



**Centro Universitario de la Defensa  
En la Escuela Naval Militar**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Estudio de alternativas de climatización en el cuartel Francisco  
Moreno*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Eduardo Díaz del Río Oleaga

**DIRECTORES:** Guillermo Lareo Calviño  
Guillermo Rey González

**CURSO ACADÉMICO:** 2014-2015

Universida<sub>de</sub>Vigo





**Centro Universitario de la Defensa  
En la Escuela Naval Militar**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Estudio de alternativas de climatización en el cuartel Francisco  
Moreno*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Cuerpo General

Universida<sub>d</sub>eVigo



## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio técnico y económico sobre la sustitución, de un sistema de climatización existente en un cuartel de alumnos en la Escuela Naval Militar de Marín.

El sistema existente en la actualidad está compuesto de un circuito de calefacción y otro circuito de agua caliente sanitaria donde el calor es proporcionado por dos calderas de gas de 500kW de potencia cada una y dos tanques acumuladores de 3000 L para las ocasiones de máxima demanda.

Hay que tener en cuenta que dado las condiciones climatológicas de la ría de Pontevedra, y la escasa o nula ocupación de los meses de verano hacen que no se haya considerado el análisis de la demanda de refrigeración en este proyecto.

A partir del estudio del edificio tanto desde el punto de vista constructivo como de sus necesidades energéticas y dada la cercanía y el libre acceso al Mar, y una vez evaluadas las alternativas más habituales existentes en el mercado, se optó por un sistema basado en la bomba de calor hidrotérmica que utilizaría como foco de calor el agua del Mar, proporcionando eficiencias del orden del doble de tecnologías tradicionales que utilizarían el aire o el suelo como foco de calor.

La bomba de calor hidrotérmica fue desarrollada en la década de 1940 y ha evolucionado de manera muy satisfactoria obteniendo actualmente coeficientes de funcionamiento (COP) de cinco. La principal razón que no esté tan extendida esta tecnología en nuestro país se debe a la no muy común accesibilidad a un acuífero, río, o estanque. Aparte la elevada inversión inicial y su desconocimiento general hace que esta tecnología siga siendo novedosa o por lo menos no muy arraigada.

Después de la realización del estudio energético, determinación de las necesidades y del cálculo orientativo del consumo se observó que la instalación del sistema propuesto sería económicamente rentable en menos de 10 años, teniendo en cuenta que los consumos en electricidad serían del orden de 4 a 5 veces menores que los consumos de gas, hablando en términos energéticos.

## **PALABRAS CLAVE**

Hidrotérmica, bomba de calor, climatización, calefacción, geotermia.



## **1 AGRADECIMIENTOS**

A mis padres.

A mis tutores, Guillermo Lareo y Guillermo Rey.

Al personal de la Escuela Naval Militar que me ha facilitado todo lo que he podido necesitar y ha hecho todo lo posible por ayudar. Al capitán de corbeta Carrascosa y al destino de mantenimiento de la Escuela Naval, especialmente al subteniente don José Ramón y cabo primero Julián por tenerme las puertas abiertas en todo momento.



## CONTENIDO

Contenido .....	7
Índice de figuras .....	9
Índice de tablas .....	10
2 Introducción.....	11
3 Objetivos .....	12
4 Antecedentes .....	13
4.1 La Escuela Naval Militar .....	13
4.1.1 Situación. Descripción y uso de las instalaciones.....	14
4.1.2 El alumnado de la Escuela Naval Militar .....	15
4.2 Estructuración del trabajo .....	16
4.3 Fundamentos básicos de los sistemas de climatización .....	16
4.3.1 Factores ambientales para el confort .....	17
4.3.2 Factores que afectan a la climatización de un edificio. ....	18
5 Estado del arte .....	19
5.1 Enfriamiento gratuito. ....	20
5.2 Caldera de gas .....	20
5.3 Bomba de calor .....	21
5.4 Bombas de calor geotérmicas .....	22
5.5 Bomba de calor hidrotérmica.....	23
5.5.1 Tecnología Inverter.....	24
5.5.2 La bomba de calor hidrotérmica como fuente de energía renovable.....	24
5.5.3 Rendimiento de una bomba de calor .....	25
5.5.4 Coeficiente de rendimiento (COP) y la eficiencia de enfriamiento (EER).....	25
5.6 Metodología empleada, cálculo demanda energética. ....	27
5.6.1 Carga interna debida a la instalación de iluminación [11] .....	28
5.6.2 Transmitancia térmica de cerramientos opacos [10] .....	28
5.6.3 Transmitancia de huecos y lucernarios [10] .....	28
6 Situación, descripción del edificio y sus insalaciones.....	29
6.1 Descripción del edificio. ....	29
6.2 Estado actual del edificio .....	32
6.3 Descripción de las instalaciones térmicas .....	33
6.3.1 Características de la instalación.....	33
6.3.2 Subconjunto grupo generador.....	34
6.3.3 Subconjunto quemador .....	35
6.3.1 Subconjunto intercambiador .....	35
6.3.2 Subconjunto acumulador .....	36
6.3.3 Control de la legionela.....	37
7 Condiciones de climatización y estimación de cargas .....	39

7.1 Condiciones exteriores .....	39
7.1.1 Valores climatológicos normales. Pontevedra.....	40
7.1.2 Temperatura agua de mar .....	41
7.1.3 Radiación solar .....	41
7.2 Condiciones interiores.....	42
7.2.1 Nivel de ocupación .....	43
7.2.2 Horario de funcionamiento .....	44
7.2.3 Carga interna debida a la instalación de iluminación .....	44
7.3 Cálculo de la envolvente térmica .....	44
7.3.1 Descripción de los cerramientos .....	44
7.3.2 Cerramientos opacos.....	45
7.3.3 Huecos y lucernarios.....	46
7.4 Resultado del cálculo de cargas térmicas.....	47
7.5 Consumo real del edificio .....	47
7.5.1 Análisis del consumo .....	48
7.6 Calculo potencia agua caliente sanitaria .....	49
8 Discusión de resultados .....	51
8.1 Resultados teóricos .....	51
8.2 Resultados reales .....	52
8.3 Conclusión .....	52
9 Propuesta de alternativas .....	53
9.1 Sistema de bomba de calor aire-agua.....	53
9.2 Aprovechamiento del aire exterior. Free cooling.....	53
9.3 Energía solar .....	54
10 Bomba de calor agua-agua .....	55
10.1 Diseño del sistema de calefacción y ACS.....	55
10.2 Equipo productor de calor .....	56
10.3 Bombas de circulación .....	58
10.3.1 Bomba de circulación exterior.....	59
10.3.2 Intercambiadores.....	59
11 Estudio económico básico orientativo.....	61
11.1 Coste de equipos .....	61
11.2 Cálculo del consumo energético .....	62
12 Conclusión y líneas futuras .....	63
12.1 Líneas futuras .....	64
13 Anexos.....	65
14 Bibliografía.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista del antiguo polígono de Tiro Naval “Jaime Janer” Fuente: Escuela Naval Militar	13
Figura 2 Situación Escuela Naval Militar resaltada en rojo Fuente Google Earth ( <a href="https://www.google.com">https://www.google.com</a> ) .....	14
Figura 3 detalle de la Escuela Naval Militar con los edificios marcados.....	15
Figura 4 Esquema de funcionamiento del enfriamiento gratuito (free cooling) Fuente Free Cooling ( <a href="https://clowcost.wordpress.com">https://clowcost.wordpress.com</a> ) .....	20
Figura 5 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano y en invierno Fuente ECOFORREST .....	22
Figura 6 Esquema bomba de calor. Fuente (IDAE, 1998) .....	23
Figura 8 Esquema sistema hidrotérmico Fuente elaboración propia.....	23
Figura 7 Esquema sistema geotérmico. Fuente elaboración propia .....	23
Figura 9 Esquema de funcionamiento de la tecnología Inverter frente a compresor convencional. Fuente elaboración propia.....	24
Figura 10 Eficiencia ideal del ciclo termodinámico de Carnot .....	26
Figura 11- Localización cuartel Francisco Moreno en la Escuela Naval Militar Fuente Google Earth ( <a href="https://www.google.com">https://www.google.com</a> ).....	29
Figura 12 Detalle de dormitorios de 4 ocupantes cuartel Francisco Moreno Fuente elaboración propia .....	31
Figura 13 Detalle de un estudio para ocho alumnos del cuartel Francisco Moreno Fuente elaboracion propia.....	32
Figura 14 Detalle instalación sala de calderas actual .....	33
Figura 15 Detalle calderas Roca BT 450 y quemadores BAXI TECNO 50 Fuente elaboración propia .....	34
Figura 16 Esquema funcionamiento intercambiador de calor (Fuente ALFA LAVAL) .....	35
Figura 17 Detalle intercambiadores de placas de la sala de calderas del cuartel Francisco Moreno Fuente elaboración propia.....	36
Figura 18 Detalle Acumuladores de 3000 litros en la sala de calderas del Francisco Moreno Fuente elaboración propia.....	37
Figura 19 Gráfico temperatura agua de mar Marín .....	41
Figura 20 Radiación solar en España .....	42
Figura 21 Diagrama psicométrico verano (ASHRAE).....	43
Figura 22 Diagrama psicométrico invierno (ASHRAE) HACEDLAS CON COREL DRAW .....	43
Figura 23 Bomba de calor ECOGEO HP 25-100 Fuente ECOFOREST .....	56
Figura 24 Mapa de operación bomba de calor ECOGEO HP 25-100 Fuente ECOFOREST .....	57
Figura 25 Configuración en cascada para 6 bombas de calor ECOGEO HP Fuente Ecoforest.....	58
Figura 26 Detalle bomba monobloc para impulsión circuito de agua. Fuente: EBARA ( <a href="http://www.ebara.es">www.ebara.es</a> ) .....	59
Figura 27 Intercambiador de placas ALFA LAVAL T-8 (Fuente ALFA LAVAL).....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Condiciones atmosféricas en Pontevedra Fuente AEMET 2014.....	30
Tabla 3-2 Características de las calderas del cuartel Francisco Moreno.....	34
Tabla 3-3 Características del quemador del Cuartel Francisco Moreno .....	35
Tabla 3-4 Condiciones de trabajo intercambiadores de placas del cuartel Francisco Moreno .....	36
Tabla 4-1: Condiciones atmosféricas en Pontevedra Fuente [9].....	39
Tabla 4-2 Valores climatológicos normales Pontevedra Fuente [9] .....	40
Tabla 4-3 Instalación de Iluminación .....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Características técnicas del intercambiador de placas .....	65
Anexo 2 Datos técnicos bomba de calor ECOGEO .....	66

## 2 INTRODUCCIÓN

La búsqueda del confort fisiológico, es una búsqueda básica e intrínseca a la naturaleza del ser humano [1]. En el año 1943 Abraham Maslow en su Jerarquía de las Necesidades Humanas consideró la necesidad de mantener una temperatura adecuada para la vida como la base de la pirámide de necesidades humanas.

Nuestra carencia de pelo o plumas y nuestra ocupación de multitud de climas distintos, hacen que allá donde haya ido el ser humano, tenga la necesidad de construir edificaciones para protegerse de los elementos y buscar esa situación agradable y apta para el desarrollo humano que es el confort térmico.

Si bien antiguamente no existía el concepto de confort térmico si no, una situación donde se buscaba mantener la temperatura de los lugares habitables dentro de la zona de supervivencia. Hoy en día gracias a la tecnología de la construcción, como la mejora de los aislamientos térmicos, la mejora de las prendas de vestir y sobre todo la mejora en la tecnología de climatización han permitido que sea posible conseguir temperaturas e incluso humedades específicas logrando así un control, casi absoluto, del ambiente del habitáculo.

Son muchos los factores que hay que tener en cuenta cuando intentamos abordar la climatización de un edificio, principalmente la ubicación del mismo tendrá un papel destacable, pero también factores internos del edificio. Hay que tener en cuenta que un edificio está en continua interacción con su entorno desde el punto de vista energético, por lo que la climatización del mismo tiene, en consonancia, interactuar con la variabilidad de la situación del entorno. En un edificio se producen intercambios de calor constantemente, de partículas en suspensión y de vapor de agua que hay que cuantificar y valorar en cómo afectan a las condiciones interiores.

El tamaño del edificio, su forma, sus cerramientos, los materiales con los que está construido, desde su composición hasta su color afectan en como el edificio responde en su comportamiento térmico y condiciones de confort a las condiciones ambientales donde está ubicado. Es por ello que se hace necesario unos conocimientos y análisis del edificio así como de las metodologías y los sistemas de climatización existentes en la actualidad.

Este proyecto parte de un edificio existente, con un sistema de climatización basado en circuito de agua de calefacción por calderas de gas siendo su uso residencial. Si bien las necesidades básicas, de temperatura se ven cubiertas, esta situación dista mucho de la situación que podemos controlar con un sistema de climatización moderno. Además es importante tener en cuenta hoy en día la importancia de la reducción del consumo de los recursos naturales. Por tanto la mejora de las capacidades del sistema de climatización y la reducción de consumos serán los objetivos principales de este trabajo.

### 3 OBJETIVOS

Con este proyecto se buscará estudiar la viabilidad de la sustitución del equipo climático existente consistente en un sistema de calefacción de dos calderas de gas por otro que este más en consonancia el mercado climático existente hoy en día.

La razón de este trabajo viene motivada por la búsqueda de una alternativa a la instalación de calefacción existente hoy en día buscando que el trabajo no sea una mera actualización de los equipos y sistemas existentes sino, una alternativa novedosa, eficaz y rentable.

Se deberá cumplir con los objetivos de mejora de las capacidades del sistema de climatización y reducción del consumo energético, buscando además, innovación, eficiencia, la optimización de los equipos para la demanda real, su adecuación a las necesidades existentes y la rentabilidad del proyecto.

Las instalaciones existentes hoy en día, son capaces de proporcionar la demanda de energía que requiere el cuartel en cuanto se refiere a calefacción y agua caliente sanitaria. Sin embargo debido a la antigüedad de las instalaciones, que están en la mitad de su vida útil, el descontento de sus ocupantes por la insuficiencia (según los usuarios) de las instalaciones existentes de alcanzar las condiciones mínimas de confort como:

- Agua caliente insuficiente para los horarios de máxima demanda.
- Frío en los dormitorios más alejados de la sala de calderas.
- Ausencia de refrigeración en los meses más cálidos.

Teniendo en cuenta estas demandas por parte de los usuarios y unido al estudio técnico de las características del edificio hacen que pueda ser posible encontrar una alternativa al sistema empleado hoy en día.

Se priorizará la eficiencia de las alternativas propuestas, la optimización de los equipos para la demanda real, su adecuación a las necesidades existentes y la rentabilidad del proyecto. Por tanto la mejora de las capacidades del sistema de climatización y la reducción de consumo, la novedad en la tecnología, la eficiencia de las alternativas propuestas, la optimización de los equipos para la demanda real, su adecuación a las necesidades existentes y la rentabilidad del proyecto.

El objetivo particular del redactor está en que este trabajo pueda tener una repercusión final real en el confort de los usuarios, que el proyecto pueda servir como base para un estudio futuro, sobre el mismo sistema o uno similar y el aporte del trabajo a los archivos del Centro Universitario de la Defensa.

## 4 ANTECEDENTES

### 4.1 La Escuela Naval Militar

La Escuela Naval Militar junto al Centro Universitario de la Defensa (CUD) dependiente de la Universidad de Vigo, es el único centro de formación de Oficiales de la Armada Española. La Escuela Naval Militar, lleva asentada en la villa de Marín, Pontevedra, desde Julio de 1943, momento en que se decide trasladarla de su antigua ubicación en San Fernando, Cádiz. La Escuela Naval Militar se asienta sobre el antiguo Polígono de Tiro y Escuela de Artillería y Tiro Naval fundado por el capitán de Corbeta D. Jaime Janer Robinson.

Durante estos 70 años en Marín, todos los que han sido y son Oficiales de la Armada han pasado por esta escuela para formarse como tales. Aunque realmente este cometido de Escuela Naval Militar se remonta a 1717 año de fundación de lo que en aquel momento se conocía como Real Compañía de Guardiamarinas.



**Figura 3-1 Vista del antiguo polígono de Tiro Naval “Jaime Janer”**

**Fuente: Escuela Naval Militar**

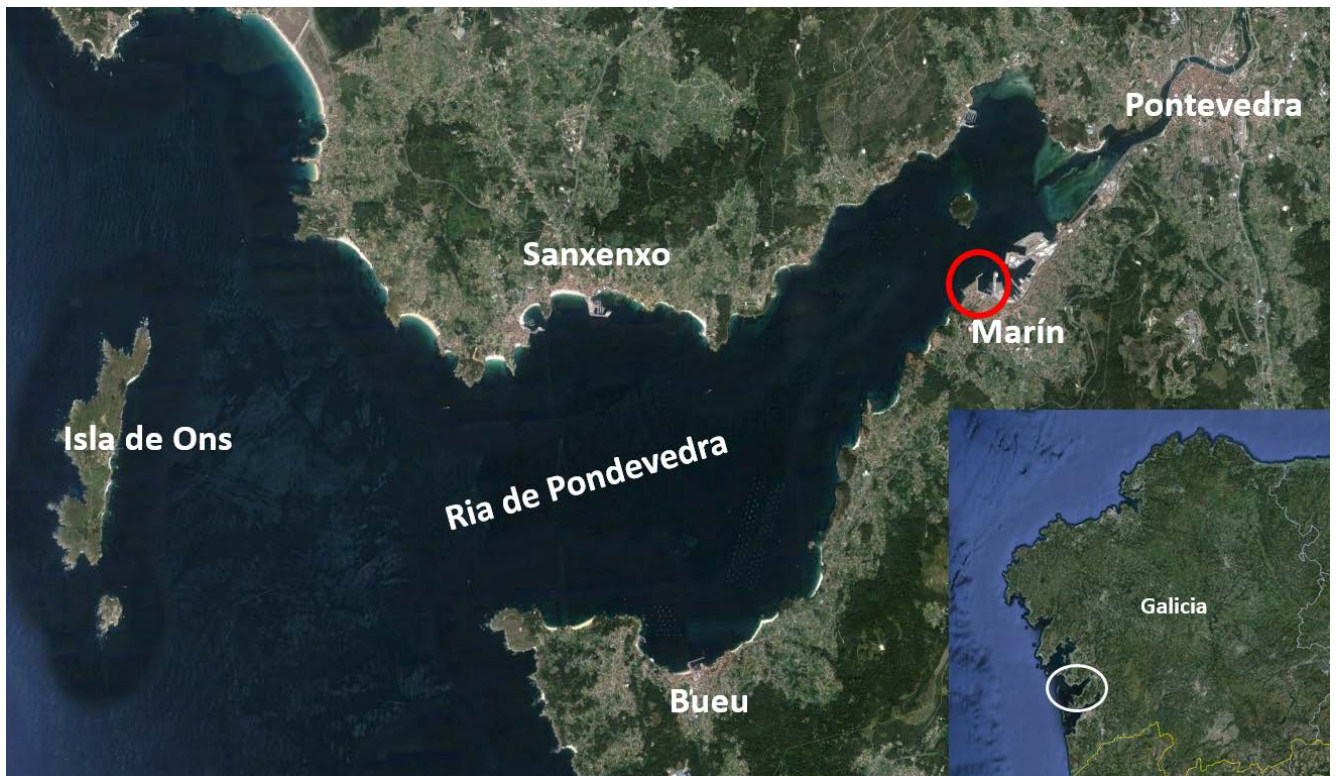
Desde entonces y antes de ubicarse definitivamente en Marín, Cádiz, y también El Ferrol (1780-1909), fueron otros lugares donde estuvo ubicada, bajo distintas nominaciones la Escuela Naval Militar.

Los alumnos realizan en esta escuela 5 años de formación, realizando 1 cuatrimestre a bordo del buque escuela Juan Sebastián Elcano, egresando de esta escuela como Alféreces de Navío del Cuerpo General o Tenientes de Infantería de Marina y recientemente también como graduados en Ingeniería Industrial rama Mecánica.

Numerosas personalidades han pasado por sus aulas destacando el paso de SM el Rey Felipe VI, su padre SM Don Juan Carlos I y su abuelo Don Juan de Borbón y Battemberg.

#### 4.1.1 Situación. Descripción y uso de las instalaciones

La escuela Naval Militar de Marín en la cara sur de la Ría de Pontevedra, Galicia.



**Figura 3-2 Situación Escuela Naval Militar en la Ría de Pontevedra resaltada en rojo**

**Fuente Google Earth. <https://earth.google.com>**

La Escuela está conformada por un gran número de edificios destinados a diferentes usos. Destacan fundamentalmente

1. Edificio Príncipe de Asturias, se ubica la Jefatura de Instrucción con los despachos de los Comandantes de Brigada de los alumnos. Además se lleva a cabo el mantenimiento del velamen de los diferentes buques a vela.
2. Cuarteles Francisco Moreno y Marques de la Victoria, donde se alojan los alumnos y que en el caso del primero de ellos se encuentra una biblioteca académica.
3. Edificio Isaac Peral, destinado fundamentalmente a aulas y laboratorios.
4. Patio de aulas, don Álvaro de Bazán: Centro Universitario de la Defensa (CUD) y despachos de profesores militares. Cabe mencionar que también se encuentran en esta zona aulas, laboratorios, simuladores (navegación y táctico), y biblioteca.
5. Edificio de Dirección.
6. Comandante de la Guardia. Salón de actos y casino de alumnos.
7. Zona de servicios (lavandería, garaje, mantenimiento, etc.).
8. Gimnasio Barrutia, donde se encuentra la piscina y el campo de futbol.
9. Enfermería y residencia de suboficiales.



**Figura 1-3 detalle de la Escuela Naval Militar con los edificios marcados.**

Los muelles de la escuela son utilizados, en su totalidad, para el atraque de las diferentes embarcaciones que se emplean para el adiestramiento de los alumnos. En estos se incluyen las lanchas de instrucción, goletas y otros barcos a vela, embarcaciones neumáticas y el patrullero Tabarca.

Aparte de estas embarcaciones, hay otras que pertenecen a otras instituciones y que también emplean los muelles de la ENM para su atraque por tener su base logística aquí, entre ellas están, la Guardia Civil del Mar, el servicio de Vigilancia Aduanera y el buque de salvamento marítimo María Pita.

Cabe reseñar que hasta el año pasado, la Unidad Militar de Emergencias (UME) empleaba la escuela Naval como base logística para realizar su despliegue durante los meses de verano, permaneciendo en ella desde junio hasta septiembre.

Desde su construcción la Escuela Naval ha sufrido importantes remodelaciones y ampliaciones siendo destacable la ganancia que se realizó al mar y la construcción del cuartel que nos atañe este trabajo.

Recientemente en el año 2010 se produjo la incorporación del Centro Universitario de la Defensa (CUD) dentro del marco educativo Bolonia aprobado por el ministerio de Defensa ubicándose en los edificios del patio de aulas don Álvaro de Bazán.

#### *4.1.2 El alumnado de la Escuela Naval Militar*

Como se ha mencionado anteriormente, la ENM es, desde 1717 el único centro de formación de oficiales de la Armada. Es por tanto un centro docente de grado superior.

Durante su período de formación, sus más de 500 alumnos adquieren los conocimientos militares, marinos, científicos, técnicos, humanísticos y valores morales necesarios para el desempeño de sus futuras funciones a bordo de los buques y unidades de la Armada.

El acceso de los alumnos a la ENM se puede producir de dos maneras, con titulación o sin titulación:

- Sin titulación: es exclusivo del Cuerpo General y de Infantería de Marina y permite acceder a la formación naval y militar directamente, si se supera el corte en la nota de la Prueba de Acceso a la Universidad y se acredita un determinado nivel de inglés y de aptitud psicofísica.  
La formación de este esquema tiene una duración de 5 cursos académicos y al finalizarla los alumnos reciben dos titulaciones: una de Grado en Ingeniería Industrial rama Mecánica, impartida por el Centro Universitario de la Defensa, ubicado en la propia Escuela y adscrito a la Universidad de Vigo, y una segunda de Oficial.
- Con titulación: permite el acceso a todos los cuerpos de la Armada incluyendo Intendencia e Ingenieros, a licenciados o graduados de determinadas titulaciones universitarias. Su duración oscila entre uno y dos años

Especial mención merece el adiestramiento a flote, llevado a cabo regularmente tanto a bordo de las lanchas de instrucción y veleros escuela basados en la Escuela como de las unidades principales de la flota y e del B/E Juan Sebastián de Elcano, en el que los Guardiamarinas (alumnos de 4º curso) pasan el segundo semestre embarcados.

De los 492 alumnos que pasaron por la Escuela el curso pasado (2013-2014), 48 fueron mujeres. De este total 12 pertenecen al Cuerpo General, Infantería de Marina e Intendencia. El resto a Cuerpos Comunes (intervención, médicos, enfermeras, etc.)

Diariamente los alumnos de la ENM comparten su vida de diana a silencio. Un apretado horario, común para todos que empieza con el toque de diana a las 06:45, regula las actividades que se desarrollan a lo largo de la jornada.

Después del estudio matinal y antes de comenzar las clases, la revista de policía, congrega en el patio de aulas D. Álvaro de Bazán, a las distintas brigadas que componen el Batallón de Alumnos.

La comida y un breve descanso suponen una parada en el programa de actividades que se reanuda a 15:45 horas con clases prácticas y ejercicios marineros durante las tardes.

Las salidas al campo o a la mar en lanchas de instrucción y goletas complementan la formación de los alumnos.

La oración y lectura de la orden a las 18:30 horas, marcan el final de la jornada lectiva, que para la gran mayoría supone el inicio del estudio de las clases recibidas durante la misma.

También existen intercambios con otras Armadas aliadas, como son la Americana y la Francesa, según los cuales, alumnos suyos estudian durante un semestre en nuestra Escuela y Guardiamarinas españoles lo hacen en Annapolis (EEUU) y Brest (Francia).

## **4.2 Estructuración del trabajo**

El trabajo se estructura en 3 grandes bloques, siendo el primero la descripción del edificio, de sus generalidades y las particularidades del sistema de calefacción.

El segundo bloque será el análisis y cálculo de las necesidades energéticas por medio de dos métodos diferentes. Una aproximación teórica mediante el uso de herramientas informáticas y otra extraída de los consumos reales para diversos periodos de consumo. De estos análisis se extraerá una conclusión sobre el correcto dimensionado de las necesidades energéticas del edificio.

En el tercer bloque, se centrará en la búsqueda y elección de un sistema de climatización. Diseño y dimensionado de la instalación. Se realizará también un breve estudio económico. Y por último una conclusión final y líneas futuras posibles del proyecto.

## **4.3 Fundamentos básicos de los sistemas de climatización**

Un sistema de climatización incluye: sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado que son el conjunto de tecnologías y aplicaciones que proporcionan confort ambiental a las personas que habitan un edificio.

El confort ambiental según la Asociación Española de Climatización y Refrigeración [2] se consigue mediante la monitorización y control de las siguientes variables ambientales:

- Temperatura
- Humedad del aire
- Calidad y nivel de saturación del aire ( $CO_2$ )
- Cantidad de partículas en suspensión
- Ventilación en ambiente ocupado

Según el manual [1], sobre los procesos de climatización indica que existen 7 procesos principales:

1. Calentar: El proceso de añadir energía térmica (calor) con el fin aumentar la temperatura del recinto.
2. Enfriamiento: Proceso por el cual se retira energía térmica del espacio a acondicionar, con el propósito de reducir la temperatura del recinto.
3. Humidificar: Añadir vapor de agua, al aire para aumentar la humedad del ambiente
4. Deshumidificar: El proceso inverso a la humidificación por el que se retira vapor de agua para reducir la humedad ambiente.
5. Limpiar el aire: Retirar las partículas (polvo...) y contaminantes biológicos (insectos, polen...) del aire, mejorando la calidad del aire
6. Ventilación: el intercambio gaseoso entre el exterior y el recinto acondicionado con el fin de diluir los contaminantes gaseosos mejorando y manteniendo la calidad del aire, composición y frescura.
7. Movimiento del aire: Consiste en hacer circular el aire por los espacios acondicionados del edificio para alcanzar una ventilación y un intercambio de calor eficaz.

El control de todos estos parámetros serían los ideales para la climatizar cualquier edificio. En este trabajo analizaremos los parámetros que pueden ser controlables y los que no, debido a la complejidad del proyecto, motivos económicos o la idoneidad de los sistemas propuestos.

#### *4.3.1 Factores ambientales para el confort*

Como se puede intuir del apartado anterior, el principal objetivo de los sistemas de climatización para edificios es el confort para los seres humanos que habitan en las estancias.

Estos parámetros de confort, sin embargo, no son en absoluto sencillos o universales, dependiendo de múltiples factores, desde personales, físicos, hasta el estado de ánimo o la vestimenta, por tanto, es complicado determinar bajo que parámetros una persona puede sentirse confortable.

Para simplificar el análisis, el ASHRAE [3] ha clasificado los principales factores que afectan a este confort en tres grandes grupos:

- Atributos del espacio.
- Características de la persona.
- Vestimenta y actividad de la persona.

Atendiendo a los atributos del espacio, nos damos cuenta de que no solo se climatizan edificios de una sola manera, en muchos casos dependiendo de cuál sea su uso necesitan unas cualidades de climatización más adecuadas. De esta forma entendemos que no es lo mismo climatizar una granja para animales, que el quirófano de un hospital. También las expectativas al tipo de climatización que nos vamos a encontrar nos anticipan a la sensación de confort que podemos recibir según el edificio, o la actividad que se realice, por ejemplo cuando vamos a entrar en un hotel de lujo esperamos que la sensación sea agradable. Sin embargo no tenemos las mismas expectativas cuando vamos a entrar en un gimnasio.

Según los factores que afectan al individuo, la salud, la sensibilidad a los cambios térmicos, el metabolismo basal de cada persona, afectan en mayor o menor medida a la sensación de confort que cada uno pueda percibir.

En cuanto al último grupo de factores, podemos destacar la vestimenta como una de las condiciones que pueden cambiar la sensación de bienestar más drásticamente. Así mismo la actividad que se esté desarrollando tendrá unas necesidades de confort diferentes según la intensidad o tipo de actividad desarrollada.

#### *4.3.2 Factores que afectan a la climatización de un edificio.*

Ningún edificio por muy idéntico que se haya construido es igual a otro. Con esta afirmación entendemos que cada edificio debe ser estudiado independientemente. Es por ello que un buen estudio de los factores que afectan a la climatización de un edificio es fundamental. A continuación describiremos los principales condicionantes. [4]

- Clima exterior.
- Tamaño del edificio.
- Calidad de los cerramientos.
- Aislantes térmicos empleados

Las condiciones ambientales del lugar son determinantes al calcular las necesidades en calefacción/refrigeración de un edificio, estas dependen en primer lugar de la temperatura exterior.

Cuanto mayor sea el edificio mayor será la superficie en contacto con el exterior y por tanto mayores serán las pérdidas. Las pérdidas de calor se producen principalmente por la transmisión a través de los cerramientos y por ventilación. También un factor es la disciplina empleada en el correcto uso de los cerramientos cerrando puertas y ventanas cuando no sean necesarios. La calidad de los aislantes térmicos determina, el aislamiento del edificio del medio ambiente en el que se encuentre.

## 5 ESTADO DEL ARTE

La búsqueda de un entorno que reúna las condiciones necesarias para el desarrollo de la vida es algo que ha venido ligado a la naturaleza humana desde sus primeros pasos como seres inteligentes. El encender un fuego dentro de una cueva en los meses de invierno, o refrescar los suelos echando agua en los meses más cálidos son sin duda los primeros conatos de la búsqueda del confort térmico.

La sociedad humana ha crecido y se ha dispersado alrededor de todo el planeta, colonizando lugares con todo tipo de clima, desde el desierto hasta el ártico. Condiciones que, sin duda, sin un acondicionamiento térmico adecuado en las prendas de vestir y en los lugares de habitación harían inviable la vida humana en tales circunstancias. De hecho, si observamos los usos y costumbre de los aborígenes africanos, donde según los últimos estudios parece encontrarse el origen del hombre, no están excesivamente prestados a la utilización de prendas para vestir, o de viviendas que se limitan a la separación con el exterior y la protección contra los meteoros.

Podemos entender entonces el factor determinante que ha jugado la climatización al permitir que como nómadas pudiéramos habitar lugares que no son naturales para nosotros, donde sin unas condiciones adecuadas de climatización no hubiéramos podido sobrevivir.

Según el paso de los siglos y apoyados por la mejora de la ciencia y la tecnología hemos conseguido llegar cada vez a más lugares, pudiendo destacar la Estación Espacial Internacional, donde en uno de los lugares más inhóspitos como es el espacio, los astronautas, son capaces de deambular por la nave en ropa interior, cuando solo unos centímetros de “pared” los separan de temperaturas y condiciones que poco tienen que ver con el confort.

Hasta hace poco más de un siglo, las formas de calentar o refrigerar un edificio seguían siendo en esencia iguales que los utilizados milenios atrás, basándose en el uso del fuego, calor animal, vestimentas o la mejora de la protección térmica de los edificios. Y no imaginemos los problemas para refrigerar...

No es hasta el siglo XX cuando tras afianzar los avances de la revolución industrial no se empezó a utilizar el calor de manera eficaz en conducciones que hoy en día podríamos llamar calefacción central. A pesar de estos avances, esta tecnología solo se utilizaba en industrias donde había una generación de calor aprovechable. Con el paso de los años esta tecnología se fue haciendo más popular se desarrolló la calefacción urbana, que permitía calentar barrios enteros. Sin embargo, hasta bien entrado el S XX se seguía utilizando leña o carbón como combustible principal, con el gran inconveniente que ello podía ser. A mediados de siglo se empezó a utilizar primero gasoil y hacia los 60 se empezó a cambiar por gas natural.

Por el contrario la evolución de la tecnología para la refrigeración aunque los principios se conocían desde que en 1842 Lord Kelvin enunciara los principios del aire acondicionado, esta tecnología permaneció estancada hasta que en la década de 1900 Willis Haviland Carrier enunciara las bases de la refrigeración moderna.

No fue hasta el descubrimiento y el aprovechamiento de la electricidad que se experimentó un verdadero punto de inflexión que ha disparado de manera nunca antes vista los equipos y sistemas que actualmente hoy en día utilizamos para la climatización. El primer uso de la climatización no fue hasta 1925, cuando el Teatro Rivoli de Nueva York instaló el primer aparato de refrigeración. Fue en los teatros y cines donde el invento tuvo su mayor repercusión, no siendo hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando los aparatos de refrigeración se extendieron a los particulares. Fue en este momento a partir del cual pudimos cambiar nuestras condiciones ambientales interiores a voluntad.

Desde entonces se ha experimentado un gran aumento en la oferta de nuevos equipos y sistemas de climatización, con diferentes tecnologías y cada vez con mejores rendimientos que han logrado que realmente sea posible alcanzar una situación de confort, de una manera eficaz, económicamente rentable y gracias a las últimas tecnologías también sostenibles.

A continuación se describirán diversas tecnologías que por su novedad o características se estudiarán para el desarrollo de este trabajo

## 5.1 Enfriamiento gratuito.

Referente a normativas según el RITE [5] apartado 1.2.4.5.1.3 enfriamiento gratuito por aire exterior:

*“Los sistemas de climatización del tipo mixto agua-aire, el enfriamiento de gratuito se obtendrá mediante agua procedente de torres de refrigeración, preferentemente circuito cerrado”*

Existen 3 tipos de sistemas para poder aprovechar las condiciones climáticas del exterior

- Utilización directa del aire exterior.
- Utilización del aire exterior para enfriar agua.
- Utilización del aire exterior para enfriar un refrigerante.

Este sistema consiste básicamente en utilizar el aire del exterior filtrado solamente en vez de recircular el aire del entorno. El sistema está pensado para determinadas estaciones del año donde los contrastes térmicos como por ejemplo, entre el día y la noche, pueden ser utilizados para refrigerar o calentar de manera altamente económica y eficaz.

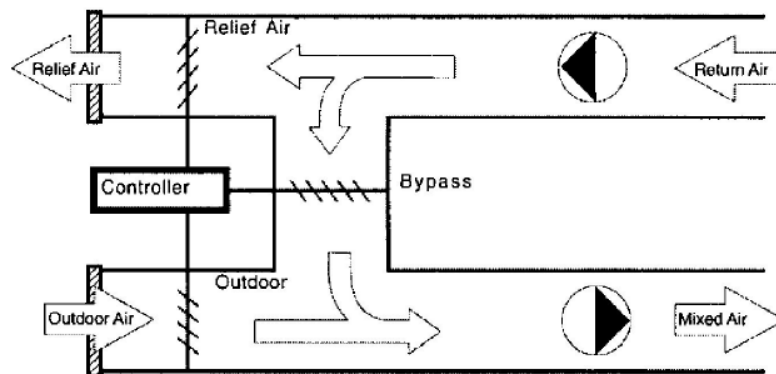


Figura 4-1 Esquema de funcionamiento del enfriamiento gratuito (free cooling)

Fuente Free Cooling (<https://clowcost.wordpress.com>)

De esta forma aprovechando el descenso de temperaturas en las noches de verano podemos disminuir la temperatura de los edificios. Por el contrario, en invierno, donde las demandas son de calefacción el sistema no es tan eficaz aunque en determinadas ocasiones podría ser eficaz.

Actualmente estos equipos se instalan en edificios con sistemas de climatización por aire. Sin embargo, el principio de funcionamiento, que consiste en ventilar a las horas propicias para ello es de utilidad para una climatización económica del edificio que se podría tener en cuenta para una refrigeración económica.

## 5.2 Caldera de gas

Las calderas son equipos encargados de producción de calor y el calentamiento de agua para posteriormente se intercambiado con el aire, se diferencian según el combustible empleado y de su clasificación energética.

Según el combustible empleado pueden ser:

- De combustible sólido como leña y carbón
- Poli combustibles: Pueden quemar combustibles sólidos líquidos o gaseosos.
- Gasóleo: Tienen un elevado rendimiento.

- Gas: como gas propano, gas natural o gas ciudad.
- Eléctricas: que funcionan mediante el calentamiento por resistencias eléctricas.

En función de su calificación energética pueden ser:

- De baja temperatura: funcionando a una temperatura de agua de 35 a 40°C
- De condensación: Las calderas de condensación son calderas de alto rendimiento, basado en el aprovechamiento del calor de condensación de los humos en combustión. Esta tecnología aprovecha el vapor de agua que se produce en los gases de combustión y lo devuelve en estado líquido. El proceso de condensación es un cambio de fase de una sustancia del estado gaseoso a líquido. Este cambio de fase genera una cierta cantidad de calor latente. El paso de gas a líquido depende entre otros factores de la presión y temperatura. La condensación, a una temperatura dada, conlleva una liberación de energía, así el estado líquido es más favorable desde el punto de vista energético. De esta forma la los gases no sobrepasan los 65°C limitando así las emisiones de gases contaminantes.
- Atmosférica: en la caldera clásica de tipo atmosférico una parte importante de calor latente es evacuada por los humos, lo que implica una temperatura muy elevada de los productos de combustión del orden de 150°C.

En el cuartel Francisco Moreno actualmente están instaladas dos calderas de gas atmosféricas que se detallaran más adelante en el apartado 5.3.2.

### **5.3 Bomba de calor**

Una bomba de calor es una máquina capaz de transferir calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña pudiendo generar una producción térmica que puede cuadruplicar el gasto eléctrico. Según [6]:

“Una bomba de calor es una máquina térmica capaz de aportar calor a una fuente de alta temperatura absorbiéndolo de una fuente de baja temperatura.”

La aplicación en climatización es la siguiente:

En calefacción (invierno): El foco caliente es el exterior, y el foco frío es el interior del edificio o casa a calentar (se extrae calor del exterior y se introduce en el interior)

En refrigeración (verano): El foco caliente es el interior, y el foco frío es el exterior (se cede calor del interior y se expulsa al exterior para bajar la temperatura del local)

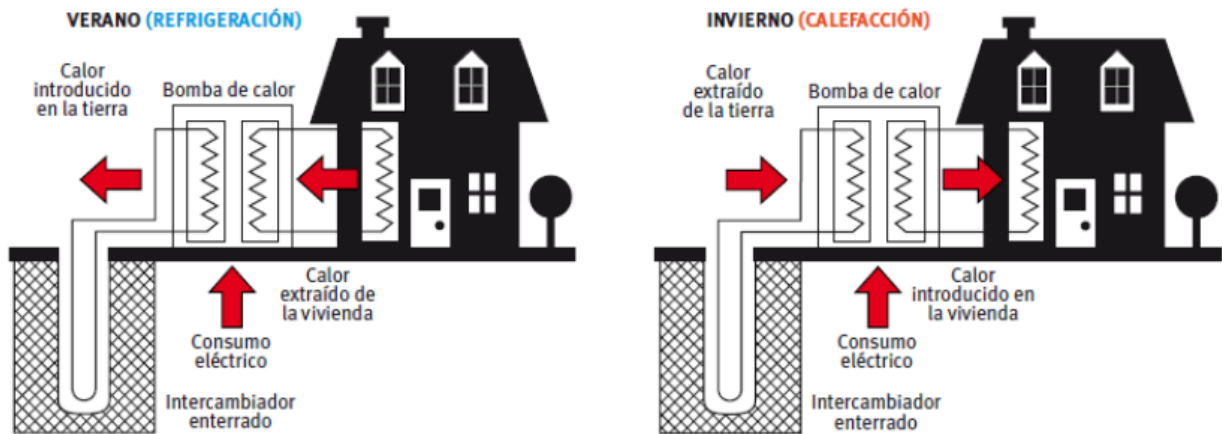


Figura 4-2 Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano y en invierno  
Fuente ECOFOREST

Estos equipos pueden variar en torno a que medios podemos utilizar para realizar el intercambio de calor: aire tierra y agua. El aire es el menos eficiente puesto que su temperatura varía de una forma inversa a las necesidades térmicas de los puntos de consumo. Esto es que cuando queremos hacer uso de la calefacción la temperatura exterior es baja por tanto el esfuerzo de estos equipos por conseguir la temperatura requerida es mayor, aumentando considerablemente el consumo. Así los otros medios posibles; geotérmicos e hidrotérmicos aportarían mayor eficiencia al sistema al no producirse estos cambios grandes de temperatura ni en el agua ni en la tierra.

## 5.4 Bombas de calor geotérmicas

Las bombas de calor geotérmicas o GHPs (Geothermal Heat Pumps) por sus siglas en inglés lleva en uso comercial desde la década de 1940. Esta técnica aprovecha la temperatura estable de la tierra o del agua en vez de utilizar el intercambio con el aire. Esto permite alcanzar eficiencias altas (300% hasta 600%) en las noches más frías de invierno en donde el suelo sigue manteniendo su temperatura. Sin embargo solo se ha instalado 4.500 MW de potencia en toda Europa. [6]

Esta tecnología suele utilizarse en aplicaciones domésticas y comerciales de hasta media potencia. Actualmente su demanda cada vez es mayor, favorecida por la gran oferta existente. El número de máquinas instaladas actualmente es de 700.000 unidades con una potencia media de 12 kW para uso residencial.

Este sistema normalmente está compuesto por un circuito primario de agua geotérmica y un circuito secundario de distribución de calor, disponiendo de un intercambiador de calor que limitara la potencia extraída de calor dependiendo de su eficiencia. Es importante destacar que solo es posible extraer calor si la temperatura de entrada de agua geotérmica es superior a la de retorno del circuito secundario. La bomba de calor permite evitar estas limitaciones y explotar yacimientos de muy baja temperatura (incluso menor que la demandada).

La gran mayoría de las bombas de calor basan su funcionamiento en el ciclo termodinámico frigorífico de compresión expansión, siendo sus componentes básicos el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Están formadas por:

- Un compresor, que aspira un gas a baja presión y lo comprime hasta una presión elevada.
- Un condensador, donde se enfría y sale en forma de líquido saturado.
- Una válvula de expansión, de donde sale en forma de mezcla líquido-vapor a baja presión y temperatura.

- Un evaporador, donde la fase líquida pasa a vapor. El vapor saturado retorna al compresor y se cierra el ciclo.

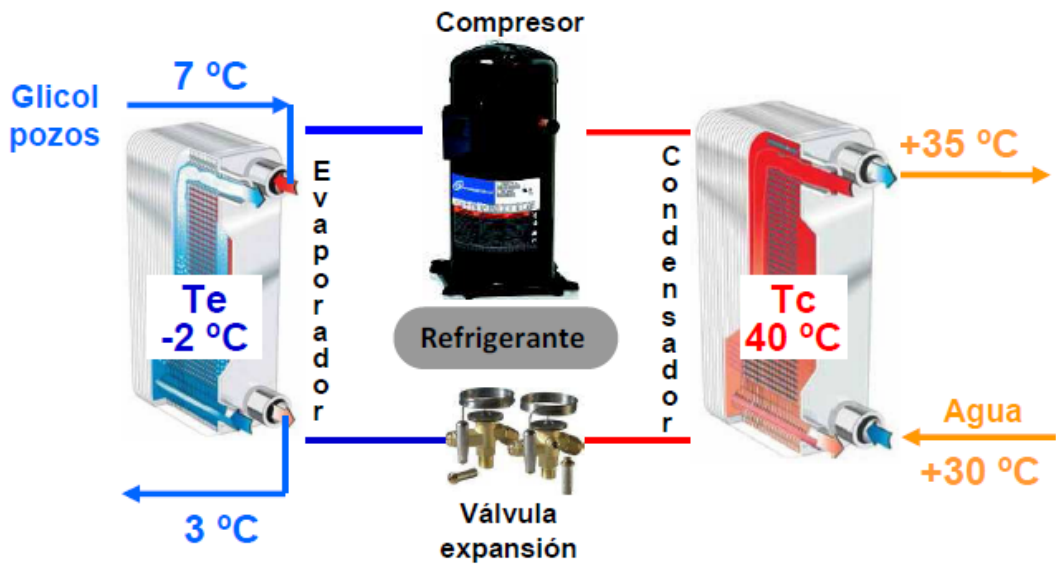


Figura 4-3 Esquema básico bomba de calor, se distinguen el evaporador condensador compresor y la válvula de expansión.

Una característica de una bomba de calor es su reversibilidad, ya que puede alterarse hacia donde se radia la energía térmica. De esta forma, podría enfriar en verano, y calentar en invierno.

### 5.5 Bomba de calor hidrotérmica

Siendo su funcionamiento el mismo que una bomba de calor convencional cuyo funcionamiento hemos explicado en el apartado anterior, una bomba hidrotérmica basa su funcionamiento en el gradiente térmico existente entre el agua, y la zona a climatizar. El agua puede provenir de diferentes fuentes, desde un pozo, a un lago o directamente del mar. La gran ventaja de utilizar agua para el intercambio térmico es su temperatura más estable a lo largo del año, y su gran calor específico.

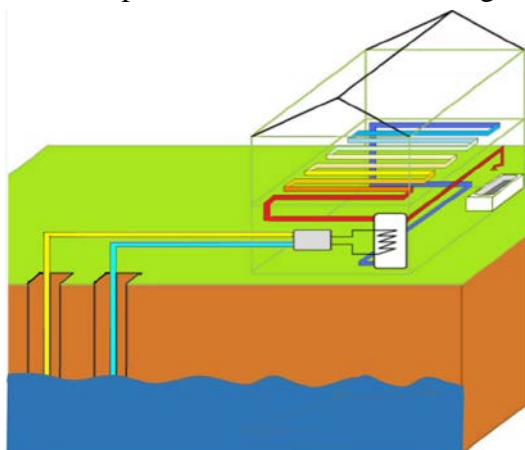


Figura 4-5 Esquema sistema hidrotérmico

Fuente elaboración propia

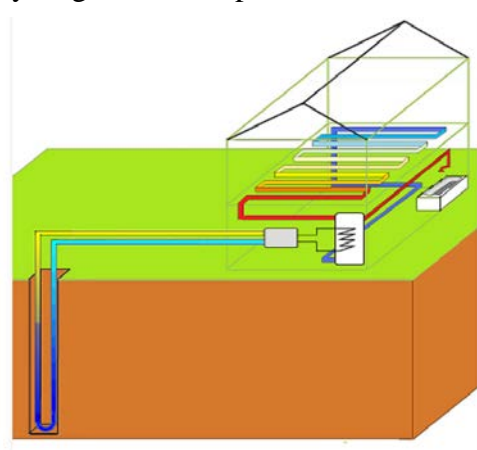


Figura 2-4 Esquema sistema geotérmico.

Fuente elaboración propia

Un ejemplo de calefacción de este tipo se emplea en el invernadero del Real Jardín Botánico de Madrid.

### 5.5.1 Tecnología Inverter

La tecnología Inverter permite modificar a voluntad el voltaje y la frecuencia de salida de la corriente alterna, permitiendo que los compresores puedan funcionar a potencias distintas ajustándose a la demanda del momento, de esta forma se evitan los picos de consumo y las interrupciones del mismo que se producían al querer mantener la temperatura de un local constante.

Este sistema presenta unas grandes ventajas:

- Reducción de consumo eléctrico.
- Mayor duración y fiabilidad del compresor.
- Mayor confort.

Esta tecnología se está implantando de manera casi generalizada en todos los equipos de climatización actualmente existentes basados en bombas de calor.

#### Temperatura

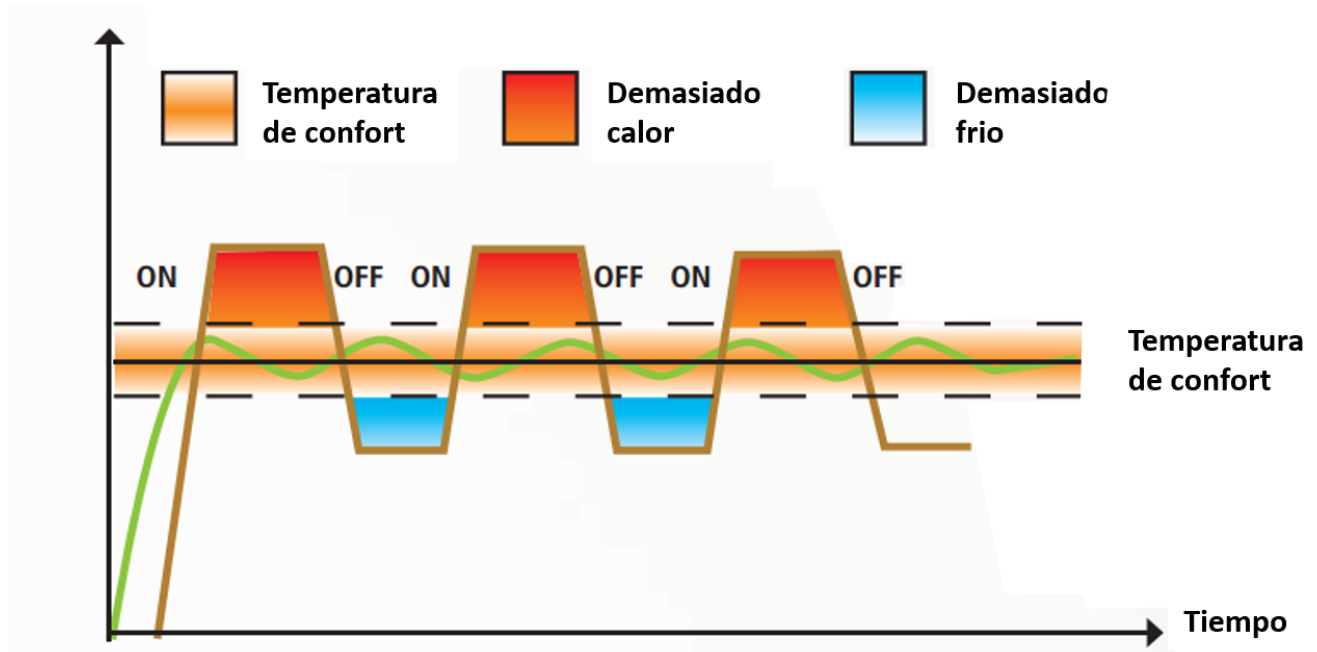


Figura 4-6 Tecnología Inverter vs un compresor convencional.

Fuente elaboración propia

### 5.5.2 La bomba de calor hidrotérmica como fuente de energía renovable

Según el artículo 5 en su apartado 4 de la Directiva 2009/28/CE [7]:

*“La energía Aero térmica, geotérmica e hidrotérmica capturada por las bombas de calor se tendrá en cuenta a efectos del consumo final bruto de energía procedente de fuentes renovables para la calefacción y la refrigeración, siempre que la producción final de energía supere de forma significativa el insumo de energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor. La cantidad de calor que se ha de considerar como energía procedente de fuentes renovables a efectos de la presente Directiva se calculará de conformidad con la metodología establecida en el anexo VII”.*

Esta afirmación es importante ya que permite incluir a esta tecnología entre las energías renovables, con todas las connotaciones técnicas y económicas que esto puede llevar.

En el caso de la energía geotérmica la cantidad de energía extraída del terreno es cuatro o cinco veces superior a la energía consumida para su extracción, por lo que aporta más de un 75% de energía renovable para cubrir la demanda térmica. Su utilización supone reducir, dependiendo de la fuente de energía convencional con la que se la compare, entre el 50% y el 80% las emisiones de dióxido de carbono.

En referencia al RITE el IDAE [8] en esta Publicación se establece que:

*“Los sistemas de paneles térmicos podrán ser sustituidos por otras técnicas de energías renovables siempre que no venga superada la producción de dióxido de carbono del sistema exigido por la Administración sobre una base anual”*

Por tanto la energía solar térmica para la producción de ACS podrá ser sustituida por sistemas geotérmicos y aero-térmicos siempre que las emisiones de dióxido de carbono sean inferiores a las emisiones de dióxido de carbono que se generarían en una instalación homóloga (bien sea con gasoil, gas natural, etc.) que aporte el porcentaje establecido de la demanda con paneles solares térmicos.

### 5.5.3 Rendimiento de una bomba de calor

El balance energético de una bomba de calor para refrigeración y calefacción se puede expresar como [4]:

$$P_e + PE = P_p + PC \quad (1)$$

Dónde:

$P_e$ =Potencia eléctrica consumida.

$PE$ = Potencia frigorífica (calor extraído del exterior)

$PC$ =Potencia térmica (calor cedido al exterior).

$P_p$  =Potencia de pérdidas

Si la maquina es productora de frio, se considerará su eficiencia frigorífica, sin embargo si actúa como productora de calor, se obtendrá una eficiencia térmica. La eficiencia de una bomba de calor se expresa mediante el coeficiente de rendimiento, que será explicado en el siguiente apartado.

### 5.5.4 Coeficiente de rendimiento (COP) y la eficiencia de enfriamiento (EER)

El coeficiente de rendimiento o "Coefficient of Performance" por sus siglas en inglés es una expresión de la eficiencia de una bomba de calor. Cuando se calcula el COP se está comparando la salida de calor del condensador (Q) con la potencia suministrada al compresor (W). Esto es la relación entre la potencia (kW) que sale de la bomba de calor y la potencia que se suministra al compresor. El COP no tiene unidades al ser el cociente entre dos potencias [4].

La eficiencia de enfriamiento o "Efficiency Energy Ratio" por sus siglas en inglés es una expresión de la eficiencia de una bomba de calor actuando como máquina frigorífica. El EER compara la potencia frigorífica total y la potencia absorbida útil.

$$COP = \frac{\text{Potencia térmica útil en } W}{\text{Potencia total absorbida en } W} \quad (2)$$

$$EER = \frac{PE}{P_e} \quad (3)$$

$$COP_{T\acute{e}rmico} = \frac{PC}{P_e} \tag{4}$$

Por tanto el COP total:

$$COP_{total} = 1 + COP - \frac{P_p}{P_e} \tag{5}$$

Para calcular la máxima eficiencia teórica de una maquina ideal según el ciclo termodinámico de Carnot se tiene que [9]:

$$EER_{M\acute{a}ximo} = \frac{TE}{TC - TF} \tag{6}$$

$$COP_{M\acute{a}ximo} = \frac{TE}{TC - TF} \tag{7}$$

$$EER = \frac{PE}{P_e} \tag{8}$$

$$COP_{T\acute{e}rmico} = EER + 1 \tag{9}$$

Dónde:

TC= Temperatura caliente

TF =Temperatura fría

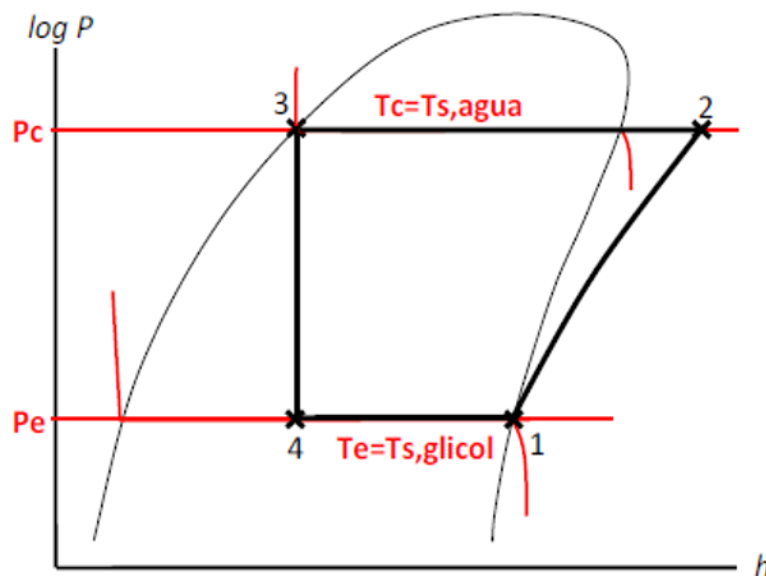


Figura 4-7 Eficiencia ideal del ciclo termodinámico de Carnot. Fuente elaboración propia.

Se observa que el  $COP_{T\acute{e}rmico}$  será siempre mayor que el  $EER$ . Estos valores alcanzarán valores próximos cuanto menores sean las pérdidas del equipo. Es destacable que en los catálogos de los

fabricantes figura el COP nominal de la máquina funcionando en régimen estacionario, normalmente al 100% de capacidad y trabajando con unas temperaturas determinadas de entrada y salida. Sin embargo la realidad puede ser muy distinta, ya que el funcionamiento normal de estos equipos es a regímenes parciales.

En general las prestaciones de las bombas de calor se pueden entender como:

- En régimen de calefacción el  $COP_{Térmico}$  depende sobre todo de la temperatura de entrada, pudiendo alcanzar valores de 3 o incluso 5.
- En régimen de refrigeración el EER está entre 2.5 y 4.

## 5.6 Metodología empleada, cálculo demanda energética.

Para el cálculo de las cargas térmicas según el DBHE [9] punto número 5, se establece que los cálculos para determinar la demanda energética de calefacción y refrigeración cuando el edificio esté sometido a solicitaciones interiores y exteriores deben permitir obtener separadamente la demanda energética de calefacción y de refrigeración.

Para efectuar un estudio correcto se debe tener en cuenta que las variables que afectan a las cargas son numerosas y variables. Las variaciones principales procederán de las características de los cerramientos, la localización y orientación del edificio, de la temperatura exterior e interior requerida, pero también influirán los aportes por iluminación, por ocupación, por radiación solar, perfil de sombras...

En el cálculo además se deberá distinguir si la carga es latente (que afecta a la cantidad de vapor de agua) o sensible (que afectan a la temperatura) y si se trata de una carga exterior o interior. Para evaluar las cargas térmicas según el RITE [5] se requiere información de las condiciones exteriores e interiores de diseño.

De esta forma así quedan desglosadas las condiciones interiores y exteriores:

Cargas exteriores:

- Cargas a través de paredes, suelos y techos (carga sensible)
- Cargas a través de superficies acristaladas (carga sensible)
- Cargas por infiltraciones (carga sensible y latente)
- 

Cargas interiores:

- Ocupantes (carga sensible y latente)
- Iluminación (carga sensible)
- Maquinaria y equipos (carga sensible)
- Instalación (carga sensible)

Los cálculos realizados en el apartado 6.2 se han llevado a cabo utilizando el programa informático  $CE^3X$ -V.1.3 indicado por [10] (IDAE), para la certificación energética y cálculo de cargas térmicas de edificios ya existentes, el programa es una versión simplificada pero válida del programa de referencia CALENER.

### 5.6.1 Carga interna debida a la instalación de iluminación [11]

$$VEEI = P * \frac{100}{S * Em} \quad (10)$$

VEEI: Valor de eficiencia energética de la instalación de iluminación:

Siendo:

- P: La potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares [W]
- S: Superficie iluminada [m<sup>2</sup>];
- Em: Iluminancia media horizontal mantenida [lux].

### 5.6.2 Transmitancia térmica de cerramientos opacos [10]

Para el cálculo de la Transmitancia térmica por unidad de superficie (UA) específica de los cerramientos opacos:

$$\vartheta_{global \text{ Cerramientos Opacos}} = \frac{\sum_i^{Cerramientos Opacos} U_i * K * S_i}{area} \quad (11)$$

- $\vartheta_{Global}$  de Cerramientos Opacos: W/k por m<sup>2</sup> de superficie útil habitable.
- $U_i$ : Transmitancia térmica del cerramiento opaco (W/m<sup>2</sup> K).
- $S_i$ : superficie neta (sin huecos) del cerramiento opaco (m<sup>2</sup>).
- Área: superficie útil habitable del edificio objeto.
- K: factor de ajuste.

### 5.6.3 Transmitancia de huecos y lucernarios [10]

Para el cálculo de la Transmitancia térmica por unidad de superficie (UA) específica de huecos y ventanas.

$$\vartheta_{global \text{ huecos}} = \frac{\sum_i^{Huecos} \{U_{vidrio i} * (1 - P_{Marco i}) + U_{Marco i} * P_{Marco i}\} * S_i}{area} \quad (12)$$

Siendo:

- $\vartheta_{global \text{ huecos}}$ : W/k por m<sup>2</sup> de superficie útil habitable.
- $U_{vidrio}$ : Transmitancia térmica del vidrio (W/m<sup>2</sup>K).
- $U_{Marco}$ : Transmitancia térmica del marco (W/m<sup>2</sup>K).
- $P_{Marco i}$ : Tanto por uno de superficie de marco respecto a superficie total del hueco.
- $S_i$ : superficie del hueco (m<sup>2</sup>)
- Area: Superficie útil habitable del edificio objeto

## 6 SITUACIÓN, DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y SUS INSTALACIONES

El cuartel de alumnos Almirante Francisco Moreno, inaugurado en 1977, se ubica en la cara noroeste de la Escuela Naval Militar de Marín. Se trata de un cuartel de alumnos de tres plantas con capacidad para 356 personas también se encuentran en él una biblioteca y una sala de judo, que dan servicio a todos los alumnos del recinto militar. El edificio está orientado hacia el noreste. Al norte del edificio se encuentra una pista militar de obstáculos y la plataforma para helicópteros. Al este se encuentra un mástil de grandes dimensiones utilizado para actividades de instrucción marinera propias de la Escuela Naval. Al oeste se encuentra una gran explanada del Centro de Adiestramiento de Seguridad Interior (C.A.S.I.). Por último al sur existe una rampa que da acceso al resto de la escuela.



Figura 5-1- Localización cuartel Francisco Moreno en la Escuela Naval Militar  
Fuente Google Earth (<https://www.google.com>)

### 6.1 Descripción del edificio.

En este apartado se realizará una descripción del edificio, que se dividirá en zonas para facilitar el procedimiento de entrada de datos para el cálculo de la demanda energética que se realizara más adelante en el apartado 6.3.

El Cuartel Almirante Francisco Moreno es una edificación de gran composición que presenta unas líneas sencillas. Esta edificado sobre un solar de unos  $3200 \text{ m}^2$ , compuesto por una planta baja y dos superiores en donde se sitúan los dormitorios, los estudios y los baños. El edificio tiene una simetría en forma de “H” cerrada por su fachada oeste y con su eje principal orientado al noreste [12].

Consta de dos módulos simétricos (zona 1 y 2) de  $1952,56 \text{ m}^2$ , separados por dos patios centrales descubiertos y un módulo central “hall” (zona 3) de  $201,7 \text{ m}^2$ , destinado a las zonas comunes y núcleo de acceso principal.

La planta baja consta de tres zonas principales: cuerpo central, vestíbulo-recepción, hall y escalera principal. En la cara sur se ubica la biblioteca, la sala de calderas y cuarto de mantenimiento en la cara oeste, un gimnasio/tatami y un patio cubierto en la cara norte. Así mismo en la planta baja figuran 2 zonas ajardinadas una abierta de acceso y otra en el patio interior con bancos y zona de estar. El acceso principal al edificio se encuentra en su cara este, a través de uno de sus patios abiertos.



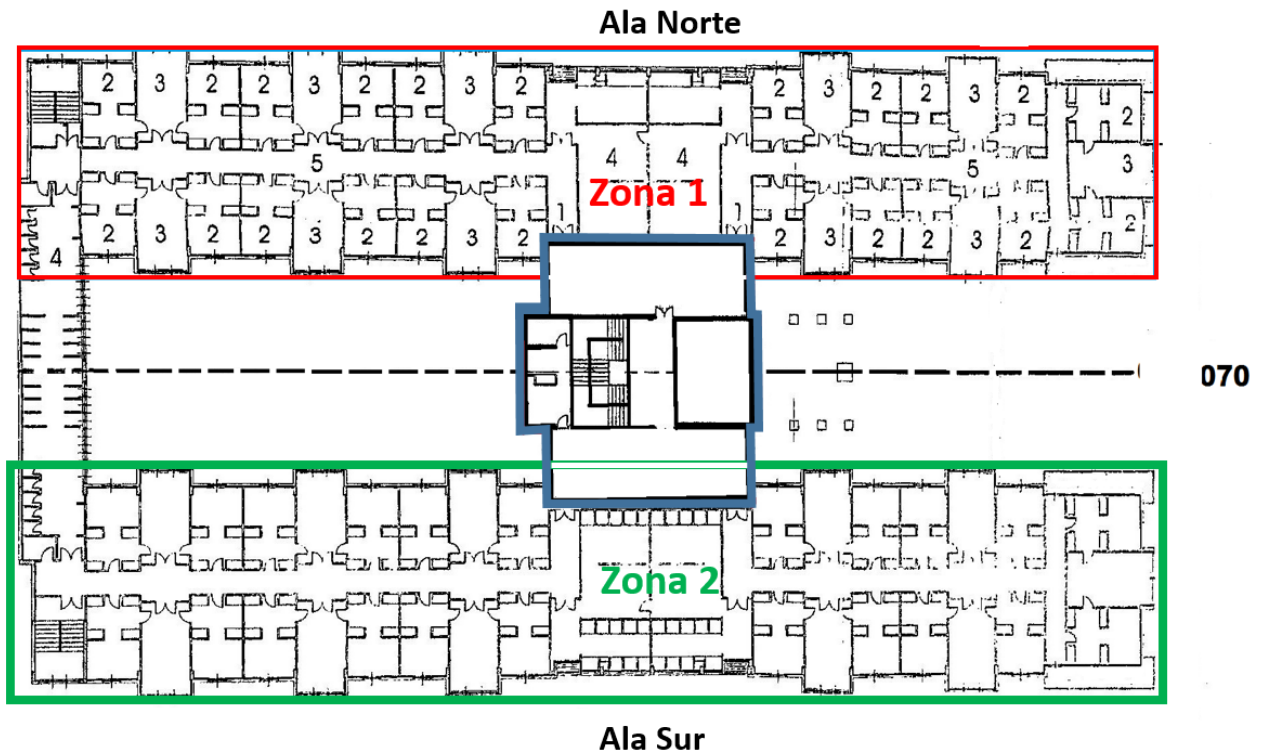
**Figura 5-2 Detalle del cuartel Francisco Moreno y palo de señales. Fuente elaboración propia**

Las dos plantas superiores son idénticas en su distribución y superficie, cada una de ellas se puede dividir en dos caras idénticas una en la cara norte o zona 1 otra en la cara sur o zona 2, estas caras se pueden dividir a su vez en alas, oeste y este tal como se especifica en la Figura 5-3. Cada una de las plantas está compuesta por 22 módulos para 8 alumnos, con un total por planta de 176 alumnos; 352 alumnos en total, cada módulo consta de una sala de estudio para los ocho alumnos (Figura 3-5). A los laterales del estudio se encuentran las habitaciones con capacidad de 4 ocupantes (Figura) donde se diferencian dos espacios, el dormitorio y el vestidor.

:

<i>Superficies de los módulos</i>	<i>Metros cuadrados</i>
<i>Sala de estudio</i>	20.95
<i>2 dormitorios y 2 vestidores</i>	38.7
<i>Superficie total módulo</i>	59.65
<i>Superficies totales de los módulos</i>	1252

**Tabla 5-1: Condiciones atmosféricas en Pontevedra Fuente AEMET 2014**



**1-ACCESOS 2-DORMITORIOS 3-ESTUDIOS 4-ASEOS 5-PASILLOS**

Figura 5-3 Zonificación Cuartel Francisco Moreno Fuente ENM



Figura 5-4 Detalle de dormitorios de 4 ocupantes cuartel Francisco Moreno Fuente elaboración propia



**Figura 3-5 Detalle de un estudio para ocho alumnos del cuartel Francisco Moreno**  
**Fuente elaboracion propia**

Estos módulos se distribuyen en cuatro grupos, situados alrededor del hall central de la planta.

En mitad de las dos secciones se encuentran los aseos, así como también existen otros aseos para personal femenino en la cara oeste del edificio.

Los muros son de ladrillo hueco doble a panderete asentada con mortero de cemento y arena de río, en el interior separados por una cámara de aire de 5cm de un tabicón de ladrillo hueco doble sentado con mortero de cemento y arena de río. El exterior está recubierto con mortero de cemento. En las cámaras de aire existe un aislamiento con planchas rígidas de espuma de poli estireno extruido de 40mm de grosor.

Las ventanas de las habitaciones y los estudios son ventanas simples, con marco de aluminio sobre dos hojas correderas.

Por último, la cubierta formada por teja cerámica curva sobre paneles de fibrocemento y tabique palomero. Indicar que el sistema de recogida de pluviales se realiza mediante un canalón oculto con bajantes de PVC también ocultas.

## **6.2 Estado actual del edificio**

El edificio ha sufrido diversas reformas a lo largo de su historia, en 1988 se realizó una reforma de los baños y en 2004 una reforma general que comprendió el sistema de calefacción, fontanería, servicio de ACS, cubiertas, fachadas y aseos.

Según observamos el edificio en su condición actual se pueden observar medidas de actuaciones básicas y evidentes:

- Las puertas de madera y ventanas de aluminio antiguas y algunas en mal estado con cerramientos y aislamientos defectuosos o inexistentes.
- Existe falta de aislamiento térmico en los circuitos de calefacción y agua caliente.
- Se observan filtraciones de aire por casi todas las aperturas exteriores como cajas de persianas, tragaluces ventanas y puertas.
- Ausencia de dobles puertas en accesos al exterior.
- El circuito de calefacción, se encuentra en estado deficiente al no llegar a calentar las habitaciones más alejadas del cuarto de calderas.
- Carencia de equipo de refrigeración/climatización.

## 6.3 Descripción de las instalaciones térmicas

### 6.3.1 Características de la instalación

El edificio sólo dispone de instalaciones para la producción de calor. La instalación existente consta de dos calderas de gas que proporcionan calor al circuito de calefacción del edificio y proporciona el Agua Caliente Sanitaria al circuito.

Para la producción de ACS el equipo generador dispone de un circuito de agua cerrado que calientan el agua fría hasta los 60°C por medio de 2 intercambiadores de calor. El agua ya calentada pasa al equipo acumulador que se ubica en la misma sala de calderas desde aquí impulsada por una bomba el ACS es recirculada por todo el edificio circuito de retorno, permitiendo que el ACS llegue rápidamente a todos los grifos sin tener que esperar mejorando el confort de los usuarios, así como ayudando a mantener la temperatura de agua más caliente al volver al depósito en cada ciclo.

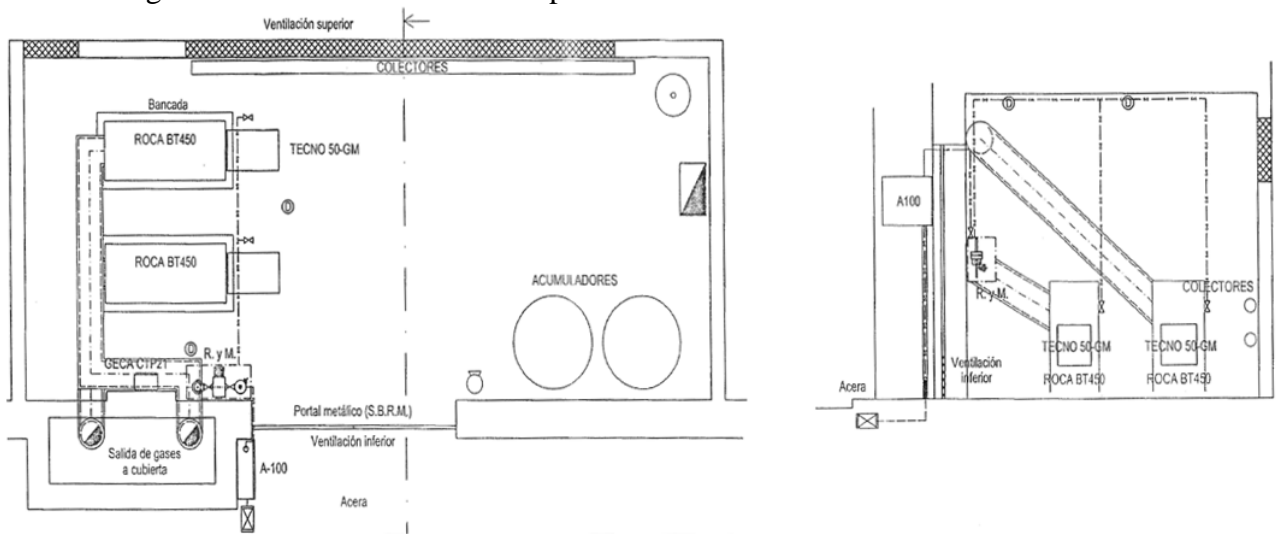


Figura 5-6 Detalle instalación sala de calderas actual Fuente E.N.M.

El circuito de calefacción del edificio se extiende todo el edificio. Se compone de los radiadores de los que se existen múltiples en las zonas comunes y uno por cada habitación y estudio. El agua de los radiadores se calienta mediante circuito cerrado a través de las mismas dos calderas que ya mencionadas.

Las dos calderas están operadas mediante una centralita, ubicada en el cuarto de calderas, que las enciende y apaga según la demanda existente pudiendo funcionar solas o las dos a la vez. Esta centralita regula también los horarios de calefacción que se programan manualmente, también está conectada a un termostato exterior que encendería la calefacción si la temperatura exterior disminuyese de manera abrupta.

El sistema de calefacción carece de termostatos interiores, siendo la única regulación posible en las habitaciones regulando la válvula termo-económica existente en todos los radiadores del edificio. Esta válvula consta de 5 posiciones.

El uso de las calderas actual es casi ininterrumpido, debido a la gran demanda y al sistema de recirculación de ACS. La calefacción se enciende durante los meses de invierno según el siguiente horario:

- De 05:00 a 07:00 horas.
- De 20:00 a 24:00 horas.

### 6.3.2 Subconjunto grupo generador

Es el elemento o grupo de elementos destinados a elevar la temperatura del agua fría. En el Cuartel existen dos grupos térmicos BT 450 generadores de calor presurizados de combustión con inversión de llama de rendimiento útil superior al 91%.

El material base utilizado para la fabricación de la caldera es chapa de acero. La característica esencial de estos grupos térmicos es su capacidad de trabajo a bajas temperaturas en el agua sin generar condensaciones en los mismos. Pueden trabajar con temperaturas de retorno muy bajas (30 °C con gasóleo y 35 °C con gas). Las puertas van dotadas con aislamiento cerámico, son reversibles y con envolvente frontal.

Las conexiones de Ida y Retorno van situadas en la parte superior del generador. Los generadores están formados por dos cuerpos superpuestos, en el inferior va situada la cámara de combustión y en el superior el haz tubular por donde pasan los humos. El agua que rodea estos tubos está dentro de otra subcámara cuyo intercambio de agua con el resto del generador está controlado por unos circuladores y un termostato.

#### Características Caldera de gas

Marca	ROCA
Modelo	BT 450
Potencia nominal	$Q_{max} = 508 \text{ KW}$ $Q_{min} = 406 \text{ KW}$
Potencia útil	$Q_{max} = 532 \text{ KW}$ $Q_{min} = 376.4 \text{ KW}$
Presión máxima de servicio	5bar
Temperatura máxima	100°C

Tabla 5-2 Características técnicas de las calderas ROCA BT 450 del cuartel Francisco Moreno



Figura 5-7 Detalle calderas Roca BT 450 y quemadores BAXI TECNO 50  
Fuente elaboración propia

### 6.3.3 Subconjunto quemador

Cada grupo térmico lleva acoplado enfrente un quemador marca BAXI modelo TECNO 50-GM constan de dos etapas progresivas que actualmente funcionan a Gas Natural pero son fácilmente adaptable a Gas Propano.

#### *Características quemador Tecno 50 GM*

<i>Marca</i>	BAXI
<i>Modelo</i>	TECNO-50
<i>Potencia mínima</i>	$Q_{max} = 116KW$ (Kcal/h*1000)
<i>Potencia máxima</i>	580 kW (500 Kcal/h*1000)
<i>Combustible</i>	Gas natural

Tabla 5-3 Características los quemadores BAXI TECNO-50 del Cuartel Francisco Moreno

### 6.3.1 Subconjunto intercambiador

El sistema intercambiador de calor utilizado actualmente para calentar el ACS son 3 intercambiadores de calor a placas marca Indelcasa modelo SC-03. Su misión principal es la de transmitir energía térmica del agua previamente calentada por la caldera al circuito de agua caliente sin que exista mezcla de fluidos.

Está constituido por un conjunto de placas estampadas y corrugadas montadas sobre un bastidor común.

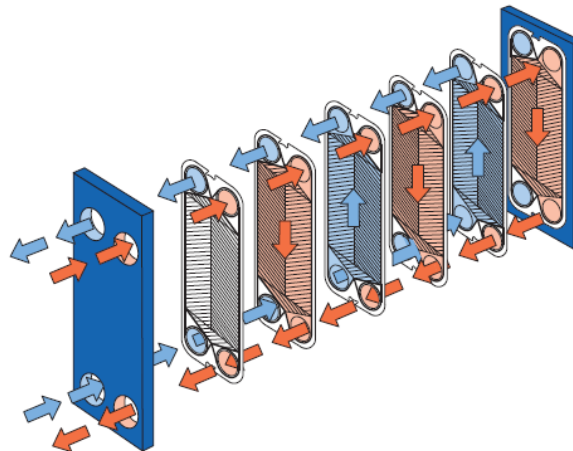


Figura 5-8 Esquema funcionamiento intercambiador de calor  
(Fuente ALFA LAVAL)

Entre las placas crean corrientes de fluido dispuestas de tal forma que los dos fluidos, el caliente y el frío, se alternan, siendo una placa caliente y la siguiente fría, La disposición de las placas de forma corrugada está pensada para aportar el máximo intercambio energético.

La estanqueidad entre ambos fluidos interiores y entre estos y el exterior así como la distribución de fluidos a través del intercambiador se obtiene mediante juntas situadas en el perímetro de las placas de transferencia térmica y alrededor de las tomas de entrada y salida de los fluidos. El cierre hidráulico se consigue sometiendo al intercambiador a un esfuerzo de compresión mediante tornillería.

*Condiciones de trabajo*

<i>Presión de trabajo</i>	10 Bar
<i>Presión máxima de prueba</i>	14 Bar
<i>Temperatura mínima de trabajo</i>	-30°C
<i>Temperatura máxima de trabajo</i>	170 °C

**Tabla 5-4 Condiciones de trabajo intercambiadores de placas del cuartel Francisco Moreno**



**Figura 5-9 Detalle intercambiadores de placas de la sala de calderas del cuartel Francisco Moreno  
Fuente elaboración propia**

*6.3.2 Subconjunto acumulador*

En la sala de calderas se ubican dos depósitos acumuladores de 3000 litros para ACS, colocados en posición vertical.

Están fabricados en acero inoxidable AISI 316 L y aislamiento con capa exterior de espuma de vinilo tienen acabado con funda de manta envolvente y plastificado exterior. Los depósitos también cuentan con regulación termostática exterior, termómetro, manómetro válvula de seguridad y protección catódica (ánodo de magnesio).



**Figura 5-10 Detalle Acumuladores de 3000 litros en la sala de calderas del Francisco Moreno  
Fuente elaboración propia**

### *6.3.3 Control de la legionela*

Según el [13], por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis las instalaciones como la descrita con acumulador y circuito de retorno, están clasificadas como “instalaciones con mayor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionela. Según esta ley en los circuitos de ACS el control de la legionela se debe basar en el mantenimiento de la temperatura del agua por encima de los 60°C durante más de 20 minutos donde la bacteria es incapaz de sobrevivir. Sin embargo se debe de ser capaz de poder elevar la temperatura del agua hasta los 70°C para realizar tratamientos de desinfección por choque térmico.



## 7 CONDICIONES DE CLIMATIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE CARGAS

Para poder determinar el sistema a emplear y sus capacidades, es necesario primero conocer cuáles son las necesidades que deseamos cubrir. La antigüedad de las instalaciones y el estado actual del edificio hace considerar que quizá el sistema actual de calefacción pueda estar erróneamente dimensionado para la realidad actual de los cerramientos y las transmitancias térmicas del edificio. Por ello es necesaria la realización de un estudio preliminar sobre la situación actual del edificio.

De esta forma, se realizarán dos aproximaciones a las necesidades reales del edificio. Una mediante cálculos teóricos utilizando un software informático y la otra mediante el cálculo actual del consumo de las dos calderas de gas instaladas. La correspondencia, o el desfase entre estos dos cálculos podrá ser un indicador de si el equipo actual está bien dimensionado o no.

De ser sustancialmente diferentes los valores obtenidos entre la demanda energética del edificio y el consumo real, hará replantearse la potencia necesaria para cubrir las necesidades. Por el contrario, un acercamiento de los valores, indicará un correcto dimensionado y una potencia instalada adecuada.

Por ello en este apartado se llevará a cabo el análisis teórico de las necesidades teóricas y reales. Los resultados serán discutidos en el siguiente punto 7.0.

A continuación se desglosarán los diferentes apartados calculados a partir de los procedimientos explicados en el apartado empleada 4.6.

### 7.1 Condiciones exteriores

<i>ESTACIÓN</i>	<i>FACTOR</i>	
<i>Invierno:</i>	Latitud:	42°23.7' N
	Altitud sobre nivel del mar:	3 metros
	Temperatura seca mínima:	3.3 °C
	Nivel percentil	1%
<i>Verano:</i>	Viento dominante	2.06 m/s Norte
	Temperatura seca:	(TS) 29.4 °C
	Temperatura húmeda:	(TH): 22°C
	Nivel de Tª seca y húmeda coincidentes:	5%
	Oscilación Media Diaria (OMD):	16.1 °C
	Oscilación Media Anual (OMA):	29.4 °C

**Tabla 6-1: Condiciones atmosféricas en Pontevedra Fuente [14]**

### 7.1.1 Valores climatológicos normales. Pontevedra.

A continuación se incluye los valores climatológicos normales de Pontevedra que se han utilizado para la realización del proyecto.

<i>Mes</i>	<i>T</i>	<i>TM</i>	<i>Tm</i>	<i>H</i>	<i>DD</i>	<i>I</i>
<i>Enero</i>	9.6	12.9	6.3	77	6.5	103
<i>Febrero</i>	10.4	14.2	6.5	72	6.1	123
<i>Marzo</i>	12.4	16.9	7.8	68	7.5	181
<i>Abril</i>	13.0	17.6	8.4	69	5.7	203
<i>Mayo</i>	15.8	20.6	10.9	69	5.2	238
<i>Junio</i>	18.6	23.8	13.4	67	9.2	262
<i>Julio</i>	20.4	25.9	14.9	67	12.7	294
<i>Agosto</i>	20.6	26.0	15.2	68	10.8	279
<i>Septiembre</i>	18.8	23.7	13.8	72	9.2	224
<i>Octubre</i>	15.7	19.6	11.7	76	6.1	145
<i>Noviembre</i>	12.1	15.4	8.7	78	6.0	104
<i>Diciembre</i>	10.3	13.4	7.1	77	7.2	91
<i>Año</i>	14.8	19.2	10.4	72	92.5	-

**Tabla 6-2 Valores climatológicos normales Pontevedra Fuente [14]**

T:	Temperatura media mensual/anual (°C)
TM:	Media mensual/anual de temperaturas máximas diarias
Tm:	Media mensual/anual de temperaturas mínimas diarias
DD:	Numero mensual/anual de días despejados
I	Número mensual/anual de días de sol

### 7.1.2 Temperatura agua de mar

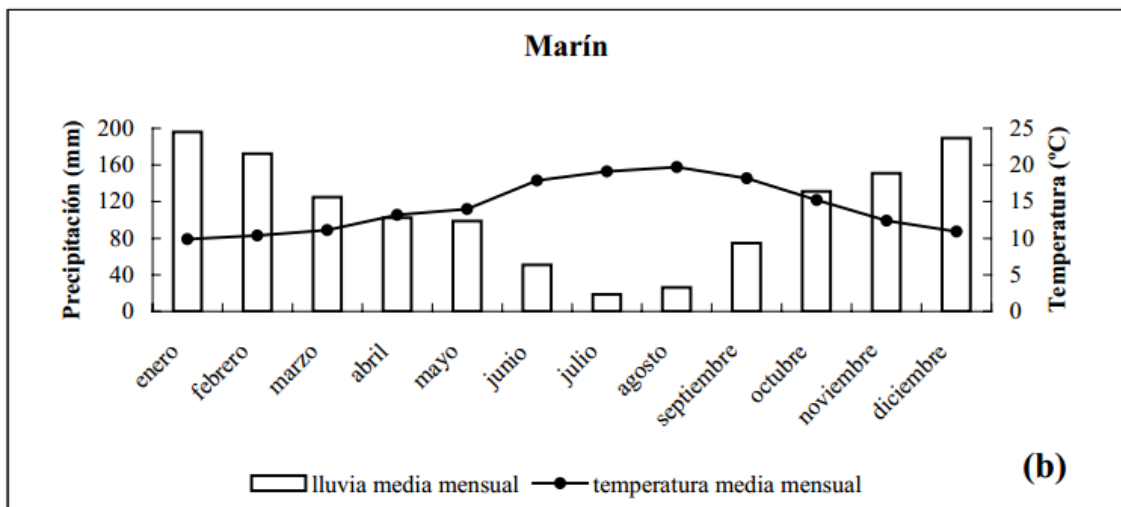


Figura 6-1 Gráfico temperatura agua de mar Marín Fuente [15]

### 7.1.3 Radiación solar

La radiación solar puede ser un factor determinante a la hora de calcular la demanda energética del edificio. La dimensión de los cerramientos, su orientación al sol y el tamaño y número de huecos y lucernarios como ventanas o claraboyas pueden alterar la temperatura del edificio en varios grados de diferencia. También es destacable el gradientes de temperatura que se puede formar entre superficies que den al sol y las que no.

La latitud de la ubicación del edificio también es determinante a la hora de calcular la intensidad de la radiación solar, de esta forma lugares de latitudes altas recibirán menor intensidad de radiación por metro cuadrado de superficie.

Estos datos son utilizados por el programa informático *CE<sup>3</sup>X-V.1.3* que integra automáticamente la radiación solar según la estación del año y de la latitud del edificio.

A continuación se adjunta un gráfico de la radiación solar en España según la AEMET donde puede destacarse la zona de radiación media-baja del macizo galaico.

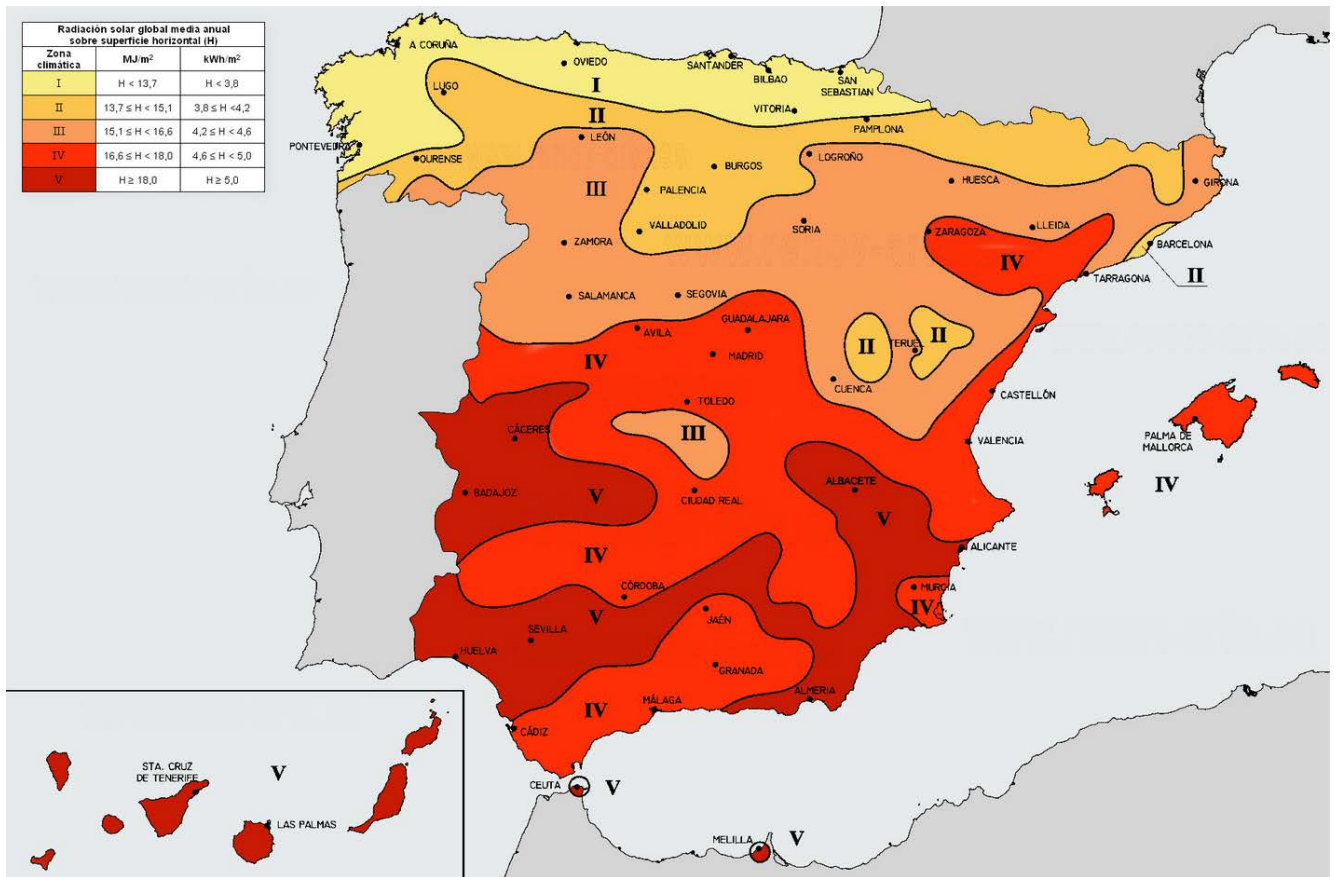


Figura 6-2 Mapa de radiación solar en España. Fuente: [www.ebasl.es](http://www.ebasl.es)

## 7.2 Condiciones interiores

Según el DBHE [9] apartado 4.2 las condiciones interiores se definen por los siguientes parámetros:

- Temperatura de consigna de calefacción.
- Temperatura de consigna de refrigeración.
- Carga interna debida a la ocupación.
- Carga interna debida a la iluminación.
- Carga interna debida a los equipos.

Para las temperaturas de consigna de calefacción y refrigeración se ha considerado la norma I.T.3.8.2 del RITE:

Temperatura interior de cálculo para refrigeración mínima es de 26°C y 21°C de máxima para calefacción.

Verano:

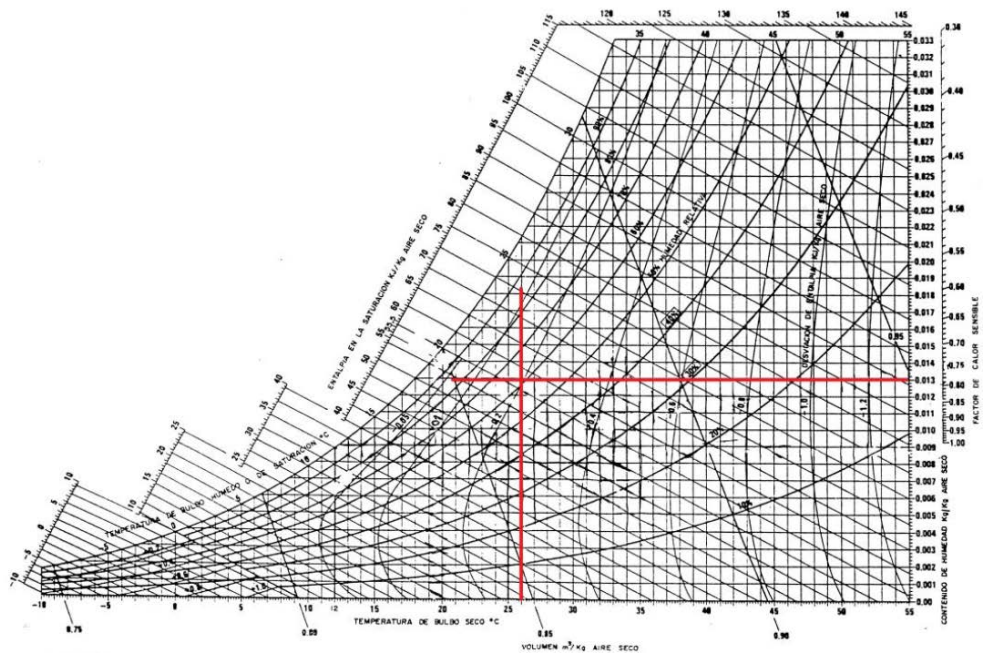


Figura 6-3 Diagrama psicrométrico con el punto de confort señalado para verano. Fuente: ASHRAE

Invierno:

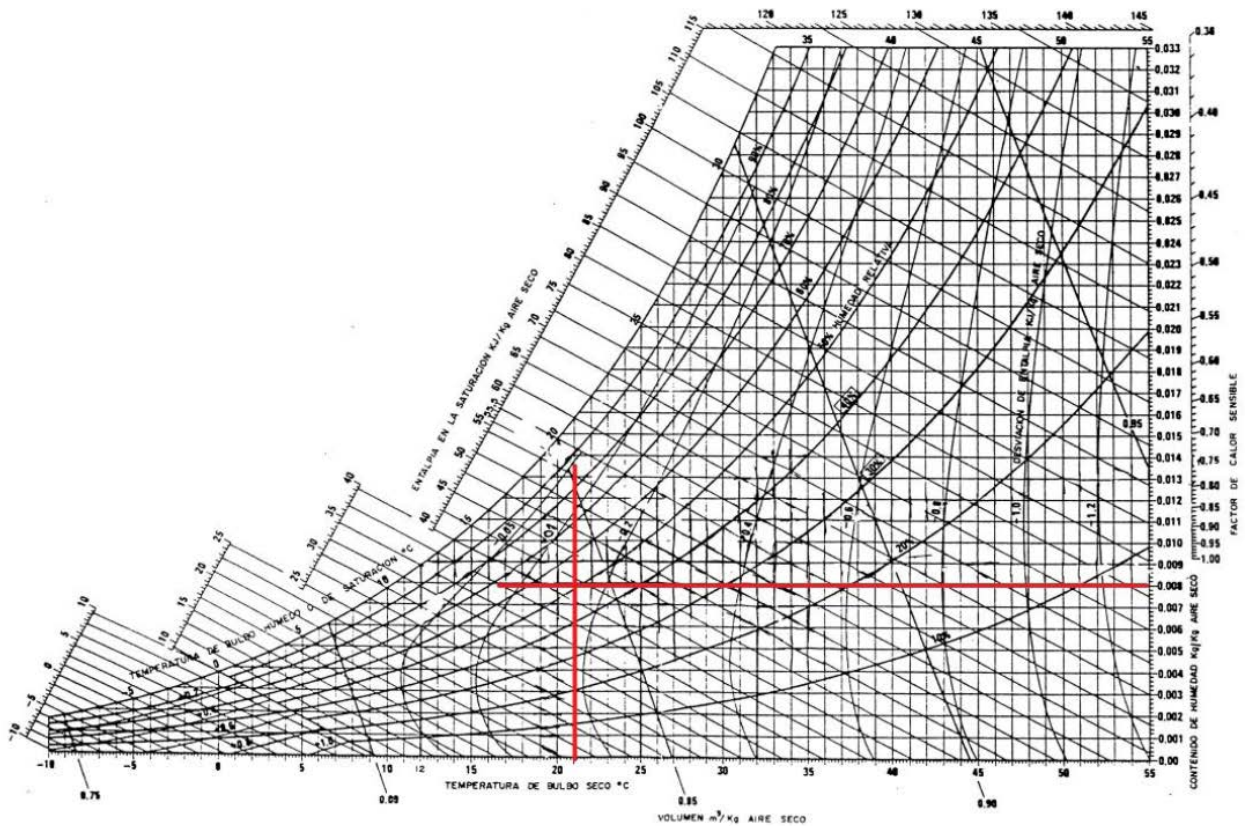


Figura 6-4 Diagrama psicrométrico con el punto de confort señalado para invierno. Fuente: ASHRAE

### 7.2.1 Nivel de ocupación

El personal que habita el edificio también es un factor a tener en cuenta a la hora de calcular demandas térmicas, ya que una aglomeración excesiva de personas puede llevar consigo un incremento

de la temperatura del local de forma considerable. La ocupación media del cuartel es de 1 persona por cada 5.7m<sup>2</sup>

### 7.2.2 Horario de funcionamiento

El edificio por su condición de cuartel tiene una alta ocupación la mayor parte del día los siete días de la semana. Para el cálculo se ha estimado que el edificio está con una alta ocupación, más de 12 horas diarias.

### 7.2.3 Carga interna debida a la instalación de iluminación

En este apartado solo se han tenido en cuenta solo los equipos de iluminación ya que no existen cargas térmicas relevantes debidas a otros equipos. Los equipos de iluminación existentes en todos son luminarias de 4 fluorescentes tubulares lineales de 26 mm de diámetro.

Los resultados han sido extraídos del informe aportado por el programa CE<sup>3</sup>X:

ESPACIO	Potencia instalada [W/m <sup>2</sup> ]	VEEI [W/m <sup>2</sup> ·100lux]	Iluminación media [lux]
ZONA 3	21.83	4.37	500.00
ZONA 2	28.25	5.65	500.00
ZONA 1	28.25	5.65	500.00

Tabla 6-3 Instalación de Iluminación

Potencia total instalada:

$$(28.25 \text{ W/m}^2) * 2043.56\text{m}^2 = 57,714 \text{ MW} \quad (13)$$

## 7.3 Cálculo de la envolvente térmica

En este apartado se detalla la composición de los cerramientos del edificio, calculándose las superficies y coeficientes de transmisión térmica. Se establecerá una diferencia entre cerramientos opacos, tales como muros fachadas y suelos, y lucernarios y huecos, como espacios abiertos y ventanas que den directamente al exterior.

### 7.3.1 Descripción de los cerramientos

Los cerramientos son las superficies envolventes que delimitan espacios, cumpliendo funciones protectoras y divisorias.

Los cerramientos suelen estar compuestos por distintos materiales y partes que presentan propiedades diferentes. Los cerramientos deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- Aislamiento térmico y acústico: El cerramiento debe de ofrecer un aislamiento térmico y acústico suficiente que asegure un grado de confort adecuado con su consecuente ahorro energético.

- Estanqueidad al agua y al aire: Siendo su principal misión la de proteger de los elementos climatológicos exteriores al interior del edificio.
- Resistencia y estabilidad: Los cerramientos deben de cumplir con las exigencias de resistencia y estabilidad mecánicas ante cargas verticales, gravitatorias, horizontales, eólicas y sísmicas.

### 7.3.2 Cerramientos opacos

La fachada exterior presenta una cámara de aire sin ventilar vertical de 2 c. En el apéndice E del CTE Documento básico HE en la tabla E.2, [16], se diferencian dos tipos de cámara de aire, ventiladas y sin ventilación. Los valores de la tabla están dados en función de la situación de la cámara de aire y del espesor de la cámara.

El procedimiento empleado viene definido en el apartado Transmitancia térmica de cerramientos opacos 4.6.2

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Modo de obtención
Fachada Z1 ALD	Fachada	432.85	1.48	Conocido
Fachada Z2 ALI	Fachada	432.85	1.48	Conocido
Fachada Z1 PPAL	Fachada	63.	1.48	Conocido
Fachada Z1 POSTERIOR	Fachada	101.2	1.48	Conocido
Fachada Z2 PPAL	Fachada	63.	1.48	Conocido
Fachada Z2 POSTERIOR	Fachada	101.2	1.48	Conocido
Fachada Z3 PPAL	Fachada	99.	1.48	Conocido
Fachada Z1 ALI	Fachada	158.4	1.48	Conocido
Fachada Z1 PATIO	Fachada	178.2	1.48	Conocido
Fachada Z2 ALD	Fachada	158.4	1.48	Conocido
Fachada Z2 PATIO	Fachada	178.2	1.48	Conocido
Fachada Z1 BAÑOS-PATIO	Fachada	56.65	1.48	Conocido
Fachada Z2 BAÑOS-PATIO	Fachada	56.65	1.48	Conocido
Fachada Z3 PATIO	Fachada	99.	1.48	Conocido
SUELO Z2 CAMARETAS	Partición Interior	811.16	2.17	Por defecto
SUELO Z2 BAÑOS	Partición Interior	93.06	2.17	Por defecto
SUELO Z2 BAÑOS DAMAS	Partición Interior	46.87	2.17	Por defecto
SUELO Z1 TATAMI	Partición Interior	167.04	2.17	Por defecto
SUELO HALL Z3	Partición Interior	187.3	2.17	Por defecto
SUELO ZONA 1 PATIO NORTE/BAÑOS	Suelo	93.06	2.56	Estimado
SUELO ZONA 1- ALA NE	Suelo	378.08	2.56	Estimado
SUELO ZONA 1- ALA NO	Suelo	243.08	2.56	Estimado
SUELO ZONA 1- BAÑOS	Suelo	46.87	2.56	Estimado

Figura 6-5 Transmitancias cerramientos opacos. Fuente: Cálculos de cargas programa CE3X

### 7.3.3 Huecos y lucernarios

Los factores solares de los vidrios y elementos de sombra miento se han calculado según lo recogido en el “Apéndice E del CTE-DB HE-1 [16].

Cálculo de la Transmitancia térmica por unidad de superficie (UA) específica de los huecos:

Nombre	Tipo	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Transmitancia [W/m <sup>2</sup> ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Ventana ESTUDIOS ALD	Hueco	56.44	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana Grande POSTERIOR-ZONA 1	Hueco	1.72	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana BAÑOS POSTERIOR-ZONA 1	Hueco	2.62	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventanas HALL-PPAL ZONA 3	Hueco	22.58	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS ALD	Hueco	27.97	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana BAÑOS ALD	Hueco	12.59	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana ESTUDIOS PPAL-ZONA1	Hueco	11.29	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS PPAL-ZONA1	Hueco	5.59	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS ALI-ZONA1	Hueco	11.19	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana ESTUDIOS ALI-ZONA1	Hueco	22.58	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana ESTUDIOS Z1-PATIO INTERIOR	Hueco	33.86	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS Z1-PATIO INTERIOR	Hueco	16.78	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana BAÑOS PATIO INTERIOR-ZONA 1	Hueco	3.93	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana ESTUDIOS ALI	Hueco	28.22	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS ALI	Hueco	13.99	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana BAÑOS ALI	Hueco	6.3	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana ESTUDIOS PPAL-ZONA2	Hueco	11.29	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS PPAL-ZONA2	Hueco	5.59	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana Grande POSTERIOR-ZONA 2	Hueco	1.72	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana Aseos POSTERIOR-ZONA 2	Hueco	2.62	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS ALI-ZONA2	Hueco	11.19	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana ESTUDIOS ALI-ZONA2	Hueco	22.58	5.70	0.85	Conocido	Conocido

Ventana ESTUDIOS Z2-PATIO INTERIOR	Hueco	33.86	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana CAMARETAS Z2-PATIO INTERIOR	Hueco	16.78	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventana Aseos PATIO INTERIOR-ZONA 2	Hueco	3.93	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventanas HALL-PATIO INTERIOR ZONA 3	Hueco	22.58	5.70	0.85	Conocido	Conocido
Ventanas HALL GRANDES-PPAL ZONA 3	Hueco	27.6	5.70	0.85	Conocido	Conocido

Figura 6-6 Transmitancias por huecos y lucernarios. Fuente: Cálculos de cargas programa CE3X

## 7.4 Resultado del cálculo de cargas térmicas

<i>Demanda global de calefacción [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>	<i>Demanda global de refrigeración [kWh/m<sup>2</sup> año]</i>
<b>84.54</b>	<b>2.7</b>

Demanda global de calefacción anual:

$$\frac{84.56 \text{ kWh}}{\text{m}^2} * 4254.54 \text{ m}^2 = 366,52 \text{ MWh} \quad (14)$$

Demanda global de refrigeración:

$$\frac{2.7 \text{ kWh}}{\text{m}^2 \text{ año}} * 4254.54 \text{ m}^2 = 11,48 \text{ MWh} \quad (15)$$

Demanda de ACS 187.48 kW/m<sup>2</sup> anual:

$$\frac{187.48 \text{ kWh}}{\text{m}^2 \text{ año}} * 4254.54 \text{ m}^2 = 797,64 \text{ MWh} \quad (16)$$

Siendo el consumo combinado total anual de:

$$366,52 \text{ MWh} + 797,64 \text{ MWh} = 1164.16 \text{ MWh} \quad (17)$$

Cabe resaltar que estos cálculos están realizados para las condiciones de uso suponiendo un 100% de uso de las instalaciones durante todo el año. Esta situación es utópica y difícilmente posible por lo que estos datos serán considerados como la máxima demanda posible.

## 7.5 Consumo real del edificio

A continuación se desglosaran los consumos de en gas para calefacción y ACS según las facturas de gas natural emitidas por la compañía Gas Natural Fenosa, para el periodo enero- diciembre del 2014.

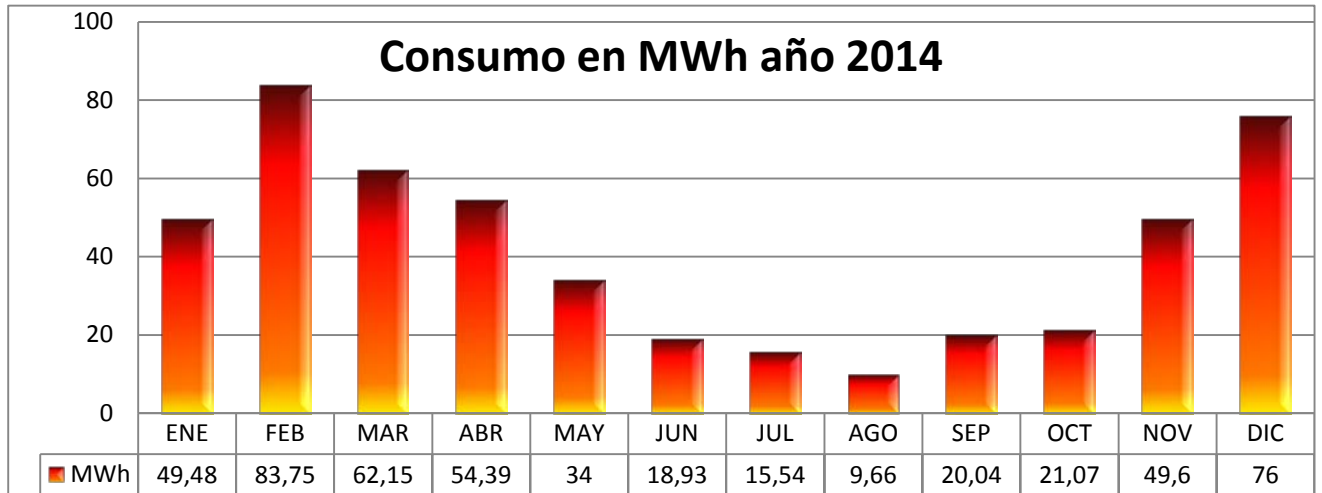


Figura 6-7 Consumo de Gas-Natural del cuartel Francisco MWh. Fuente E.N.M.

**Consumo total anual: 494.61 MWh en el año 2014**

Consumo en metros cúbicos de gas natural teniendo en cuenta que un metro cúbico de gas natural proporciona 10.4kWh.

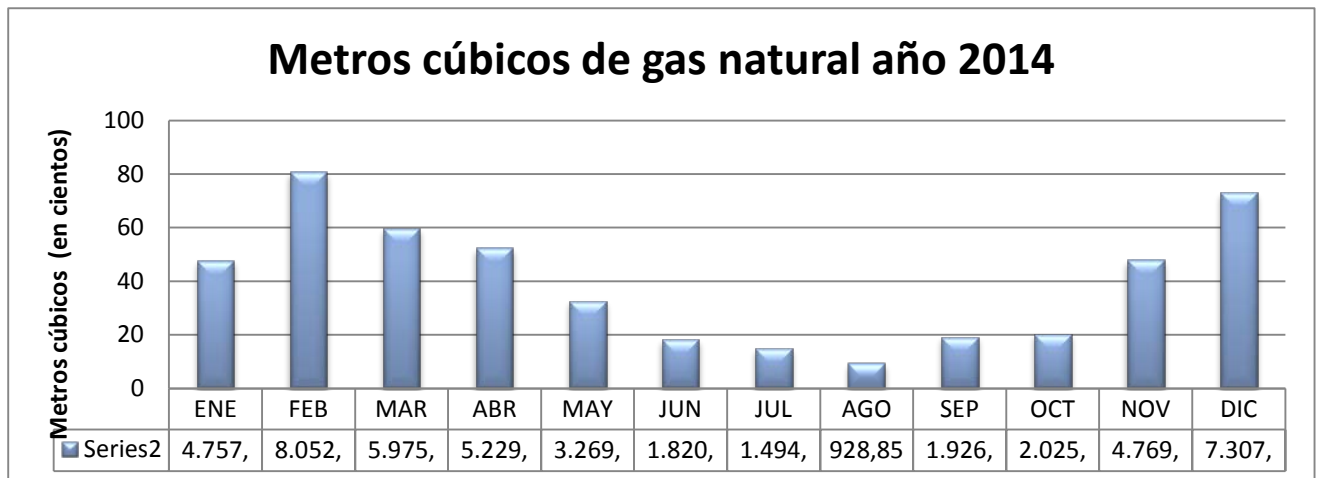


Figura 6-8 Consumo de Gas-Natural del cuartel Francisco Moreno en metros cúbicos. Fuente E.N.M.

**Consumo total anual: 47,558.65 m<sup>3</sup> de gas natural.**

### 7.5.1 Análisis del consumo

Se aprecia un gran descenso en la demanda correspondiente a los meses de verano, en donde el consumo de calefacción y ACS se hace mínimo debido a las buenas condiciones climatológicas y a la reducción de personal en el cuartel. El consumo máximo de los meses de diciembre y febrero corresponde con la época del año en que el cuartel de alumnos estaba ocupado a un 62,5% estando ocupado solo 5 de las 8

alas existentes. Por lo que **no se pueden tomar como valores de referencia**. También hay que tener en cuenta que en el mes de diciembre debido al permiso vacacional, las últimas dos semanas de diciembre el cuartel permanece cerrado por lo que los consumos totales del mes se ven reducidos.

En el histórico de consumos del cuartel Francisco Moreno encontramos un máximo destacable de 115 MWh en febrero del 2012 en donde el cuartel se encontraba a un 88% de capacidad.

Por tanto se partirá del momento de máxima demanda para la búsqueda del mayor consumo y así poder dimensionar los equipos de la manera más acertada buscando la optimización de los recursos, sin que esta menoscabe las condiciones de confort del edificio en los momentos más demandantes.

## 7.6 Calculo potencia agua caliente sanitaria

Para el cálculo del consumo máximo de ACS se debe tomar como valor de referencia la mayor demanda que pueda existir en el edificio. Para ello se supone el cuartel al 100% de capacidad en donde la totalidad de los ocupantes se ducha en el mismo periodo de tiempo.

Para el cálculo del pico de consumo de ACS se ha seguido la Guía Técnica de IDAE [2] sin embargo dada la realidad de consumo del cuartel, los datos recomendados por la guía técnica, en concretamente consumo por persona (28 Litros de ACS por persona y día para una residencia) están bastante por debajo del consumo real. Por ello se han estimado los datos recogidos por la empresa instaladora del sistema de ACS en el año 1970 que establecía en 100 litros por persona y día algo más ajustado a la realidad del cuartel.

Cálculo para residencias de estudiantes según número de camas:

<b>DATOS DE PARTIDA</b>	
<i>Nº DE CAMAS</i>	352
<i>CONSUMO POR CAMA (L/D)</i>	100
<i>CONSUMO EN HORA PUNTA</i>	19%
<i>Nº DE ACUMULADORES</i>	2
<i>DURACIÓN DEL T HORA PUNTA (S)</i>	3600
<i>TIEMPO DE PREPARACIÓN (S)</i>	3600
<i>FACTOR FORMA DEL DEPOSITO</i>	0,91
<i>TEMPERATURA DE ENTRADA °C</i>	10
<i>TEMPERATURA DE SALIDA</i>	60
<i>VOLUMEN REAL ACUMULACIÓN</i>	6000

**Figura 6-9 Datos para el cálculo de consumo de ACS**

### Glosario:

- Vu: Volumen útil de acumulación
- T: Duración del periodo de hora punta
- $t_p$ : Tiempo de preparación
- $f_m$ : Factor de mezcla
- $P_u$ : Potencia útil
- $P_d$ : Pérdidas por disponibilid:
- $P_r$ : Pérdidas en red de distribución
- V: Volumen teórico de acumulación

Calculo del máximo consumo diario:

$$n * C_{max} = 35200 \text{ Litros}$$

Cálculo consumo en hora punta:

$$Q_{max} \frac{19 * n}{3600} = 1.85 \text{ L/s} \quad (18)$$

Cálculo potencia térmica útil:

$$P_u = \frac{4.19 * \Delta t * C_{max} * T}{T + t_p} = 194,6 \text{ Kw} \quad (19)$$

Perdidas por disponibilidad:

$$P_d = \frac{0.55 * V}{1000} = 3.3 \text{ kW} \quad (20)$$

Perdidas por red de distribución:

$$P_r = 0,1 * P = 19.46022 \text{ kW} \quad (21)$$

Potencia real necesaria:

$$P = P_u + P_d + P_r = 217,4 \text{ k} \quad (22)$$

### RESULTADOS

CONSUMO DIARIO (L)	35200
CAUDAL HORA PUNTA (L/S)	1,86
VOLUMEN DE ACUMULACIÓN (L)	6000
POTENCIA NECESITADA (KW)	217,4

**Figura 6-10 Resultados cálculos consumo de ACS**

## 8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se discutirán los resultados obtenidos en los diversos estudios realizados y las conclusiones alcanzadas. El estudio de la demanda energética del edificio proporciona una aproximación teórica sobre el consumo energético del edificio. De otra forma el estudio del consumo histórico de años anteriores nos acerca de una manera real y práctica a las necesidades reales del edificio. Estos dos datos de concurrir aportarían pruebas que validarían la correcta realización de los cálculos y por tanto de estimación correcta de las necesidades.

Los cálculos teóricos son los que se hicieron simulando matemática e informáticamente las demandas térmicas del edificio. Se debe de tener en cuenta de que estos datos están calculados para la máxima utilización del edificio, siendo esta su máxima ocupación.

Los cálculos prácticos son los que se hicieron a partir de los datos de las facturas de años anteriores. Estos datos fueron tomados con múltiples variables, como ocupacionales estacionales y en diferentes regímenes de uso.

Por tanto para buscar la validez de los resultados se ha aproximado los datos prácticos donde el consumo fue máximo a la situación teórica calculada de máxima ocupación.

Los resultados teóricos se analizarán en 3 grupos separados:

- Gasto en calefacción.
- Gasto en agua caliente sanitaria.
- Gasto en refrigeración.

Los resultados reales se cuantificaran en una combinación de ACS y calefacción ya que los consumos no se pueden diferenciar.

Finalmente se cuantificará el gasto total en ACS y calefacción.

### 8.1 Resultados teóricos

Los resultados teóricos sobre las necesidades energéticas del edificio obtenidas por el programa informático CE3X, fueron los siguientes:

Demanda global de calefacción anual:

*366,52 MW*

Demanda global de refrigeración:

*11,48 MW*

Demanda global de ACS:

*797,64 MW*

Siendo el consumo anual combinado total de ACS más calefacción de:

$$366,52MWh + 797,64 MWh = 1164.16 MWh$$

## 8.2 Resultados reales

Los resultados obtenidos mediante la metodología explicada en el apartado 3.2 fueron los siguientes:

Para el cálculo del consumo real del edificio se tomó como dato de partida el mes donde existiera una máxima ocupación del edificio así como el mes con menor variación de personal. En el histórico de consumos del cuartel Francisco Moreno encontramos un periodo invernal máximo destacable con una media para los meses de invierno de 77 MW en el invierno del 2012 en el periodo comprendido entre octubre y marzo en donde el cuartel se encontraba a un 88% de capacidad.

Para aproximarnos a la ocupación máxima, a continuación se calcula para un 100% de ocupación:

$$\frac{77MW}{88\%} * 100 = 87.5MWh \quad (23)$$

Para 12 meses al máximo nivel ocupacional:

$$87.5MW * 12meses = 1050 MWh \quad (24)$$

## 8.3 Conclusión

Los dos resultados aportados para calefacción y ACS, calculados por medios diferentes, aportan valores muy próximos, esto corrobora la correcta estimación de los resultados reales para situaciones de máxima capacidad. Sin embargo los resultados reales son ligeramente menores que los calculados teóricamente. Esto puede ser un indicador de que el cuartel necesitase aún más aporte energético al no llegar a las mínimas condiciones de confort.

Por ello, para la realización de este trabajo, se estimará como potencia necesaria la aportada por los equipos productores de calor existentes hoy en día 5.3.2, más un pequeño sobredimensionado, para hacer frente a esta discrepancia de valores.

Por otro la demanda de refrigeración se observa que es considerablemente menor, a los otros dos gastos, debido principalmente a la temperatura ambiental y a la buena refrigeración del edificio por su fácil ventilación.

## 9 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Una vez estudiadas y determinadas las necesidades térmicas del edificio mediante dos aproximaciones, uno teórico y otro real de los consumos del edificio, se puede empezar a buscar alternativas viables que satisfagan los requerimientos del edificio en tanto a calefacción como ACS.

Como se explicó en el apartado anterior, para el dimensionado de la instalación se tomara como datos de partida la potencia aportada por los equipos existentes hoy en día.

Para la búsqueda de las alternativas se valoraran los siguientes puntos:

- Capaz de cubrir las demandas térmicas.
- Sistema novedoso.
- Viabilidad económica.
- Viabilidad técnica.

Aunque los sistemas propuestos necesitarían un estudio exhaustivo para poder tomar una decisión de que equipos son los más rentables, debido a la limitación en tiempo y al no ser el alcance del proyecto no se estudiarán en profundidad si no que se dará unas breves pinceladas sobre el posible sistema que quedará para su posible estudio en líneas futuras. Finalmente nos centraremos en un sistema en particular que por las características descritas anteriormente sea el más adecuado.

### 9.1 Sistema de bomba de calor aire-agua

Este sistema se basa en el intercambio de calor entre el aire natural exterior y el interior del edificio mediante un sistema de compresión y evaporación. Es capaz de producir calor en invierno y frío en verano, con unos rendimientos elevados. Sin embargo, las temperaturas normalmente extraídas son bajas para calefacción, debiéndose instalar un circuito de calefacción con características especiales para este sistema, llamado calefacción de baja temperatura. Los sistemas para la emisión de calor son diferentes, existiendo desde fan-coils a suelo radiante. [4]

Estos sistemas se pueden encontrar cada vez más en edificios similares, siendo centros comerciales, residencias de alumnos, oficinas y cada vez más casas particulares.

En nuestro caso particular este sistema necesita de una inversión inicial elevada, no solo para los equipos productores de calor, sino que también habría que modificar el sistema actual de calefacción a sistemas con radiadores de baja temperatura, que son más voluminosos y transfieren más calor al ambiente. Esta sustitución haría que la obra no fuera una mera reforma de las calderas existentes sino de todo el edificio en su conjunto, dejando además los sistemas existentes serian incompatibles con los nuevos radiadores de baja temperatura que deberían instalarse.

Además este sistema no cumple con el requisito de novedoso ya que se está utilizando masivamente en la industria de la climatización.

### 9.2 Aprovechamiento del aire exterior. Free cooling.

El free-cooling es un sistema novedoso que basa su funcionamiento en el aprovechamiento de las oscilaciones de las temperaturas ambientales diurnas y nocturnas, en donde las temperaturas del ambiente pueden disminuir hasta 10°C o más. [1]

Su funcionamiento, aunque orientado a meses de verano aunque se puede hacer de manera análoga en invierno, es sencillo se basa en aprovechar las horas del día donde el aire es más frío para enfriar el agua de un acumulador de tal manera que se haga disminuir la temperatura del recipiente unos cuantos decenas de grados. De la misma forma en invierno se podría utilizar las horas del día centrales -más cálidas- para calentar el agua de un acumulador o incluso de un circuito de refrigeración.

Este mismo concepto de aprovechar para calentar o enfriar a las horas más calientes o frías del día se puede extrapolar a las horas adecuadas para ventilar de manera natural el cuartel de alumnos disminuyendo o aumentando la temperatura ambiente del local de manera considerable.

Este sistema aunque novedoso y altamente económico no reúne las principales características que buscábamos a la hora de elegir un sistema alternativo, al no poder proporcionar el calor que una caldera de gas puede producir.

Sin embargo la base de sistema, el aprovechamiento de la oscilación de temperaturas diarias, es fácilmente abordable a todos los sistemas de climatización.

### **9.3 Energía solar**

El aprovechamiento de la energía solar mediante el uso de colectores solares es una tecnología muy en auge hoy en día. Su funcionamiento, como indica su nombre, se basa en el calentamiento de agua mediante la energía de la radiación térmica proveniente del Sol.

Existen numerosos métodos para calentar esta agua empleando el sol. Sin embargo todos estos dependen, como es lógico, de la visión directa al Sol sin nubes ni obstrucciones. Además estos sistemas, al ser las horas de aprovechamiento solar muy variables en función de diversos factores, como orientación, duración del día variable, elevación del sol dependiendo de la hora y fecha, la cobertura de nubes del cielo... hacen que esta tecnología no sea independiente, ya que deberá estar acompañado de otros sistemas productores de calor para cubrir las necesidades térmicas cuando la instalación solar no sea capaz, por ejemplo por la noche.

Puesto que se busca un sistema de climatización alternativo y por ende, que sea mejor, este sistema solo podría ser contemplado como una ayuda al calentamiento del ACS y la calefacción y de lejos nunca como un sustituto. Esto unido a la alta inversión inicial hace que no cumpla los requisitos que buscábamos en un equipo para estas necesidades.

## 10 BOMBA DE CALOR AGUA-AGUA

El sistema elegido dado el entorno de la Escuela Naval Militar próximo a la Ría de Pontevedra, con temperaturas del agua del mar estables a lo largo del año y acceso sin impedimentos a este medio hacen que el sistema de bombas de calor hidrotérmica ofrezca a priori las mejores características para ser sustituto de los sistemas existentes de calefacción y generación de calor para ACS. [17]

Además los grandes desarrollos en estas tecnologías, su alto COP (alrededor del 5) en relación a otras técnicas y la novedad en su uso aparecen como factores a positivos para encontrar el equipo adecuado para estas instalaciones.

Estos equipos aparte de proporcionar calefacción y ACS tienen la posibilidad de emplearse para refrigeración. Sin embargo según las conclusiones del apartado 7.3 Conclusión hacen que no sea un requerimiento esencial. A pesar de ello esta posibilidad podrá ser tenida en cuenta para estudios futuros en la mejora de la refrigeración.

### 10.1 Diseño del sistema de calefacción y ACS

El sistema propuesto se basará en 6 unidades de producción de calor por aprovechamiento hidrotérmico, empleando el agua del Mar como medio de transferencia de calor, combinado con una caldera de gas convencional para suplir los picos de potencia y alcanzar mayores temperaturas en caso de necesarias, como por ejemplo para el control de la Legionela, no solo en los acumuladores sino también en el circuito.

Para evitar que los equipos productores de calor, en concreto los evaporadores, utilicen agua de mar directamente, debido a que las sales lo dañarían, se ha optado por el diseño de dos circuitos, uno de agua de mar (en adelante circuito “exterior”), que tomaría el agua directamente a través de una bomba y otro circuito de agua dulce (en adelante “circuito interior”) que alimentarían las 6 bombas de calor. Los dos circuitos estarían interconectados por un intercambiador de calor de placas. En cada circuito se utilizará filtros de membranas reutilizables, uno en la entrada de la toma de agua de mar y otro en el circuito interior.

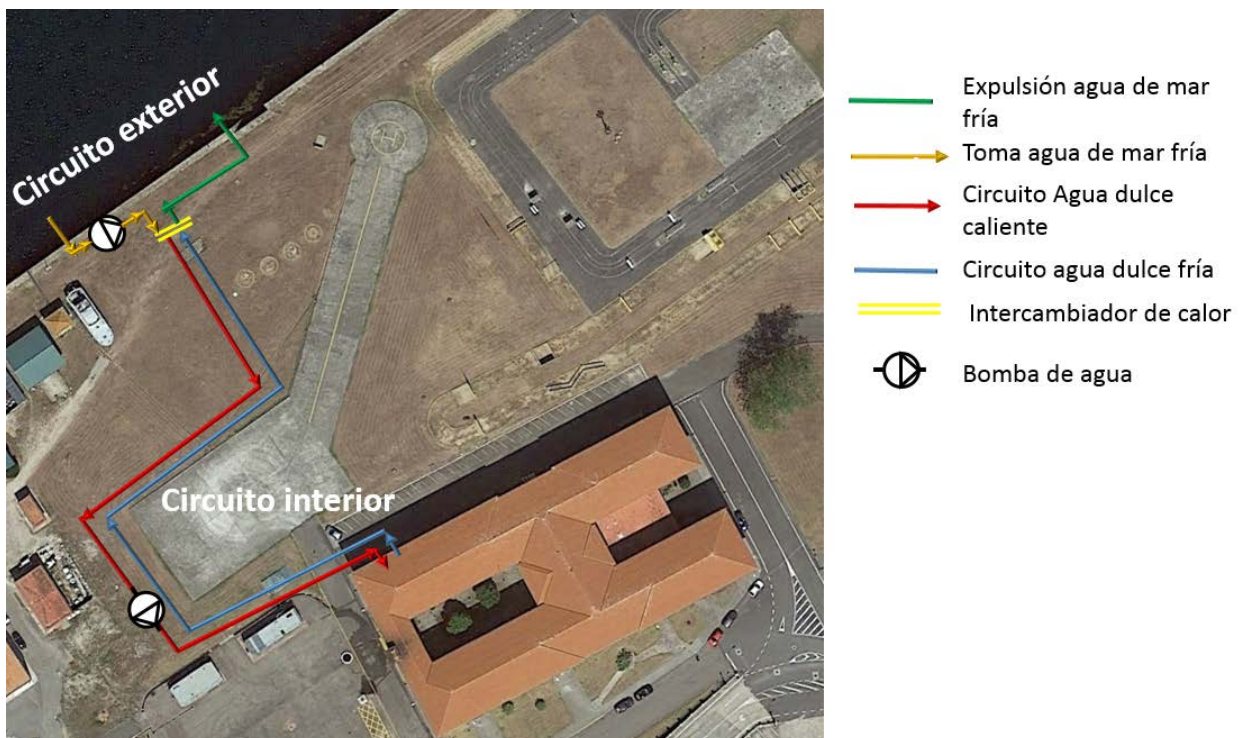


Figura 9-1 Sugerencia de diseño de la instalación.

El disponer de dos circuitos diferentes interconectados mediante intercambiadores de calor reduce el rendimiento total del sistema, sin embargo, los evaporadores de las bombas de calor no están diseñadas para operar con agua salada, por lo que necesitan de un circuito de agua dulce para su correcto funcionamiento.

## 10.2 Equipo productor de calor

Este equipo es la base del trabajo y a partir de lo que esta dimensionado el resto del proyecto, intercambiadores y circuitos. El sistema de funcionamiento viene descrito en el apartado 4.

Puesto que se debe de cubrir una gran potencia y existe un interés en ayudar al desarrollo industrial nacional, se apostó por las bombas de calor de la empresa española afincada en Vigo, Galicia, **ECOFORST**. En concreto el equipo elegido es el modelo **“ECOGEO HP 25-100”**.

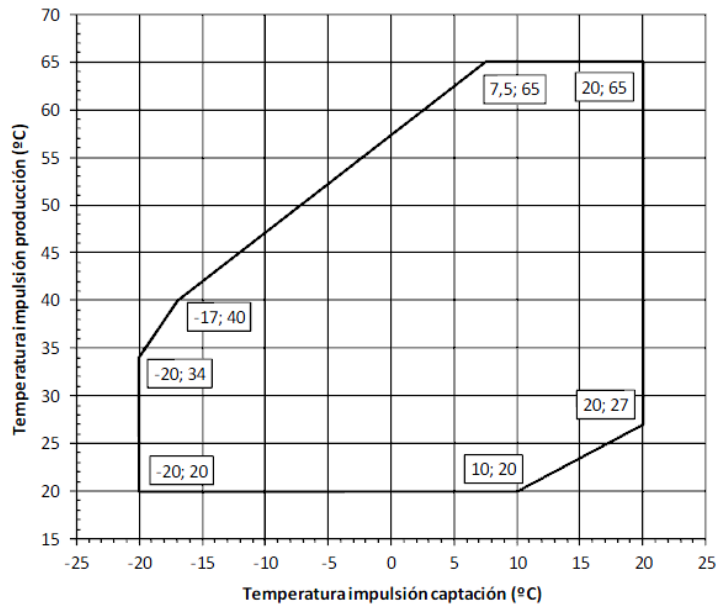


**Figura 9-2 Bomba de calor ECOGEO HP 25-100**  
**Fuente ECOFORST**

Estos equipos proporcionan un control total de HVAC, explicado en el apartado 3.3, en resumen puede proporcionar calor en invierno y frio en verano y agua caliente durante todo el año. Sin embargo como se explicó en el apartado 7.3 no se utilizará la capacidad de producir frio, aunque esta capacidad se podrá utilizar en futuros proyectos de climatización más avanzados.

También integran la tecnología Inverter, explicada en el apartado 4.5.1, con un compresor modelo **SCROLL**, que optimizan al máximo la potencia empleada no produciendo un derroche de energía como ocurre con otros equipos que no dispusiesen de esta tecnología, al no poder ajustarse de manera óptima a la potencia demandada, al poder ser su velocidad variable. La potencia de estos equipos varía entre 25 y 100 kW de potencia cada uno. En el Anexo 2 se encuentra la descripción técnica de la bomba.

Estos equipos están capacitados para la producción de agua dentro del siguiente mapa de operación, en el que se indica como la bomba puede funcionar en función de las temperaturas de los circuitos de captación y producción. En la siguiente gráfica se muestra el mapa de operación de la bomba de calor.



**Figura 9-3 Mapa de operación bomba de calor ECOGEO HP 25-100  
Fuente ECOFOREST**

El cambio de frío a calor también es sencillo, simplemente pulsando un botón podríamos alternar la producción de calor o de frío no siendo necesario desmontar el equipo para invertir el compresor y el circuito.

Gracias a la modularidad de los equipos y la capacidad de combinar hasta seis equipos en cascada, se determinó que la potencia necesaria era como mínimo la potencia proporcionada por la caldera de gas reemplazada, ver 5.3.2 Subconjunto grupo generador, esto es 532 kW, por tanto se dispondrán, seis equipos apilados en cascada que proporcionarían entre 25 y 600 kW. Esta disposición y modularidad favorece los periodos de mínima y máxima demanda, al poder alcanzar la potencia necesaria sin necesidad de derrochar energía. Hay que tener en cuenta que estos equipos tienen un COP entre 4 y 5.

Las 6 bombas de calor estarán controladas por una centralita, que controlará el encendido de las bombas en función de la demanda del momento.

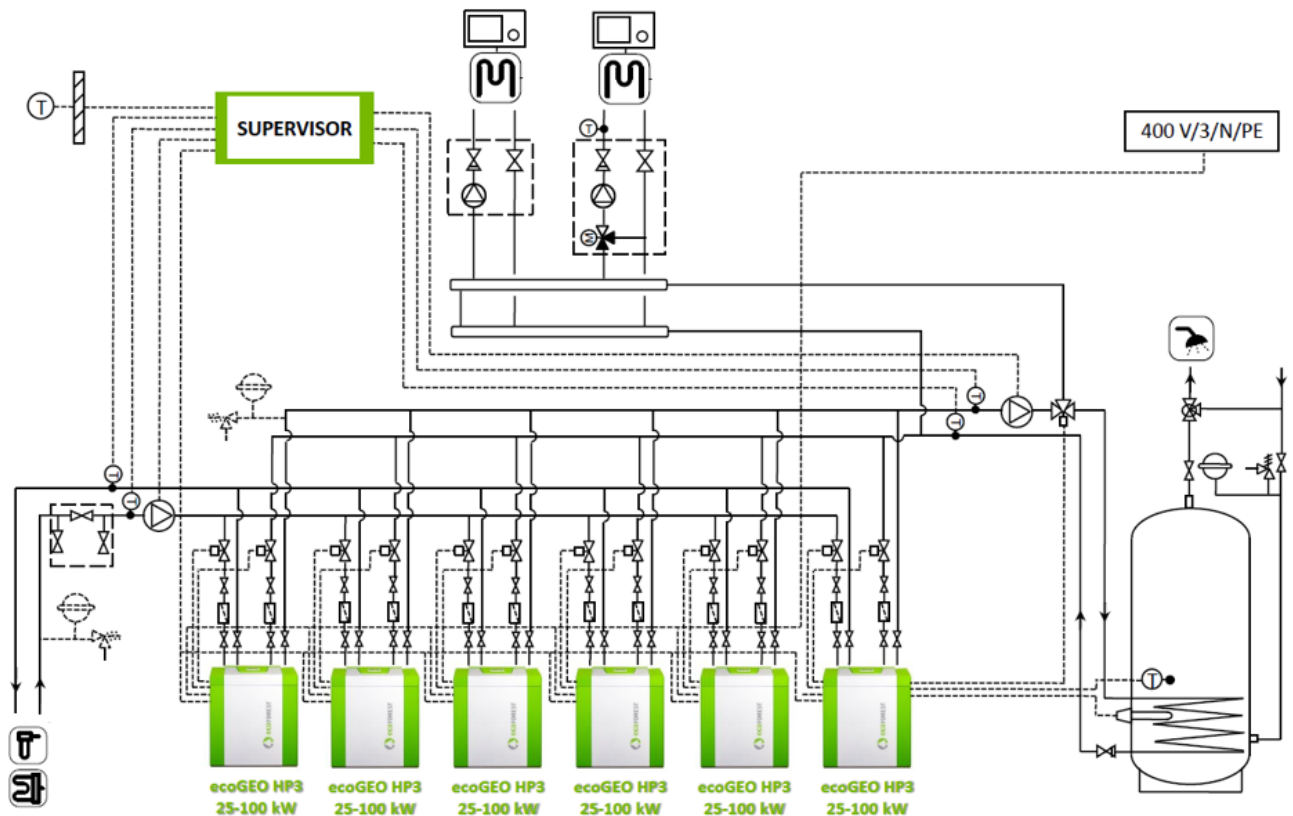


Figura 9-4 Configuración en cascada para 6 bombas de calor ECOGEO HP Fuente Ecoforest

### 10.3 Bombas de circulación

Las bombas de circulación se encargan de hacer circular el agua a través de los intercambiadores de calor. Se distinguen dos bombas diferenciadas:

- Bomba de circulación para el agua de mar (exterior): Deberán de ser capaces de elevar el agua de mar hasta la altura de los intercambiadores de placas y ser capaces de impulsar un caudal variable
- Bombas de circulación interior: Encargadas de la circulación desde los intercambiadores de calor hasta las bombas de calor deberán de ser capaces de impulsar un caudal variable

La marca elegida para las bombas ha sido EBARA, fueron recomendadas por los fabricantes de las bombas de calor y tienen gran experiencia en el mercado de bombas. Monobloc Normalizadas (DIN 24255) – modelo 65-125/4.0



**Figura 9-5 Detalle bomba monobloc EBARA modelo 65-125/4.0 para impulsión circuito de agua.**  
Fuente: EBARA ([www.ebara.es](http://www.ebara.es))

### *10.3.1 Bomba de circulación exterior.*

Es la encargada de recoger el agua de mar e impulsarla a través del intercambiador de placas. Inicialmente se planteó la instalación de una bomba sumergible por la no necesidad de cebarse, pero el mantenimiento y su complicado acceso al estar sumergidas hizo lo más idóneo fuera instalar el mismo modelo de bomba que el anterior, ya que su potencia es más que suficiente para aspirar el agua de mar desde la superficie.

### *10.3.2 Intercambiadores*

Pieza clave en el sistema, los intercambiadores de calor permitirán calentar la expulsión de las bombas de calor utilizando para ello agua de mar, de manera que no sea necesario que los dos circuitos se mezclen.

Para el correcto dimensionado de los intercambiadores debemos saber cuáles son los caudales provenientes del agua de mar y de las bombas de calor, así, como cuanta variación de temperatura deseamos obtener. Es de resaltar que se busca que el objetivo es calentar la mayor cantidad de agua posible, así como a la mayor temperatura.

Encontramos que la casa Alfa Laval son líderes en el mercado de intercambiadores de calor, tras consultar con ellos y comentarle nuestras necesidades el equipo más adecuado que pudimos encontrar fue el equipo M10-BFM que se compone de un intercambiador de calor de placas mejor descritas en el Anexo 1 Características técnicas del intercambiador de placas. Entre las razones que pudimos encontrar para decantarnos por este intercambiador de calor encontramos:

- Gran rendimiento energético, con bajo coste operacional
- Superficie de intercambio de calor variable
- Facilidad de instalación y bajo mantenimiento
- Diseño compacto



**Figura 9-6 Intercambiador de placas ALFA LAVAL M10-BFM  
(Fuente ALFA LAVAL)**

Este intercambiador de calor de placas está compuesto por un conjunto de placas de metal con alta conductividad térmica corrugado, con circuitos separados para el paso de los fluidos. El número de placas a instalar viene determinado por los caudales de entrada y de salida, así como de la temperatura que queremos intercambiar. El número de placas necesarias serían 103 placas de titanio con un espesor de 0.4mm.

## 11 ESTUDIO ECONÓMICO BÁSICO ORIENTATIVO

A continuación realizaremos un estudio económico básico de lo que supondría la instalación del equipo. No siendo el objetivo principal del trabajo, será realizado con un mero carácter orientativo, para en caso de querer realizar su instalación se pueda tomar estos datos como base. Al finalizar se indicará el periodo de amortización necesario

Para el estudio económico se tendrá en cuenta el precio de las bombas de calor, las bombas los filtros, y un valor aproximado de lo que supondría la instalación.

Se pueden diferenciar 3 partidas generales:

- Coste de equipos: Bombas de calor, intercambiador de placas, bombas, y canalización nueva.
- Instalación de equipos en la sala de calderas.
- Instalación de circuito de toma de agua

Debido a que los costes de la instalación pueden ser muy fluctuantes según el tipo de instalación que se realice o incluso podrían realizarse estas obras por personal propio de la Escuela Naval donde los precios en tal caso serían muy bajos.

Después se realizará un estudio comparativo del consumo energético con bombas de calor y con la instalación actual.

### 11.1 Coste de equipos

Tras haber solicitado presupuestos para los equipos propuestos los precios enviados fueron los siguientes.

<i>EQUIPO</i>	<i>Precio Ud.</i>	<i>Número de unidades</i>	<i>Precio total</i>
<i>Bomba de calor ECOGEO HP 25-100</i>	24.000€	6	144.000€
<i>Bomba de recirculación-impulsión</i>	3.500€	2	7.000€
<i>Intercambiador de calor Alfa LAVAL</i>	55€	100	5500€
<i>Tubería PVC Georg Fischer, 2m, 4"</i>	100€	100	10.000€
<b>Total</b>			<b>166.500€</b>

**Figura 10-1 Inversión inicial orientativa en equipos principales**  
Fuente: Comerciales de las distintas empresas

Se observa que la partida principal del presupuesto va dirigida al coste de las 6 bombas de calor, en particular 144000€ Sin embargo según la empresa fabricante, estos precios son orientativos ya que el precio puede disminuir según la oferta y en caso de concretarse el proyecto.

Posteriormente los precios más elevados son los correspondientes a los intercambiadores de calor, donde el precio unitario es por placa siendo el coste de cada placa 2300€y debiéndose de instalar un número aproximado de 30 placas para conseguir la superficie suficiente para realizar el intercambio de temperatura.

Para la tuberías se calculó de manera orientativa que se necesitan cubrir una distancia de 100 metros desde la salas de calderas hasta el mar, donde estarían los intercambiadores de calor por dos tomas una de retorno y otra de ida. La tubería suministrada de cuatro pulgadas tienen un precio aproximado de 100€y se venden en tramos de dos metros.

## 11.2 Cálculo del consumo energético

A continuación se calcularán los consumos de los componentes principales. Teniendo como elementos consumidores las bombas de calor cuyo consumo esta detallado en el apartado 9.2 y las bombas de circulación e impulsión de agua

Para el cálculo de precios del gas natural se tomó como base de partida el valor medio de las últimas facturas de gas natural Fenosa. Mientras que para el precio de la electricidad se hizo referencia a la oferta actual de las compañías energéticas españolas como Endesa Gas natural Fenosa encontrándose como valor medio 0,14 €/kWh para tarifas superiores a 15 kW. También se ha tenido en cuenta el COP de las bombas de calor que se ha supuesto como 4.

El estudio orientativo realizado se hizo para con una demanda aproximadamente igual a la del periodo del 2014 que fue de 494 MW suponiendo el caso más práctico que es que esta situación se mantuviera constante. Hay que destacar que el 2014 fue un año de consumo medio. Si el consumo fuese mayor la recuperación de la inversión sucedería antes y si no, más tarde.

AÑOS	Consumo gas Natural		Consumo Sistema hidrotérmico		Balance
	Anual	Acumulado	Anual2	Acumulado3	
<b>INVERSION</b>	0,00€	- €	- €	166.500,00 €	<b>-166.500,00 €</b>
<b>1</b>	33.500,00 €	33.500,00 €	17.500,00 €	166.500,00 €	<b>-117.000,00 €</b>
<b>2</b>	33.500,00 €	67.000,00 €	17.500,00 €	184.000,00 €	<b>-101.000,00 €</b>
<b>3</b>	33.500,00 €	100.500,00 €	17.500,00 €	201.500,00 €	<b>-85.000,00 €</b>
<b>4</b>	33.500,00 €	134.000,00 €	17.500,00 €	219.000,00 €	<b>-69.000,00 €</b>
<b>5</b>	33.500,00 €	167.500,00 €	17.500,00 €	236.500,00 €	<b>-53.000,00 €</b>
<b>6</b>	33.500,00 €	201.000,00 €	17.500,00 €	254.000,00 €	<b>-37.000,00 €</b>
<b>7</b>	33.500,00 €	234.500,00 €	17.500,00 €	271.500,00 €	<b>-21.000,00 €</b>
<b>8</b>	33.500,00 €	268.000,00 €	17.500,00 €	289.000,00 €	<b>-5.000,00 €</b>
<b>9</b>	<b>33.500,00 €</b>	<b>301.500,00 €</b>	<b>17.500,00 €</b>	<b>306.500,00 €</b>	<b>11.000,00 €</b>
<b>10</b>	33.500,00 €	335.000,00 €	17.500,00 €	324.000,00 €	27.000,00 €

Figura 10-2 Estudio económico orientativo

Se observa que no sería hasta el año 9 cuando se empezaría a recuperar la inversión realizada. Hay que tener en cuenta que estos valores son orientativos calculado con valores aproximados y puestos en la peor condición.

Como se dictó en los objetivos, la realización de un estudio económico no era el objetivo del proyecto, sin embargo arroja una idea de la rentabilidad estimada del proyecto. Para mejorar el análisis económico se debería estudiar en mayor detalle el precio de los componentes, el coste de la instalación de toma de agua de mar, y el coste de la obra de adecuación de la sala de calderas.

## 12 CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS

La búsqueda de sistemas y soluciones cada vez más eficaces a las demandas existentes deber de ser una principal de la Armada española, que como parte que es de la sociedad a la que sirve debe de buscar la eficiencia y la moderación en el consumo de bienes no renovables. Además debe de fomentar y ayudar, en la manera de lo posible, el desarrollo de industrias y proyectos de innovación nacionales.

La Escuela Naval Militar, como ha venido haciendo hasta ahora, debe de buscar esos aspectos que por evolución de la tecnología puedan cumplir con las demandas energéticas de una manera más eficaz y sostenible. La inversión en la mejora continua de las instalaciones existentes ha sido siempre una referente en esta escuela, aunque mermada por la situación económica del país.

Por ello el Centro Universitario de la Defensa, debe aportar proyectos de carácter innovador que puedan aportar tecnologías, estudios y proyectos reales y viables, que puedan cumplir con la exigencia de la mejora continua de la Escuela Naval Militar. Si bien, el objetivo principal de este centro universitario no es la mejora de la Escuela Naval, si no, la formación de los oficiales de marina que egresarán de esta Escuela, no es baladí el que los proyectos estén relacionados con el ámbito naval, al poder ser de aplicación real y práctica. Además se debe fomentar la búsqueda de proyectos de innovación y el desarrollo de proyectos cada vez más novedosos y ambiciosos, que den al Centro Universitario de la Defensa un status de referencia en el ámbito nacional.

Dentro de este marco de búsqueda de la mejora continua, y de apostar por la industria emergente y nacional es donde podemos encontrar la raíz de este proyecto. Si bien, se ha buscado el desarrollo de tecnologías alternativas, novedosas y rentables, para hacer frente a unas demandas ya conocidas y cubiertas de tal manera que se busque la mejora en todos los ámbitos anteriormente mencionados.

Por tanto este proyecto ha cumplido con los requisitos que se proponían en los objetivos principales, la mejora de las capacidades del sistema de climatización y la reducción del consumo. Además se ha podido realizar cumpliendo con los objetivos secundarios de, innovación, eficiencia y rentabilidad.

El sistema propuesto es en sí, una innovación respecto a los sistemas actualmente existentes en esta escuela, además, su cercanía, no tan común, al Mar, hace que la instalación de unas instalaciones de este estilo sea idónea. Asimismo la gran eficiencia del sistema propuesto, dado sus bajos consumos, su sistema de modularidad, pudiendo cubrir solamente la demanda necesitada y no derrochando energía, hacen que el sistema sea óptimo para cubrir las demandas energéticas del cuartel de alumnos.

Sin embargo, la inversión inicial, como hemos visto, es elevada. A pesar de ello, la recuperación de la inversión podría ser una realidad en menos de 10 años. No obstante, habría que realizar un estudio económico más en profundidad sobre dos de los tres puntos iniciales, como sería la instalación del sistema de extracción de agua de mar y la obra de adecuación en la sala de calderas del cuartel de alumnos Almirante Francisco Moreno.

Por todo ello, se considera que el sistema propuesto puede ser y es una alternativa viable y eficaz al sistema de climatización existente en el cuartel Francisco Moreno. Esto unido, a que en los meses más cálidos del verano el cuartel permanece vacío, hacen que la refrigeración del cuartel no sea un objetivo de este proyecto aunque si se podrá tomar como líneas futuras de actuación la mejora de la refrigeración del cuartel.

Este proyecto implementa las tecnologías emergentes en el ámbito de la climatización, aportando una solución eficiente y eficaz a una demanda inicial consiguiendo de esta manera el objetivo de mejora continua que necesita nuestro país, que cada vez avanza más en investigación y desarrollo llegando a ser referente internacional en algunos campos. Por ello se ha cumplido también con otro objetivo aunque no mencionado es intrínseco a las derrotas de la Armada como es la contribución a la nación a la que sirve, España.

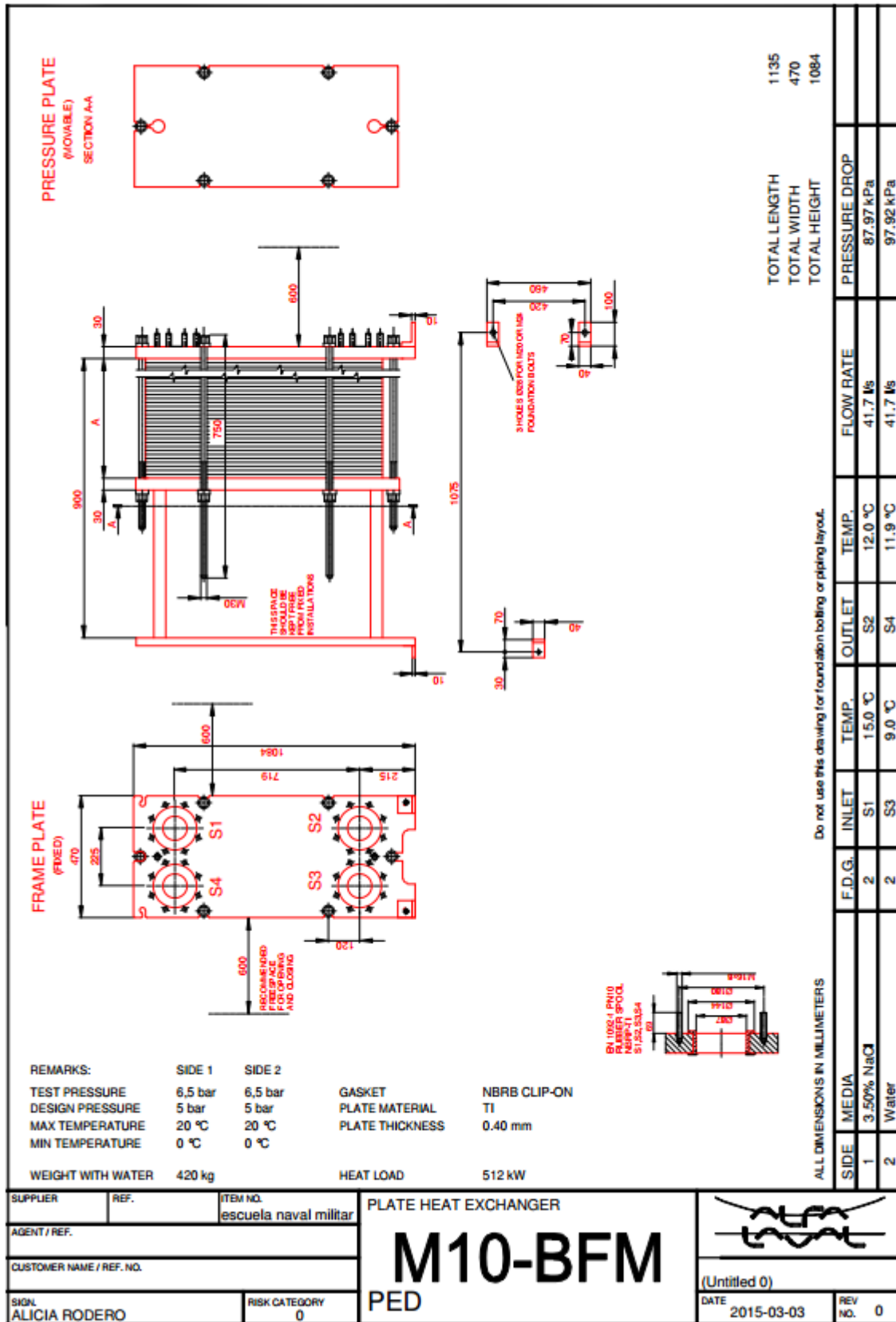
## 12.1 Líneas futuras

El perfeccionamiento de los proyectos desarrollados hoy en día es la principal base de la innovación y desarrollo. Por ello, el sistema propuesto ha buscado que pueda servir como base para un futuro desarrollo mayor y de más calado.

Existen multitud de mejoras que se pueden aplicar como base de este proyecto, desde el ámbito del ahorro energético hasta en la extensión de este sistema a extender este sistema al resto de la escuela.

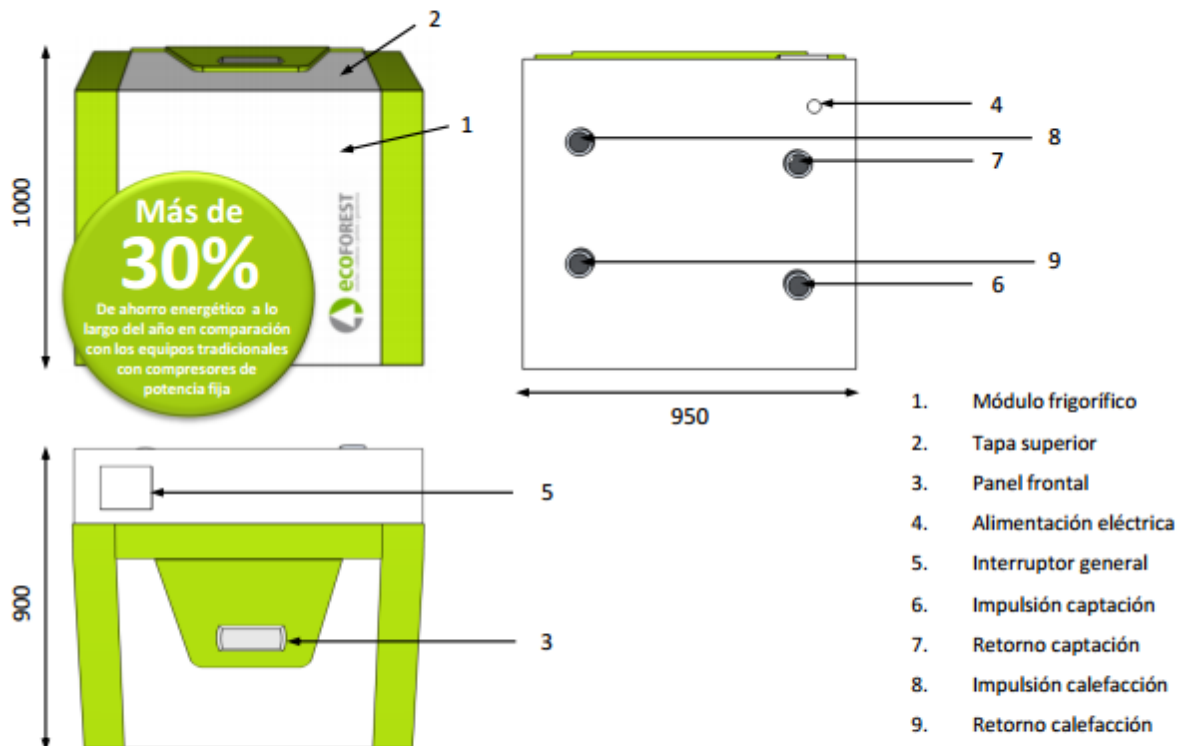
A continuación se destacarán ejemplos de los posibles desarrollos de este sistema:

- Climatización de la Escuela Naval Militar mediante sistema de climatización de distrito utilizando la tecnología hidrotérmica.
- Estudio sobre la instalación y aplicación de este proyecto.
- Instalación de sistema de ventilación en el Francisco Moreno para mejorar las capacidades del sistema de climatización.
- Desarrollar la capacidad de los equipos instalados de producir frío.
- Estudio de mejoras en el sistema de calefacción por energía hidrotérmica, como instalación de suelo radiante, radiadores de baja temperatura, o splits.
- Estudio de la viabilidad de instalación de paneles solares para reducir la demanda eléctrica aprovechando la energía solar.
- Mejora de los aislamientos térmicos y cerramientos del cuartel Francisco Moreno: doble ventana, puertas y lucernarios.
- Estudio sobre la viabilidad económica.
- Desarrollo del sistema de refrigeración basada en la tecnología free cooling.



Anexo 1 Características técnicas del intercambiador de placas

ecoGEO HP



Bombas Geotérmicas ecoGEO HP		Unidad	ecoGEO HP1			ecoGEO HP3		
DATOS TÉCNICOS			12-40	15-70	25-100	12-40	15-70	25-100
Aplicación	Calefacción y ACS	-	•	•	•	•	•	•
	Frio activo	-				•	•	•
Refrigerante	Tipo	-	R410A					
Componentes	Compresor	-	Scroll con Inverter de Danfoss					
	Válvula expansión	-	Electrónica Carel					
	Intercambiadores	-	Placas Alfa Laval					
	Depósito de líquido	-	Incluido, 5 litros					
	Filtro-secador	-	Incluido					
	Visor de líquido	-	Incluido					
Datos eléctricos	400 V / 50 Hz, 3/N/PE~	-	•	•	•	•	•	•
	Protección magnetotérmica	A	25	32	50	25	32	50
Eficiencia	Potencia calorífica <sup>1</sup>	kW	12-40	15-70	25-100	12-40	15-70	25-100
	COP <sup>1</sup>	-	4,6-5	4,6-5	4,6-5	4,6-5	4,6-5	4,6-5
	Consumo eléctrico <sup>2</sup>	kW	3,5-15	4,5-20	6,5-30	3,5-15	4,5-20	6,5-30
	EER <sup>2</sup>	-	--	--	--	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5
Circuito frigorífico	Carga refrigerante	kg	10,5	11	14,5	10,5	11	14,5
	Presión funcionamiento máxima	bar	42					
	Tipo aceite compresor	-	POE					
	Carga aceite compresor	kg	--					
Circuito climatización	Temperatura máxima/mínima	°C	Calefacción: 55/20 ; Refrigeración (ecoGEO HP3): 20/6					
	Presión funcionamiento máxima	bar	3					
	Caudal nominal (ΔT=5°C)	l/h	2000-7000	2500-12000	4300-17200	2000-7000	2500-12000	4300-17200
Circuito captación	Temperatura máxima/mínima	°C	Calefacción: --/-15; Refrigeración (ecoGEO HP3): 60/--					
	Presión funcionamiento máxima	bar	3					
	Caudal nominal (ΔT=3°C)	l/h	2500-8500	3200-15000	5400-21700	2500-8500	3200-15000	5400-21700
	Anticongelante recomendado <sup>3</sup>	-	Propilenglicol/agua con punto de congelación -17 ±2 °C					
Insonorización	Nivel emisión sonora <sup>4</sup>	dB	--	--	--	--	--	--
Dimensiones	Alto x ancho x fondo	mm	1000 x 950 x 900					
	Peso	Peso en vacío (sin embalaje)	kg	280	320	350	280	320

1) Conforme a EN 14511, 0/-3 – 30/35 °C.  
 2) Conforme a EN 14511, 7/12 – 30/35 °C. Pendiente calefacción  
 3) Consultar siempre las regulaciones regionales antes de utilizar el medio anticongelante.  
 4) Conforme a EN 14511. Pendiente calefacción

Anexo 2 Datos técnicos bomba de calor ECOGEO

## 14 BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. McDowal, *Fundamentals of HVAC SYSTEMS.*, Elsevier, 2007.
- [2] A. E. d. C. y. R. DTIE- ACETYR, *Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación*, Madrid.
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning, *ASHRAE*, CHICAGO.
- [4] R. McDOWALL, *Fundamentals of HVAC systems*, Oxford: Elsevier, 2007.
- [5] M. d. I. E. y. T. BOE RD1027/2007, *RD1027/2007 Reglamento de las instalaciones térmicas en los edificios.*, Madrid: BOE, 2007.
- [6] A. T. p. l. C. S. ATECOS, «[http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Bombas\\_calor\\_geotermica.PDF](http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Bombas_calor_geotermica.PDF),» [En línea].
- [7] Parlamento Europeo y del Consejo, Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE., DOUE-L-2009-81013, 2009.
- [8] I. p. l. D. y. A. d. l. E. IDAE, *Comentarios RITE-2007, reglamento de las instalaciones térmicas de los edificios*, Madrid: IDAE, 2007.
- [9] D. B. H. 4. A. d. Energia, *Documento Basico HE Ahorro de Energia;*
- [10] I. p. l. D. y. A. d. E. IDAE, *Manual de fundamentos tecnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X*, Madrid: IDAE, 2012.
- [11] IDAE, *Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X*, Madrid, 2012.
- [12] D. A. C. M. Arquitecto, *Proyecto de edificio de cuartel para alumnos en la Escuela Naval Militar de Marin*, Vigo, 1974.
- [13] M. d. S. y. c. BOE 865/2003, *Por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.*, Madrid: Boletín Oficial del Estado, 2003.
- [14] Ministerio de Agricultura alimentación y medio ambiente, *Agencia Estatal de Meteorología*, Madrid.
- [15] M. I. A. Fernández, «Caracterización de afloramiento de un episodio invernal en la Ria de Pontevedra,» Universidad de Vigo, Vigo, 2002.
- [16] Ministerio de Vivienda, *Código Técnico de la Edificación*, (C.T.E), BOE, 2006.
- [17] M. J. L. Fernandez, «Estudio del potencial aprovechamiento térmico de la presa de Zamáns para la generación centralizada de calor y frío,» Universidad de Vigo, Vigo, 2013.
- [18] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].
- [19] P. Martínez y A. García, *Cómo escribir una buena memoria de TFG*, Publicaciones del 2000, 2013.
- [20] A. Pérez, *Cómo escribir una bibliografía*, Nuevas publicaciones.

- [21] I. Ministerio de Industria Comercio y Turismo y M. d. I. t. y. c. IDAE, *{{1 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria comercio y turismo 2010;}}*.
- [22] I. e. d. Galicia, «RESOLUCIÓN de 20 de junio de 2014 por la que se establecen las bases reguladoras y se anuncia la convocatoria de subvenciones a proyectos de ahorro y eficiencia energética en la industria y servicios para el año 2014 cofinanciadas por el Fondo Europeo de,» de *RESOLUCIÓN de 20 de junio de 2014 por la que se establecen las bases reguladoras y se anuncia la convocatoria de subvenciones a proyectos de ahorro y eficiencia energética en la industria y servicios para el año 2014 cofinanciadas por el Fondo Europeo de*, Galicia: Diario Oficial de Galicia, 2014.
- [23] F. T. Touceda, Estudio del proceso de ebullición forzada de la mezcla de amoníaco/agua en intercambiadores de placas para equipos de refrigeración por absorción, Tarragona: UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI, 2007.
- [24] M. d. I. y. E. BOE, Orden de 11 de octubre de 1988 por que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-13 del Reglamento de Aparatos a Presión, referente a intercambiadores de calor de placas., Madrid: Boletín Oficial del Estado, 1988.
- [25] Parlamento Europeo y del Consejo, Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios, Estrasburgo: Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002.
- [26] Parlamento Europeo y del Consejo, Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios., Estrasburgo, 2010.
- [27] Ministerio de Industria, Decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, Madrid: Boletín Oficial del Estado, 2013.
- [28] BOE 219/2013, Sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos., Madrid: BOE, 2013.
- [29] Honeywell, Engineering Manual Of Automatic Control for Commercial Buildings.Heating, ventilating, air conditioning., Minneapolis MN: Minneapolis Inc, 1997.
- [30] S. C. M. Hui, « Intelligent Facility Management and Intelligent Transport,» de *Latest trends in building automation and control systems, In Proc. of the CAI Symposium* , Hong Kong, 2007.