



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



# ÍNDICE

## Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
RESUMEN .....	vii
RESUM .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. OBJETO .....	1
2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN .....	2
3. ALCANCE .....	3
4. NORMATIVA APLICABLE .....	4
5. ANTECEDENTES .....	5
6. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO E INSTALACIONES.....	7
6.1. Información general .....	7
6.2. Distribución de espacios.....	9
6.3. Envolvente térmica.....	14
6.4. Consumo eléctrico y de gasóleo.....	15
6.5. Sistemas de acondicionamiento e iluminación.....	15
7. EL MODELO DE SIMULACIÓN .....	20
7.1. Introducción .....	20
7.2. Herramienta Unificada Lider-Calener.....	21
7.3. Creación de los cerramientos y huecos.....	23
7.4. Modelo detallado .....	24
7.5. Condiciones operacionales.....	25
7.6. Definición de los sistemas de acondicionamiento .....	28
7.7. Iluminación .....	29
7.8. Etiqueta energética .....	37
7.9. Verificación con modelo simplificado .....	39
8. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO (MAE).....	42



8.1. Propuesta 1: Cambio de potencia contratada .....	42
8.2. Propuesta 2: Cambio de quemadores caldera .....	42
8.3. Propuesta 3: Cambio a iluminación LED .....	46
8.4. Propuesta 4: Cambio quemadores y LED .....	53
9. CONCLUSIONES .....	55
10. REFERENCIAS .....	56
PRESUPUESTO .....	59
Precios descompuestos .....	59
Presupuestos parciales.....	61
Presupuesto de ejecución material (PEM) .....	62
Presupuesto final.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen del instituto en la actualidad. ....	7
Figura 2. Temperatura media a lo largo del año en la provincia de Alicante. Datos del periodo 1981-2010. Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. ....	8
Figura 3. Distribución de los espacios de la planta baja del instituto. ....	9
Figura 4. Distribución de los espacios de la primera planta del instituto. ....	9
Figura 5. Distribución de los espacios de la segunda planta del instituto. ....	10
Figura 6. Distribución de los espacios del sótano del instituto. ....	10
Figura 7. Modelo de la segunda planta. ....	22
Figura 8. Modelo geométrico del instituto. ....	23
Figura 9. Creación de los cerramientos en HULC. ....	23
Figura 10. Creación de las ventanas en HULC. ....	24
Figura 11. Creación de las puertas en HULC. ....	24
Figura 12. Modelo geométrico detallado. ....	25
Figura 13. Condiciones operacionales. Cargas internas. ....	25
Figura 14. Circuito agua caliente Calefacción. ....	28
Figura 15. Circuito ACS. ....	28
Figura 16. Distribución porcentual de emisiones. ....	38
Figura 17. Distribución porcentual en energía. ....	38
Figura 18. Consumo de energía final anual original. ....	38
Figura 19. Consumo de energía final por meses original. ....	39
Figura 20. Modelo simplificado. ....	39
Figura 21. Consumo de energía final anual tras cambio a LED. ....	51
Figura 22. Consumo de energía final mensual tras cambio a LED. ....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de grupos por curso. ....	7
Tabla 2. Distribución de las ventanas. ....	8
Tabla 3. Descripción de los espacios de la Planta baja. ....	11
Tabla 4. Descripción de los espacios de la primera planta. ....	12
Tabla 5. Descripción de los espacios de la segunda planta. ....	13
Tabla 6. Descripción de los espacios del sótano. ....	13
Tabla 7. Materiales constructivos. Envoltura. ....	14
Tabla 8. Materiales constructivos. Huecos. ....	15
Tabla 9. Calderas Calefacción. ....	16
Tabla 10. Inventario planta baja. ....	16
Tabla 11. Inventario planta primera. ....	17
Tabla 12. Inventario planta segunda. ....	18
Tabla 13. Inventario planta sótano. ....	19
Tabla 14. Calificación energética e índices para edificios terciarios. ....	20
Tabla 15. Factores de emisión según fuente de energía. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento (2014). ....	21
Tabla 16. Factores de conversión según fuente de energía. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento (2014). ....	21
Tabla 17. Condiciones operacionales. ....	26
Tabla 18. Horarios introducidos. ....	27
Tabla 19. Datos calderas. ....	28
Tabla 20. Radiadores y espacios asociados. ....	29
Tabla 21. Valores límites de eficiencia energética. ....	30
Tabla 22. Coeficientes de mantenimiento. ....	31
Tabla 23. Coeficiente de reflexión. ....	31
Tabla 24. Factor de utilización. ....	32
Tabla 25. Valores de VEEL y parámetros para su cálculo. Planta sótano. ....	33
Tabla 26. Valores de VEEL y parámetros para su cálculo. Planta baja. ....	34



Tabla 27. Valores de VEEI y parámetros para su cálculo. Planta primera.....	35
Tabla 28. Valores de VEEI y parámetros para su cálculo. Planta segunda.....	36
Tabla 29. Calificación en emisiones original.....	37
Tabla 30. Calificación en energía primaria original. ....	37
Tabla 31. Calificación en emisiones modelo simple.....	40
Tabla 32. Calificación en energía primaria modelo simple. ....	40
Tabla 33. Ahorro por cambio de potencia contratada.....	42
Tabla 34. Datos de las calderas propuestas. ....	42
Tabla 35. Calificación en emisiones tras cambio a gas natural. ....	43
Tabla 36. Calificación en energía primaria tras cambio a gas natural.....	43
Tabla 37. Inversión en la propuesta 2. Fuente: Instituto Valenciano de la Edificación (2016) .....	44
Tabla 38. Coste anual de la calefacción y ACS con gasóleo.....	44
Tabla 39. Coste anual de la calefacción y el ACS a gas natural .....	45
Tabla 40. Acumulación del ahorro gas natural.....	45
Tabla 41. Flujo luminoso en función de la potencia. Fuente: PHILIPS (2017) .....	46
Tabla 42. VEEI calculada LED. Planta baja. ....	47
Tabla 43. VEEI calculada LED. Planta primera. ....	48
Tabla 44. VEEI calculada LED. Planta segunda. ....	49
Tabla 45. VEEI calculada LED. Planta sótano.....	50
Tabla 46. Calificación en energía primaria tras cambio a LED.....	50
Tabla 47. Calificación en emisiones tras cambio a LED.....	51
Tabla 48. Inversión en la propuesta 3. ....	52
Tabla 49. Comparativa coste fluorescente y LED.....	52
Tabla 50. Acumulación del ahorro LED. ....	53
Tabla 51. Calificación en emisiones tras cambio a gas natural y LED .....	53
Tabla 52. Calificación en energía primaria tras cambio a gas natural y LED.....	54
Tabla 53. Precio descompuesto tubo LED 16 W.....	59
Tabla 54. Precio descompuesto tubo LED 24 W.....	59
Tabla 55. Precio descompuesto quemador 35700 kcal/h.....	60
Tabla 56. Precio descompuesto quemador 90300 kcal/h.....	60



Tabla 57. Precio descompuesto quemador 163400 kcal/h.....	61
Tabla 58. Presupuesto parcial iluminación. ....	61
Tabla 59. Presupuesto parcial quemadores. ....	61
Tabla 60. Presupuesto de ejecución material. ....	62
Tabla 61. Presupuesto final. ....	62

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito analizar la eficiencia energética del instituto de enseñanza secundaria CABO DE LAS HUERTAS, situado en la provincia de Alicante. En base a dicho análisis, optimizar el consumo de energía del instituto y mejorar la etiqueta energética proporcionando diversas propuestas.

Para ello se empleará el programa informático proporcionado por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC).

En primer lugar, se recopila información del edificio, en cuanto a la envolvente térmica y se realiza un inventario de todos los elementos que consumen energía. Con los datos obtenidos se implementa un modelo tridimensional del edificio en el programa, acercándose lo máximo posible a la geometría real del instituto. Siendo necesario aplicar simplificaciones a la geometría por las restricciones propias del programa informático.

Después, apoyándose en el modelo geométrico, se introducen datos referentes al horario de funcionamiento de los sistemas de acondicionamiento, formados por radiadores y agua caliente sanitaria (ACS). Asimismo, se incorpora las potencias en iluminación en cada espacio y las cargas internas debidas a la ocupación y equipos.

Con todo ello se realiza la simulación de los consumos del edificio y se obtiene un informe en el que se detalla la calificación energética en emisiones y energía primaria no renovable.

Partiendo del informe sobre los distintos consumos proporcionado por el programa, se formula posibles medidas para mejorar el consumo como renovar las instalaciones o el uso de combustibles menos contaminantes y, por consiguiente, mejorar la etiqueta.

Por último, se analiza la viabilidad económica de las diversas propuestas mediante herramientas como el VAN y la TIR, priorizando unas propuestas frente a otras y evaluando los efectos de implementar las mejoras en la etiqueta.

El TFG se completa con la estimación de un presupuesto de implementación de las medidas finalmente consideradas.



## RESUM

El present treball té com a propòsit analitzar l'eficiència energètica de l'institut d'ensenyança secundària CAP DE LES HORTES, situat en la província d'Alacant, basant-se en l'anàlisi, optimitzar el consum d'energia de l'institut i millorar l'etiqueta energètica proporcionant diverses propostes.

Per a això s'emprarà el programa informàtic proporcionat pel Ministeri d'Energia, Turisme i Agenda Digital, Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC).

En primer lloc, es recopila informació de l'edifici, quant a l'envolvent tèrmic i es realitza un inventari de tots els elements que consumixen energia. Amb les dades obtingudes s'implementa un model tridimensional de l'edifici en el programa, acostant-se el màxim possible a la geometria real de l'institut., sent necessari aplicar simplificacions a la geometria per les restriccions pròpies del programa informàtic.

Després, recolzant-se en el model geomètric, s'introdueixen dades referents a l'horari de funcionament dels sistemes de condicionament, formats per radiadors i aigua calenta sanitària (ACS). Així mateix, s'incorporen les potències en il·luminació en cada espai i les càrregues internes degudes a l'ocupació i equips.

Amb tot això es realitza la simulació dels consums de l'edifici i s'obté un informe en què es detalla la qualificació energètica en emissions i energia primària no renovable.

Partint de l'informe sobre els distints consums que proporciona el programa, es formula possibles mesures per a millorar el consum com renovar les instal·lacions o l'ús de combustibles menys contaminants i, per consegüent, millorar l'etiqueta.

Finalment, s'analitza la viabilitat econòmica de les diverses propostes per mitjà de ferramentes com el VAN i la TIR, prioritzant unes propostes d'altres i avaluant els efectes d'implementar les millores en l'etiqueta.

El TFG es completa amb l'estimació d'un pressupost d'implementació de les mesures finalment considerades.



## ABSTRACT

This grade final report (GFR) aims to analyze the energy efficiency of the CABO DE LAS HUERTAS secondary education Institute, located in the province of Alicante. Based on this analysis, optimize the power consumption of the Institute and improve the energy label providing various proposals.

The software provided by the Ministry of energy, tourism and Digital Agenda, Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) will be used to develop this GFR.

In the first place, building information is collected, about the thermal envelope and is carried out an inventory of all the elements that consume energy. With the data obtained a three-dimensional model of the building is implemented in the program, approaching as much as possible to the real geometry of the Institute. However, it is necessary to apply simplifications to the geometry due to the constraints of the computer program.

Then, leaning on the geometric model, the schedule of operation of the conditioning systems is introduced, formed by radiators and domestic hot water (DHW). Also lighting power in each space and internal loads due to the occupation and equipment are incorporated.

With all these aspects, the simulation of the consumption of the building is carried out and a report is obtained, in which the energy qualification in emissions and non-renewable primary energy is detailed.

Based on the report on the different consumptions provided by the program, possible measures are formulated to improve consumption, such as the renovation of installations or to use less polluting fuels and, consequently, to improve the label.

Finally, the economic viability of the various proposals is analyzed through tools such as NPV and TIR, prioritizing ones against others and evaluating the effects of implementing the improvements in the label.

The GFR is completed with the estimation of a budget of the measures finally considered.

# 1. OBJETO

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo principal analizar la eficiencia energética del Instituto de Enseñanza Secundaria Cabo de las Huertas, situado en la provincia de Alicante. A partir del resultado de la etiqueta energética, se proponen diversas soluciones para mejorar la eficiencia energética del edificio.

Para cumplir dicho objetivo, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Implementación de un modelo de simulación del instituto. Consiste en modelar la geometría de los bloques de edificios que conforma el instituto, teniendo en cuenta los cerramientos, ventanas y puertas para determinar la demanda térmica. Se incluyen los sistemas de acondicionamiento como la calefacción y agua caliente sanitaria. Finalmente se caracteriza la iluminación de cada espacio.
- Simulación del consumo energético en el edificio. Teniendo en cuenta la demanda térmica del edificio y los sistemas de acondicionamiento que los satisface, se calcula el consumo de energía del instituto.
- Obtención de la etiqueta energética. Se compara los resultados de la simulación del modelo con unos valores de un edificio de referencia y se obtiene la calificación.
- Propuestas de mejora. Se exponen diversas propuestas para mejorar la calificación inicial obtenida.



## 2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

La justificación de este trabajo reside en el cumplimiento del Real Decreto 235/2013, en el que se exige a los edificios existentes poseer un certificado de eficiencia energética y la obligación de exhibir la etiqueta en edificios que ofrezcan servicios públicos. El certificado está compuesto por una serie de documentos en los que se detalla información del edificio que se certifica, el método de certificación y la calificación de la eficiencia energética mediante una etiqueta energética. El certificado y la etiqueta debe tener un formato normalizado de presentación reconocido por el Ministerio de Fomento.

Dicho certificado se debe obtener mediante el único programa informático admitido por la administración pública, la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC).

También se debe velar por el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación, en concreto el Documento Básico Ahorro de Energía.

El interés personal por temas de eficiencia energética y la preocupación por la situación medioambiental actual han sido factores determinantes a la hora de elegir la temática del presente trabajo académico.



### 3. ALCANCE

El alcance del TFG es la obtención de la etiqueta energética del edificio y el estudio de diversas propuestas de ahorro energético. Las propuestas que se plantean están enfocados a la mejora de la eficiencia energética y no se consideran modificaciones constructivas en la infraestructura de los edificios.

Además de la idoneidad de las propuestas de ahorro energético, también se tiene en cuenta la viabilidad económica para escoger las medidas a implantar. Se analizan para ello los parámetros VAN y el TIR.

## 4. NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable es la siguiente:

- **La Directiva 2006/32/CE.** Sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. Tiene la finalidad de fomentar la mejora rentable de la eficiencia del uso final de la energía en los Estados miembros. Se fija un valor orientativo de ahorro energético del 9 % para los Estados miembros (Directiva 32, 2006).
- **La Directiva 2010/31/UE.** Relativa a la eficiencia energética de los edificios. Tiene como objetivo fomentar la eficiencia energética de los edificios de los Estados miembros de la Unión, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y la rentabilidad en términos de coste-eficacia. También incorpora el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes (Directiva 31, 2010).
- **La Directiva 2012/27/UE.** Relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. Tiene como objetivo establecer un marco común de medidas que ayuden a fomentar la eficiencia energética dentro de la Unión con el fin de cumplir el objetivo propuesto del 20 % de ahorro energético para 2020 (Directiva 27, 2012).
- **El Real Decreto 235/2013.** Por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Se exige a los edificios de pública recurrencia a exhibir el certificado de eficiencia energética en un lugar visible (Real Decreto 235, 2013).
- **El Código Técnico de la Edificación.** Establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la LOE. Formado en total por 6 Documentos Básicos (DB), uno de ellos trata del ahorro de energía en la edificación (Real Decreto 314, 2006).
- **Reglamento de instalaciones térmicas en edificios.** Establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda térmica e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, con el fin de conseguir un uso racional de la energía (Real Decreto 1027, 2007).

## 5. ANTECEDENTES

Datos de la Conselleria de Educación, Investigación, Cultura y Deporte indican que, a principios del año 2016, de los 1391 centros educativos públicos de la Comunidad Valenciana, más de 700 centros necesitaban una intervención en su infraestructura, puntualmente o de forma integral.

(“La Generalitat es marca,” 2016)

Según un estudio del Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE, 2011), el consumo energético de un centro educativo en general, se puede repartir entre la iluminación con un 35%, la climatización con un 35% y la calefacción y el servicio de agua caliente sanitaria, el 30% restante.

Para reducir el consumo y mejorar los espacios de estudio, tanto en el sector público como en el privado se ha hecho hincapié en proponer soluciones en la eficiencia energética de los centros educativos.

En el sector público se ha llevado a cabo diversos programas de acción y concienciación en este ámbito, por ejemplo, a nivel europeo:

- Proyecto CHECK IT OUT! ENERGY AT SCHOOL, abarcando diferentes países de la Unión Europea. Tenía como objetivo el ahorro de energía en los edificios docentes y la impartición de cursos informativos sobre energía y cambio climático (Intelligent Energy Europe, 2006-2009).
- Proyecto 50/50 EUROPEAN NETWORK OF EDUCATION CENTERS. Consiste en la elaboración de planes de ahorro entre el centro docente y las autoridades locales (Intelligent Energy Europe, 2009-2012).
- Proyecto THE RENEW SCHOOL. Trata de impulsar la construcción de edificios de escuelas con consumo casi nulo (nZEB), promover el ahorro de energía y creación de espacios confortables para los estudiantes. Esto se realiza impulsando el uso de bloques prefabricados de madera (Intelligent Energy Europe, 2014-2017).

A nivel nacional, distintas Comunidades Autónomas han publicado estudios con la finalidad de orientar al personal docente en el tema energético. Por ejemplo:

- GUÍA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTROS DOCENTES (IDAE, 2011). Publicada en la comunidad de Madrid en el marco de la campaña “Madrid Vive ahorrando Energía”. Esta guía recopila diferentes medidas que se pueden aplicar para mejorar la eficiencia energética de los centros educativos, desde renovación de las instalaciones de calefacción, alumbrado y climatización, medidas de ahorro de agua, implementación de domótica, hasta la implantación de energías renovables. También aporta casos reales de distintos centros en los que se han aplicado mejoras.
- MANUAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTROS DOCENTES. USO Y MANTENIMIENTO. Elaborada por la Junta de Castilla y León (2013), es la primera parte de dos documentos dedicados a la eficiencia en centros docentes. Esta primera parte se centra en la gestión y consumo de energía, aportando consejos en cuanto a la contratación de la misma. Además, proporciona

información para el mantenimiento de las distintas instalaciones térmicas, eléctricas e hidráulicas, proporcionado también un calendario de inspección.

- MANUAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CENTROS DOCENTES. REHABILITACIÓN. La segunda parte de los dos documentos elaborados por la Junta de Castilla y León (2013). Este segundo documento pone énfasis en medidas técnicas como la renovación de las instalaciones, estudio para mejorar la envolvente térmica de los centros e instalaciones de energía solar térmica entre otras.

En el sector privado, algunas empresas también han elaborado documentos sobre ahorro de energía en los centros educativos, por ejemplo, “La Guía Práctica de Eficiencia Energética” de Schneider Electric (2009), en el que se incluye un apartado donde se recomienda algunos dispositivos como sensores de presencia e interruptores programables para mejorar la eficiencia.



## 6. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO E INSTALACIONES

### 6.1. Información general

En el presente capítulo se presenta el instituto objeto de estudio (Figura 1) y se describe las características de los edificios que lo compone, así como las instalaciones que posee.



Figura 1. Imagen del instituto en la actualidad.

En cuanto a oferta académica y personal se refiere, el centro dispone de un total de 18 departamentos docentes, con un total de 55 profesores.

Dichos docentes se encargan de la educación del total de 21 grupos de alumnos que tiene el centro (Tabla 1).

Tabla 1. Número de grupos por curso.

Curso	Número de grupos
1º ESO	6
2º ESO	4
3º ESO	4
4º ESO	3
1º Bachillerato	2
2º Bachillerato	2

El aforo total del instituto es de aproximadamente 700 personas teniendo en cuenta el número de profesores y auxiliares y que el número de alumnos por aula es de alrededor de 30.

El centro tiene horario matutino, no habiendo turnos vespertinos ni nocturnos. Los costes en electricidad y calefacción son más reducidos en comparación a los institutos con docencia nocturna.

Al establecerse en una zona costera con clima mediterráneo, la temperatura no disminuye de los 10°C (Figura 2) a lo largo del año, siendo necesaria la calefacción en unos periodos reducidos en invierno.

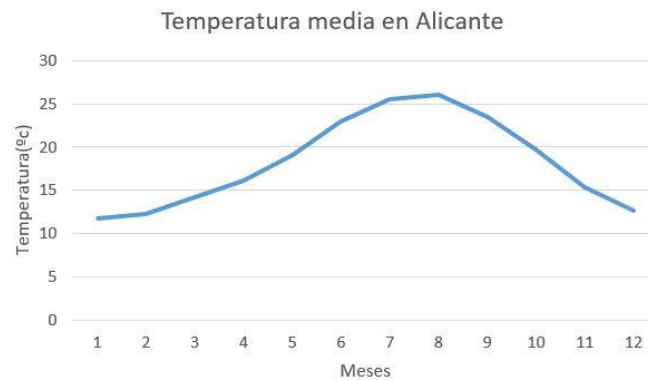


Figura 2. Temperatura media a lo largo del año en la provincia de Alicante. Datos del periodo 1981-2010. Fuente: Agencia Estatal de Meteorología.

El centro está formado por dos bloques de edificios. En el bloque principal se encuentra la mayoría de las aulas y servicios prestados a los alumnos. El otro edificio es una ampliación realizada en el año 2008, en la que se ha incorporado aulas de uso especial.

La fachada principal del bloque antiguo (Figura 1) está orientada al oeste, quedando la mitad de los espacios orientados al este. Los espacios del bloque nuevo están orientados al sur.

Las ventanas del instituto se distribuyen principalmente entre la fachada principal del bloque antiguo (orientación oeste) y fachada trasera del bloque antiguo (orientación este), quedando una menor cantidad orientadas al norte y sur. En la Tabla 2 se muestra la distribución de las ventanas según su orientación.

Tabla 2. Distribución de las ventanas.

Orientación	Numero	Superficie Total(m <sup>2</sup> )
Norte	16	123.9
Sur	23	106.9
Este	29	228.5
Oeste	27	191.1

A continuación, se detalla cada uno de los espacios de los dos bloques.

## 6.2. Distribución de espacios

En lo que se refiere a la planta baja del instituto, el bloque antiguo contiene la práctica totalidad de los servicios administrativos del centro: secretaria, despacho del Jefe de Estudios, despacho del director y servicios auxiliares como la cantina y consulta de la psicopedagoga.

En el bloque de nueva construcción se encuentra el taller y el seminario de tecnología. En la Figura 3 se muestran los diferentes espacios de la planta baja.

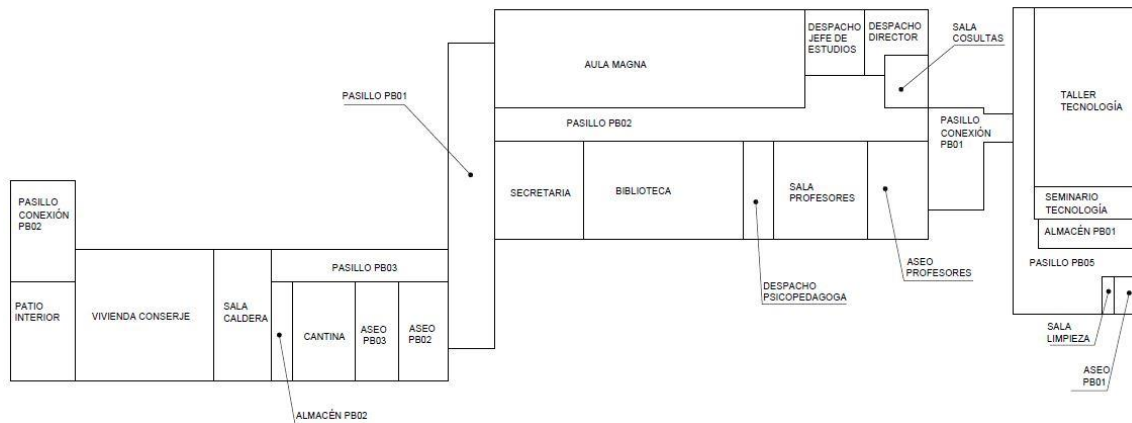


Figura 3. Distribución de los espacios de la planta baja del instituto.

En la primera planta hay 11 aulas de docencia general, un aula de educación plástica, un laboratorio de química y otro de biología y tres seminarios que se emplean como departamentos de las asignaturas que se imparten en el instituto. En la Figura 4 se muestra cómo están distribuidos dichos espacios.

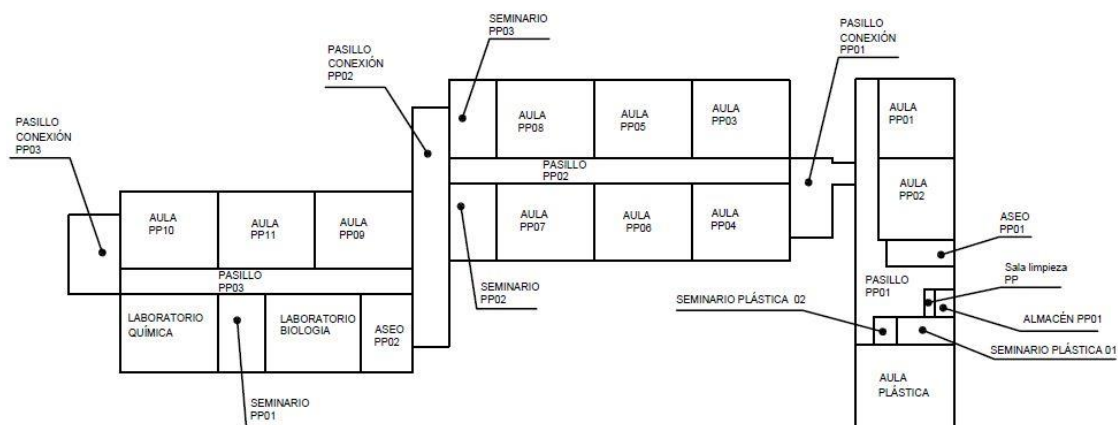


Figura 4. Distribución de los espacios de la primera planta del instituto.

En la segunda planta, como se muestra en la Figura 5, se encuentra el resto de las aulas que compone la totalidad de los espacios del centro.

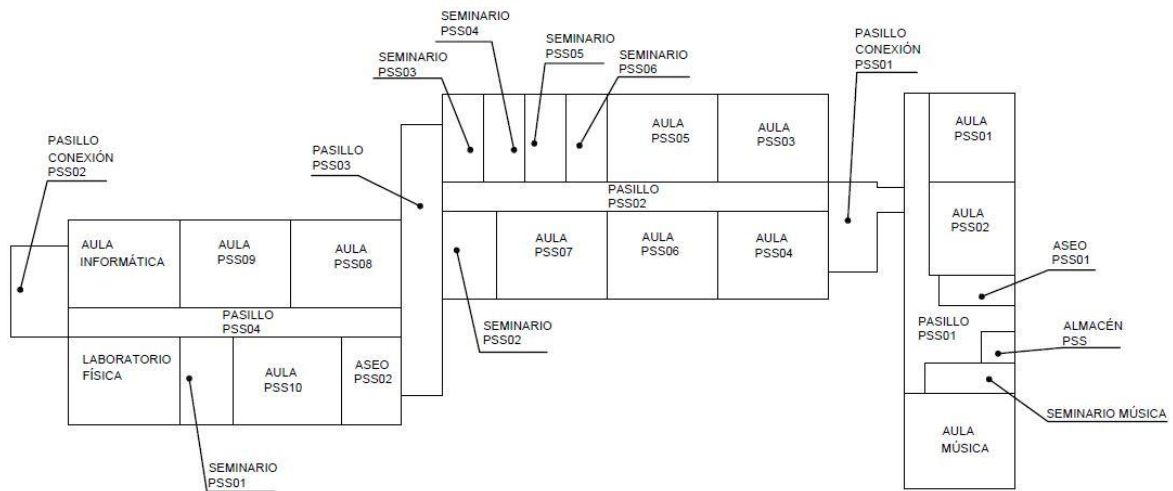


Figura 5. Distribución de los espacios de la segunda planta del instituto.

En la Figura 6 se muestra el sótano del bloque de ampliación.

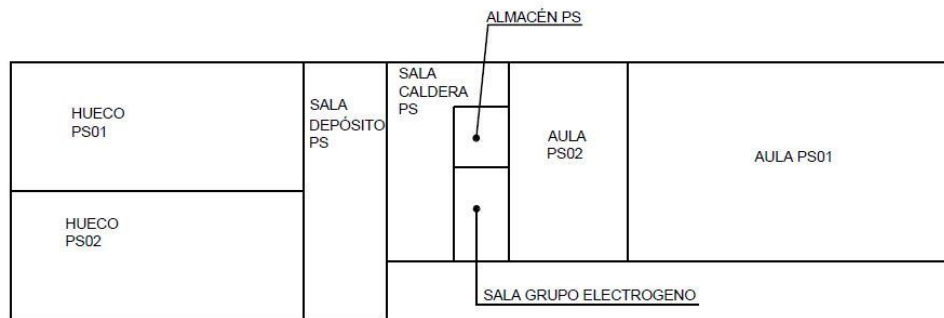


Figura 6. Distribución de los espacios del sótano del instituto.

En las Tablas 3, 4, 5 y 6 se listan los distintos espacios del instituto, con el código asignado, tipo de espacio y superficie.

La superficie de la planta baja se divide entre:

- Superficie acondicionada: 586.84 m<sup>2</sup>.
- Superficie no acondicionada: 519.69 m<sup>2</sup>.

Tabla 3. Descripción de los espacios de la Planta baja.

Local	Código	Tipo de espacio*	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>Planta baja</b>	<b>P02</b>		<b>1106.53</b>
Pasillo PB05	P02_E01	NO ACONDICIONADO	60.67
Almacén PB	P02_E02	NO ACONDICIONADO	14.60
Seminario Tecnología	P02_E03	GT Seminarios	16.87
Taller Tecnología	P02_E04	GT Taller Tecnología	92.7
Pasillo conexión PB01	P02_E05	NO ACONDICIONADO	32.25
Sala consultas	P02_E06	GT Seminarios	11.49
Despacho director	P02_E07	GT Despachos	16.65
Despacho jefe de estudios	P02_E08	GT Despachos	20.03
Aula magna	P02_E09	GT Salón de actos	153.63
Pasillo PB02	P02_E10	NO ACONDICIONADO	83.74
Aseo profesores	P02_E11	NO ACONDICIONADO	30.08
Sala profesores	P02_E12	GT Despachos	46.91
Despacho psicopedagoga	P02_E13	GT Despachos	14.71
Biblioteca	P02_E14	GT Biblioteca	79.06
Secretaría	P02_E15	GT Despachos	44.12
Pasillo PB01	P02_E16	NO ACONDICIONADO	71.27
Aseo PB02	P02_E17	NO ACONDICIONADO	24.24
Aseo PB03	P02_E18	NO ACONDICIONADO	21.71
Cantina	P02_E19	NO ACONDICIONADO	31.07
Almacén PB02	P02_E20	NO ACONDICIONADO	10.83
Pasillo PB03	P02_E21	NO ACONDICIONADO	28.90
Sala caldera	P02_E22	NO ACONDICIONADO	38.18
Vivienda conserje	P02_E23	Residencial	90.69
Patio interior	P02_E24	NO ACONDICIONADO	32.16
Pasillo conexión PB02	P02_E25	NO ACONDICIONADO	33.19
Aseo PB01	P02_E26	NO ACONDICIONADO	4.41
Sala limpieza	P02_E27	NO ACONDICIONADO	2.39

\* Se diferencia dos tipos de espacios, acondicionados y no acondicionados. Dentro de los espacios acondicionados según la densidad de ocupación, las luminarias instaladas y el número de equipos informáticos se diferencian en: GT Aulas Grandes, GT Seminarios, GT Despachos, GT Biblioteca, GT Salón de actos, GT Pasillo, GT Pasillo Conexión, GT Aula Informática, GT Taller Tecnología, GT Aula Plástica, GT Aula Música, GT Laboratorios. En la Tabla 17 se muestra detalladamente las características de cada tipo de espacio.

La primera planta se divide en los siguientes espacios:

- Superficie acondicionada: 952.37 m<sup>2</sup>.
- Superficie no acondicionada: 396.92 m<sup>2</sup>.

Tabla 4. Descripción de los espacios de la primera planta.

Local	Código	Tipo de espacio	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>Planta primera</b>	<b>P03</b>		<b>1349.29</b>
Aula plástica	P03_E01	GT Aula Plástica	67.27
Aula PP01	P03_E02	GT Aulas Grandes	48.62
Aula PP02	P03_E03	GT Aulas Grandes	50.66
Aseo PP01	P03_E04	NO ACONDICIONADO	14.48
Seminario de plástica 02	P03_E05	GT Seminarios	4.53
Seminario de plástica 01	P03_E06	GT Seminarios	11.7
Almacén PP01	P03_E07	NO ACONDICIONADO	4.52
Sala limpieza PP	P03_E08	NO ACONDICIONADO	2.37
Pasillo PP01	P03_E09	NO ACONDICIONADO	74.69
Pasillo conexión PP01	P03_E10	NO ACONDICIONADO	32.25
Aula PP03	P03_E11	GT Aulas Grandes	61.28
Aula PP05	P03_E12	GT Aulas Grandes	61.94
Aula PP08	P03_E13	GT Aulas Grandes	64.59
Seminario PP03	P03_E14	GT Seminarios	30.09
Aula PP04	P03_E15	GT Aulas Grandes	61.59
Aula PP06	P03_E16	GT Aulas Grandes	61.59
Aula PP07	P03_E17	GT Aulas Grandes	61.59
Seminario PP02	P03_E18	GT Seminarios	30.10
Pasillo PP02	P03_E19	NO ACONDICIONADO	70.62
Pasillo conexión PP02	P03_E20	NO ACONDICIONADO	71.26
Aula PP09	P03_E21	GT Aulas Grandes	61.59
Aula PP11	P03_E22	GT Aulas Grandes	61.57
Aula PP10	P03_E23	GT Aulas Grandes	61.54
Pasillo conexión PP03	P03_E24	NO ACONDICIONADO	33.19
Laboratorio de química	P03_E25	GT Laboratorios	61.74
Seminario PP01	P03_E26	GT Seminarios	30.17
Laboratorio de biología	P03_E27	GT Laboratorios	60.20
Aseo PP02	P03_E28	NO ACONDICIONADO	32.94
Pasillo PP03	P03_E29	NO ACONDICIONADO	60.60

La segunda planta se distribuye en:

- Superficie acondicionada: 949.38 m<sup>2</sup>.
- Superficie no acondicionada: 399.91 m<sup>2</sup>.

La planta sótano se distribuye en:

- Superficie acondicionada: 99.25 m<sup>2</sup>.
- Superficie no acondicionada: 134.61 m<sup>2</sup>.

Tabla 5. Descripción de los espacios de la segunda planta.

Local	Código	Tipo de espacio	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>Planta segunda</b>	<b>P04</b>		1346.29
Aula música	P04_E01	GT Aula Música	67.27
Seminario de música	P04_E02	GT Seminarios	16.24
Almacén PSS	P04_E03	NO ACONDICIONADO	6.78
Aseo PSS01	P04_E04	NO ACONDICIONADO	14.48
Aula PSS02	P04_E05	GT Aulas Grandes	50.66
Aula PSS01	P04_E06	GT Aulas Grandes	48.62
Pasillo PSS01	P04_E07	NO ACONDICIONADO	74.81
Pasillo conexión PSS01	P04_E08	NO ACONDICIONADO	32.23
Aula PSS03	P04_E09	GT Aulas Grandes	61.28
Aula PSS05	P04_E10	GT Aulas Grandes	61.94
Seminario PSS06	P04_E11	GT Seminarios	22.82
Seminario PSS05	P04_E12	GT Seminarios	22.96
Seminario PSS04	P04_E13	GT Seminarios	22.96
Seminario PSS03	P04_E14	GT Seminarios	22.95
Pasillo PSS03	P04_E15	NO ACONDICIONADO	71.26
Seminario PSS02	P04_E16	GT Seminarios	30.10
Aula PSS07	P04_E17	GT Aulas Grandes	61.59
Aula PSS06	P04_E18	GT Aulas Grandes	61.59
Aula PSS04	P04_E19	GT Aulas Grandes	61.59
Pasillo PSS02	P04_E20	NO ACONDICIONADO	71.62
Aula PSS08	P04_E21	GT Aulas Grandes	61.59
Aula PSS09	P04_E22	GT Aulas Grandes	61.57
Aula informática	P04_E23	GT Aula Informática	61.54
Laboratorio de física	P04_E24	GT Laboratorios	61.74
Seminario PSS01	P04_E25	GT Seminarios	30.17
Aula PSS10	P04_E26	GT Aulas Grandes	60.20
Aseo PSS02	P04_E27	NO ACONDICIONADO	32.94
Pasillo PSS04	P04_E28	NO ACONDICIONADO	60.60
Pasillo conexión PSS02	P04_E29	NO ACONDICIONADO	33.19

Tabla 6. Descripción de los espacios del sótano.

Local	Código	Tipo de espacio	Superficie (m <sup>2</sup> )
<b>Planta sótano</b>	<b>P01</b>		233.86
Aula PS01	P01_E01	GT Aulas Grandes	73.01
Aula PS02	P01_E02	GT Seminarios	26.24
Sala caldera PS	P01_E03	NO ACONDICIONADO	17.74
Sala grupo electrógeno	P01_E04	NO ACONDICIONADO	5.73
Almacén PS	P01_E05	NO ACONDICIONADO	3.65
Sala depósito PS	P01_E06	NO ACONDICIONADO	23.55
Hueco PS01	P01_E07	NO ACONDICIONADO	41.95
Hueco PS02	P01_E08	NO ACONDICIONADO	41.99

### 6.3. Envoltente térmica

En la Tabla 7 se muestra los distintos tipos de cerramientos que forman la envoltura del bloque de edificios y los materiales que los componen.

Tabla 7. Materiales constructivos. Envoltura.

<b>Cerramientos</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Componentes</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Transmitancia térmica (W/(m<sup>2</sup>K))</b>
<b>Cubierta</b>	Arena y grava	0.020	0.88
	EPS Poliestireno Expandido	0.020	
	Betún fieltro o lámina	0.003	
	Mortero de cemento	0.010	
	Hormigón celular curado en autoclave	0.020	
	FR entrevigado de hormigón aligerado	0.250	
	Enlucido de yeso	0.020	
<b>Forjado exterior</b>	Azulejo cerámico	0.020	0.67
	EPS Poliestireno Expandido	0.030	
	Betún fieltro o lámina	0.003	
	Mortero de cemento	0.020	
	FR Entrevigado de hormigón aligerado	0.300	
	Mortero de cemento	0.020	
<b>Forjado interior</b>	Azulejo cerámico	0.020	2.36
	Mortero de cemento	0.020	
	FR Entrevigado de hormigón	0.300	
	Enlucido de yeso	0.020	
<b>Muro exterior</b>	½ pie LM métrico	0.115	1.06
	Mortero de cemento	0.010	
	EPS Poliestireno Expandido(0.037w/mk)	0.020	
	Tabique de LH sencillo	0.040	
	Enlucido de yeso	0.010	
<b>Muro interior</b>	Enlucido de yeso	0.010	2.28
	Tabicón de LH triple	0.100	
	Enlucido de yeso	0.010	



En la Tabla 8 se listan los materiales de las ventanas y las puertas.

Tabla 8. Materiales constructivos. Huecos.

<b>Huecos</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Componentes</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Transmitancia térmica (W/(m<sup>2</sup>*K))</b>
<b>Puerta aula</b>	Vidrio monolítico	0.004	2.2
	Marco de madera de densidad media alta	-	
<b>Puerta exterior</b>	Vidrio monolítico	0.004	5.7
	Marco metálico sin rotura de puente térmico	-	
<b>Puerta interior</b>	Metálico	-	5.7
<b>Ventana edificio antiguo</b>	Vidrio monolítico	0.004	5.7
	Marco metálico sin rotura de puente térmico	-	
<b>Ventana edificio nuevo</b>	Vidrio doble	4-6-4(mm)	2.6
	Marco metálico con rotura de puente térmico	-	

#### 6.4. Consumo eléctrico y de gasóleo.

El instituto tiene contratada una tarifa de electricidad con discriminación horaria de tres periodos, distinguiendo los periodos punta, llano y valle. En los tres periodos tiene contratada la misma potencia, de 50 kW.

La potencia real del instituto no llega a la potencia contratada de 50 kW, sino que es inferior al 85% de está. Según las facturas facilitadas por el centro, el máximo valor registrado por el máxímetro es de 34 kW.

En cuanto al consumo de gasóleo C para calefacción y agua caliente sanitaria, anualmente el instituto adquiere 2000 l de dicho combustible.

#### 6.5. Sistemas de acondicionamiento e iluminación.

El instituto tiene únicamente sistema de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). El sistema de calefacción está compuesto por dos calderas de gasóleo (Tabla 9) y radiadores instalados en los espacios acondicionados.

Tabla 9. Calderas Calefacción

	Potencia nominal (kW)	Rendimiento (%)
Caldera antigua	183	85
Caldera nueva	58.15	90

Los radiadores son de agua caliente de chapas de acero. Las potencias caloríficas de los radiadores instalados en cada espacio se muestran en la Tablas 10, 11, 12 y 13. Asimismo, se lista en las mismas tablas el número de tubos fluorescentes por espacio y el número de ordenadores.

Tabla 10. Inventario planta baja.

Local	Potencia radiadores (kW)	Número de tubos fluorescentes	Número de Ordenadores
<b>Planta baja</b>			
Pasillo PB05	-	10	-
Almacén PB	-	-	-
Seminario Tecnología	1.54	4	1
Taller Tecnología	9.24	28	10
Pasillo conexión PB01	-	2	-
Sala consultas	1	4	-
Despacho director	1.45	4	2
Despacho jefe de estudios	1.74	4	2
Aula magna	13.37	32	1
Pasillo PB02	-	10	-
Aseo profesores	-	-	-
Sala profesores	4.08	8	2
Despacho psicopedagoga	1.28	4	2
Biblioteca	6.88	16	-
Secretaría	3.84	4	2
Pasillo PB01	-	10	-
Aseo PB02	-	-	-
Aseo PB03	-	-	-
Cantina	-	-	-
Almacén PB02	-	-	-
Pasillo PB03	-	10	-
Sala caldera	-	-	-
Vivienda conserje	7.89	8	-
Patio interior	-	-	-
Pasillo conexión PB02	-	2	-
Aseo PB01	-	-	-
Sala limpieza	-	-	-

Tabla 11. Inventario planta primera.

Local	Potencia radiadores (kW)	Número de tubos fluorescentes	Número de Ordenadores
<b>Planta primera</b>			
Aula plástica	6.89	16	1
Aula PP01	3.89	12	1
Aula PP02	4.54	12	1
Aseo PP01	-	-	1
Seminario de plástica 02	0.49	4	1
Seminario de plástica 01	0.89	4	1
Almacén PP01	-	-	-
Sala limpieza PP	-	-	-
Pasillo PP01	-	10	-
Pasillo conexión PP01	-	2	-
Aula PP03	5.4	12	1
Aula PP05	5.4	12	1
Aula PP08	5.4	13	1
Seminario PP03	2.62	4	1
Aula PP04	5.4	12	1
Aula PP06	5.4	12	1
Aula PP07	5.4	12	1
Seminario PP02	2.62	4	1
Pasillo PP02	-	10	-
Pasillo conexión PP02	-	10	-
Aula PP09	5.4	12	1
Aula PP11	5.4	12	1
Aula PP10	5.4	12	1
Pasillo conexión PP03	-	2	-
Laboratorio de química	5.4	28	2
Seminario PP01	2.62	4	1
Laboratorio de biología	5.4	28	2
Aseo PP02	-	-	-
Pasillo PP03	-	10	-

Tabla 12. Inventario planta segunda.

Local	Potencia radiadores (kW)	Número de tubos fluorescentes	Número de Ordenadores
<b>Planta segunda</b>			
Aula música	6.49	32	2
Seminario de música	1.3	4	1
Almacén PSS	-	-	-
Aseo PSS01	-	-	-
Aula PSS02	5.19	12	1
Aula PSS01	6.89	12	1
Pasillo PSS01	-	10	-
Pasillo conexión PSS01	-	2	-
Aula PSS03	5.4	12	1
Aula PSS05	5.4	12	1
Seminario PSS06	2	4	1
Seminario PSS05	2	4	1
Seminario PSS04	2	4	1
Seminario PSS03	2	4	1
Pasillo PSS03	-	10	-
Seminario PSS02	2.62	4	1
Aula PSS07	5.4	12	1
Aula PSS06	5.4	12	1
Aula PSS04	5.4	12	1
Pasillo PSS02	-	10	-
Aula PSS08	5.4	12	1
Aula PSS09	5.4	12	1
Aula informática	5.4	12	31
Laboratorio de física	5.4	28	2
Seminario PSS01	2.62	4	1
Aula PSS10	5.4	12	1
Aseo PSS02	-	-	-
Pasillo PSS04	-	10	-
Pasillo conexión PSS02	-	2	-

Tabla 13. Inventario planta sótano.

Local	Potencia radiadores (kW)	Número de tubos fluorescentes	Número de Ordenadores
<b>Planta sótano</b>			
Aula PS01	5.4	12	1
Aula PS02	2.62	4	1
Sala caldera PS	-	-	-
Sala grupo electrógeno	-	-	-
Almacén PS	-	-	-
Sala depósito PS	-	-	-
Hueco PS01	-	-	-
Hueco PS02	-	-	-

La instalación de agua caliente sanitaria está formada por una caldera de 23.25 kW y un depósito de acumulación de 2000 l. El conjunto del sistema de ACS abastece las 6 duchas del vestuario.

## 7. EL MODELO DE SIMULACIÓN

### 7.1. Introducción

En este apartado se presentan las bases teóricas en las que se basa la certificación energética (IDAE, 2015) empleado por el programa informático.

El conjunto de varios indicadores energéticos conforma la calificación energética. Los indicadores principales son:

- Las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año).
- El consumo anual de energía primaria no renovable (kWh/m<sup>2</sup> año).

El indicador de consumo anual de energía primaria no renovable se puede desglosar en indicadores parciales:

- Consumo en energía primaria en calefacción.
- Consumo en energía primaria en refrigeración.
- Consumo en energía primaria en ACS.
- Consumo en energía primaria en iluminación.

La calificación se estructura en una escala de 7 letras, desde la A (más eficiente) a la G (menos eficiente). Para conocer qué letra tiene un determinado indicador se tiene que obtener el índice de calificación C. Los intervalos para edificios terciarios se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Calificación energética e índices para edificios terciarios.

Calificación	Índice
A	$C < 0.40$
B	$0.40 \leq C < 0.65$
C	$0.65 \leq C < 1.00$
D	$1.00 \leq C < 1.30$
E	$1.30 \leq C < 1.60$
F	$1.60 \leq C < 2.00$
G	$2.00 \leq C$

El índice de calificación C se obtiene dividiendo el indicador de eficiencia energética del edificio objeto ( $I_o$ ) entre el indicador del edificio de referencia ( $I_r$ ):

$$C = \frac{I_o}{I_r} \quad (1)$$

Para el cálculo del índice global de emisiones de CO<sub>2</sub> se emplean unos coeficientes de paso de energía final que están directamente relacionados con el tipo de combustible utilizado.

$$\text{Emisiones } CO_2 = \text{Energía final} \times \text{Factor de emisión} \quad (2)$$

En la Tabla 15 se muestra los factores de emisión para los combustibles más frecuentes.

Tabla 15. Factores de emisión según fuente de energía. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento (2014)

Fuente de energía	Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> /kWh E. final)
Gasóleo calefacción	0.311
GLP	0.254
Gas natural	0.252
Carbón	0.472
Biomasa (densificada y no densificada)	0.018

$$\text{Consumo energético final} = \frac{\text{Demanda de energía final}}{\text{Rendimiento del sistema}} - \text{Aporte Energía renovables} \quad (3)$$

Para pasar del consumo energético final al primario se multiplica por un factor de conversión (expresión 4):

$$\text{Consumo energético primario} = \text{Consumo energético final} \times \text{Factor de conversión} \quad (4)$$

En la Tabla 16 se muestra los factores de conversión.

Tabla 16. Factores de conversión según fuente de energía. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento (2014)

Fuente de energía	Factor de conversión (kWh Energía primaria/kWh Energía final)
Gasóleo calefacción	1.179
GLP	1.201
Gas natural	1.190
Carbón	1.082
Biomasa no densificada	0.034
Biomasa densificada (pellets)	0.085

## 7.2. Herramienta Unificada Lider-Calener.

En este apartado se realiza una introducción al programa informático empleado para realizar la simulación, la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC). HULC está compuesta por dos programas diferentes, LIDER y CALENER.

El programa LIDER se emplea para verificar las secciones HE0 y HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE). En LIDER se implementa el modelo de simulación con los datos referentes a los materiales de construcción, los huecos, las cargas internas y su horario de aplicación.

El programa CALENER se emplea para realizar la certificación energética. Existe dos variantes de este programa, CALENER VyP y CALENER GT. El primero se utiliza para la certificación de edificios de viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos, el segundo certifica grandes edificios terciarios. La diferencia de las dos versiones radica en que Calener GT permite introducir sistemas de iluminación y realizar una introducción más detallada de los sistemas de acondicionamiento.

Para utilizar HULC se debe crear un modelo de simulación con la geometría correspondiente en LIDER, después se exporta el modelo a CALENER para implementar los sistemas de acondicionamiento y la iluminación. Finalizado el proceso de CALENER, se procede a la obtención de la etiqueta energética.

El número de espacios y elementos que se puede definir en el programa está limitado. El máximo número de espacios que se pueden crear es 100 y el máximo de elementos, 500 (Manual del usuario HULC, 2015). Para cumplir con dichas restricciones, se realizan algunas simplificaciones:

- En los aseos de todas las plantas se ha considerado un espacio único, teniendo en realidad compartimentos que separan los retretes.
- Se ha obviado también los huecos de las escaleras de todas las plantas. Al ser zonas de tránsito y no disponer de elementos de consumo energético, no supone un error significativo.

Una vez tenido en cuenta los factores anteriores, los planos originales del instituto se convierten en las Figuras 3, 4, 5 y 6, los cuales han sido la base para realizar el modelo geométrico (Figuras 7 y 8).

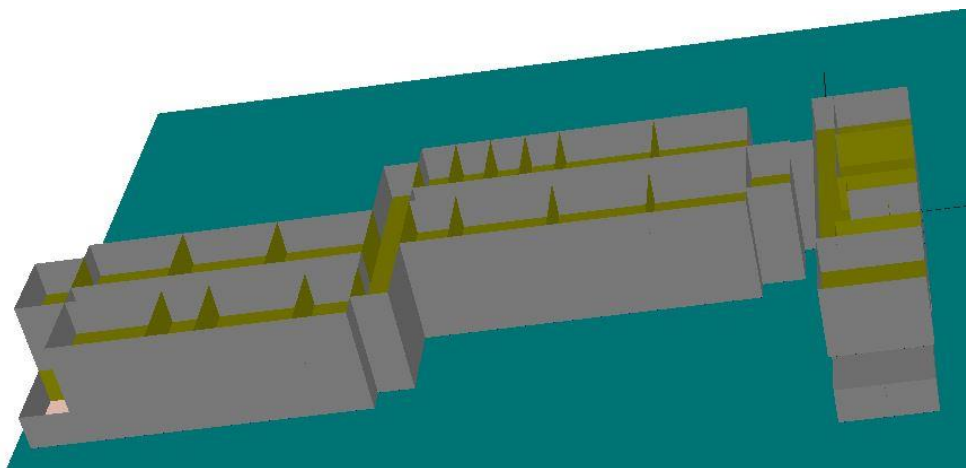


Figura 7. Modelo de la segunda planta.



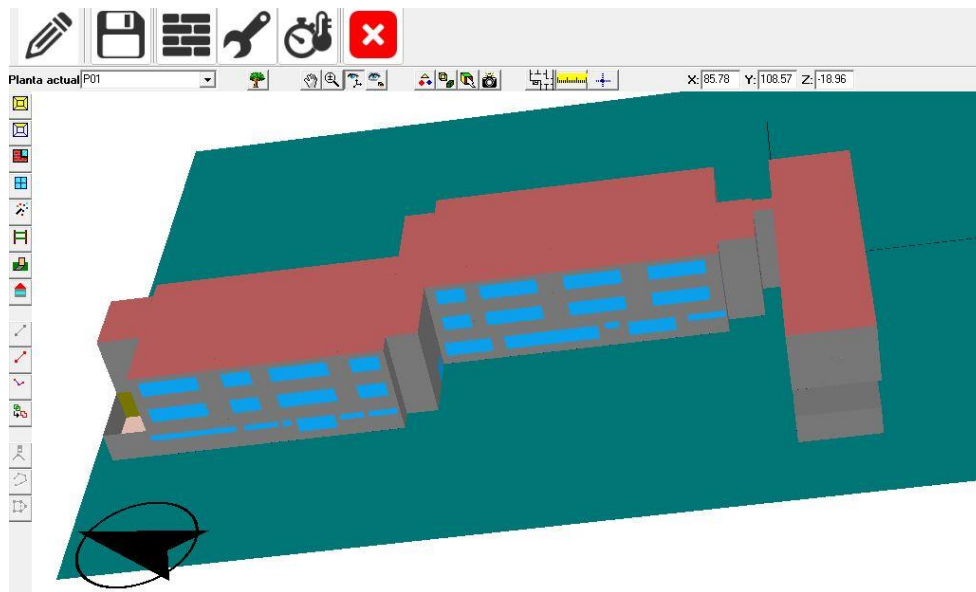


Figura 8. Modelo geométrico del instituto.

### 7.3. Creación de los cerramientos y huecos

Para implementar el modelo del instituto es necesario caracterizar los materiales del edificio, para así simular correctamente las pérdidas de potencia calorífica.

Teniendo presente el apartado 6.3, se crea uno a uno dichos cerramientos y huecos, con sus correspondientes materiales.

En las Figuras 9, 10 y 11 se muestra un ejemplo de definición de los elementos constructivos.

Grupo Cerramientos

Nombre

Composición del Cerramiento:  
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).  
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Azulejo cerámico	0.020	1.300	2300	840	
2	EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]	0.030	0.029	30	1000	
3	Betún fieltro o lámina	0.003	0.230	1100	1000	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.020	0.400	875	1000	
5	FR Entrevigado de hormigón aligerado -Canto	0.300	1.838	1570	1000	
6	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.020	0.400	875	1000	
7						

Figura 9. Creación de los cerramientos en HULC.

Grupo VENTANA1  
Nombre Ventana\_EA

Propiedades

Grupo Vidrio Monolíticos en posición vertical  
Vidrio VER\_M\_4

Grupo Marco Metálicos en posición vertical  
Marco VER\_Normal sin rotura de puente térmico

% hueco cubierto por el marco 10.00  ¿Es una puerta?

Permeabilidad al aire 50.00 m³/hm² a 100 Pa

Aceptar

Figura 10. Creación de las ventanas en HULC.

Grupo Puertas  
Nombre Puerta\_Aulas

Propiedades

Grupo Vidrio Monolíticos en posición vertical  
Vidrio VER\_M\_4

Grupo Marco De Madera en posición vertical  
Marco VER\_Madera de densidad media alta

% hueco cubierto por el marco 80.00  ¿Es una puerta?

Permeabilidad al aire 60 m³/hm² a 100 Pa

Figura 11. Creación de las puertas en HULC.

#### 7.4. Modelo detallado

Para modelar los espacios de cada planta es necesario definir un polígono y asociar cada espacio a la planta en cuestión. Para delimitar un espacio se crean los cerramientos del contorno.

Una vez finalizada la caracterización de las plantas con sus correspondientes espacios y cerramientos, se incluyen los huecos (puertas y ventanas).

En la Figura 12 se puede visualizar el modelo detallado con las ventanas y puertas incluidas.

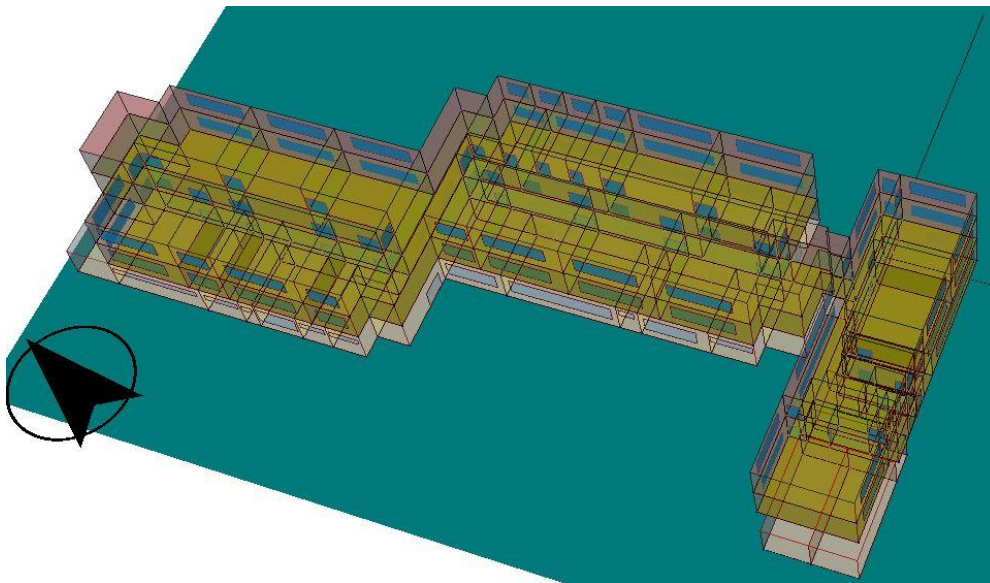


Figura 12. Modelo geométrico detallado.

## 7.5. Condiciones operacionales

A continuación, se definen las condiciones operacionales. Estas incluyen los horarios de uso de los espacios del instituto, el horario de funcionamiento de los equipos de acondicionamiento y la ventilación. Además, se establecen las cargas internas y las renovaciones de aire de cada espacio (Figura 13).

Nombre: GT\_Aulas\_Grandes

Cargas internas | Ventilación/ Infiltración | Equipo de acondicionamiento | Otros horarios (CALENER-GT)

**Ocupación**

Descripción: Definido por usuario

Potencia (W/persona): 119.62 [Desglose]

Horario: Cargas\_Internas\_Instituto

Personas

Área/Personas: 1.50

**Iluminación**

Tipo iluminación: Fluorescente suspendida

Potencia de iluminación:

kW: 0.60

W/Área

Horario: Cargas\_Internas\_Instituto

**Equipos**

Descripción: Descripción01

Potencia de equipos:

kW: 0.13

W/Área

Horario: Cargas\_Internas\_Instituto

Figura 13. Condiciones operacionales. Cargas internas.

En la Tabla 17 se listan los valores para los diferentes espacios.

Tabla 17. Condiciones operacionales.

Espacio	Ocupación (m <sup>2</sup> /per)	Calor sensible (W/per)	Calor latente (W/per)	Equipos (kW)	Iluminación (kW)	Infiltración (rev/h)
GT Aulas Grandes	1.5	69.76	45.42	0.125	0.6	1
GT Seminarios	1.5	69.76	45.42	0.125	0.2	1
GT Despachos	10	69.76	45.42	0.25	0.2	1
GT Biblioteca	2	69.76	45.42	-	0.8	1
GT Salón de actos	2	69.76	45.42	0.125	1.6	1
GT Pasillo	2	69.76	45.42	-	0.5	1
GT Pasillo Conexión	2	69.76	45.42	-	0.1	1
GT Aula Informática	2	69.76	45.42	3.875	0.6	1
GT Taller Tecnología	5	69.76	45.42	1.25	1.4	1
GT Aula Plástica	5	69.76	45.42	0.375	0.8	1
GT Aula Música	5	69.76	45.42	0.375	1.6	1
GT Laboratorios	5	69.76	45.42	0.25	1.4	1
NO ACONDICIONADO	-	-	-	-	-	0.5

A continuación, se justifican los valores expuestos en la Tabla 17. La ocupación por superficie se ha extraído del Documento Básico Seguridad en caso de Incendio (2010).

Respecto al calor emitido por los equipos, se ha tenido en cuenta el de los ordenadores que hay en cada aula. Para ello se ha considerado que un ordenador en funcionamiento emite 125 W de potencia calorífica.

En cuanto a la iluminación, se lista el consumo de las lámparas junto a los equipos auxiliares (expresión 5). Para las luminarias fluorescentes se ha considerado que el consumo de los equipos auxiliares supone el 25 % (Equipos y eficiencia en alumbrado exterior, 2012) de la potencia nominal del tubo.

$$P_{total} = 1.25 \times N_{tubos} \times P_u \quad (5)$$

donde

- $P_{total}$ : consumo de la lámpara y el equipo auxiliar.
- $N_{tubos}$ : número de tubos que existe, disponible en la Tabla 19.
- $P_u$ : potencia nominal de un tubo fluorescente.

La infiltración se refiere a la renovación de aire de los espacios, mediante equipos de renovación y tratamiento primario de aire. En el centro objeto de estudio no se dispone de estos equipos por lo que se ha dejado el valor que proporciona el programa por defecto (1 renovaciones/hora) para los espacios frecuentados, y se ha reducido a 0.5 renovaciones/hora para los espacios no acondicionados y poco frecuentados.

A las cargas internas, ventilación e iluminación se le han asignado valores máximos en las horas de apertura del instituto, de 8 horas a las 15 horas, y valores nulos en el resto del día. En la Tabla 18 se listan los horarios introducidos en el programa.

Tabla 18. Horarios introducidos.

Nombre	Horario L-V	Horario S-D	Horario Lectivo	Horario Vacaciones	Horario anual
Cargas internas, ventilación e iluminación	0h – 8h: 0	0h – 24h: 0	Lunes a viernes: Horario L-V  Sábado a domingo: Horario S-D	Lunes a domingo: Horario S-D	01/01 – 07/01: Horario vacaciones
					08/01 – 15/04: Horario clases
	8h – 15h: 1				16/04 – 29/04: Horario vacaciones
					30/04 – 17/06: Horario Clases
					18/06 – 09/09: Horario vacaciones
	15h – 24h: 0				10/09 – 23/12: Horario clases
	24/12 – 31/12: Horario vacaciones				
Calefacción	0h – 8h: 0	0h – 24h: 0	Lunes a viernes: Horario L-V  Sábado a domingo: Horario S-D	Lunes a domingo: Horario S-D	01/01 – 07/01: Horario vacaciones
	8h – 12h: 1				08/01 – 10/03: Horario clases
					11/03 – 11/10: Horario vacaciones
	12h – 24h: 0				12/10 – 24/12: Horario clases
	24/12 – 31/12: Horario vacaciones				
ACS	0h – 8h: 0	0h – 24h: 0	Lunes a viernes: Horario L-V  Sábado a domingo: Horario S-D	Lunes a domingo: Horario S-D	01/01 – 07/01: Horario vacaciones
					08/01 – 15/04: Horario clases
					16/04 – 29/04: Horario vacaciones
	8h – 15h: 0.2				30/04 – 17/06: Horario Clases
					18/06 – 09/09: Horario vacaciones
	15h – 24h: 0				10/09 – 23/12: Horario clases
	24/12 – 31/12: Horario vacaciones				

## 7.6. Definición de los sistemas de acondicionamiento

En este apartado se describen los sistemas de acondicionamiento incluidos en el modelo de CALENER GT, paso previo al cálculo de la etiqueta. En este caso solo existe calefacción por radiadores y servicio de agua caliente sanitaria (ACS).

Para caracterizar el consumo energético de la calefacción y ACS se crean dos circuitos, uno que simula el flujo de agua caliente para calefacción (Figura 14) y otro para el ACS (Figura 15).

Debido a que el centro dispone de dos calderas de gasóleo, una que abastece el bloque antiguo y otra de nueva incorporación para el bloque nuevo, es necesario crear dos circuitos distintos para cada caldera. En definitiva, se crean tres circuitos de agua, dos para calefacción y uno para ACS.

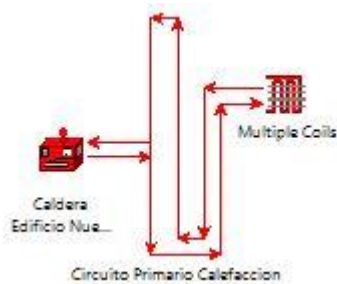


Figura 14. Circuito agua caliente Calefacción



Figura 15. Circuito ACS

Para definir las calderas en el programa es necesario introducir los valores de la potencia calorífica, tipo de combustible y rendimiento. En la Tabla 19 se lista dicha información.

Tabla 19. Datos calderas.

	<b>Combustible</b>	<b>Potencia nominal (kW)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>Caldera antigua</b>	Gasóleo	183	85
<b>Caldera nueva</b>	Gasóleo	58.15	90
<b>Caldera ACS</b>	Gasóleo	23.25	90

A continuación, se crean los subsistemas secundarios que representan los radiadores y se enlazan a los circuitos hidráulicos correspondientes. En la Tabla 20 se listan los radiadores que se han definido en el programa, con sus correspondientes potencias.

Tabla 20. Radiadores y espacios asociados.

<b>Radiadores</b>	<b>Potencia (kW)</b>
Taller de tecnología	9.24
Seminario de tecnología	1.54
Aula PP01	3.89
Aula PP02	4.54
Taller de plástica	6.89
Aula PSS02	5.19
Seminario de música	1.30
Seminario de plástica 1	0.89
Seminario de plástica 2	0.49
Sala de consultas	1
Despacho director	1.45
Despacho jefe de estudios	1.74
Aula magna	13.37
Sala profesores	4.08
Despacho psicopedagoga	1.28
Biblioteca	6.88
Secretaria	3.84
Vivienda conserje	7.89
Aula grande viejo	5.40
Seminario AG	2.62
Seminario AP	2
Aula de música	6.49
No acondicionado	0

A continuación, se vinculan los espacios acondicionados y los radiadores para simular el consumo de calefacción.

Respecto al circuito de ACS, para su definición se necesitan tres parámetros:

- La temperatura del agua de la red en Alicante dependiendo del mes del año.
- El caudal máximo en litros/hora.
- La capacidad del acumulador, siendo de 2000 l en este caso.

El agua caliente sanitaria se reparte en las 6 duchas del vestuario. Para determinar el caudal máximo se ha considerado el valor de 0.2 l/s como valor máximo unitario de una ducha. Multiplicando el valor de 0.2 l/s por el número de duchas, se obtiene el caudal máximo que tiene que entregar el circuito de ACS.

$$\text{Caudal máximo ACS} = \frac{0.2l}{s} \times 6 = \frac{1.2l}{s} = 4320l/h$$

## 7.7. Iluminación

Se revisa el apartado de la iluminación artificial, en concreto, el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI). El programa define por defecto un valor de VEEI y VEEI limite, que puede variar

considerablemente en función de las características de los espacios, por lo que es necesario realizar el cálculo del VEEI y consultar en la normativa el valor del VEEI límite.

Según el Documento Base Ahorro de Energía, sección HE3 eficiencia energética (2017), en las instalaciones de iluminación, el VEEI se define como:

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_m} \quad (6)$$

siendo:

- P, la potencia instalada incluyendo los equipos auxiliares (W).
- S, la superficie iluminada (m<sup>2</sup>).
- E<sub>m</sub>, la iluminancia media horizontal mantenida (lux).

Para hallar la VEEI (expresión 6) solo falta determinar el valor de la iluminancia media (E<sub>m</sub>).

El valor del VEEI límite se encuentra tabulado en dicho Documento Base. Para los espacios del centro educativo, los valores a tener en cuenta se listan en la Tabla 21.

Tabla 21. Valores límites de eficiencia energética

Zona de actividad diferenciada	VEEI límite
Administrativo	3.0
Aulas y laboratorio	3.5
Zonas comunes: pasillos, vestíbulos	4.0
Biblioteca	5.0
Salón de actos	8.0

La expresión 7 permite estimar el flujo luminoso (método de los lúmenes):

$$E_m = \frac{\Phi_T \times S}{C_u \times C_m} \quad (7)$$

donde:

- $\Phi_T$ , es el flujo luminoso total en un espacio.
- E<sub>m</sub>, es la iluminancia media.
- S, es la superficie iluminada.
- C<sub>u</sub>, es el factor de utilización que varía en función del tipo de luminaria, proporcionado por el fabricante.
- C<sub>m</sub>, es el factor de mantenimiento. Indica el grado de conservación de una luminaria.

El flujo luminoso se obtiene multiplicando el número de tubos fluorescentes instalados y el flujo de un tubo unitario. Para los tubos fluorescentes convencionales el flujo luminoso es aproximadamente 3000 lúmenes.

$$\Phi_T = N_{tubos} \times 3000 \quad (8)$$



Se ha tomado cómo superficie iluminada la superficie total de cada espacio, mostrado en las Tablas 3, 4, 5 y 6.

Se aceptan dos valores simplificados de factor de mantenimiento (José Roger Folch, Martín Riera Guasp y Carlos Roda Porta, 2010), dependiendo de la suciedad y el desgaste de las luminarias (Tabla 22).

Tabla 22. Coeficientes de mantenimiento

Condiciones	C <sub>m</sub>
Limpio	0.8
Sucio	0.6

En este caso se ha considerado el valor de 0.6 por antigüedad de las luminarias. El coeficiente de utilización indica la relación existente entre los lúmenes de la lámpara y los que realmente llegan al plano de trabajo. Para determinar este factor hay tener en cuenta las dimensiones geométricas del espacio y los coeficientes de reflexión de las paredes y el techo. El fabricante de las luminarias proporciona este valor en tablas. En este caso, se han utilizado valores genéricos de luminarias de tubos fluorescentes.

Para determinar el valor del factor de utilización se necesita fijar previamente el índice del local y los factores de reflexión. El índice del local K (expresión 9) depende de la geometría del espacio, para una iluminación directa el índice se calcula como:

$$K = \frac{a \times b}{h \times (a + b)} \quad (9)$$

donde:

- a, es la longitud del espacio (m).
- b, es la anchura del espacio (m).
- h, es la altura al plano útil de trabajo (m).

Se ha considerado que h = 2.5 m, siendo la altura de las plantas de 3 m.

Respecto los coeficientes de reflexión se han tomado los valores listados en la Tabla 23, en función del color y el material que tienen las superficies.

Tabla 23. Coeficiente de reflexión.

Superficie	Coeficiente de reflexión
Techo: blanco	0.7
Paredes: blanco	0.7
Plano útil: madera clara	0.3

Obtenidos los valores de la K para cada espacio y en función del coeficiente de reflexión, se determina el factor de utilización (Tabla 24) para cada espacio.

Tabla 24. Factor de utilización.

Factores de reflexión										
Techo	0.8		0.7					0.5		0.3
Paredes	0.7		0.7		0.5		0.3	0.3	0.1	0.3
Plano útil	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Índice del local	Rendimiento del local									
0.60	0.72	0.66	0.7	0.65	0.58	0.56	0.50	0.55	0.49	0.49
0.80	0.83	0.76	0.81	0.74	0.70	0.66	0.60	0.64	0.59	0.59
1.00	0.91	0.81	0.88	0.80	0.77	0.72	0.66	0.71	0.66	0.65
1.25	0.98	0.87	0.95	0.85	0.85	0.79	0.73	0.77	0.73	0.72
1.50	1.02	0.90	0.99	0.88	0.90	0.82	0.77	0.81	0.76	0.75
2.00	1.08	0.94	1.05	0.94	0.97	0.88	0.83	0.86	0.82	0.81
2.50	1.12	0.97	1.09	0.95	1.02	0.91	0.87	0.89	0.86	0.85
3.00	1.15	0.99	1.11	0.97	1.05	0.93	0.90	0.91	0.89	0.87
4.00	1.19	1.01	1.14	0.99	1.09	0.96	0.94	0.94	0.92	0.90
5.00	1.21	1.02	1.16	1.01	1.12	0.98	0.96	0.96	0.94	0.91

En las Tablas 25, 26, 27 y 28 se lista la VEEI calculada para cada espacio y los parámetros necesarios para su determinación.

Siendo:

- a y b, dimensiones del espacio.
- P/S, potencia instalada por superficie del espacio.
- $N_{\text{tubos}}$ , número de tubos instalados en cada espacio.
- K, índice del local.
- $C_u$ , coeficiente de utilización.
- $E_m$ , iluminancia media.
- VEEI, valor de la eficiencia energética de la instalación.
- VEEI limite, valor de la eficiencia energética de la instalación limite.

Tabla 25. Valores de VEEI y parámetros para su cálculo. Planta sótano.

Planta sótano										
Espacio	a (m)	b (m)	N <sub>tubos</sub>	P (W)	P/S (W/m <sup>2</sup> )	K	C <sub>u</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI	VEEI límite
Aula PS01	10.98	6.65	12	600	8.22	1.7	1.02	302	2.72	3.5
Aula PS02	3.95	6.64	4	200	7.62	1.0	0.88	241	3.16	3.5
Sala caldera PS	2.3	7.71	0	0	0	0.7	0.75	0	-	4
Sala grupo electrógeno	3.14	1.82	0	0	0	0.5	0	0	-	4
Almacén PS	2	1.83	0	0	0	0.4	0	0	-	4
Sala depósito PS	8.6	2.74	0	0	0	0.8	0.81	0	-	4
Hueco PS01	9.76	4.30	0	0	0	1.2	0.94	0	-	4
Hueco PS02	9.76	4.30	0	0	0	1.2	0.94	0	-	4

Tabla 26. Valores de VEEI y parámetros para su cálculo. Planta baja.

Planta baja										
Espacio	a (m)	b (m)	N tubos	P (W)	P/S (W/m <sup>2</sup> )	K	C <sub>u</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI	VEEI límite
Pasillo PB05	8.85	6.86	10	500	8.24	1.5	0.99	294	2.81	4
Almacén PB01	2.07	7.05	0	0	0	0.6	0.7	0	-	4
Seminario Tecnología	2.3	7.33	4	200	11.86	0.7	0.75	320	3.70	3.5
Taller Tecnología	12.63	7.34	28	1400	15.1	1.9	1.04	565	2.67	3.5
Pasillo conexión PB01	7.2	4.48	2	100	3.1	1.1	0.91	102	3.05	4
Sala consultas	3.75	3.06	4	200	17.41	0.7	0.75	470	3.70	3.5
Despacho director	4.5	3.70	4	200	12.02	0.8	0.81	351	3.43	3
Despacho jefe de estudios	4.3	4.66	4	200	9.99	0.9	0.85	306	3.27	3
Aula magna	21.95	7.00	32	1600	10.41	2.1	1.06	397	2.62	8
Pasillo PB02	2.3	36.41	10	500	5.97	0.9	0.85	183	3.27	4
Aseo profesores	4.3	7.00	0	0	0	1.1	0.91	0	-	4
Sala profesores	6.7	7.00	8	200	4.26	1.4	0.97	298	1.43	3
Despacho psicopedagoga	2.1	7.00	4	200	13.6	0.6	0.7	343	3.97	3
Biblioteca	11.3	7.00	16	800	10.12	1.7	1.02	372	2.72	5
Secretaría	6.3	7.00	4	200	4.53	1.3	0.96	157	2.89	3
Pasillo PB01	2.3	30.99	10	500	7.02	0.9	0.85	215	3.27	4
Aseo PB02	3.5	6.93	0	0	0	0.9	0.85	0	-	4
Aseo PB03	3.1	7.00	0	0	0	0.9	0.85	0	-	4
Cantina	4.4	7.06	0	0	0	1.1	0.91	0	-	4
Almacén PB02	1.55	6.99	0	0	0	0.5	0	0	-	4
Pasillo PB03	12.55	2.30	10	500	17.3	0.8	0.81	504	3.43	4
Sala caldera	4.1	9.31	0	0	0	1.1	0.91	0	-	4
Vivienda conserje	9.3	9.75	8	400	4.4	1.9	1.04	165	2.67	4
Patio interior	7	4.59	0	0	0	1.1	0.91	0	-	4
Pasillo conexión PB02	7.2	4.61	2	100	3.01	1.1	0.91	99	3.05	4
Aseo PB01	1.69	2.61	0	0	0	0.4	0	0	-	4
Sala limpieza	0.9	2.66	0	0	0	0.3	0	0	-	4

Tabla 27. Valores de VEEI y parámetros para su cálculo. Planta primera.

Planta primera										
Espacio	a (m)	b (m)	N tubos	P(w)	P/S (W/m <sup>2</sup> )	K	C <sub>u</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI	VEEI límite
Aula plástica	8.85	7.60	16	800	11.89	1.6	1	428	2.78	3.5
Aula PP01	7.1	6.85	12	600	12.34	1.4	0.98	435	2.83	3.5
Aula PP02	7.4	6.85	12	600	11.84	1.4	0.98	418	2.83	3.5
Aseo PP01	6.05	2.39	0	0	0	0.7	0.75	0	-	3.5
Seminario de plástica 02	2.01	2.25	4	200	44.15	0.4	0.5	795	5.56	3.5
Seminario de plástica 01	2.45	4.78	4	200	17.09	0.6	0.7	431	3.97	3.5
Almacén PP01	1.74	2.60	0	0	0	0.4	0	0	-	4
Sala limpieza PP	0.95	2.49	0	0	0	0.3	0	0	-	4
Pasillo PP01	8.85	8.44	10	500	6.69	1.7	1.02	246	2.72	4
Pasillo conexión PP01	7.2	4.48	2	100	3.1	1.1	0.91	102	3.05	4
Aula PP03	8.8	6.96	12	600	9.79	1.6	1.01	356	2.75	3.5
Aula PP05	8.8	7.04	12	600	9.69	1.6	1.01	352	2.75	3.5
Aula PP08	8.8	7.34	13	629	9.74	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Seminario PP03	4.3	7.00	4	200	6.65	1.1	0.91	218	3.05	3.5
Aula PP04	8.8	7.00	12	600	9.74	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PP06	8.8	7.00	12	600	9.74	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PP07	8.8	7.00	12	600	9.74	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Seminario PP02	4.3	7.00	4	200	6.65	1.1	0.91	218	3.05	3.5
Pasillo PP02	2.3	30.70	10	500	7.08	0.9	0.85	217	3.27	4
Pasillo conexión PP02	3.3	21.59	10	500	7.02	1.1	0.91	230	3.05	4
Aula PP09	8.8	7.00	12	600	9.74	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PP11	8.8	7.00	12	600	9.74	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PP10	8.8	6.99	12	600	9.75	1.6	1.01	355	2.75	3.5
Pasillo conexión PP03	7.2	4.61	2	100	3.01	1.1	0.91	99	3.05	4
Laboratorio de química	8.8	7.02	28	1400	22.68	1.6	1.01	825	2.75	3.5
Seminario PP01	4.3	7.02	4	200	6.63	1.1	0.91	217	3.05	3.5
Laboratorio de biología	8.6	7.00	28	1400	23.26	1.5	0.99	829	2.81	3.5
Aseo PP02	4.7	7.01	0	0	0	1.1	0.91	0	-	4
Pasillo PP03	2.3	26.35	10	500	8.25	0.8	0.81	241	3.43	4

Tabla 28. Valores de VEEI y parámetros para su cálculo. Planta segunda.

Planta segunda										
Espacio	a (m)	b (m)	P (W)	P/S (W/m <sup>2</sup> )	N <sub>tubos</sub>	K	C <sub>u</sub>	E <sub>m</sub> (lux)	VEEI	VEEI límite
Aula música	8.85	7.60	1600	23.79	32	1.6	1.01	865	2.75	3.5
Seminario de música	2.45	6.63	200	12.32	4	0.7	0.75	333	3.70	3.5
Almacén PSS	2.5	2.71	0	0	0	0.5	0	0	-	4
Aseo PSS01	2.41	6.01	0	0	0	0.7	0.75	0	-	4
Aula PSS02	7.4	6.85	600	11.84	12	1.4	0.98	418	2.83	3.5
Aula PSS01	7.1	6.85	600	12.34	12	1.4	0.98	435	2.83	3.5
Pasillo PSS01	8.85	8.45	500	6.68	10	1.7	1.02	245	2.72	4
Pasillo conexión PSS01	7.2	4.48	100	3.1	2	1.1	0.91	102	3.05	4
Aula PSS03	8.8	6.96	600	9.79	12	1.6	1.01	356	2.75	3.5
Aula PSS05	8.8	7.04	600	9.69	12	1.6	1.01	352	2.75	3.5
Seminario PSS06	3.28	6.96	200	8.77	4	0.9	0.85	268	3.27	3.5
Seminario PSS05	3.28	7.00	200	8.71	4	0.9	0.85	267	3.27	3.5
Seminario PSS04	3.28	7.00	200	8.71	4	0.9	0.85	267	3.27	3.5
Seminario PSS03	3.28	7.00	200	8.71	4	0.9	0.85	267	3.27	3.5
Pasillo PSS03	3.3	21.59	500	7.02	10	1.1	0.91	230	3.05	4
Seminario PSS02	4.3	7.00	200	6.65	4	1.1	0.91	218	3.05	3.5
Aula PSS07	8.8	7.00	600	9.74	12	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PSS06	8.8	7.00	600	9.74	12	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PSS04	8.8	7.00	600	9.74	12	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Pasillo PSS02	2.3	30.70	500	7.08	10	0.9	0.85	217	3.27	4
Aula PSS08	8.8	7.00	600	9.74	12	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula PSS09	8.8	7.00	600	9.74	12	1.6	1.01	354	2.75	3.5
Aula informática	8.8	6.99	600	9.75	12	1.6	1.01	355	2.75	3.5
Laboratorio de física	8.8	7.02	1400	22.68	28	1.6	1.01	825	2.75	3.5
Seminario PSS01	4.3	7.02	200	6.63	4	1.1	0.91	217	3.05	3.5
Aula PSS11	8.6	7.00	600	9.97	12	1.5	0.99	355	2.81	3.5
Aseo PSS02	4.7	7.01	0	0	0	1.1	0.91	0	-	4
Pasillo PSS04	2.3	26.35	500	8.25	10	0.8	0.81	241	3.43	4
Pasillo conexión PSS02	4.6	7.22	100	3.01	2	1.1	0.91	99	3.05	4

Tras el análisis del VEEI, menos 8 espacios todos los demás cumplen el valor del VEEI límite. Este hecho no es de extrañar ya que la cumplimentación del VEEI límite se añadió en el CTE, normativa posterior a la construcción del instituto.

## 7.8. Etiqueta energética

Tras realizar la simulación, se obtiene la calificación del edificio. Dicha calificación se desglosa en dos apartados, uno que cuantifica las emisiones de CO<sub>2</sub> (Tabla 29) y el otro la energía primaria (Tabla 30).

Tabla 29. Calificación en emisiones original

### Calificación en emisiones de CO<sub>2</sub>

Original: **E**

Modificada: **E**

Concepto	Original (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Modificado (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Referencia (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Emisiones Clima.	3.16	3.16	0.89	3.561	3.561
Emisiones Ilumina.	3.56	3.56	4.78	0.745	0.745
Emisiones A.C.S.	5.09	5.09	3.05	1.672	1.672
<b>Emisiones Totales</b>	<b>11.81</b>	<b>11.81</b>	<b>8.71</b>	<b>1.356</b>	<b>1.356</b>

Tabla 30. Calificación en energía primaria original.

### Calificación en energía primaria

Original: **D**

Modificada: **D**

Concepto	Original (kWh/m <sup>2</sup> )	Modificado (kWh/m <sup>2</sup> )	Referencia (kWh/m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Primaria Clima.	12.01	12.01	3.36	3.570	3.570
Primaria Ilumina.	21.01	21.01	28.22	0.745	0.745
Primaria A.C.S.	19.31	19.31	17.98	1.074	1.074
<b>Primaria Total</b>	<b>52.33</b>	<b>52.33</b>	<b>49.56</b>	<b>1.056</b>	<b>1.056</b>

En la Tabla 29 se muestra el indicador global de las emisiones de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) respecto a la superficie útil del edificio. A estas emisiones contribuyen varios factores: las emisiones de la climatización, que se reducen a las producidas por la calefacción, las emisiones de las luminarias y las emisiones de ACS.

Las emisiones por calefacción y ACS se deben al consumo de combustible en las calderas que dispone el centro.

El mayor peso en el consumo energético proviene de la iluminación y el ACS.

### DISTRIBUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR SECTORES

■ Climatización ■ Iluminación ■ ACS

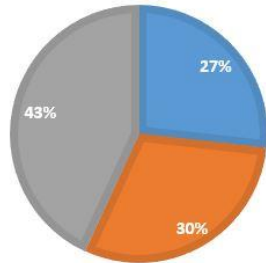


Figura 16. Distribución porcentual de emisiones.

### DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE POR SECTORES

■ Climatización ■ Iluminación ■ ACS

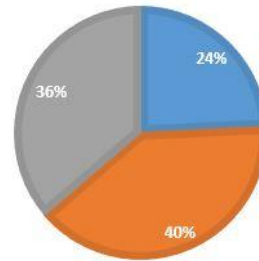


Figura 17. Distribución porcentual en energía.

Los porcentajes obtenidos en las Figuras 16 y 17 concuerdan con los datos expuestos en el apartado 5, antecedentes. La iluminación del instituto tiene un porcentaje ligeramente mayor al mostrado en antecedentes. Por otro lado, la climatización ocupa un porcentaje menor. La energía primaria empleada en climatización es menor debido a que el instituto se sitúa en una zona costera en la que las temperaturas son moderadas por la acción del mar.

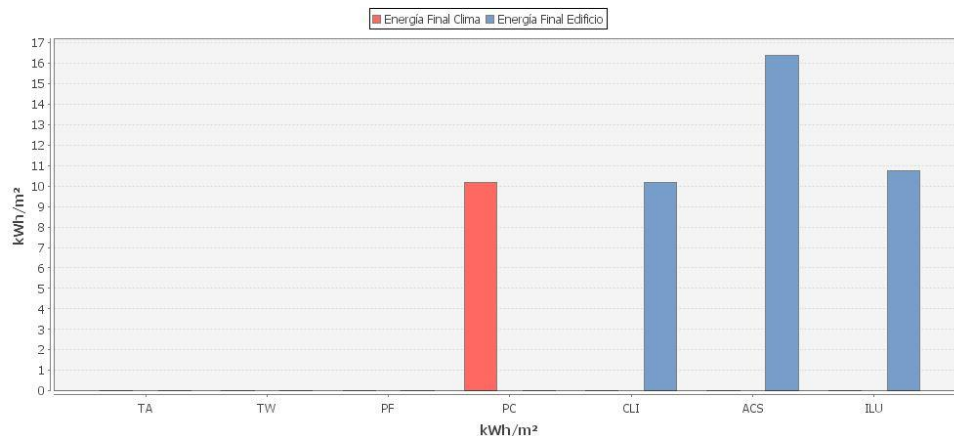


Figura 18. Consumo de energía final anual original.

donde:

- TA: Transporte de aire.
- TW: Transporte de agua.
- PF: Producción de frío.
- PC: Producción de calor.
- CLI: Climatización.
- ACS: Agua caliente sanitaria.
- ILU: Iluminación.



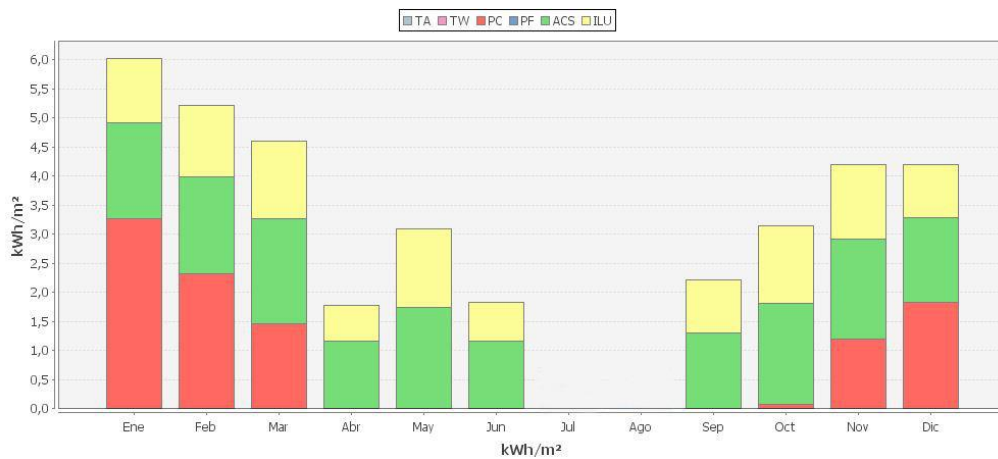


Figura 19. Consumo de energía final por meses original.

En la Figura 19, las barras de color rojo corresponden al consumo de potencia calorífica, las barras de color verde al consumo de ACS y en amarillo la iluminación.

Debido a la zona climática en la que se encuentra el centro educativo, la calefacción es solo necesaria unos pocos meses al año, por ello, no representa un peso importante en el consumo de energía.

A partir de las Figuras 18 y 19, se concluye que el mayor consumo se debe al ACS e iluminación, por lo que las propuestas de mejoras se encaminan en estos dos factores.

### 7.9. Verificación con modelo simplificado

El modelo simplificado consiste en reducir a una geometría sencilla con las dimensiones de una planta representativa el edificio y calcular su consumo. Como los resultados que se obtienen son por unidad de superficie, se puede considerar como una aproximación válida a los resultados del modelo detallado.

Para realizar este caso se ha simplificado la geometría de una planta a una forma rectangular y con únicamente dos espacios, uno acondicionado y el otro no acondicionado (Figura 20).

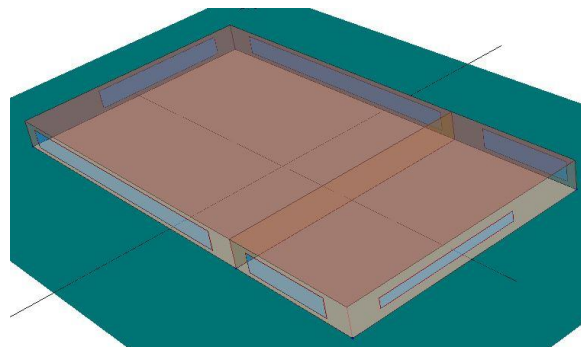


Figura 20. Modelo simplificado.

Los materiales y los horarios que se han definido en este caso son los mismos que en el modelo detallado. Se ha asignado el material de la cubierta al forjado horizontal superior y el material del forjado exterior en contacto con el terreno con el forjado horizontal inferior del modelo.

Respecto a los sistemas, en este caso simplificado solo se ha implementado la calefacción y la iluminación y se ha obviado el ACS porque su funcionamiento no influye en la definición de espacios.

Para simular el consumo de la calefacción, se ha creado un circuito hidráulico con una caldera y un radiador en el espacio acondicionado. La potencia de la caldera se ha tomado la suma de las dos calderas existentes en el centro, con una potencia de 241.25 kW. La potencia de los radiadores que se han definido es 82.67 kW.

Para considerar el consumo de energía eléctrica se ha tomado la potencia total instalada en una planta y se ha dividido entre la superficie iluminada, dando un valor de 8.57 W/m<sup>2</sup>.

El resultado que se obtiene es el siguiente:

Tabla 31. Calificación en emisiones modelo simple.

#### Calificación en emisiones de CO<sub>2</sub>

Original: **E**

Modificada: **E**

Concepto	Original (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Modificado (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Referencia (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Emisiones Clima.	2.68	2.68	2.96	0.904	0.904
Emisiones Ilumina.	2.52	2.52	3.70	0.680	0.680
Emisiones A.C.S.	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
<b>Emisiones Totales</b>	<b>5.19</b>	<b>5.19</b>	<b>3.98</b>	<b>1.303</b>	<b>1.303</b>

Tabla 32. Calificación en energía primaria modelo simple.

#### Calificación en energía primaria

Original: **D**

Modificada: **D**

Concepto	Original (kWh/m <sup>2</sup> )	Modificado (kWh/m <sup>2</sup> )	Referencia (kWh/m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Primaria Clima.	10.24	10.24	11.23	0.912	0.912
Primaria Ilumina.	14.85	14.85	21.84	0.680	0.680
Primaria A.C.S.	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
<b>Primaria Total</b>	<b>25.09</b>	<b>25.09</b>	<b>22.92</b>	<b>1.095</b>	<b>1.095</b>

El consumo de energía primaria por climatización es casi la misma en los dos casos, esto es así ya que los radiadores están distribuidos de forma uniforme prácticamente en todas las plantas.



Respecto a la iluminación, existe una diferencia más pronunciada en los dos resultados. Hay que tener en cuenta que la potencia instalada en iluminación, a diferencia de la calefacción, puede variar de una planta a otra, dependiendo del tipo de aula que tenga. Por ejemplo, el nivel de iluminación que se necesita en un laboratorio no es el mismo que un aula corriente, por lo que tampoco lo es la potencia instalada.

Justificadas las similitudes y diferencias entre los dos resultados de los dos modelos, se puede concluir que la simulación del modelo completo proporciona valores coherentes y, se puede continuar con las propuestas de mejora.

## 8. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO (MAE)

En este capítulo se propone diversas mejoras para incrementar la eficiencia energética del edificio, haciendo hincapié en la producción de ACS y las luminarias.

### 8.1. Propuesta 1: Cambio de potencia contratada

Una primera medida es reducir la potencia eléctrica contratada. De los 50 kW que tiene contratado el centro, su consumo no alcanza el 85% de ésta. Esto implica que, sin importar el consumo real, la potencia a facturar es el 85% de la potencia contratada, 42.5 kW.

La máxima potencia que se ha registrado en los máxímetro es de 34 kW, por lo que se plantea reducir la potencia contratada a 36 kW, dejando un margen de seguridad de 2 kW.

En la Tabla 33 se muestra el ahorro conseguido.

Tabla 33. Ahorro por cambio de potencia contratada.

Potencia (kW)	Importe unitario (€/kW año)	Importe anual (€/año)
42.5	42.04	1786.7
36	42.04	1513.44
<b>Ahorro conseguido</b>		<b>273.26</b>

El coste de reducir la potencia es un pago único de 11€ (Abraham, 2013). Debido a que es una inversión mínima en comparación con los ahorros que se obtiene, se acepta directamente esta propuesta sin analizar los valores del VAN y TIR.

### 8.2. Propuesta 2: Cambio de quemadores caldera

Una segunda propuesta es sustituir el combustible de las calderas del centro que emplean gasóleo a gas natural (Tabla 34). De esta forma se puede esperar una reducción considerable de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Tabla 34. Datos de las calderas propuestas.

Caldera	Combustible	Potencia nominal (kW)	Rendimiento (%)
Caldera antigua	Gas natural	183	95
Caldera nueva	Gas natural	58.15	95
Caldera ACS	Gas natural	23.25	95

Para realizar este cambio de combustible se va a aprovechar las calderas disponibles y adquirir unos quemadores de gas natural. La mejora obtenida es importante, especialmente en las emisiones, pasando de una calificación E a una D (Tabla 35).

Tabla 35. Calificación en emisiones tras cambio a gas natural.

**Calificación en emisiones de CO<sub>2</sub>**

Original: **D**

Modificada: **D**

Concepto	Original (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Modificado (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Referencia (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Emisiones Clima.	2.32	2.32	0.89	2.617	2.617
Emisiones Ilumina.	3.56	3.56	4.78	0.745	0.745
Emisiones A.C.S.	3.91	3.91	3.05	1.284	1.284
<b>Emisiones Totales</b>	<b>9.79</b>	<b>9.79</b>	<b>8.71</b>	<b>1.124</b>	<b>1.124</b>

La calificación en energía no varía de forma relevante al realizar este cambio, quedándose en la D de la situación original.

Tabla 36. Calificación en energía primaria tras cambio a gas natural.

**Calificación en energía primaria**

Original: **D**

Modificada: **D**

Concepto	Original (kWh/m <sup>2</sup> )	Modificado (kWh/m <sup>2</sup> )	Referencia (kWh/m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Primaria Clima.	10.98	10.98	3.36	3.265	3.265
Primaria Ilumina.	21.01	21.01	28.22	0.745	0.745
Primaria A.C.S.	18.46	18.46	17.98	1.027	1.027
<b>Primaria Total</b>	<b>50.46</b>	<b>50.46</b>	<b>49.56</b>	<b>1.018</b>	<b>1.018</b>

Las partidas que componen este primer análisis son:

- Tres quemadores de gas natural.
- Posterior consumo del gas natural.

A continuación, se procede al cómputo aproximado de la inversión (Tabla 37). Para ello se utilizan las bases de precios del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE).

Tabla 37. Inversión en la propuesta 2. Fuente: Instituto Valenciano de la Edificación (2016)

Concepto	Importe (€)
Quemador gas natural (163400 Kcal/h)	3116.02
Quemador gas natural (90300 Kcal/h)	2569.81
Quemador gas natural (35700 Kcal/h)	1803.84
Certificación energética	148
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>7637.67</b>
Beneficio industrial (6%)	458.26
Gastos generales (12%)	916.52
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>9012.45</b>

En los precios de los quemadores mostrados en la Tabla 37, están incluidos el coste de la mano de obra en Alicante y los demás materiales necesarios para la instalación.

Tabla 38. Coste anual de la calefacción y ACS con gasóleo.

	Consumo (kWh/año)	Energía generada por la caldera (kWh/año)	Precio gasóleo C(€/kWh)*	Importe anual(€/año)
Calderas de calefacción	7634.7	8779.905	0.0594	521.53
Caldera de ACS	12325.3	13557.83	0.0594	805.34
<b>Total</b>				<b>1326.86</b>

\*Fuente: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (2017)

Se ha considerado un rendimiento para la caldera de calefacción y ACS de 85% y 90%, respectivamente.

Una vez realizada la instalación de gas natural, el consumo anual de las calderas de calefacción y el ACS es el mostrado en la Tabla 39. Para tener en cuenta el precio del gas natural se ha tomado la media de los precios de las principales distribuidoras.

Tabla 39. Coste anual de la calefacción y el ACS a gas natural

	Consumo (kWh/año)	Energía generada por la caldera (kWh/año)	Precio gas natural media(€/kWh)	Importe anual (€/año)
Calderas de calefacción	7634.7	8779.905	0.0447	392.46
Caldera de ACS	12325.3	13557.83	0.0447	606.04
<b>Total</b>				<b>998.50</b>

A continuación, se procede a analizar la viabilidad económica de la inversión.

Tabla 40. Acumulación del ahorro gas natural

	Gasóleo	Gas natural	Ahorro conseguido (€)
<b>Inversión inicial (€)</b>	0	9012.45	-
<b>Precio (€/año)</b>	1326.86	998.50	-
<b>Año 1</b>	1326.86	10010.95	-8757.8006
<b>Año 2</b>	2653.72	11009.45	-8503.1506
<b>Año 3</b>	3980.58	12007.95	-8248.5006
<b>Año 4</b>	5307.44	13006.45	-7993.8506
<b>Año 5</b>	6634.3	14004.95	-7739.2006
<b>Año 6</b>	7961.16	15003.45	-7484.5506
<b>Año 7</b>	9288.02	16001.95	-7229.9006
<b>Año 8</b>	10614.88	17000.45	-6975.2506
<b>Año 9</b>	11941.74	17998.95	-6720.6006
<b>Año 10</b>	13268.6	18997.45	-6465.9506

Con una tasa de descuento del 6%, el VAN obtenido para la inversión a 10 años es:

$$VAN = -63207.90€$$

Con un VAN negativo, se puede descartar esta medida.

### 8.3. Propuesta 3: Cambio a iluminación LED

Una tercera propuesta es sustituir las luminarias fluorescentes por tubos LED.

Como propuesta a la sustitución de los tubos fluorescentes de 40 W, se consideran dos potencias distintas de una misma familia de tubo LED. Se ha elegido la familia de tubos Mater LEDtube (Philips), los tubos de 16 W y 24 W. Se escogen dos potencias diferentes porque solo tubos de 16 W de potencia no son suficientes para abastecer las necesidades de iluminación de determinados espacios con actividades específicas.

Los flujos luminosos de los tubos LED se listan en la Tabla 41.

*Tabla 41. Flujo luminoso en función de la potencia. Fuente: Philips (2017)*

<b>Tipo de tubo</b>	<b>Flujo luminoso(lm)</b>
Tubo LED 16W	2300
Tubo LED 24W	3400

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 42, 43, 44 y 45 en las que se verifica si se cumple los requisitos de iluminación mínima impuesta por la norma UNE EN 12464.1.



Tabla 42. VEEI calculada LED. Planta baja.

Planta baja					
Espacio	P/S LED(W/m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> LED(lux)	Iluminancia mínima(lux)	VEEI calculada LED	VEEI límite
Pasillo PB05	2.64	300	100	0.88	4
Almacén PB01	0.00	0	0	-	4
Seminario Tecnología	3.80	327	300	1.16	3.5
Taller Tecnología	4.83	578	500	0.84	3.5
Pasillo conexión PB01	0.99	104	100	0.96	4
Sala consultas	5.57	481	300	1.16	3.5
Despacho director	3.85	358	300	1.07	3
Despacho jefe de estudios	3.20	312	300	1.02	3
Aula magna	3.33	406	300	0.82	8
Pasillo PB02	1.91	187	100	1.02	4
Aseo profesores	0.00	0	0	-	4
Sala profesores	2.73	304	300	0.90	3
Despacho psicopedagoga	6.53	518	500	1.26	3
Biblioteca	4.86	562	500	0.87	5
Secretaría	1.45	160	500	0.91	3
Pasillo PB01	2.25	220	100	1.02	4
Aseo PB02	0.00	0	0	-	4
Aseo PB03	0.00	0	0	-	4
Cantina	0.00	0	0	-	4
Almacén PB02	0.00	0	0	-	4
Pasillo PB03	5.54	516	100	1.07	4
Sala caldera	0.00	0	0	-	4
Vivienda conserje	2.11	249	200	0.85	4
Patio interior	0.00	0	0	-	4
Pasillo conexión PB02	0.96	101	100	0.96	4
Aseo PB01	0.00	0	0	-	4
Sala limpieza	0.00	0	0	-	4

Tabla 43. VEEI calculada LED. Planta primera.

Planta primera					
Espacio	P/S LED(W/m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> LED(lux)	Iluminancia mínima(lux)	VEEI calculada LED	VEEI límite
Aula plástica	5.71	647	500	0.88	3.5
Aula PP01	3.95	445	300	0.89	3.5
Aula PP02	3.79	427	300	0.89	3.5
Aseo PP01	0.00	0	0	-	3.5
Seminario de plástica 02	14.13	812	300	1.74	3.5
Seminario de plástica 01	5.47	440	300	1.24	3.5
Almacén PP01	0.00	0	0	-	4
Sala limpieza PP	0.00	0	0	-	4
Pasillo PP01	2.14	251	100	0.85	4
Pasillo conexión PP01	0.99	104	100	0.96	4
Aula PP03	3.13	364	300	0.86	3.5
Aula PP05	3.10	360	300	0.86	3.5
Aula PP08	3.12	362	300	0.86	3.5
Seminario PP03	3.19	329	300	0.97	3.5
Aula PP04	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PP06	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PP07	3.12	362	300	0.86	3.5
Seminario PP02	3.19	329	300	0.97	3.5
Pasillo PP02	2.27	221	100	1.02	4
Pasillo conexión PP02	2.25	235	100	0.96	4
Aula PP09	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PP11	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PP10	3.12	362	300	0.86	3.5
Pasillo conexión PP03	0.96	101	100	0.96	4
Laboratorio de química	7.26	843	500	0.86	3.5
Seminario PP01	3.18	328	300	0.97	3.5
Laboratorio de biología	7.44	847	500	0.88	3.5
Aseo PP02	0.00	0	0	-	4
Pasillo PP03	2.64	246	100	1.07	4

Tabla 44. VEEI calculada LED. Planta segunda.

Planta segunda					
Espacio	P/S LED(W/m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> LED(lux)	Iluminancia mínima(lux)	VEEI calculada LED	VEEI límite
Aula música	7.61	884	300	0.86	3.5
Seminario de música	3.94	340	300	1.16	3.5
Almacén PSS	0.00	0	0	-	4
Aseo PSS01	0.00	0	0	-	4
Aula PSS02	3.79	427	300	0.89	3.5
Aula PSS01	3.95	445	300	0.89	3.5
Pasillo PSS01	2.14	251	100	0.85	4
Pasillo conexión PSS01	0.99	104	100	0.96	4
Aula PSS03	3.13	364	300	0.86	3.5
Aula PSS05	3.10	360	300	0.86	3.5
Seminario PSS06	4.21	406	300	1.04	3.5
Seminario PSS05	4.18	403	300	1.04	3.5
Seminario PSS04	4.18	403	300	1.04	3.5
Seminario PSS03	4.18	403	300	1.04	3.5
Pasillo PSS03	2.25	235	100	0.96	4
Seminario PSS02	3.19	329	300	0.97	3.5
Aula PSS07	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PSS06	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PSS04	3.12	362	300	0.86	3.5
Pasillo PSS02	2.27	221	100	1.02	4
Aula PSS08	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula PSS09	3.12	362	300	0.86	3.5
Aula informática	3.12	362	300	0.86	3.5
Laboratorio de física	7.26	843	500	0.86	3.5
Seminario PSS01	3.18	328	300	0.97	3.5
Aula PSS11	3.19	363	300	0.88	3.5
Aseo PSS02	0.00	0	0	-	4
Pasillo PSS04	2.64	246	100	1.07	4
Pasillo conexión PSS02	0.96	101	100	0.96	4

Tabla 45. VEEI calculada LED. Planta sótano

Planta sótano					
Espacio	P/S LED(W/m <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> LED(lux)	Iluminancia mínima(lux)	VEEI calculada LED	VEEI límite
Aula PS01	2.63	309	300	0.85	3.5
Aula PS02	3.66	365	300	1.00	3.5
Sala caldera PS	0.00	0	0	-	4
Sala grupo electrógeno	0.00	0	0	-	4
Almacén PS	0.00	0	0	-	4
Sala depósito PS	0.00	0	0	-	4
Hueco PS01	0.00	0	0	-	4
Hueco PS02	0.00	0	0	-	4

Tras el análisis del VEEI en el caso de la sustitución a iluminación LED, todos los espacios cumplen con la exigencia del VEEI límite.

En comparación con los resultados obtenidos de los tubos fluorescente, con una menor potencia instalada por superficie, es suficiente para alcanzar a los niveles recomendados de iluminación.

La calificación en energía primaria pasa de la letra D a una C. Dicha mejora se puede justificar con el valor del consumo de energía primaria en iluminación que muestra la Tabla 46, siendo ahora 7.13 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual representa una reducción de más del 50% respecto el caso inicial.

Tabla 46. Calificación en energía primaria tras cambio a LED.

#### Calificación en energía primaria

Original: **C**

Modificada: **C**

Concepto	Original (kWh/m <sup>2</sup> )	Modificado (kWh/m <sup>2</sup> )	Referencia (kWh/m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Primaria Clima.	13.56	13.56	3.29	4.118	4.118
Primaria Ilumina.	7.13	7.13	30.30	0.235	0.235
Primaria A.C.S.	19.31	19.31	17.98	1.074	1.074
<b>Primaria Total</b>	<b>39.99</b>	<b>39.99</b>	<b>51.57</b>	<b>0.776</b>	<b>0.776</b>

Respecto el cambio que supone esta propuesta en la calificación en emisiones también es significativo, ya que la tecnología LED es más eficiente y la partida de emisiones por iluminación se reducen.

Tabla 47. Calificación en emisiones tras cambio a LED.

**Calificación en emisiones de CO<sub>2</sub>**

Original: **D**

Modificada: **D**

Concepto	Original (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Modificado (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Referencia (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Emisiones Clima.	3.57	3.57	0.87	4.110	4.110
Emisiones Ilumina.	1.21	1.21	5.13	0.235	0.235
Emisiones A.C.S.	5.09	5.09	3.05	1.672	1.672
<b>Emisiones Totales</b>	<b>9.87</b>	<b>9.87</b>	<b>9.05</b>	<b>1.091</b>	<b>1.091</b>

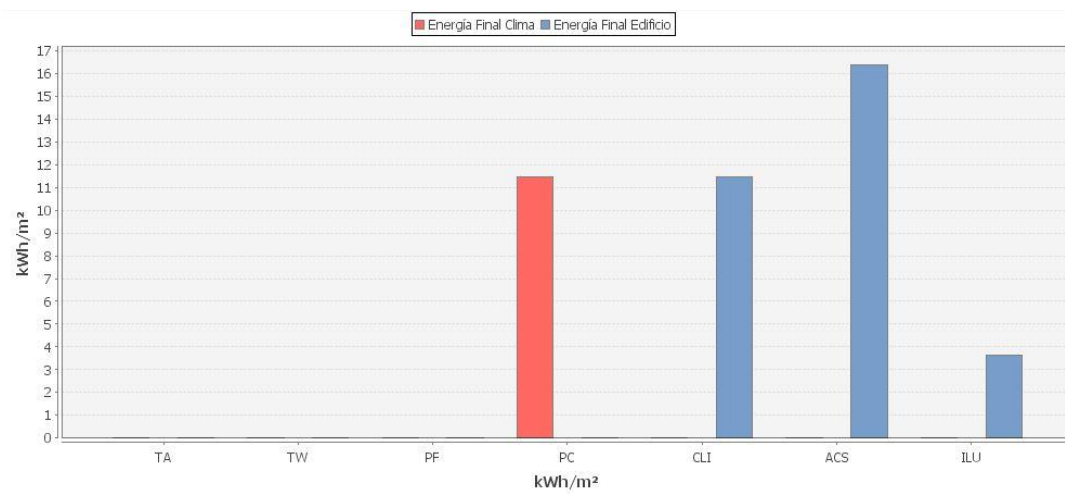


Figura 21. Consumo de energía final anual tras cambio a LED.

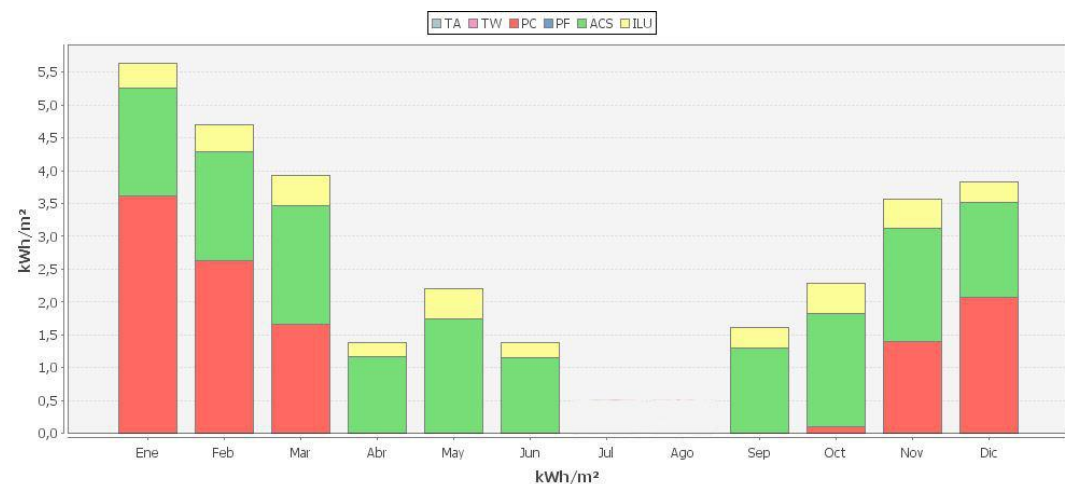


Figura 22. Consumo de energía final mensual tras cambio a LED.

En las Figuras 21 y 22 se observa que el consumo de energía final vinculado a la iluminación se reduce.

En la Tabla 48 se estima la inversión necesaria.

Tabla 48. Inversión en la propuesta 3.

Concepto	Unidades	Importe unitario (€)	Importe total (€)
Tubo LED 16W	625	18.32	11450
Tubo LED 24W	84	21.62	1816.08
Certificación energética	1	148	148
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	-	-	13414.08
Gastos generales (12%)	-	-	1,609.69
Beneficio industrial (6%)	-	-	804.84
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>			<b>15828.61</b>

Se puede comprobar que la inversión inicial para la actualización de las luminarias es muy elevada. Este es el principal motivo de que, pese a las grandes ventajas que aporta, aun no se esté llevando una renovación masiva de luminarias. No obstante, el ahorro en electricidad que se obtiene es elevado.

Tabla 49. Comparativa coste fluorescente y LED.

	Tubos fluorescentes	LED
<b>Superficie alumbrada (m<sup>2</sup>)</b>	3583.17	
<b>Consumo (kWh/m<sup>2</sup>*año)</b>	17.14	8.70
<b>Consumo (kWh/año)</b>	61400.90	24560.36
<b>Precio electricidad (€/kWh)</b>	0.18587	
<b>Precio anual (€/año)</b>	<b>11412.59</b>	<b>5793.19</b>

El precio de la electricidad que se emplea en la Tabla 49 es el precio único de la empresa comercializadora de electricidad del centro.

Considerando un periodo de 10 años, se obtiene los siguientes resultados (Tabla 50).

Tabla 50. Acumulación del ahorro LED.

	Fluorescente	LED	Ahorro conseguido (€)
<b>Inversión inicial (€)</b>	0	15828.61	0
<b>Precio (€)</b>	11412.59	5793.19	0
<b>Año 1</b>	11412.59	18199.51	-6786.93
<b>Año 2</b>	22825.17	23992.70	-1167.53
<b>Año 3</b>	34237.76	29785.89	4451.86
<b>Año 4</b>	45650.34	35579.08	10071.26
<b>Año 5</b>	57062.93	41372.27	15690.65
<b>Año 6</b>	68475.51	47165.46	21310.05
<b>Año 7</b>	79888.10	52958.65	26929.44
<b>Año 8</b>	91300.68	58751.84	32548.84
<b>Año 9</b>	102713.27	64545.03	38168.23
<b>Año 10</b>	114125.85	70338.22	43787.63

El periodo de retorno de la inversión es de 5 años. El VAN y TIR obtenidos en este caso son:

$$VAN = 75337.81€$$

$$TIR = 28\%$$

Se afirma que esta medida, al ser positiva el VAN y el TIR, es viable.

#### 8.4. Propuesta 4: Cambio quemadores y LED

Una cuarta opción es unificar las propuestas 2 y 3, sustituir el combustible a gas natural y los tubos fluorescentes por tubos LED. El resultado de la simulación se muestra en las Tablas 51 y 52.

Tabla 51. Calificación en emisiones tras cambio a gas natural y LED

##### Calificación en emisiones de CO<sub>2</sub>

Original: **C**

Modificada: **C**

Concepto	Original (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Modificado (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Referencia (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Emisiones Clima.	2.62	2.62	0.87	3.020	3.020
Emisiones Ilumina.	1.21	1.21	5.13	0.235	0.235
Emisiones A.C.S.	3.91	3.91	3.05	1.284	1.284
<b>Emisiones Totales</b>	<b>7.74</b>	<b>7.74</b>	<b>9.05</b>	<b>0.856</b>	<b>0.856</b>

La combinación de la propuesta 2 y 3 ha permitido mejorar en dos letras la calificación en emisiones, una gran mejora como se esperaba.

Tabla 52. Calificación en energía primaria tras cambio a gas natural y LED.

**Calificación en energía primaria**Original: **C**Modificada: **C**

Concepto	Original (kWh/m <sup>2</sup> )	Modificado (kWh/m <sup>2</sup> )	Referencia (kWh/m <sup>2</sup> )	Índice original	Índice modificado
Primaria Clima.	12.40	12.40	3.29	3.766	3.766
Primaria Ilumina.	7.13	7.13	30.30	0.235	0.235
Primaria A.C.S.	18.46	18.46	17.98	1.027	1.027
<b>Primaria Total</b>	<b>37.99</b>	<b>37.99</b>	<b>51.57</b>	<b>0.737</b>	<b>0.737</b>

La mejora en la calificación en energía ha sido en una letra solo. Este resultado no es irregular ya que la principal función de la sustitución del combustible es reducir las emisiones.

El importe de la inversión es la suma de las dos anteriores:

$$\text{Inversión GN} + \text{LED} = 9012.45 + 15828.61 = 24841.06\text{€}$$

Proyectando 10 años de duración como los dos casos anteriores, los valores del VAN y TIR obtenidos son:

$$\text{VAN} = 12169.91\text{€}$$

$$\text{TIR} = 9\%$$

El VAN y la TIR obtenidos en este caso es positivo, por lo que también se admite esta propuesta.



## 9. CONCLUSIONES

En el presente TFG se ha realizado un estudio de la eficiencia energética de un centro educativo. Tomando datos reales facilitados por el instituto, se ha llevado a cabo una simulación del edificio y sus instalaciones con la Herramienta Unificada LIDER-CALENER.

Tras la simulación, se ha comprobado que los mayores consumos en un centro educativo residen en la iluminación, el ACS y la calefacción, dirigiéndose por ello las mejoras a dichas instalaciones.

Teniendo en cuenta los resultados en cuanto a calificación energética, se han realizado cuatro propuestas para mejorar la calificación. La primera propuesta está enfocada a la gestión eficaz del consumo eléctrico, ajustando la potencia contratada a las necesidades del instituto. La segunda propuesta está orientada a mejorar la eficiencia en los consumos de calefacción y ACS, así como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. La tercera propuesta tiene como objetivo mejorar la eficiencia en la iluminación del centro implantando la tecnología LED. La cuarta propuesta consiste en una combinación de la segunda y la tercera.

Después de analizar las cuatro propuestas de mejora, han resultado viables económicamente las propuestas 1, 3 y 4. La aplicación de la segunda opción no es rentable debido a la gran inversión inicial y el reducido ahorro económico que se obtiene.

De las tres propuestas viables se ha decidido implantar la primera y la cuarta medida. La primera medida presenta una inversión muy reducida por lo que no supone ningún problema su aplicación. Entre la medida 3 y 4, la última presenta un mayor incremento de eficiencia energética.

Realizado los cambios que se propone en la medida 4 se obtiene mejoras notorias en la calificación, consumo de energía y reducción en emisiones de CO<sub>2</sub>. Se consigue una reducción en emisiones de CO<sub>2</sub> globales de 11.81 a 7.74 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>\*año, implicando una mejora en la calificación en emisiones de la letra E a la C. También disminuye el consumo de energía primaria de 52.33 a 37.99 kWh/m<sup>2</sup>\*año, pasando de la letra D a la C en la calificación de energía.

Mediante la realización del presente TFG se ha visto que la gestión adecuada del consumo de energía y la adecuación de las instalaciones son factores determinantes a la hora de actuar sobre la eficiencia energética.

## 10. REFERENCIAS

1. Directiva 32. Diario Oficial de la Unión Europea, Estrasburgo, 5 de abril de 2006.  
Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/>
2. Directiva 31. Diario Oficial de la Unión Europea, Estrasburgo, 19 de mayo de 2010.  
Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/>
3. Directiva 27. Diario Oficial de la Unión Europea, Estrasburgo, 25 de octubre de 2012.  
Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/>
4. Real Decreto 235. Boletín Oficial del Estado, 2013 . Disponible en: <https://www.boe.es>
5. Real Decreto 314. Boletín Oficial del Estado, 2006. Disponible en: <https://www.boe.es>
6. Real Decreto 1027. Boletín Oficial del Estado, 2007. Disponible en: <https://www.boe.es>
7. La Generalitat es marca com a objectiu eliminar durant aquesta legislatura els barracons escolars i construir 124 centres educatius nous. Conselleria de Educación, Investigación, Cultura y Deporte (26 de enero de 2016). Disponible en: <http://www.ceice.gva.es>
8. Intelligent Energy Europe (2006-2009). Check and improve the energy performance of schools and disseminate best practices. Disponible en: <http://ec.europa.eu>
9. Intelligent Energy Europe (2009-2012). 50/50 European Network of Education Centers. Disponible en: <http://ec.europa.eu>
10. Intelligent Energy Europe (2014-2017). Sustainable school building renovation promoting timber prefabrication, indoor environment quality and active use of renewables. Disponible en: <http://ec.europa.eu>
11. IDAE (2011). Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Centros Docentes. Disponible en: <https://www.fenercom.com>
12. Junta de Castilla y León (2013). Manual de Eficiencia Energética en Centros Docentes. Disponible en: <http://www.energia.jcyl.es>
13. Schneider Electric (2009). La Guía Práctica de Eficiencia Energética. Disponible en: <https://www.schneider-electric.es>

14. Agencia Estatal de Meteorología. Valores climatológicos normales Alicante. Disponible en: <http://www.aemet.es/>
15. IDAE (2015). Calificación de la eficiencia energética de los edificios. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es>
16. Ministerio de Industria, Energía y Turismo y Ministerio de Fomento (2014). Factores de Emisión de CO<sub>2</sub> y Coeficientes de Paso a Energía Primaria de Diferentes Fuentes de Energía Final Consumidas en el Sector de Edificios en España. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es/>
17. Manual de Usuario HULC (2015). Disponible en: <https://www.codigotecnico.org>
18. Documento Básico Seguridad en caso de Incendio (2010). Disponible en: <https://www.codigotecnico.org>
19. Equipos y eficiencia en alumbrado exterior (2012). Wiki EOI. Disponible en: <http://www.eoi.es/>
20. Documento Base Ahorro de Energía, sección HE3 eficiencia energética (2017). Disponible en: <https://www.codigotecnico.org>
21. Roger Folch, J., Riera Guasp, M. y Roda Porta C., (2010), *Tecnología Eléctrica*, Madrid, España: SÍNTESIS
22. Abraham (2013). Crónica de una disminución de la potencia contratada. Nergiza. Disponible en: <https://nergiza.com/>
23. Instituto Valenciano de la Edificación (2016). Base de Precios del IVE. Disponible en: <http://www.five.es/>
24. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2017). Informe de precios energéticos: combustibles y carburantes (136). Disponible en: <http://www.idae.es/>
25. PHILIPS (2017). Ficha Técnica tubos LED. Disponible en: <http://www.lighting.philips.es/>
26. AENOR (2012). *Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores*. Norma UNE EN 12464.1:2012. Madrid: AENOR



# PRESUPUESTO

Precios descompuestos

Tabla 53. Precio descompuesto tubo LED 16 W.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	<b>Master LEDtube Universal 16W/830.</b> Tubo LED de 16 W de potencia, instalable directamente en las luminarias que funcionan con balasto electromagnéticos.			
h	Oficial 1º electricidad	0.2	17.61	3.52
u	Tubo LED Philips 16W/830	1	14.15	14.15
	Costes Directos Complementarios	0.02	32.36	0.65
<b>Total</b>				<b>18.32</b>

Tabla 54. Precio descompuesto tubo LED 24 W.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	<b>Master LEDtube Universal 24W/830.</b> Tubo LED de 24 W de potencia, instalable directamente en las luminarias que funcionan con balasto electromagnéticos.			
h	Oficial 1º electricidad	0.2	17.61	3.52
u	Tubo LED Philips 16W/830	1	17.45	17.45
	Costes Directos Complementarios	0.02	32.36	0.65
<b>Total</b>				<b>21.62</b>

Tabla 55. Precio descompuesto quemador 35700 kcal/h.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	<b>Quemador gas natural 35700 kcal/h.</b> Quemador de gas natural con marcado CE, de 35700 kcal/h de potencia, con dos etapas y regulable.			
h	Oficial 1º fontanería	14	17.61	246.54
u	Especialista fontanería	14	15.05	210.70
u	Quemador gas natural 35700 kcal/h	1	924.12	924.12
u	Reloj prog 24 horas corte 15'	1	88.59	88.59
u	Línea mando p/que gas 45 kW	1	298.52	298.52
	Costes Directos Complementarios	0.020	1768.47	35.37
<b>Total</b>				<b>1803.84</b>

Tabla 56. Precio descompuesto quemador 90300 kcal/h

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	<b>Quemador gas natural 90300 kcal/h.</b> Quemador de gas natural con marcado CE, de 90300 kcal/h de potencia, con dos etapas y regulable.			
h	Oficial 1º fontanería	14	17.61	246.54
u	Especialista fontanería	14	15.05	210.70
u	Quemador gas natural 90300 kcal/h	1	1651.38	1651.38
u	Reloj prog 24 horas corte 15'	1	88.59	88.59
u	Línea mando p/que gas 220 kW	1	322.21	322.21
	Costes Directos Complementarios	0.020	2519.42	50.39
<b>Total</b>				<b>2569.81</b>

Tabla 57. Precio descompuesto quemador 163400 kcal/h.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	<b>Quemador gas natural 163400 kcal/h.</b> Quemador de gas natural con marcado CE, de 163400 kcal/h de potencia, con dos etapas y regulable.			
h	Oficial 1º fontanería	14	17.61	246.54
u	Especialista fontanería	14	15.05	210.70
u	Quemador gas natural 163400 kcal/h	1	2186.88	2186.88
u	Reloj prog 24 horas corte 15'	1	88.59	88.59
u	Línea mando p/que gas 220 kW	1	322.21	322.21
	Costes Directos Complementarios	0.020	3054.92	61.10
<b>Total</b>				<b>3116.02</b>

## Presupuestos parciales

Tabla 58. Presupuesto parcial iluminación.

U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	Tubo LED Philips 16W/830	625	18.32	11450
u	Tubo LED Philips 24W/830	84	21.62	1816.08
<b>Total</b>				<b>13266.08</b>

Tabla 59. Presupuesto parcial quemadores.

U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio unitario (€)	Importe (€)
u	Quemador gas natural 35700 kcal/h	1	1803.84	1803.84
u	Quemador gas natural 90300 kcal/h	1	2569.81	2569.81
u	Quemador gas natural 163400 kcal/h	1	3116.02	3116.02
<b>Total</b>				<b>7489.67</b>

## Presupuesto de ejecución material (PEM)

Tabla 60. Presupuesto de ejecución material.

<b>Partida</b>	<b>Importe (€)</b>
Iluminación	13266.08
Quemadores	7489.67
Certificación energética	148
<b>Total PEM</b>	<b>20903.75</b>

## Presupuesto final

Tabla 61. Presupuesto final.

<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>20903.75 €</b>
Gastos generales (12%)	2508.45 €
Beneficio industrial (6%)	1254.23 €
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>24666.43 €</b>
IVA (21%)	5179.95 €
<b>Presupuesto final</b>	<b>29846.37 €</b>