilidad.

De forma simplificada, podríamos decir que los criterios que se deben considerar con la finalidad de evaluar de forma compleja el grado de sostenibilidad de un sistema o un proceso constructivo son:

- En la fase de producción de los materiales o componentes se deberá analizar el coste de las materias primas, el posible impacto ambiental derivado de su adquisición, los costes de producción y la aportación de energía necesaria para la misma.
- En la siguiente fase del proceso de utilización de materiales y componentes, cual es la de la distribución, embalaje y transporte de los materiales o componentes hasta el lugar de su puesta en obra, se deben considerar sus costes y su repercusión medioambiental. En la consideración de esta fase, se evalúan los aportes energéticos necesarios para su propósito.
- Posteriormente se deberán evaluar los costes económicos y energéticos derivados de la puesta en obra de los materiales para su finalidad constructiva.
- El análisis de sostenibilidad valora así mismo los costes de mantenimiento de los componentes a lo largo de su vida útil.
- Por último se evalúan los costes de la demolición, desmontaje, etc. de los materiales, así como la posibilidad de su reciclaje o reutilización.

Para la realización de una evaluación que tenga en cuenta todos estos factores, se ha desarrollado en los últimos años la metodología denominada Análisis de Ciclo de Vida de los materiales (ACV).

Para cada una de las fases que intervienen en la vida útil del material, el Análisis del Ciclo de Vida evaluará los posibles impactos negativos producidos, tanto a nivel local como a nivel global.

La metodología para la realización de estos Análisis del Ciclo de Vida está definida en la norma UNE EN ISO 14040: 2006, que prevé su realización mediante cuatro fases de análisis:

- 1.- Definición de objetivos y alcance del estudio.
- 2.- Análisis de inventario. Recogida de datos, entrada/salida de datos, cuantificación.
- 3.- Evaluación de Impacto ambiental: relevancia de los impactos asociados al producto.

4.- Interpretación de resultados: identificación de las fases más críticas.

El Análisis del Ciclo de Vida puede realizarse referido a tres tipos de horizonte temporal; Cradle to Gate (hasta la puerta de la fábrica), Cradle to grave (de la cuna a la tumba) y Cradle to Cradle (aplicable a productos y materiales para los que se prevé su reciclaje o reutilización al final de su vida útil).

El **desarrollo teórico necesario** para la incorporación de la consideración del Análisis del Ciclo de Vida a la metodología propuesta en la presente Tesis, como un criterio complementario de valoración de los sistemas constructivos para cerramientos, consistiría básicamente en el desarrollo de un método de parametrización que permitiese **sintetizar en un único dato, cuantitativo, cualitativo o de rango, la compleja estructura conceptual y de análisis de los ACV**. Para tal parametrización consideramos altamente eficaz la aplicación de Métodos de Decisión Multicriterio Discreta (DMD) en lo relativo a normalización y ponderación de las magnitudes a considerar.

La incorporación de este nuevo criterio de valoración a los siete criterios considerados en nuestro modelo, estimamos que puede ser especialmente relevante, en ciertos supuestos. Por ejemplo, en el caso de promociones públicas de edificación en cuya definición sean especialmente relevantes los aspectos medioambientales.

La implementación de esta metodología deberá permitir su aplicación a la totalidad de sistemas constructivos considerados en la Tesis y a los nuevos sistemas constructivos que se incorporen con carácter de innovación.

19.2.- Oportunidad de la extensión del método de validación comparativa propuesto a otros elementos constructivos

Comprobada la aplicabilidad y eficacia del método de validación comparativa propuesto a los sistemas de cerramientos para fachadas, se plantea, casi de forma necesaria, su aplicación para el diagnóstico sobre otros sistemas constitutivos de la edificación.

De forma sencilla, y por la similitud de su propósito constructivo y funcional, se podría plantear la extensión del método propuesto para el análisis y validación comparativa de los sistemas constructivos para la resolución de las cubiertas de la edificación.

En este caso, los requerimientos prestacionales asociados a los sistemas para construcción de cubiertas, con respecto a los de cerramientos para fachadas resultan significativamente similares, con lo cual la extensión de la metodología propuesta en la presente Tesis resultaría particularmente oportuna.

Como ejemplo de la aplicación propuesta, y pese a su alcance particular, exponemos como ejemplo de las potencialidades de la misma el trabajo de curso redactado por Belén Gómez Mendiguchía en el marco del Máster Universitario en Construcción y Tecnología Arquitectónicas (MUCTA) impartido en Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid el curso 2013-14, que con el título "Análisis sobre cubiertas vegetales" y bajo la tutela del doctorando, desarrolla un proceso de valoración multicriterio referida a soluciones de "cubiertas vegetales" en su comparativa con sistemas constructivos para cubiertas convencionales.

En dicho trabajo se desarrolla un análisis comparativo entre soluciones constructivas tradicionales para la construcción de cubiertas planas y diversos sistemas constructivos que responden al modelo de cubiertas vegetales, transitables o no.

La aplicabilidad del método utilizado, entendemos que sería oportuna para la valoración comparativa de otros sistemas constructivos que, pese a no compartir con los sistemas de cubierta su similitud con los sistemas de cerramiento, resultaría sin duda operativa. Así por ejemplo, los sistemas de estructuras, particiones interiores de la edificación, instalaciones, etc.

19.3.- Extensión del método de validación comparativa propuesto al análisis y valoración de tipologías edificatorias y morfologías urbanas

Los sistemas constructivos para cerramientos de fachadas de la edificación constituyen un elemento del sistema complejo constituido por la edificación en su conjunto.

Del mismo modo, hay que entender que las edificaciones forman parte del sistema complejo de orden superior que constituye el entramado del fenómeno urbano.

Desde la perspectiva de esta visión global de lo urbanístico, resulta particularmente fecunda la consideración de los aspectos tipológicos de la edificación.

El concepto de tipo edificatorio pertenece a una larga tradición disciplinar que tiene su origen en las reflexiones teóricas desarrolladas en la Ilustración.

Una primera definición de tipo arquitectónico o edificatorio es la expuesta por Quatremère de Quincy (1755-1849) en su Diccionario de arquitectura":

"Se utiliza también como sinónimo de modelo, aunque haya entre ellas una diferencia fácil de comprender. La palabra tipo no presenta tanto la imagen de una cosa a ser copiada o imitada perfectamente, sino la idea de un elemento que debe por sí mismo servir de regla al modelo"

El análisis y la utilización de los conceptos de tipo edificatorio y su relación con la morfología urbana fueron retomados por la denominada Escuela de Venecia en los años ochenta del pasado siglo, propiciando un entendimiento de la ciudad a partir de la arquitectura construida.

Perteneciente a esta escuela, Vittorio Gregotti, en su libro *"El territorio de la Arquitectura"* define el concepto de tipo de la siguiente forma:

- Como modelo de donde extraer copias y esquemas de comportamiento (en cuanto resume los rasgos característicos de un grupo de fenómenos)
- Como conjunto de rasgos característicos cuya inserción en un fenómeno determinado nos permite su clasificación.

Esta escuela reclama el protagonismo de los tipos edificatorios para la configuración de formas urbanas características y reconocibles tanto en sus aspectos espaciales como en los culturales y simbólicos.

En el campo del planeamiento, la tipología edificatoria tiene un carácter operativo, pues es sobre la consideración de la existencia de estos tipos sobre la cual se define el **contenido de la normativa** urbanística a través de Ordenanzas o Normas Zonales, cada una de las cuales, habitualmente se remite en su definición a una determinada tipología.

El método de validación comparativa desarrollado en la presente Tesis para el estudio de sistemas constructivos podría ser aplicado a la comparación entre tipos edificatorios en el marco de la redacción de los procesos de planeamiento, con la finalidad de determinar las ventajas comparativas de unas tipologías con respecto de otras.

Para ello, las distintas tipologías edificatorias alternativas deberían parametrizarse, considerando aspectos como su eficiencia energética, la carga de urbanización asociada, la mayor o menor necesidad de equipamientos, los coeficientes de ocupación del suelo y edificabilidad, accesibilidad desde las redes de transporte público o privado, etc.

En definitiva, la aplicación de métodos basados en el análisis multivariable es susceptible de proporcionar herramientas de manejo de la complejidad inherente a las distintas y relacionadas escalas del diseño y del hecho construido.

19.4.- Desarrollo de la herramienta informática precisa para la aplicación del método propuesto

El desarrollo más inmediato y necesario de la labor de investigación emprendida por la presente Tesis doctoral consistiría en el desarrollo de una herramienta o aplicación informática que permitiese la utilización por parte de un hipotético usuario.

La Tesis ha desarrollado el algoritmo necesario para la aplicación del método propuesto.

Por otra parte, se ha realizado una base de datos que incluye la parametrización de los sistemas constructivos para cerramientos de fachadas contenidos en el Catálogo de elementos constructivos del CTE.

Sobre la base del algoritmo y de dicha base de datos, el desarrollo de la herramienta informática propuesta no ofrecería una gran dificultad en cuanto a su programación. Entendemos sin embargo que la mayor exigencia de cara a su realización consistiría en el cumplimiento del objetivo fundamental de su creación, es decir, **el constituir una aplicación de fácil comprensión y utilización por parte del usuario.**

Por otra parte, y en relación con las líneas de investigación anteriormente propuestas en desarrollo de las conclusiones de la Tesis, la aplicación informática debería tener la capacidad de poder actualizarse sin pérdida de su operatividad.

Se avanza pues la posibilidad de ampliar la base de datos vinculada a la herramienta de validación comparativa propuesta en dos sentidos de desarrollo:

- En primer lugar, el que constituye su principal objetivo; esto es, **ampliar el repertorio de sistemas constructivos** vinculados a una certificación oficial (cuyo contenido normativo y homologación deberá ser establecido por la Administración) de sistemas constructivos novedosos o definidos con un mayor grado de concreción y determinación, por parte de los agentes implicados en la industria de la construcción.
- En segundo lugar, mediante la incorporación progresiva de la consideración de otros parámetros de utilidad no estimados en la presente Tesis pero que sin duda deberían ser considerados en la evolución posterior de su método, tales como los vinculados al ciclo de vida de los materiales o a la huella ecológica de los procesos de fabricación y puesta en obra de los componentes de la edificación.

19.5.- Propuesta de incorporación de métodos de decisión multicriterio al desarrollo de programas de formación técnica en las materias de proyecto arquitectónico

Como se ha comentado anteriormente, durante la elaboración de la Tesis se ha tenido la oportunidad de incorporar la experiencia adquirida por el doctorando a la línea docente del Máster Universitario en Construcción y Tecnología Arquitectónicas (MUCTA) impartido por el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid el curso 2013-14 en el que se incluyó la Asignatura denominada "Parametrización de Sistemas Constructivos mediante la

aplicación de Sistemas de Decisión Multicriterio Discreta” impartida por el propio doctorando.

En el desarrollo práctico de la asignatura, según dinámicas de tipo taller, los distintos grupos de trabajo desarrollaron, de forma personalizada, algoritmos adaptados a los distintos objetos de estudio escogidos por los distintos equipos de alumnos.

La experiencia docente demostró que la aplicación de este cuerpo metodológico al análisis de sistemas técnicos que, con el objetivo de proponer un algoritmo específico para el objeto de estudio y la obtención de un ranking de soluciones al problema planteado en cada caso, se permite establecer un enfoque inicial en el planteamiento de objetivos (criterios y utilidades) con un grado de objetividad que permite trabajar con rigor desde un primer momento, estableciendo un orden de implementación de las propiedades de los sistemas o componentes en función de las necesidades planteadas y, a su vez, una relación coherente con los resultados de las clasificaciones obtenidas, propiciando una retroalimentación que permite simulaciones de situaciones más complejas y/o especializadas con métodos de cálculo numérico sencillo y rápido.

En definitiva, a partir de la experiencia docente acumulada por el doctorando y de la demostración de la eficacia de este tipo de métodos, podemos afirmar que la aplicación de métodos de apoyo a la decisión para el análisis de problemas complejos de múltiples variables con formulación no lineal permite, en un muy reducido espacio de tiempo, someter tanto el conocimiento previo del alumno a un juicio crítico objetivo como incorporar los nuevos conocimientos adquiridos a través de la aplicación de estos métodos en un marco de referencia transversal que proporciona una intensificación en la formación con un rendimiento óptimo en la adquisición de nuevos conocimientos y criterios.

Dada la naturaleza multidisciplinar compleja del proyecto arquitectónico, consideramos la aplicación de estos métodos como una herramienta recomendable para los talleres transversales de proyecto en los que se plantean diversas propuestas de enfoque del diseño y las subsiguientes respuestas tecnológicas al mismo, ordenando y estimulando, a la vez, la característica retroalimentación del proceso de diseño arquitectónico y/o urbanístico y su optimización multivariable.