



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

Trabajo Fin de Grado

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA PARA FACHADAS DE  
CENTROS ESCOLARES DE VALLADOLID, DE LOS AÑOS 70 Y 80.**

Autora: Laura María Lázaro San José

Tutora: María Soledad Camino Olea



15 de julio del 2016, Valladolid



## RESUMEN / SUMMARY

Actualmente existe una gran preocupación por la disponibilidad limitada de energía por lo que se trata de buscar soluciones para disminuir la contaminación de CO<sub>2</sub> así como para ahorrar energéticamente en el acondicionamiento de los edificios. Los centros docentes que se va a estudiar, como colegios e institutos, fueron construidos en los años 70 y 80 del siglo pasado; veremos que necesitan ser actualizados a las exigencias energéticas vigentes. El cerramiento exterior de los edificios, en concreto la fachada, ha de constituir una envolvente térmica que favorezca el acondicionamiento de los espacios interiores para lograr su confort. Por este motivo, se van a analizar mejoras de rehabilitación energética con el fin de llegar a una propuesta óptima que signifique alcanzar la eficiencia energética. Se va a estudiar cómo la demanda anual de energía para calefacción y refrigeración no solamente depende del sistema constructivo de la fachada sino que está muy relacionado con la orientación y el uso de los edificios.

Currently it exists a great concern about the limited availability of energy so new and better ways of reducing CO<sub>2</sub> pollution and energetic savings in the conditioning of buildings are researched. Educational buildings to be studied, such as schools and high schools, were built in the 70s and 80s of the last century; we will investigate that they need to be updated to current energy requirements. The exterior cladding of buildings, particularly the facade must be a thermic envelope that favors the conditioning of the interior spaces to achieve comfort. For this reason, it is going to be discussed improvements in energy rehabilitation in order to reach an optimal proposal that means to achieve energy efficiency. It will study how annual energy demand for heating and cooling not only depends on the constructive system of the facade but is closely related to the orientation and buildings' use.





## PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA, EDIFICIOS DOCENTES, FACHADA, ORIENTACIÓN, EFICIENCIA ENERGÉTICA.

ENERGETIC REHABILITATION, EDUCATIONAL BUILDINGS, BUILDING ENVELOPE, FACING ORIENTATION, ENERGETIC EFFICIENCY.



## AGRADECIMIENTOS

Para realización del siguiente trabajo ha sido inestimable la ayuda y dedicación de mi tutora María Soledad Camino Ojea, así como la disposición y conocimientos sobre eficiencia energética de David Caverro Rodríguez.

Del mismo modo, muestro mi agradecimiento al afable personal de los centros docentes que me han permitido visitarlos, así como a Román Almonacid Bécquer por prestarme su colaboración en la búsqueda de información sobre los edificios de estudio y a las personas del Archivo Municipal y del Archivo Histórico Provincial por su amabilidad.



# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>9</b>  |
| 1.1. MOTIVACIÓN.....   | 9         |
| 1.2. PLANTEAMIENTO GENERAL.....  | 13        |
| 1.3. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE ESTUDIO .....                                   | 17        |
| <br>   |           |
| <b>2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>  | <b>21</b> |
| 2.1. CLASIFICACIÓN.....  | 23        |
| 2.2. SIMULACIONES. ANÁLISIS .....  | 24        |
| 2.3. EXTRAPOLACIÓN.....  | 26        |
| 2.4. NORMATIVA.....  | 27        |
| <br>   |           |
| <b>3. EVALUCIÓN-DIGNÓSTICO DEL DISEÑO Y FACHADA SEGÚN CASOS .....</b>          | <b>31</b> |
| 3.1. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE FACHADAS .....                              | 31        |
| 3.2. AGRUPACIONES DE CENTROS ESCOLARES .....                                   | 33        |
| 3.2.1. MODELO DE ESTUDIO.....  | 33        |
| 3.2.2. GRUPO A.....  | 35        |
| 3.2.3. GRUPO B.....  | 38        |
| 3.2.4. GRUPO C.....  | 40        |
| <br>   |           |
| <b>4. ESTUDIO PORMENORIZADO DEL MODELO DE ESTUDIO .....</b>                    | <b>43</b> |
| 4.1. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA. PRESENTACIÓN CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO ..... | 43        |
| 4.2. LA HERRAMIENTA UNIFICADA .....  | 53        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 4.3.      | SIMULACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....                 | 55         |
| 4.3.1.    | DATOS DE LA SIMULACIÓN .....                             | 58         |
| 4.3.2.    | PROPUESTAS. ANÁLISIS DE VIABILIDAD .....                 | 63         |
| 4.3.3.    | RESULTADOS.....  | 66         |
| 4.4.      | PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE FACHADA .....     | 91         |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSIONES PARCIALES.....</b>                       | <b>125</b> |
| <b>6.</b> | <b>APLICACIÓN DE PROPUESTAS EN OTROS CASOS.....</b>      | <b>131</b> |
| 6.1.      | GRUPO A.....   | 133        |
| 6.1.1.    | ELECCIÓN DE UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DEL GRUPO.....     | 133        |
| 6.1.2.    | SIMULACIÓN ENERGÉTICA ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA.....     | 138        |
| 6.1.3.    | RESULTADOS.....  | 143        |
| 6.1.4.    | PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y PUNTOS DÉBILES DE FACHADA..... | 145        |
| 6.2.      | GRUPO B.....   | 149        |
| 6.2.1.    | ELECCIÓN DE UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DEL GRUPO.....     | 149        |
| 6.2.2.    | SIMULACIÓN ENERGÉTICA ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA.....     | 153        |
| 6.2.3.    | RESULTADOS.....  | 157        |
| 6.2.4.    | PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y PUNTOS DÉBILES DE FACHADA..... | 158        |
| 6.3.      | GRUPO C.....   | 161        |
| 6.3.1.    | ELECCIÓN DE UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DEL GRUPO.....     | 161        |
| 6.3.2.    | SIMULACIÓN ENERGÉTICA ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA.....     | 166        |
| 6.3.3.    | RESULTADOS.....  | 172        |
| 6.3.4.    | PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y PUNTOS DÉBILES DE FACHADA..... | 174        |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>                       | <b>179</b> |
| <b>8.</b> | <b>FUENTES/BIBLIOGRAFÍA.....</b>                         | <b>183</b> |

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. MOTIVACIÓN

La realización de este Trabajo Fin de Grado, viene motivada por varios temas de actualidad de carácter ambiental, económico y social.

Desde hace algunos años, existe una gran preocupación por la disponibilidad limitada de la energía en el mundo. La producción de energía está actualmente basada en los combustibles fósiles disponibles en cantidad tan limitada que el petróleo y el gas natural no serán abundantes nunca más en unas décadas al ritmo de consumo actual. El carbón durará más, unos cientos de años al ritmo de consumo actual. [Lecuona Neumann, A; Izquierdo Millán, M; Rodríguez Aumente, P. 2005].

La contaminación del medio ambiente no es un problema nuevo, pero sí de magnitud cada vez mayor a causa de las emisiones, impacto ambiental, el vertido de sustancias tóxicas a la naturaleza que revierten directamente sobre la salud de las personas, etc. El informe sobre el reparto de emisiones de CO<sub>2</sub> por el sector servicios en España expone que este sector emite el 17,7% de las emisiones totales, del cual el 4% procede el subsector de Educación. [DOE, 2013]. Se impone pues un uso más responsable de la energía basado en criterios de sostenibilidad y solidaridad intergeneracional.

Por otro lado, en España los valores de intensidad energética son mucho mayores en contraste con los objetivos marcados por Europa en materia de ahorro energético, cambio climático y de eficiencia energética. España importa actualmente un 75% de la energía que consume, cifra que podría evolucionar hacia el 90%, mientras que Europa

importa un 50%, cifra considerada elevada, pudiendo evolucionar hacia el 70% en 2030 [Comisión Europea, 2001].

Asimismo, preocupa la situación de nuestro parque de edificios relacionada con la compleja situación económica que atravesamos desde hace algunos años. El mercado de la edificación es muy competitivo y orientado a la minimización de costes, argumentos que en ocasiones no son favorables en la práctica con las medidas de ahorro energético.

Albert Cuchí y Peter Sweatman, miembros del Grupo de Trabajo para la Rehabilitación GTR defienden que todas estas reflexiones han aparecido de forma continua en los últimos años y desde diferentes agentes del sector se considera imprescindible y urgente el impulso de las actividades de conservación, mejora y rehabilitación del parque construido, como política estratégica prioritaria en el marco de una aportación significativa al desarrollo sostenible y a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos [Cuchí, A., Sweatman, P; 2013]. La cuestión ante ello, es incentivar e invertir en la rehabilitación de edificios para mejorar su eficiencia energética reduciendo las emisiones y la demanda de energía. Existen programas promovidos por el Estado para promover la información sobre Eficiencia Energética y Energías Renovables en Edificios existentes como el Programa PAREER-CRECE. [IDAE, 2016].

En concreto, este trabajo se centra en las situaciones energéticas y de confort en aulas de edificios de enseñanza de la ciudad de Valladolid. Los últimos tiempos, marcados por la crisis económica, han hecho que las ayudas y subvenciones para mejorar los centros públicos de enseñanza sean insuficientes para actualizar constructivamente los edificios. Durante el estudio, se presentan una serie de escenarios que ponen de manifiesto que las aulas a veces no cumplen condiciones de confort suficientes por disfunciones de la envolvente térmica de fachada.



Por ello, se apuesta por propuestas de rehabilitación de los siguientes edificios para generar espacios confortables, conseguir eficiencia energética, reducir las emisiones, mejorar las instalaciones docentes y, por qué no, hacer un gesto hacia el impulse de la construcción desde la rehabilitación de edificios [CEOE, 2014].

Los centros docentes que se estudian a continuación fueron levantados en las décadas de los 70 y 80 del siglo pasado, época en la que se construyeron gran número de colegios en Valladolid. Por lo que se ha podido observar en la documentación de proyecto y ejecución de estos edificios<sup>1</sup>, la forma de proyectar se tramitaba desde Madrid y se asignaban proyectos de edificio “tipo” en función del número de aulas que se requiera. De esta forma, el proceso se agilizaba y se efectuaba tan solo el proyecto de implantación según la parcela. Esta manera de proyectar, da lugar a edificios iguales con diferentes orientaciones, generando a veces problemas a la hora de acondicionar los espacios.

Hoy en día, somos enormemente conscientes de la importancia de la energía y el aprovechamiento de las características climáticas del emplazamiento y, por ello, se proponen soluciones diferentes en función de la orientación. Sin embargo, la forma de construir de las décadas de los 70 y 80 no acompaña esta idea de consciencia energética para tratar de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y el derroche de energía. Encontramos así edificios con puentes térmicos, escasos espesores de materias aislantes, materiales completamente obsoletos actualmente, soluciones de huecos con acristalamientos sencillos con elevados valores de transmitancia térmica, etc.

Se estudiará, por tanto, edificios de más de 40 años, que tiene ciertos problemas derivados de la forma de construir de la época y de no haber tenido en cuenta desde el proyecto determinados aspectos de ahorro energético que no se contemplaban entonces de forma generalizada. Es preciso, pues, analizar las posibilidades de incorporar estrategias pasivas para mejorar las condiciones de confort de los espacios

---

<sup>1</sup> Fuente: Archivo Municipal y Archivo Histórico Provincial de Valladolid.

docentes disminuyendo el consumo de energía, haciendo hincapié en las barreras para su difusión y evitando tener que modificar el sistema de instalaciones, ya que se considera que se podrían alcanzar situaciones de confort con sistemas de climatización muy costosos que además consumirían mucha energía en alcanzar un adecuado acondicionamiento. Indagar en las soluciones de rehabilitación energética de fachadas, significa aprovechar las virtudes del emplazamiento y deriva en beneficios económicos y sociales al consumir menos energía para hacer los espacios confortables.

## 1.2. PLANTEAMIENTO GENERAL

La envolvente térmica, en concreto la fachada, tiene un papel fundamental en la demanda de energía para alcanzar la situación de confort de los edificios. El reconocimiento de la importancia del edificio como agente consumidor de energía y emisor de contaminantes durante su vida operativa no está ampliamente difundido en nuestro país, o al menos no se han podido encontrar suficientes indicios de que ello esté bien establecido. [Fundación OPTI, 2013].

Se han estudiado edificaciones existentes construidas en los años 70 y 80 del siglo pasado. Para ello, se ha investigado en la documentación escrita de la época para conocer sus características constructivas y así poder establecer, en último término, actuaciones que alcancen un elevado grado de eficiencia como soluciones factibles de rehabilitación. Estas características o datos son, por ejemplo: la época de construcción, los materiales y sistemas constructivos, así como el tipo edificatorio que, como veremos, será repetitivo en distintos casos permitiéndonos agrupar los edificios por su tipología constructiva. Estos parámetros están ligados, a su vez, a la Normativa Técnica de aplicación de la época.

Se ha recabado la mayor cantidad de documentación gráfica y escrita de los edificios para llegar a los datos sobre la composición de la envolvente, esto es, llegar al detalle constructivo. Asimismo, han sido necesarias visitas de campo para la toma de datos in situ, que no figuraban en la documentación encontrada. Dada la época de proyecto de estas edificaciones, años 70 y 80, en muchos casos se carece totalmente de información constructiva. En las memorias de proyecto, a las que se ha tenido acceso, tampoco se han localizado fichas justificativas<sup>2</sup> del cálculo de Kg de los edificios. Por ello, cuando no

---

<sup>2</sup> Los edificios de estudio se construyeron en base a la normativa NBE CT – 79. La ficha justificativa del cálculo del Kg para cada edificio constituía un cuadro que se solía adjuntar al proyecto donde se expresaban los valores de K para los distintos elementos constructivos del edificio que debían cumplir los requisitos exigidos en los artículos 4º y 5º de la Norma.

existan datos concretos, se asumirán hipótesis sobre la ejecución de fachadas basándonos en las mediciones in situ, en la información que se desprende de la normativa de aplicación en el momento de redacción y ejecución de la obra en cada caso y en los estudios sobre los sistemas constructivos de fachada de la época. [Orcajo Picón, J, 2014]

Se quiere estudiar cómo se puede rehabilitar energéticamente las aulas mediante una solución constructiva para cada tipo de fachada y en función de su orientación. Veremos que para un mismo volumen con diferentes orientaciones, las soluciones de reducción de demanda energética son distintas por estar expuesta a una carga solar diferente.

Se tomará como referencia de estudio un espacio genérico de un aula para determinar la incidencia de la fachada en el consumo. Las aulas constituyen espacios significativos y con singularidades particulares por tener una ocupación elevada de personas. Esto conlleva a que la carga interna sea muy elevada y requiera aumentar la necesidad de refrigeración y ventilación. Según la tabla 2.1 “Densidades de ocupación” del CTE DB SI, dentro de uso docente, las zonas de aulas tienen una ocupación de 1,5 m<sup>2</sup> por persona mientras que en viviendas, por ejemplo, se considera una ocupación de 20 m<sup>2</sup> por persona.

En primer lugar, se desarrolla el comportamiento energético de la fachada de un aula de un centro docente, el IES Leopoldo Cano, en el que ya se llevó a cabo una reforma por parte del Departamento de Educación de la Junta de Castilla y León, y que nos permitirá observar cómo introducir distintas propuestas de mejora pueden disminuir la demanda energética anual de cada aula. En este edificio se realizará un estudio suponiendo que las fachadas tienen las orientaciones principales Norte, Sur, Este y Oeste. Los resultados energéticos pondrán de manifiesto los puntos débiles de la fachada que más penalizan la eficiencia energética del espacio.

Las propuestas óptimas que permitan la mayor disminución de la demanda de energía se aplicarán a otros casos de colegios con diferente tipo de fachada y con su orientación real.

Como conclusión, se pretende llegar a una propuesta de rehabilitación energética de las fachadas de esta época en función de su orientación ya que, en los diferentes casos, veremos que la proporción de hueco y paño ciego es muy similar en las cuatro orientaciones.



### 1.3. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE ESTUDIO

Se tiene como objetivo llegar a unas conclusiones en base al estudio de la envolvente del centro educativo Leopoldo Cano y llevar dichas conclusiones en forma de propuestas de eficiencia energética a distintos ejemplos de edificios escolares. Éstos, que se han agrupado por tipología constructiva por compartir características de fachada, lo que permite determinar conclusiones comunes dentro de un mismo grupo de edificios, que están orientadas a:

- Analizar cómo se ha implantado el mismo proyecto de edificio en parcelas dispares, con diferentes orientaciones. Esto, a veces, da lugar a problemas a la hora de acondicionar los espacios. Algunos de los problemas que se han analizado son: excesiva/falta de carga solar, aulas muy frías, necesidad de más luz natural en las aulas, demasiada entrada de soleamiento en los espacios de trabajo...
- Conocer las soluciones constructivas del cerramiento vertical de fachada, huecos y relación con la estructura aérea, con las que se resolvería los edificios.
- Mediante simulaciones energéticas se llegará a datos que permitan comparar las propuestas sobre los puentes térmicos, carga solar en los huecos, transmisión de energía en ventanas, e infiltraciones.
- Determinar una solución de rehabilitación energética de dichas fachadas en función de la orientación del edificio en cada caso y en cada grupo de edificios, atendiendo a las necesidades de uso docente de las aulas. Para ello, se busca reducir la demanda energética mediante la disminución de los valores de transmitancia del cerramiento vertical y aprovechamiento máximo de las condiciones ambientales.

La estructura de estudio sigue un recorrido lineal que abarca varias fases:

En primer lugar, se han seleccionado edificios de centros escolares públicos de Valladolid capital, que fueron construidos en los años 70 y 80.

Para ello, ha sido necesaria la consulta de información en instituciones públicas como el Archivo Histórico Provincial, el Archivo Municipal o el departamento de Educación de la Junta de Castilla y León.

A partir de la recopilación de documentación gráfica de planos de proyecto, memoria de ejecución, presupuestos y escasos detalles constructivos con la fiabilidad correspondiente, se observa que muchos constituyen “proyectos tipo” de colegios y se agrupan por tener la misma forma constructiva y dimensional de módulo de fachada. Cada grupo tiene una solución de fachada prácticamente igual o muy similar. Generalmente, las diferencias entre edificios del mismo grupo se basan en el proyecto de implantación en la parcela.

Seguidamente, se realizan visitas de campo a los diferentes centros para tomar datos, generar documentación fotográfica, termografías, apuntes necesarios para el estudio posterior y apoyar la hipótesis sobre la ejecución de la fachada, teniendo en cuenta la escasa documentación constructiva. Asimismo, estas visitas sirven para vivir algunos de los problemas de acondicionamiento y de confort en los edificios.

A partir de aquí, con toda la información posible sobre los edificios, se toma como referencia de estudio el IES Leopoldo Cano, por ser un centro ya intervenido por una reforma de carácter energética en 2006. Es el punto de inflexión entre la tarea de investigación, toma de datos y recopilación de información, y la fase de estudio de soluciones pormenorizadas.



Se procede a la simulación de un aula tipo del edificio con orientaciones absolutas: norte, sur, este y oeste, para determinar el comportamiento de fachada según su posición en la parcela.

La simulación permite generar datos numéricos en forma de tablas que se traducen a gráficas con las que se puede hacer un estudio comparativo para buscar las propuestas que disminuyan la demanda de energía anual del edificio. Estos resultados obtenidos proceden de los informes de certificación generados por el programa de simulación energética la Herramienta Unificada (HULC).

Tendría sentido atender solo a la situación de calefacción (pérdidas de energía en los edificios en situación invierno) si se considera que los meses escolares y, por tanto, de uso pleno de estos edificios docentes excluyen la estación estival (no atender a los datos de julio y agosto); a esto se une que nos encontramos en Valladolid que es una ciudad con un clima de temperaturas frías la mayoría de los meses del año. Sin embargo, La Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) no permite discriminar meses del año para que no se considere dentro del cómputo de demanda anual. Por este motivo, es necesario tener en cuenta los resultados en todos los meses del año.

Por otra parte, la Herramienta Unificada no permite calcular la demanda de energía solo para situación de calefacción, por lo que tiene en cuenta también la energía necesaria para proporcionar refrigeración de los espacios si es necesario. Veremos cómo algunas propuestas disparan la demanda de refrigeración y cómo es necesario suplir esta situación también negativa ante la eficiencia energética del edificio.

Posteriormente, otra fase del estudio será la aplicación de soluciones de eficiencia energética a cada tipo de fachada en cada uno de los grupos de edificios que se han determinado previamente. Se lleva a cabo la simulación para un caso promedio en cada grupo particular y se obtienen certificaciones energéticas analizando la importancia del cerramiento y su relación con la demanda de calefacción.

Por último, todo el proceso permitirá aportar soluciones generales posibles para cada tipo de fachada de las diferentes agrupaciones de centros escolares a partir del estudio previo, concreto y desarrollado del IES Leopoldo Cano.

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se propone a continuación la metodología o esquema de trabajo para el estudio del edificio IES Leopoldo Cano de la ciudad de Valladolid con el fin de desarrollar en él propuestas de forma pormenorizada que mejoren su eficiencia energética y luego trasladarlas a otros edificios docentes. El trabajo lleva como hilo conductor la siguiente estructura:

### 1.- Datos del edificio

- Estudio de colegios de la época elegida, para ello se trata de acotar: han de ser edificios de enseñanza pública, en Valladolid capital.
- Información proyectual, histórica, gráfica o escrita de dichos edificios.
- Visitas de campo a los centros para la medición, análisis y toma de datos.

### 2.-Clasificación de los edificios

- Agrupación de estos edificios docentes según características comunes de fachada (cerramiento ciego, huecos y relación con la estructura aérea). Elección de un ejemplo de cada grupo de edificios identificados desde el inicio. Será del que más información se tenga.

### 3.- Proceso de investigación y estudio específico del IES Leopoldo Cano

- Estudio del IES Leopoldo Cano como edificio de referencia con una reforma ya ejecutada y que puede ser mejorada al actualizarse a la norma vigente.
- Simulaciones pormenorizadas de un aula tipo de dicho instituto con los consiguientes resultados en función de las distintas propuestas de reforma energética. Viabilidad. Problemas y puntos débiles de fachada energéticamente para situación de invierno. Líneas de actuación.
- Informe de resultados. Mejoras. Propuestas de acción tomadas para la mejora del edificio. Nueva certificación energética aplicando las propuestas.

#### 4.- Conclusiones parciales

- A partir de los resultados obtenidos en el edificio de referencia, se pueden derivar conclusiones sobre cómo afecta las diferentes propuestas al ahorro energético.

#### 5.- Aplicación de las propuestas

- Extrapolación de las propuestas estudiadas en el ejemplo concreto del IES Leopoldo Cano a los diferentes ejemplos representativos de cada grupo de edificios. Simulaciones de certificación energética de dichos ejemplos. Informe de resultados según el estado actual y propuesta de acción tomadas para la mejora del edificio.

#### 6.- Conclusiones generales

- Tras observar que las propuestas finales funcionan en los otros edificios, se puede establecer que las mejoras dependen en gran medida de la orientación y no tanto de la tipología constructiva. Además, queda expresado que verdaderamente estas propuestas significarían un ahorro muy importante de energía.

## 2.1. CLASIFICACIÓN

En primer lugar, el trabajo se inicia con el estudio del Leopoldo Cano para después ver cómo se trasladan las propuestas analizadas en él al resto de edificios docentes. Se han agrupado edificios escolares de la ciudad de Valladolid que hayan sido construidos en los años 70 y 80 del siglo pasado y que compartan unas características de cerramiento vertical similares. De esta forma, se implantan las propuestas en diferentes tipos de fachadas y distintas orientaciones para poder determinar a posteriori unas conclusiones generales. Así, se han determinado grupos de colegios en función de la ejecución de su fachada según:

- Solución constructiva del *cerramiento ciego* de fachada.
- Número y dimensiones de *huecos*.
- Relación del cerramiento de fachada con la *estructura aérea* del edificio.

De cada grupo de centros escolares, se elegirá un ejemplo del que se tiene accesibilidad a sus espacios y mayor documentación gráfica y constructiva. Se llevará a cabo la simulación energética de un aula que contiene, normalmente, dos módulos estructurales de fachada<sup>3</sup>. Dichos módulos estructurales pueden contener a su vez 1 o 2 ventanas según la composición de fachada. Como se verá más adelante, quedará explícito el volumen de aula que se considera, con su proporción de fachada y de huecos.

---

<sup>3</sup> Se entiende como módulo de fachada el espacio entre pilares que se repite de forma sistemática para generar el plano de fachada.

## 2.2. SIMULACIONES. ANÁLISIS

Se llevarán a cabo simulaciones energéticas del espacio de un aula. Los distintos ejemplos de cada grupo de edificios, a pesar de ser proyectos muy parecidos y misma solución constructiva, difieren ligeramente en las dimensiones del aula y, por tanto, del módulo de fachada. Por este motivo, se hará un promedio de datos numéricos para que el estudio del ejemplo se extienda a los demás casos dentro del grupo.

Tanto en el estudio del IES Leopoldo Cano como en el resto de edificios, nos centraremos en lo que sucede en la fachada de una planta intermedia, excluyendo así, las situaciones que requerirían un estudio más extenso como: circunstancia de planta superior en contacto con la cubierta, planta inferior en contacto con el terreno o planta intermedia con un porche debajo, por ejemplo, que conlleva a una situación de fachada con forjado en contacto con el aire exterior.

Dichas simulaciones se realizan mediante la *Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC)*<sup>4</sup> que permite realizar el cálculo de la demanda energética de un edificio en el periodo de un año a la vez que lo compara con uno de referencia que cumple lo establecido por la CTE DB-HE. De esta forma se determina si nuestro edificio se está comportando peor o mejor que el edificio referencia. La información final se reduce a si el edificio cumple o no cumple.

Estas aulas simuladas se generan en el programa informático como un paralelepípedo, con tres tabiques medianeros adiabáticos al igual que el forjado superior e inferior. El cerramiento en contacto con el aire exterior, del que nos ocupa el estudio, se subdividirá mediante "líneas 3D" en diferentes tipos de cerramientos según la solución constructiva de los elementos de fachada: machones, pilares revestidos, pilares salientes del plano de fachada, tipo de cerramiento en el caso de nichos para radiadores... También se incluirán los huecos con las dimensiones promedio y sus características. Se determina,

---

<sup>4</sup> HULC. Código Técnico de la Edificación.

del mismo modo, el tipo de puente térmico que se produce en pilares, paño de cerramiento, jambas, capialzado y alféizar según sea necesario.

Se realizará la simulación del aula del IES Leopoldo Cano con el cerramiento exterior hacia las cuatro orientaciones absolutas: norte, sur, este y oeste; mientras que los ejemplos de cada grupo de edificios propuestos se simularán con la orientación real de su fachada.

Los datos obtenidos del informe energético final, se interpretan y analizan gráficamente mediante gráficas. Ayudándonos del programa gráfico *ViSol* se traducirán los resultados numéricos que ofrece HULC a líneas de barras y diagramas<sup>5</sup>. En ellos quedan reflejadas las pérdidas y ganancias por calefacción y refrigeración producidas por los distintos elementos así como la demanda de energía en KW·h/m<sup>2</sup> en cada mes del año. *ViSol* es un visor de los archivos de resultados generados por el programa LIDER o la Herramienta Unificada LIDER-CALENER, de verificación del DB-HE del CTE [VILLAR BURKE, R; JIMÉNEZ GONZÁLEZ, D; 2014].

Posteriormente, se cotejarán los resultados y quedarán evidenciados los puntos débiles de fachada. Se trata de aportar soluciones constructivas de rehabilitación energética a dichos cerramientos, llegando al detalle constructivo y justificando con una nueva simulación las mejoras incorporadas. La utilización de esquemas o gráficos tiene como finalidad comprar visualmente los distintos estados del edificio.

Las simulaciones y las gráficas que derivan de ellas, permiten ir observando qué propuesta reduce más la demanda de energía anual para calefacción y refrigeración. De esta forma, se suceden propuestas con sus correspondientes simulaciones para afinar hasta llegar a la que se considera la mejor propuesta de mejora o propuesta final.

---

<sup>5</sup> Los resultados se pueden explorar a nivel de edificio, espacios o componentes y se aporta información en forma de ratios por m<sup>2</sup> útil del edificio para cada uno de ellos (generalmente kWh/m<sup>2</sup>-año).

## 2.3. EXTRAPOLACIÓN

El estudio y desarrollo pormenorizado de las propuestas en el Leopoldo Cano permite ir afinando las distintas soluciones para la rehabilitación energética hasta llegar a una propuesta final con la que se consigue la mayor disminución de la demanda energética anual.

El siguiente paso será aplicar estos criterios de propuesta, previamente estudiados, en los otros grupos de edificios docentes que se han clasificado anteriormente en función de su tipología constructiva de fachada. De esta forma, se vuelven a generar simulaciones energéticas con la HULC del estado actual y la propuesta óptima, directamente. Los resultados que se obtengan nos permitirán extraer conclusiones generales de la incidencia de las propuestas de rehabilitación energética de fachadas con respecto a la situación de confort interior y ahorro energético.



## 2.4. NORMATIVA

Una forma de acotar los edificios de estudio, es por época constructiva. Se ha elegido un periodo de tiempo de dos décadas aproximadamente, los años 70 y 80. Para este intervalo de tiempo conviven dos periodos normativos en España que marcaron la manera de construir en cada época en cuanto a eficiencia energética se refiere. Es importante conocer las exigencias de estas normas en la ejecución de edificios para así determinar su capacidad de eficiencia energética:

- **Normativa 1975 (antes de 1979)**<sup>6</sup>. La primera legislación de aplicación general encaminada a la consecución de ahorro energético fue el Real Decreto 1490/1975, adoptado como medida frente a los problemas derivados del encarecimiento de la energía tras la crisis del año 1973. Constituía un reglamento técnico en el que se limitaba la transmitancia de ciertos elementos de la envolvente térmica (muros y cubiertas fundamentalmente).

- **NBE-CT-79 (entre 1979 y 2006)**<sup>7</sup>. Mediante Decreto 1490/75, de 12 de julio, la Administración Pública adoptó las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada construcción de los edificios, haciendo frente así a los problemas derivados del encarecimiento de la energía.

Es necesario poner en conocimiento que los edificios que estamos estudiando sí cumplían con la normativa existente cuando se proyectaron y ejecutaron. Sin embargo, no se ha localizado en las memorias de proyecto de los edificios de estudio ninguna ficha justificativa del cálculo de KG. Estas fichas constituyen cuadros que sirven para expresar

---

<sup>6</sup> Posteriormente, el Decreto 1490/1975 sirvió de base para la posterior redacción de la NBE. Así, se transpondría a la Norma Básica de la Edificación relativa a Condiciones Térmicas: NBE-CT-79, de obligado cumplimiento a partir de 1979, y que fue mantenida hasta el año 2006.

<sup>7</sup> “Real Decreto 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas de los edificios.” BOE, 1979.

que los valores de K especificados para los distintos elementos constructivos del edificio en cuestión cumplen los requisitos exigidos en los artículos 4º y 5º de la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, "Condiciones Térmicas en los Edificios".

En este trabajo se trata de ofrecer soluciones de actualización de estos edificios a la Norma vigente. Del mismo modo, no son comparables la forma de ejecución, los materiales y tecnologías en este tiempo. El trabajo, por tanto, es una actualización de exigencias energéticas de estos edificios.

A la NBE- CT- 79 le sucedió el **Código Técnico de la Edificación** que derogaba esta Norma y fue publicado en marzo 2006. La Normativa del 2006 constituye una revolución en el campo de la eficiencia energética y establece importantes exigencias a los edificios.

Posteriormente se publica una modificación importante del CTE en septiembre de **2013**. A partir de este momento, es de aplicación el actual Código Técnico de la Edificación, en su documento básico de Ahorro de Energía: **CTE-DB-HE1**, que avanza en la limitación de la demanda de energía de los edificios<sup>8</sup>. Para la justificación de las secciones HE0 y HE1 del nuevo DB HE del CTE, se admite la certificación mediante la nueva Herramienta Unificada (HE0 y HE1)<sup>9</sup>. Según la modalidad de este trabajo, nos centramos en el DB HE1 para el cálculo de los parámetros característicos de la envolvente:

- Transmitancia térmica.
- Factor solar modificado de huecos.

La transmitancia térmica (U) viene dada por la siguiente expresión:  $RT U = 1$ , siendo, RT la resistencia térmica total del componente constructivo [ $m^2 \cdot K/ W$ ].

$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + + R_n + R_{se} \dots$  siendo,  $R_1, R_2 \dots R_n$  las resistencias térmicas de cada capa definidas;  $R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire

---

<sup>8</sup> EL Código Técnico de la Edificación actualiza constantemente el Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las *exigencias básicas de ahorro de energía*. En particular, El Ministerio de Fomento publica una serie de documentos de apoyo (DA) que, aunque no son obligatorios, conforman, junto con el texto articulado del Código, el marco regulador aplicable. La última actualización es del 19 de Enero del 2016.

<sup>9</sup> También está permitida la justificación mediante los programas Lider (HE1) y Calener (HE0 y HE1).

interior y exterior respectivamente, tomadas de la *tabla 1* de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [ $m^2 \cdot K/ W$ ].

La normativa vigente cuando se construyeron los edificios de estudio no contemplaba apenas las limitaciones de energía y exigía unos valores máximos de transmitancia térmica muy por encima de los niveles permitidos en la actualidad.

Queda reflejado, de forma comparativa en la siguiente tabla, en la que se agrupan los valores máximos de transmitancia térmica (U) en  $W/m^2 \cdot K$  para las zonas de cerramiento ciego vertical de fachada y para los vidrios de los huecos. Estos valores se corresponden con la zona climática<sup>10</sup> “D” donde se encuentra la ciudad de Valladolid según la Normativa.

| Normativa técnica           | Valores máximos de transmitancia térmica para fachadas pesadas en $W/m^2 \cdot K$ | Valores máximos de transmitancia térmica para huecos en $W/m^2 \cdot K$ |
|-----------------------------|---|---|
| Normativa anterior al CT-79 | No lo contempla. <sup>11</sup>  | 4,80 <sup>12</sup>  |
| NBE-CT-79                   | 1,4   | No lo contempla <sup>13</sup>   |
| CTE 2006 <sup>14</sup>      | 0,66  | 2,3   |
| CTE 2013 <sup>15</sup>      | 0,27  | 1,25  |

Tabla 1. Tabla comparativa de valores de transmitancia máximos según las distintas normativas.

<sup>10</sup> Mapa 1 y 2 de la CT-79. En esta Norma sólo se designa la zona climática de Valladolid con la letra “D”. Sin embargo, a partir del CTE (2006) ya se designa la zona climática como “D2”, ya que existe mayor especificación.

Figura 3.1 “Zonas climáticas”. CTE DB HE1, 2006; pág, 91.

Apéndice B “Zonas climáticas”; tabla B.1 “Zonas climáticas de la Península Ibérica”. CTE DB HE1, 2013. Pág, 32.

<sup>11</sup> La Norma no expresaba valores máximos generales de transmitancia en cerramientos.

<sup>12</sup> Valor de transmitancia para huecos al sur, norte y oeste con un porcentaje de superficie del marco del 25%. Para huecos al sur con 50% de marco, la  $U= 4,10 W/m^2K$ . CT 1975.

<sup>13</sup> El DBE CT- 79 no establece valores límite de transmitancia en huecos.

<sup>14</sup> Apartado 3.1.1 CTE DB HE 1, 2006. Página 7.

<sup>15</sup> Apéndice E.2, Parámetros característicos de la envolvente térmica. Tabla E.1 “Transmitancias del elemento ( $W/m^2 K$ )” para la zona climática D. CTE DB HE 1, 2013, página 44.

De esta tabla se desprende que los edificios de estudio cumplen con los valores de transmitancia exigidos en su época de construcción. Sin embargo, en la actualidad constituyen verdaderos intercambiadores de energía por su envolvente térmica con valores que multiplican los exigidos hoy en día.

Para el cálculo de la transmitancia del cerramiento opaco en contacto con el aire exterior (envolvente del espacio que permite el intercambio de energía y, por tanto, no adiabático), es necesario conocer las distintas capas y espesores de estas que conforman el cerramiento, por ello, el interés por llegar al detalle constructivo de cada ejemplo.

### 3. EVALUCIÓN-DIGNÓSTICO DEL DISEÑO Y FACHADA SEGÚN CASOS

#### 3.1. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE FACHADAS

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, se han determinado distintos equipos de edificios escolares similares con el fin de acotar los casos de estudio. Estas distinciones se realizan en función de: solución constructiva del *cerramiento ciego* de fachada, número y dimensiones de *huecos*, relación del cerramiento de fachada con la *estructura aérea* del edificio.

Era generalizado, en los años 70 y 80 del siglo pasado, la construcción de edificios con estructura de pilares y jácenas de hormigón armado y cerramiento de fachada sustentada de doble hoja de fábrica de ladrillo con cámara de aire. Prevalece, además, la imagen de edificios de ladrillo visto, por lo que los enfoscados de mortero en fachada se reducirán a paños compositivos relacionados con la posición de los huecos. Cabe distinguir, a efectos energéticos, los paramentos opacos o machones entre huecos que tienen cierto carácter compositivo y se enrasan o atrasan respecto de la línea de cerramiento exterior.

En cuanto al posible aislamiento en la cámara de aire, como se verá en apartados siguientes, ha sido preciso analizar presupuestos y mediciones de proyecto para aventurar la existencia de material aislante en fachada. Será, normalmente, fibra de vidrio<sup>16</sup>, siempre en espesores menores de 60 mm. Ha sido necesario ahondar en

---

<sup>16</sup> Se ha pedido a esta casa comercial la documentación sobre este tipo de paneles y se tiene la publicación respectiva con fecha original de 1974. Este aislante se conocía en la época como paneles PV que se ofrecían como paneles de lana de vidrio hidrofugada, aglomerada con ligantes sintéticos. Se utilizaba como aislamiento térmico y acústico en cerramientos verticales con cámara de aire no ventilada. Posee una transmitancia  $U = 0,059 \text{ W/m}^2\text{K}$  para espesores de 50mm.

manuales de aislamiento de la época, en concreto aparece en memorias y presupuestos el llamado “panel PV” de ISOVER<sup>17</sup>.

En relación con el cerramiento, la estructura será en la mayoría de los casos vista, con pilares y frentes de forjado hacia el exterior, lugares en los que se produce, de forma habitual, la interrupción del material aislante. En otros casos, la estructura se incluye en el cerramiento y se recubre hacia el exterior con aplacado de fábrica, generando una imagen uniforme. Habitualmente, se tenía como práctica la disposición seriada de pórticos cada 4,50 metros para generar los espacios. De esta forma, cada aula está formada por dos módulos estructurales.

Por otro lado, el espacio entre pórticos estará ocupado por bandas horizontales de ventanas. Normalmente aparecen 1 ó 2 huecos entre pilares, si bien sus dimensiones son dispares y, por ello, constituye una característica distintiva entre edificios. Más adelante, con los resultados de las simulaciones, se establecerá también la relación de eficiencia energética respecto a la proporción de huecos en fachada.

---

<sup>17</sup> Panel PV y Panel PV-papel son los nombres con los que aparece en antiguos manuales de la casa ISOVER de los años 70 y 80.

## 3.2. AGRUPACIONES DE CENTROS ESCOLARES

Los años 70 y 80 en la ciudad de Valladolid constituyen un verdadero auge de la construcción en cuanto a edificios escolares se refiere. Por ello, ha sido necesario la identificación de los sistemas de fachada para agrupar los distintos ejemplos según características formales comunes de su tipología constructiva.

Finalmente, se asume el ejemplo del IES Leopoldo Cano como modelo de estudio para ahondar en las pautas de eficiencia energética de fachada y, además, tres equipos de edificios en los que se probarán las mejoras propuestas en el IES Leopoldo Cano. Permite así, distinguir entre soluciones distintas de fachada de fábrica y su consiguiente comportamiento energético.

### 3.2.1. MODELO DE ESTUDIO

#### IES Leopoldo Cano

Se centra el estudio en este edificio, construido en el año 1975, porque en él ya se ha llevado a cabo una intervención para la rehabilitación energética de sus fachadas. Este motivo permite exponer las soluciones que los organismos encargados del mantenimiento de estos edificios escolares son capaces de realizar con los medios disponibles reales. Dicha reforma se llevó a cabo en el 2006 ya que el edificio presentaba situaciones de no confort en algunas aulas con determinada orientación.

La primera fase del IES Leopoldo Cano, que data de los años 70, se construyó con estructura metálica de vigas y pilares HEB. El cerramiento, según hemos podido averiguar por testimonio del arquitecto que llevó a cabo la reforma en 2006, consistía

en bloques prefabricados de hormigón celular<sup>18</sup> aireado de 14 cm de espesor dispuesto entre los pilares metálicos. El interior estaba revestido con un enlucido de yeso. Carecía, por tanto, de cámara de aire o material aislante, ya que se confiaba en que las burbujas de aire interior en el prefabricado resolverían por completo la función aislante. Parece ser que dependiendo la época del año, este cerramiento daba problemas de humedades y a veces no procuraba confort en las aulas.

La Consejería de Educación de Castilla y León<sup>19</sup> efectuó en 2006 un plan de rehabilitación de estas fachadas tras años de ciertos problemas para acondicionar estos espacios. Esta reforma consistió en la disposición de una segunda piel aislante para minimizar los puentes térmicos de la estructura y aportar aislamiento térmico en fachada. Dicha piel envolvente está conformada por 50 mm de aislamiento de poliuretano proyectado (densidad > 35kg/m<sup>3</sup>) y tableros de madera- cemento<sup>20</sup> de espesor e= 12 mm anclados a la fachada original mediante montantes de madera de sección rectangular (120 x 60 mm). De esta forma, se generó una fachada ventilada que solventaba en gran medida los puentes térmicos y la falta de aislamiento e impermeabilización de la fachada primigenia.

En cuanto a las ventanas se mantuvieron las ventanas originales de proyecto, correderas metálicas de vidrio simple, hoy en día principal punto débil de la fachada.

---

<sup>18</sup> El cerramiento existente era de bloques de prefabricados de hormigón celular YTONG, también conocido como hormigón “aireado” por disponer en todo su composición de burbujas de aire interior.

<sup>19</sup> Se ha podido acceder a la información de esta reforma al tratarse de documentos más cercanos en el tiempo y sujetos a una normativa más restrictiva en la generación de planos y documentación necesaria de proyecto de reforma. [Arquitecto Román Almonacid Bécquer, Delegación Territorial de Valladolid. Dirección Provincial de Educación, Junta de CyL.

<sup>20</sup> Se dispusieron paneles fenólicos de alta densidad de la casa TRESPA. Delegación Territorial de Valladolid. Dirección Provincial de Educación.





Imagen 1. Fachada principal de acceso del IES Leopoldo Cano en calle Tórtola. (Autora)

### 3.2.2. GRUPO A

|  |
|--|
| <b>CEIP Jorge Guillén</b>              |
| <b>CEIP María teresa Íñigo de Toro</b> |
| <b>CEIP Pedro Gómez Bosque</b>         |
| <b>IES Parquesol</b>                   |

En el este grupo encontramos el CEIP Jorge Guillén, el CEIP María Teresa Íñigo de Toro Y el CEIP Pedro Gómez Bosque, los tres de los años 80. Se ha incluido también el IES Parquesol por tener el mismo tipo de fachada, si bien difiere en programa y es del 91.

Constituye uno de los casos que se tramitaron desde Madrid y atienden a un proyecto tipo de edificio escolar para un programa de 16 unidades de aulas. Son completamente el mismo edificio acoplado a distintas parcelas mediante un proyecto de implantación propio. Constituidos por una distribución longitudinal en planta y con dos fachadas principales, las más extensas. Éstas serán el modelo de cerramiento representativo de este grupo.

El IES Parquesol también se incluye en este grupo ya que, aunque no sigue el mismo programa en planta, sí tiene las mismas dimensiones de pórticos, la misma solución

constructiva de fachada y las dimensiones y posición de los huecos son iguales que los edificios escolares que acabamos de referenciar.

En los cuatro edificios, en consecuencia, el cerramiento ciego de fachada se resuelve con doble hoja de fábrica de ladrillo cara vista al exterior y de tabicón al interior. Poseen cámara de aire no ventilada y aislamiento de paneles de fibra de vidrio de 60 mm<sup>21</sup> según proyecto. Por último, enlucido de yeso al interior. La estructura de pilares es vista, con los pilares adelantados respecto de la línea de fachada. La banda horizontal de huecos se enfatiza enfoscando el paramento con mortero proyectado.



Imagen 2. CEIP Jorge Guillén en calle Argentina. (Autora)



Imagen 3. Fachada principal CEIP María Teresa Íñigo de Toro en calle Morena. (Autora)

---

<sup>21</sup> Se ha encontrado información del tipo de aislante de la época en la documentación de proyecto. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 86/02, carpeta 4.



Imagen 4. Fachada principal CEIP Pedro Gómez Bosque en calle Manuel López Antolín. (Autora)



Imagen 5. IES Parquesol en calle Juan de Valladolid. (Autora)

### 3.2.3. GRUPO B

|                            |
|----------------------------|
| CEIP Alonso Berruguete     |
| CEIP Pablo Picasso         |
| CEIP Federico García Lorca |

El segundo grupo está compuesto por el CEIP Alonso Berruguete, el CEIP Pablo Picasso y el CEIP Federico García Lorca.

De nuevo ocurre que los tres atienden al mismo proyecto tipo, por lo que son idénticos formalmente. Repetidamente, la planta sigue una distribución unidireccional generando dos fachadas longitudinales contrapuestas. Éstas son las fachadas principales y modelo representativo de esta agrupación de edificios.

La fachada es de fábrica de ladrillo vista, compuesta por una hoja exterior y otra interior y cámara de aire. El aislamiento es nuevamente paneles de fibra de vidrio de 60 mm.

Esta vez, la estructura no es vista en el exterior, por lo que está revestida con aplacado cerámico para generar una imagen uniforme. Los machones entre huecos son también de ladrillo cara vista, sin retranquearse respecto del paramento del que arrancan. La piel del edificio pretende que no se reconozca la posición de la estructura, haciendo que la imagen de pilares y machones al exterior sean la misma. Cada pórtico da cabida a dos huecos de ventanas.

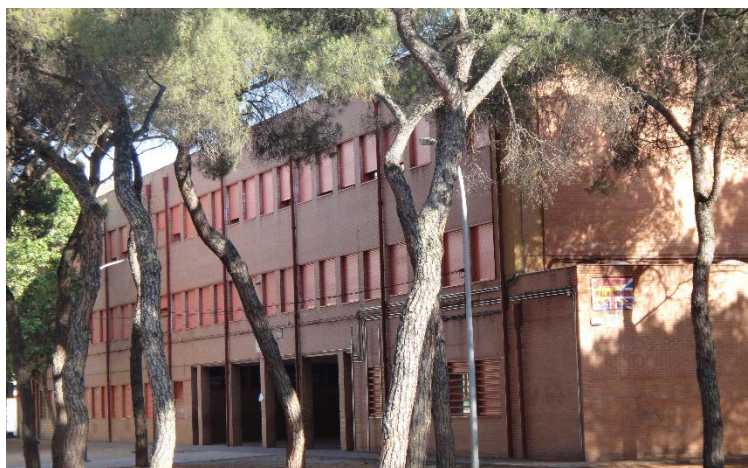


Imagen 6. Fachada de acceso del CEIP Alonso Berruguete en Camino Viejo de Simancas. (Autora)





Imagen 7. Fachada de acceso del CEIP Pablo Picasso en Paseo Juan Carlos I.  
(<http://ceippicasso.centros.educa.jcyl.es>)



Imagen 8. Fachada de acceso del CEIP Federico García Lorca en calle Huertas. (Autora)

### 3.2.4. GRUPO C

|   |
|---|
| <b>CEIP Francisco Giner de los Ríos</b> |
| <b>CEIP Gonzalo de Berceo</b>           |
| <b>CEIP León Felipe</b>                 |
| <b>CEIP Miguel Hernández</b>            |
| <b>IES Antonio Tovar</b>                |

El grupo C es el más numeroso en réplicas de edificios completamente iguales formalmente. Corresponden a proyectos de edificio tipo II<sup>22</sup>, con programa para 24 aulas docentes. Según se especifica en la memoria de proyecto (que se repite reiteradamente para los cinco edificios) es la siguiente:

“Muro formado por medio pie de ladrillo cara vista, enfoscado con mortero hidrófugo en su cara interior, cámara de aire con placas rígidas de aislamiento térmico, medio pie de ladrillo hueco doble y enlucido de yeso. (...) Los pilares en zonas vistas, se tratan en hormigón visto abujardado (...).”<sup>23</sup> Esto es, en los espacios entre huecos, ya que el resto de la fachada mantiene una imagen uniforme de ladrillo cara vista en diferentes colores según edificio.



Imagen 9. CEIP Francisco Giner de los Ríos en Avenida José Luis Arrese. (Autora)

<sup>22</sup> Plano de detalles constructivos de IES Antonio Tovar. [Archivo Histórico Provincial de Valladolid, caja 823, carpeta 4].

<sup>23</sup> Memoria constructiva. CEIP Antonio Giner de los Ríos. [Archivo Histórico Provincial de Valladolid, caja 823, carpeta 2].



Imagen 10. CEIP Gonzalo de Berceo en calle Mirabel. (Autora)



Imagen 11. CEIP León Felipe en calle Mirabel. (Autora)



Imagen 12. CEIP Miguel Hernández en calle Tordo. (Autora)



Imagen 13. Fachada principal IES Antonio Tovar en calle Venezuela. (Autora)

A continuación, se establece una tabla resumen con las agrupaciones propuestas así como los años de construcción y normativa vigente de la época:

| Grupo                    | Edificios escolares              | Año de construcción | Normativa de aplicación |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------|
| <b>MODELO de ESTUDIO</b> | IES Leopoldo Cano                | 1975                | Anterior NBE-CT-79      |
| <b>A</b>                 | CEIP Jorge Guillén               | 1984                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP María teresa Íñigo de Toro  | 1988                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP Pedro Gómez Bosque          | 1988                | NBE-CT-79               |
|                          | IES Parquesol                    | 1991                | NBE-CT-79               |
| <b>B</b>                 | CEIP Alonso Berruguete           | 1980                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP Pablo Picasso               | 1980                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP Federico García Lorca       | 1981                | NBE-CT-79               |
| <b>C</b>                 | CEIP Francisco Giner de los Ríos | 1983                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP Gonzalo de Berceo           | 1984                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP León Felipe                 | 1984                | NBE-CT-79               |
|                          | CEIP Miguel Hernández            | 1981                | NBE-CT-79               |
|                          | IES Antonio Tovar                | 1981                | NBE-CT-79               |

Tabla 2. Síntesis de agrupaciones de edificios.



## 4. ESTUDIO PORMENORIZADO DEL MODELO DE ESTUDIO

### 4.1. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA. PRESENTACIÓN CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO

El Instituto de Enseñanza Secundaria Leopoldo Cano se localiza en el barrio vallisoletano de los Pajarillos, concretamente en la calle Tórtola, 11 según su referencia catastral. El edificio está constituido por tres cuerpos, dos de los cuales están unidas entre sí y una tercera pieza separada que se corresponde con el gimnasio y la sala de calderas. Los otros dos cuerpos principales de actividad docente están unidos y se articulan entorno a un patio con dos pasarelas de conexión. Se diferencian, por tanto, dos fases de construcción con un edificio inicial de 1975 y otro posterior, con soluciones de fachada distintas.

Este estudio se centra en la fase primera de construcción, en concreto en el volumen situado al suroeste donde conviven aulas y despachos así como la biblioteca y el salón de actos. Este cuerpo cuenta con tres plantas, una más que el cuerpo adosado, y en él se llevó a cabo en el año 2006 una importante remodelación de fachada con el fin de general una envolvente térmica eficaz del edificio.



Imagen 14. Planta de situación IES Leopoldo Cano según Catastro.

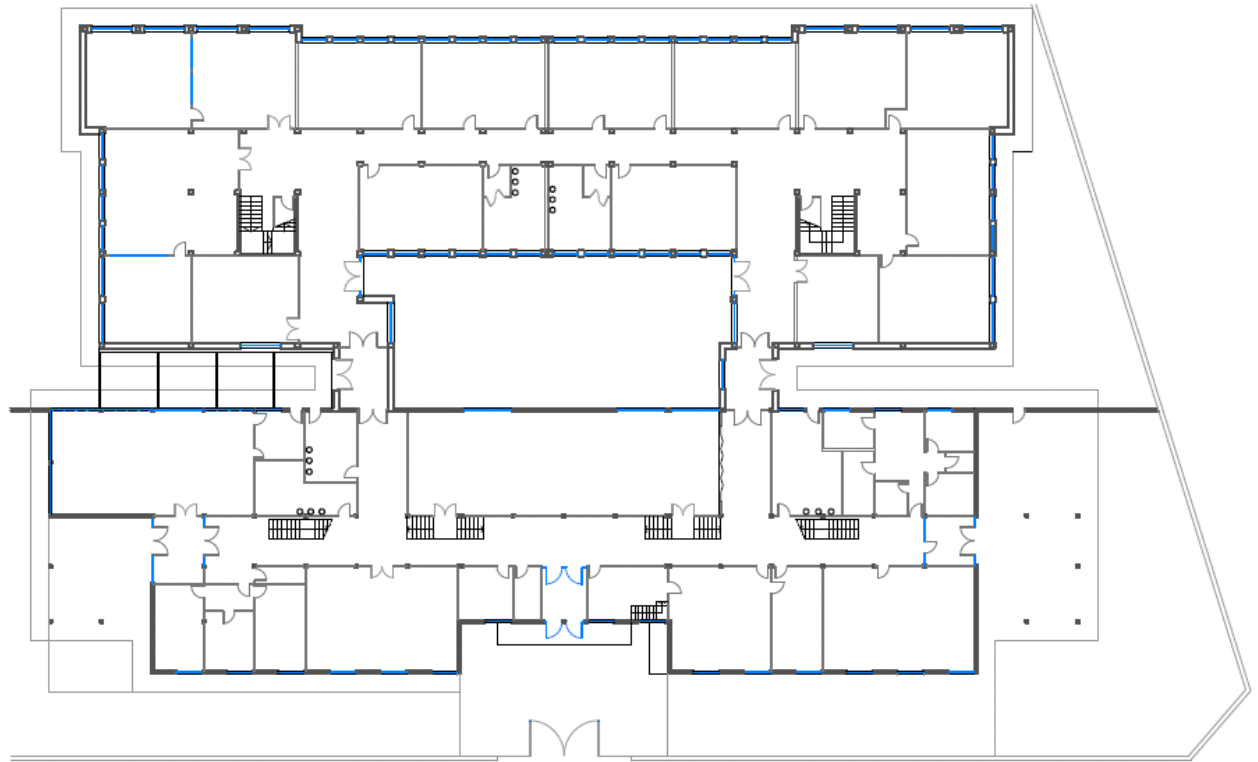
La primera fase del trabajo se traduce en la recopilación de todos los datos y documentación posible del edificio. Se ha conseguido así documentación gráfica<sup>24</sup> del proyecto inicial como de la reforma del 2006. Esta información ha sido posteriormente ordenada y analizada con el fin de elaborar un plan de toma de datos para completar la información faltante o confirmar la existente. La visita y toma de datos in situ ha sido muy importante para la obtención de documentación fotográfica, termografías, mediciones así como para afirmar hipótesis constructivas que no que estaban claras de la documentación de proyecto.

Todo ello, permite tener información geométrica (dimensiones de los espacios, dimensiones de los huecos, correspondencia de huecos reales y el plano...) así como información de las composiciones de los elementos constructivos: acabados superficiales de cerramientos, composición de huecos, espesores y composición de fachada.

A continuación se presenta la documentación gráfica de plantas del edificio. Se distingue la fase inicial o planos de proyectos del año 1975 y, por otra parte, los planos con la reforma de 2006 ya incluida. En estos últimos, también aparecen otras intervenciones llevadas a cabo en el edificio como la incorporación de un ascensor para permitir y garantizar la accesibilidad universal a todas las zonas del edificio.

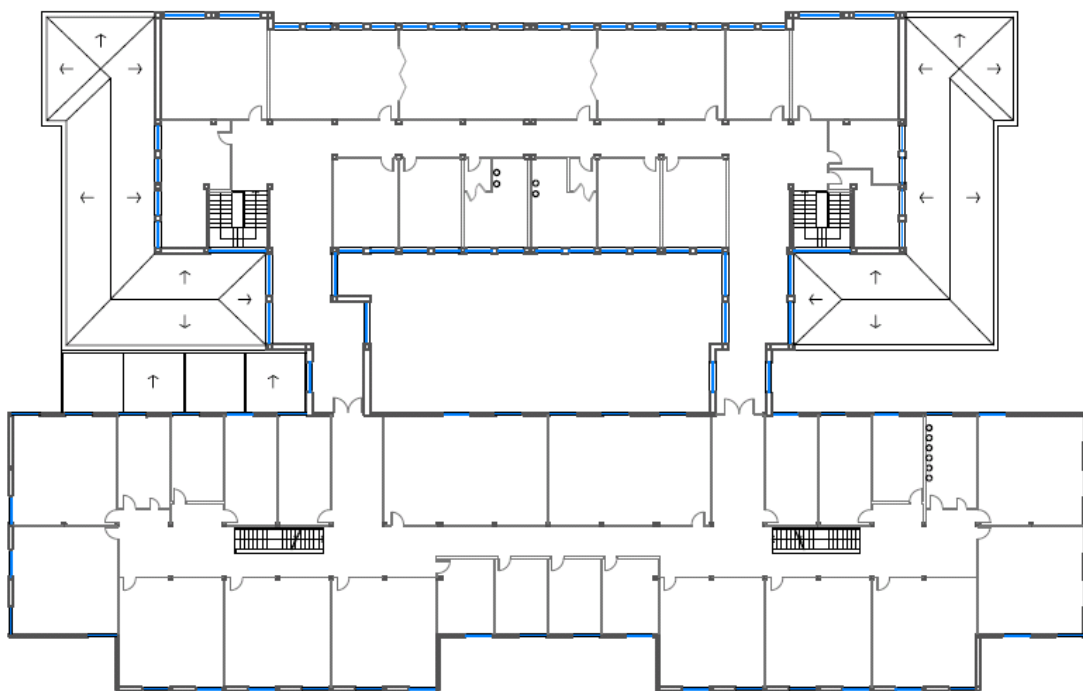
---

<sup>24</sup> La información gráfica ha sido aportada por la Consejería de Educación, Delegación territorial de Valladolid de la Junta de Castilla y León así como por el Archivo Histórico Provincial de Valladolid y el Archivo Municipal de Valladolid.



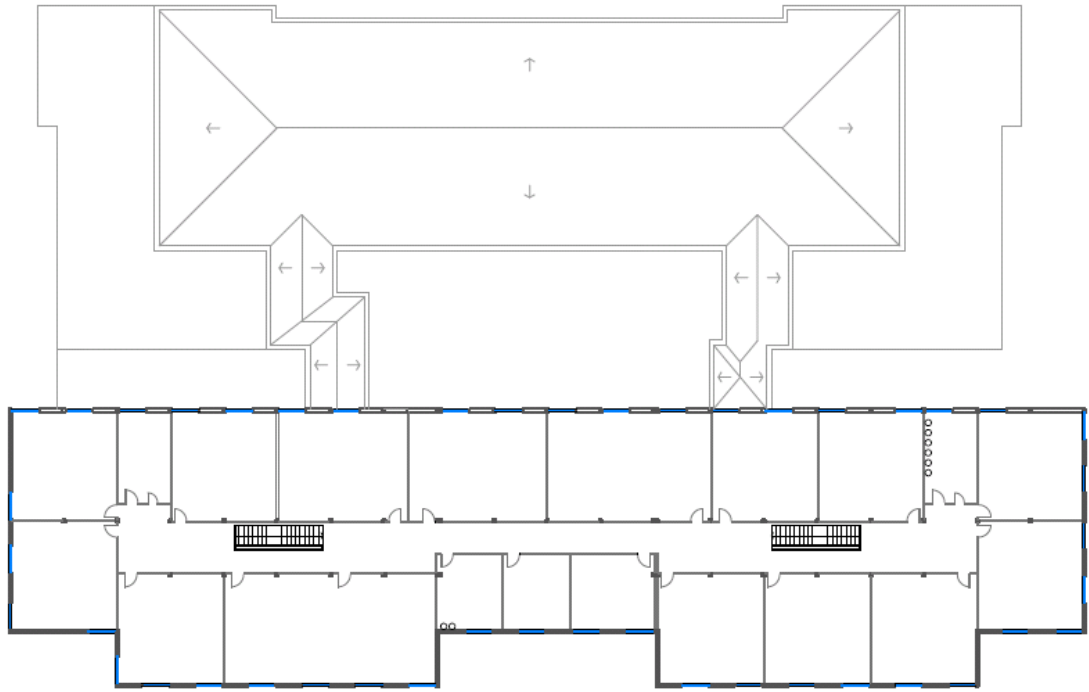
PLANTA BAJA IES LEOPOLDO CANO (1975)

Imagen 15. Planta baja proyecto inicial IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



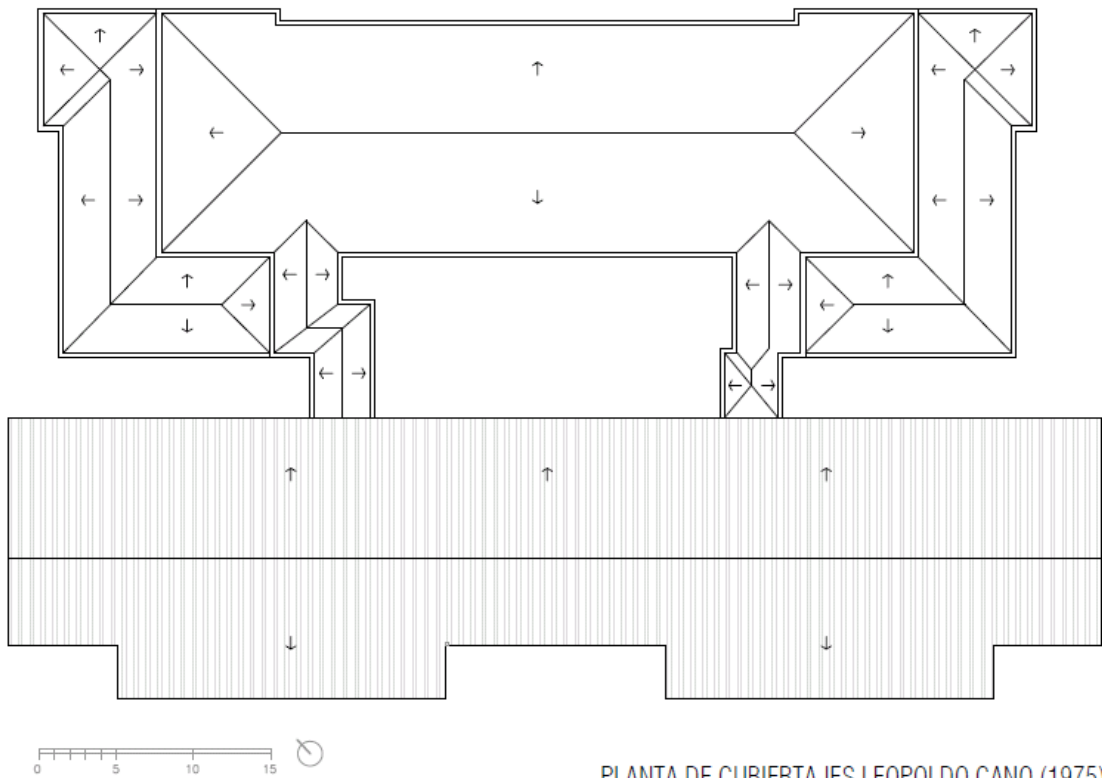
PLANTA PRIMERA IES LEOPOLDO CANO (1975)

Imagen 16. Planta primera proyecto inicial IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



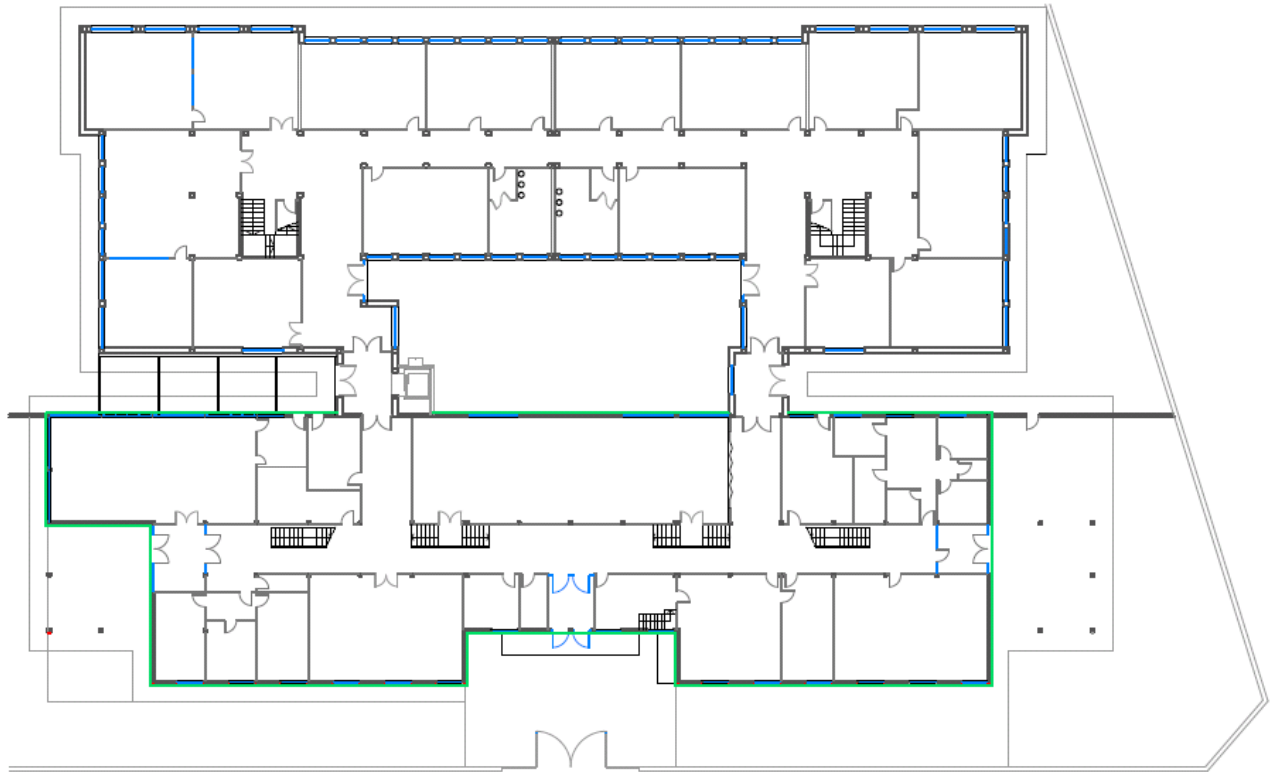
PLANTA SEGUNDA IES LEOPOLDO CANO (1975)

Imagen 17. Planta segunda proyecto inicial IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



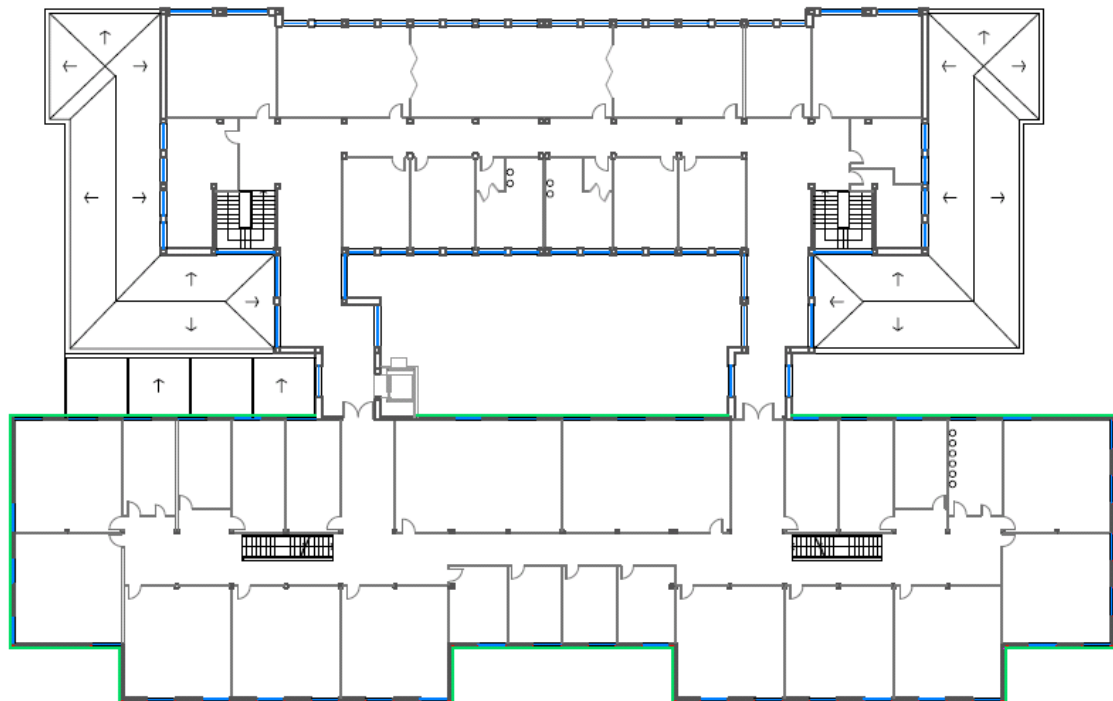
PLANTA DE CUBIERTA IES LEOPOLDO CANO (1975)

Imagen 18. Planta de cubierta proyecto inicial IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



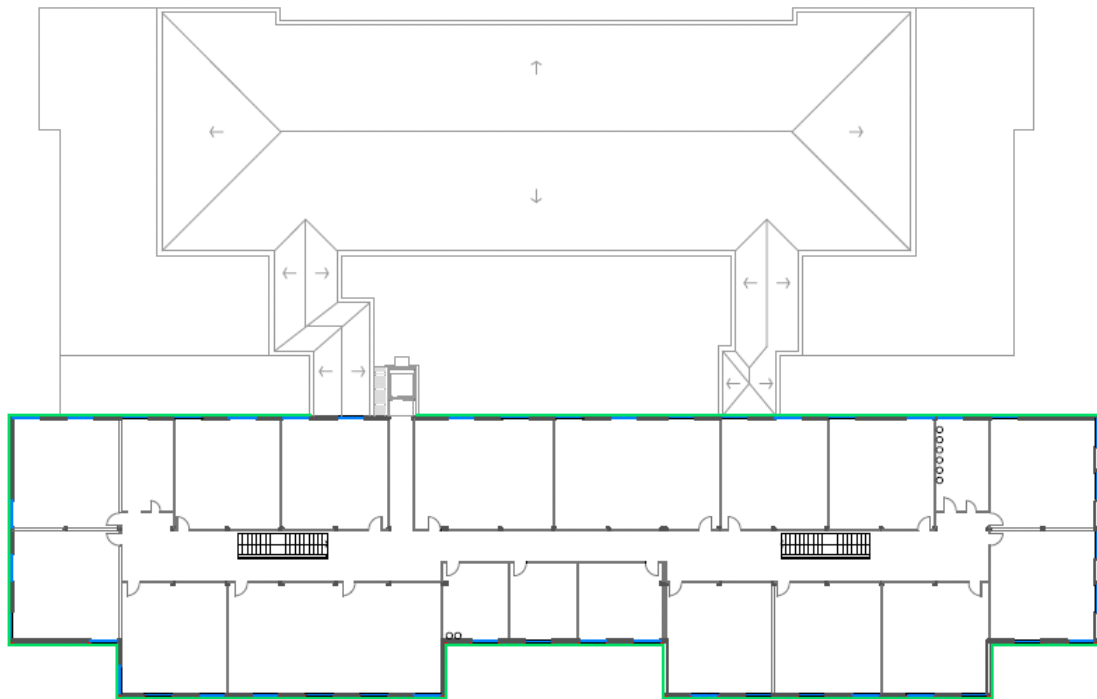
PLANTA BAJA IES LEOPOLDO CANO (2006)

Imagen 19. Planta baja reforma 2006 IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



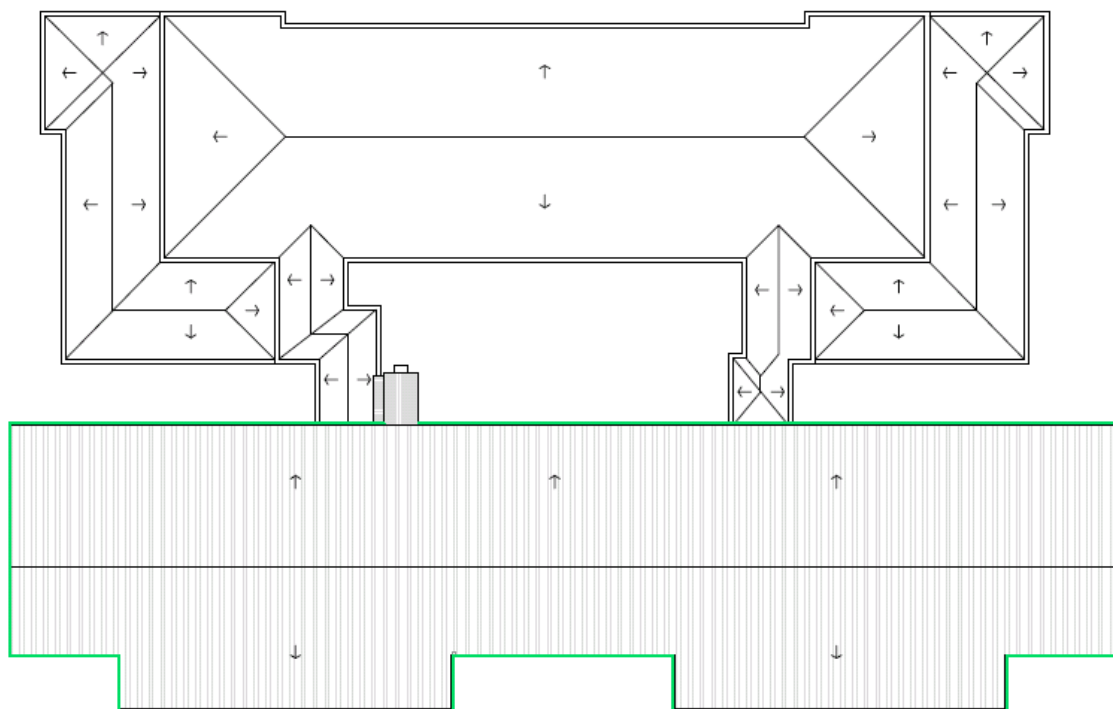
PLANTA PRIMERA IES LEOPOLDO CANO (2006)

Imagen 20. Planta primera reforma 2006 IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



PLANTA SEGUNDA IES LEOPOLDO CANO (2006)

Imagen 21. Planta segunda reforma 2006 IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.



PLANTA DE CUBIERTA IES LEOPOLDO CANO (2006)


 PIEL TÉRMICA REFORMA 2006

Imagen 22. Planta de cubiertas reforma 2006 IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal, C 39.321-2.

El volumen sureste está constituido por estructura aérea metálica de perfiles de acero laminado HEB<sup>25</sup> y fachada sustentada de bloques de hormigón celular YTONG de 14 cm de espesor dispuestos en hiladas encajadas entre las alas de los perfiles metálicos y configurando una única hoja de cerramiento. Carece de cámara de aire o adición de material aislante alguno. Hacia el interior, la fachada está revestida con un enfoscado de 20 mm.

Ha resultado bastante complicado recabar información técnica sobre estos bloques prefabricados. De hecho, no se han conseguido documentos de la época que arrojen datos sobre las propiedades térmicas de estas piezas. Los fabricantes actuales que siguen trabajando con bloques Ytong afirman que sus propiedades serían en los años 70 las mismas que actualmente.

En documentos técnicos actuales<sup>26</sup> se observa que la densidad seca nominal (kg/m<sup>3</sup>) abarca en todos los casos de 300 a 500. Además, se ha consultado un Documento de Idoneidad Técnica (DIT)<sup>27</sup> del Instituto Eduardo Torroja del año 1966 en el que se explica someramente su composición. Según este documento, las materias primas utilizadas son: *rodano (roca arenisca con gran porcentaje de sílice), cal grasa y polvo de aluminio en pequeña cantidad*. Con estos materiales utilizados en procesos se considera que es difícil obtener mayor densidad de 500 kg/m<sup>3</sup>, que además coincide con las densidades que ofrecen los fabricantes.

A partir de la densidad se puede determinar la conductividad de estos bloques mediante las tablas que ofrece la Norma<sup>28</sup> UNE- EN 1745 del 2013. En ella, la tabla A.10 “Piezas

---

<sup>25</sup> No se dispone de fotos del estado inicial de proyecto ni se tiene constancia de memoria de presupuestos ni mediciones de proyecto para poder constatar este hecho. Por este motivo, se asume la información aportada por el arquitecto que llevó a cabo la reforma del 2006 en el edificio.

<sup>26</sup> DAU 03/012 F. Documento de adecuación al uso Ytong- Siporex, editado en el 2014. ITec. Informes de la construcción, CSIC, 1971.

<sup>27</sup> DIT N°11. Instituto Eduardo Torroja, noviembre de 1966; publicado en Informes de la Construcción, Vol. 19, nº 185.

<sup>28</sup> UNE-EN 1745 “Fábrica de albañilería y componentes par fábrica. Métodos para determinar las propiedades térmicas”, Septiembre 2013.

prefabricas de hormigón curado en autoclave<sup>29</sup>, determina que para una densidad de 500 kg/m<sup>3</sup>, le corresponde una conductividad de 0,12 W/mK. Estos serán los datos que posteriormente se introduzcan en la Herramienta Unificada para determinar la transmitancia del cerramiento a falta de datos técnicos más fiables.

Los bloques prefabricados de hormigón celular u hormigón aireado YTONG se caracterizan por su composición interna de burbujas de aire a las que se asocia directamente su capacidad aislante. Sin embargo, como se verá en los resultados de la simulación energética del estado inicial del edificio, no es suficiente dicha capacidad aislante y configura así toda una envolvente que permite la disipación de energía hacia el exterior. Estas condiciones podían llevar a veces a situaciones de exceso calor o frío y humedades en las aulas; en definitiva a situaciones de no confort.

La Consejería de Educación de Castilla y León<sup>30</sup> efectuó en 2006 un plan de rehabilitación de estas fachadas tras años de problemas para acondicionar estos espacios. Esta reforma consistió en la disposición de una segunda piel aislante para minimizar los puentes térmicos de la estructura y aportar aislamiento térmico en fachada. Dicha piel envolvente está conformada por 50 mm de aislamiento de poliuretano proyectado (densidad > 35kg/m<sup>3</sup>) y tableros de madera- cemento<sup>31</sup> de espesor e= 12 mm anclados a la fachada original mediante montantes de madera de sección rectangular (120 x 60 mm). De esta forma, se generó una fachada ventilada que solventaba en gran medida los puentes térmicos y la falta de aislamiento de la fachada primigenia.

---

<sup>29</sup> En el documento DIT nº11 ya mencionado, en el apartado 2 “fabricación” se hace referencia: “(...) estos bloques se introducen en la autoclave para someterlos a la acción del vapor de agua a una presión determinada (...)”.

<sup>30</sup> Se ha podido acceder a la información de esta reforma al tratarse de documentos más cercanos en el tiempo y sujetos a una normativa más restrictiva en la generación de planos y documentación necesaria de proyecto de reforma. [Arquitecto Román Almonacid Bécquer, Delegación Territorial de Valladolid. Dirección Provincial de Educación, Junta de CyL].

<sup>31</sup> Se dispusieron paneles fenólicos de alta densidad de la casa TRESPA. Delegación Territorial de Valladolid. Dirección Provincial de Educación.



Podemos traducir estos datos descriptivos a una sección constructiva<sup>32</sup> vertical para clarificar aún más el estado de fachada.

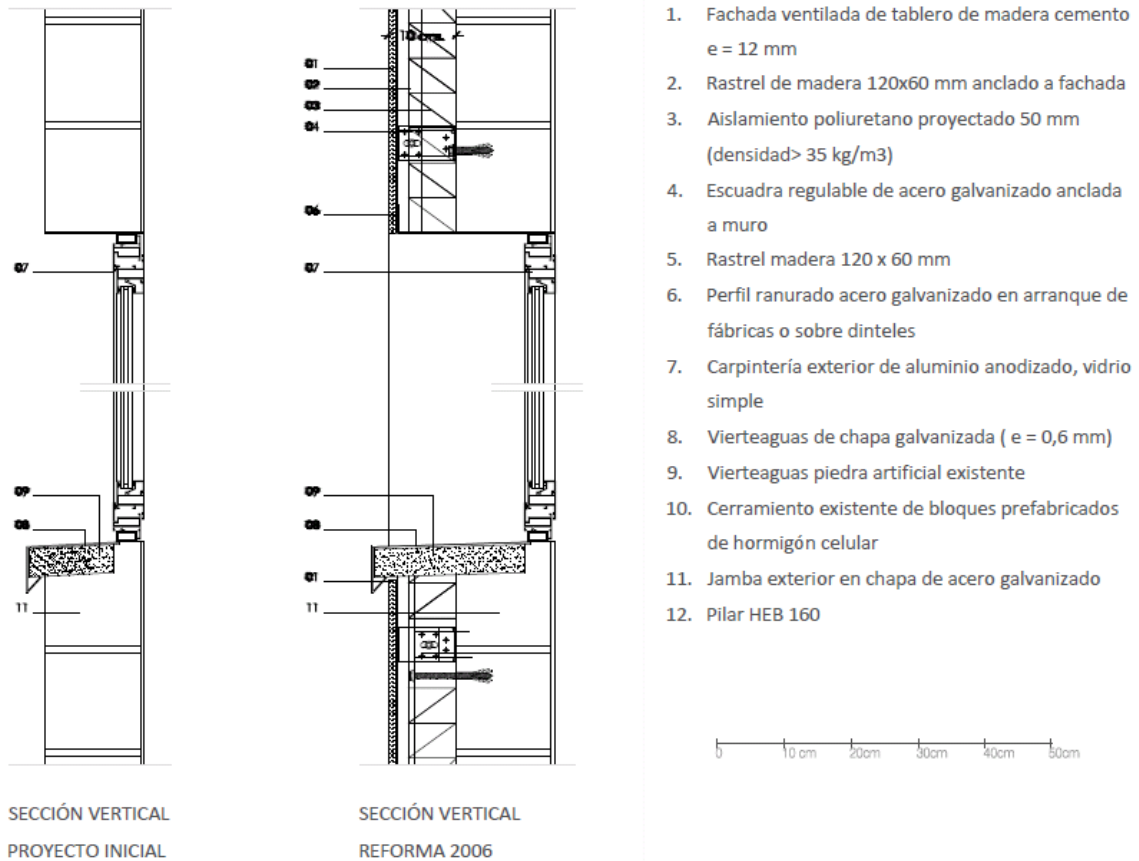


Imagen 23. Detalles constructivos de la fachada del proyecto inicial y de la reforma del 2006 en el IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal de Valladolid, C 05254-3.

<sup>32</sup> Archivo Municipal de Valladolid, C 05254-3.

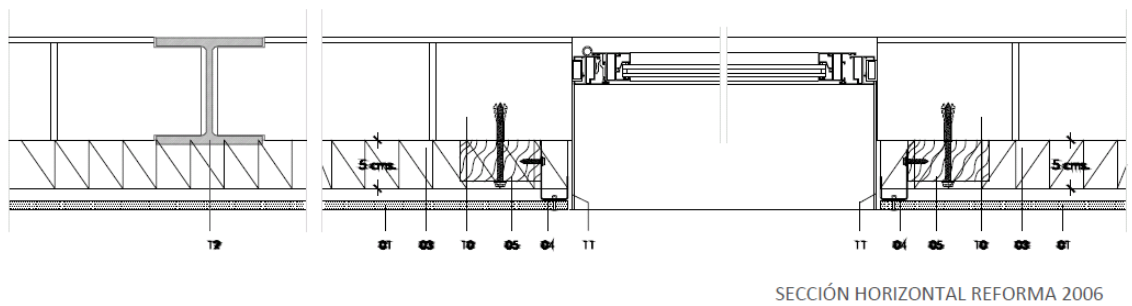
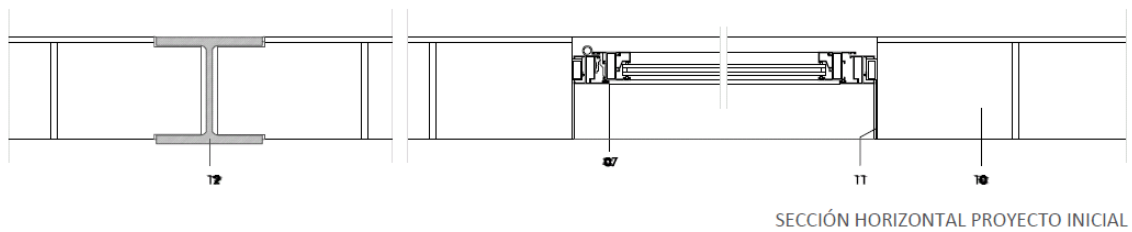


Imagen 24. Detalles constructivos de la fachada del proyecto inicial y de la reforma del 2006 en el IES Leopoldo Cano. Fuente: Archivo Municipal de Valladolid, C 05254-3.

Como se desarrollará en apartados posteriores, una vez recabada toda la información posible se procede a la calificación energética del edificio en su situación inicial y reforma de rehabilitación en el 2006. Con ello, veremos la mejora energética que supuso dicha intervención y nos permitirá aventurar puntos débiles de fachada para ofrecer propuestas de mejora de ahorro y eficiencia energética.

## 4.2. LA HERRAMIENTA UNIFICADA

La Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) es uno de los procedimientos de certificación de edificios que generan documentos de calificación reconocidos por el Código Técnico de la Edificación y, por ende, por el Ministerio de Fomento.

“A partir del 14 de enero de 2016 sólo serán admitidos por los Registros de las Comunidades Autónomas los certificados de eficiencia energética realizados con la versión 20151113 de la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), la versión 2375.1015 de CE3, la versión 2015/06\_2.1 de CE3X o la versión 4 de CERMA o versiones posteriores de las mismas”<sup>33</sup>. [CTE 2013, actualización del 14 de enero de 2016].

Esta herramienta informática permite la verificación de las exigencias 2.2.1 de la sección HE0, 2.2.1.1 y punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE. También permite la verificación del apartado 2.2.2 de la sección HE0 que debe verificarse, tal como establece el DB-HE, según el *procedimiento básico para la certificación energética de edificios*<sup>34</sup>.

Se trata, por tanto, de un programa informático de iniciativa pública que permite la calificación de eficiencia energética de:

- Edificios de viviendas unifamiliares
- Edificios de viviendas en bloque
- Viviendas individuales pertenecientes a edificios en bloque
- Edificios terciarios

---

<sup>33</sup> Nota informativa sobre Procedimiento para la Certificación de Eficiencia Energética. Actualización 10 de marzo de 2016 del CTE 2013.

<sup>34</sup> Artículo dentro del CTE: Energía> Energía y desarrollo sostenible> Eficiencia energética> Certificación de eficiencia energética de los edificios> Registro de documentos reconocidos. Actualización 10 de marzo de 2016 del CTE 2013.

En este último apartado es donde se encontrarían los edificios que se van a simular a lo largo del trabajo, ya que se trata de colegios e institutos, es decir, edificios de uso docente.

Nos permitirá realizar la calificación energética del edificio de estudio en diferentes situaciones:

- Situación proyecto inicial

La calificación de eficiencia energética del edificio se ha realizado de acuerdo a la documentación que se ha recibido antes del inicio de los trabajos, así como de la documentación obtenida de las visitas de verificación y control en el edificio.

- Situación intervención de reforma en el 2006

Se modifica la anterior situación añadiendo la nueva envolvente térmica que actualmente tiene el edificio. Se observará cómo la demanda anual de energía desciende y cumple con la Normativa de eficiencia energética vigente en ese momento (CTE DB HE, 2006).

- Situaciones de propuesta de medidas de ahorro y eficiencia energética

Desde el 2006 la normativa ha cambiado y actualmente la ley vigente de cumplimiento es el CTE 2013 que aumenta las exigencias respecto de la norma anterior. Las propuestas de mejora han de actualizar el edificio a los límites de hoy en día.

En todos los casos, la simulación con la HULC nos permite ver si el edificio objeto de estudio cumple o no cumple con la limitación de la demanda del CTE.

### 4.3. SIMULACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La simulación se realiza para un módulo de aula tipo del edificio con el fin de conocer cómo funciona el cerramiento exterior de fachada para el espacio docente dedicado a las clases. Se considera, por tanto, un aula con dimensiones promedio del resto de clases y que esté localizado en una situación intermedia de fachada, esto es, que no tenga contacto con el exterior por el techo ni por el suelo. Obtenemos un paralelepípedo con sólo un cerramiento en contacto con el aire exterior (fachada real) y los tabiques, suelo y techo serán elementos adiabáticos por los que no se considera que haya transmisión de energía. Las aulas abarcan en todos los casos dos módulos estructurales de fachada, que en este caso se corresponden con un hueco por módulo estructural, es decir, la fachada a estudiar en el IES Leopoldo Cano constará de dos huecos con las siguientes dimensiones:

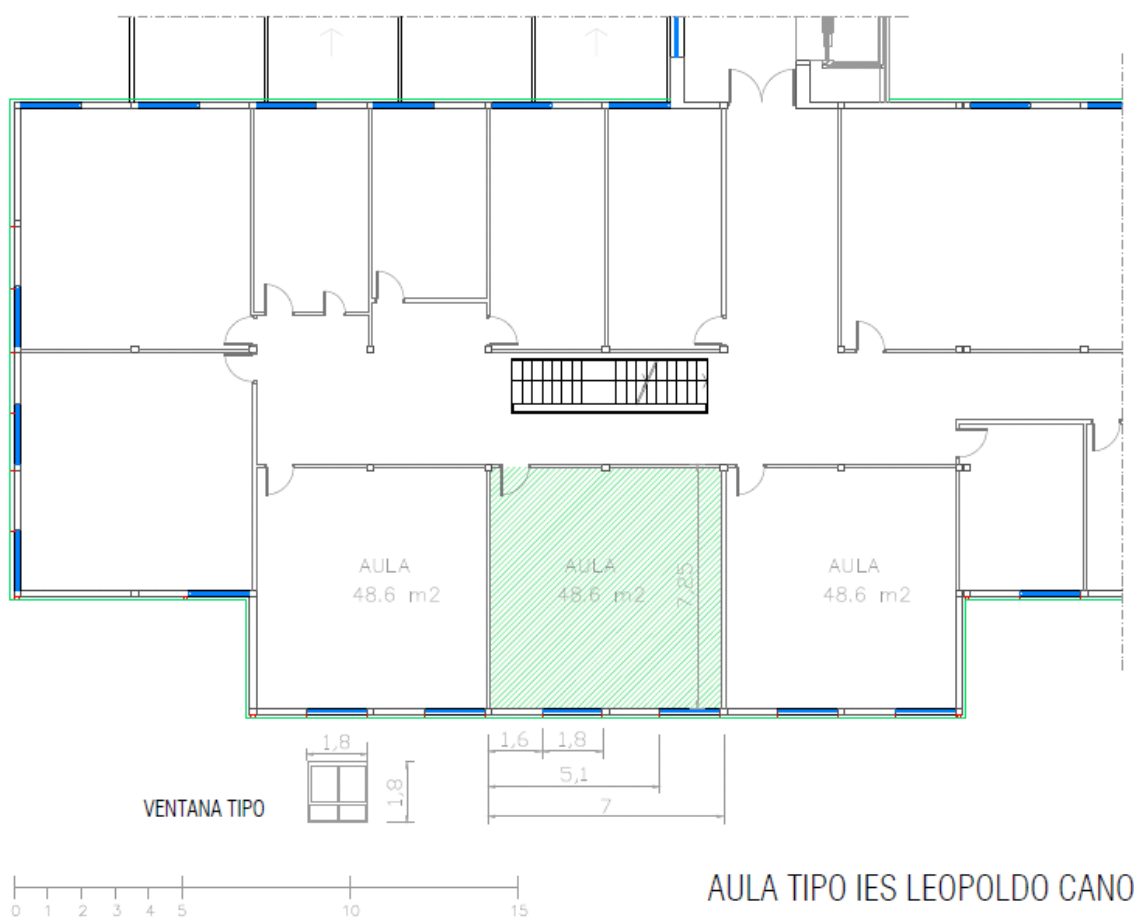
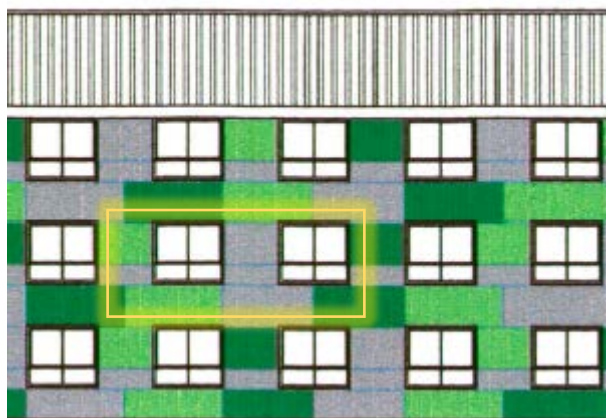


Imagen 25. Elección de un aula tipo para la simulación. Planta primera IES Leopoldo Cano.



Imagen 26. Alzados IES Leopoldo Cano tras la intervención de reforma energética en 2006. Documentación obtenida en el Archivo Municipal de Valladolid, C 05254-3.

Después de la recopilación y análisis de toda la información a la que se ha tenido acceso, así como de las visitas de campo y toma de datos in situ, se tiene la documentación necesaria para generar un módulo de aula virtual en el que se incorporan todos los parámetros de composición de capas de fachada, valor de puentes térmicos, composición y dimensiones de huecos, etc, para así calcular su demanda anual de energía.



Se exponen, más adelante, los resultados obtenidos de dichas calificaciones energéticas traducidos a gráfica de barras para hacer más inmediata la comparación visual.

Imagen 27. Esquema de fachada que corresponde a un aula.

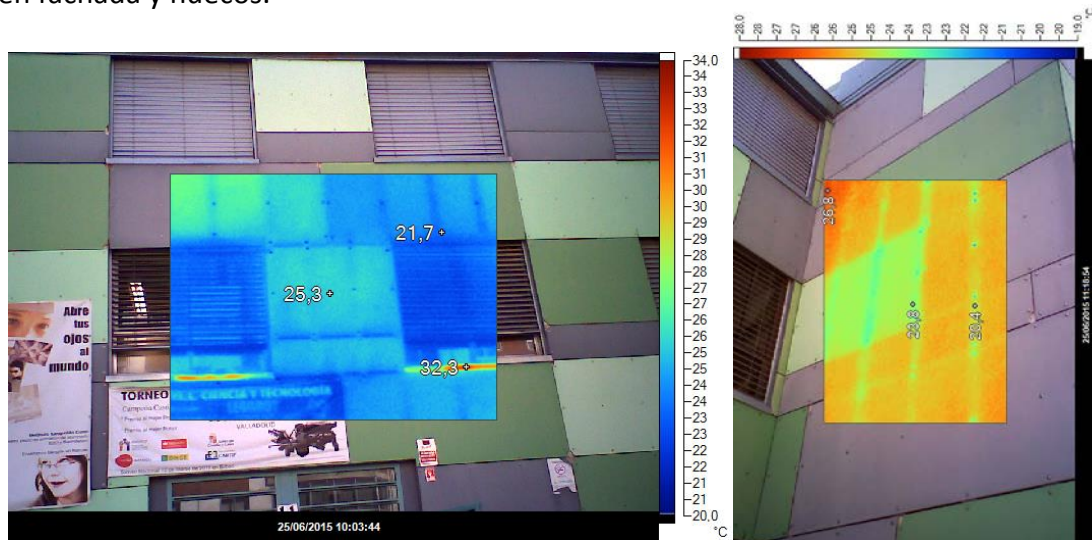
## RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

En la siguiente tabla resumen se puede sintetizar los principales datos de envolvente térmica del módulo del aula considerado.

| Superficie Habitable (m <sup>2</sup> )        | 50,75                        | Volumen Habitable (m <sup>3</sup> )        | 139,56                                   |
|---|------------------------------|--|--|
| Elemento                                      | Superficie (m <sup>2</sup> ) | U media proy. inicial (W/m <sup>2</sup> K) | U media reforma2006 (W/m <sup>2</sup> K) |
| Fachadas de espacios habitables <sup>35</sup> | 19,25                        | 1,09                                       | 0,43                                     |
| Huecos del espacio habitable                  | 6,48                         | 5,7  | 5,7                                      |
| Envolvente adiabática del aula <sup>36</sup>  | 160,63                       | -  | -  |

Tabla 3. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

Se han podido realizar termografías que nos permiten establecer valores de los puentes térmicos en el programa de calificación energética para los frentes de forjado, pilares en fachada y huecos.



Imágenes 28. Imágenes termográficas de la fachada del IES Leopoldo Cano mediante cámara termográfica de alta resolución Marca: Fluke, modelo: TiR 32. Rango de medida de la temperatura de -20 °C a +150 °C (de-4 °F a +302 °F); precisión de la medida de temperatura de  $\pm 2$  °C ó 2% (a 25 °C nominales, el valor que

<sup>35</sup> Superficie de cerramientos exteriores sin deducir huecos.

<sup>36</sup> Superficie adiabática se considera en este modelo de simulación de un módulo de aula como la constituida por tabiques interiores así como el suelo y techo del aula, ya que se considera como premisa la simulación de un aula intermedia en el edificio.

sea mayor); corrección de emisividad en pantalla, compensación de la temperatura reflejada de fondo en pantalla; corrección de transmitancia en pantalla. (Cedidas por David Cavero Rodríguez).

Deben considerarse los *puentes térmicos lineales* del edificio, caracterizados mediante su tipo, la *transmitancia térmica lineal*, obtenida en relación con los *cerramientos* contiguos, y su longitud. [Apartado 5.2.4 Puentes térmicos del CTE DB HE]

| Puentes térmicos (W/mk) | Frente de forjado | Pilares | Dinteles/jambas |
|-------------------------|-------------------|---------|-----------------|
| Proyecto inicial        | 0,93              | 0,86    | 0,4             |
| Reforma 2006            | 0,3               | 0,2     | 0,22            |
| Propuestas              | 0,07              | 0,00    | 0,02            |

Tabla 4. Valores de puentes térmicos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

### 4.3.1. DATOS DE LA SIMULACIÓN

---

La calificación de eficiencia energética del edificio se ha realizado de acuerdo a la documentación que se ha recibido antes del inicio de los trabajos, así como de la documentación obtenida de las visitas de verificación y control en el edificio.

#### Espacios

---

Según la descripción geométrica y constructiva del espacio de un aula modelo, se trabaja con un único espacio que correspondería con uno de uso docente.

| Nombre  | Planta | Uso                  | Clase higrométrica | Área (m <sup>2</sup> ) | Altura (m) |
|---------|--------|----------------------|--------------------|------------------------|------------|
| P01_E01 | P01    | Intensidad Alta - 8h | 3                  | 50,75                  | 2,75       |

Tabla 5. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.



Cerramientos opacos

Los materiales opacos que componen la envolvente del espacio se exponen a continuación con sus propiedades y características:

| Nombre  | K<br>(W/mK) | E<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Cp<br>(J/kgK) | R<br>(m <sup>2</sup> K/W) | Z<br>(m <sup>2</sup> sPa/kg) |
|---|-------------|---------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Hormigón celular curado en autoclave d= 500</b>            | 0,12        | 400                       | 1000          |                           |                              |
| <b>Enlucido de yeso 1000 &lt; d &lt; 1300</b>                 | 0,570       | 1150                      | 1000          | -                         | 6                            |
| <b>Tabicón de LH doble (60mm&lt;E&lt;90mm)</b>                | 0,469       | 930                       | 1000          |                           |                              |
| <b>Plaqueta o baldosa cerámica</b>                            | 1,000       | 2000                      | 800           | -                         | 30                           |
| <b>Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]</b>        | 0,410       | 1000                      | 1000          | -                         | 10                           |
| <b>Con capa de compresión -Canto 300 mm</b>                   | 1,579       | 1530                      | 1000          | -                         | 80                           |
| <b>Acero</b>  | 50          | 7800                      | 450           | -                         | 1e+30                        |
| <b>PUR Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO2</b> | 0,040       | 17,50                     | 1000          | -                         | 20                           |
| <b>Tablero de partículas con cemento d &lt; 1200</b>          | 0,230       | 1200                      | 1500          | -                         | 30                           |
| <b>Cámara de aire ligeramente ventilada vertical</b>          | -           | -                         | -             | 0,08                      | -                            |
| <b>Mortero de cemento o cal para albañilería</b>              | 1,300       | 1900                      | 1000          | -                         | 10                           |

Tabla 6. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

Los cerramientos opacos están compuestos por los siguientes materiales dispuestos con un orden de exterior a interior:

| Nombre  | U (W/m <sup>2</sup> K) | Material  | Espesor (m)                               |
|---|------------------------|---|---|
| Fachada Proyecto inicial CT-79                  | 1,09                   | Hormigón celular curado en autoclave d 500<br>Enlucido de yeso 1000 < d < 1300  | 0,140<br>0,020                            |
| Forjado Tipo (se considera adiabático)          | 2,16                   | Plaqueta o baldosa cerámica<br>Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]<br>Con capa de compresión -Canto 300 mm<br>Enlucido de yeso 1000 < d < 1300  | 0,020<br>0,020<br>0,300<br>0,020          |
| Tabique   | 2,50                   | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300<br>Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]<br>Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020<br>0,075<br>0,020                   |
| Fachada reforma energética 2006<br><br>CTE 2006 | 0,43                   | Tablero de partículas con cemento d < 1200<br>Cámara de aire ligeramente ventilada vertical<br>PUR Inyección en tabiquería con dióxido de carbono<br>Hormigón celular curado en autoclave d 500<br>Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,012<br>0,030<br>0,050<br>0,140<br>0,020 |

Tabla 7. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

### Cerramientos semitransparentes

#### Vidrios

| Nombre           | U (W/m <sup>2</sup> K) | Factor solar |
|------------------|------------------------|--------------|
| VER_Monolítico_4 | 5,70                   | 0,85         |

Tabla 8. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

#### Marcos

| Nombre                                  | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|---|------------------------|
| VER_Normal sin rotura de puente térmico | 5,70                   |

Tabla 9. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

Los huecos están constituidos por ventanas correderas de aluminio con vidrio simple. Dichas ventanas son las originales de proyecto y se mantienen en la reforma del 2006, por lo que presentan las siguientes características en ambos casos de simulación:

| Acrilamiento  | VER_M_4   |
|---|---|
| Marco   | VER_Normal sin rotura de puente térmico <sup>37</sup> |
| % Hueco   | 24,70   |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 100   |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 5,70  |
| Factor solar  | 0,68  |

Tabla 10. Síntesis de datos de las ventanas originales del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

Es importante poner en conocimiento que se han establecido 0,8 renovaciones/ hora al considerarse una intensidad de uso alta de 8 horas en estos espacios. Se contabilizan este periodo de tiempo asemejándolo al uso real de impartición de clases, desde las 08:00 horas. Al final de la tarde así como en los periodos de verano de julio y agosto, no se considera una actividad tal, ya que se entiende que no va a haber en estos espacios la misma cantidad de personas como a lo largo del curso.

El valor de las renovaciones/ hora es importante porque en estos espacios son muy importantes las fuentes internas que aumentan la demanda anual contribuyendo a ganancias de calefacción y refrigeración (véase más a delante en las gráficas del apartado 4.4).

Las renovaciones/hora se obtienen a partir de distintos métodos que propone el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)<sup>38</sup>. Según el método de *ocupación por persona*, las aulas de enseñanza se corresponden con un IDA 2 (In Door

<sup>37</sup> La Herramienta Unificada hace distinción entre los vidrios en posición vertical y horizontal. Por este motivo, los huecos se designan a menudo con la abreviatura “VER”, que significa que se ha simulado con vidrios en posición vertical.

<sup>38</sup> IT 1.1.4.2.3. RITE vigente mediante el Real Decreto 1027/2007 del Ministerio de la Presidencia (BOE 29/0807) con correcciones de errores y modificaciones 13/4/2013.

Air, calidad del aire interior) que demanda de  $12,5 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{persona}$ . Según la tabla 22 de ocupación de  $\text{m}^2/\text{persona}$  (UNE-EN 13779) el uso de un aula se corresponde con  $2,5 \text{ m}^2/\text{persona}$ . La actividad metabólica en una actividad sedentaria (colegios) es de  $1,2 \text{ met}$  (tabla 25 “actividad metabólica”, UNE-EN 13779). Con estos datos y el método nombrado, se obtienen las  $0,8 \text{ renovaciones/hora}$  que se han introducido en la simulación.

### 4.3.2. PROPUESTAS. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

---

Una vez obtenidos y analizados los datos así como identificado problemáticas y puntos débiles del estado inicial de proyecto y el estado actual con la reforma en el 2006, se es consciente que es necesario actualizar la envolvente térmica a las exigencias que demanda la normativa actual. Por ello, se plantean una serie de propuestas encadenadas, la siguiente se concibe como fruto de mejora de la anterior, con el fin de hacer que el módulo del aula simulado cumpla con la normativa de hoy en día. Es necesario mejorar la calificación de eficiencia energética del edificio para lo que se cuantifican las posibles mejoras y recomendaciones de cambio.

Se proponen una serie de soluciones y líneas de actuación que reducen tanto el consumo energético del edificio, como sus emisiones de CO<sub>2</sub>, de forma que se pueda mejorar la eficiencia energética del edificio, atendiendo a la envolvente sin tener que cambiar los sistemas de acondicionamiento.

Así, se vuelve a simular el aula aplicando las propuestas de mejora que se han diseñado con objeto de cuantificar los ahorros energéticos en demanda de consumo. Las propuestas van a consistir en instalación de aislamiento térmico por el exterior, eliminación de puentes térmicos, sustitución de ventanas y disposición de elementos de sombreado.

Se introduce el aislante como nuevo material en los cerramientos opacos:

| Nombre  | K (W/mK) | E (kg/m <sup>3</sup> ) | Cp (J/kgK) |
|---|----------|------------------------|------------|
| <b>XPS poliestireno extruido con dióxido de carbono</b> | 0,042    | 38                     | 1000       |

Tabla 11. Síntesis de datos del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

El cerramiento opaco de propuesta en fachada tendrá la siguiente composición:

| Nombre                              | U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Material   | Espesor<br>(m) |
|-------------------------------------|---------------------------|--|----------------|
| Fachada<br>Rehabilitada<br>CTE 2013 | 0,25                      | Tablero de partículas con cemento d < 1200       | 0,012          |
|                                     |                           | Cámara de aire ligeramente ventilada vertical    | 0,020          |
|                                     |                           | XPS poliestireno extruido con dióxido de carbono | 0,100          |
|                                     |                           | Hormigón celular curado en autoclave d 500       | 0,140          |
|                                     |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300                 | 0,020          |

Tabla 12. Síntesis de datos de la propuesta de fachada del IES Leopoldo Cano introducidos en la simulación.

En cuanto a los cerramientos semitransparentes:

| NOMBRE  | Ventana de vidrios dobles         |
|---|-----------------------------------|
| Acristalamiento                                       | VER_DC_4-15-331                   |
| Marco   | VER_ Con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 24,00                             |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                             |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 2,70                              |
| Factor solar  | 0,75                              |

Tabla 13. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de doble vidrio introducidos en la simulación.

| NOMBRE  | Ventana de vidrios dobles bajo emisivos |
|---|---|
| Acristalamiento                                       | VER_DB1_4-15-331                        |
| Marco   | VER_ Con rotura de puente térmico       |
| % Hueco   | 24,00                                   |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                   |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 1,80                                    |
| Factor solar  | 0,68                                    |

Tabla 14. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de vidrios bajo emisivos introducidos en la simulación.



Imagen 29. Documentación fotográfica del IES Leopoldo Cano (David Cavero y autora).  
Arriba a la izquierda: laboratorio del instituto. Arriba a la derecha: interior de un aula del instituto; se observa la estructura metálica de cercha así como de pilares metálicos vistos en el cerramiento de fachada. Abajo a la izquierda: fachada actual del instituto. Abajo a la derecha: en un panel deteriorado de fachada se ha podido observar y hacer mediciones del montante de madera y del material aislante.

A continuación se establecen las propuestas concebidas siguiendo un hilo conductor de mejora por el que se trata de ir afinando hasta llegar a la situación más favorable energéticamente y que haga eficiente el edificio.

### 4.3.3. RESULTADOS

---

La Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) nos permite conocer en último término, tras introducir todos los datos que se han expuesto en los apartados previos, la demanda de energía (calefacción + refrigeración) anual del edificio en  $\text{KW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  y compararlo respecto de un edificio de referencia<sup>39</sup> con sus mismas características pero que cumple con las exigencias y valores límites de la normativa CTE DB HE 2013. Con ello se llega a la conclusión de si el edificio cumple o no con la normativa actual.

La demanda de energía anual se considera que es la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente en función del *uso* del edificio (perfiles de uso, en nuestro caso uso docente) y de la *zona climática* en la que se ubique (Valladolid se encuentra en la zona climática D2), considerada la superficie útil de los *espacios habitables* del edificio.

Se obtendrá a continuación la *demanda energética conjunta* de calefacción y refrigeración. También se podría obtener la *demanda global* que incluye la demanda de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación, pero no se consideran en este trabajo por extenderse más allá del estudio. Este concepto que utiliza la Herramienta unificada es tomado del apéndice de terminología del CTE DB HE1, 2013.

Los resultados varían en función de la orientación a la que está expuesta el cerramiento en contacto con el aire exterior. Por este motivo, se considera oportuno mostrar qué es lo que sucede según la orientación de la fachada.

A continuación se exponen los resultados obtenidos mediante HULC, en forma de gráficas, para orientaciones absolutas: norte, sur, este, oeste.

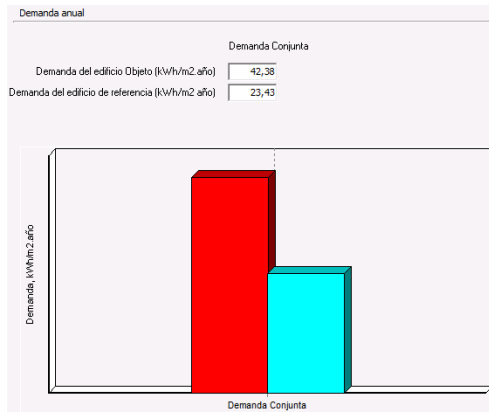
---

<sup>39</sup> El edificio de referencia es un edificio obtenido a partir del edificio objeto, con su misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos, y unas soluciones constructivas tipificadas. Apartado 5.3 CTE DB HE y Apéndice D.

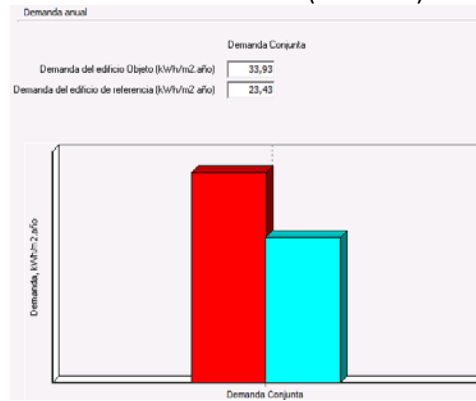


NORTE

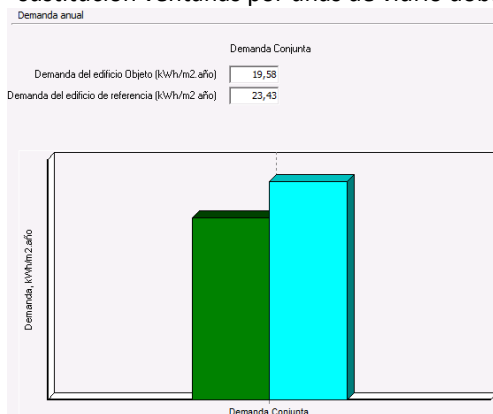
Proyecto inicial (1975, Anterior a NBE CT-79)



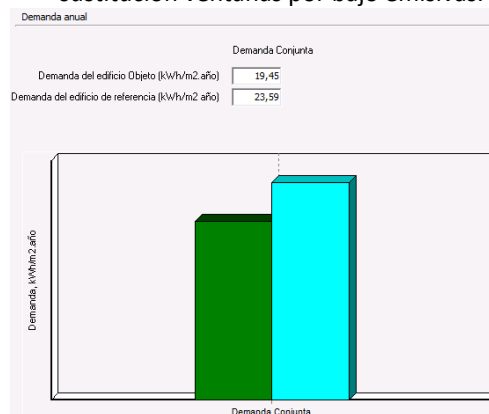
Rehabilitación energética de fachada en reforma de 2006 (CTE 2006)



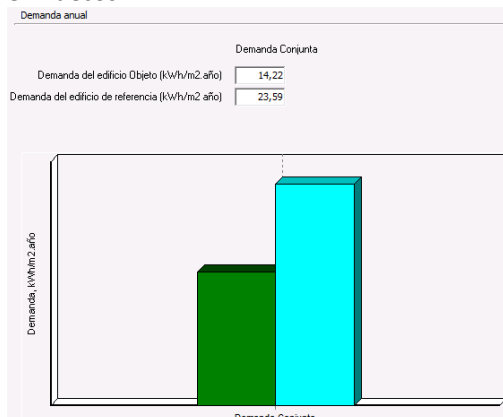
**PROPUESTA 1\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos y sustitución ventanas por unas de vidrio doble.



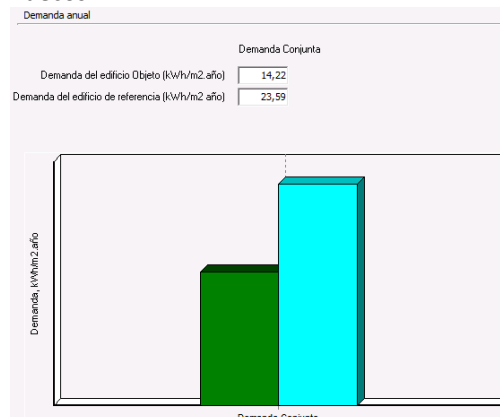
**PROPUESTA 2\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.

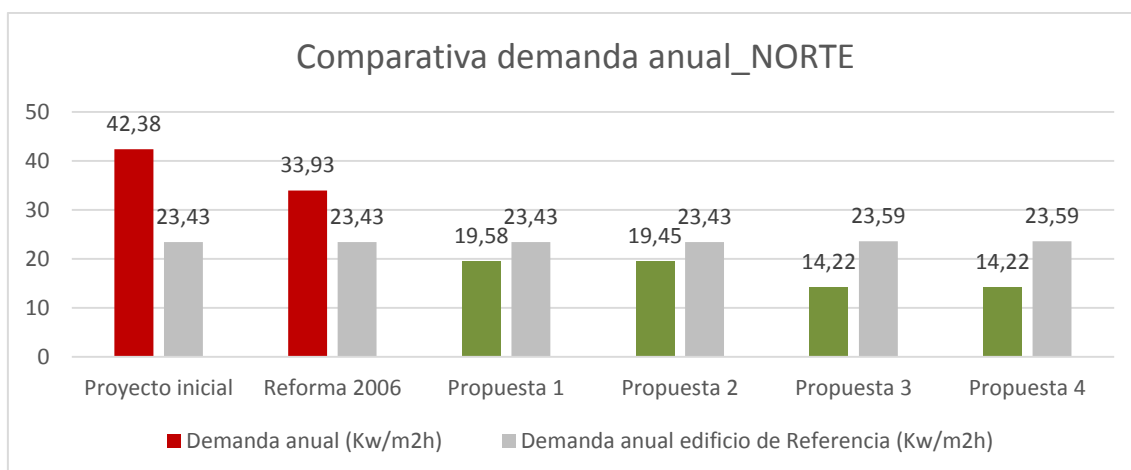


**PROPUESTA 3\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrios bajo emisivos y lamas horizontales, orientables fijas en huecos.



**PROPUESTA 4\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrios bajo emisivos y lamas verticales, orientables fijas en huecos.





Gráfica 1. Comparativa de la demanda anual (calefacción y refrigeración) al norte en los diferentes casos de propuesta. (Autora)

Con esta gráfica comparativa, se observa claramente cómo la demanda anual disminuyó considerablemente con la reforma del 2006 y cómo sigue descendiendo con creces con las propuestas. A continuación se explican las propuestas ofrecidas que hacen que el edificio objeto, en nuestro caso el aula, sí cumpla con las exigencias actuales del CTE, siendo menor la demanda que la del edificio de referencia. En el caso de la propuesta 3 y 4, la demanda anual del edificio de referencia aumenta ligeramente. Esto se debe a la disposición de lamas que el programa de simulación entiende que actúa en detrimento de la necesidad de luz en el aula y aumenta la demanda por el requerimiento de luminarias.

## NORTE\_PROPUESTA 1

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por unas de vidrio doble.**

Se propone modificar la fachada ventilada actual colocando placas de poliestireno extruido de 100 mm de espesor, conductividad térmica de 0,042 W/(mK), según UNE-EN 13162., en sustitución del aislante actual. Se generaría una cámara intermedia

vertical ligeramente ventilada y, por último, el acabado de tableros de madera-cemento. La actuación también favorece la mejora del aislamiento acústico respecto del exterior. Debe atenderse a la correcta ejecución de encuentros y resolución de puentes térmicos vinculados a los huecos; esto es, se propone resolver el puente térmico de dintel, alfeizar, jambas y persianera. Se reduce la transmitancia del muro a 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

Dicho sistema se combina con la sustitución de ventanas actuales por unas de vidrio doble, metálicas, con rotura de puente térmico, vidrio de espesores 4-15-331 y permeabilidad al aire de 27 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa. Se consigue así una transmitancia térmica del vidrio de 2,70 W/m<sup>2</sup>K y transmitancia del marco de 3,20 W/m<sup>2</sup>K.

Dicha medida afecta directamente al consumo de calefacción y sobre todo de confort térmico. Con la propuesta, sí se cumple con las exigencias eficiencia energética que impone el CTE 2013.

## NORTE\_ PROPUESTA 2

---

### **Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.**

Al igual que en la propuesta 1, se propone la instalación de aislamiento térmico de poliestireno extruido ( $\lambda=0,042$  W/(mK)) con espesor 100mm, con el que se obtiene una transmitancia de fachada de 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

En este caso, dicho sistema se combina con la sustitución de las ventanas actuales por unas ventanas bajo emisivas metálicas, con rotura de puente térmico, vidrio de espesores 4-15-331 y permeabilidad al aire de 27 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa. Se consigue así una transmitancia térmica del vidrio de 1,80 W/m<sup>2</sup>K y transmitancia del marco de 3,20 W/m<sup>2</sup>K.

## NORTE\_ PROPUESTA 3

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas horizontales, fijas, orientables en huecos.**

Se propone la instalación de aislamiento exterior en fachada con eliminación de puentes térmicos con las mismas características que en las propuestas anteriores. Las ventanas con vidrio bajo emisivos también mantienen las propiedades especificadas previamente.

Además, se dispone en los huecos un sistema de lamas horizontales fijas, con posibilidad de ser orientables. No es una propuesta convencional ya que las lamas constituyen protectores de radiación solar directa que no afecta a la orientación norte. Sin embargo, el programa de simulación considera que existe radiación directa y radiación difusa que también intervine en la eficiencia energética.

El CTE no contempla en ninguna tabla del apartado de factor de sombra en huecos ningún coeficiente a la hora de disponer lamas al norte. En este caso se trata de lamas horizontales de anchura 100 mm y separadas entre sí 100 mm.

## NORTE\_ PROPUESTA 4

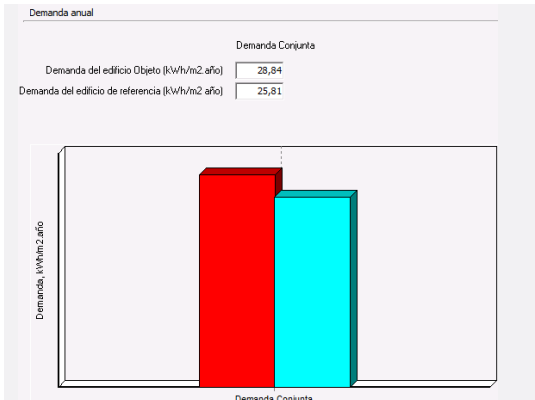
---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales, fijas, orientables en huecos.**

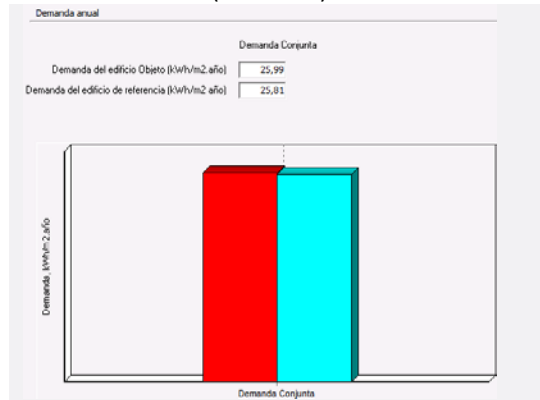
Misma propuesta que la anterior pero en este caso se disponen lamas verticales de anchura 100 mm y separadas entre sí la misma distancia.

SUR

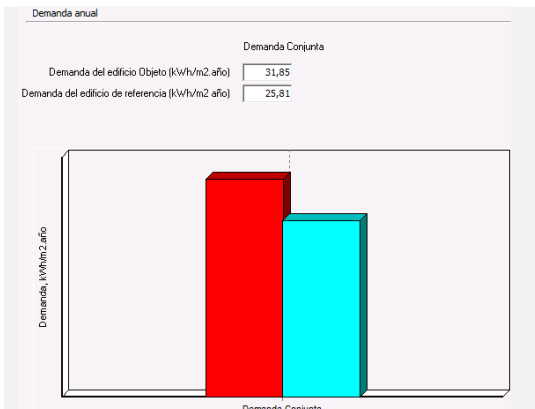
Proyecto inicial (1975, Anterior a NBE CT-79)



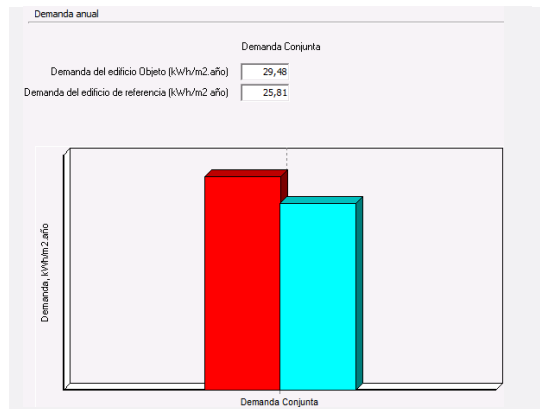
Rehabilitación energética de fachada en reforma de 2006 (CTE 2006)



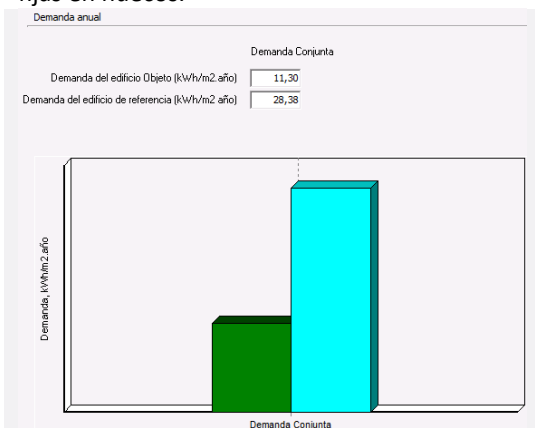
**PROPUESTA 1\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.



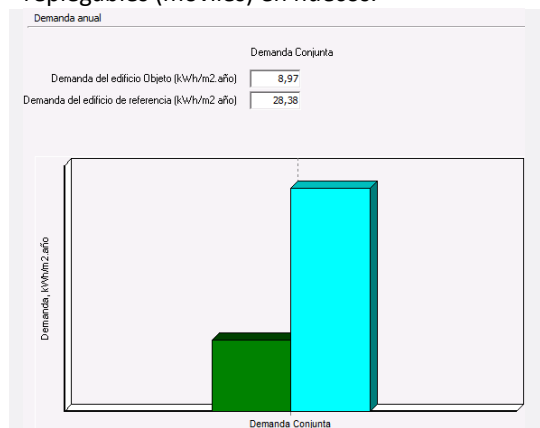
**PROPUESTA 2\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas.

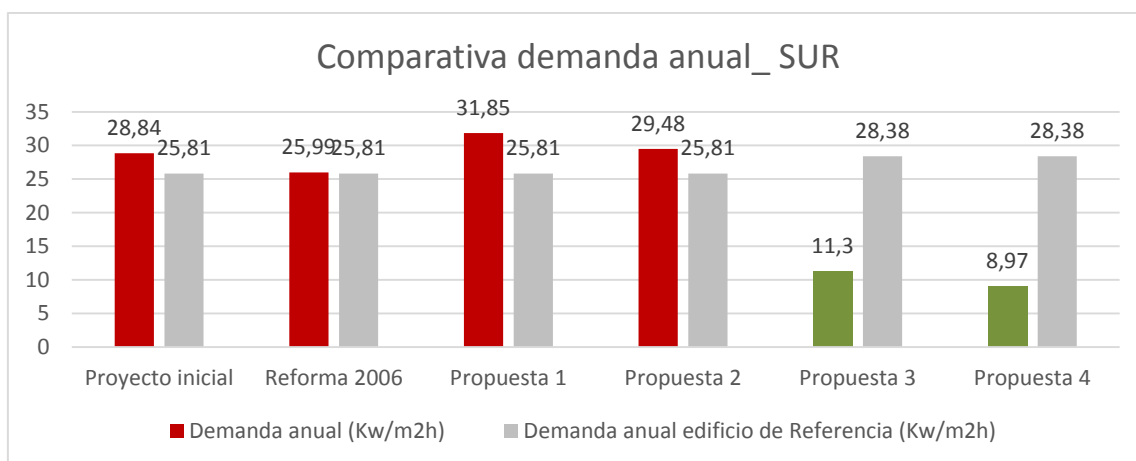


**PROPUESTA 3\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrio doble y lamas horizontales, orientables fijas en huecos.



**PROPUESTA 4\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrio doble y lamas horizontales, orientables, plegables (móviles) en huecos.





Gráfica 2. Comparativa de la demanda anual (calefacción y refrigeración) al sur en los diferentes casos de propuesta. (Autora)

Es importante explicar que la demanda del edificio de referencia aumenta ligeramente en las últimas dos propuestas. Esto es debido a la disposición de lamas que el programa considera que evitan la radiación solar pero hacen necesario el incremento de luz en el interior de los espacios a través de las luminarias, lo que se traduce como un aumento de la demanda anual.

## SUR\_ PROPUESTA 1

### **Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.**

Se propone modificar la fachada ventilada actual colocando placas de poliestireno extruido de 100 mm de espesor, conductividad térmica de 0,042 W/(mK), según UNE-EN 13162., en sustitución del aislante actual. Se generaría una cámara intermedia vertical ligeramente ventilada y por último el acabado de tableros de madera-cemento. La actuación también favorece la mejora del aislamiento acústico respecto del exterior. Debe atenderse a la correcta ejecución de encuentros y resolución de puentes térmicos vinculados a los huecos; esto es, se propone resolver el puente térmico de dintel, alfeizar, jambas y persianera. Se reduce la transmitancia del muro a 0,25 W/m2K.

En este caso, dicho sistema se combina con la sustitución de las ventanas actuales por unas ventanas bajo emisivas metálicas, con rotura de puente térmico, vidrio de espesores 4-15-331 y permeabilidad al aire de 27 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa. Se consigue así una transmitancia térmica del vidrio de 1,80 W/m<sup>2</sup>K y transmitancia del marco de 3,20 W/m<sup>2</sup>K.

## SUR\_ PROPUESTA 2

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, y sustitución ventanas.**

Al igual que en la propuesta 1, se propone la instalación de aislamiento térmico de poliestireno extruido ( $\lambda=0,042$  W/(mK)) con espesor 100 mm, con el que se obtiene una transmitancia de fachada de 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

Dicho sistema se combina con la sustitución de ventanas actuales por unas dobles metálicas, con rotura de puente térmico, vidrio de espesores 4-15-331 y permeabilidad al aire de 27 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa. Se consigue así una transmitancia térmica del vidrio de 2,70 W/m<sup>2</sup>K y transmitancia del marco de 3,20 W/m<sup>2</sup>K.

Dicha medida afecta directamente al consumo de calefacción y sobre todo de confort térmico.

## SUR\_ PROPUESTA 3

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrio doble y lamas horizontales, orientables fijas en huecos.**

Se propone 100 mm de aislamiento térmico de poliestireno extruido como en las anteriores propuestas. Sustitución de ventanas originales por unas de vidrio doble con las características que se han especificado también en las propuestas previas. Además, incorporación de sistema de lamas horizontales fijas en los huecos de cerramiento, para lo que es necesario un estudio previo de la posición del sol para determinar el ángulo de incidencia y así poder determinar el ángulo de inclinación de las lamas.

| UBICACIÓN<br>C/ Tórtola, 11. Valladolid |           |                       |           |
|---|-----------|-----------------------|-----------|
| FECHA<br>21/JUNIO                       |           | FECHA<br>21/DICIEMBRE |           |
| HORA                                    | ELEVACIÓN | HORA                  | ELEVACIÓN |
| 06:44:43                                | -0.833°   | 09:42:36              | -0.833°   |
| 7:00:00                                 | 1.59°     | 10:00:00              | 1.9°      |
| 8:00:00                                 | 11.67°    | 11:00:00              | 10.53°    |
| 9:00:00                                 | 22.4°     | 12:00:00              | 17.58°    |
| 10:00:00°                               | 33.5      | 13:00:00              | 22.5°     |
| 11:00:00                                | 44.68°    | 14:00:00              | 24.79°    |
| 12:00:00                                | 55.54°    | 15:00:00              | 24.16°    |
| 13:00:00                                | 65.19°    | 16:00:00              | 20.7°     |
| 14:00:00                                | 71.27°    | 17:00:00              | 14.81°    |
| 15:00:00                                | 70.03°    | 18:00:00              | 7.02°     |
| 16:00:00                                | 62.46°    | 18:51:51              | -0.833°   |
| 17:00:00                                | 52.29°    |                       |           |
| 18:00:00                                | 41.27°    |                       |           |
| 19:00:00                                | 30.08°    |                       |           |
| 20:00:00                                | 19.07°    |                       |           |
| 21:00:00                                | 8.5°      |                       |           |
| 21:56:54                                | -0.833°   |                       |           |

Tabla 15. Trayectoria del sol en los solsticios. Fuente: SunEarthTools.com

De esta tabla se deduce que la posición del sol es más elevada exactamente a las 14:21 horas en el solsticio de verano y a las 14:16 h también en el solsticio de invierno. Como se puede observar en los siguientes gráficos del recorrido del sol por coordenadas polares<sup>40</sup>, el sol alcanza 71,3° en el solsticio de verano y 24,9° en el de invierno.

40 [© 2009-2016 SunEarthTools.com]



Estos diagramas se basan en círculos concéntricos donde la elevación solar se lee en varios círculos concéntricos, de 0° a 90°. El acimut expresa un ángulo entre un punto y un plano de referencia. Generalmente es la distancia angular de un punto desde el Norte, medida en grados: 0° norte, 90° este, 180° sur, y 270° oeste. El horizonte es representado por el círculo más externo.

El ángulo de ácimut indica la dirección del Sol en el plano horizontal desde una posición dada. Las diferentes trayectorias del Sol en el cielo están delimitadas por aquellas de los días de solsticio.

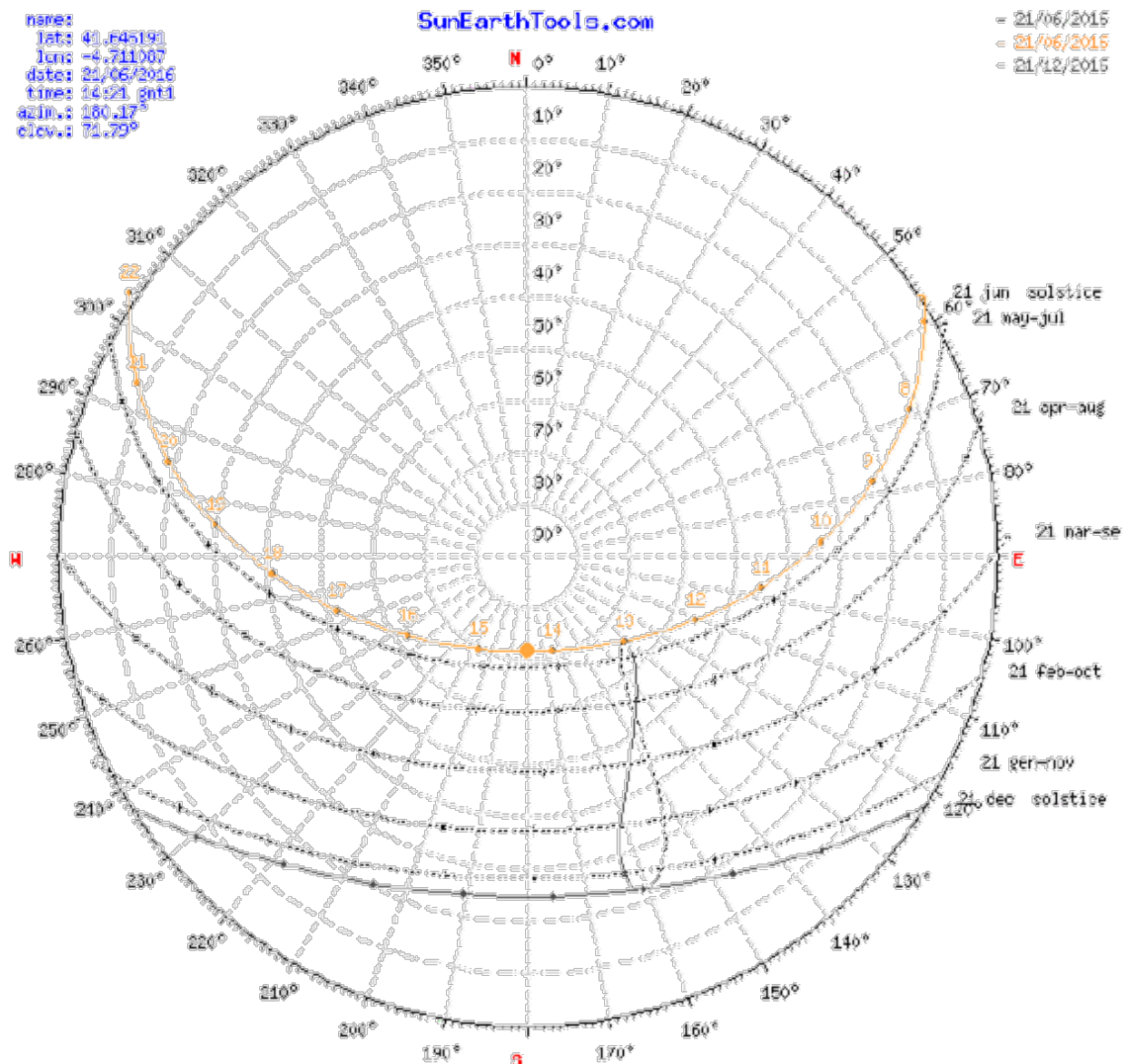


Imagen 30. Coordenadas polares de la situación del sol el 21 de junio a las 14:21 horas, cuando alcanza su posición más elevada. © 2009-2016 SunEarthTools.com

Estos diagramas de coordenadas solares expresan la situación del sol en los solsticios, y en consecuencia, cuando el sol alcanza su posición más elevada. Será esta posición la que determine el ángulo de inclinación de radiación directa dentro de los edificios. Por tanto, el ángulo de inclinación de las lamas pretende que no entre radiación directa con una inclinación máxima de  $71,3^\circ$  en el solsticio de verano y  $24,9^\circ$  en el de invierno.

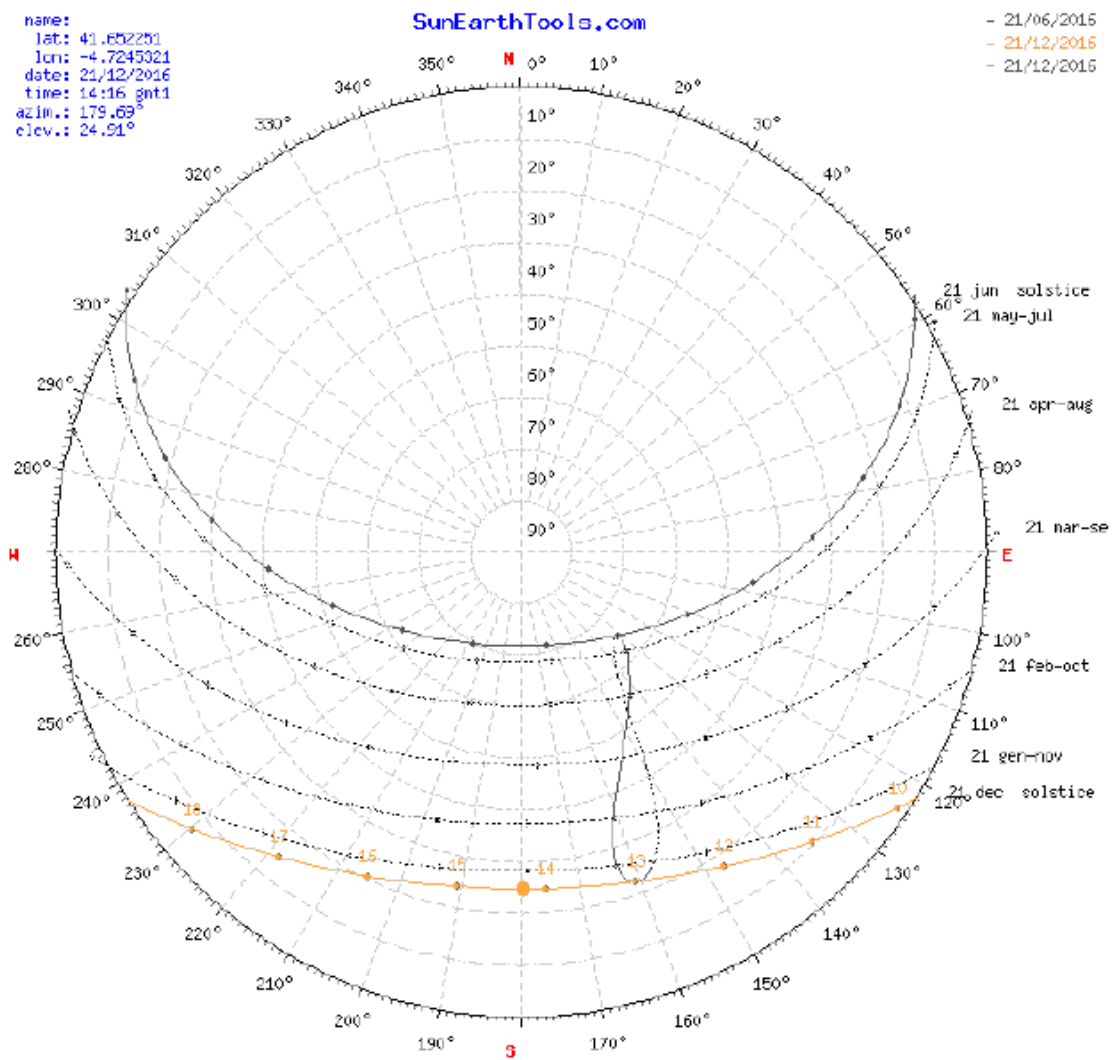


Imagen 31. Coordenadas polares de la situación del sol el 21 de diciembre a las 14:16 horas, cuando alcanza su posición más elevada. © 2009-2016 SunEarthTools.com



El lugar exacto donde se encuentra el edificio, en la calle Tórtola nº11, el sol realiza el siguiente recorrido:

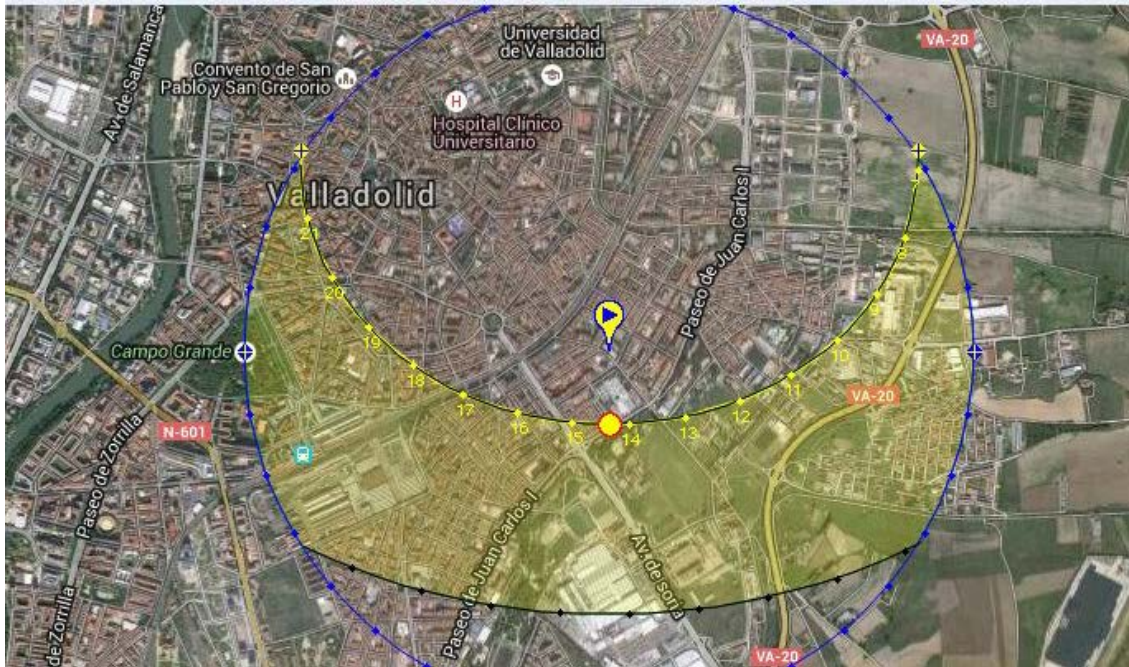


Imagen 32. Coordenadas polares de la situación del sol el 21 de junio a las 14:21 horas, cuando alcanza su posición más elevada. © 2009-2016 SunEarthTools.com



Imagen 33. Coordenadas polares de la situación del sol el 21 de diciembre a las 14:16 horas, cuando alcanza su posición más elevada. © 2009-2016 SunEarthTools.com

Otra forma de expresar la posición del sol en diagramas es mediante coordenadas cartesianas<sup>41</sup> en los que la elevación del Sol se traza sobre el eje X y el ácimut se traza a lo largo del eje Y.

El conocimiento de la posición y de las horas de luz, permiten conocer la energía irradiada por el Sol en un punto de la Tierra determinado. Esto permite calcular la inclinación de las lamas horizontales en los huecos para que den sombra sobre sí mismas y permitan la entrada de luz pero no de rayos solares.

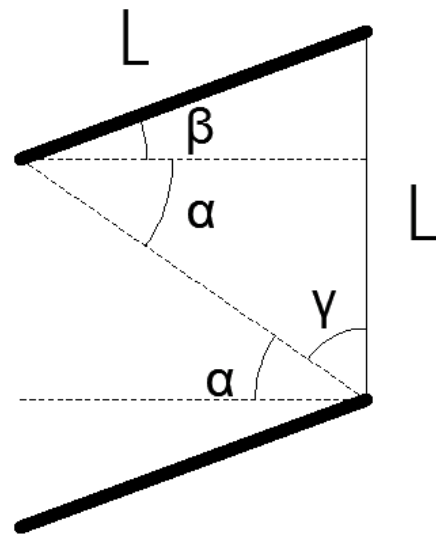


Imagen 34. Geometría de las lamas.

Se van a considerar, como se expresa en la *imagen 34*, lamas de longitud “L” separadas por una altura “L” de manera que puedan cerrarse evitando por completo la entrada de luz. Por trigonometría<sup>42</sup> se establece una ecuación cuyo resultado expresa que si el sol está más elevado de 45°, de la horizontal (lamas perpendiculares a la ventana, 90°) para abajo, nunca entra el sol. Si se levanta más la lama, con una inclinación superior a 90° entonces sí se permite la entrada de los rayos del sol.

$\beta$  = ángulo de inclinación de la lama respecto de la horizontal. Se consideran para la simulación lamas de 10 cm de ancho (L).

Como consecuencia, se establecen lamas horizontales con la posibilidad de ser orientadas manualmente, aunque como se ha puntualizado, teniendo en cuenta el ángulo de inclinación del sol, no entrarán los rayos siempre que la lama esté horizontal o con un ángulo de inclinación menor de 90°.

<sup>41</sup> Dicha información no se incluye ya que resulta ciertamente repetitiva. Además se considera que el sistema de coordenadas polares desprende una comprensión más fácil.

<sup>42</sup>  $\alpha + \beta = \gamma = 90^\circ$   
 $\alpha + \gamma = 90^\circ$   
 Entonces,  $\beta = 90^\circ - 2 \alpha$

## SUR\_PROPUESTA 4

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrio doble y lamas horizontales, orientables, replegables (móviles) en huecos.**

Se propone 100 mm de aislamiento térmico de poliestireno extruido como en las anteriores propuestas. Sustitución de ventanas originales por unas de vidrio doble con las características que se han especificado también en las propuestas previas.

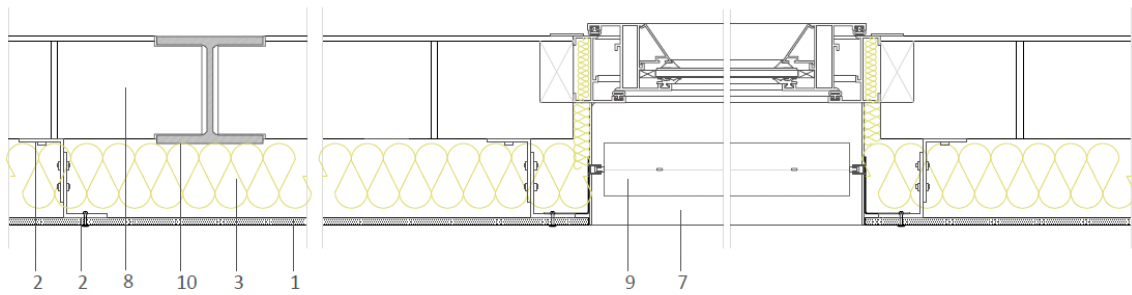
Además, incorporación de sistema de lamas horizontales con posibilidad de ser orientadas y replegadas en los huecos de cerramiento, con el fin de permitir la entrada del sol cuando se vea oportuno (meses más fríos) y protegerse del sol en los más calurosos. Los elementos de sombra estacionales definidos en los huecos, por tanto, se aplican desde el mes de mayo a octubre ambos incluidos.

Además, el CTE<sup>43</sup> establece un factor de sombra para obstáculos en fachada: lamas. Por la cual, al tener un ángulo de inclinación de 0 grados con la horizontal y encontrarnos en situación sur, el factor solar  $F_s$  será de 0,49.

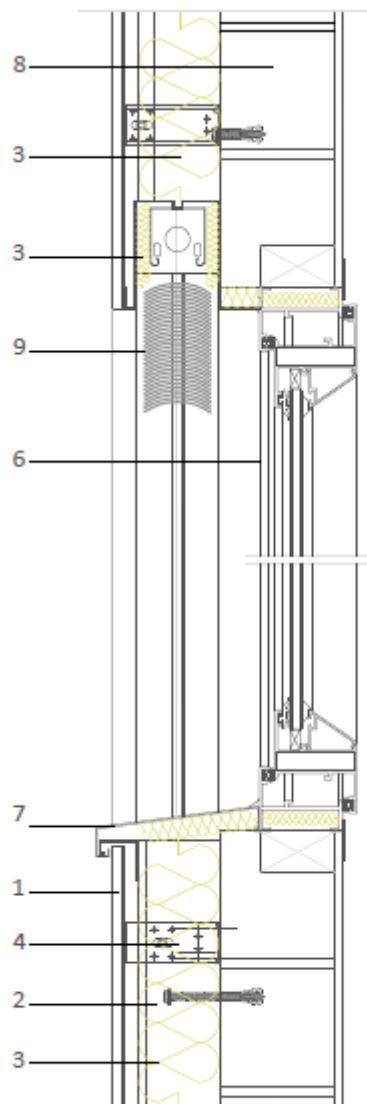
| LAMAS HORIZONTALES |                      | ANGULO DE INCLINACIÓN ( $\beta$ ) |      |      |
|--------------------|----------------------|-----------------------------------|------|------|
|                    |                      | 0                                 | 30   | 60   |
| ORIENTACIÓN        | SUR                  | 0,49                              | 0,42 | 0,26 |
|                    | SURESTE/<br>SUROESTE | 0,54                              | 0,44 | 0,26 |
|                    | ESTE/<br>OESTE       | 0,57                              | 0,45 | 0,27 |

Tabla 16. Determinación de  $F_s$  según tabla 15 del CTE DA DB HE1.

<sup>43</sup> Tabla 14, DA CTE DB HE 1. Página 14. Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo  $\sigma$  debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria. [DA DB HE 1]



SECCIÓN HORIZONTAL PROPUESTA  
FINAL LAMAS HORIZONTALES



1. Fachada ventilada de tablero de madera cemento e = 12 mm
2. Montantes metálicos en L
3. Aislamiento poliestireno extruido 100 mm.
4. Escuadra regulable de acero galvanizado anclada a muro
5. Perfil ranurado acero galvanizado en arranque de fábricas o sobre dinteles
6. Carpintería exterior metálica, abatible vidrio doble.
7. Vierteaguas de chapa galvanizada ( e = 0,6 mm)
8. Cerramiento existente de bloques prefabricados de hormigón celular
9. Lamas de aluminio Grad stor 80 (Gradhermetic)
10. Pilar HEB 160

SECCIÓN VERTICAL PROPUESTA  
FINAL LAMAS HORIZONTALES

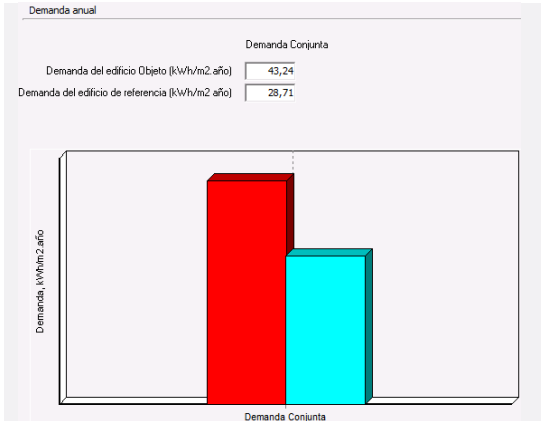


Imagen 35. Detalles constructivos de la sección horizontal y vertical de fachada propuesta final. Lamas horizontales modelo Meta-lic Grad Stor 80 de la casa Industrial Gradhermetic S.A.E.

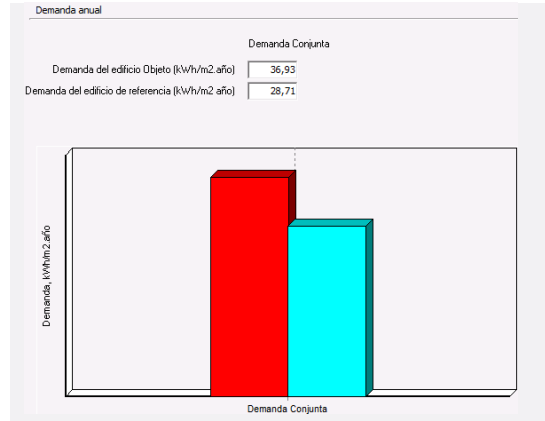


ESTE

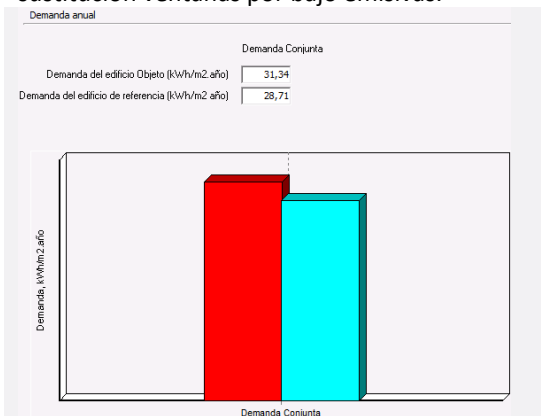
Proyecto inicial (1975, Anterior a NBE CT-79)



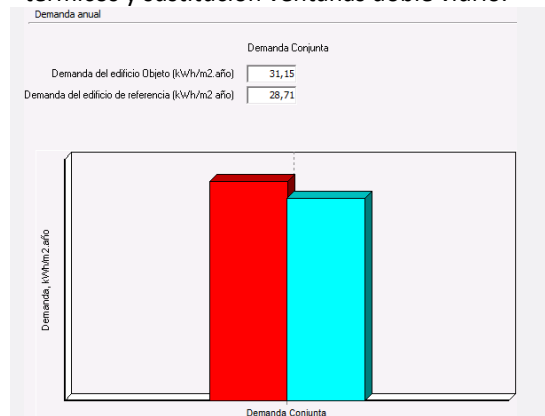
Rehabilitación energética de fachada en reforma de 2006 (CTE 2006)



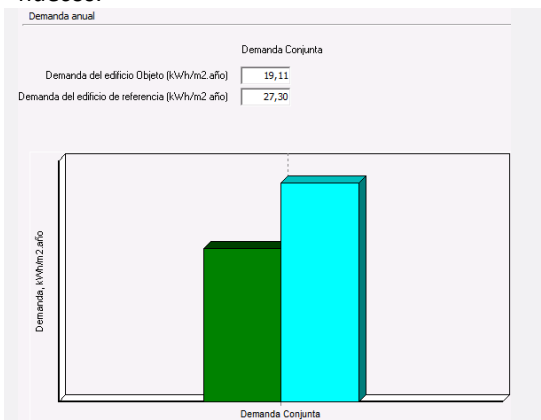
**PROPUESTA 1\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.



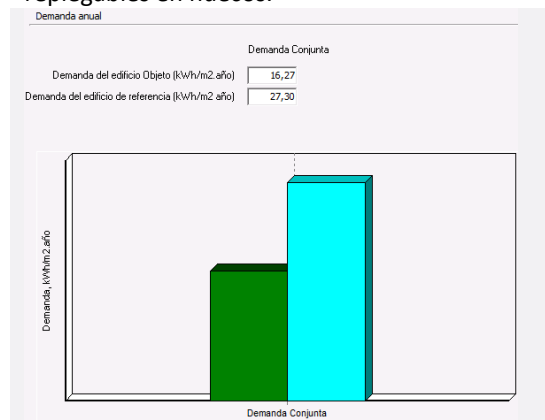
**PROPUESTA 2\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas doble vidrio.

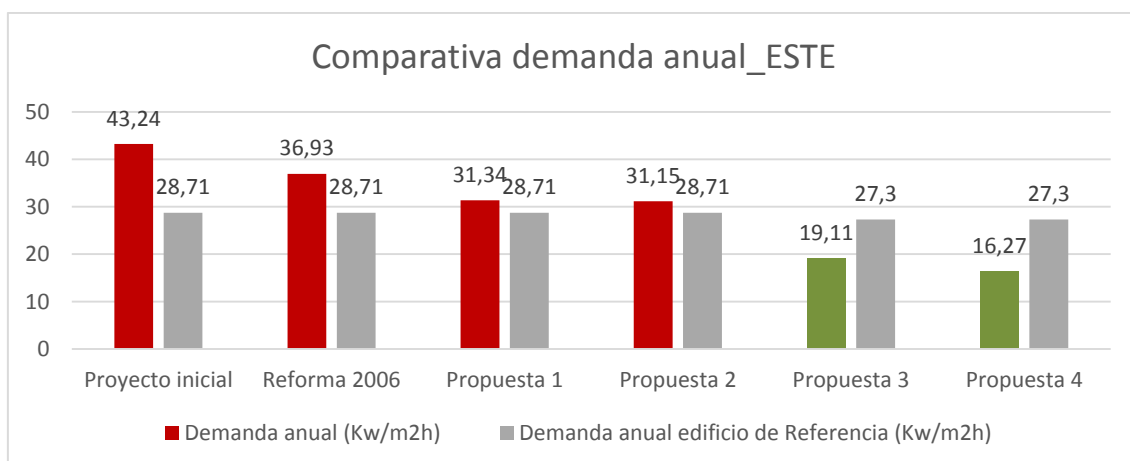


**PROPUESTA 3\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales, orientables en huecos.



**PROPUESTA 4\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales, orientables y plegables en huecos.





Gráfica 3. Comparativa de la demanda anual (calefacción y refrigeración) al este en los diferentes casos de propuesta. (Autora)

Como se observa en la *gráfica 3*, al contrario que en el caso norte y sur, la demanda del edificio de referencia en las propuestas 3 y 4 disminuye respecto a la demanda del edificio de los otros casos. El motivo de nuevo es la disposición de lamas; si bien, al este el programa HULC considera que aplicar elementos de protección frente al soleamiento al este y al oeste no penaliza el nivel de luz en el interior de las aulas, ya que se ha aplicado un ángulo de 0º, es decir, perpendicular al plano del cerramiento. De esta forma, la Herramienta Unificada entiende que a la salida y puesta de sol existe un corto periodo de tiempo en el que sí se permite la entrada de radiación directa. Se aceptan estos resultados ya que la entrada de dicha radiación sería en horario lectivo.

## ESTE\_PROPOSTA 1

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.**

Disposición de aislamiento por el exterior: 100 mm de poliestireno extruido (misma propuesta que en casos anteriores).



Sustitución de las ventanas originales por unas bajo emisivas, metálicas, con rotura de puente térmico, vidrio de espesores 4-15-331 y permeabilidad al aire de 27 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa. Se consigue así una transmitancia térmica del vidrio de 1,80 W/m<sup>2</sup>K y transmitancia del marco de 3,20 W/m<sup>2</sup>K.

## ESTE\_ PROPUESTA 2

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas.**

Disposición de aislamiento por el exterior: 100 mm de poliestireno extruido (misma propuesta que en casos anteriores). Sustitución de las ventanas originales por unas de vidrio doble, metálicas, con rotura de puente térmico, vidrio de espesores 4-15-331 y permeabilidad al aire de 27 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> a 100 Pa. Se consigue así una transmitancia térmica del vidrio de 2,70 W/m<sup>2</sup>K y transmitancia del marco de 3,20 W/m<sup>2</sup>K.

## ESTE\_ PROPUESTA 3

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales fijas, orientables en huecos.**

Retomando el estudio de la posición del sol expuesto en el apartado de la propuesta 3 [SUR], se considera aplicar lamas verticales en la orientación este y oeste. Si las lamas se encuentran orientadas perpendicularmente al plano de la ventana, sólo permitirán la entrada de luz en el momento de la salida y puesta del sol que se considera que tan sólo son unos minutos y además no está dentro del horario normal de un centro docente. A partir de ese momento de la salida por el este, el sol comienza a ir elevarse yendo hacia

el oeste por lo que con las lamas con inclinación 0 grados (perpendiculares) no permiten la entrada del sol. Los elementos de sombra estacionales definidos en los huecos se aplican desde el mes de mayo a octubre ambos incluidos.

## ESTE\_ PROPUESTA 4

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales, orientables y replegables (móviles) en huecos.**

Incorporación de sistema de lamas verticales con posibilidad de ser orientadas, con los criterios que se ha establecido en la propuesta anterior, y replegadas en los huecos de cerramiento. Los elementos de sombra estacionales definidos en los huecos, por tanto, se aplican desde el mes de mayo a octubre ambos incluidos.

Además, el CTE<sup>44</sup> establece un factor de sombra para obstáculos en fachada: lamas. Por la cual, al tener un ángulo de inclinación de 0 grados con la horizontal y encontrarnos en situación sur, el factor solar  $F_s$  será de 0,63.

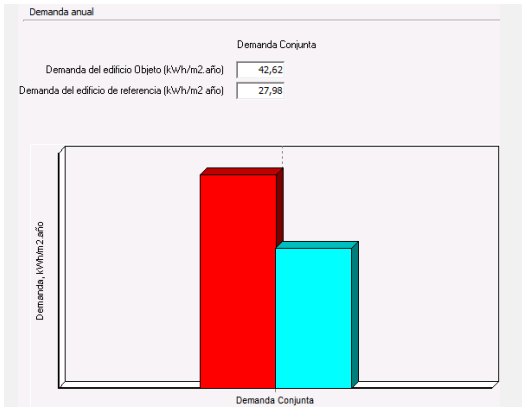
|             |          | ANGULO DE INCLINACIÓN ( $\sigma$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------|----------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|             |          | -60                                | -45  | -30  | 0    | 30   | 45   | 60   |
| ORIENTACIÓN | SUR      | 0,37                               | 0,44 | 0,49 | 0,53 | 0,47 | 0,41 | 0,32 |
|             | SURESTE  | 0,46                               | 0,53 | 0,56 | 0,56 | 0,47 | 0,40 | 0,30 |
|             | ESTE     | 0,39                               | 0,47 | 0,54 | 0,63 | 0,55 | 0,45 | 0,32 |
|             | OESTE    | 0,44                               | 0,52 | 0,58 | 0,63 | 0,50 | 0,41 | 0,29 |
|             | SUROESTE | 0,38                               | 0,44 | 0,50 | 0,56 | 0,53 | 0,48 | 0,38 |

Tabla 17. Determinación de  $F_s$  según tabla 15 del CTE DA DB HE1.

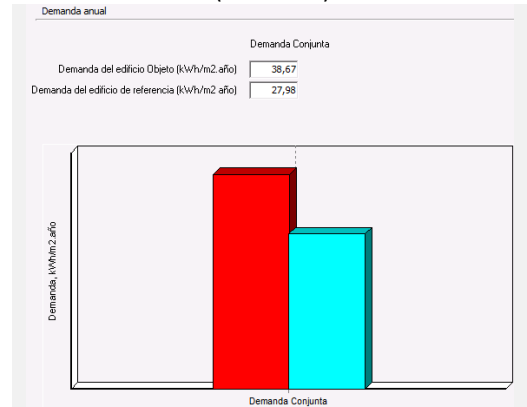
<sup>44</sup> Tabla 15, CTE DA DB HE 1. Página 15. Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo  $\sigma$  debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria. DA DB HE 1.

OESTE

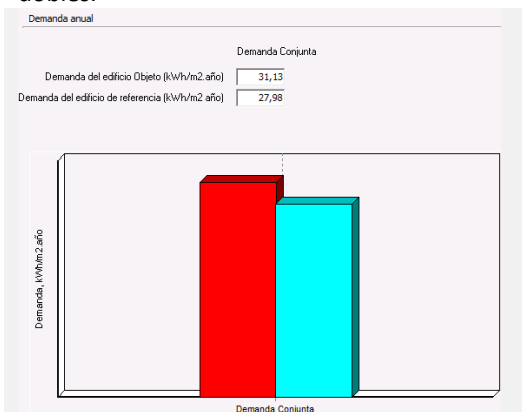
Proyecto inicial (1975, Anterior a NBE CT-79)



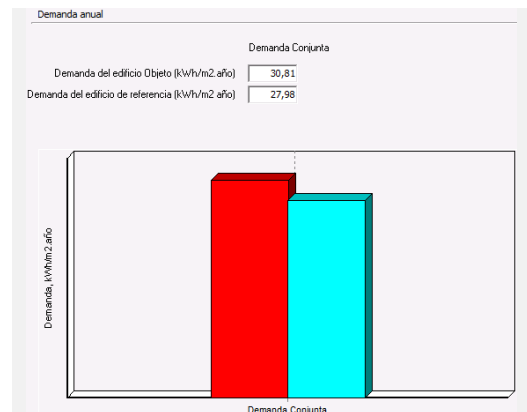
Rehabilitación energética de fachada en reforma de 2006 (CTE 2006)



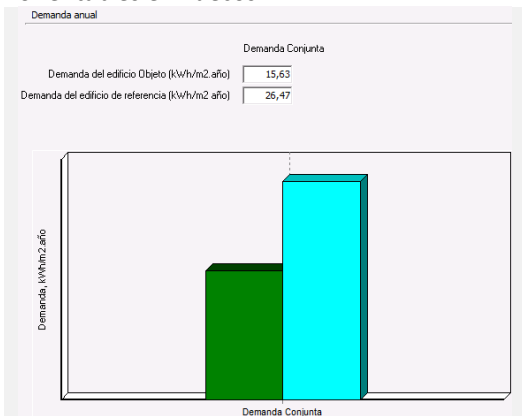
**PROPUESTA 1\_** Incremento del material aislante de fachada, eliminación puentes térmicos y sustitución de ventanas por vidrios dobles.



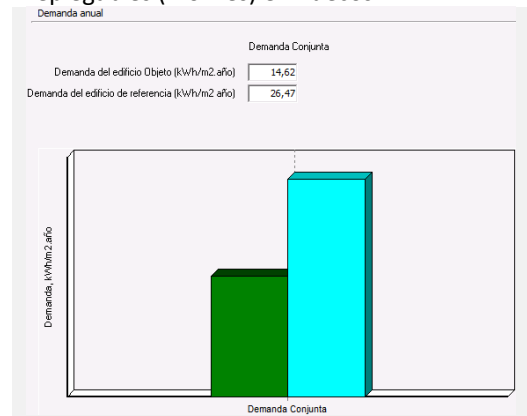
**PROPUESTA 2\_** Incremento del material aislante, eliminación puentes térmicos y sustitución de ventanas por bajo emisivas

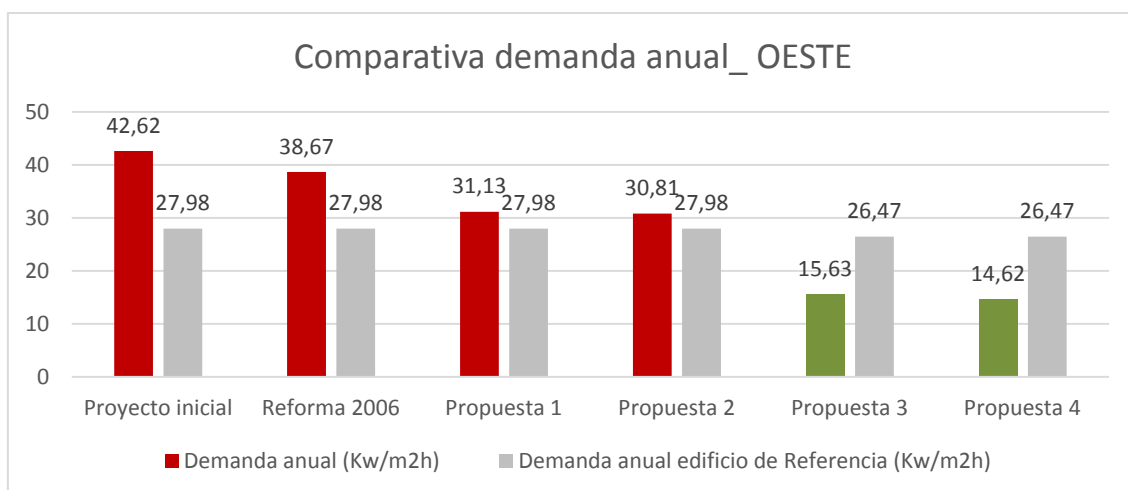


**PROPUESTA 3\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución de ventanas por unas de vidrio doble y lamas verticales fijas, orientables en huecos.



**PROPUESTA 4\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución de ventanas por unas de vidrio doble y lamas verticales, orientables y plegables (móviles) en huecos.





Gráfica 4. Comparativa de la demanda anual (calefacción y refrigeración) al oeste en los diferentes casos de propuesta. (Autora)

Al igual que en el caso anterior ESTE, de la gráfica 4 se desprende que la demanda anual del edificio de referencia en las últimas dos propuestas es ligeramente menor que la de los anteriores casos. De nuevo, el motivo es el mismo que para el ESTE.

Para la orientación oeste se han aplicado las mismas propuestas de mejora que para la situación ESTE, variando tan solo los resultados obtenidos.

## OESTE\_ PROPUESTA 1

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por vidrios dobles.**

## OESTE\_ PROPUESTA 2

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos y sustitución ventanas por bajo emisivas.**

## OESTE\_ PROPUESTA 3

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrio doble y lamas verticales fijas, orientables en huecos.**

## OESTE\_ PROPUESTA 4

---

**Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de vidrio doble y lamas verticales, orientables y replegables (móviles) en huecos.**

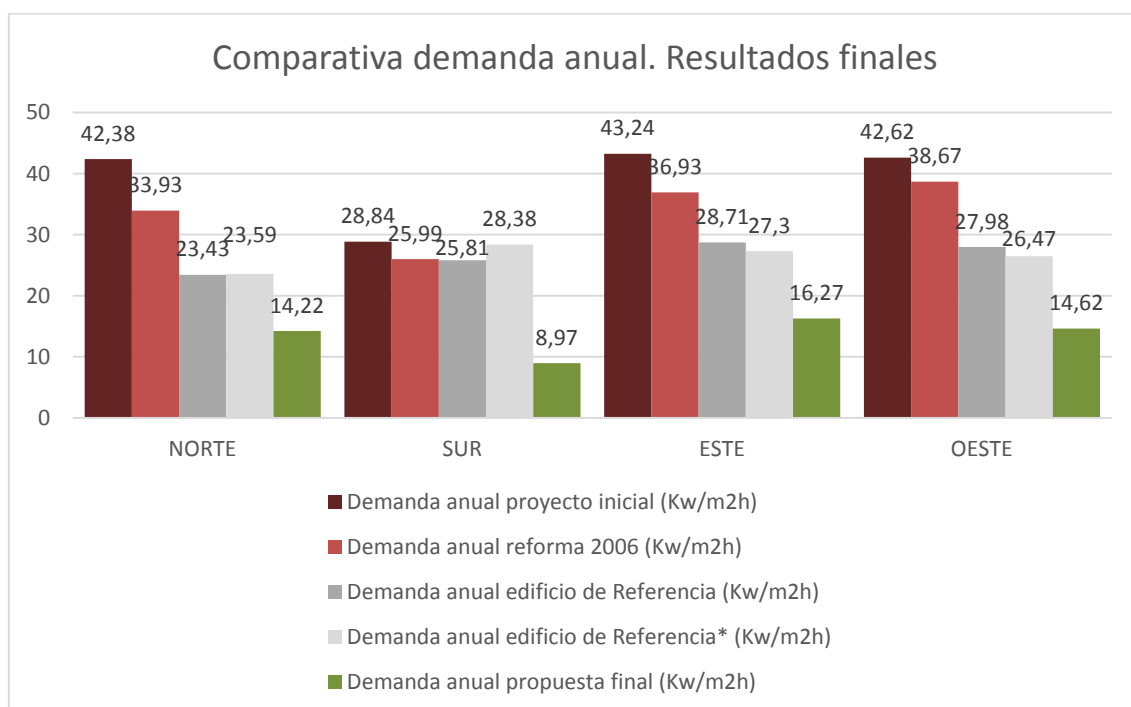
En este caso, para la orientación OESTE,  $F_s$  según el CTE<sup>45</sup> es 0,63, al igual que la situación ESTE.

---

<sup>45</sup> Tabla 15, elementos de protección vertical, CTE DA DB HE 1, página 15.

De estos gráficos que ofrece la Herramienta Unificada, se advierte que los diagramas no están a la misma escala aunque presenten resultados iguales. Esto es meramente una forma de presentación del programa para hacer las barras en un mismo formato de representación pero no permite la comparativa como decimos. Por ello, se han presentado unas gráficas pormenorizadamente en cada orientación con el fin de analizarlas y compararlas más fácilmente.

Del mismo modo, se presenta a continuación otra gráfica comparativa con los resultados finales.



Gráfica 5. Comparativa de la demanda anual (calefacción y refrigeración) del estado de proyecto inicial, actual y propuesta final. (Autora)

\* Como se ha especificado en cada caso, la disposición de lamas en los huecos del cerramiento provoca una variación de la demanda anual del edificio de referencia.

Se observa que la demanda del proyecto inicial era muy elevada en todos los casos y que la reforma del 2006 consiguió minorarla bastante sobre todo al norte, este y oeste. Con la incorporación de una segunda piel de 50 mm de aislamiento térmico por el exterior se consigue, por tanto, una disminución de la demanda anual de hasta el 20 % como en la orientación norte.

Sin embargo, podemos ver cómo esta actuación del 2006 no es muy efectiva en el sur, donde el principal problema es la radiación. La disposición de lamas, por este motivo, es especialmente significativo porque constituye una gran disminución de la demanda (hasta el 65%) al permitir el control de la entrada de radiación solar.

En el apartado siguiente, los resultados numéricos de calefacción y refrigeración obtenidos a través del programa de simulación energética HULC, nos permite conocer cómo está repartida la demanda por elementos y también en los distintos periodos del año. Conoceremos así los puntos débiles de fachada y los meses que demandan mayor energía.

Con estos datos, resulta más interesante el análisis para determinar la magnitud de la mejora y así establecer conclusiones finales.





## 4.4. PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE FACHADA

Después de las simulaciones del estado inicial de fachada, la reforma posterior y las distintas propuestas, es necesario analizar los resultados para identificar puntos débiles de fachada. Para ello, se exponen los datos de la demanda de energía (calefacción y refrigeración, ambas en kW/m<sup>2</sup> año) de cada componente:

- Paredes exteriores
- Puentes térmicos<sup>46</sup>
- Carga solar a través de las ventanas
- Transmitancia de las ventanas
- Fuentes internas<sup>47</sup>
- Infiltración

La herramienta Unificada establece unos resultados de demanda de energía anual del edificio tomando como referencia el concepto de **demanda energética conjunta**, que expresa el CTE DB HE 1 en su apéndice A de “Terminología”. Dicha demanda engloba la demanda de calefacción y de refrigeración y se expresa como la suma ponderada de la demanda energética de calefacción (DC) y la demanda energética de refrigeración (DR). Todos los valores de energía se expresan en kW·h/m<sup>2</sup>.año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

---

<sup>46</sup> El CTE DB HE1 define los puentes térmicos como la zona de la *envolvente térmica* del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del *cerramiento* o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

<sup>47</sup> Se consideran las aulas como espacios (habitables) de carga interna alta, es decir, espacios donde se genera gran cantidad de calor por su ocupación, iluminación o equipos existentes. Corresponde a espacios con una densidad de las fuentes internas entre 9 W/m<sup>2</sup> y 12 W/m<sup>2</sup>. CTE DB HE1, 2013.

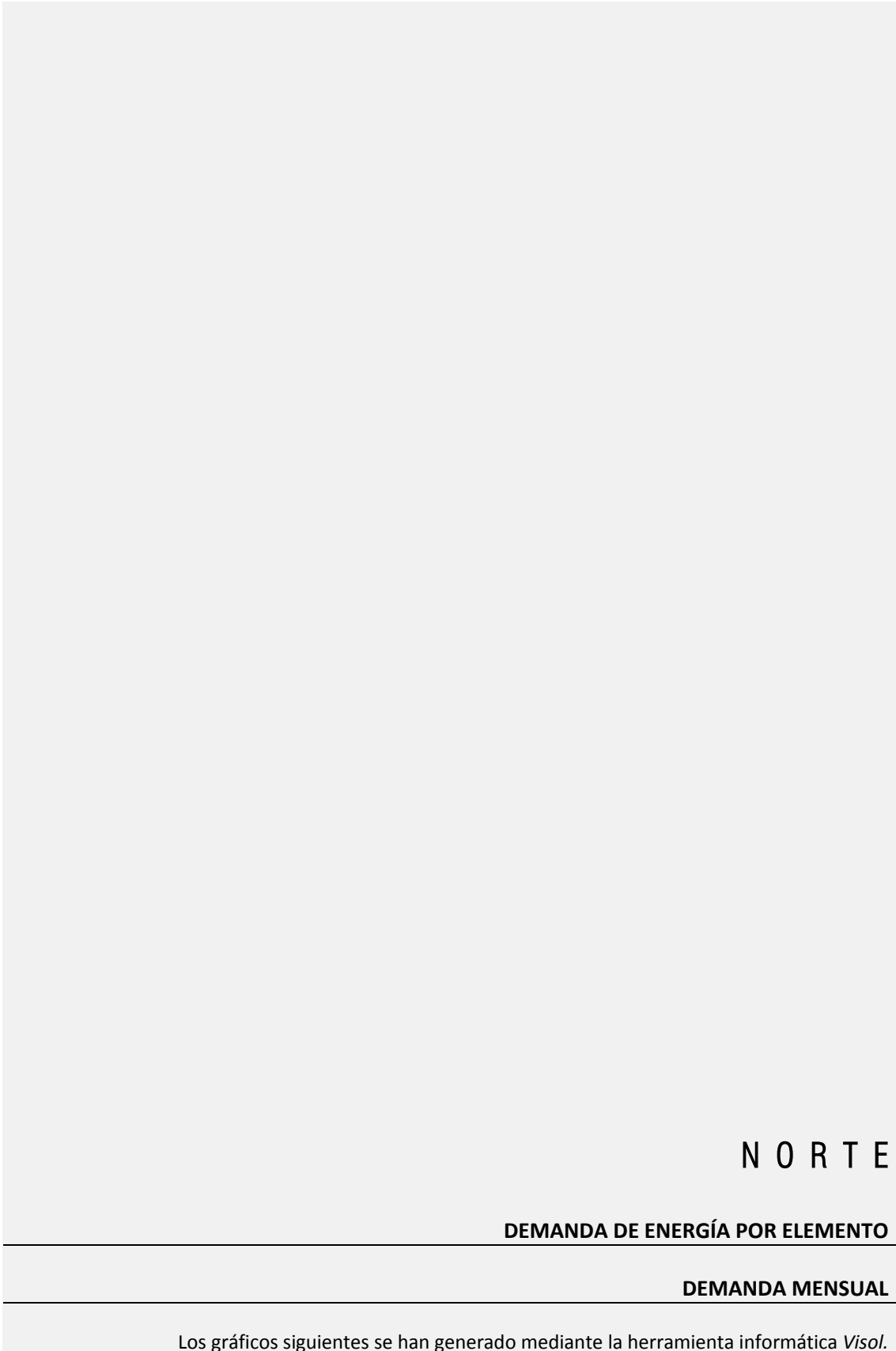
La ponderación se realiza en función del consumo de energía primaria requerido para combatir cada demanda energética, siendo  $DG = DC + 0,70 \cdot DR$  la expresión que permite obtener la demanda energética conjunta para edificios situados en territorio peninsular y  $DG = DC + 0,85 \cdot DR$  para el caso de territorio extra peninsular.

Es decir,  $(\text{Valor absoluto cal\_neto\_total}) + 0,7x(\text{Valor absoluto ref\_neto\_total}) =$   
Demanda energética conjunta

Además de expresar la demanda de energía al año por componente, también se deducen las consiguientes ganancias y pérdidas térmicas por calefacción y refrigeración (tramos por encima o por debajo de la gráfica respectivamente). Como se explicó en los primeros apartados del trabajo, el estudio atiende a la situación de calefacción y refrigeración en las aulas, ya que el programa de simulación no permite excluir meses para que no computen dentro de la demanda final anual.

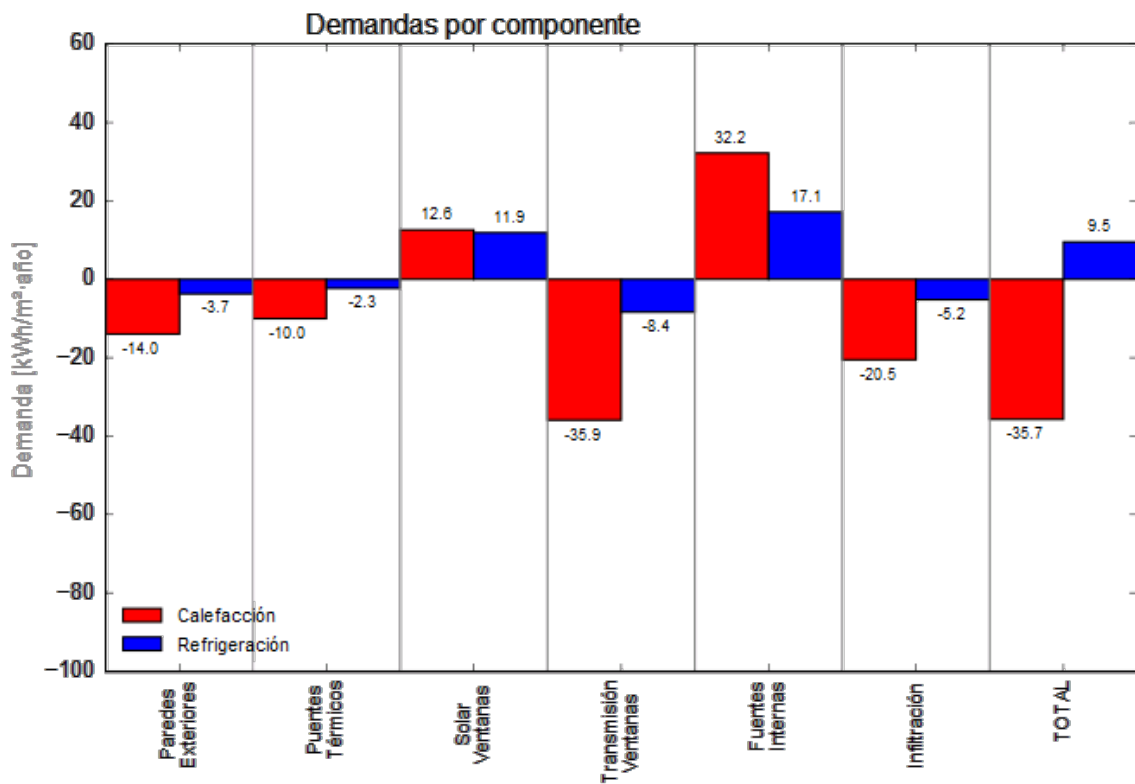
Se deducen, por último, la demanda neta mensual de cada simulación con el fin de mostrar la demanda por calefacción y/o refrigeración en cada mes del año.

Al igual que en el apartado anterior, se distinguirán los resultados en función de la orientación: norte, sur, este y oeste, a fin de determinar qué ocurre en cada situación.

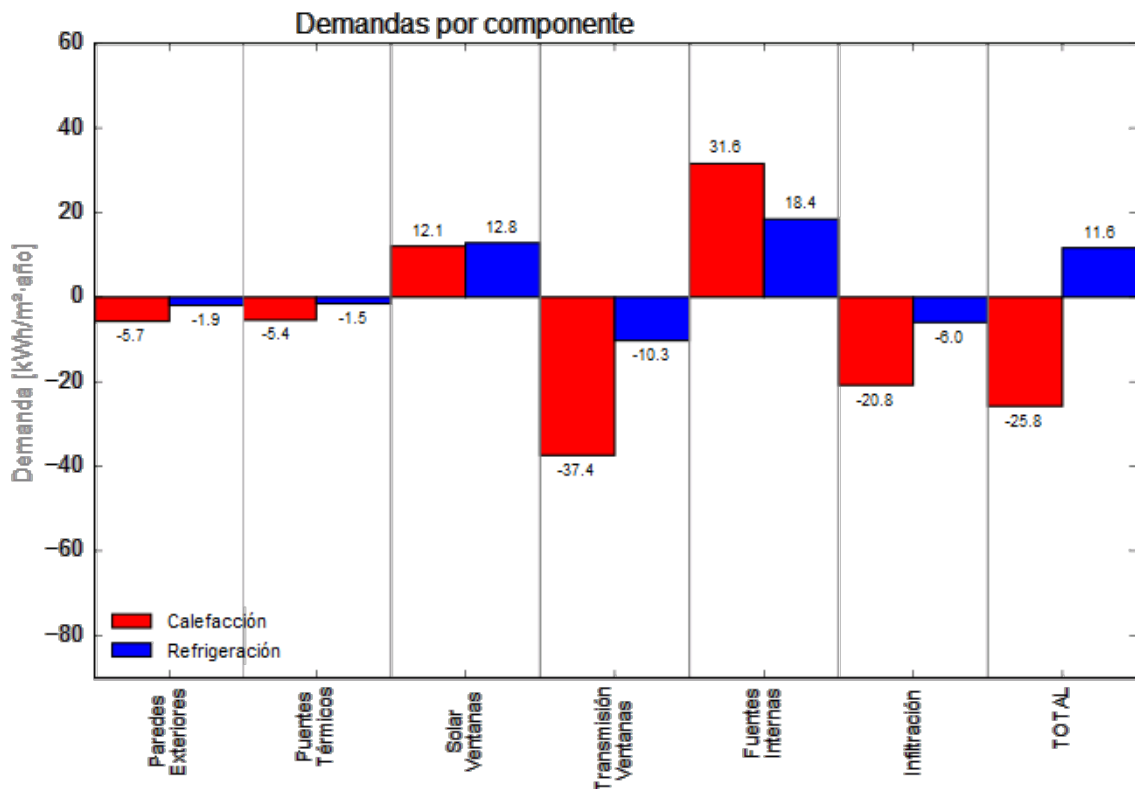




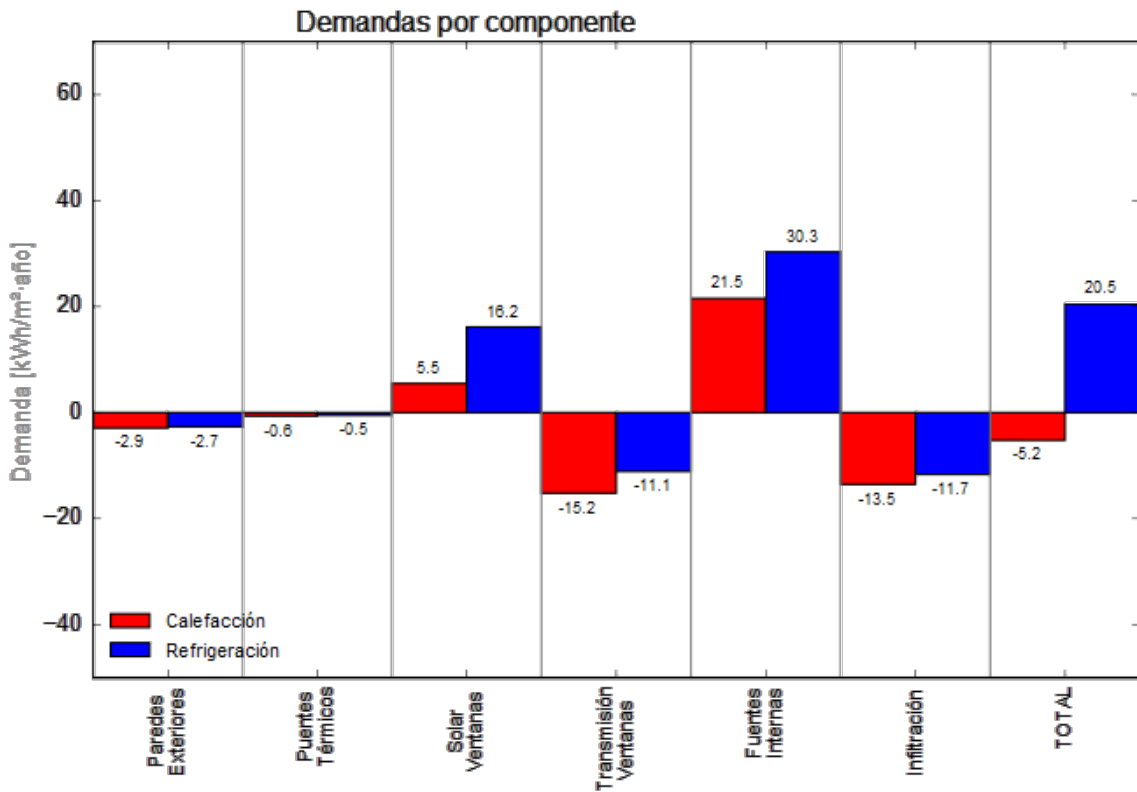
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROYECTO INICIAL\_ NORTE



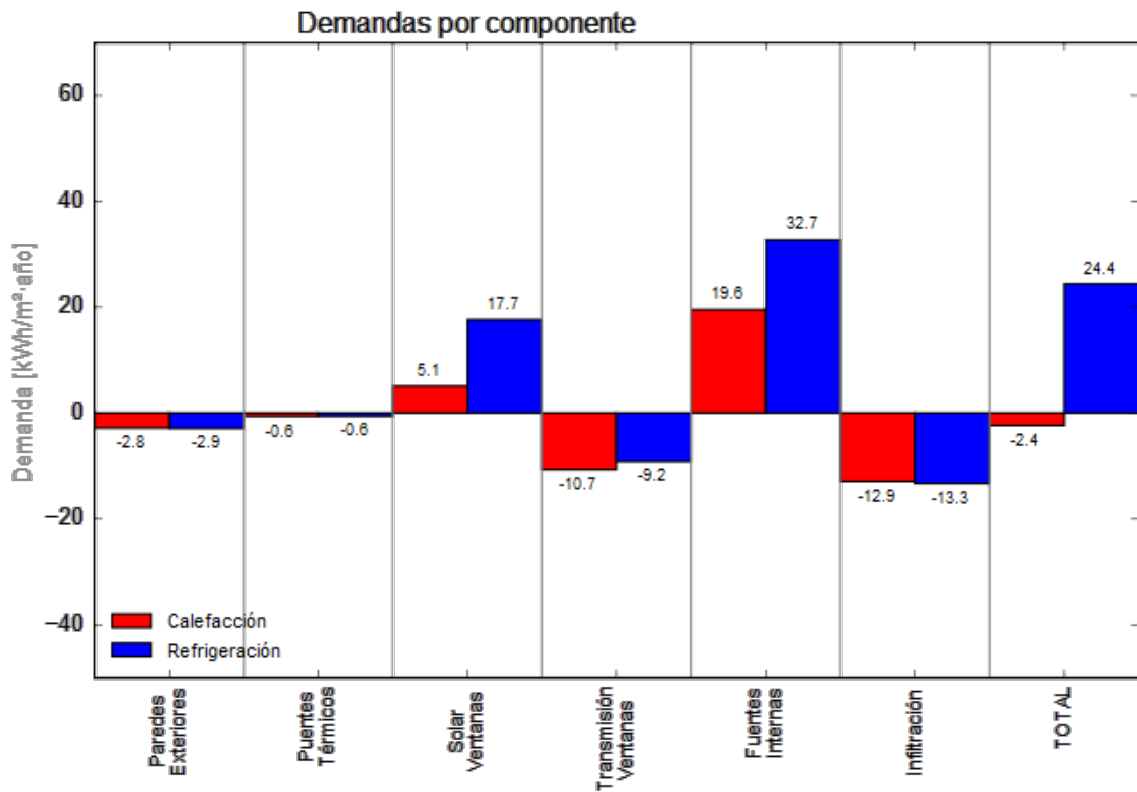
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ REFORMA 2006\_ NORTE



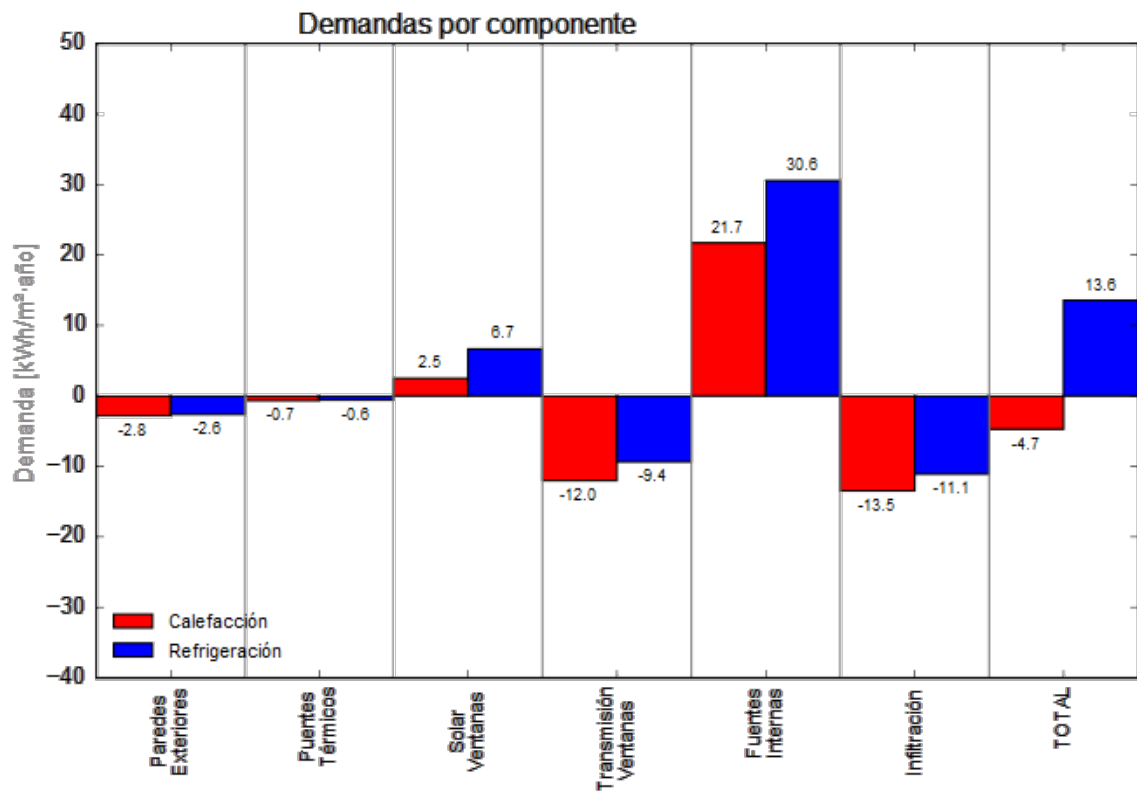
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 1\_ NORTE



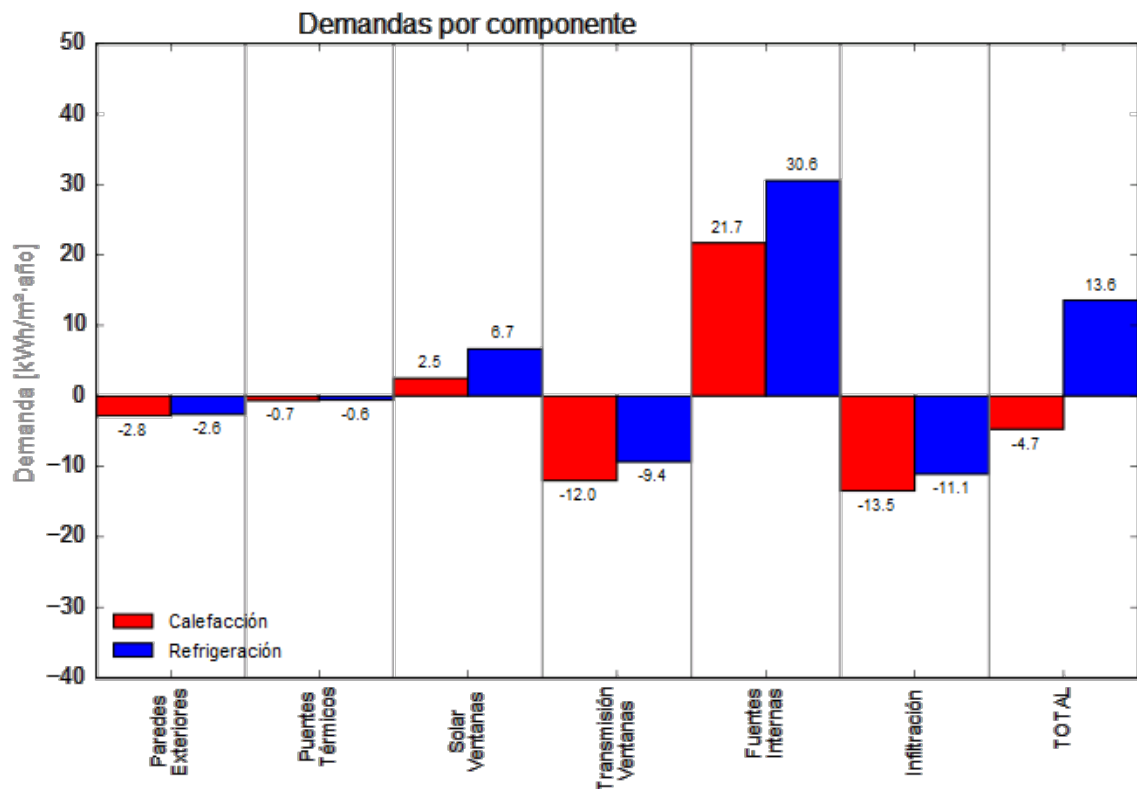
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 2\_ NORTE



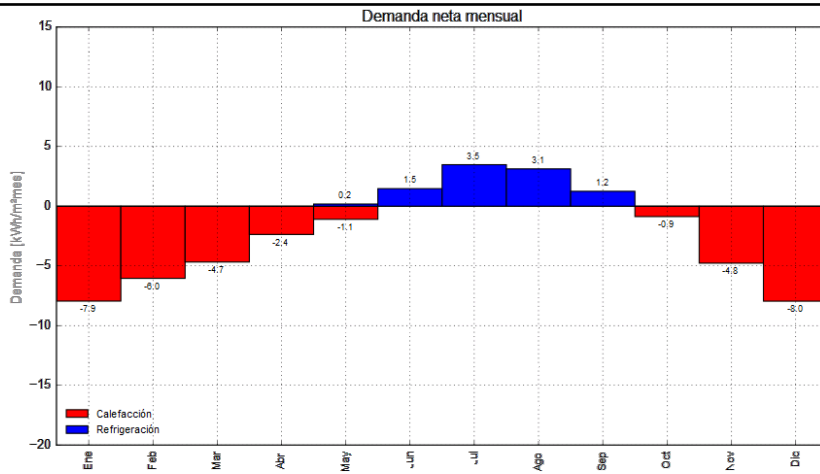
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 3\_ NORTE



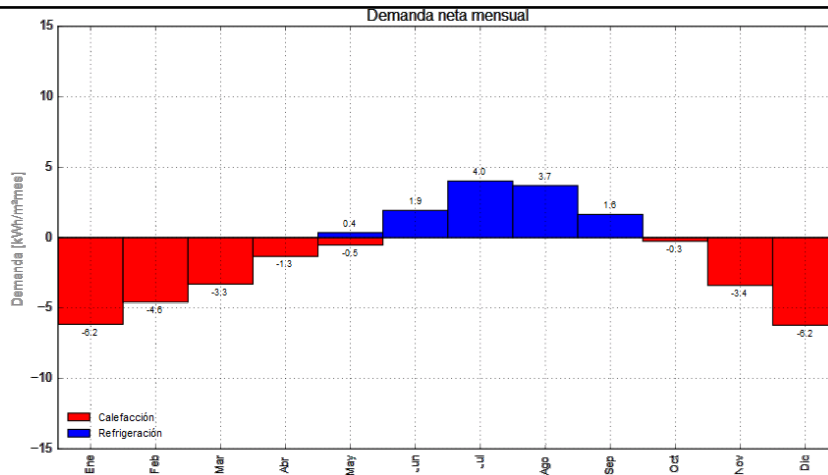
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 4\_ NORTE



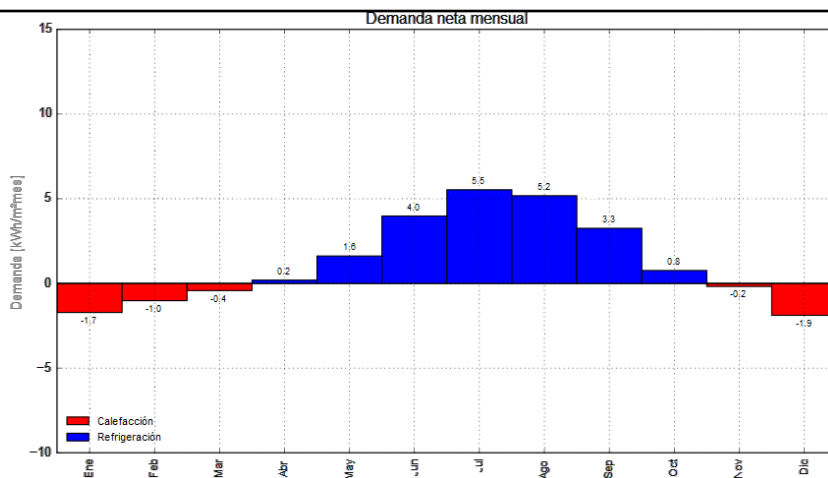
### DEMANDA MENSUAL \_ PROYECTO INICIAL\_ NORTE



### DEMANDA MENSUAL \_ REFORMA 2006\_ NORTE

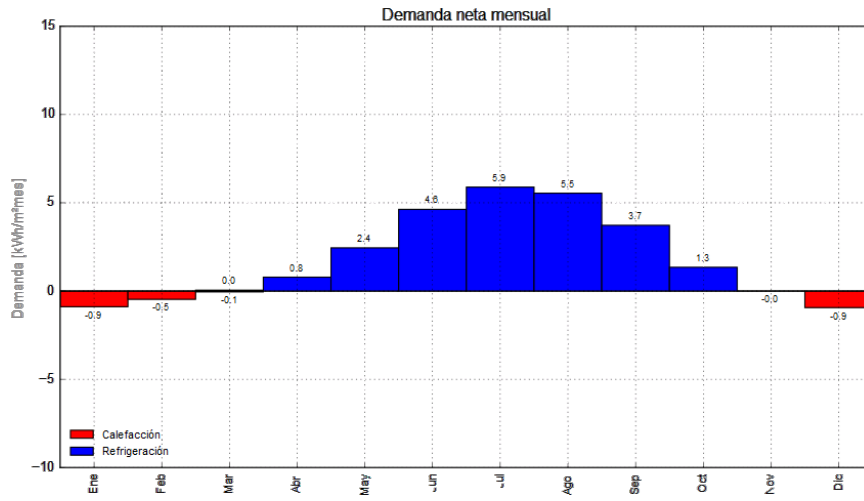


### DEMANDA MENSUAL \_ PROPUESTA 1\_ NORTE

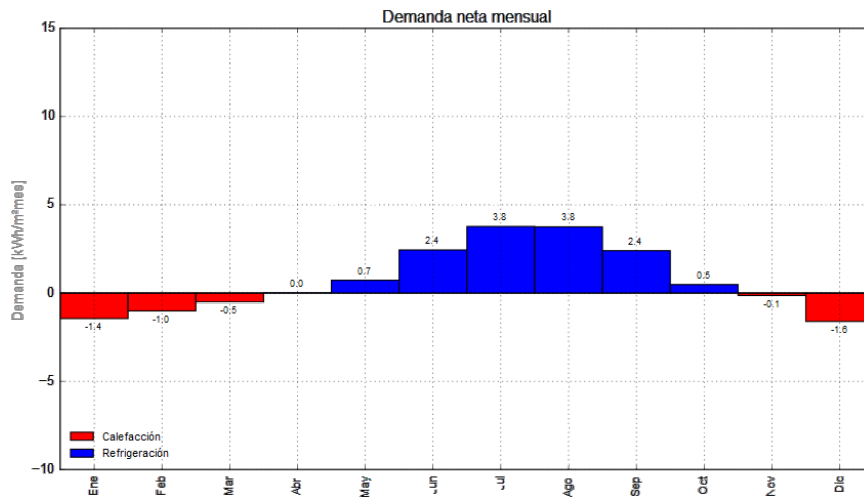




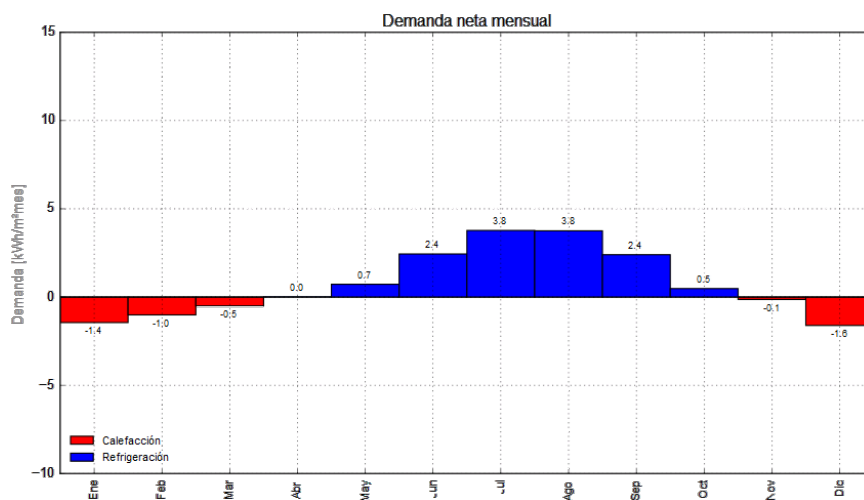
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 2\_ NORTE



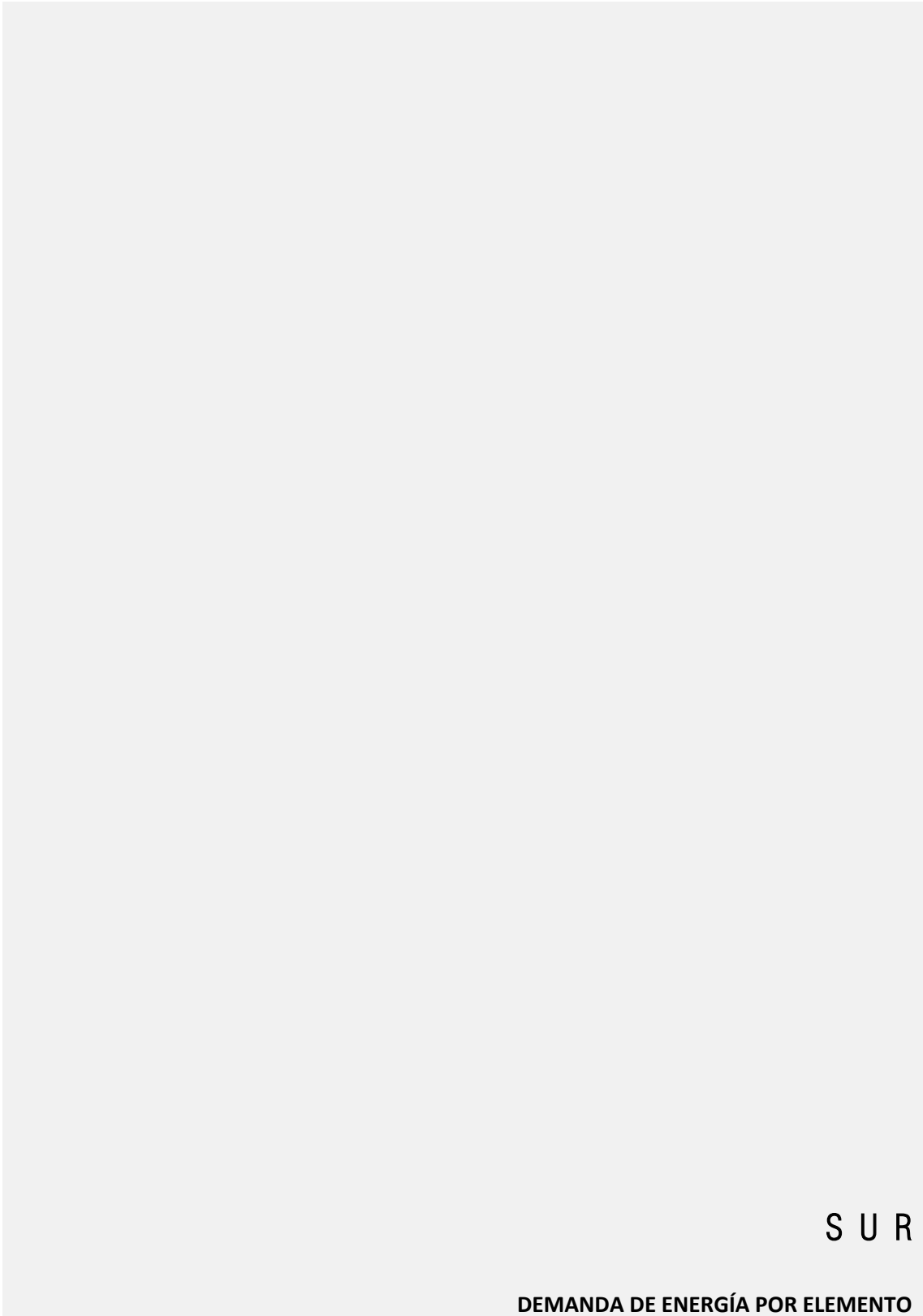
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 3\_ NORTE



DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 4\_ NORTE



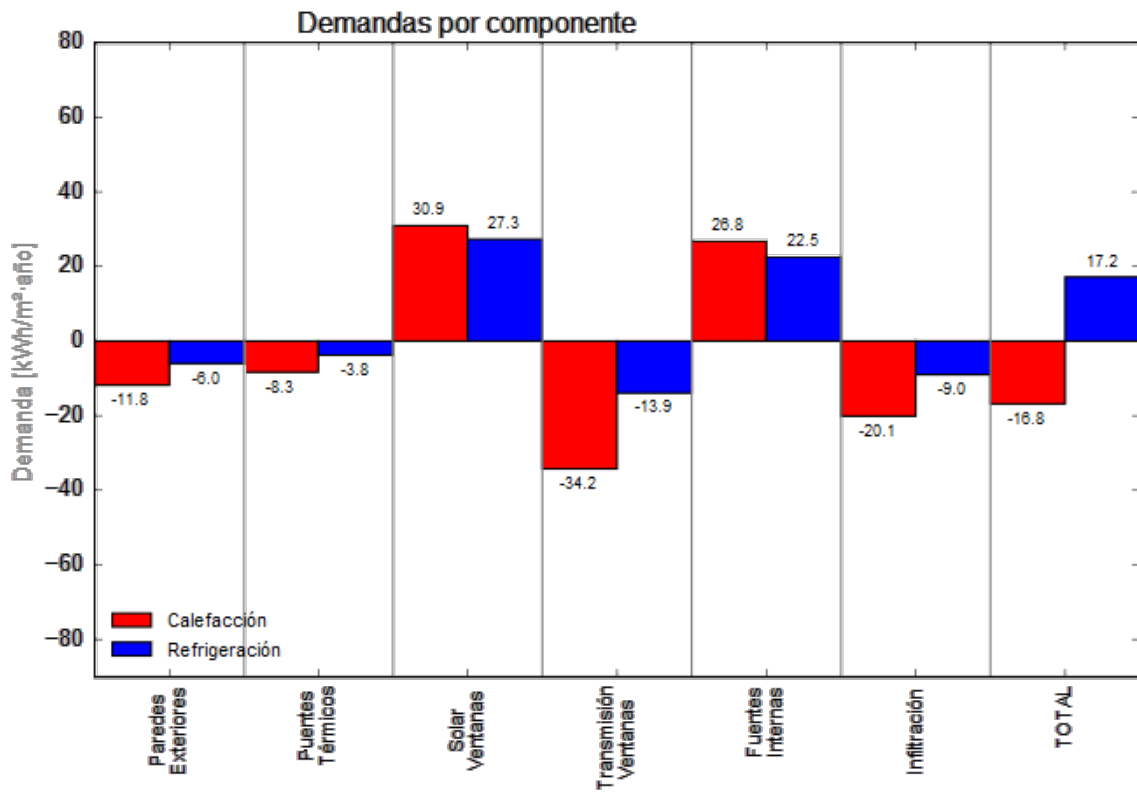




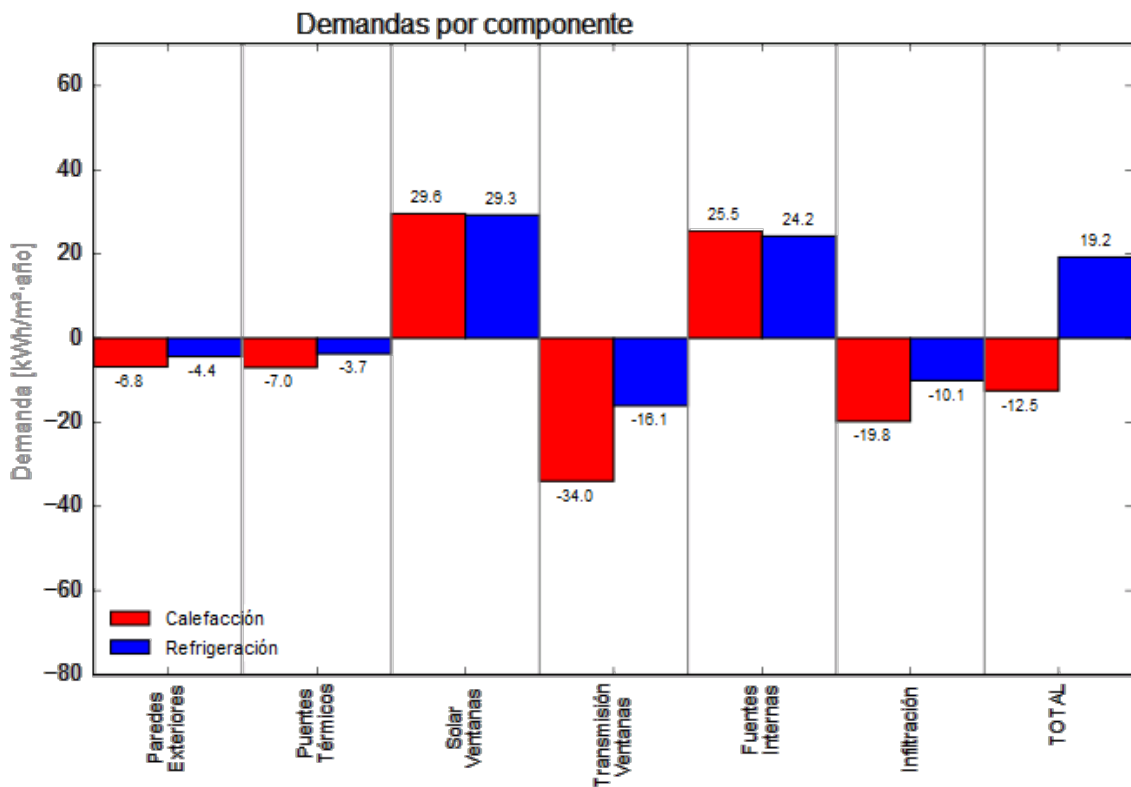
Los gráficos siguientes se han generado mediante la herramienta informática *Visol*.



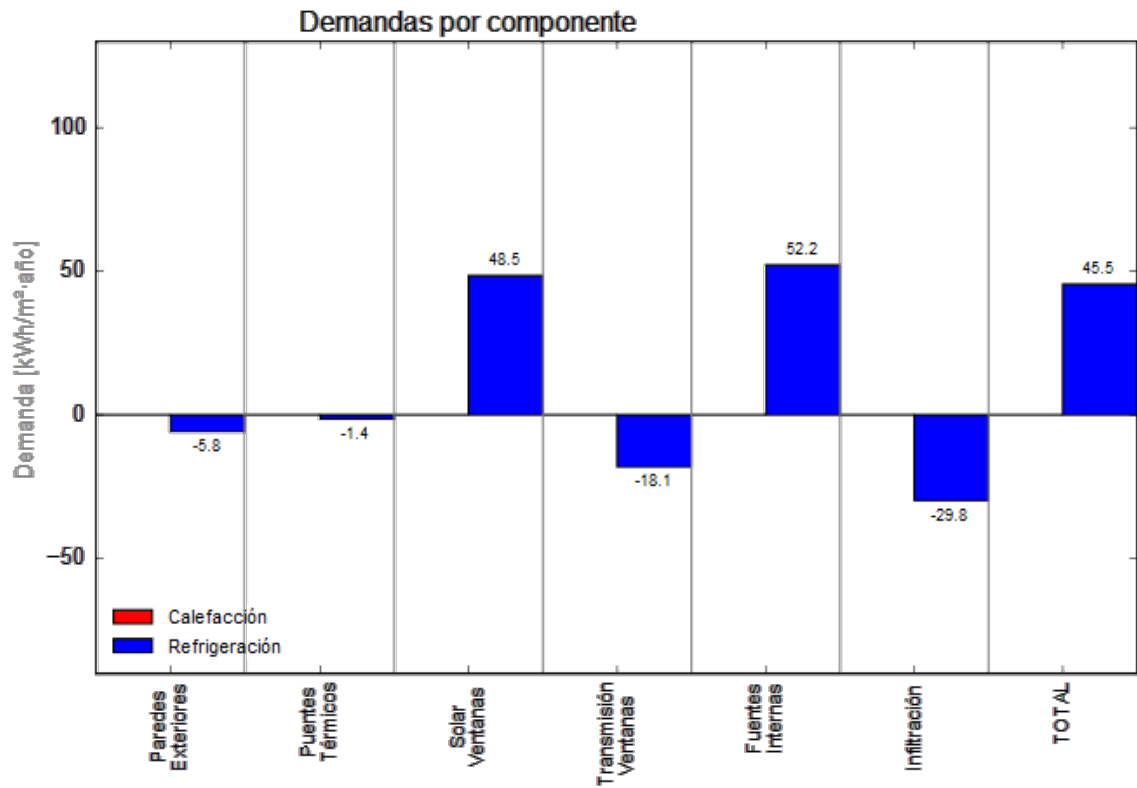
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROYECTO INICIAL\_ SUR



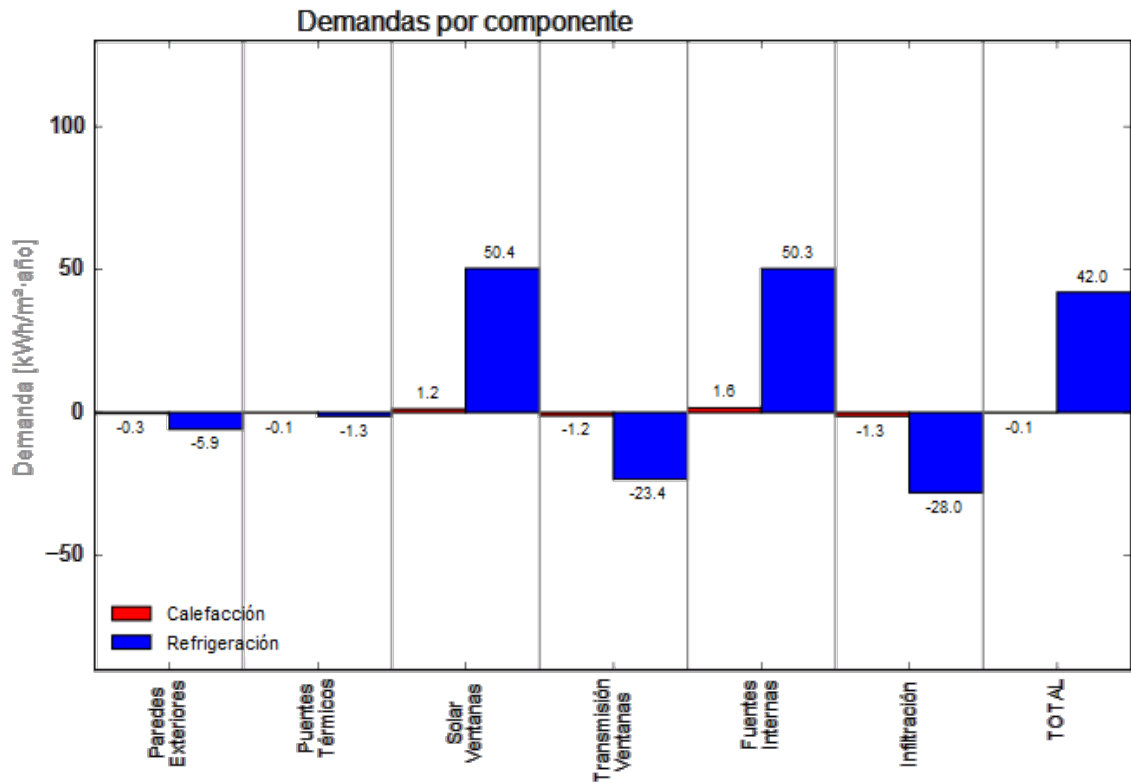
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ REFORMA 2006\_ SUR



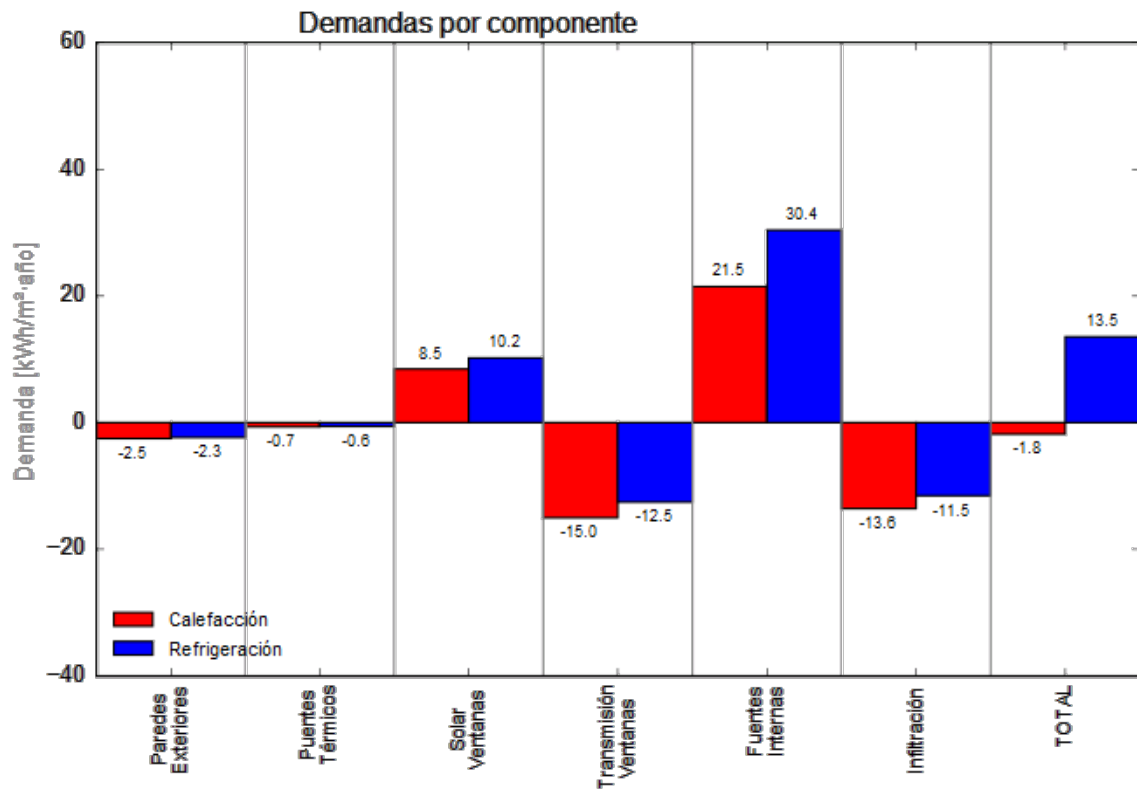
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 1\_ SUR



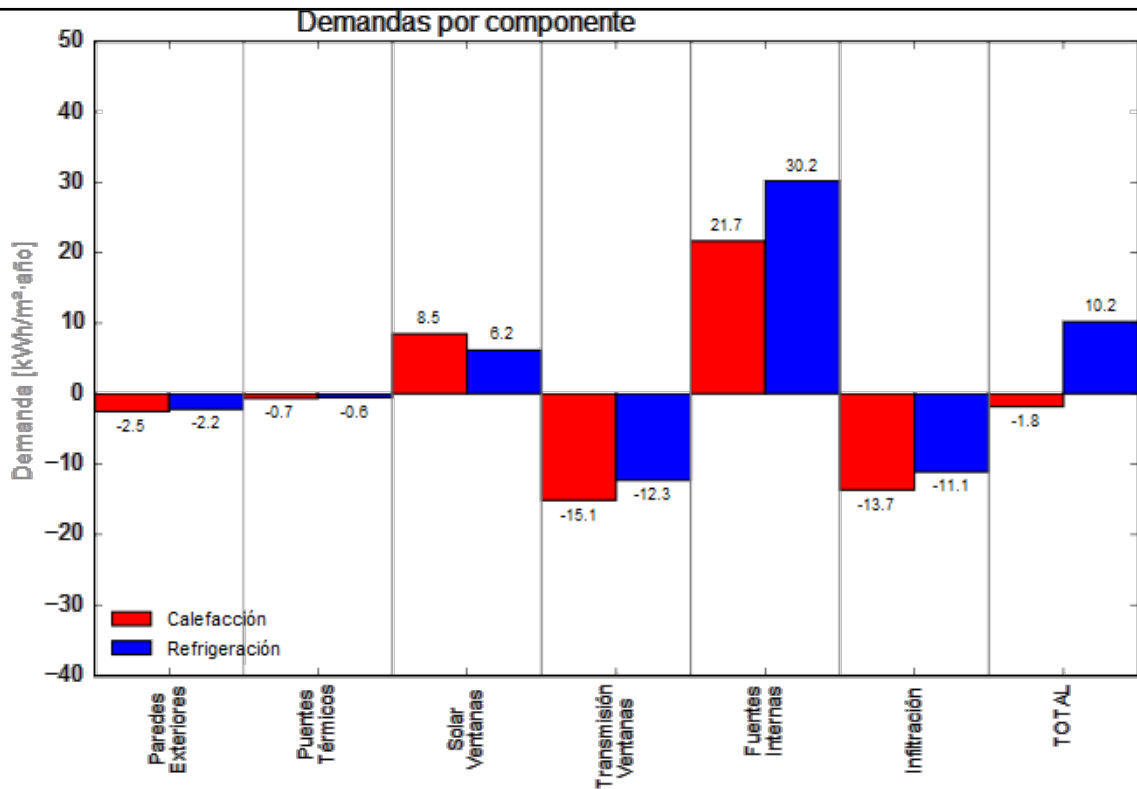
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 2\_ SUR



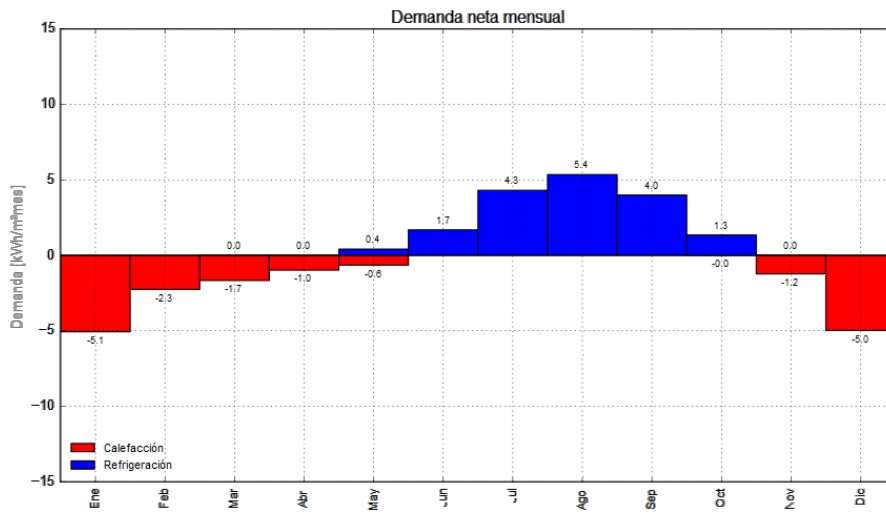
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 3\_ SUR



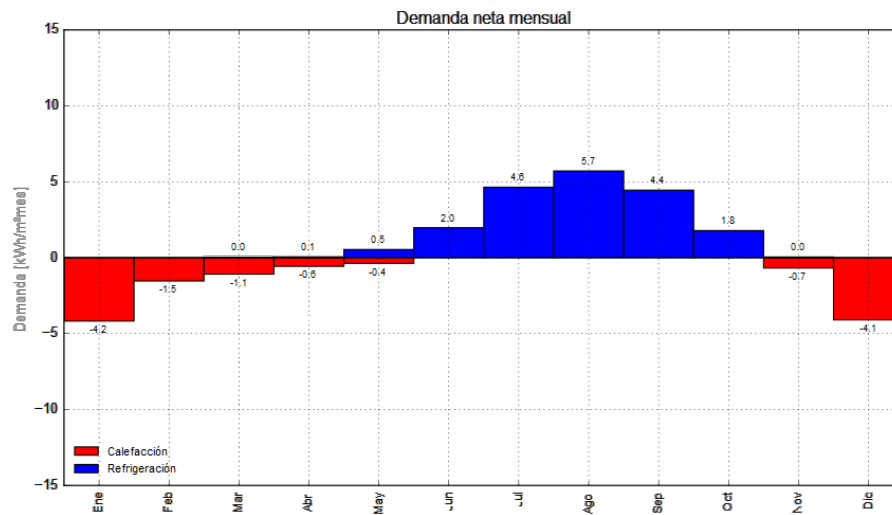
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 4\_ SUR



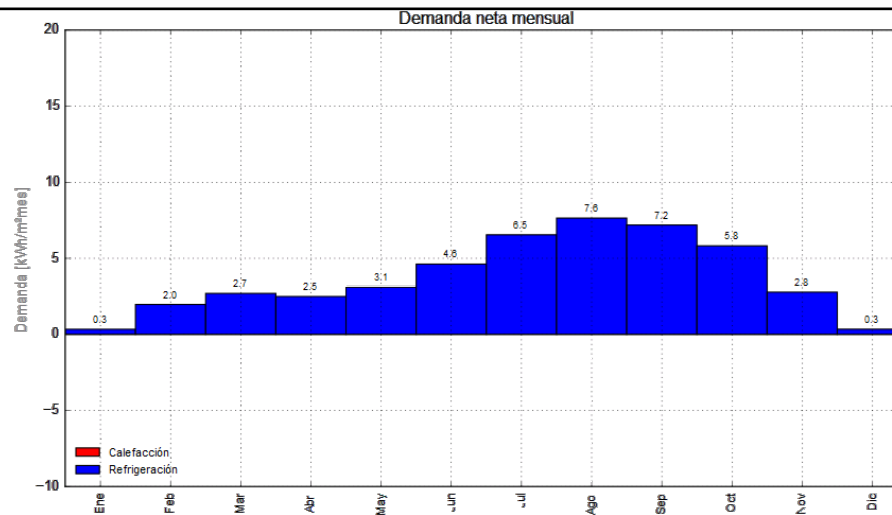
## DEMANDA MENSUAL\_ PROYECTO INICIAL\_ SUR



## DEMANDA MENSUAL\_ REFORMA 2006\_ SUR

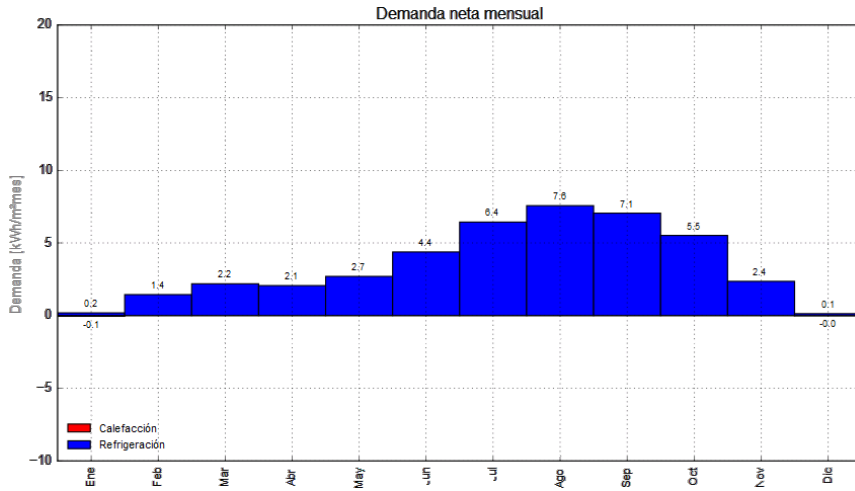


## DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 1\_ SUR

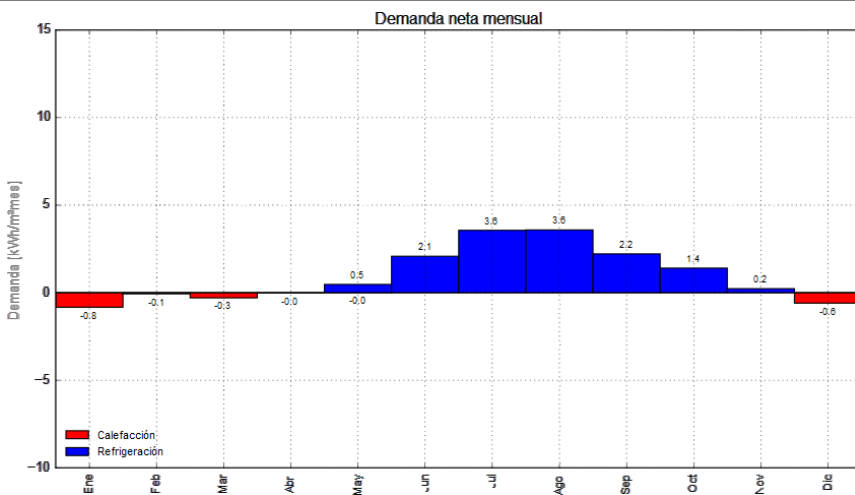




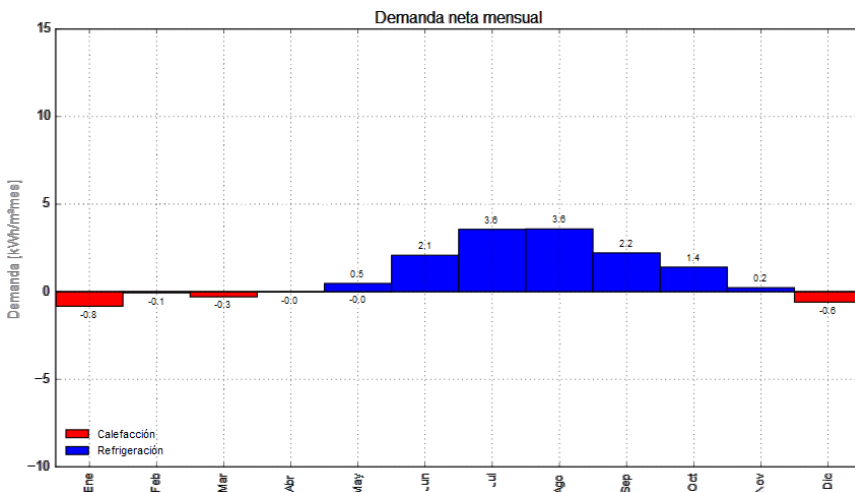
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 2\_ SUR



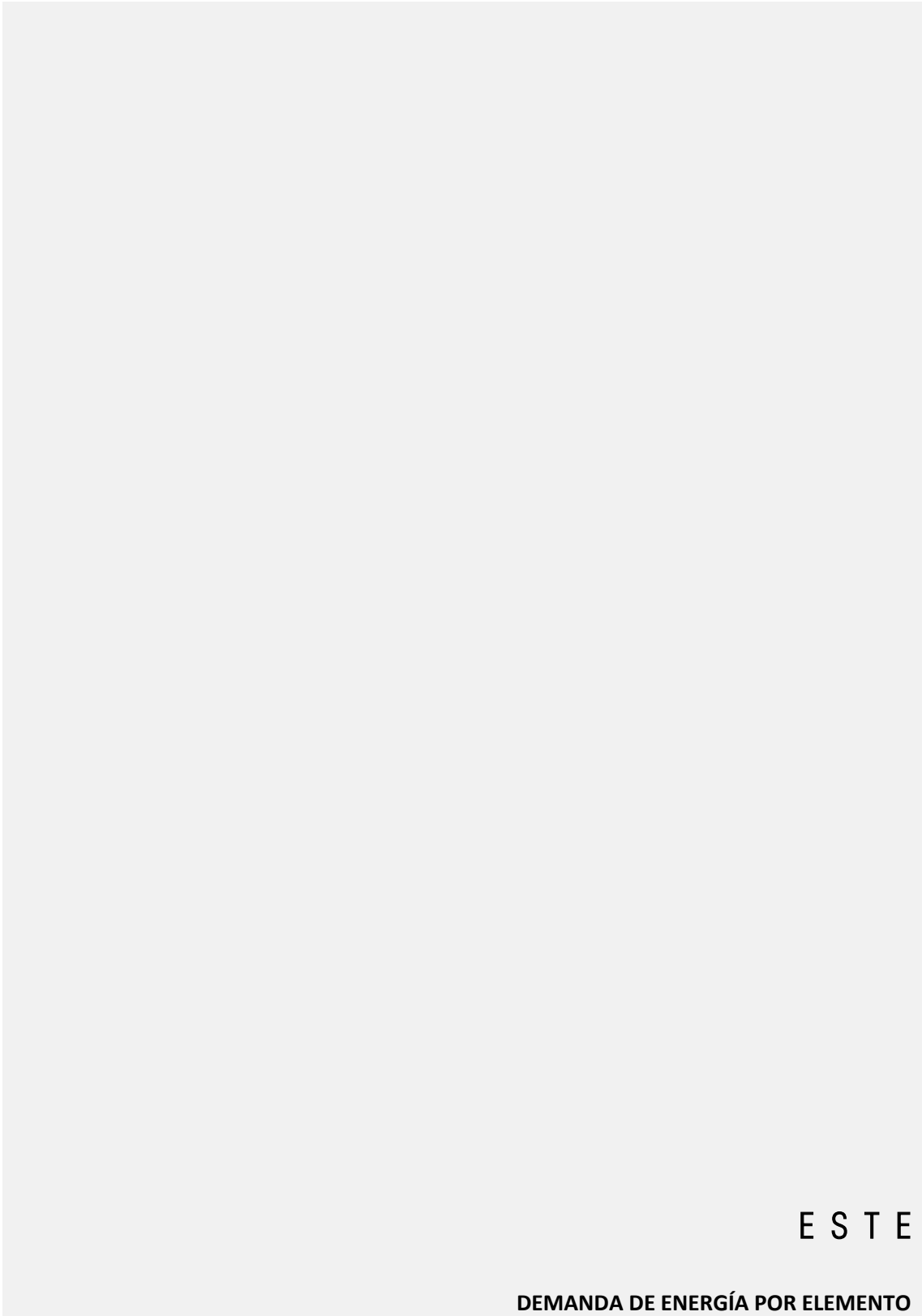
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 3\_ SUR



DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 4\_ SUR







**E S T E**

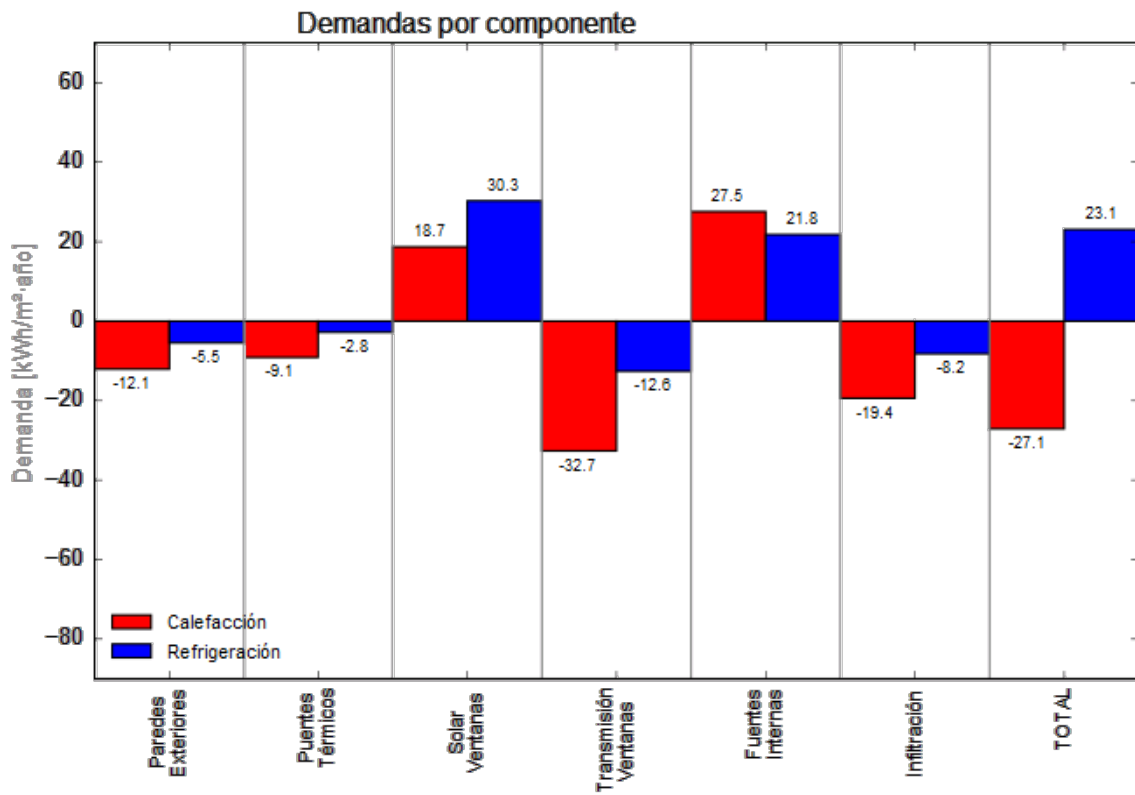
**DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO**

**DEMANDA MENSUAL**

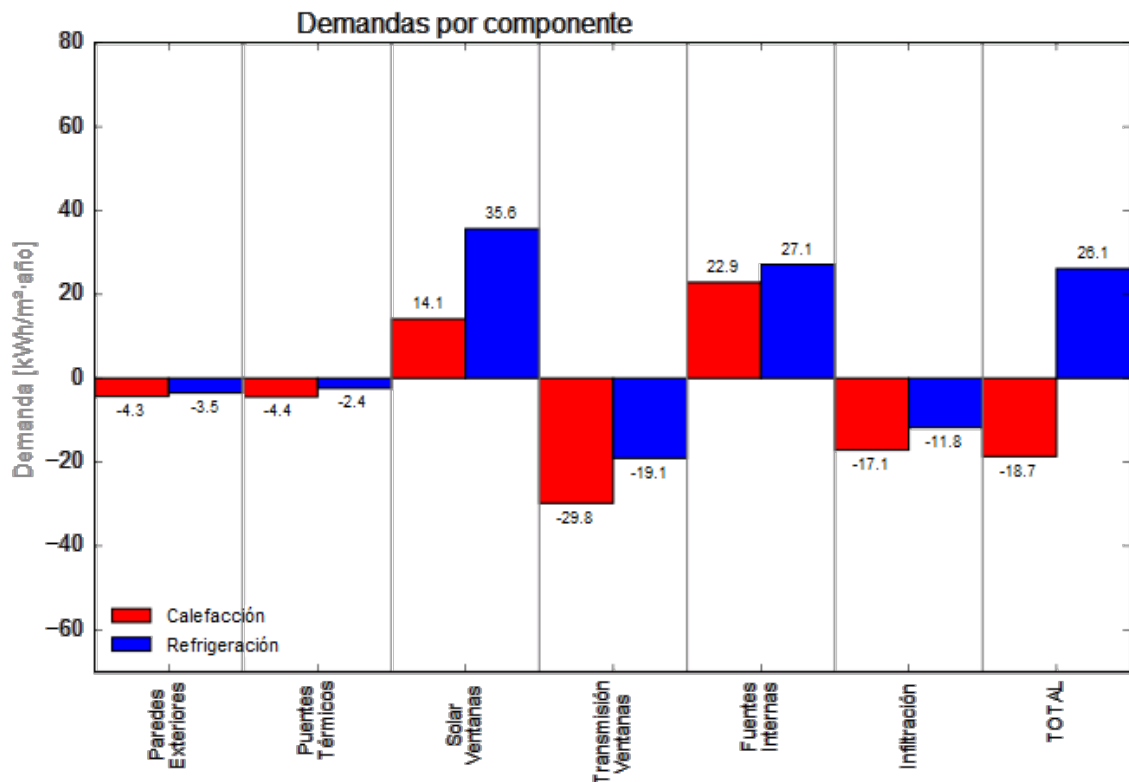
Los gráficos siguientes se han generado mediante la herramienta informática *Visol*.



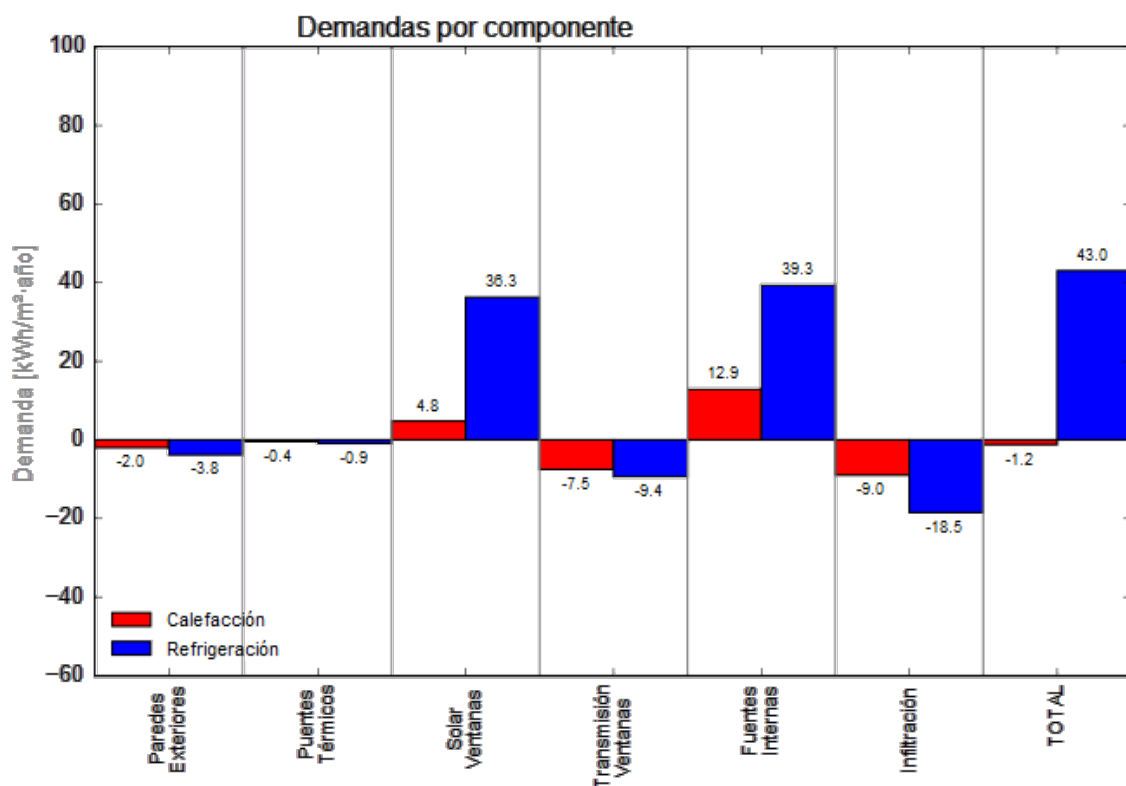
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROYECTO INICIAL\_ ESTE



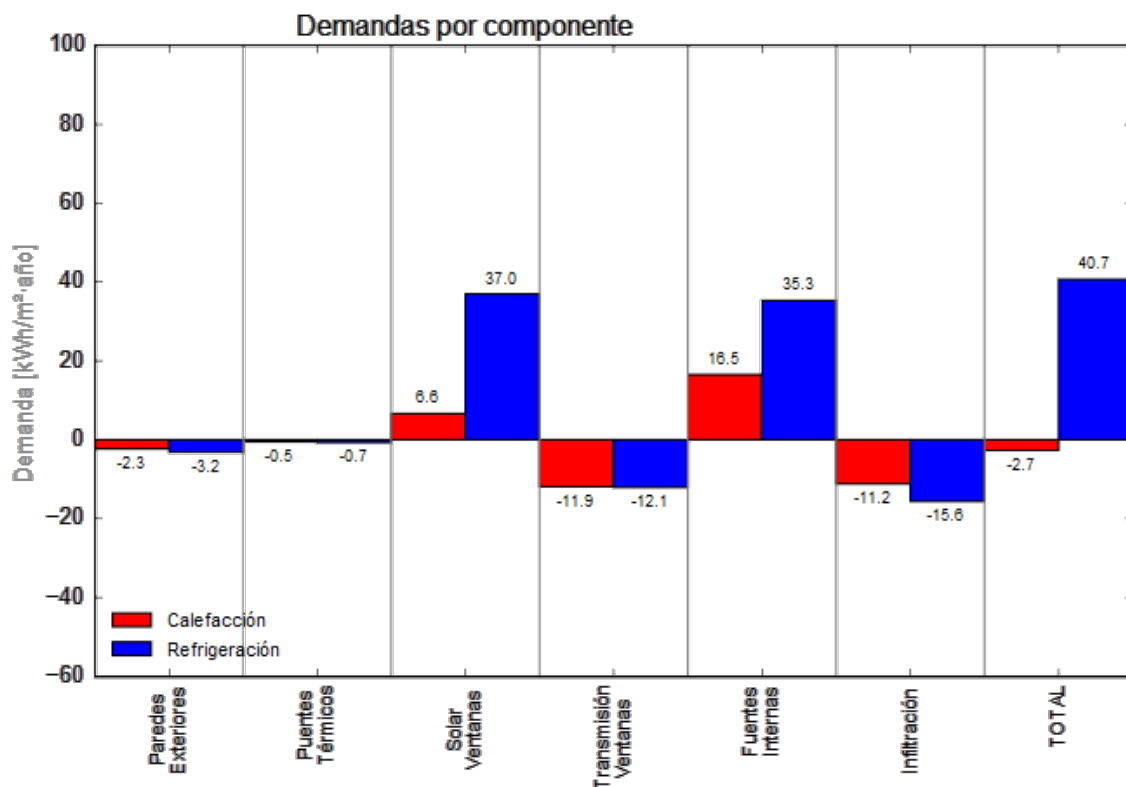
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ REFORMA 2006\_ ESTE



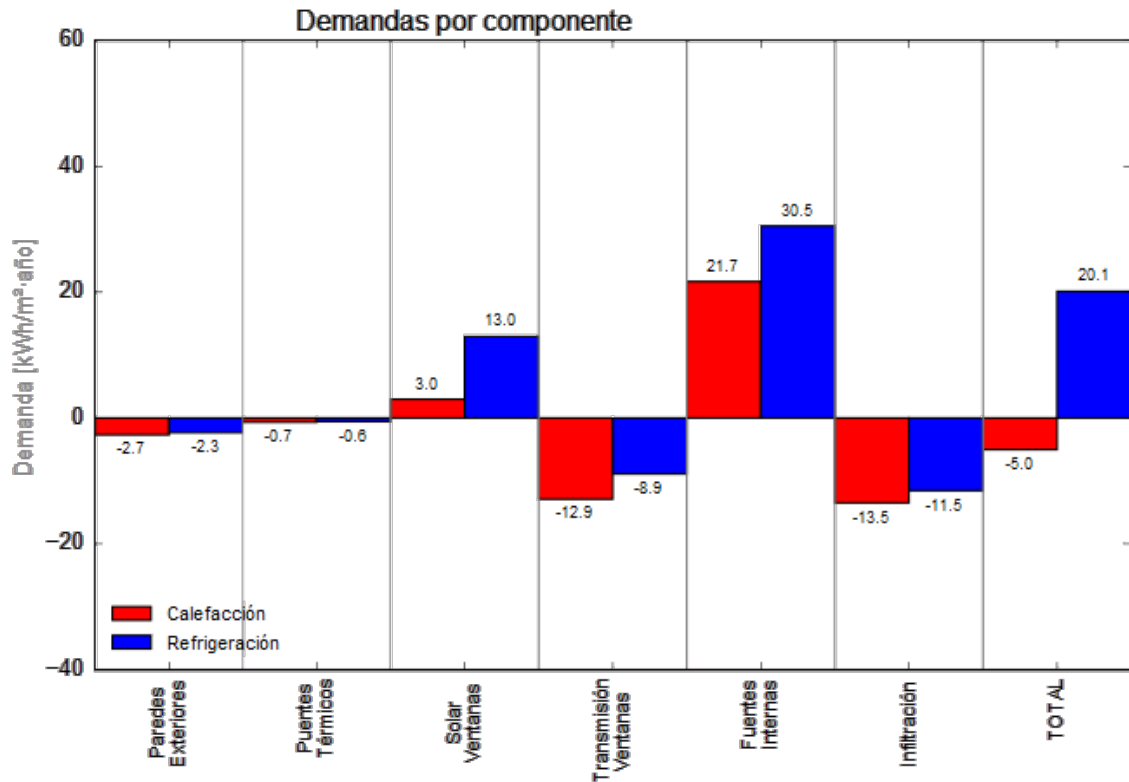
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 1\_ ESTE



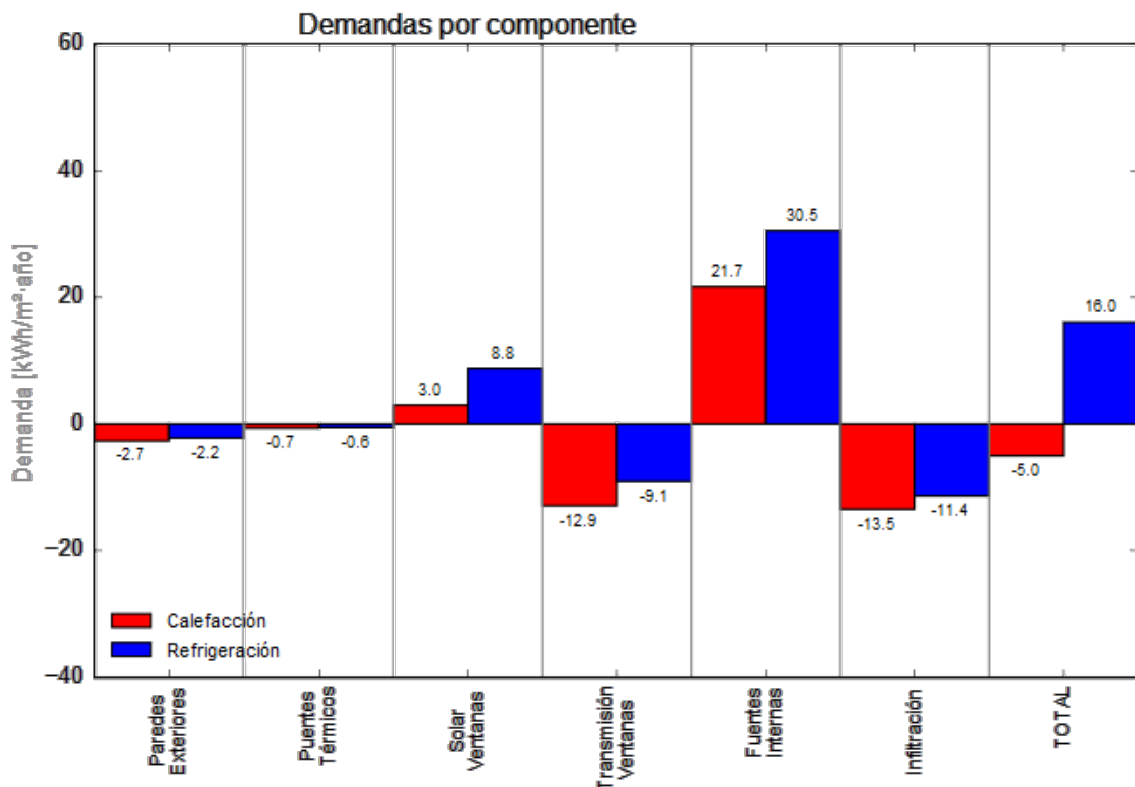
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 2\_ ESTE



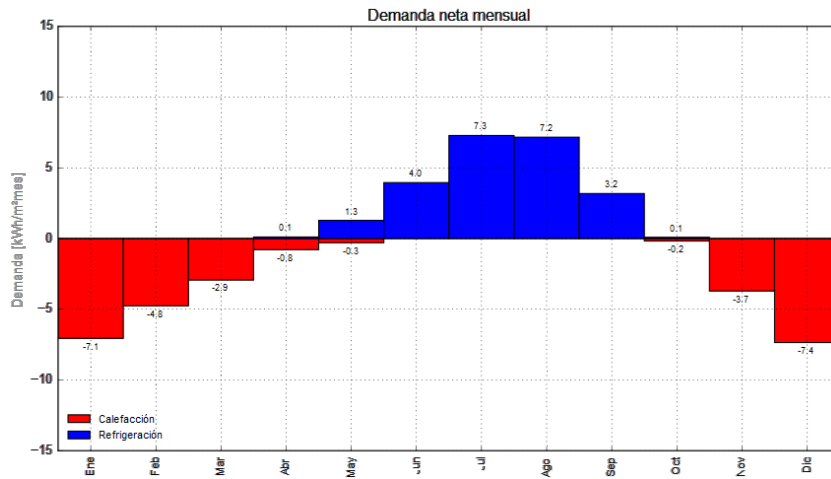
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 3\_ ESTE



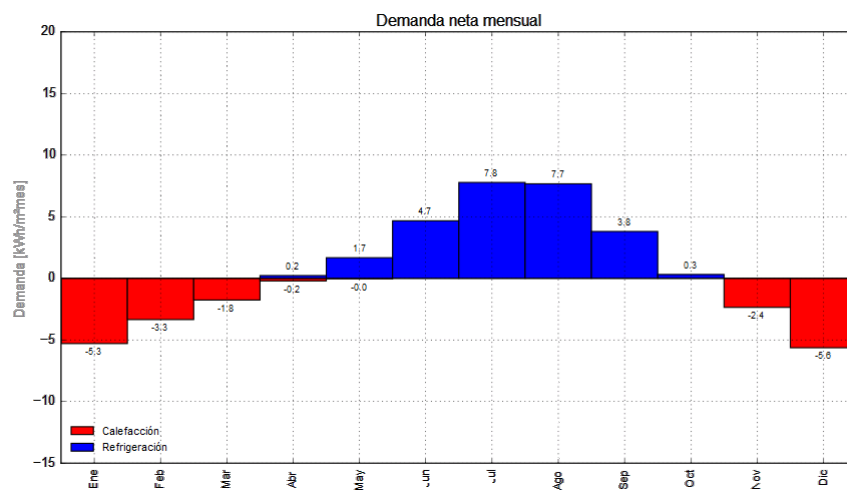
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 4\_ ESTE



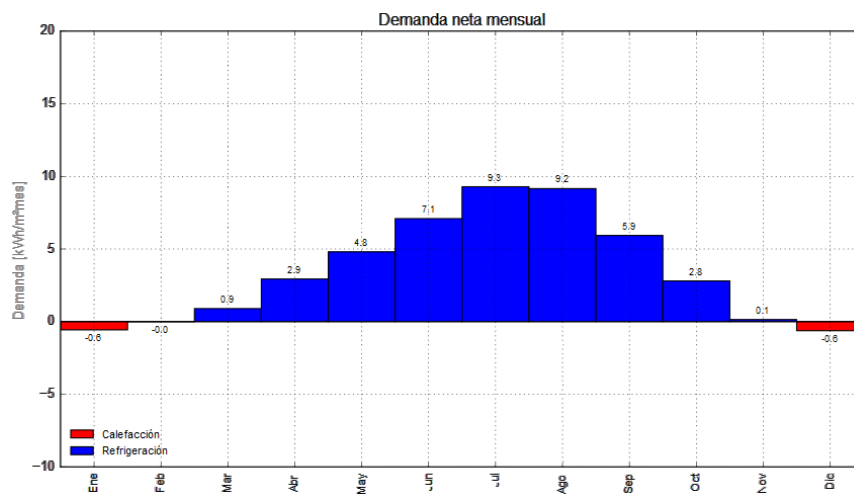
DEMANDA MENSUAL \_ PROYECTO INICIAL\_ ESTE



DEMANDA MENSUAL \_ REFORMA 2006\_ ESTE

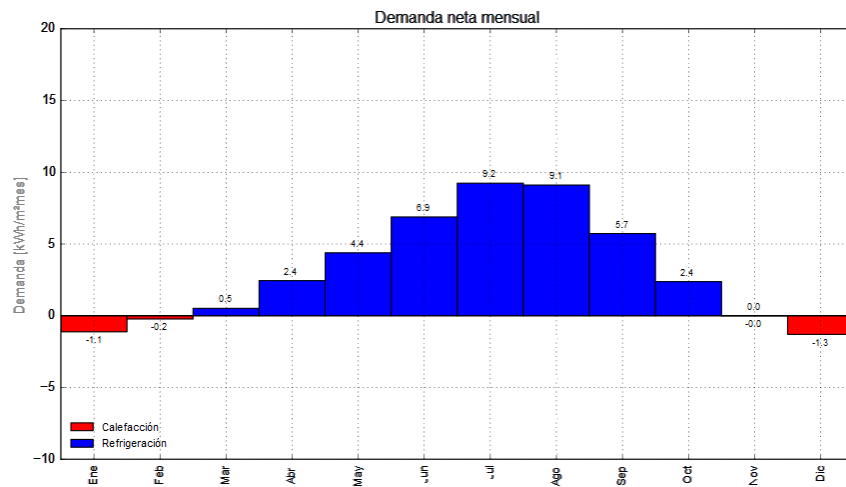


DEMANDA MENSUAL \_ PROPUESTA 1\_ ESTE

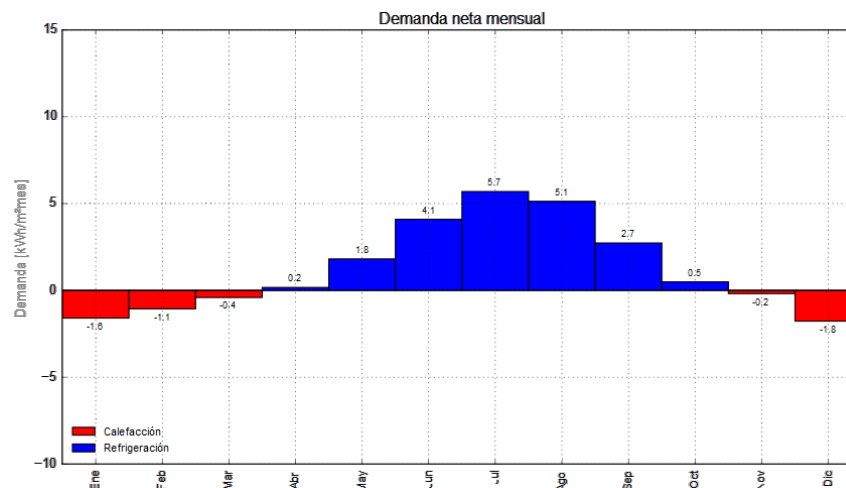




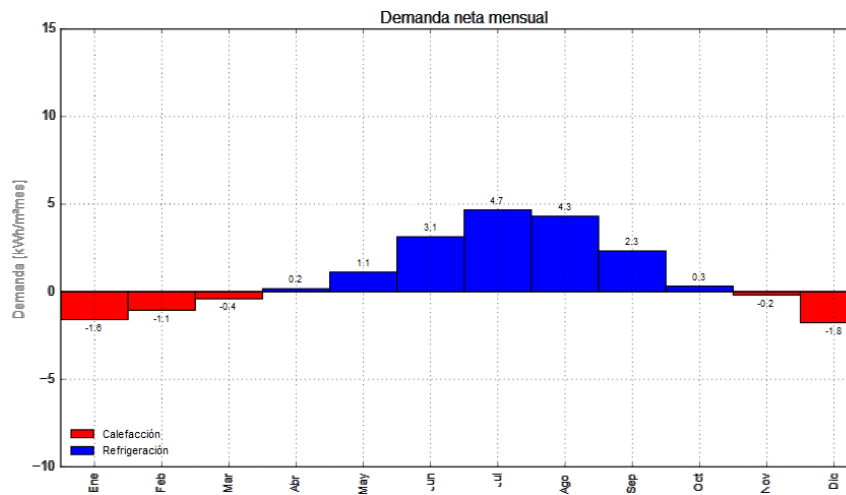
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 2\_ ESTE



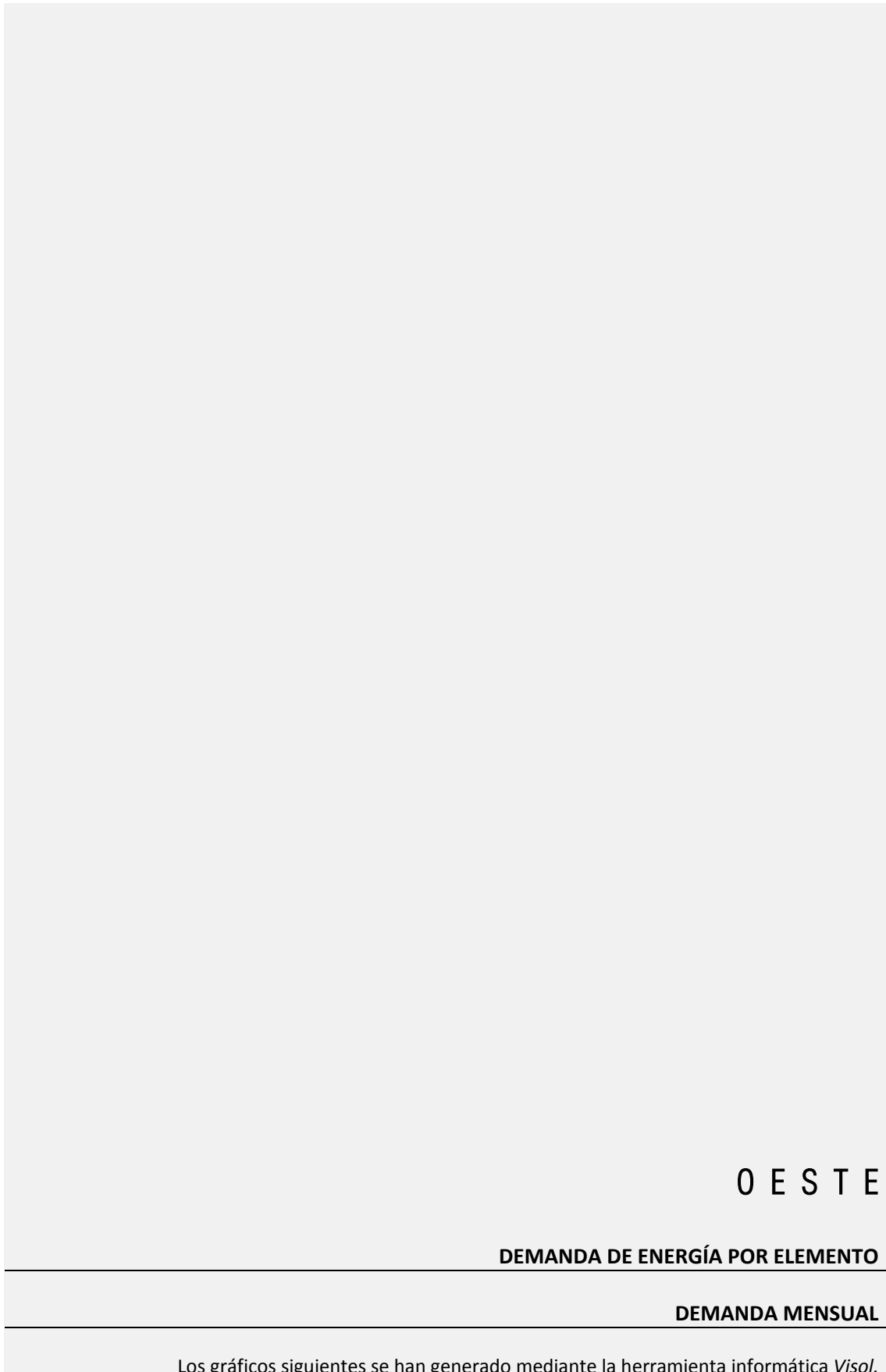
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 3\_ ESTE



DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 4\_ ESTE

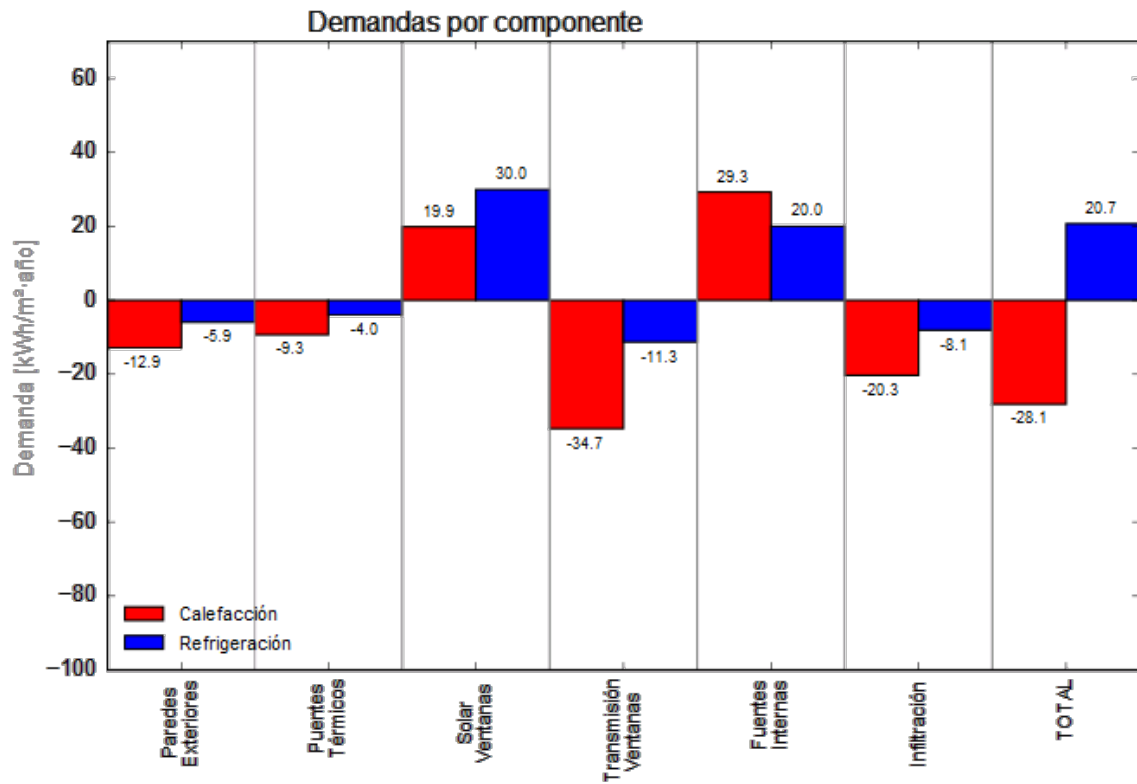




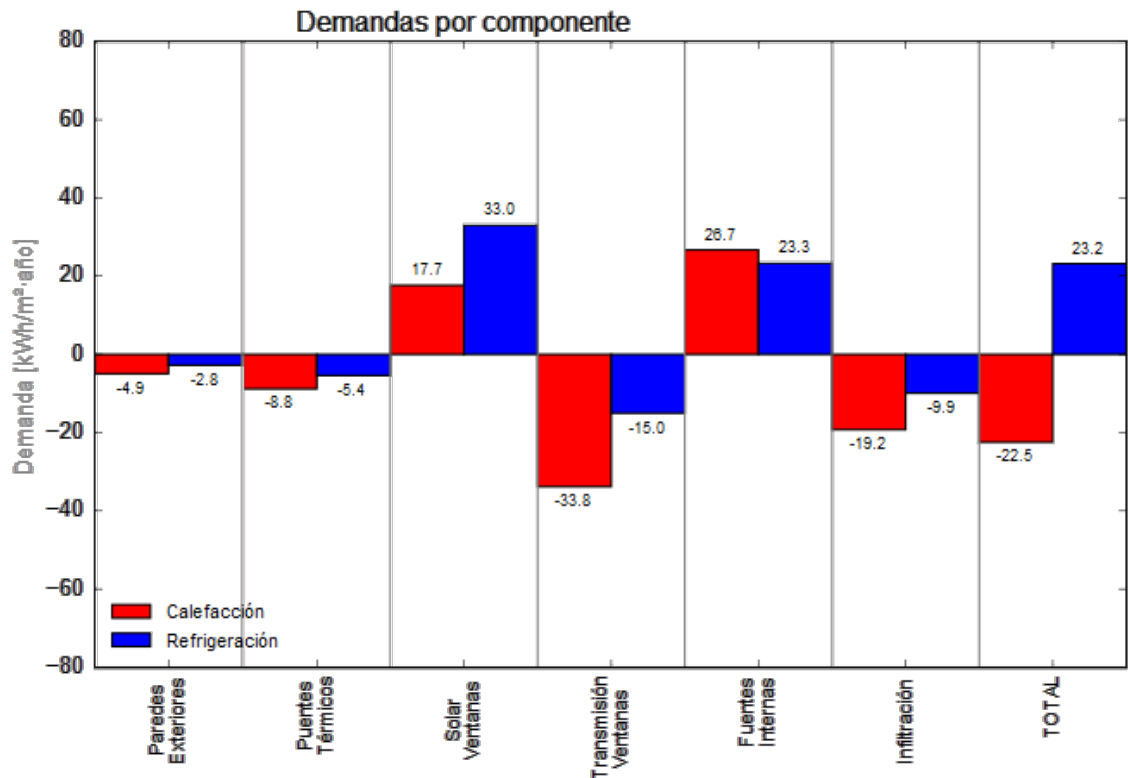




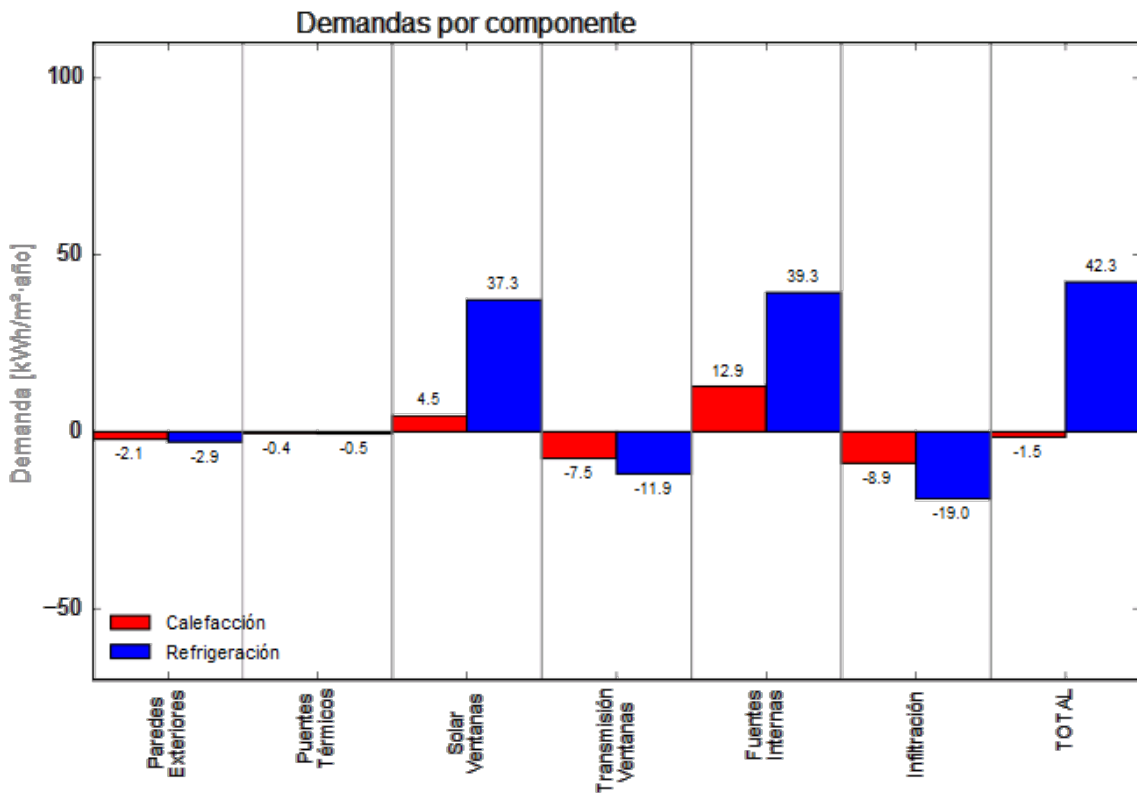
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROYECTO INICIAL\_ OESTE



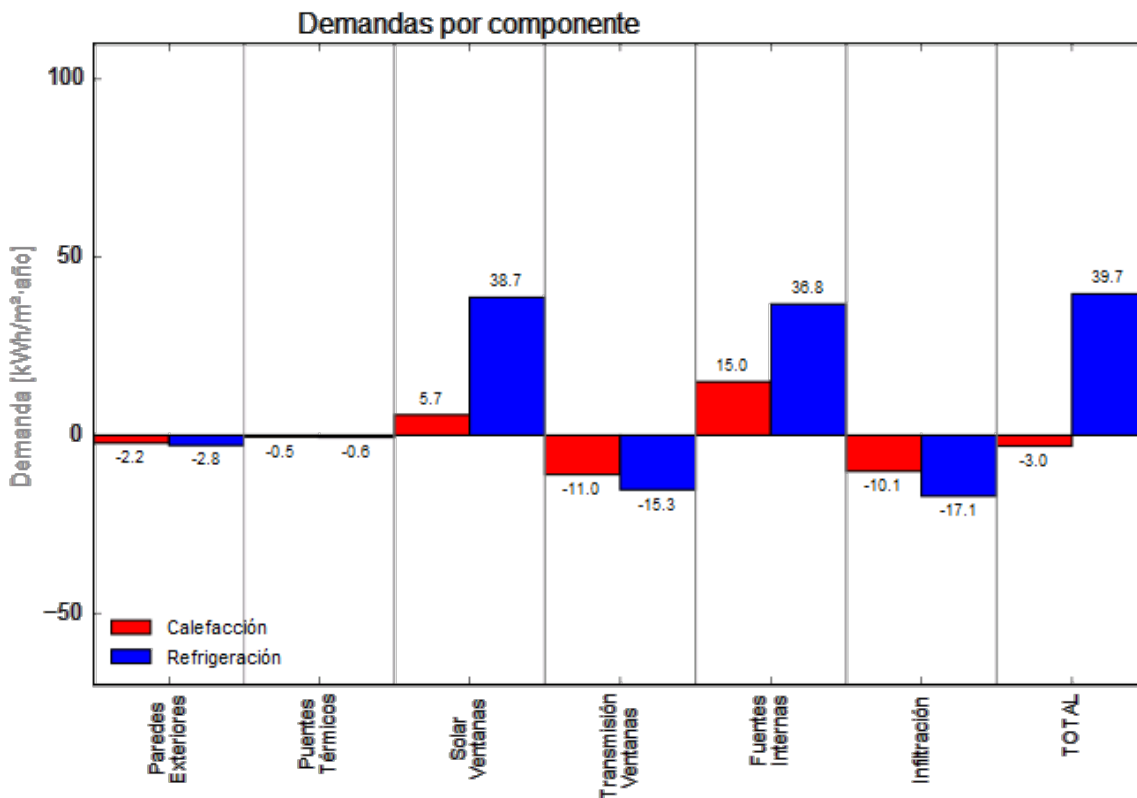
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ REFORMA 2006\_ OESTE



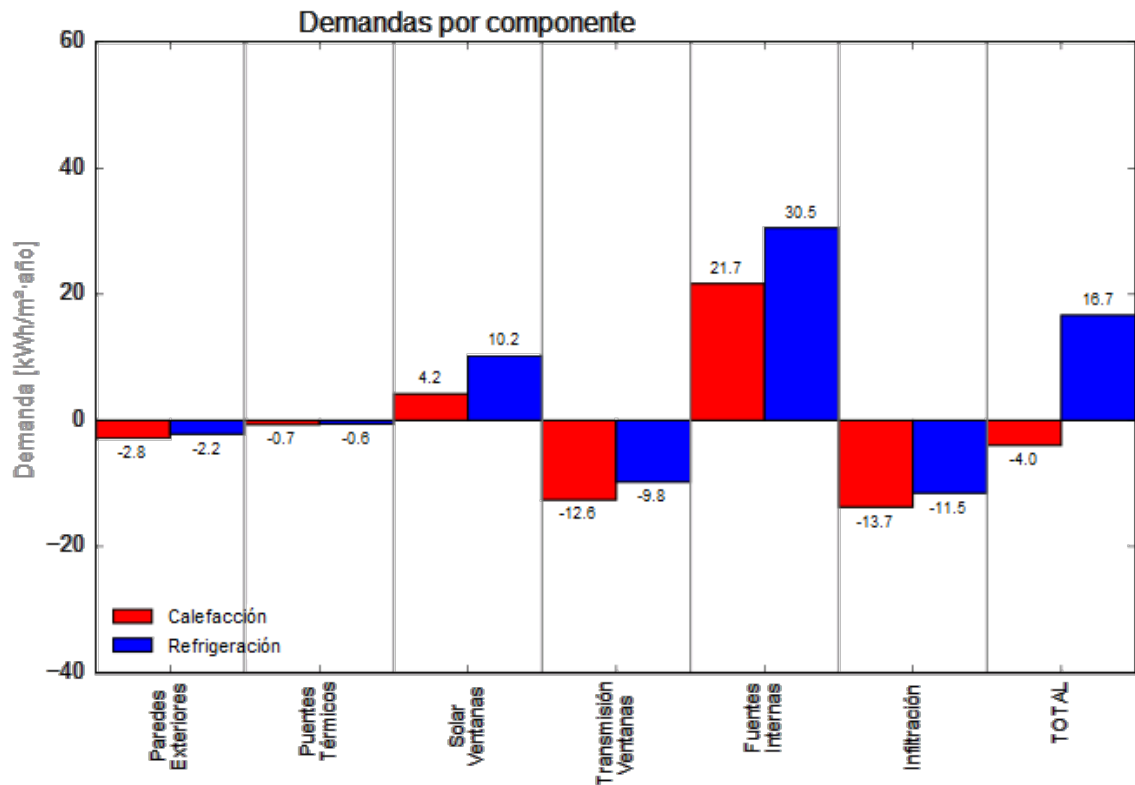
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 1\_ OESTE



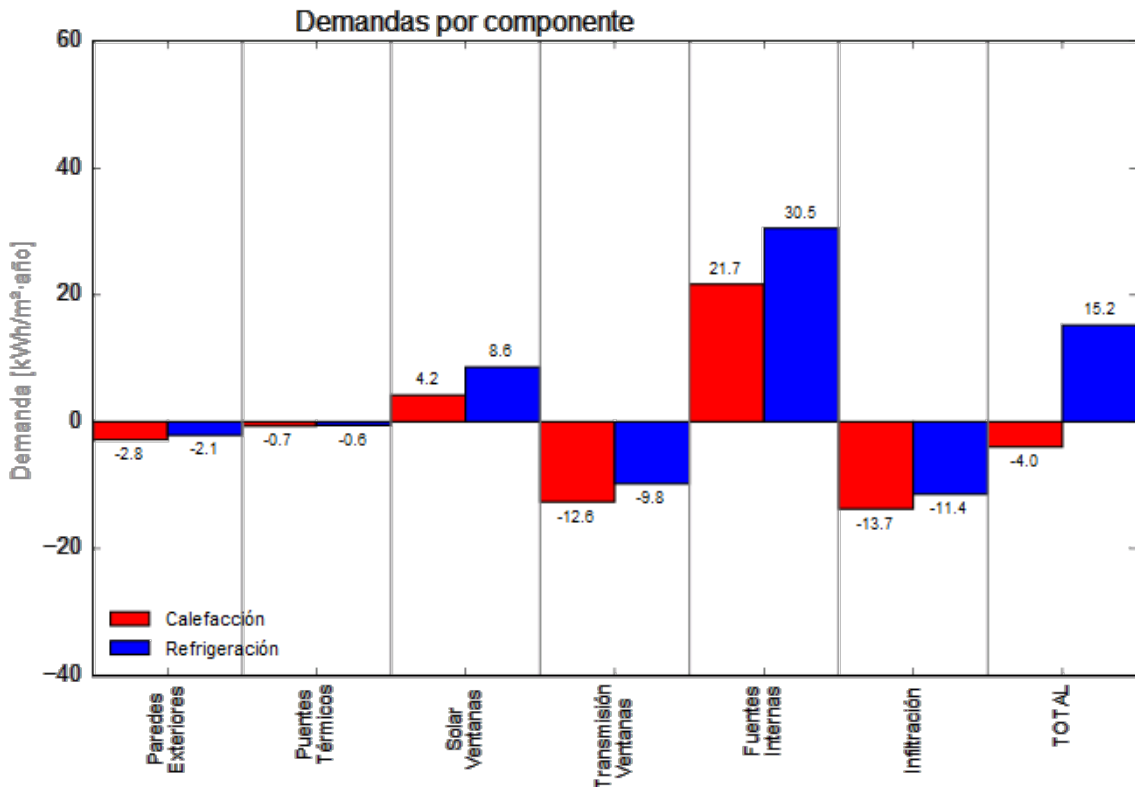
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 2\_ OESTE



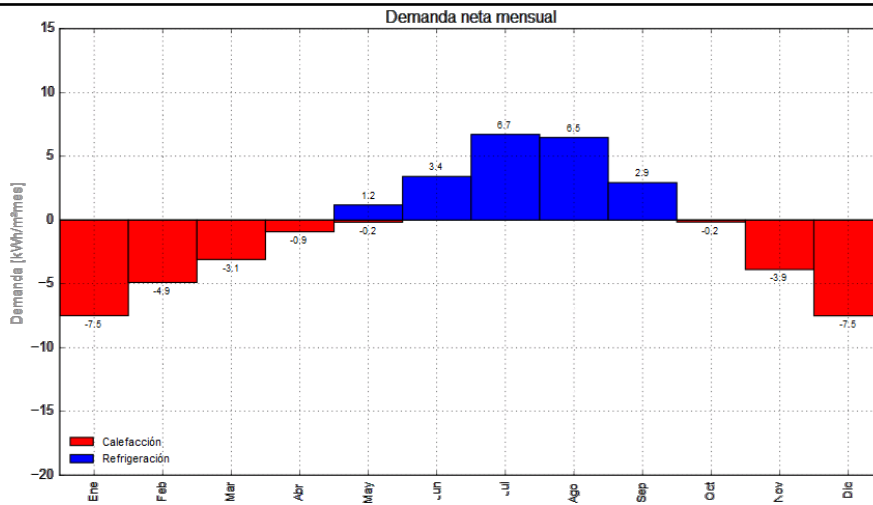
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 3\_ OESTE



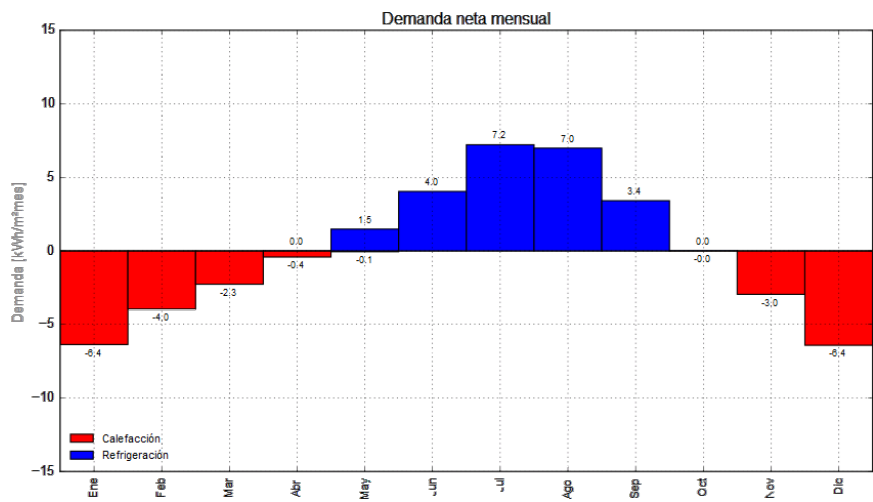
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ PROPUESTA 4\_ OESTE



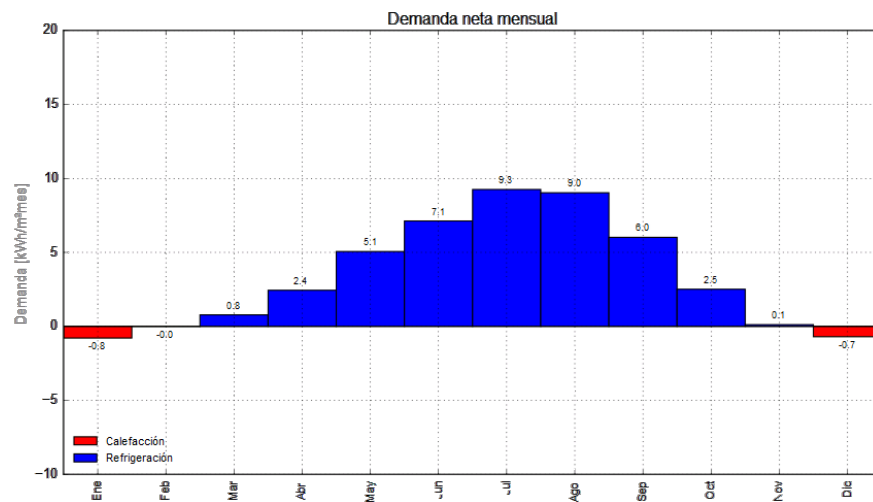
### DEMANDA MENSUAL\_ PROYECTO INICIAL\_ OESTE



### DEMANDA MENSUAL\_ REFORMA 2006\_ OESTE

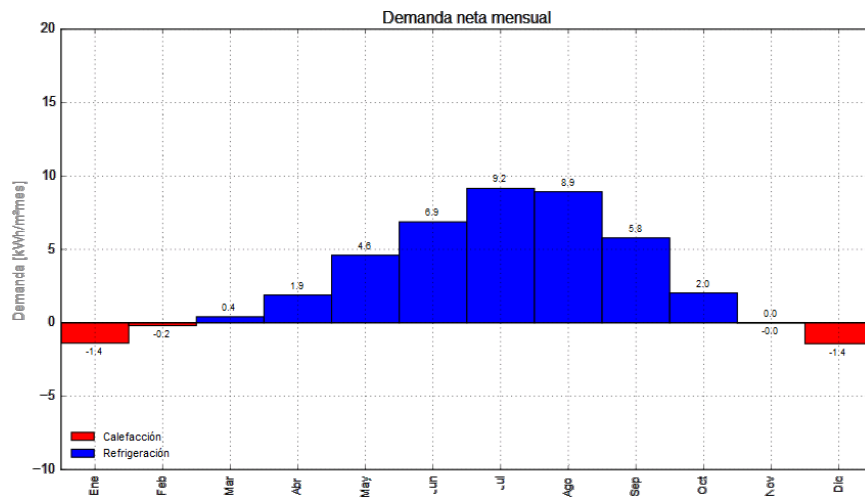


### DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 1\_ OESTE

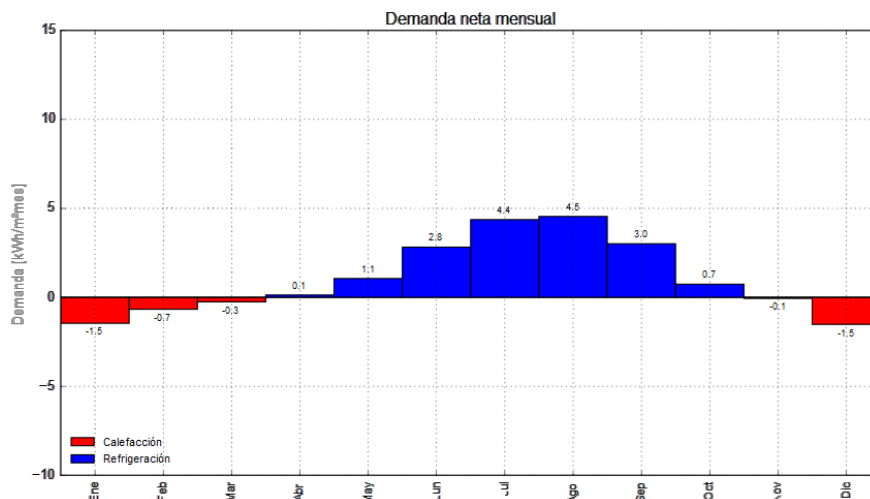




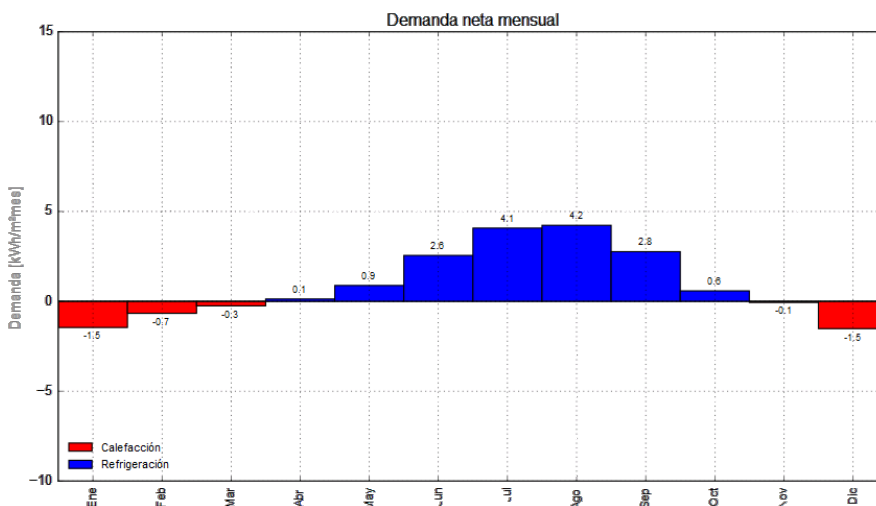
DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 2\_ OESTE



DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 3\_ OESTE



DEMANDA MENSUAL\_ PROPUESTA 4\_ OESTE





## 5. CONCLUSIONES PARCIALES

Como derivación de los resultados numéricos y sus correspondientes diagramas, se pueden extraer conclusiones sobre el paso de una simulación otra; es decir, cómo ha afectado a la eficiencia energética del proyecto inicial, la incorporación de una fachada ventilada exterior con 50 mm de aislamiento (reforma 2006) que va aumentando su capacidad térmica con las propuestas de mejoras así como la sustitución de ventanas originales por unas que cumplan con las exigencias actuales de resistencia térmica.

La primera conclusión obvia sería que en ninguno de los dos primeros casos se cumplen los límites actuales que exige la Norma, por lo que constituye un edificio con una eficiencia energética muy por debajo de las exigencias vigentes de eficiencia energética, pese a que en la época de construcción y reforma sí cumplía con los parámetros de transmitancias hoy en día obsoletos. Estamos ante una situación de gran consumo de energía para conseguir la situación de confort en las aulas. El edificio funciona como un gran intercambiador de energía con el exterior favoreciendo la disipación de la energía.

El cambio de ventanas originales por ventanas de vidrios bajo emisivos o vidrios dobles también varía en la eficiencia energética según la orientación ya que su comportamiento depende de la carga solar que recibe.

Del análisis de las gráficas de demanda de energía por componentes, se observa:

- La reforma del 2006 así como las propuestas posteriores reducen considerablemente las pérdidas por calefacción y refrigeración (zona inferior del diagrama).

- El mayor porcentaje de ganancias energéticas se produce por la carga solar de ventanas, que como se observa en el sur, este y oeste, la situación llega a ser contraproducente, ya que dispara la necesidad de refrigeración y con ello, produce el aumento de la demanda anual.

- Las ventanas son puntos débiles de la fachada por tener una transmitancia muy elevada ( $U=5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Por este motivo permiten la difusión de la energía y constituyen pérdidas de energía de calefacción y refrigeración. Se apuesta, por este motivo, por la actualización de las ventanas con la misma necesidad que disponer aislamiento térmico en el cerramiento opaco, ya que contribuyen en gran medida en reducir las pérdidas de energía.

- Las fuentes internas representan valores elevados de ganancia de calefacción y refrigeración ya que están vinculados al uso docente que se produce en esos espacios. Se han establecido 0,8 renovaciones/ hora según el uso y el número de personas por metro cuadrado<sup>48</sup>, además de considerar intensidad alta de 8 horas.

- Resulta llamativo cómo al sur y oeste los valores de pérdidas en las paredes exteriores y puentes térmicos aumentan muy someramente en el paso de la propuesta 2 a las 3 y a la 4. En estas dos últimas propuestas se disponen lamas protectoras del soleamiento que evitan la entrada de la radiación. Sin embargo, al este, las pérdidas siguen reduciéndose con la propuesta 3 y 4. Esta diferencia significativa, es consecuencia del horario: cuando el sol da al este por la mañana además hay ocupación; al oeste el edificio está vacío cuando entra el sol; la situación sur es un punto intermedio ya que parte del día se suman ocupación y radiación y parte sólo radiación. Las pérdidas por puentes térmicos así como las producidas por paredes exteriores se calculan por diferencia de temperatura exterior menos temperatura interior, dando lugar a esos resultados.

Por otra parte, la secuencia por meses de cómo cambia la demanda de calefacción y refrigeración nos permite extraer que la reforma de 2006 reduce con creces la demanda de calefacción, aunque aumenta ligeramente la de refrigeración. La propuesta 1 y 2 de adición de aislamiento térmico 100 mm y sustitución de ventanas se identifican con la práctica más habitual en las rehabilitaciones reales. Sin embargo, es muy llamativo cómo no resulta igual de eficiente el tipo de vidrio de los huecos y cómo la demanda de

---

<sup>48</sup> Método de cálculo en función del número de personas/m<sup>2</sup> establecido en el RITE.

refrigeración se dispara aumentando consigo la demanda anual. Esto ocurre en las cuatro orientaciones pero muy significativamente al sur con la propuesta 1 y 2.

Resulta inconcebible una rehabilitación energética para ahorrar en la demanda de calefacción pero que por otro lado, genere problemas de refrigeración. En nuestra ciudad y por el intervalo anual que ocupa el curso escolar, tiene sentido que se trabaje por conseguir la mejor situación de demanda reduciendo la necesidad de calefacción; sin embargo, no nos podemos quedar con una solución en la que la demanda anual disminuye pero la necesidad de refrigeración se dispara en la mayoría de meses. Por este motivo, con el fin de evitar la necesidad de refrigerar, se opta por disponer lamas que eviten la entrada de radiación solar y, por tanto, mantenga unos niveles aceptables de refrigeración según el mes.

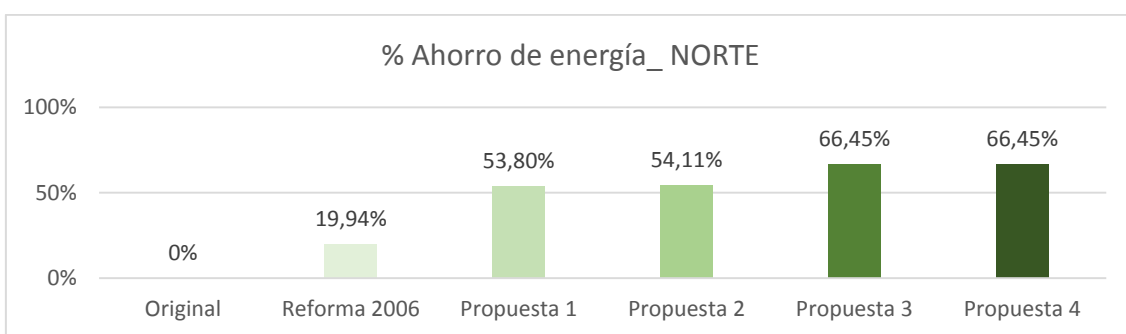
Al sur se han situado lamas horizontales y el este y oeste lamas verticales por el simple motivo del recorrido del sol ya que de esta forma las lamas arrojan más sombra para evitar la entrada de radiación directa.

Se puede decir que la última propuesta en el caso del sur, este y oeste, constituye una medida que permite disminuir un poco más la demanda al disponer los elementos de protección solar móviles. En el caso de que se pudiera invertir un presupuesto que asuma esto, se determina que permitiría mayor eficiencia energética y mayor ahorro en su consumo anual.

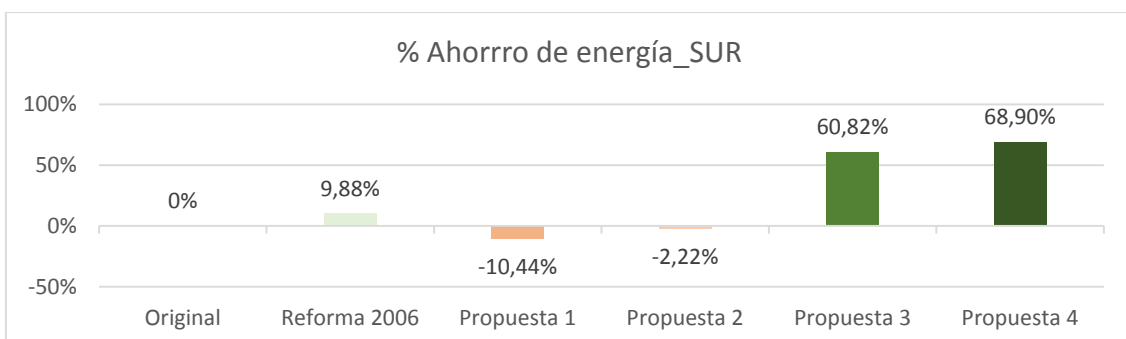
En el caso del norte, las lamas no actúan como protectores solares, ya que no recibe nunca en esta orientación radiación solar directa. Si bien, la radiación también puede ser indirecta, es decir, difusa. El programa considera que la radiación difusa genera mayor demanda de refrigeración como podemos ver en las propuestas 1 y 2, y las lamas evitan dicha radiación. Además, por este motivo, los resultados son los mismos independientemente de la posición de las lamas (horizontales o verticales) ya que no

tiene en cuenta el ángulo de incidencia que es inexistente, sino la radiación difusa que es isótropa e igual en todas las direcciones.

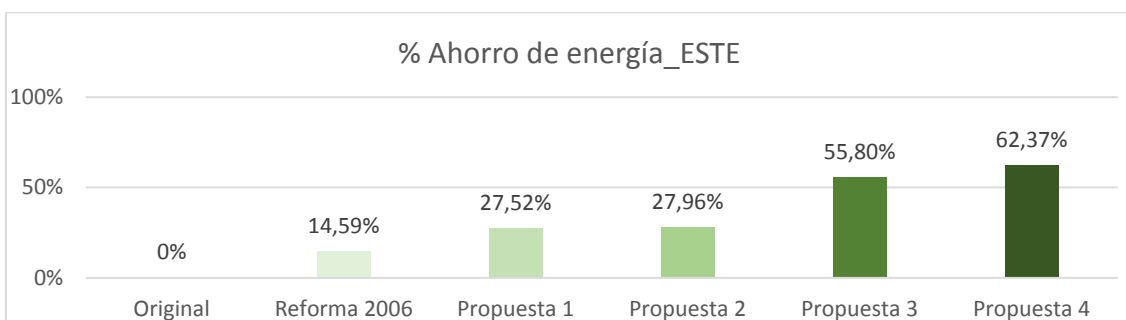
Por último, una manera de determinar visualmente las conclusiones finales de forma pormenorizada es comparando los porcentajes de ahorro energético, en cuanto a la demanda anual de calefacción + refrigeración, de cada propuesta en función del estado inicial.



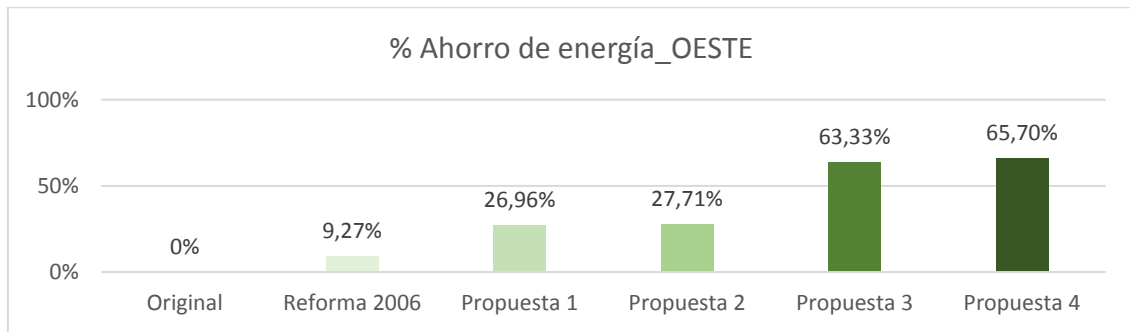
Gráfica 6. Porcentajes de ahorro de energía en función del proyecto inicial. Situación norte.



Gráfica 7. Porcentajes de ahorro de energía en función del proyecto inicial. Situación sur.



Gráfica 8. Porcentajes de ahorro de energía en función del proyecto inicial. Situación este.



Gráfica 9. Porcentajes de ahorro de energía en función del proyecto inicial. Situación oeste.

Como se observa, la propuesta final consigue en todas las orientaciones un ahorro de más del 60% con respecto de la situación de proyecto inicial.





## 6. APLICACIÓN DE PROPUESTAS EN OTROS CASOS

De los grupos presentados en el apartado previo 3.2, se va a proceder a elegir un edificio representativo que sirva de ejemplo genérico para ese grupo, considerando que las diferencias van a ser mínimas por ser muy parecidos. Se elegirá el edificio del que más documentación gráfica y escrita se tenga. En él se extrapolarán las propuestas analizadas en el IES Leopoldo Cano.

G R U P O A

G R U P O B

G R U P O C



## 6.1. GRUPO A

|                                 |
|---------------------------------|
| CEIP Jorge Guillén              |
| CEIP María teresa Íñigo de Toro |
| CEIP Pedro Gómez Bosque         |
| IES Parquesol                   |

### 6.1.1. ELECCIÓN DE UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DEL GRUPO

Se elegirá como ejemplo el CEIP Pedro Gómez Bosque, que tiene la siguiente distribución en planta<sup>49</sup>, al igual que el CEIP Jorge Guillén y el CEIP María Teresa Íñigo de Toro. Se ha considerado el edificio que más documentación posee.

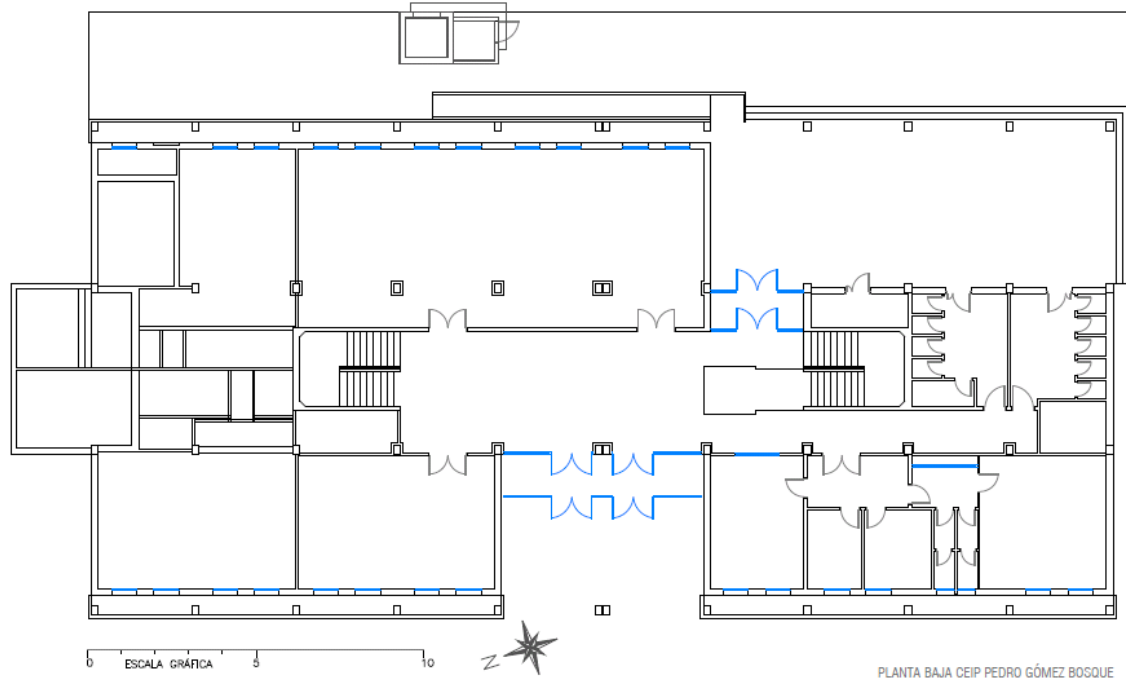


Imagen 36. Planta baja del CEIP Pedro Gómez Bosque. Fuente: Archivo Histórico Provincial.

<sup>49</sup> Información gráfica obtenida a partir de documentación del Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 77/18, carpeta 5; caja 86/04, carpeta 2; caja 1104, carpeta 3.

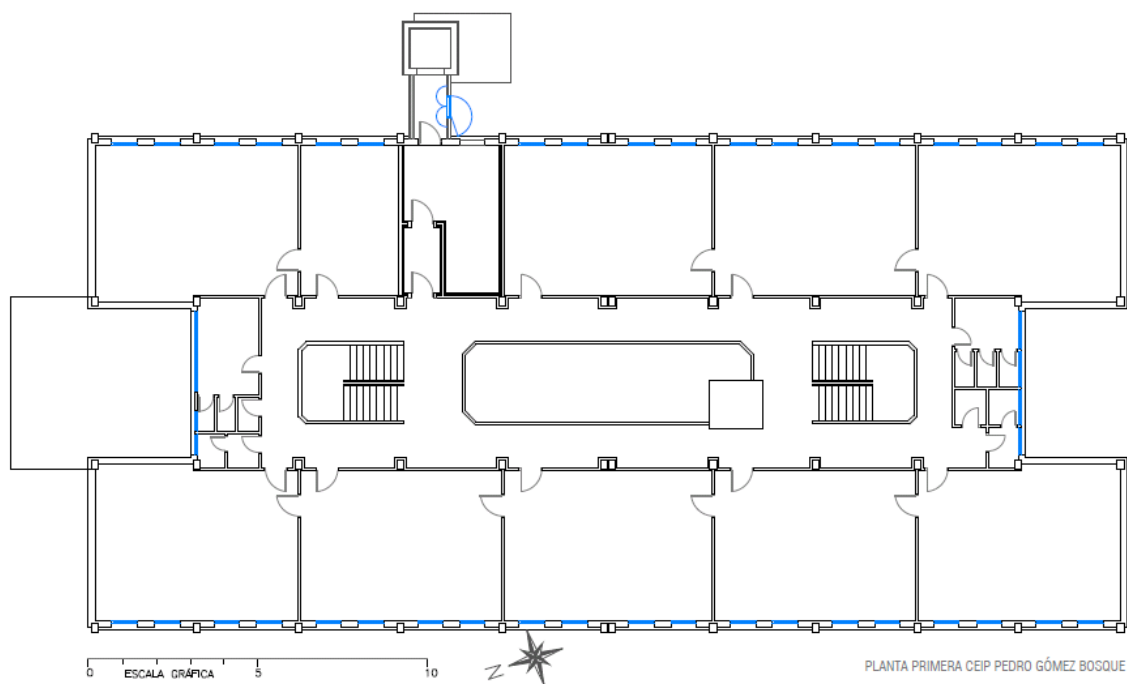


Imagen 37. Planta primera del CEIP Pedro Gómez Bosque. Fuente: Archivo Histórico Provincial.

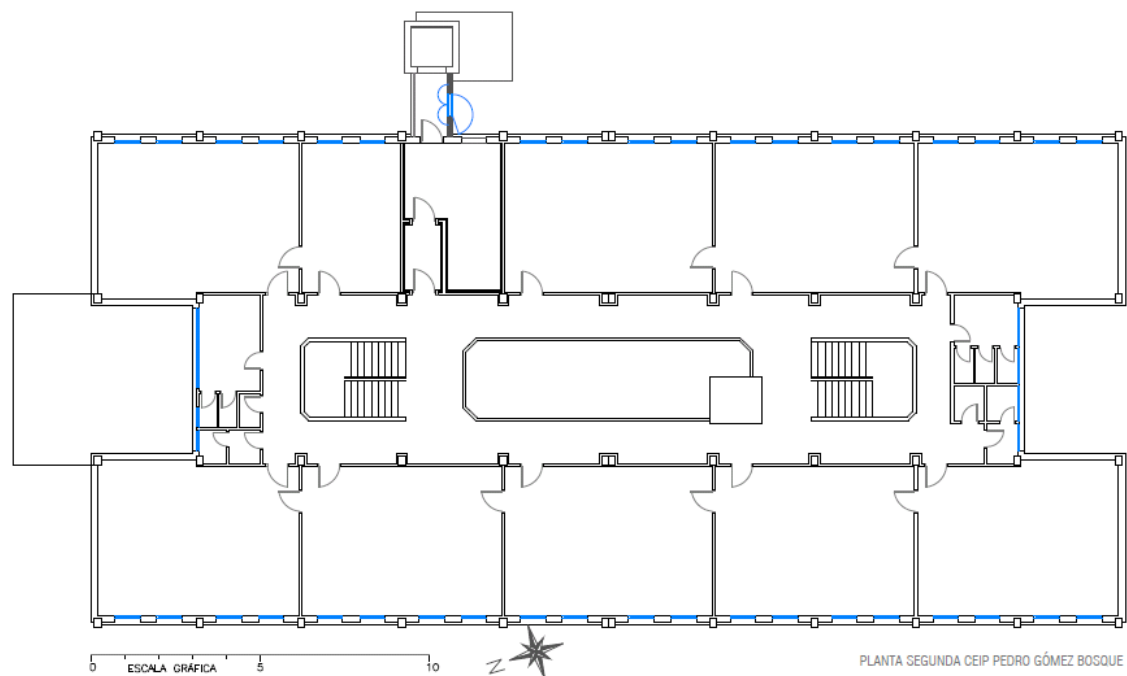
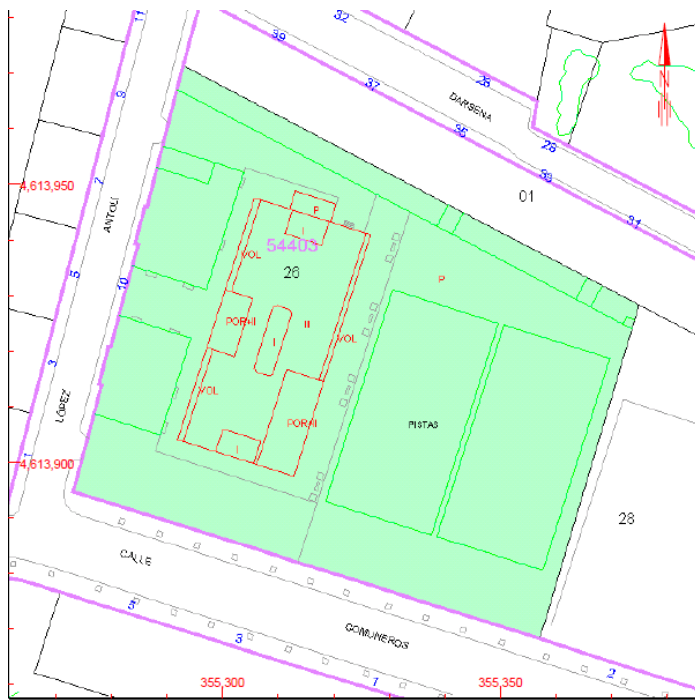


Imagen 38. Planta segunda del CEIP Pedro Gómez Bosque. Fuente: Archivo Histórico Provincial.



Imagen 39. Alzado patio del CEIP Pedro Gómez Bosque. Fuente: Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 77/18, carpeta 5; caja 86/04, carpeta 2; caja 1104, carpeta 3.



En este caso, las fachadas principales longitudinales, que son motivos de estudio por su relación de huecos y cerramiento ciego, se encuentran orientadas al NOROESTE y al SURESTE. Se estudiarán dichas orientaciones reales para aplicar en ellas las propuestas óptimas y determinar así la disminución de la demanda energética.

Imagen 40. Planta de situación CEIP Pedro Gómez Bosque. Imagen de ficha catastral.

La fachada, como ya se mencionó, se resuelve con doble hoja de fábrica de ladrillo cara vista al exterior y de tabicón HD al interior. Poseen cámara de aire no ventilada y aislamiento de paneles de fibra de vidrio de 60 mm<sup>50</sup> según proyecto; por último, enlucido de yeso al interior. La estructura de pilares es vista, con los pilares adelantados

<sup>50</sup> Se ha encontrado información del tipo de aislante de la época en la documentación de proyecto. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 86/02, carpeta 4.

respecto de la línea de fachada. La banda horizontal de huecos se enfatiza enfoscando el paramento con mortero proyectado.

Esta descripción ha sido posible gracias a una documentación de dibujos constructivos que se puede encontrar en el Archivo Histórico Provincial de Valladolid. Se tratan de unas secciones constructivas de 1976 para definir el “tipo I” de edificio escolar para 16 unidades<sup>51</sup>. Recordamos, que en esta época, el proyecto se podía llevar a cabo en Madrid siguiendo unos modelos tipo y posteriormente se llevaba a la parcela concreta mediante un modelo de implantación propio. Este “tipo I” del que hablamos se corresponde con los edificio de este grupo. Si bien, la mayoría de la documentación recabada consiste en presupuestos e información escrita de mediciones.

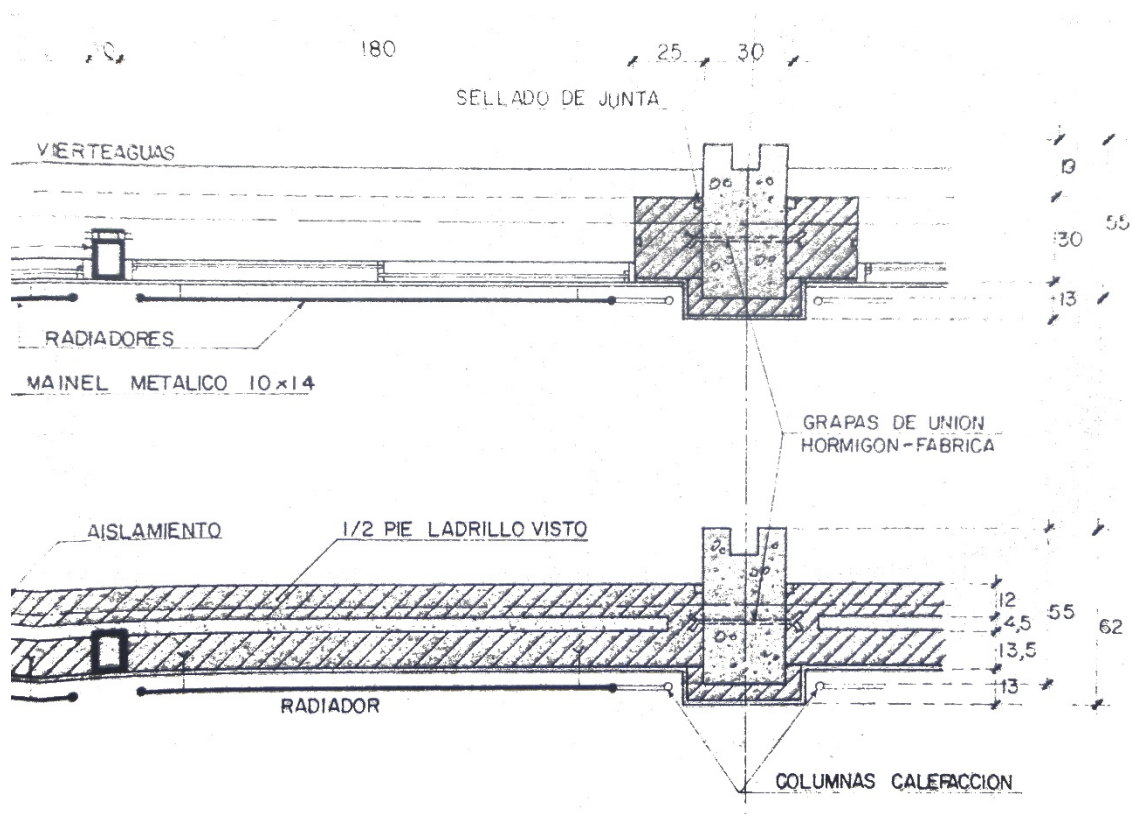


Imagen 41. Sección horizontal en edificios docentes Tipo I para 16 unidades. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 77/18, carpeta 3.

<sup>51</sup> Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 77/18, carpeta 3.

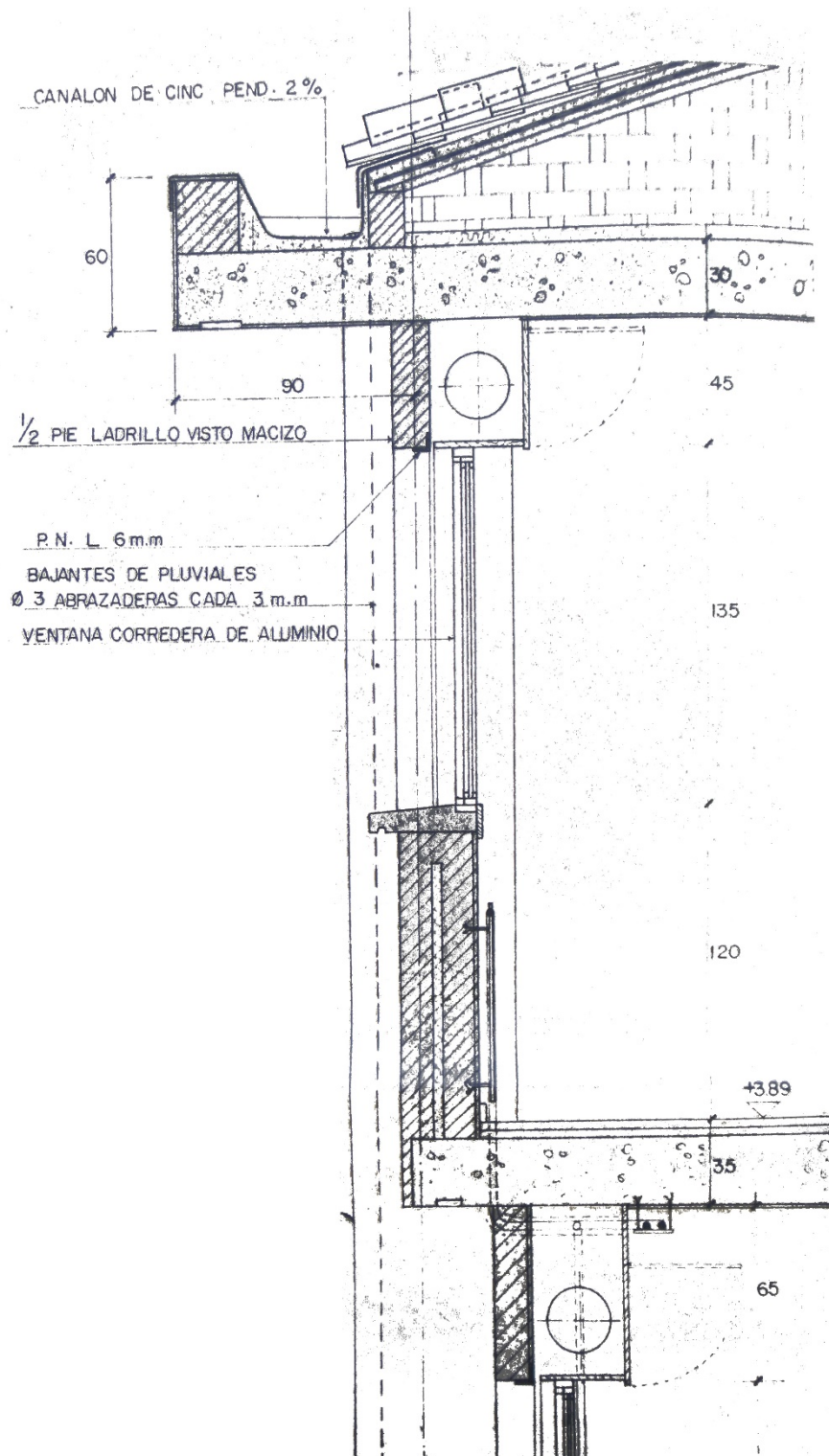


Imagen 42. Sección horizontal en edificios docentes Tipo I para 16 unidades. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 77/18, carpeta 3.

## 6.1.2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA

Después de la recopilación y análisis de toda la información a la que se ha tenido acceso, así como de las visitas de campo y toma de datos in situ, se tiene la documentación necesaria para generar un módulo de aula virtual en el que se incorporan todos los parámetros de composición de capas de fachada, valor de puentes térmicos, composición y dimensiones de huecos, etc, para así calcular su demanda anual de energía. Se determina un aula tipo con las siguientes dimensiones y que en este caso abarca 2 crujías estructurales con dos huecos cada una:

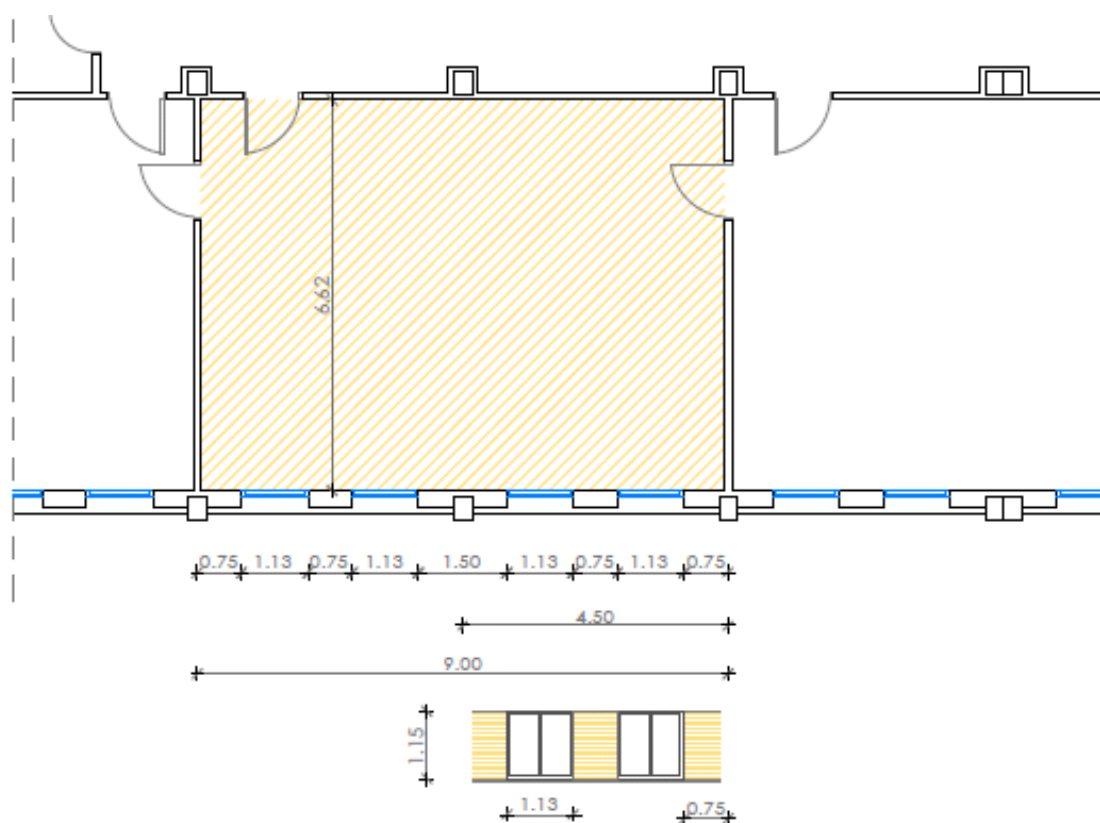


Imagen 43. Dimensiones de un aula tipo del CEIP Pedro Gómez Bosque.



## RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

Se han considerado en la envolvente térmica del módulo del aula los siguientes datos:

| Superficie Habitable (m <sup>2</sup> )        | 59,58                        | Volumen Habitable (m <sup>3</sup> )        | 153,12                                 |
|---|------------------------------|--|--|
| Elemento                                      | Superficie (m <sup>2</sup> ) | U media proy. inicial (W/m <sup>2</sup> K) | U media propuesta (W/m <sup>2</sup> K) |
| Fachadas de espacios habitables <sup>52</sup> | 23,13                        | 0,66 <sup>53</sup>                         | 0,21                                   |
| Huecos del espacio habitable                  | 5,20                         | 5,7  | 2,7                                    |
| Envolvente adiabática del aula <sup>54</sup>  | 176,32                       | -  | -                                      |
| Puentes térmicos (W/mk)                       | Frente de forjado            | Pilares                                    | Dinteles/jambas                        |
| Proyecto inicial                              | 0,94                         | 1,21                                       | 0,94                                   |
| Propuesta                                     | 0,08                         | 0,08                                       | 0,30                                   |

Tabla 18. Síntesis de datos del CEIP Pedro Gómez Bosque introducidos en la simulación.

## DATOS DE LA SIMULACIÓN: CEIP Pedro Gómez Bosque, Grupo A

La calificación de eficiencia energética del edificio se ha realizado de acuerdo a la documentación que se ha recibido antes del inicio de los trabajos, así como de la documentación obtenida de las visitas de verificación y control en el edificio. Según la descripción geométrica y constructiva del espacio de un aula modelo, se trabaja con un único espacio que correspondería con uno de uso docente.

| Nombre  | Planta | Uso                  | Clase higrométrica | Área (m <sup>2</sup> ) | Altura (m) |
|---------|--------|----------------------|--------------------|------------------------|------------|
| P01_E01 | P01    | Intensidad Alta - 8h | 3                  | 59,58                  | 2,57       |

Tabla 19. Síntesis de datos del CEIP Pedro Gómez Bosque introducidos en la simulación.

<sup>52</sup> Superficie de cerramientos exteriores sin deducir huecos.

<sup>53</sup> Como la fachada está formada por un cerramiento ciego de ladrillo cara vista y machones en la banda horizontal de los huecos, se hace una transmitancia promedio teniendo en cuenta la proporción de cada tipo de cerramiento en el total de la fachada.

<sup>54</sup> Superficie adiabática se considera en este modelo de simulación de un módulo de aula como la constituida por tabiques interiores así como el suelo y techo del aula, ya que se considera como premisa la simulación de un aula intermedia en el edificio.

Los cerramientos opacos están compuestos por los siguientes materiales dispuestos con un orden de exterior a interior:

| Nombre  | U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Material   | Espesor<br>(m) |
|---|---------------------------|--|----------------|
| Fachada Proyecto inicial  | 0,58                      | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
|   |                           | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1200 | 0,015          |
|   |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,050          |
|   |                           | Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm  | 0,010          |
|   |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]  | 0,080          |
|   |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Machón entre huecos   | 0,70                      | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1200 | 0,020          |
|   |                           | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
|   |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,040          |
|   |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]  | 0,080          |
|   |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Forjado Tipo (se considera adiabático)  | 2,16                      | Plaqueta o baldosa cerámica  | 0,020          |
|   |                           | Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]                                  | 0,020          |
|   |                           | Con capa de compresión -Canto 300 mm Enlucido de yeso 1000 < d < 1300            | 0,300          |
|   |                           |  | 0,020          |
| Tabique   | 2,50                      | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
|   |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]  | 0,075          |
|   |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Fachada propuesta energética (incluye todo el cerramiento ciego de fachada inicial) | 0,21                      | Tablero de partículas con cemento d < 1200                                       | 0,012          |
|   |                           | Cámara de aire ligeramente ventilada vertical                                    | 0,020          |
|   |                           | XPS poliestireno extruido con dióxido de carbono                                 | 0,100          |
|   |                           | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
|   |                           | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1200 | 0,015          |
|   |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,050          |
|   |                           | Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm  | 0,010          |
|   |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]  | 0,080          |
| Enlucido de yeso 1000 < d < 1300  | 0,020                     |  |                |

Tabla 20. Síntesis de datos de la envolvente del CEIP Pedro Gómez Bosque introducidos en la simulación.

| NOMBRE  | Ventana corredera originaria de proyecto <sup>55</sup> |
|---|--|
| Acrilamiento  | VER_M_4  |
| Marco   | VER_Normal sin rotura de puente térmico                |
| % Hueco   | 13,30  |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 100  |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 5,70   |
| Factor solar  | 0,85   |

Tabla 21. Síntesis de datos de las ventanas originales introducidos en la simulación.

| NOMBRE  | Ventana doble vidrio <sup>56</sup>        |
|---|---|
| Acrilamiento  | VER_DC_4-15-331                           |
| Marco   | VER_Metálico con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 13,30                                     |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                     |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 2,7                                       |
| Factor solar  | 0,75                                      |

Tabla 22. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de doble vidrio introducidos en la simulación.

| NOMBRE  | Ventana bajo emisiva <sup>57</sup>        |
|---|---|
| Acrilamiento  | VER_DB1_4-15-331                          |
| Marco   | VER_Metálico con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 13,30                                     |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                     |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 1,8                                       |
| Factor solar  | 0,70                                      |

Tabla 23. Datos de las nuevas ventanas propuestas de vidrio bajo emisivo introducidos en la simulación.

<sup>55</sup> La nomenclatura empleada para identificar los vidrios es: Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: M.- monolíticos; Composición para los monolíticos: 4.- hoja de 4mm;

<sup>56</sup> Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: DC.- doble vidrio; Composición para los dobles (LAMINAR): x-y-z.- hoja exterior de "x"mm, cámara de "y"mm y hoja interior de "z" mm;

<sup>57</sup> Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: DB1.- doble bajo emisivo de 0,1 a 0,2; Composición para los dobles (LAMINAR): x-y-z.- hoja exterior de "x"mm, cámara de "y"mm y hoja interior de "z" mm;



Documentación fotográfica del CEIP Pedro Gómez Bosque. (Autora).

Imagen 44. Arriba a la izquierda, fachada de acceso.

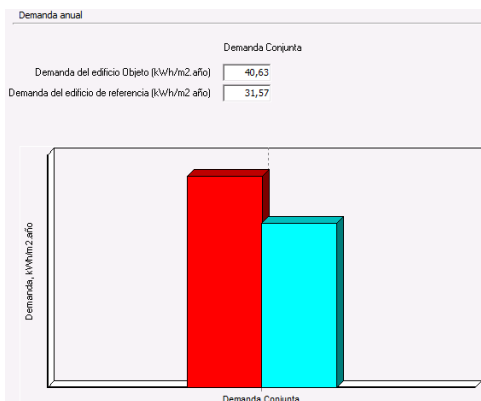
Imagen 45. Arriba a la derecha, separación de la estructura del plano de cerramiento.

Imagen 46. Abajo izquierda, módulo de un aula como el estudiado formado por dos módulos estructurales.

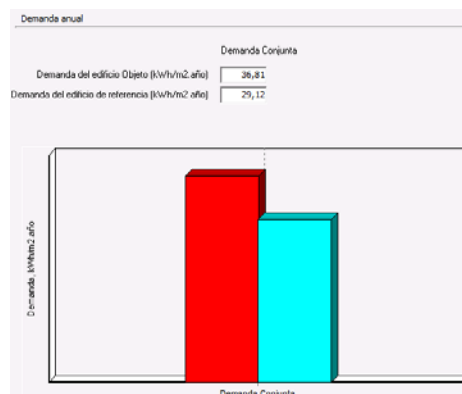
Imagen 47. Abajo derecha, tipo de ventanas, alfeizar pasante, proporciones de espesores.

### 6.1.3. RESULTADOS: CEIP Pedro Gómez Bosque, grupo A

#### Proyecto inicial NOROESTE

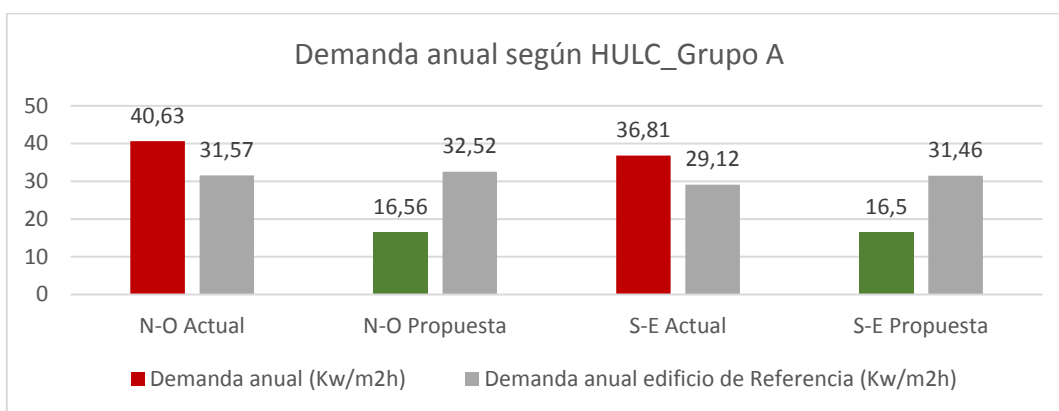
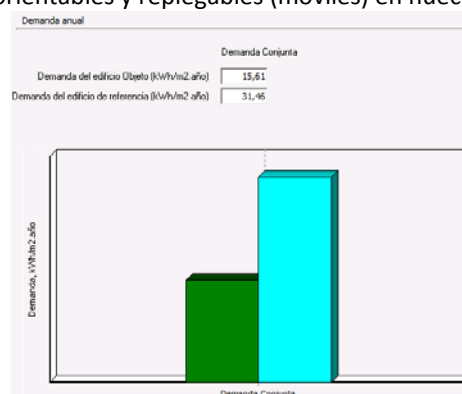
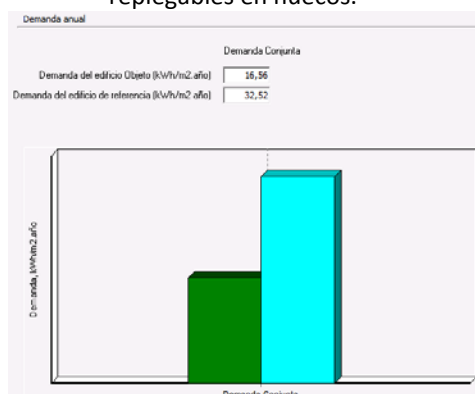


#### Proyecto inicial SURESTE



**PROPUESTA NOROESTE\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas de doble vidrio y lamas verticales, orientables y replegables en huecos.<sup>58</sup>

**PROPUESTA SURESTE\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales, orientables y replegables (móviles) en huecos.



Gráfica 10. Demanda anual (calefacción + refrigeración) del grupo A. Comparativa. (Autora)

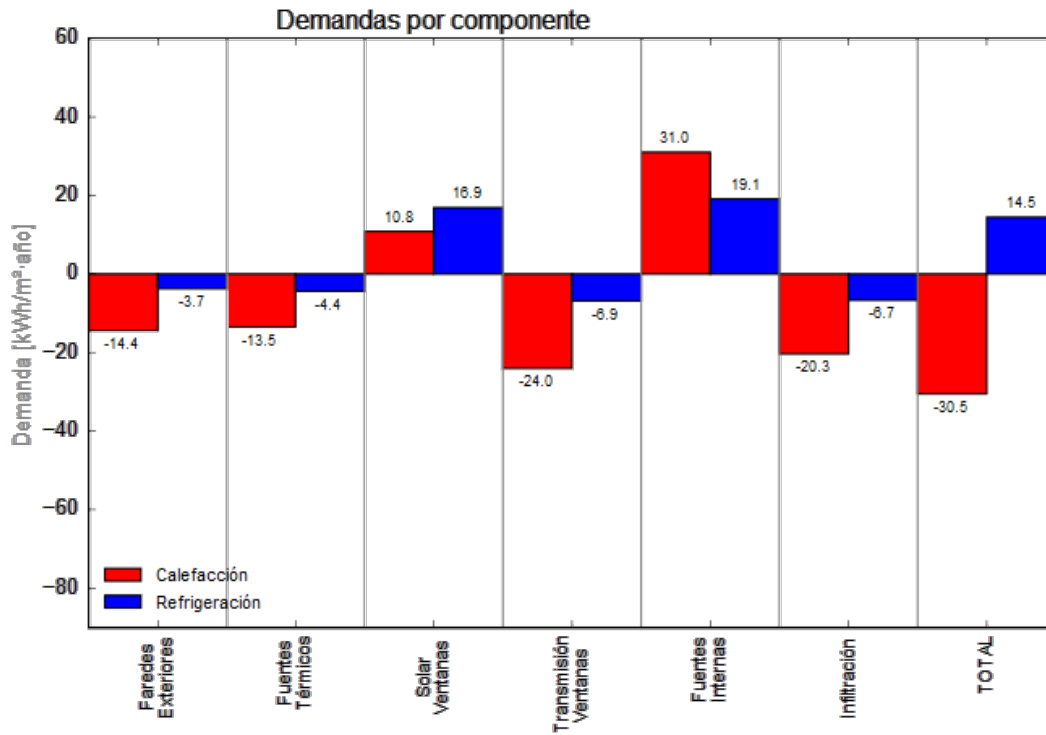
<sup>58</sup> Al igual que en el estudio desarrollado del IES Leopoldo Cano, se consideran lamas de 10 cm de ancho separadas 10 cm, con las mismas condiciones en cuanto al ángulo de incidencia del sol. Se siguen de la misma forma los parámetros de factor de sombra propuestos por el CTE DB HE 1 en la tabla 14 y 15.

Al igual que en los resultados de las propuestas del IES Leopoldo Cano, se observa que aumenta la demanda anual del edificio de referencia en la propuesta, con respecto de la demanda anual del edificio de referencia del estado actual. Esto es debido a que el programa considera que la disposición de lamas reduce la luz del interior de las aulas y es necesaria más energía lumínica a través de luminarias.

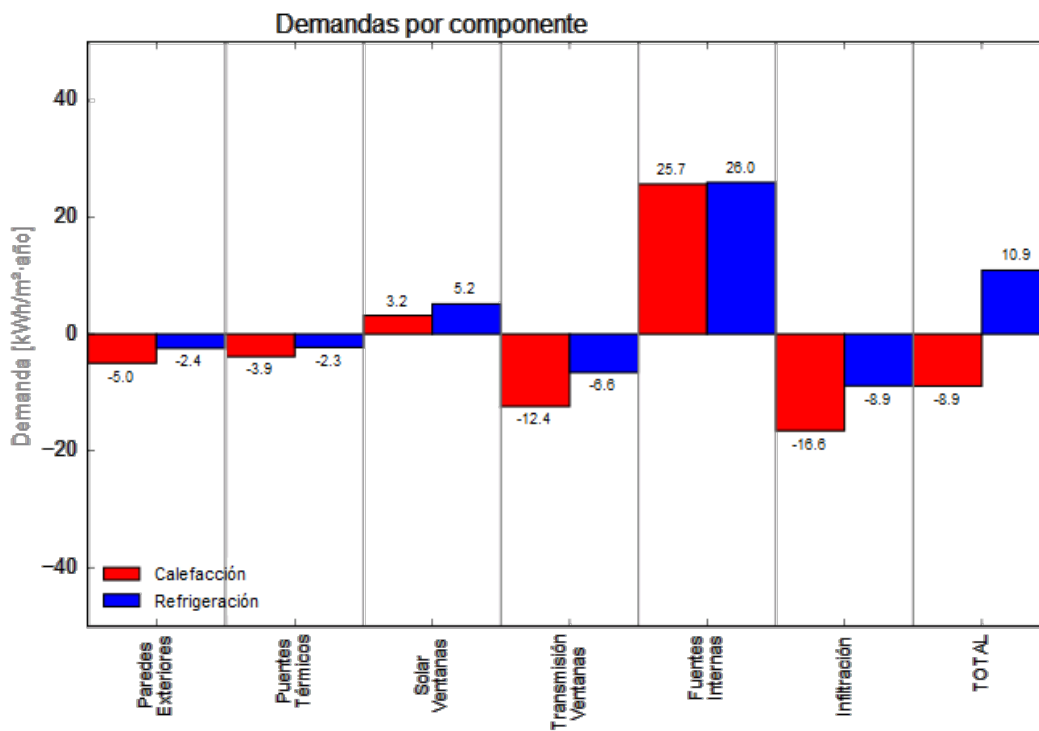
Las propuestas tanto al noroeste como al sureste consiguen reducir visiblemente la demanda energética en un 55% y un 58% respectivamente.

### 6.1.4. PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y PUNTOS DÉBILES DE FACHADA\_Grupo A

DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado actual\_ NOROESTE

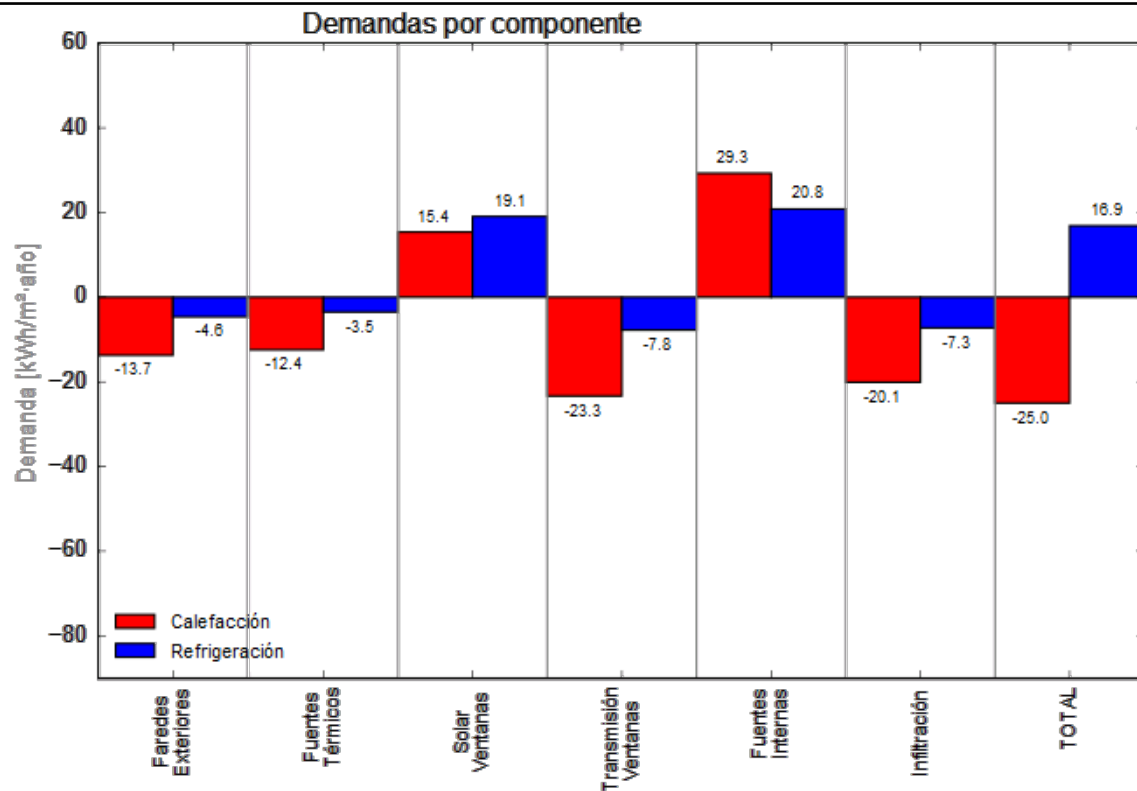


DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ NOROESTE

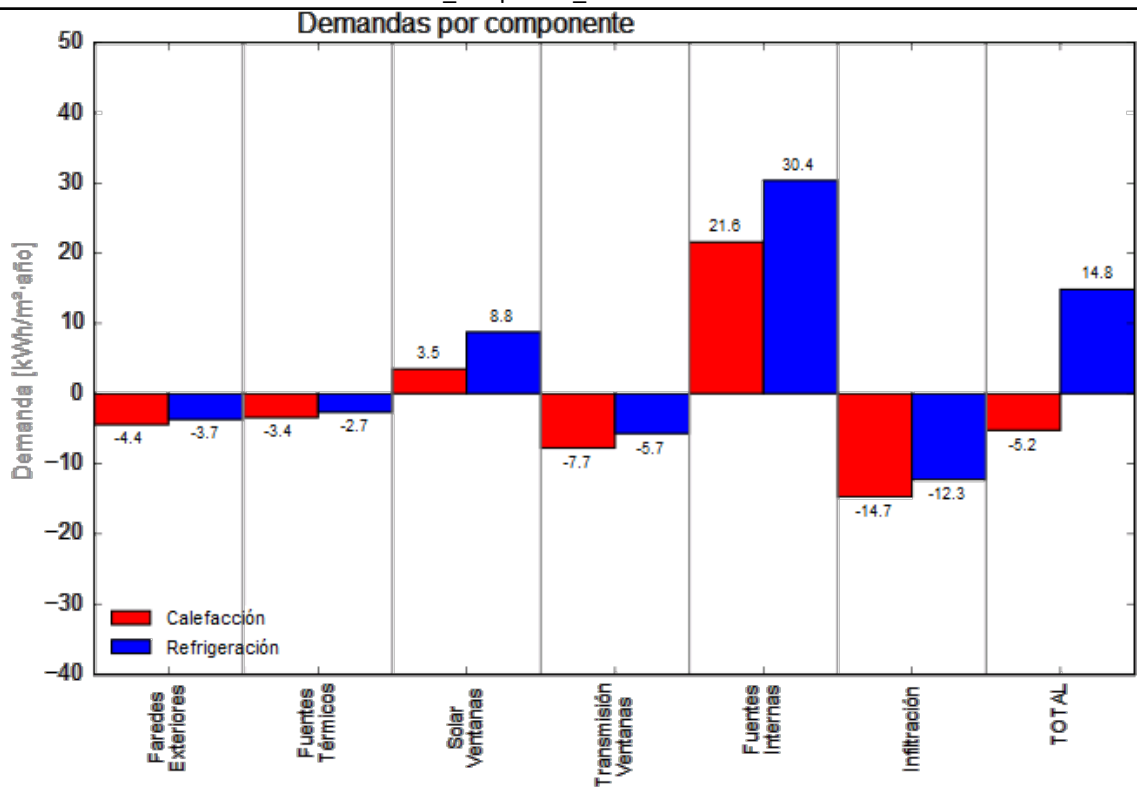


Gráficas realizadas mediante el programa informático Visol.

DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado actual\_ SURESTE

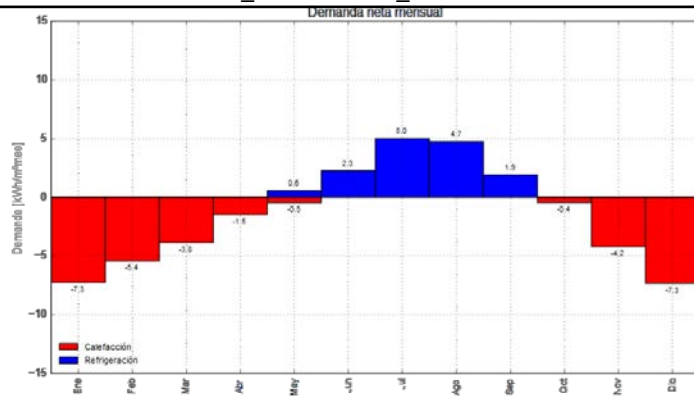


DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ SURESTE

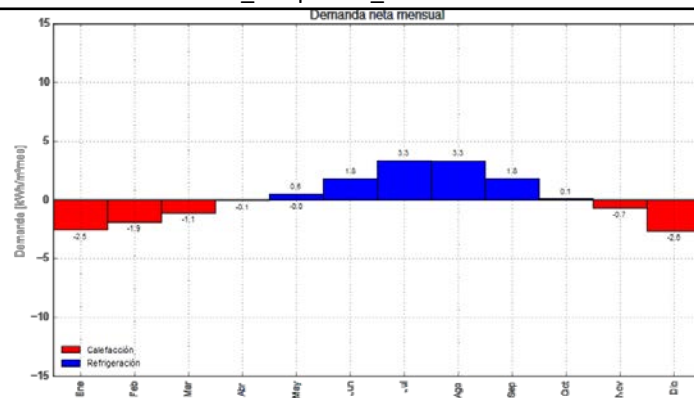




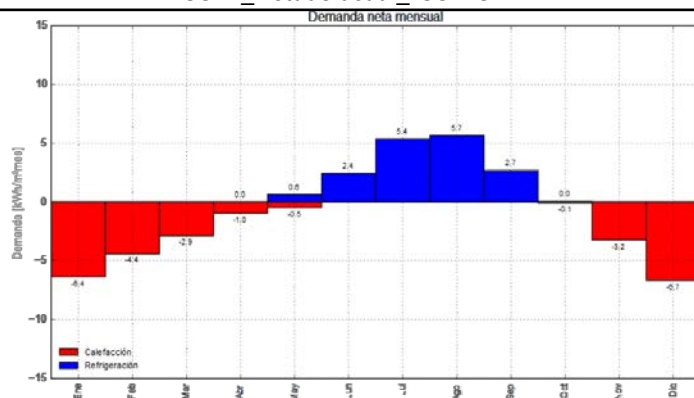
DEMANDA MENSUAL\_ Estado actual\_ NOROESTE



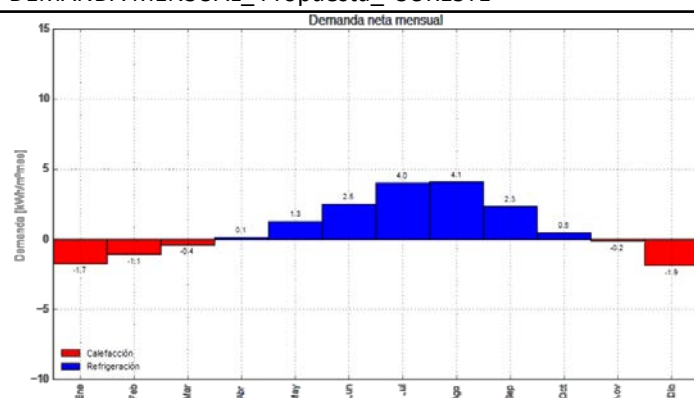
DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ NOROESTE



DEMANDA MENSUAL\_ Estado actual\_ SURESTE



DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ SURESTE





## 6.2. GRUPO B

|                            |
|----------------------------|
| CEIP Alonso Berruguete     |
| CEIP Pablo Picasso         |
| CEIP Federico García Lorca |

### 6.2.1. ELECCIÓN DE UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DEL GRUPO

De nuevo ocurre que los tres edificios atienden al mismo proyecto tipo, por lo que son idénticos formalmente. Repetidamente, la planta sigue una distribución unidireccional generando dos fachadas longitudinales contrapuestas. Éstas son las fachadas principales y modelo representativo de esta agrupación de edificios.



Imagen 48. Alzado suroeste del CEIP Alonso Berruguete. Módulo de fachada a estudiar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 785, carpeta 3.

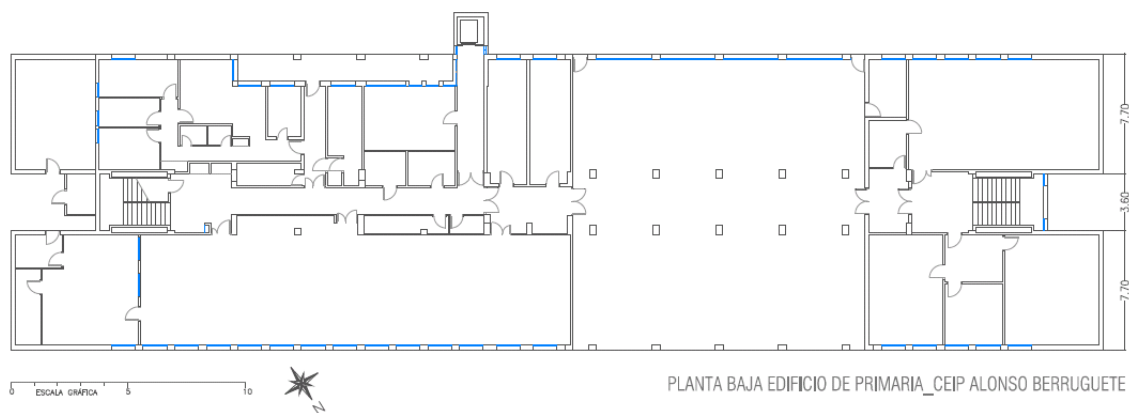


Imagen 49. Planta baja CEIP Alonso Berruguete. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 78/28, carpeta 2.

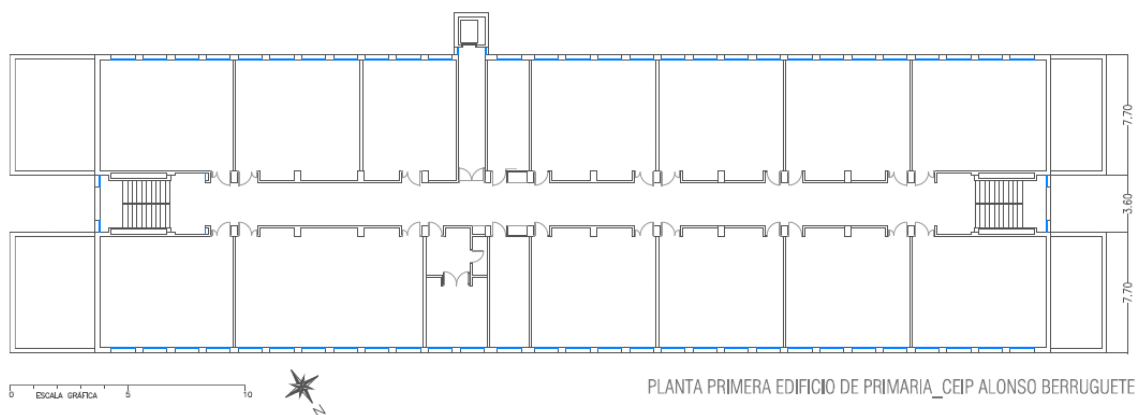


Imagen 50. Planta baja CEIP Alonso Berruguete. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 78/28, carpeta 2.

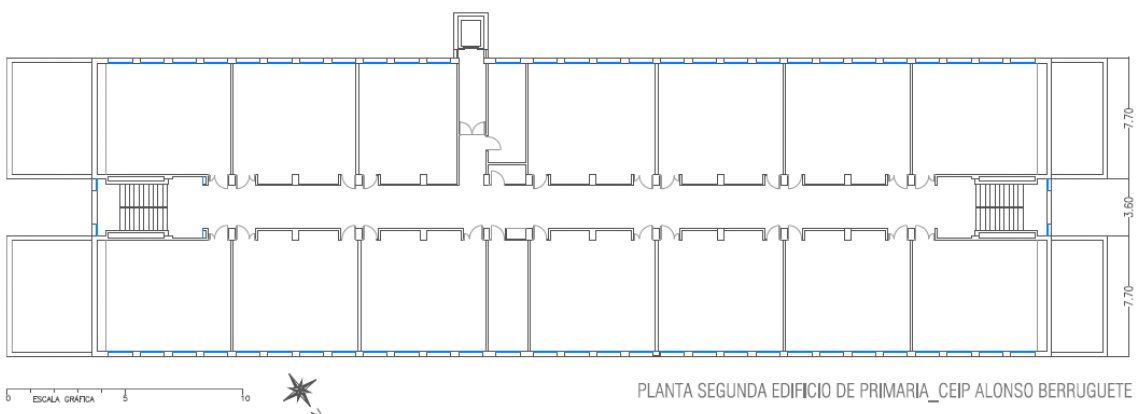
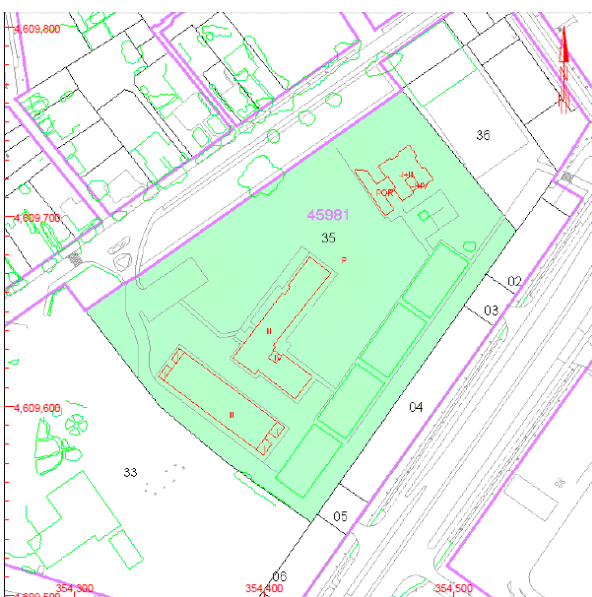


Imagen 51. Planta baja CEIP Alonso Berruguete. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 78/28, carpeta 2.



El edificio<sup>59</sup> de primaria del CEIP Alonso Berruguete se emplaza en la parcela orientando sus fachadas longitudinales hacia el Noreste y el Suroeste como se observa en la *imagen 52*; estas serán las orientaciones reales con las que se hará la simulación energética del aula tipo para estas dos situaciones.

Imagen 52. Planta de situación CEIP Alonso Berruguete. Imagen de ficha catastral.

<sup>59</sup> Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 78/28, carpeta 2. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 86/18, carpeta 1.

La fachada es de fábrica de ladrillo vista, compuesta por una hoja exterior y otra interior y cámara de aire. El aislamiento es nuevamente paneles de fibra de vidrio de 60 mm.

Esta vez, la estructura no es vista en el exterior, por lo que está revestida con aplacado cerámico para generar una imagen uniforme. Los machones entre huecos son también de ladrillo cara vista, sin retranquearse respecto del paramento del que arrancan. La piel<sup>60</sup> del edificio pretende que no se reconozca la posición de la estructura, haciendo que la imagen de pilares y machones al exterior sean la misma. Cada pórtico da cabida a dos huecos de ventanas.



Imagen 53 y 54. Documentación fotográfica de las obras iniciales del edificio CEIP Alonso Berruguete. Archivo Histórico Provincial de Valladolid. Sección Educación. Caja 785, carpeta 4.

<sup>60</sup> La composición constructiva de la fachada es conocida a través de la documentación escrita de la memoria de mediciones y presupuestos del proyecto inicial. Fuente: Archivo Histórico Provincial de Valladolid. Sección Educación. Caja 78/28, carpeta 1,2,3.

| Número unidades                                | DESIGNACION DE LAS OBRAS Y CLASE DE FABRICA   | de la Unidad<br>Prestos |
|--|---|-------------------------|
| <u>CAPITULO III - CERRAMIENTO DE FACHADAS.</u> |   |                         |
| 1.347,43                                       | M2. Fábrica de ladrillo macizo ½ pié tipo "Rojo Palencia" una cara vista enfoscado interiormente en cerramiento fachadas con junta enrasada y mortero de cal y cemento incluso parte proporcional de mochetas y aplacado en forjados, cargaderos etc. | 1.179,20                |
| 189,72   | M1. Machón ladrillo macizo indem. anterior tres caras vistas de 50x12 cm.   | 825,95                  |
| 18,36  | M1. Machón idem. anterior de 0,90x0,12.   | 1.164,38                |
| 77,05  | M1. Revestimiento de pilarm mediante fábrica de ladrillo idem. anterior cuatro caras vistas de 50x37,5 cm.  | 1.742,01                |
| 1.031,59                                       | M2. Tabicón de ladrillo hueco doble recibido con mortero de cemento, incluso tablero de peanas y remates de machones.   | 396,03                  |
| 1.160,11                                       | M2. Aislamiento de fachadas con panel "PV" de fibras de vidrio de 60 mm. de espesor colocado.   | 141,40                  |
| 14,67  | M2. Aislamiento térmico de fusión de polvo vitreo tipo "Polidros" de 20 mm. de espesor en ventanas de aseos.  | 199,50                  |
| 36,40  | M2. Fábrica de ladrillo macizo 1 pié tipo "Rojo Palencia" dos caras vistas con junta enrasada y mortero de cal y cemento incluso mochetas en tendadero.   | 2.141,07                |
| 264,66   | M1. Vierteaguas de ventanas con zócalo y de semi-grés tipo "cedolesa" colocado.   | 300,00                  |
| 18,20  | M1. Albardilla idem anterior.   | 373,10                  |
| 250,06   | M1. Cargadero huecos fachada mediante angular de 50x50x5 mm. y vigueta cerámica colocada.   | 359,35                  |
| 86,80  | M1. Cargadero formado por dos ángulos de 50x50x5 mm. en fachada y porche.   | 435,26                  |
| 23,60  | M1. Sellado juntas de dilatación en fachadas.   | 141,40                  |

Imagen 55. Memoria de cerramiento de fachada del proyecto del CEIP Alonso Berruguete. Archivo Histórico Provincial de Valladolid. Sección Educación. Caja 78/28, carpeta 2.



## 6.2.2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA \_ Grupo B

Tras la recopilación y análisis de la documentación recabada, se genera la simulación de un aula tipo de estos edificios para así determinar la demanda energética anual sólo teniendo en cuenta la incidencia de la fachada.

Se determina un aula tipo con las siguientes dimensiones y que en este caso abarca 2 crujeías estructurales cada una con dos huecos en fachada:

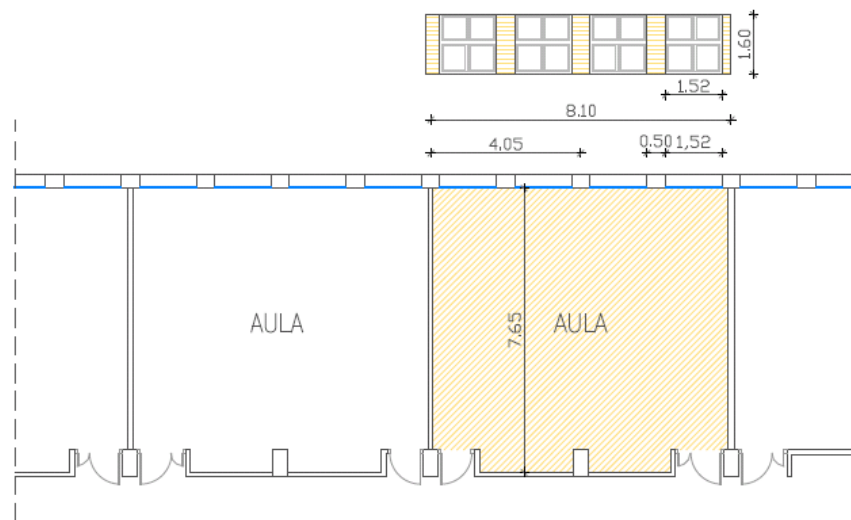


Imagen 56. Dimensiones de un aula tipo y módulo de fachada a estudiar del CEIP Alonso Berruguete.

### RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

| Superficie Habitable (m <sup>2</sup> )        | 61,97                        | Volumen Habitable (m <sup>3</sup> )        | 210,68                                 |
|---|------------------------------|--|--|
| Elemento                                      | Superficie (m <sup>2</sup> ) | U media proy. inicial (W/m <sup>2</sup> K) | U media propuesta (W/m <sup>2</sup> K) |
| Fachadas de espacios habitables <sup>61</sup> | 27,54                        | 0,58                                       | 0,21                                   |
| Huecos del espacio habitable                  | 9,73                         | 5,7  | 2,7 o 1,8                              |
| Envolvente adiabática del aula <sup>62</sup>  | 203,49                       | -  | -                                      |

Tabla 24. Datos de la envolvente térmica del módulo del aula introducidos en la simulación.

<sup>61</sup> Superficie de cerramientos exteriores sin deducir huecos.

<sup>62</sup> Superficie adiabática se considera en este modelo de simulación de un módulo de aula como la constituida por tabiques interiores así como el suelo y techo del aula, ya que se considera como premisa la simulación de un aula intermedia en el edificio.

| <b>Puentes térmicos (W/mk)</b> | <b>Frente de forjado</b> | <b>Pilares</b> | <b>Dinteles/jambas</b> |
|--------------------------------|--------------------------|----------------|------------------------|
| <b>Proyecto inicial</b>        | 0,94                     | 1,22           | 0,82                   |
| <b>Propuesta</b>               | 0,08                     | 0,00           | 0,04                   |

Tabla 25. Datos introducidos en la simulación.

#### DATOS DE LA SIMULACIÓN: CEIP Alonso Berruguete, Grupo B

---

La calificación de eficiencia energética del edificio se ha realizado de acuerdo a la documentación que se ha recibido antes del inicio de los trabajos, así como de la documentación obtenida de las visitas de verificación y control en el edificio. Según la descripción geométrica y constructiva del espacio de un aula modelo, se trabaja con un único espacio que correspondería con uno de uso docente.

| <b>Nombre</b> | <b>Planta</b> | <b>Uso</b>           | <b>Clase higrométrica</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Altura (m)</b> |
|---------------|---------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| P01_E01       | P01           | Intensidad Alta - 8h | 3                         | 61,97                       | 3,40              |

Tabla 26. Datos introducidos en la simulación.

Los cerramientos opacos están compuestos por los siguientes materiales dispuestos con un orden de exterior a interior cuyas dimensiones se han determinado mediante mediciones en las visitas de campo:



| Nombre                                 | U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Material   | Espesor<br>(m) |
|--|---------------------------|--|----------------|
| Fachada Proyecto inicial               | 0,58                      | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
|  |                           | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1200 | 0,015          |
|  |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,060          |
|  |                           | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Forjado Tipo (se considera adiabático) | 2,16                      | Plaqueta o baldosa cerámica  | 0,020          |
|  |                           | Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]                                  | 0,020          |
|  |                           | Con capa de compresión -Canto 300 mm   | 0,300          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Tabique                                | 2,50                      | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
|  |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]  | 0,075          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Fachada propuesta energética           | 0,21                      | Tablero de partículas con cemento d < 1200                                       | 0,012          |
|  |                           | Cámara de aire ligeramente ventilada vertical                                    | 0,020          |
|  |                           | XPS poliestireno extruido con dióxido de carbono                                 | 0,100          |
|  |                           | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
|  |                           | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1200 | 0,015          |
|  |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,060          |
|  |                           | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                                   | 0,115          |
| Enlucido de yeso 1000 < d < 1300       | 0,020                     |  |                |

Tabla 27. Datos introducidos en la simulación del CEIP Alonso Berruguete.

| <b>NOMBRE</b>   | Ventana corredera originaria de proyecto <sup>63</sup> |
|---|--|
| Acrisolamiento  | VER_M_4  |
| Marco   | VER_Normal sin rotura de puente térmico                |
| % Hueco   | 29,50  |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 50,00  |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 5,70   |
| Factor solar  | 0,85   |

Tabla 28. Síntesis de datos de las ventanas originales introducidos en la simulación.

| <b>NOMBRE</b>   | Ventana doble vidrio <sup>64</sup>        |
|---|---|
| Acrisolamiento  | VER_DC_4-15-331                           |
| Marco   | VER_Metálico con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 29,50                                     |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                     |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 2,7                                       |
| Factor solar  | 0,75                                      |

Tabla 29. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de doble vidrio introducidos en la simulación.

| <b>NOMBRE</b>   | Ventana bajo emisiva <sup>65</sup>        |
|---|---|
| Acrisolamiento  | VER_DB1_4-15-331                          |
| Marco   | VER_Metálico con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 29,50                                     |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                     |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 1,8                                       |
| Factor solar  | 0,70                                      |

Tabla 30. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de vidrios bajo emisivos introducidos en la simulación.

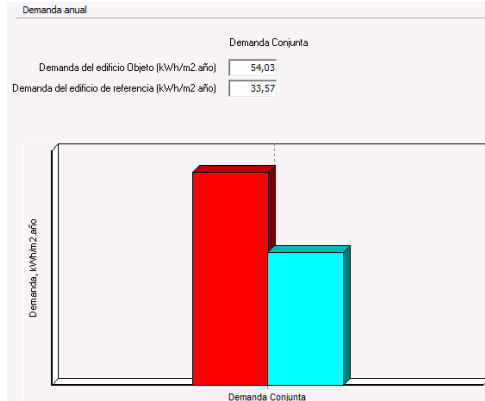
<sup>63</sup> La nomenclatura empleada para identificar los vidrios es: Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: M.- monolíticos; Composición para los monolíticos: 4.- hoja de 4mm;

<sup>64</sup> Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: DC.- doble vidrio; Composición para los dobles (LAMINAR): x-y-z.- hoja exterior de "x"mm, cámara de "y"mm y hoja interior de "z" mm;

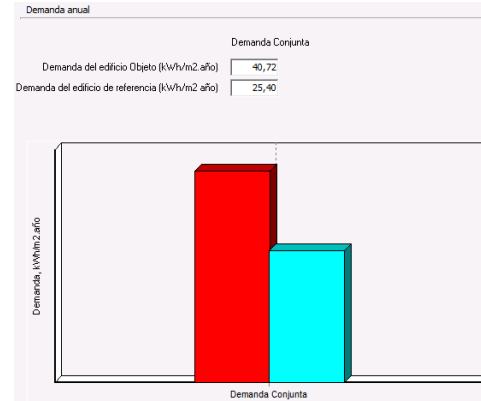
<sup>65</sup> Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: DB1.- doble bajo emisivo de 0,1 a 0,2; Composición para los dobles (LAMINAR): x-y-z.- hoja exterior de "x"mm, cámara de "y"mm y hoja interior de "z" mm;

### 6.2.3. RESULTADOS CEIP Alonso Berruete, grupo B

#### Proyecto inicial NORESTE

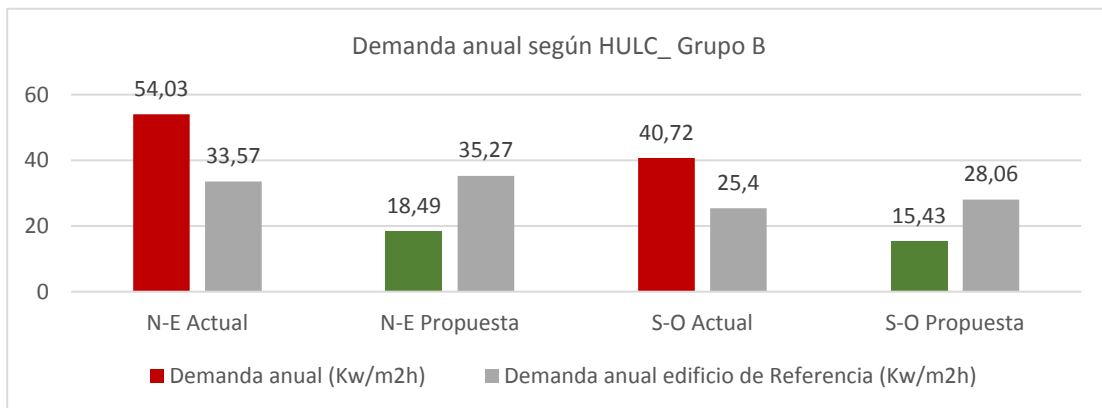
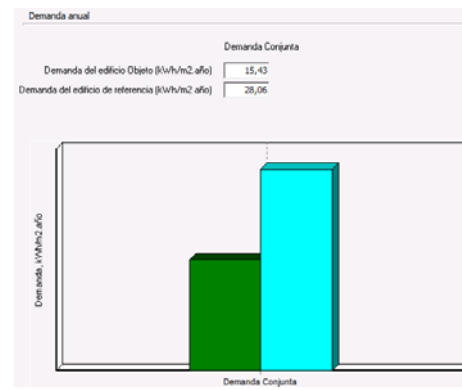
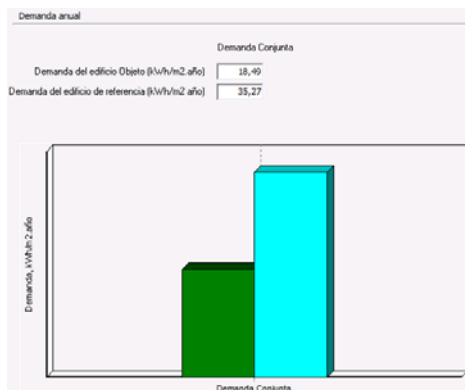


#### Proyecto inicial SUROESTE



**PROPUESTA NORESTE\_** Incremento del material aislante en fachada, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales, orientables y replegables en huecos.<sup>66</sup>

**PROPUESTA SUROESTE\_** Incremento del material aislante en fachada, sustitución ventanas por unas de doble vidrio y lamas verticales, orientables y replegables en huecos.

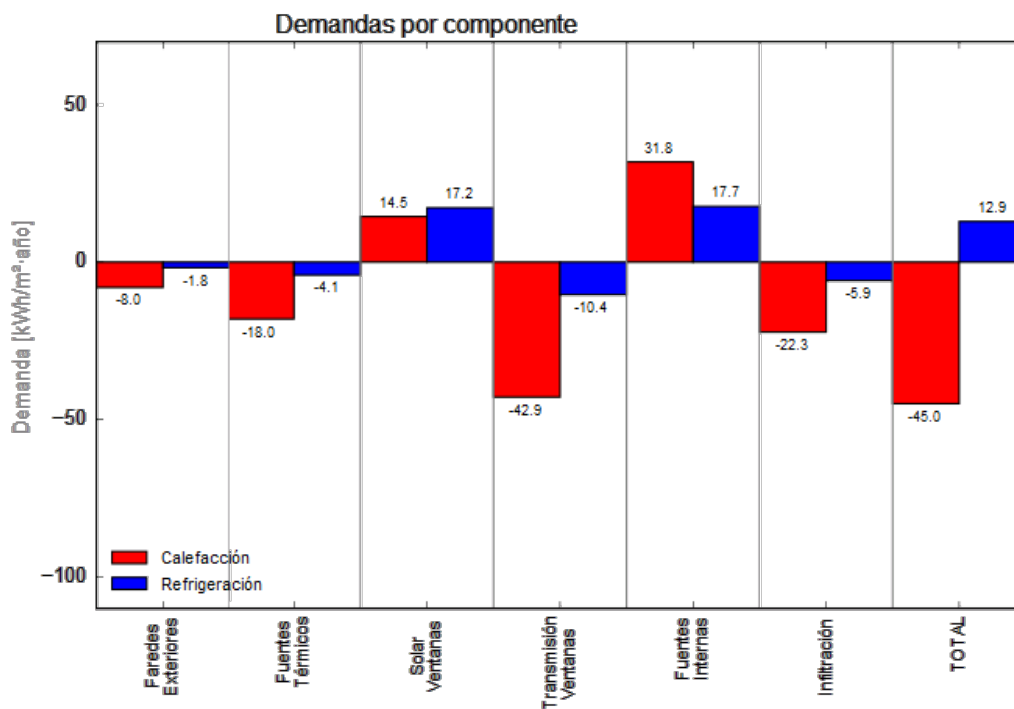


Gráfica 11. Demanda anual (calefacción + refrigeración) grupo B. (Autora).

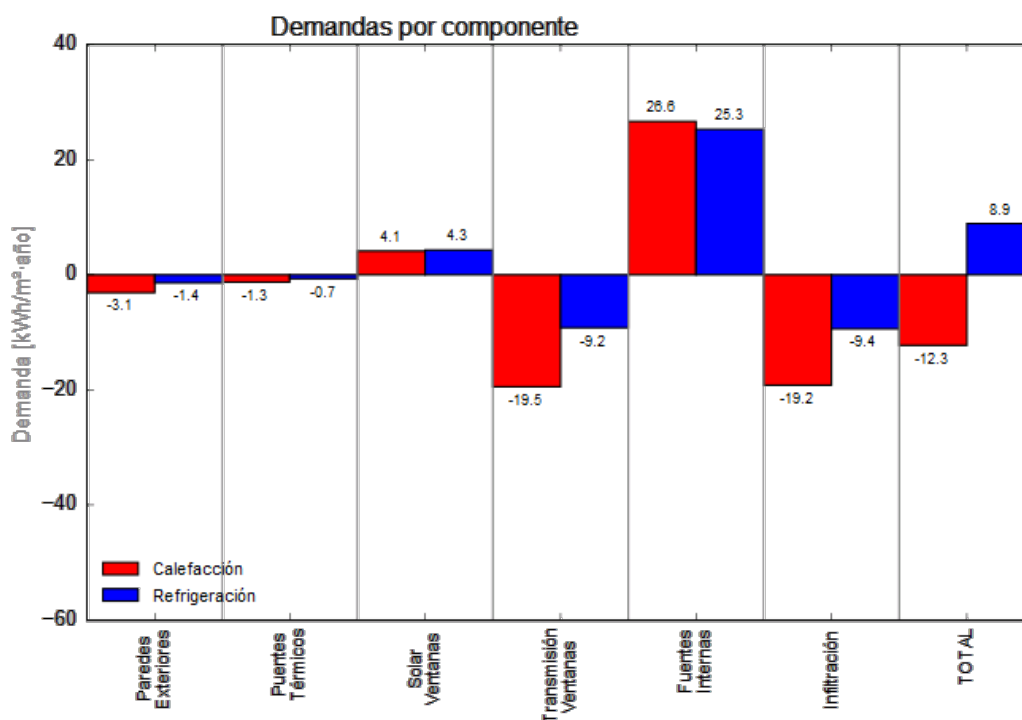
<sup>66</sup> Al igual que en el estudio desarrollado del IES Leopoldo Cano, se consideran lamas de 10 cm de ancho separadas 10 cm, con las mismas condiciones en cuanto al ángulo de incidencia del sol. Se siguen de la misma forma los parámetros de factor de sombra propuestos por el CTE DB HE 1 en la tabla 14 y 15.

## 6.2.4. PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y PUNTOS DÉBILES DE FACHADA

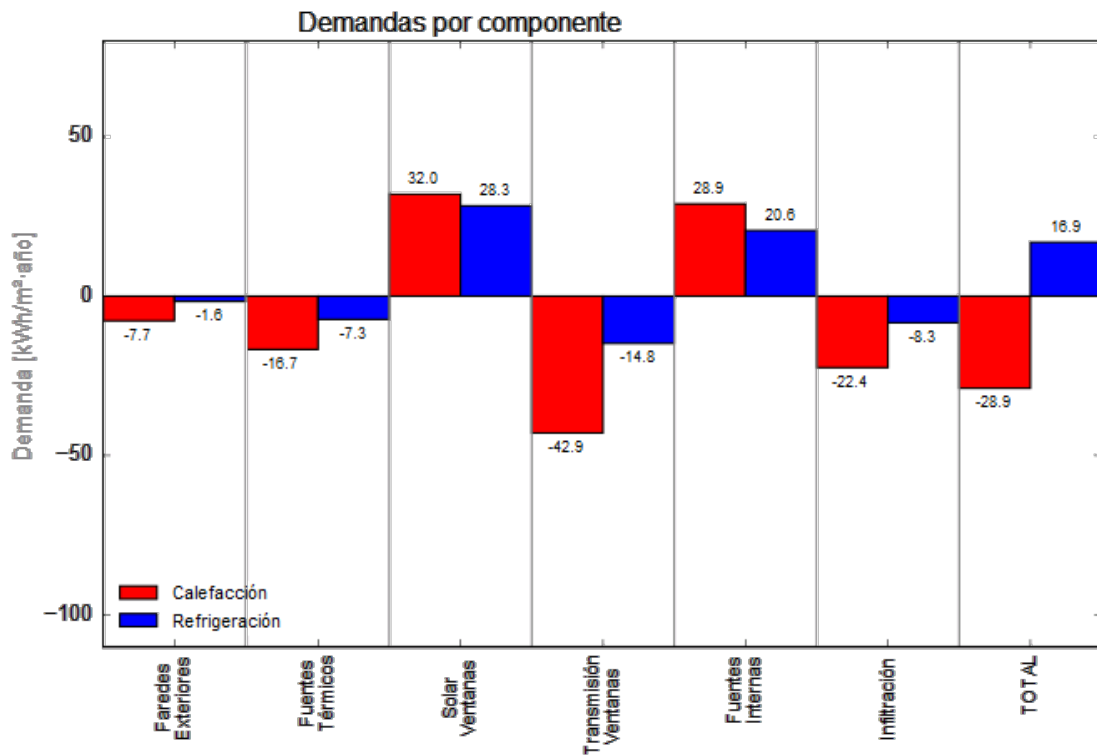
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado actual\_ NORESTE



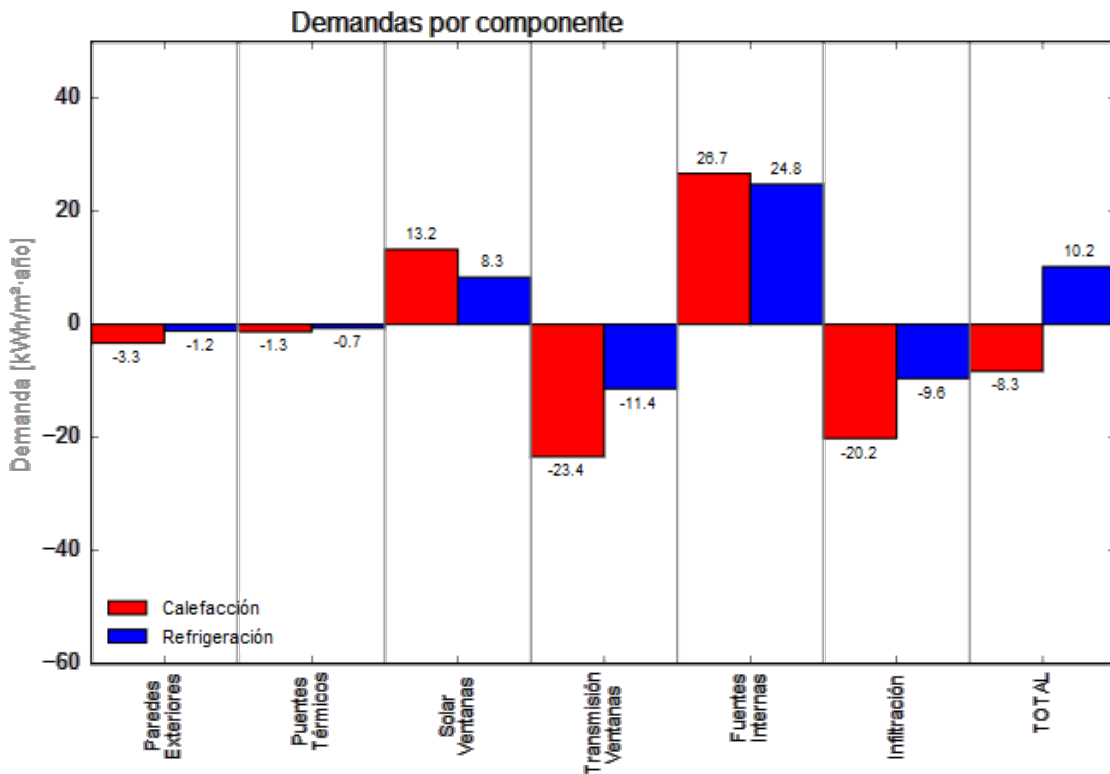
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ NORESTE



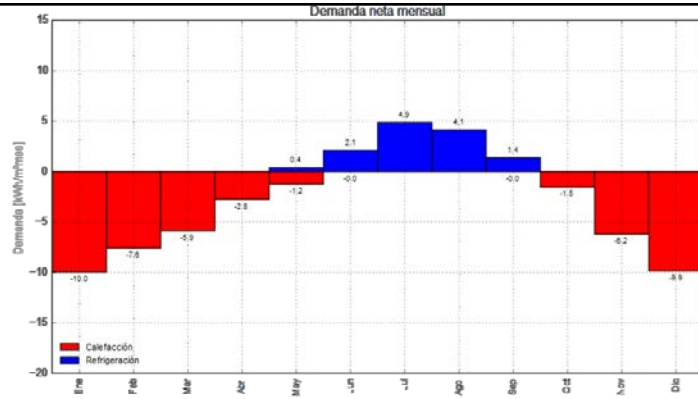
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado actual\_ SUROESTE



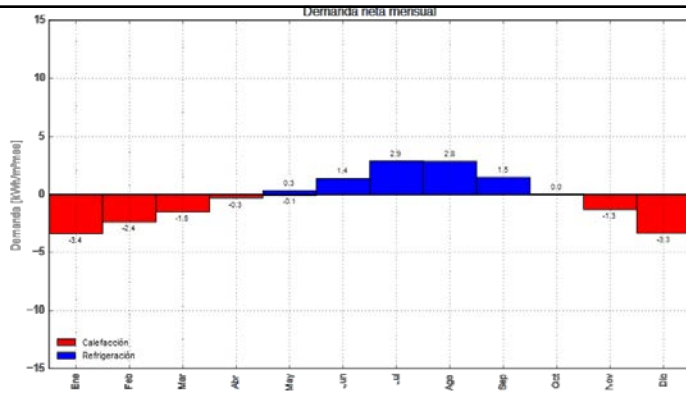
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ SUROESTE



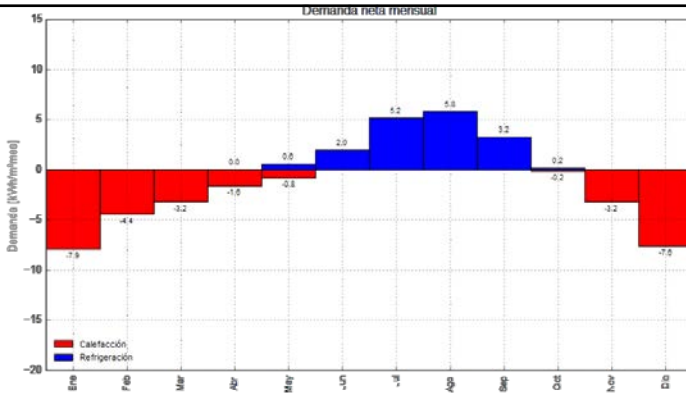
DEMANDA MENSUAL\_ Estado actual\_ NORESTE



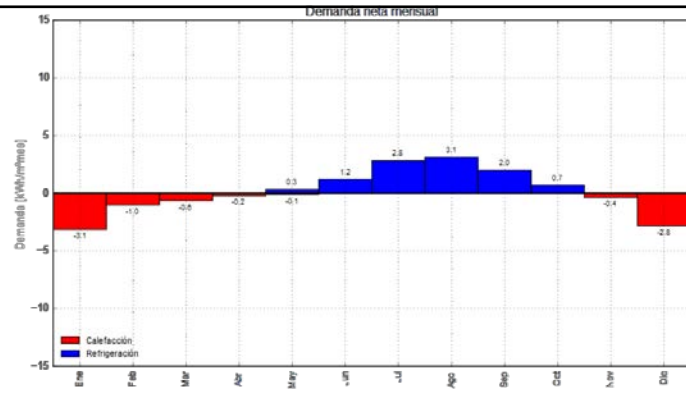
DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ NORESTE



DEMANDA MENSUAL\_ Estado actual\_ SUROESTE



DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ SUROESTE



## 6.3. GRUPO C

|   |
|---|
| <b>CEIP Francisco Giner de los Ríos</b> |
| <b>CEIP Gonzalo de Berceo</b>           |
| <b>CEIP León Felipe</b>                 |
| <b>CEIP Miguel Hernández</b>            |
| <b>IES Antonio Tovar</b>                |

### 6.3.1. ELECCIÓN DE UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DEL GRUPO

---

Se va a elegir como modelo representativo el edificio del IES Antonio Tovar, porque se dispone de mayor cantidad de documentación gráfica y escrita. Si bien, los cinco edificios son formalmente iguales, con mismo desarrollo en planta e igual ejecución de fachada. En consecuencia, la información encontrada sobre cualquiera de estos edificios sirve, en términos generales de proyecto, para todos. Corresponden a proyectos de edificio tipo II<sup>67</sup>, con programa para 24 aulas docentes.

---

<sup>67</sup> Plano de detalles constructivos de IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 823, carpeta 4.

Documentación gráfica de plantas y alzados a partir de información obtenida en el Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 81/25.

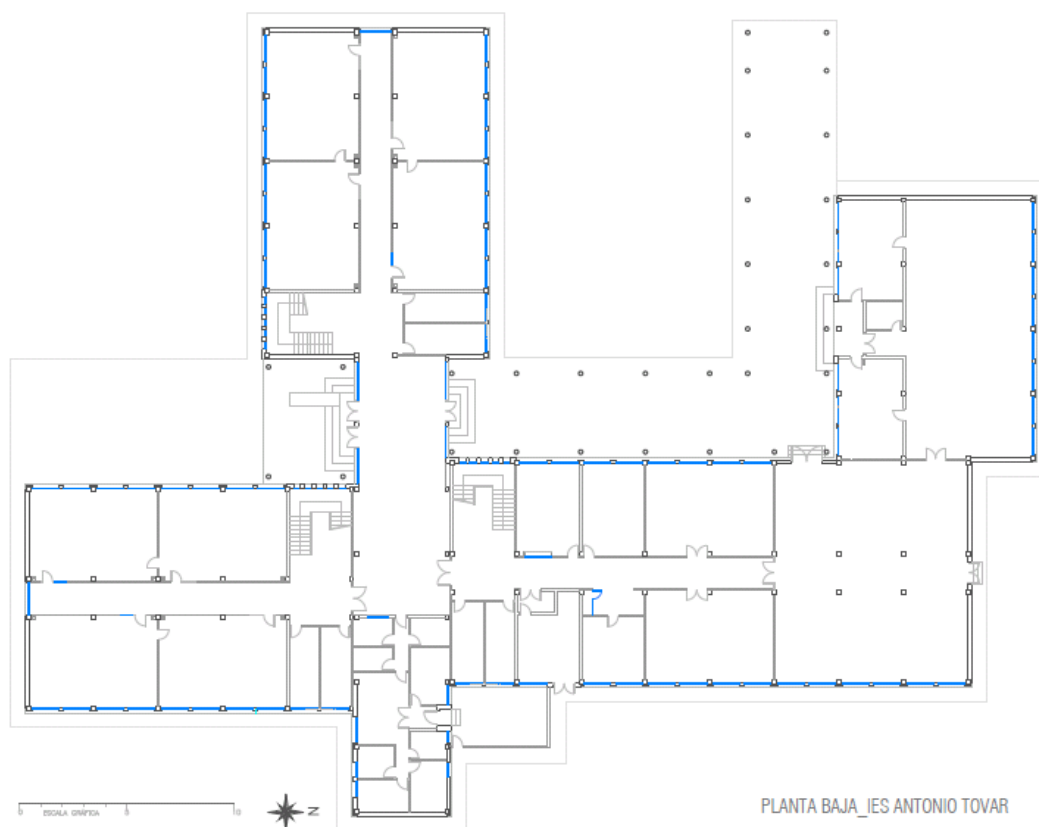


Imagen 57. Planta baja del IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 81/25.

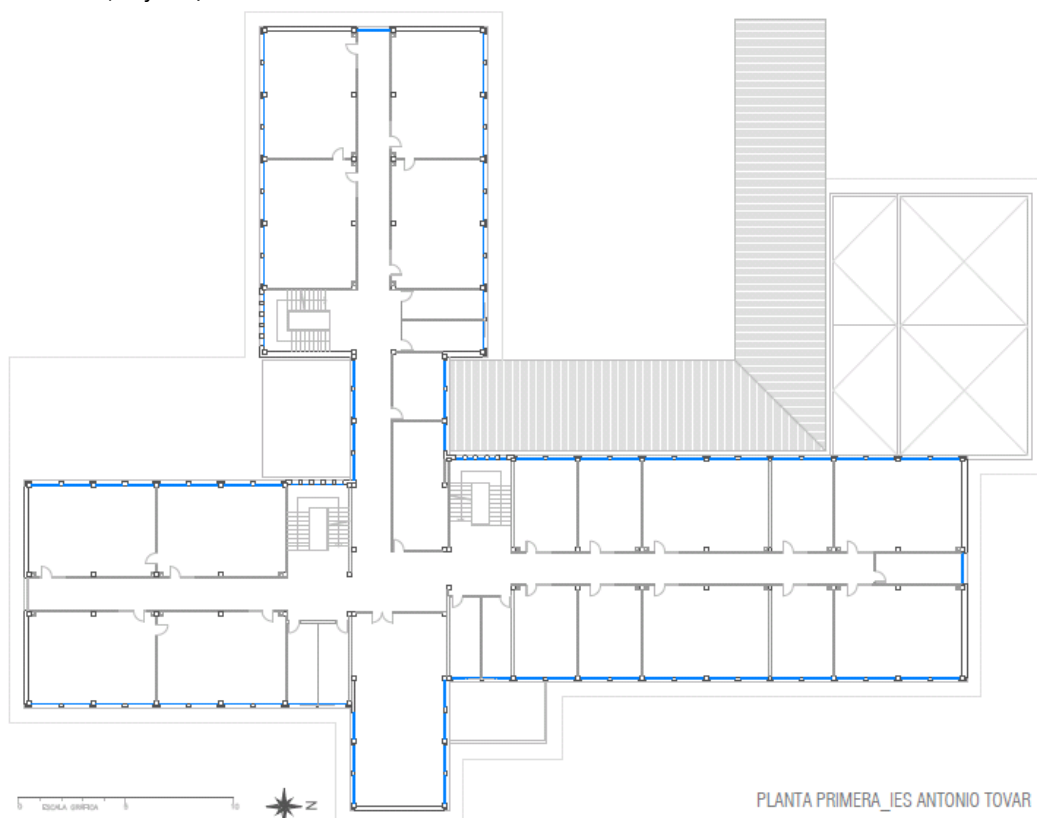


Imagen 58. Planta primera del IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 81/25.



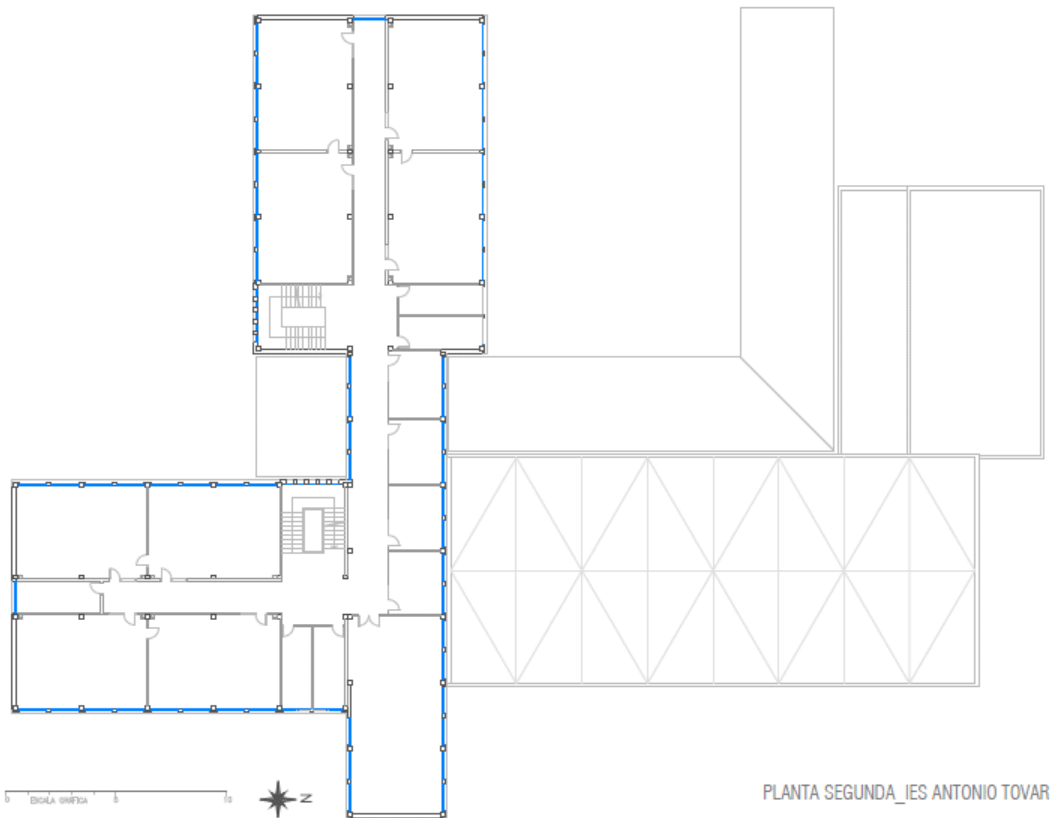


Imagen 59. Planta segunda del IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 81/25.

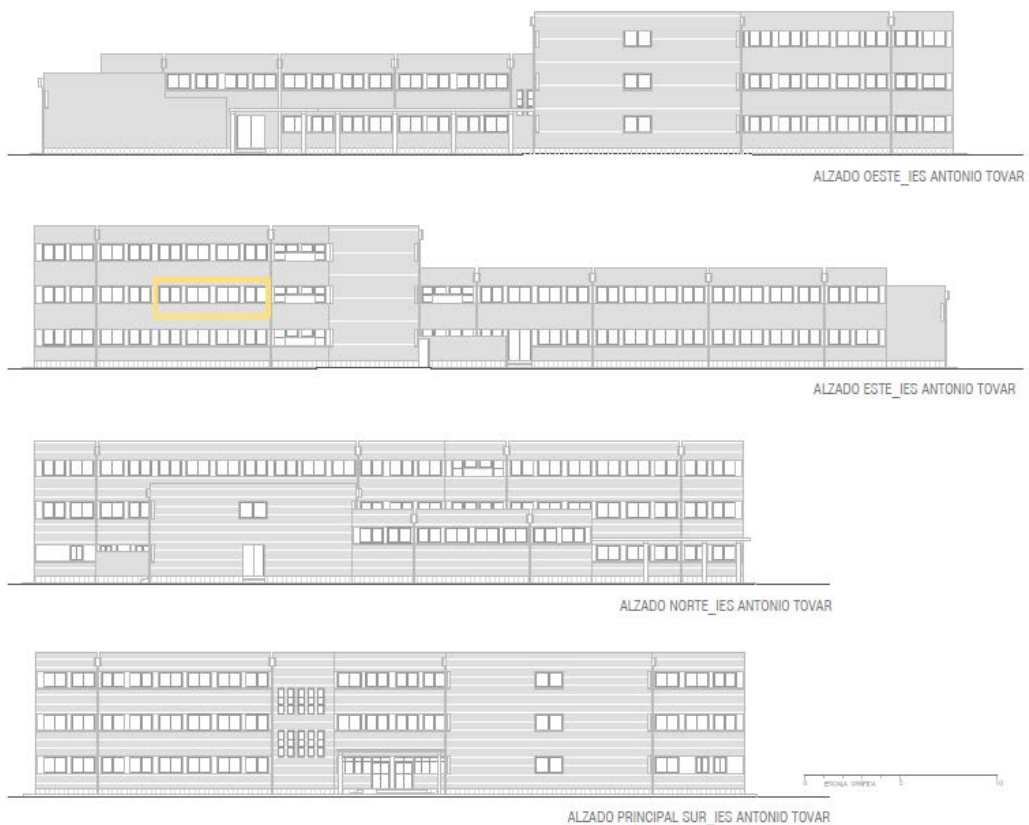


Imagen 60. Alzados del IES Antonio Tovar. Módulo de fachada correspondiente a un aula.

Según se especifica en el capítulo II de la memoria de mediciones y presupuestos del colegio CEIP Giner de los Ríos<sup>68</sup> la fachada de se compone de fábrica de ladrillo macizo cara vista, llagueado de ½ pie de espesor recibido con mortero de 250 kg de cemento y arena de río, enfoscado interiormente con mortero higrófono; aislamiento térmico en cerramientos exteriores con paneles rígidos de fibra de vidrio de 40 mm de espesor, fábrica de ladrillo HD de ½ pie de espesor tomado con mortero de 250kg de cemento y arena de río; enlucido de yeso. Los pilares en zonas vistas, se tratan en hormigón visto abujardado (...).<sup>69</sup> Esto es, en los espacios entre huecos, ya que el resto de la fachada mantiene una imagen uniforme de ladrillo cara vista en diferentes colores según edificio.

A continuación se expone parte de la documentación que ha permitido conocer la composición de fachada. Se trata de las partidas de los elementos del cerramiento exterior ciego incluidas en el presupuesto del proyecto de 1981.

| II-1  |     | M2                | Fábrica de ladrillo H/D de ½ pie de espesor tomado con mortero de 250 kg de cemento y arena de río. |         |
|---|-----|-------------------|---|---------|
| NUM. UNIDADES   |     | DESCOMPOSICION    | PRECIO UNITARIO   | TOTALES |
| 0,042   | M11 | Ladrillo H/D      | 2500  | 109 20  |
| 0,022   | M3  | Mortero 1:6       | 1495 15   | 32 82   |
| 0,012   | M3  | Agua              | 8   | 0 10    |
| 0,55  | h   | Cuadrilla         | 556 41  | 306 03  |
| 1   | %   | Medios auxiliares | 448 22  | 4 48    |
| Cuatrocientas cincuenta y dos pesetas setenta céntimos. |     |                   | Total   | 452,70  |

Imagen 61. Memoria de presupuesto del IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 823, carpeta 2.

<sup>68</sup> CEIP Antonio Giner de los Ríos. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 81/25, carpeta 3.

<sup>69</sup> Memoria constructiva. CEIP Antonio Giner de los Ríos. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 823, carpeta 2.

II-5 M2 Enfoscado de 15 mm. de espesor con mortero de 440kg de cemento y arena de río.

| NUM. UNIDADES |    | DESCOMPOSICION    | PRECIO UNITARIO |    | TOTALES       |           |
|---------------|----|-------------------|-----------------|----|---------------|-----------|
| 0,020         | M3 | Mortero 1:3       | 1.784           | 75 | 35            | 69        |
| 0,40          | h  | Cuadrilla         | 556             | 41 | 222           | 56        |
| 1             | %  | Medios auxiliares | 258             | 25 | 2             | 56        |
|               |    |                   | <b>Total</b>    |    | <b>260,83</b> | <b>PT</b> |

Doscientas sesenta pesetas ochenta y tres céntimos.

II-6 M2 Fábrica de ladrillo macizo cara vista, llagado de 1/2 pie de espesor, recubido con mortero de 250kg de cemento y arena de río, enfoscado interiormente con mortero Hidrófugo.

| NUM. UNIDADES |    | DESCOMPOSICION      | PRECIO UNITARIO |    | TOTALES |    |
|---------------|----|---------------------|-----------------|----|---------|----|
| 0,068         | M1 | Ladrillo cara vista | 3050            |    | 207     | 40 |
| 0,030         | M3 | Mortero 1:6         | 1495            | 15 | 44      | 85 |
| 0,020         | M3 | Agua                | 8               |    | 0       | 16 |
| 0,020         | M3 | Mortero hidrófugo   | 1200            |    | 24      |    |
| 1,20          | h  | Cuadrilla           | 556             | 41 | 667     | 69 |
| 1             | %  | Medios auxiliares   | 944             | 10 | 9       | 44 |

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIAS  
 JUNTA DE ADMINISTRACIONES ESCOLARES Y PROFESORADO  
 SUPLENTE

Imagen 62. Memoria de presupuesto del IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 823, carpeta 2.

II-2 M2 Aislamiento térmico en cerramientos exteriores con paneles rígidos de fibra de vidrio de 40 mm. de espesor.

| NUM. UNIDADES | DESCOMPOSICION            | PRECIO UNITARIO | TOTALES                  |
|---------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| 1             | M2 Panel rígido de 40 mm. | 150             | 150                      |
| 0,05          | h Cuadrilla               | 556,41          | 27,82                    |
| 1             | % Medios auxiliares       | 177,82          | 1,78                     |
|               |                           |                 | <b>Total</b> 179,60 Ptas |

Ciento setenta y nueve pesetas sesenta céntimos.

MINISTERIO DE EDUCACION  
 JUNTA DE GOBIERNO DE LAS ISLAS BALEARES  
 SECCION DE EDUCACION  
 6 DE MARZO DE 1973  
 S. I. I. I.

Imagen 63. Memoria de presupuesto del IES Antonio Tovar. Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Sección Educación, caja 823, carpeta 2.

### 6.3.2. SIMULACIÓN ENERGÉTICA ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA\_Grupo C

Se determina un aula tipo con las siguientes dimensiones para su simulación en la Herramienta Unificada Lider-Calener:

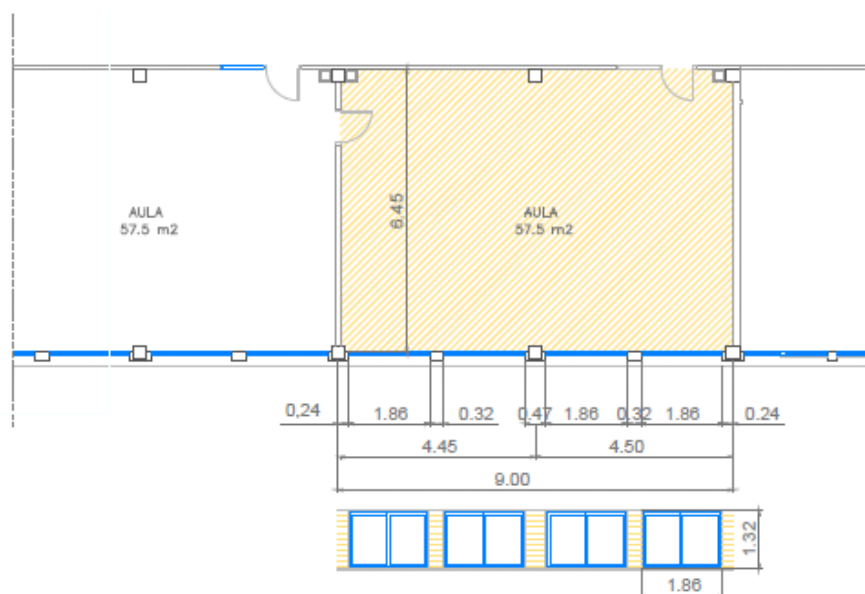


Imagen 64. Módulo de aula a estudiar. Dimensiones, crucías y huecos de esa proporción de fachada del IES Antonio Tovar.

## RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

Se han considerado en la envolvente térmica del módulo del aula los siguientes datos:

| Superficie Habitable (m <sup>2</sup> )        | 58,05                        | Volumen Habitable (m <sup>3</sup> )        | 159,64                                 |
|---|------------------------------|--|--|
| Elemento                                      | Superficie (m <sup>2</sup> ) | U media proy. inicial (W/m <sup>2</sup> K) | U media propuesta (W/m <sup>2</sup> K) |
| Fachadas de espacios habitables <sup>70</sup> | 24,75                        | 0,83                                       | 0,22                                   |
| Huecos del espacio habitable                  | 9,82                         | 5,7  | 2,7 o 1,8                              |
| Envolvente adiabática del aula <sup>71</sup>  | 176,33                       | -  | -                                      |
| Puentes térmicos (W/mk)                       | Frente de forjado            | Pilares                                    | Dinteles/jambas                        |
| Proyecto inicial                              | 0,99                         | 1,19                                       | 1,40                                   |
| Propuesta                                     | 0,08                         | 0,00                                       | 0,04                                   |

Tabla 31. Resumen de características de la envolvente térmica del IES Antonio Tovar introducido en la simulación.

## DATOS DE LA SIMULACIÓN\_ IES Antonio Tovar\_Grupo C

La calificación de eficiencia energética del edificio se ha realizado de acuerdo a la documentación que se ha recibido antes del inicio de los trabajos, así como de la documentación obtenida de las visitas de verificación y control en el edificio.

Según la descripción geométrica y constructiva del espacio de un aula modelo, se trabaja con un único espacio que correspondería con uno de uso docente.

| Nombre  | Planta | Uso                  | Clase higrométrica | Área (m <sup>2</sup> ) | Altura (m) |
|---------|--------|----------------------|--------------------|------------------------|------------|
| P01_E01 | P01    | Intensidad Alta - 8h | 3                  | 58,05                  | 2,75       |

Tabla 32. Resumen de características de la envolvente térmica del IES Antonio Tovar introducido en la simulación.

<sup>70</sup> Superficie de cerramientos exteriores sin deducir huecos.

<sup>71</sup> Superficie adiabática se considera en este modelo de simulación de un módulo de aula como la constituida por tabiques interiores así como el suelo y techo del aula, ya que se considera como premisa la simulación de un aula intermedia en el edificio.



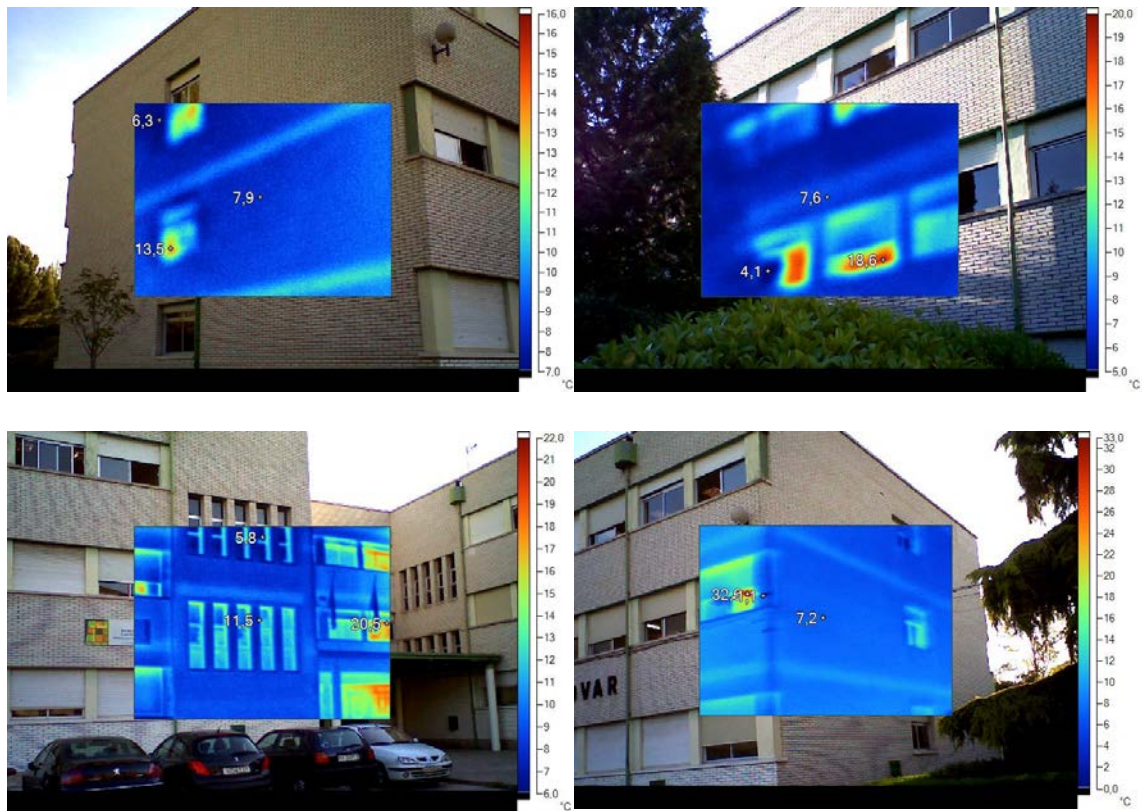


Imagen 65. Imágenes termográficas de la fachada del IES Antonio Tovar mediante cámara termográfica de alta resolución Marca: Fluke, modelo: TiR 32. Rango de medida de la temperatura de -20 °C a +150 °C (de -4 °F a +302 °F); precisión de la medida de temperatura de  $\pm 2$  °C ó 2% (a 25 °C nominales, el valor que sea mayor); corrección de emisividad en pantalla, compensación de la temperatura reflejada de fondo en pantalla; corrección de transmitancia en pantalla. (Cedidas por David Cavero Rodríguez).

En base a lo observado mediante las termografías se han establecido los valores de los puentes térmicos en el programa de calificación energética para frentes de forjados, pilares en fachada, y contorno de huecos.

Los cerramientos opacos están compuestos por los siguientes materiales dispuestos con un orden de exterior a interior cuyas dimensiones se han determinado mediante mediciones en las visitas de campo:

| Nombre   | U<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Material   | Espesor<br>(m) |
|--|---------------------------|--|----------------|
| Fachada<br>Proyecto inicial  | 0,65                      | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                               | 0,115          |
|  |                           | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200 | 0,015          |
|  |                           | Cámara de aire vertical sin ventilar   | 0,020          |
|  |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,040          |
|  |                           | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                               | 0,115          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Machón   | 1,84                      | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200 | 0,020          |
|  |                           | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                               | 0,115          |
|  |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]                                      | 0,060          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Forjado Tipo<br>(se considera<br>adiabático)   | 2,16                      | Plaqueta o baldosa cerámica  | 0,020          |
|  |                           | Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]                              | 0,020          |
|  |                           | Con capa de compresión -Canto 300 mm Enlucido de yeso 1000 < d < 1300        | 0,300          |
|  |                           |  | 0,020          |
| Tabique  | 2,50                      | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
|  |                           | Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]                                      | 0,075          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |
| Fachada<br>propuesta<br>energética<br><br>(El sistema de<br>aislamiento<br>exterior también<br>se lleva a cabo en<br>los machones) | 0,21                      | Tablero de partículas con cemento d < 1200                                   | 0,012          |
|  |                           | Cámara de aire ligeramente ventilada vertical                                | 0,020          |
|  |                           | XPS poliestireno extruido con dióxido de carbono                             | 0,100          |
|  |                           | 1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                               | 0,115          |
|  |                           | Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000<d<1200 | 0,015          |
|  |                           | Cámara de aire vertical sin ventilar   | 0,020          |
|  |                           | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]  | 0,040          |
|  |                           | 1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm                               | 0,115          |
|  |                           | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300   | 0,020          |

Tabla 33. Resumen de características de la envolvente térmica del IES Antonio Tovar introducido en la simulación.

| <b>NOMBRE</b>   | Ventana corredera originaria de proyecto <sup>72</sup> |
|---|--|
| Acrilamiento  | VER_M_4  |
| Marco   | VER_Normal sin rotura de puente térmico                |
| % Hueco   | 25   |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 100  |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 5,70   |
| Factor solar  | 0,85   |

Tabla 34. Síntesis de datos de las ventanas originales introducidos en la simulación.

| <b>NOMBRE</b>   | Ventana doble vidrio <sup>73</sup>        |
|---|---|
| Acrilamiento  | VER_DC_4-15-331                           |
| Marco   | VER_Metálico con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 24,40                                     |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                     |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 2,7                                       |
| Factor solar  | 0,75                                      |

Tabla 35. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de doble vidrio introducidos en la simulación.

| <b>NOMBRE</b>   | Ventana bajo emisiva <sup>74</sup>        |
|---|---|
| Acrilamiento  | VER_DB1_4-15-331                          |
| Marco   | VER_Metálico con rotura de puente térmico |
| % Hueco   | 24,40                                     |
| Permeabilidad m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> a 100Pa | 27,00                                     |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                                | 1,8                                       |
| Factor solar  | 0,70                                      |

Tabla 36. Síntesis de datos de las nuevas ventanas propuestas de vidrios bajo emisivos introducidos en la simulación.

<sup>72</sup> La nomenclatura empleada para identificar los vidrios es: Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: M.- monolíticos; Composición para los monolíticos: 4.- hoja de 4mm;

<sup>73</sup> Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: DC.- doble vidrio; Composición para los dobles (LAMINAR): x-y-z.- hoja exterior de "x"mm, cámara de "y"mm y hoja interior de "z" mm;

<sup>74</sup> Posición del vidrio: VER.- posición vertical; Tipo de vidrio: DB1.- doble bajo emisivo de 0,1 a 0,2; Composición para los dobles (LAMINAR): x-y-z.- hoja exterior de "x"mm, cámara de "y"mm y hoja interior de "z" mm;

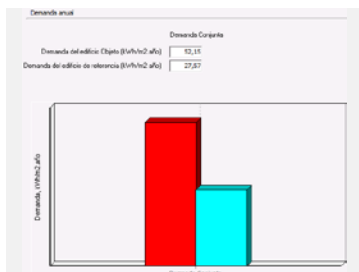




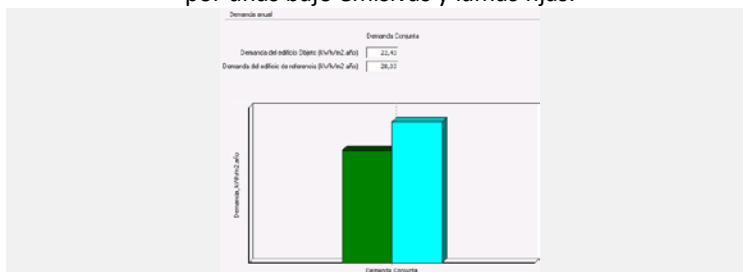
Imagen 66. Documentación fotográfica del IES Antonio Tovar. (Autora).

### 6.3.3. RESULTADOS IES Antonio Tovar\_Grupo C

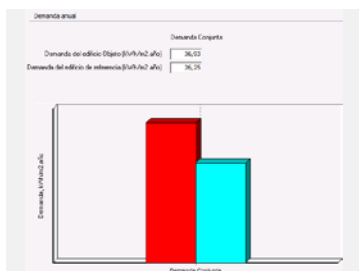
Proyecto inicial NORTE



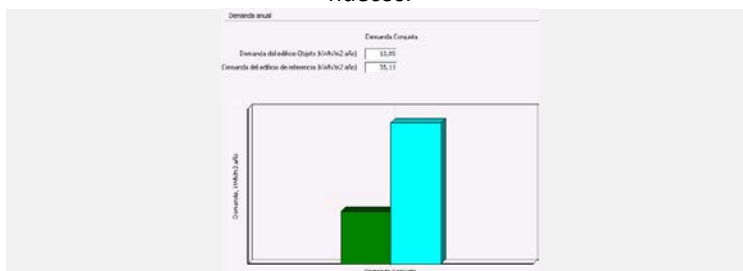
**PROPUESTA NORTE\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación de puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas fijas.



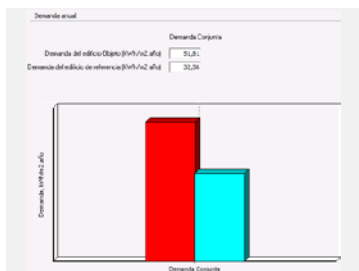
Proyecto inicial SUR



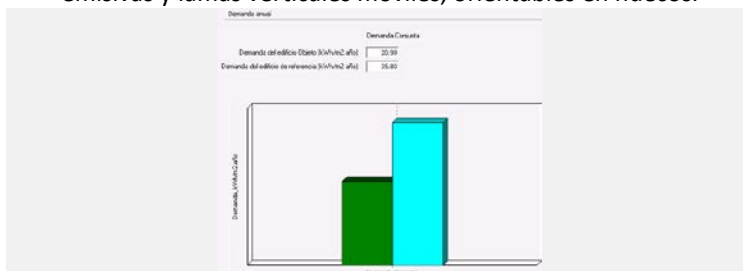
**PROPUESTA SUR\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por vidrios dobles y lamas horizontales, orientables y replegables en huecos.<sup>75</sup>



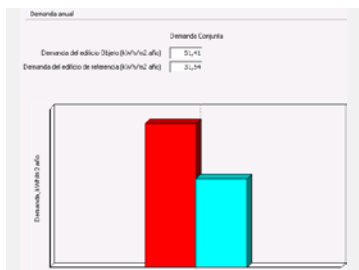
Proyecto inicial ESTE



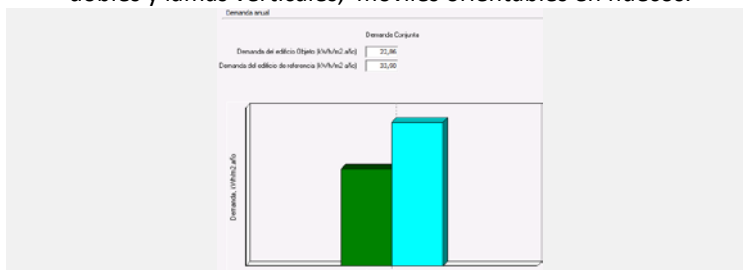
**PROPUESTA ESTE\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por unas bajo emisivas y lamas verticales móviles, orientables en huecos.



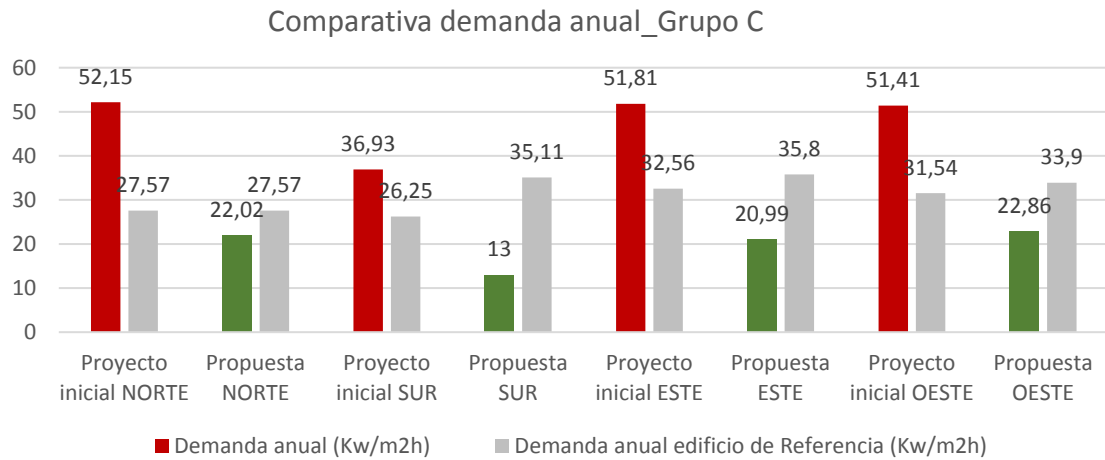
Proyecto inicial OESTE



**PROPUESTA OESTE\_** Incremento del material aislante en fachada, eliminación puentes térmicos, sustitución ventanas por vidrios dobles y lamas verticales, móviles orientables en huecos.



<sup>75</sup> Al igual que en el estudio desarrollado del IES Leopoldo Cano, se consideran lamas de 10 cm de ancho separadas 10 cm, con las mismas condiciones en cuanto al ángulo de incidencia del sol. Se siguen de la misma forma los parámetros de factor de sombra propuestos por el CTE DB HE 1 en la tabla 14 y 15. Gráficas de resultados obtenidos de HULC.



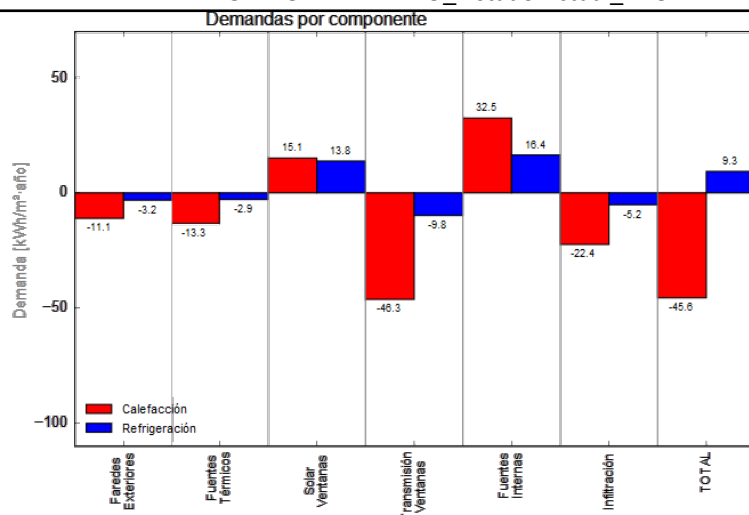
Gráfica 12. Comparativa demanda anual (calefacción + refrigeración) en el grupo C. (Autora)

Se observa de nuevo cómo las reducciones de demanda son muy significativas con las propuestas finales adoptadas. Hablamos de porcentajes de ahorro de energía tan significativos como de 57% al norte; 64,7% al sur; 59,5% al este y 55,5% al oeste.

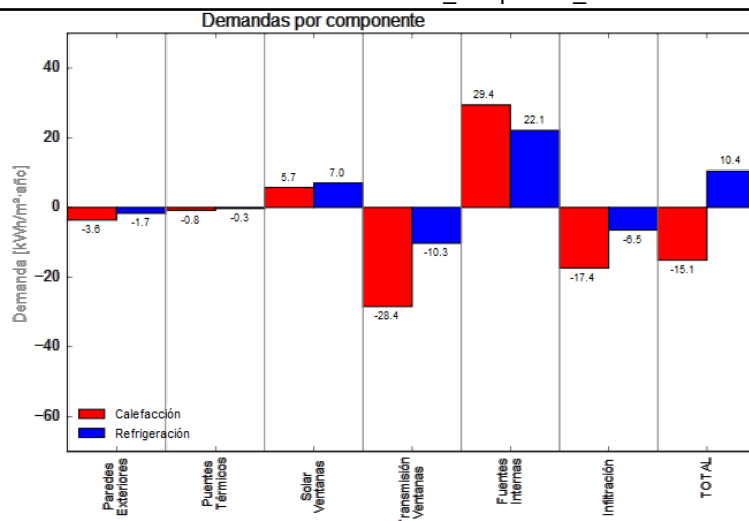
A constinuación, se establecen gráficas de demanda de energía por componente y de demanda mensual obtenidas mediante el programa informático Visol.

### 6.3.4. PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA Y PUNTOS DÉBILES DE FACHADA

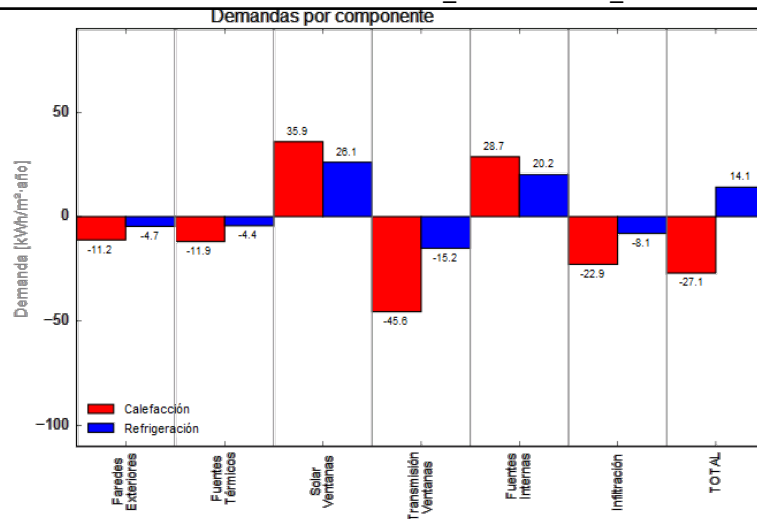
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado Actual\_ NORTE



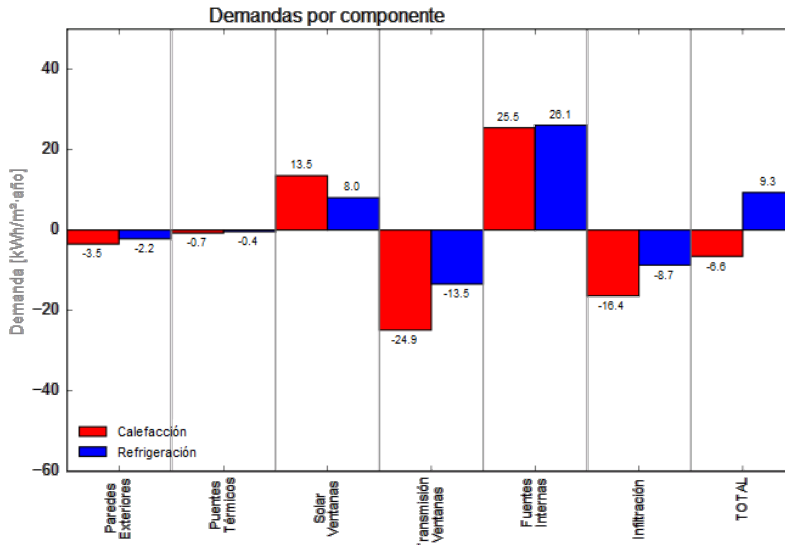
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ NORTE



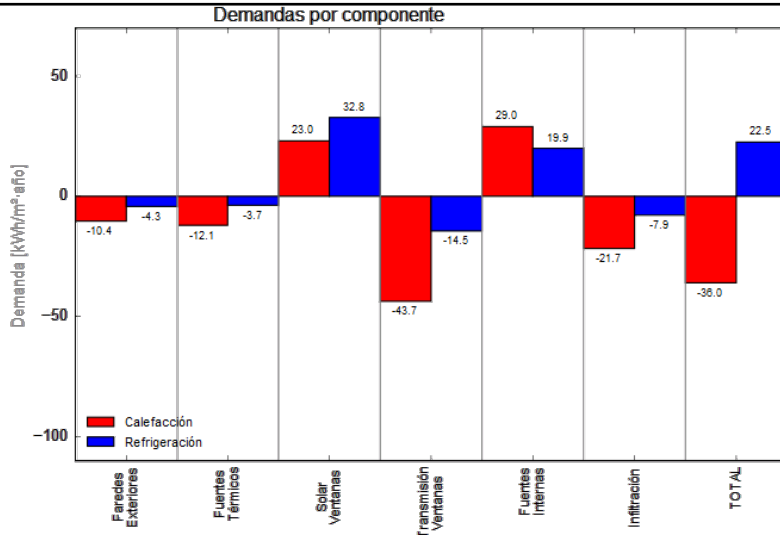
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado Actual\_ SUR



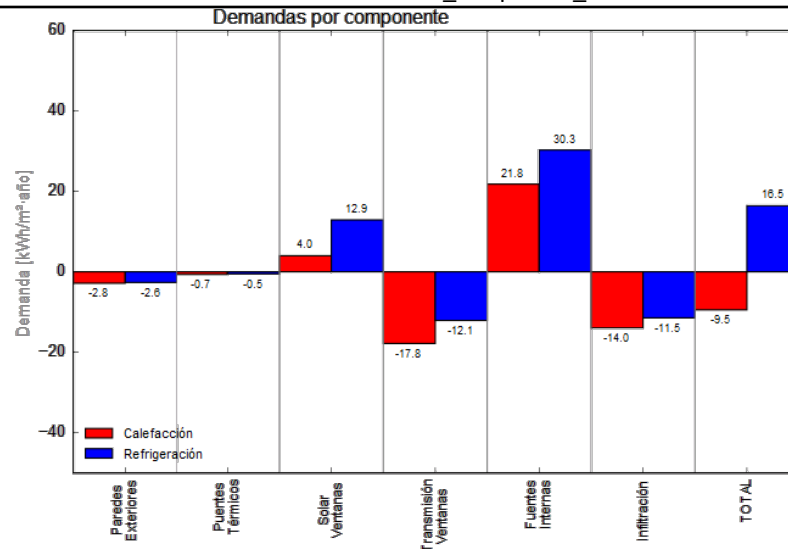
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ SUR



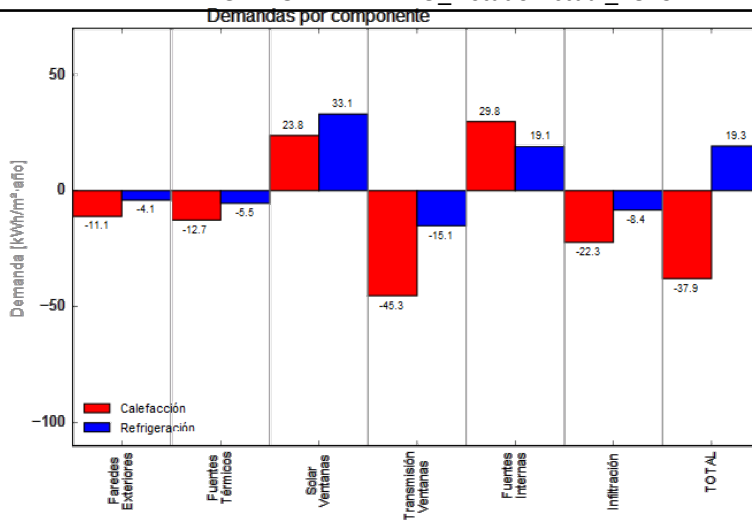
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado Actual\_ ESTE



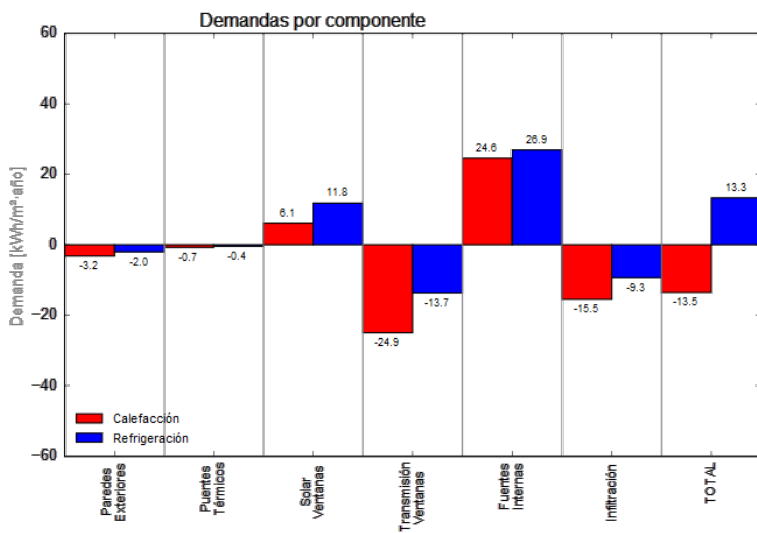
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ ESTE



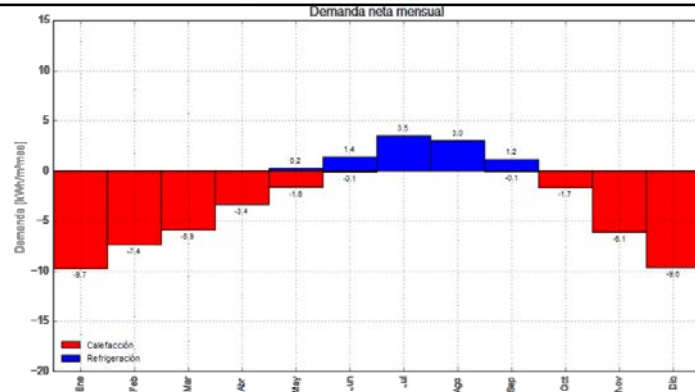
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Estado Actual\_ OESTE



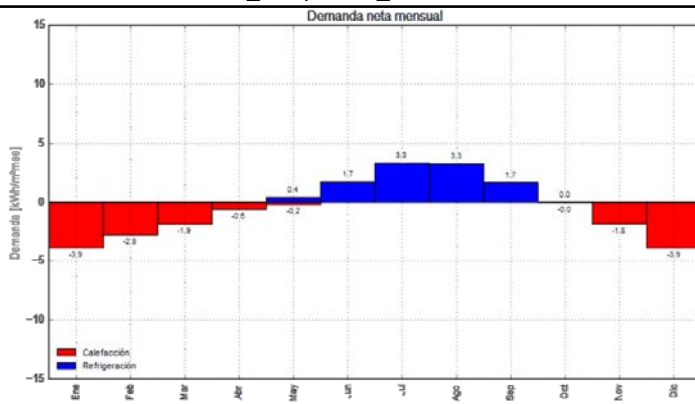
DEMANDA DE ENERGÍA POR ELEMENTO\_ Propuesta\_ OESTE



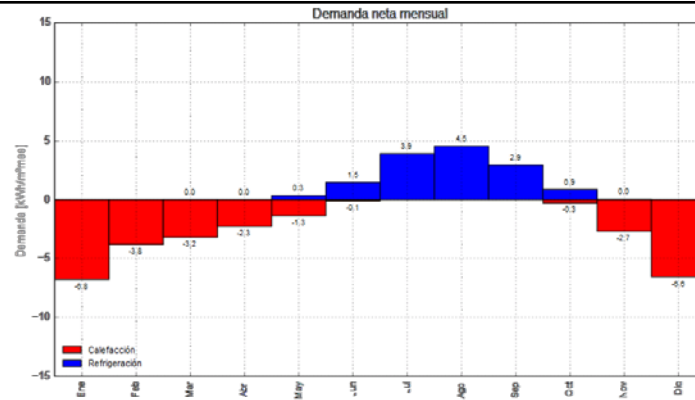
DEMANDA MENSUAL\_ Estado Actual\_ NORTE



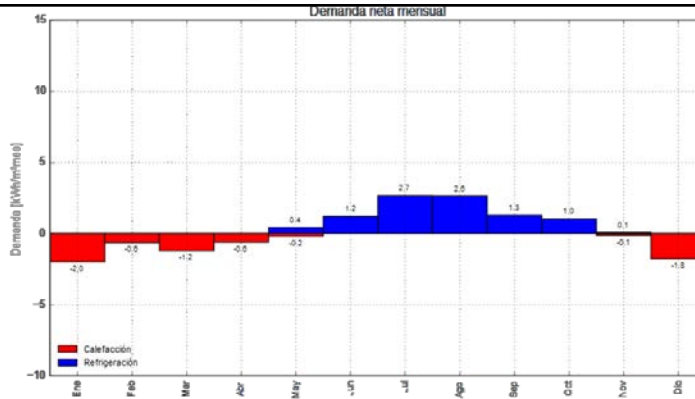
DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ NORTE



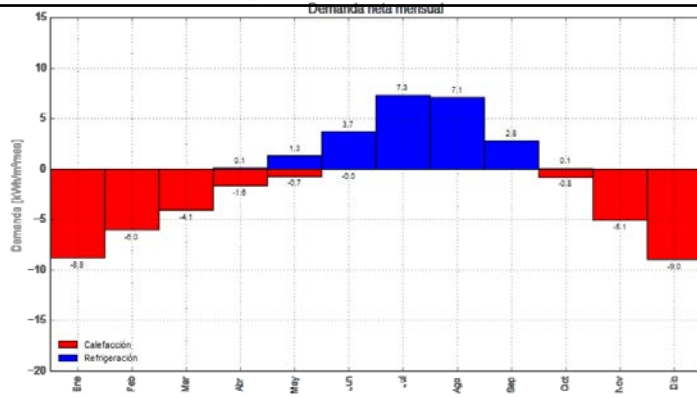
DEMANDA MENSUAL\_ Estado Actual\_ SUR



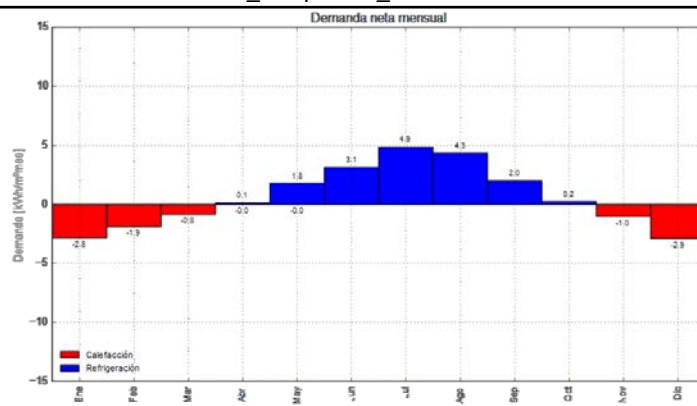
DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ SUR



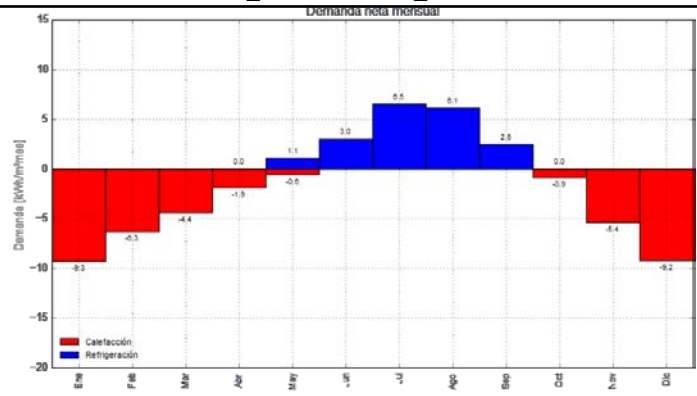
DEMANDA MENSUAL\_ Estado Actual\_ ESTE



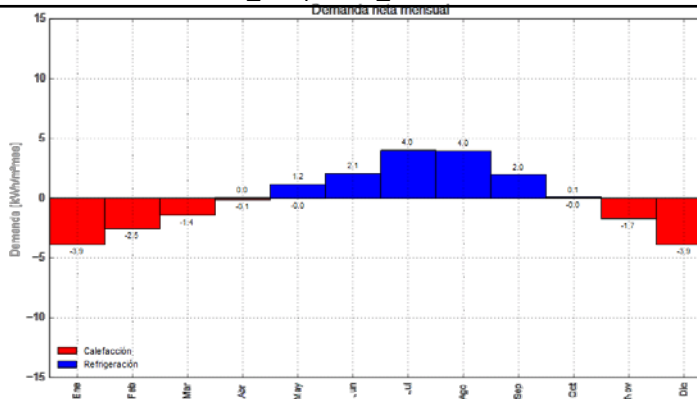
DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ ESTE



DEMANDA MENSUAL\_ Estado Actual\_ OESTE



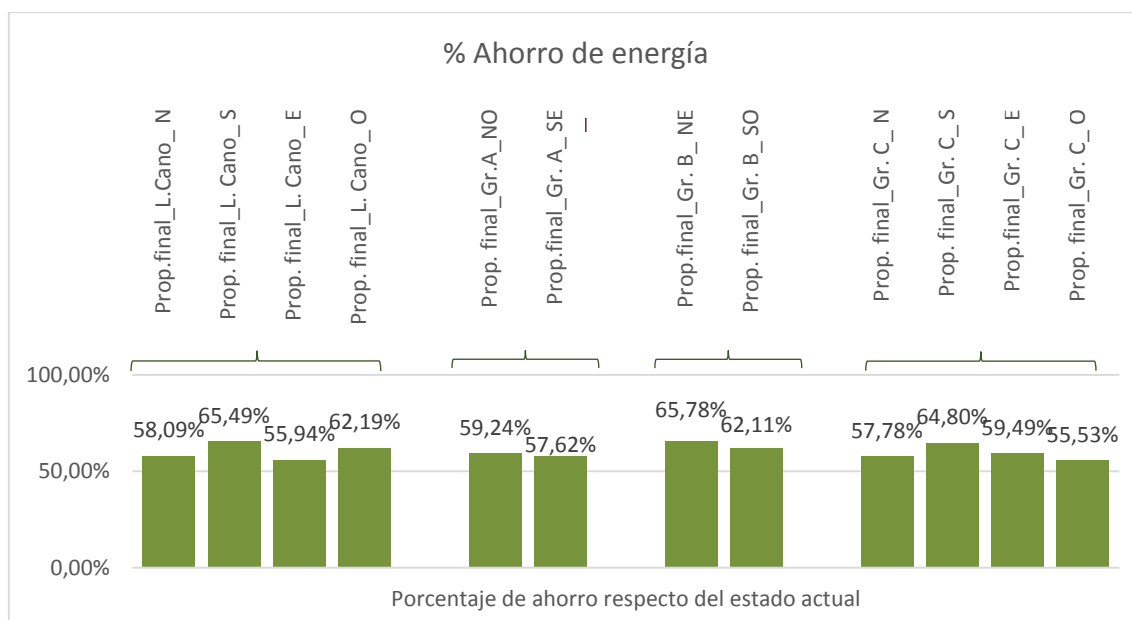
DEMANDA MENSUAL\_ Propuesta\_ OESTE





## 7. CONCLUSIONES GENERALES

Una manera de determinar visualmente las conclusiones finales de forma pormenorizada es comparando los porcentajes de ahorro energético de cada propuesta en función del estado actual del edificio. Como se observa en el siguiente gráfico, la propuesta final llevada a cabo en cada edificio según orientación, consigue un ahorro de más del 55% con respecto de la situación de demanda del estado actual en todos los casos.



Gráfica 13. Comparativa final de los porcentajes de ahorro de energía (calefacción + refrigeración) en cada caso de estudio. (Autora).

Como se ha observado en los diagramas del apartado de *resultados* de cada edificio, en todos los casos se observa que la demanda de calefacción y refrigeración disminuyen con la adopción de la propuesta final, con lo que se ha conseguido llegar a una propuesta óptima de ahorro de energía habiendo pasado por todo un proceso de prueba y error con el estudio del IES Leopoldo Cano.

Es importante señalar que los edificios docentes son ejemplos significativos ya que su particularidad radica en que es mayor la ocupación que se estima y, por tanto, son

necesarios mayores niveles de ventilación y refrigeración, ya que como hemos visto en las gráficas de demanda de energía por componente, las fuentes internas aumentan considerablemente al generar una fachada que constituya una barrera ante la disipación de la energía. Como consecuencia, el uso de los edificios incide enormemente en la situación de confort de los espacios interiores ya que, en nuestro caso, los edificios de uso docente llevan implícita una elevada carga interna que en realidad constituye un parámetro que afecta directamente a la calefacción favoreciéndola y a la refrigeración generando problemas, como se ha visto en los diagramas de demanda mensual.

Resulta muy llamativo comprobar que la praxis habitual de disponer un sistema de aislamiento térmico exterior y el cambio de ventanas no significa alcanzar la mejor solución para la eficiencia energética del edificio. En el caso del sur, claramente esta solución conllevaría a reducir la demanda de calefacción pero a disparar la demanda de refrigeración; ocurre una situación muy similar al este y el oeste. Lejos de ser una solución, vemos que aumenta aún más la demanda anual conjunta. La orientación resulta muy considerable a la hora de adoptar medidas de rehabilitación que, como hemos visto, deben ofrecer soluciones diferentes para ser más eficaces según la orientación.

En consecuencia, no sólo es suficiente generar un cerramiento exterior que cumpla con las exigencias de transmitancia que impone el CTE en paramentos ciegos y huecos, sino que además hay que controlar la radiación solar que incide sobre las fachadas y afecta al acondicionamiento del espacio interior.

La carga solar varía según la orientación a la que está expuesta el cerramiento y, por tanto, es necesario una solución diferente en función de la orientación. La disposición de lamas, ya sea horizontales al sur y verticales al este y oeste, evita la entrada de radiación solar al interior de los espacios y, con ello, permite controlar la situación de excesiva necesidad de refrigeración o calefacción en los meses que más afecta. Si además este sistema de lamas es móvil, se consigue el control de la entrada de carga solar directa a lo largo del día, evitando o permitiendo la radiación en las horas de mayor incidencia según convenga en la época del año.

En el caso de la orientación norte, a pesar de no recibir radiación directa en ningún momento del día, el programa de simulación HULC considera que la radiación difusa genera carga solar afecta al acondicionamiento de las aulas incrementando la demanda anual. La disposición de lamas, ya sean verticales u horizontales debido a la condición isótropa de la radiación difusa, hace que la demanda anual de calefacción y refrigeración disminuya sustancialmente (el ahorro energético aumenta de un 54,11% a un 66,45% en el estudio del modelo de referencia<sup>76</sup>).

Como conclusión, el estudio de estos edificios docentes así como los resultados en forma de gráficas y datos numéricos que se han derivado de ello, permite determinar que el uso del edificio tiene una gran importancia ya que lleva intrínsecos parámetros que afectan directamente al confort interior de los espacios. Además, el proceso de este trabajo de extrapolar soluciones de un edificio a otros con diferente tipología de fachada, permite afirmar que las soluciones de rehabilitación energética no dependen exclusivamente de la ejecución o tipo de cerramiento, sino que la orientación del edificio es fundamental para alcanzar soluciones de ahorro energético y, en consecuencia, la disminución de la contaminación de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>76</sup> Datos establecidos en la gráfica 6 “Porcentaje de ahorro energético\_ NORTE” del apartado 5.



## 8. FUENTES/BIBLIOGRAFÍA

- LIBROS

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2011). *Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020*. Madrid
- Granados Menéndez, H. (2010). *Rehabilitación energética de edificios*. Madrid, Tornapunta.

- TESIS DOCTORAL INÉDITA

- Orcajo Picón, J. (2014). Tesis Doctoral, *La evolución de las lesiones en las fachadas de ladrillo visto y su relación con los cambios en los sistemas constructivos*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura: Universidad de Valladolid.

- ARTÍCULOS

- Lecuona Neumann, A; Izquierdo Millán, M; Rodríguez Aumente, P.A. (2005). *Investigación e impacto ambiental de los edificios. La energía*. Informes de la Construcción, Vol. 57, nº 498.
- Comisión Europea (2001). *Libro Verde Hacia una Estrategia Europea de Seguridad del Abastecimiento Energético*. Luxemburgo, ISBN 9289403160.
- Cuchí, A., Sweatman, P. (2013). *Informe GTR (2014): Estrategia para la rehabilitación. Claves para la transformación del sector de la edificación en España*. Madrid: GBCE y Fundación CONAMA.
- Gavira Galocha, M.J.; Sánchez Ramos, V. (2011). *Aplicación de los criterios de ahorro energético del CTE a los edificios existentes*. Unidad de Calidad en la Construcción. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. Revista Conarquitectura.
- Ortega, L., Serrano-Lanzarote, B., Fran-Bretones, J. M.<sup>ª</sup>. (2015). *Identificación de procesos patológicos más frecuentes en fachadas y cubiertas en España a partir del método Delphi*. Informes de la Construcción, 67(537): e067, doi.
- Llorente, J. Soldevila, A. (1971). *Viviendas económicas realizadas con bloques de hormigón. Experiencias y prototipos*. Informes de la construcción, 344-345. CSIC.
- CEOE. (2014). *La rehabilitación de edificios como motor de crecimiento y empleo*. Comisión de Infraestructuras y Urbanismo.
- Martín-Consuegra, F; Oteiza, I; Alonso, C; Cuerdo-Vilches, T; Frutos, F. (2014). *Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC*. Informes de la Construcción, Vol. 66, 536, e043, octubre-diciembre 2014. ISSN-L: 0020-0883.

- Villar-Burke, R; Jiménez-González, D; Larrumbide, E; Tenorio, J. A. (2014). *Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada*. Informes de la Construcción, Vol. 66, 535, e030. ISSN-L: 0020-0883.
- Villar Burke, R; Jiménez González, D. (2014). *Visol: Visor de archivos de resultados de LIDER*. RVBurke.

- **LEGISLACIÓN, NORMATIVA OTROS DOCUMENTOS**

- Ministerio de la Presidencia del Gobierno. (1975). *Decreto 1490/1975, de 12 de junio, por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía*. BOE, núm. 166, páginas 15001 a 15003 (3 págs).
- Ministerio de la Presidencia del Gobierno. (1979). *Real Decreto 2429/1679, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas de los edificios*. BOE, núm. 253, páginas 24524 a 24550 (27 págs).
- Ministerio de vivienda. (2006). Documento Básico de Ahorro de energía (DB-HE). *REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. BOE, 11816, 74, De Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado Base de datos.
- Ministerio de vivienda. (2013). Documento Básico de Ahorro de energía (DB-HE). *Orden FOM /1635/2013 del 10 de septiembre por el que se actualiza el Documento Básico DB-HE*. BOE.
- Ministerio de industria, energía y turismo. (2013). *Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, que modifica determinados artículos e instrucciones técnicas de Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio*. BOE.
- DIT Nº11. (1966). Instituto Eduardo Torroja. Informes de la Construcción, Vol. 19, nº 185.
- DAU 03/012 F. (2014). Documento de adecuación al uso Ytong- Siporex. ITec.
- UNE-EN 1745. (2013) *Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar las propiedades térmicas*. AENOR.
- IDAE, (2016). Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER-CRECE).

- **SITIOS WEBS**

<http://www.eoi.es> (02/03/2016)

<http://www.educa.jcyl.es/dpvalladolid/es/informacion-especifica-dp-valladolid> (02/03/2016)

<http://centros.educa.jcyl.es> (20/03/2016)

<http://ceippicasso.centros.educa.jcyl.es> (20/06/2016)

[www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org) (25/02/2016)

<http://www.idae.es> (01/03/2016)

<http://www.hispalyt.es> (20/04/2016)  
<http://www.isover.es> (20/04/2016)  
<http://www.ceoe.es> (03/04/2016)  
<http://www.rvburke.com/visorlider.html> (17/04/2016)  
<http://ovacen.com/herramienta-unificada-lider-y-calener/>(17/04/2016)  
<https://ecobservatorio.certicalia.com> (14/06/2016)  
<http://ovacen.com/disenio-bioclimatico-fachadas-viviendas> (14/06/2016)  
<http://www.sitiosolar.com/arquitecturasolarpasiva> (14/06/2016)  
<http://www.sunearthtools.com> (16/06/2016)  
<http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html> (16/06/2016)  
<http://www.solartopo.com> (16/06/2016)  
<https://fjferrer.webs.ull.es> (17/06/2016)  
<http://onyxsolar.com> (17/06/2016)  
<http://www.revistatoldo.com/noticia.php?id=524> (20/06/2016)  
<http://www.llambi.com> (21/05/2016)  
<https://cortizo.com> (21/05/2016)  
<http://www.gradhermetic.es> (22/05/2016)  
<http://www.gradhermetic.es/es/products/6-grad-stor-80> (25/05/2016)