



Escuela Técnica Superior De Ingenieros  
Industriales

Master En Ingeniería Industrial

# Ingeniería Térmica

*Climatización de la cafetería de la ETSII*

**Daniel Ignacio Alfaro Posada 13012**

16.06.2020

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                        | <b>2</b>  |
| <b>DESCRIPCIÓN DE LA CAFETERÍA</b>         | <b>2</b>  |
| <b>CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS</b>          | <b>4</b>  |
| <b>DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN</b> | <b>10</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>                        | <b>11</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>                         | <b>12</b> |

## INTRODUCCIÓN

En este último trabajo de la asignatura de Ingeniería Térmica se intentará diseñar un sistema de aire acondicionado para la cafetería de la Escuela Superior Técnica de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Sin embargo, dada la situación excepcional de cuarentena y estado de emergencia debido a la crisis de sanitaria ocasionada por el virus SARS-CoV-2, nos ha sido imposible tomar fotos y detectar de manera empírica los elementos relevantes para cálculos de cargas térmicas o estimar el área total de los locales.

Por tanto no será el objetivo de esta entrega lograr una gran precisión en la estimación de parámetros. Se intentará realizar el trabajo lo más realista que nos sea posible, pero no se puede asegurar una alta precisión.

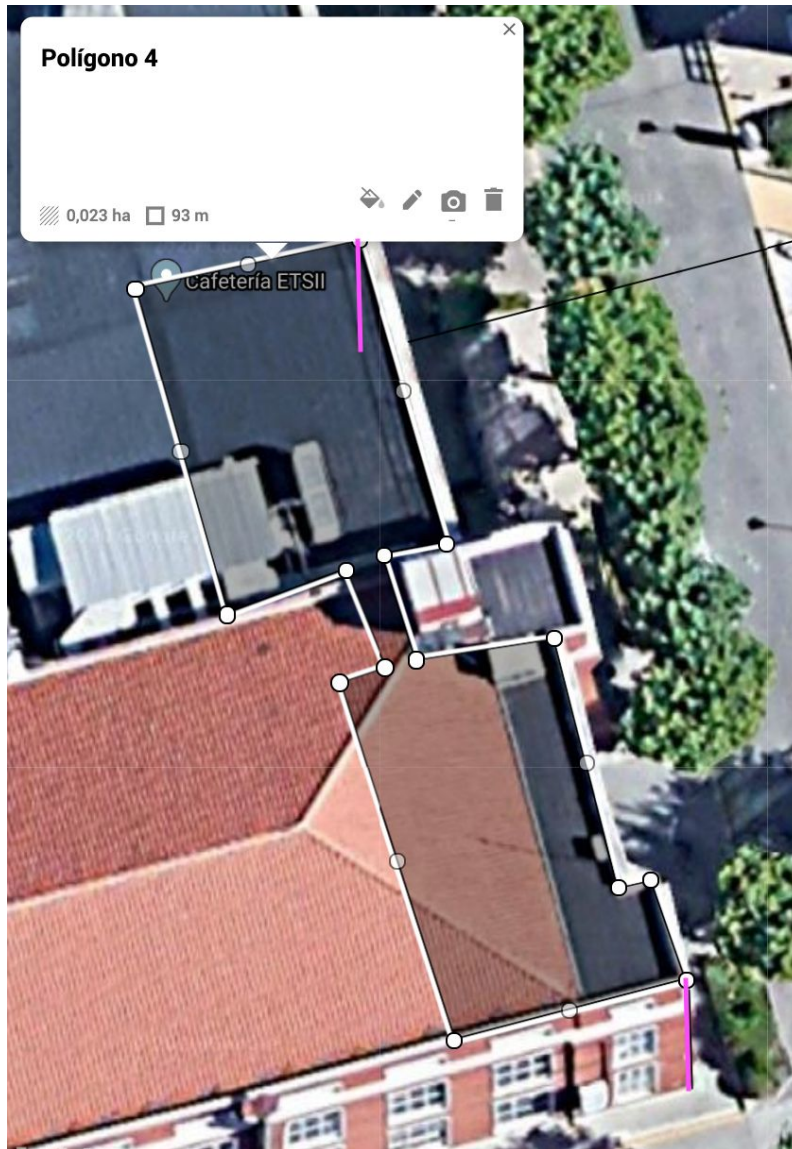
## DESCRIPCIÓN DE LA CAFETERÍA

La cafetería se encuentra en la planta 0 de la ETSII como se indica recuadrado en rojo en la imagen 1. Cabe señalar que la cafetería se comunica con la sala multiusos de la planta 1 por medio de las escalares que se indican en el plano, pero para objeto del estudio consideraremos la cafetería únicamente como el comedor y el bar. Tampoco tendremos en cuenta el comedor de los profesores que está contiguo a la pared sur del comedor en el mismo color según el plano.



**Imagen 2:** Plano de planta de la ETSII (en rojo la cafetería) (**Fuente:** Induforum)

Una vez determinado el objeto de estudio pasaremos a medir los metros cuadrados de la cafetería. No teniendo disponibles los planos del edificio con cotas, aproximaremos esta medida a partir de la herramienta de mymaps de google. Como se observa en la imagen 3 se ha realizado un contorno de cómo es la cafetería cogiendo elementos de perspectiva que nos han ayudado a identificarlo a partir del recuerdo del alumno que se tiene de la cafetería. Como se puede observar la herramienta nos aproxima a 230 m<sup>2</sup> la superficie de la cafetería.



**Imagen 3:** Medición de los metros cuadrados de la cafetería (**Fuente:** MyMaps y realización propia)

## CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Para el cálculo de cargas se ha decidido utilizar como apoyo una hoja de cálculo del grupo VPCLIMA de la Universidad Politécnica de Valencia. El sistema utilizado por la hoja de cálculo es a partir de los datos de clima de la ciudad de Madrid y el procedimiento time radiation series (ASHRAE), calculan las cargas térmicas de un espacio concreto dependiendo de los parámetros seleccionados.

Iremos explicando los parámetros y cálculos realizados con esta hoja de cálculo como apoyo/comprobación de los resultados para el cálculo de las cargas térmicas:

1. Temperaturas: La estación meteorológica de referencia fue “Madrid Retiro”. El mes seleccionado para refrigerar es Julio. El mes seleccionado para calefacción fue Enero:

| Lat   | Long | asnm   | TSNP99,6 | TsNP99 |
|-------|------|--------|----------|--------|
| 40,40 | 3,67 | 667,00 | -0,80    | 0,3    |

| HUMCoin | TSNP0,4 | THNP0,4 | TSNP1 | THNP1 |
|---------|---------|---------|-------|-------|
| 69      | 34,8    | 21,4    | 33,6  | 21,1  |

| Anual (Tsm) | OMA  | Julio (Tsm) | Enero (Tsm) | OMD  |
|-------------|------|-------------|-------------|------|
| 14,87       | 35,6 | 25,4        | 6           | 13,9 |

**Tabla 1:** Datos obtenidos de la hoja de VPCLIMA

Con estos datos se tomaron los parámetros correspondientes a refrigeración. Se consideró la temperatura del exterior seca como húmeda y tras hacer los cálculos tomar la más desfavorable. Se utilizó una herramienta online para el cálculo de parámetros psicrométricos<sup>1</sup> (considerando una altitud de 670m) se obtuvieron los datos de humedad absoluta y temperatura de bulbo húmedo en el caso de la calefacción y de humedades relativa y absoluta en refrigeración. Se resume en la tabla 2.

Las condiciones del interior de la cafetería quedarían resumidas en la tabla 3. Para rellenar la

---

<sup>1</sup> Herramientas online, parametros psicrometricos

<<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>>

tabla se usaron los límites indicados en la Guía Técnica de instalaciones de climatización con equipos autónomos<sup>2</sup>.

|                                     | Temperatura<br>Seca [°C] | Humedad<br>relativa [%] | Humedad<br>absoluta [g/kg] | Temperatura<br>húmeda [°C] |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Calefacción</b>                  | 0.3                      | 69                      | 2.9                        | -1.5                       |
| <b>Refrigeración (T<br/>seca)</b>   | 33.7                     | 33.2                    | 11.7                       | 21.1                       |
| <b>Refrigeración (T<br/>húmeda)</b> | 33                       | 36.4                    | 12.4                       | 21.4                       |

**Tabla 2:** Condiciones exteriores

|                                     | Temperatura [°C] | Humedad relativa<br>[%] | Humedad absoluta<br>[g/kg] |
|-------------------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| <b>Calefacción</b>                  | 22               | 50                      | 8.52                       |
| <b>Refrigeración (T<br/>seca)</b>   | 23               | 45                      | 8.92                       |
| <b>Refrigeración (T<br/>húmeda)</b> | 23               | 45                      | 8.92                       |

**Tabla 3:** Condiciones interiores

2. Radiación Solar: El siguiente elemento a tener en cuenta es el calor sensible por radiación solar. En la tabla 4 se puede observar los valores por orientación de la superficie y la hora de la radiación.

---

<sup>2</sup> Guía Técnica de Instalaciones de Climatización con Equipos Autónomos.  
<[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/17\\_Guia\\_tecnica\\_instalaciones\\_de\\_climatizacion\\_con\\_equipos\\_autonomos\\_5bd3407b.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con_equipos_autonomos_5bd3407b.pdf)>

| Hora Solar | Hz  | N   | NE  | E   | SE  | S   | SO  | O   | NO  |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5          | 13  | 41  | 84  | 81  | 34  | 6   | 6   | 6   | 6   |
| 6          | 168 | 150 | 336 | 362 | 215 | 65  | 65  | 65  | 65  |
| 7          | 355 | 164 | 480 | 577 | 397 | 106 | 106 | 106 | 106 |
| 8          | 540 | 136 | 489 | 657 | 520 | 158 | 136 | 136 | 136 |
| 9          | 702 | 160 | 414 | 632 | 574 | 273 | 160 | 160 | 160 |
| 10         | 829 | 177 | 291 | 531 | 564 | 370 | 177 | 177 | 177 |
| 11         | 909 | 188 | 188 | 377 | 495 | 434 | 228 | 188 | 188 |
| 12         | 936 | 191 | 191 | 191 | 378 | 456 | 378 | 191 | 191 |
| 13         | 909 | 188 | 188 | 188 | 228 | 434 | 495 | 377 | 188 |
| 14         | 829 | 177 | 177 | 177 | 177 | 371 | 565 | 532 | 291 |
| 15         | 703 | 160 | 160 | 160 | 160 | 274 | 575 | 633 | 414 |
| 16         | 541 | 136 | 136 | 136 | 136 | 158 | 520 | 658 | 489 |
| 17         | 357 | 165 | 106 | 106 | 106 | 106 | 399 | 579 | 482 |
| 18         | 170 | 152 | 65  | 65  | 65  | 65  | 217 | 365 | 339 |
| 19         | 13  | 42  | 6   | 6   | 6   | 6   | 34  | 81  | 84  |
| 20         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

**Tabla 4:** Radiación solar según orientación y hora solar

3. Transmisión térmica de materiales: En cuanto a los valores de transmisión térmica de los cerramientos, se tomarán en función de los materiales. Se tomarán los valores del código técnico de la edificación de 2019<sup>3</sup> y se cogieron valores para construcciones antiguas (se observa en la tabla 5).

| Tipo de Superficie    | Material                          | U   |
|-----------------------|-----------------------------------|-----|
| Fachada hoja simple   | Simple de ladrillo 9              | 3.5 |
| Fachada de doble hoja | Ladrillo 12 + cámara + ladrillo 4 | 1.4 |
| Falso techo           | Pladur aislado                    | 1.3 |
| Suelo                 | -                                 | 3.5 |

**Tabla 5:** Transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>K)

<sup>3</sup> Nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado el 20 de Diciembre de 2019 y publicado en el BOE el 27 de Diciembre; Sección I pg. 140565

<<https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528.pdf>>

Una vez tenemos los datos de transmisión térmica y superficie de transmisión la carga térmica se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = K \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

Donde:

- K es el coeficiente de transmisión térmica en  $W/(m^2 \cdot k)$
- S es la superficie en  $m^2$  de transmisión que separa las dos estancias con diferente temperatura
- $T_{ext}$  se refiere a la temperatura en K del entorno exterior a la cafetería. (Calculado en el punto 1)
- $T_{int}$  se refiere a la temperatura en K del interior de la cafetería. (Calculado en el punto 1)

4. Cargas térmicas debido a actividad humana: cargas térmicas debidas a los clientes y personal de la cafetería (en la tabla 6). Así que simplemente multiplicaremos por 200 una media de estos valores.

| Actividad                    | Calor Sensible | Calor Latente |
|------------------------------|----------------|---------------|
| Sentado reposo (cine)        | 78             | 46            |
| Sentado muy ligero (oficina) | 86             | 79            |
| Sentado ligero (montaje)     | 75             | 49            |

**Tabla 6:** Calores latente y sensibles emitidos por persona(W)

5. Tamaño y orientación de los cerramientos: se estimaron 8 ventanas de 2x4 m, 2 con orientación S-E y 6 con orientación E. Son ventanas sin accesorios (persianas o cortinas). Con estas superficies y los datos de radiación se usa la siguiente fórmula:

$$Q = S \cdot R \cdot F$$



Donde:

- S representa la superficie de ventanas
  - R representa el valor unitario de Radiación (calculado en el punto 2)
  - F el factor corrector de atenuación por accesorio (consideramos 1)
6. Cargas térmicas por equipos en la cocina: Se buscaron equipamientos de la cocina (fogones, horno y plancha y máquinas de bebidas) y se estimó una potencia de 17,5 kW y un calor latente de 330 W/kW y sensible de 360 W/kW. Así que las cargas térmicas debido a los equipos son calor sensible de 3.85kW y latente de 3.15kW.
  7. Cargas térmicas por luminarias: se considerarán despreciables dado que la cafetería está adecuadamente iluminada por los grandes ventanales que dispone.
  8. Superficie de climatización: 260 m<sup>2</sup>, ya que consideramos que toda la cafetería debe estar adecuadamente climatizada.
  9. Posibles pérdidas por puertas abiertas y otros aspectos: Se mayoró de un 10% el calor latente y un 5% el calor sensible.
  10. Ventilación: La ventilación es exterior y no pondremos recuperadores, el sistema escoge por defecto un caudal de ventilación de 9000 l/s. Para la ventilación las cargas se calculan con la siguiente fórmula:

$$Q_s = 0.34 \cdot V \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

$$Q_l = 0.84 \cdot V \cdot (W_{ext} - W_{int})$$

Donde:

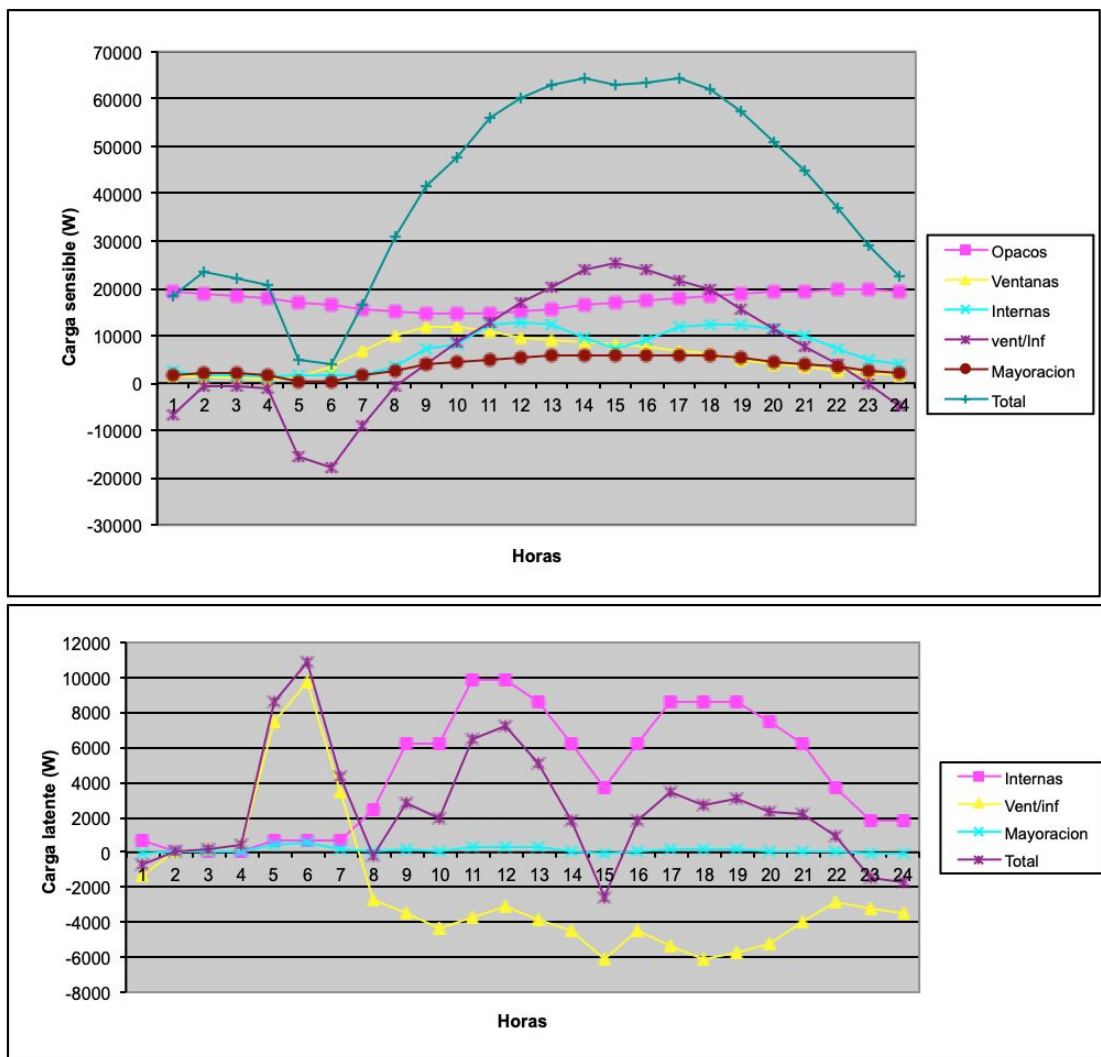
- V representa el volumen de aire a recircular
- T<sub>ext</sub> y T<sub>int</sub> representan las temperaturas del aire respectivamente exterior e interior a la cafetería
- W<sub>ext</sub> y W<sub>int</sub> representa la humedad respectivamente exterior e interior a la cafetería

Una vez seleccionados todos los parámetros se hallaron las siguientes cargas térmicas:

|                      | Calefacción | Refrigeración |
|----------------------|-------------|---------------|
| Cargas Térmicas (kW) | 40.80       | 67.76         |

**Tabla 7:** Resultado de cargas térmicas

Con estos datos podemos observar la distribución de las cargas latentes y sensibles a lo largo de las 24 h del día para refrigeración:



**Imagen 4:** Distribución de cargas latentes y sensibles a lo largo de las 24 h según el sistema de ATECYR (Fuente: ATECYR y realización propia)

## DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización seleccionado ha sido un sistema todo aire a través de una UTA. Consistiría en dos elementos principales, las baterías de calor y frío (intercambiadores de calor a través de serpentines con aletas por los que circula agua tratada por máquinas térmicas). Si comparamos la lista de UTA del producto KCH de la empresa CIAT<sup>4</sup> se ve que el modelo precio - potencia que necesitamos es el KCH 315. Su potencia frigorífica es de 69.7 kW suficiente para la carga térmica calculada y su potencia calorífica con 2 tubos es 86kW más que suficiente también. Las dimensiones del aparato son 2.655x855x730 mm y su peso de 396 kg.

### KCH. LISTA DE PRECIOS (€)

| Modelo  | Caudal de aire (m3/h) | Presión disponible nominal (mm.c.a) | Conexiones hidráulicas E/S | Potencia         |                         |                         | Potencia absorbida (kW) | Intensidad máxima absorbida |                    | PVP (€) |
|---------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------|---------|
|         |                       |                                     |                            | Frigorífica (kW) | Calorífica 2 tubos (kW) | Calorífica 4 tubos (kW) |                         | 230 V / I ph (A)            | 400 V / III ph (A) |         |
| KCH 65  | 3100                  | 7,0                                 | 1"                         | 15,8             | 18,8                    | 11,2                    | 0,60                    | 8,2                         | -                  | 2.351   |
| KCH 95  | 4600                  | 7,0                                 | 1 1/4"                     | 21,9             | 27,4                    | 18,6                    | 0,75                    | -                           | 2,1                | 2.626   |
| KCH 155 | 7000                  | 9,0                                 | 1 1/2"                     | 34,8             | 43,0                    | 28,2                    | 1,50                    | -                           | 3,6                | 3.403   |
| KCH 195 | 9200                  | 6,0                                 | 1 1/2"                     | 43,8             | 54,8                    | 37,2                    | 1,50                    | -                           | 3,6                | 4.769   |
| KCH 315 | 14000                 | 10,0                                | 2"                         | 69,6             | 86,0                    | 56,4                    | 3,00                    | -                           | 6,9                | 6.259   |
| KCH 450 | 18400                 | 12,0                                | 2 1/2"                     | 87,0             | 108,8                   | 73,7                    | 4,00                    | -                           | 9,0                | 13.208  |
| KCH 510 | 24000                 | 12,0                                | 2 1/2"                     | 116,0            | 145,2                   | 98,3                    | 5,50                    | -                           | 11,6               | 15.779  |
| KCH 630 | 28000                 | 12,0                                | 2 1/2"                     | 139,2            | 176,2                   | 112,8                   | 7,50                    | -                           | 14,7               | 16.107  |

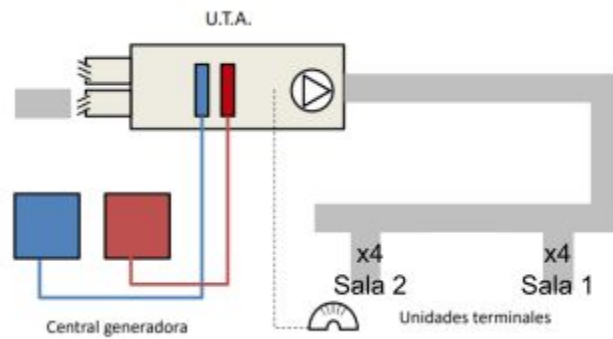
**Tabla 8:** Listado de modelos KCH

Así que el sistema consistiría en esta unidad de tratamiento de aire colocado encima del falso techo del pasillo que comunica ambas salas de la cafetería y la colocación de rejillas en las cuatro esquinas de cada una de las salas.

Habría que tener en cuenta la disposición de los impulsores y de los colectores de aire. Disponerlos en situaciones opuestas en la sala, lo más alejados posible a poder ser enfrentados para conseguir un barrido homogéneo de la sala.

<sup>4</sup> Catalogo comercial CIAT 2019 pg. 36

<[https://ciatapp.es/files/TarifaCIAT\\_ResidencialyComercial2019.pdf](https://ciatapp.es/files/TarifaCIAT_ResidencialyComercial2019.pdf)>



**Imagen 5:** Esquema de climatización

## CONCLUSIONES

Se ha logrado calcular las cargas térmicas de manera detallada de la cafetería de la universidad para posteriormente seleccionar un equipo de climatización que se adapte a las cargas térmicas calculadas. En general cabe destacar que muchos de los cálculos se han realizado de manera aproximativa aunque algunos de ellos se han referido a manuales técnicos y normativa vigente en edificación

La solución seleccionada es bastante adecuada dado que además del climatizar el aire, lleva a cabo un filtrado, humectado (en invierno) o deshumectado (en verano) garantizando la máxima calidad del aire interior. El precio del aparato ronda los 6300€ a los que se debería añadir los costes de la instalación (consideramos que se usarán las centrales generadoras ya disponibles en la escuela) que puede subir a un total de 10.000€. Cabe destacar la necesidad de un falso techo para la instalación de esta solución que se ha puesto como hipótesis que está presente o se podría instalar.

## REFERENCIAS

- [1] Herramientas online, parametros psicrometricos  
<<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>>  
Consultado el 15/06/2020.
- [2] Guía Técnica de Instalaciones de Climatización con Equipos Autónomos.  
<[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_17\\_Guia\\_tecnica\\_instalaciones\\_de\\_climatizacion\\_con\\_equipos\\_autonomos\\_5bd3407b.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_17_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_con_equipos_autonomos_5bd3407b.pdf)> Consultado el 15/06/2020.
- [3] Nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado el 20 de Diciembre de 2019 y publicado en el BOE el 27 de Diciembre;  
<<https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528.pdf>> Consultado el 15/06/2020.
- [4] Catalogo comercial CIAT 2019 pg. 36  
<[https://ciatapp.es/files/TarifaCIAT\\_ResidencialyComercial2019.pdf](https://ciatapp.es/files/TarifaCIAT_ResidencialyComercial2019.pdf)> Consultado el 15/06/2020.
- [5] UPM - ETSII , “Diapositivas de la asignatura Ingeniería Térmica”.