

Climatización de Hospitales: análisis de costes en la producción de energía térmica y simulación energética.

Autores: José A. Torre Calvo - **MASHRAE**, Ingeniero Industrial, Director Comercial en EVAIR y Rubén Gil Gil - **MASHRAE**, Ingeniero Industrial, Director Técnico EVAIR.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo, se centra en la simulación energética que se realizó para un estudio bajo el título de “Análisis de costes energéticos en producción de energía térmica para aportar frío según el sistema de condensación elegido en un hospital” y que se presentó vía ponencia en el XXXVI Congreso de Ingeniería Hospitalaria, celebrado en Zaragoza entre 17 y 19 de octubre de 2018.

Los datos obtenidos mediante la simulación fueron contrastados con datos reales del hospital y además de estos se incluyeron también cifras reales costes de la energía según tarificación (término de potencia y consumo), así como impuestos.

Igualmente, la ponencia completa presentada incluía, además de los costes energéticos asociados a los equipos de producción de energía térmica, otros costes de implantación de los distintos sistemas. Se consideraron, la adquisición de equipos, instalación, obra civil, consumo agua para torres, así como otros consumos secundarios (bombas, ventiladores...) y costes de mantenimiento asociados a limpieza, consumibles, cambios de filtro en pozo, desinfección y seguridad sanitaria, etc.

ALCANCE DE ESTUDIO

La realización del análisis, que se centra en la simulación energética de los diferentes sistemas propuestos y sus consumos, queda validada al haber sido contrastados éstos con los datos reales del hospital caso de estudio. Un factor muy importante en un hospital es la distribución de Energía dentro del mismo, pero esto se considera fuera del alcance de este trabajo.

SIMULACIÓN ENERGÉTICA

La simulación Energética, reproduce con la mayor fidelidad posible el comportamiento del edificio considerando uso, horarios, ocupación, iluminación, actividad de sus ocupantes y condiciones ambiente de manera horaria a lo largo de un año.



José Antonio Torre – Ingeniero Industrial

A lo largo del año es posible encontrar periodos en los que los efectos de las cargas térmicas interior y exterior simultáneo pueden llegar a compensarse y equilibrarse, dando lugar a un equilibrio térmico, mientras que, en otros, incluso con las mismas condiciones ambiente exteriores, no tiene porqué producirse este efecto debido a las diferentes condiciones de ocupación, actividad, etc.

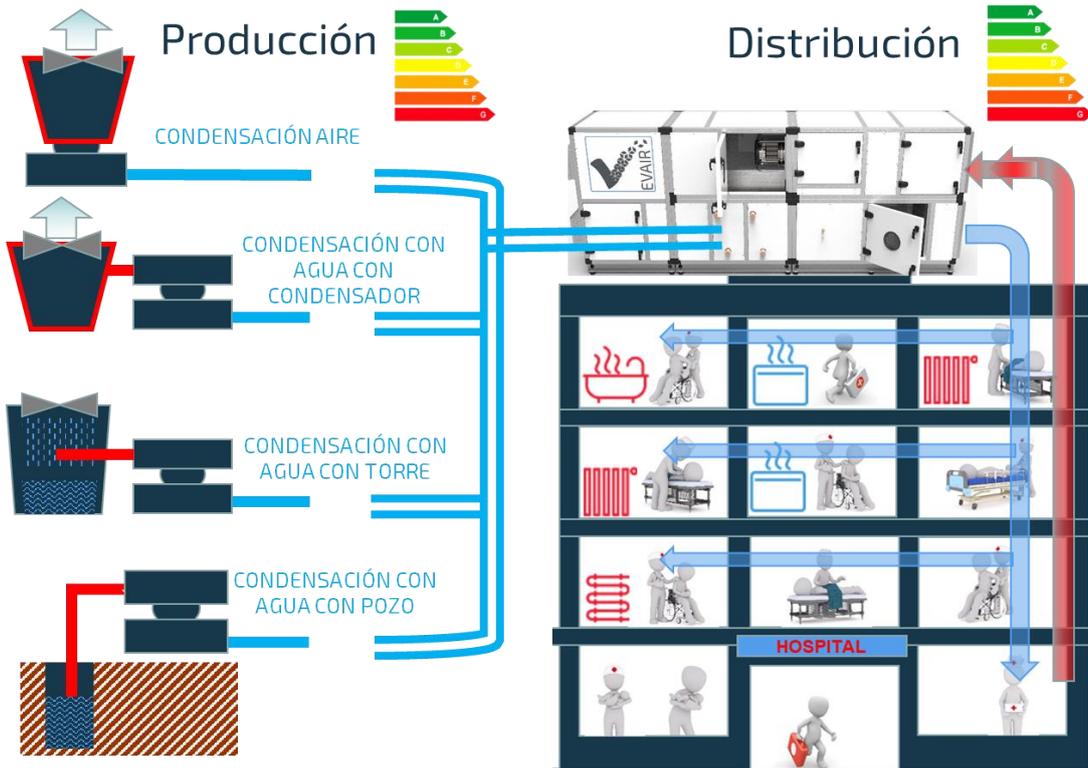
Además de las cargas consideradas como externas (radiación, transmisión y convección a través de cerramientos) y las consideradas como internas (iluminación, aparatos y ocupación) con sus correspondientes perfiles de uso, es de vital importancia la consideración de la ventilación, que puede llegar a ser un aporte positivo o negativo, pudiendo en algunos casos reducir la potencia a aportar por los sistemas de climatización propuestos gracias a la gestión de *free-cooling*.

Sistemas Incluidos en la Simulación

La eficiencia de un edificio está afectada por dos grandes bloques, por un lado, la producción de energía y por otro la distribución de energía al interior del edificio. La elección de ambas partes debe realizarse de manera conjunta y coherente, pues un edificio será tanto más eficiente cuanto más se hayan considerado la relación entre producción y distribución.

Para obtener resultados comparables, se realizó el estudio partiendo de una misma tecnología en los grupos de producción de frío (tipo de compresor y regulación del mismo).

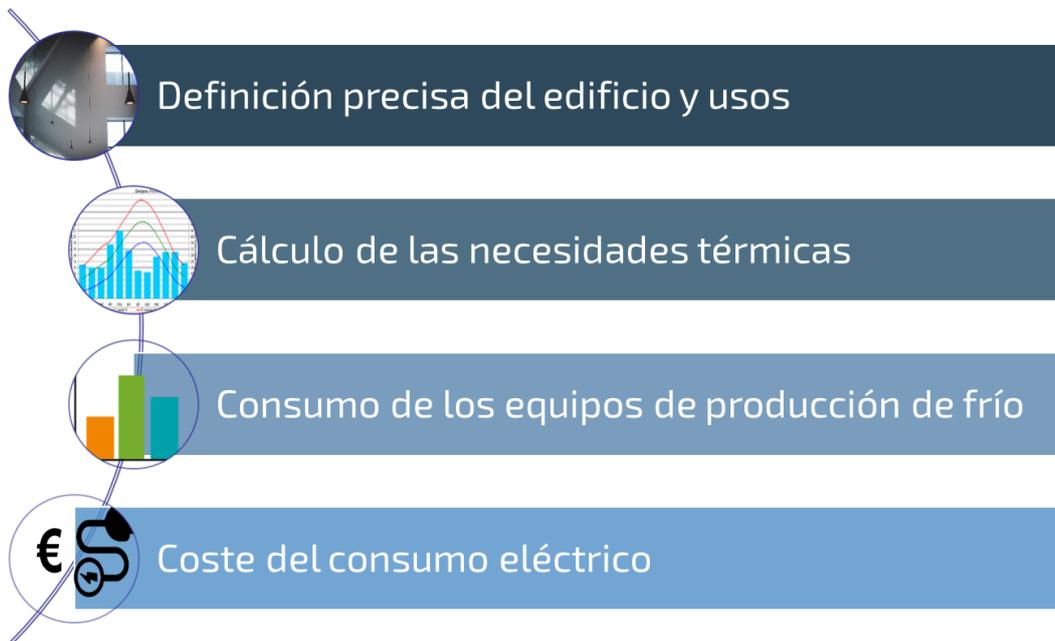
Se consideraron los siguientes sistemas de condensación para la de producción de energía:



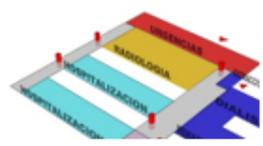
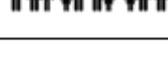
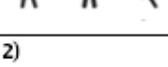
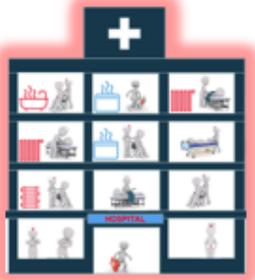
José Antonio Torre – Ingeniero Industrial

Datos de Partida para la Simulación

Para que una simulación energética sea fiable, deben tenerse en cuenta, como mínimo, cuatro aspectos fundamentales:



En la definición del edificio se debe considerar la superficie del hospital, la ocupación en distintas franjas horarias, que está afectada por los residentes, visitas y personal sanitario, la actividad metabólica de los ocupantes, la iluminación y el calor emitido por los aparatos eléctricos, la epidermis del edificio y tipo de cerramientos (Transmitancia), así como su orientación.

DEFINICIÓN DEL EDIFICIO						
Superficie Hospital (m2)				20000		
Ocupación (Nº de Personas)	Franja Horaria Mañana			1200		
	Franja Horaria Tarde			630		
	Franja Horaria Noche			350		
Actividad metabólica	Franja Horaria Mañana			Paseo	Sensible/Persona	Latente/Persona
	Franja Horaria Tarde			Paseo	50	60
	Franja Horaria Noche			Trabajo sentado	50	55
Potencia Iluminación + Aparatos (W/m2)				8		
Potencia Iluminación + Aparatos (W)				160000		
Superficie Cerramientos (m2) - 5Plantas				8595		
Transmitancia Térmica global del edificio (W/m2K)				1.0		
Superficie Acristalada (m2)	Total			688		
	Cara N			86		
	Cara NE			86		
	Cara E			86		
	Cara SE			86		
	Cara S			86		
	Cara SO			86		
	Cara O			86		
	Cara NO			86		

La evaluación de la carga de ventilación es diferente en función de la zona del hospital y de la ocupación.

	INTERIOR	Superficie (m2)	Ventilación (m3/(hm2))	Simultaneidad (%)	Ventilación - Simultaneidad (m3/(hm2))
Zonas	UCI	350	70	60	42
	Quirófanos	1200	70	60	42
	Hospitalización	2370	10	90	9
	Consultas	1200	10	60	6
	Laboratorios	300	10	60	6
	Rehabilitación	550	10	60	6
	Vestibulos/pasillos	5500	5	60	3
	Esterilización	150	55	60	33
	Radiología	200	10	60	6
	Urgencias	150	15	60	9
	Despachos	1700	5	60	3
	Oficinas admón	300	5	60	3
	Archivos	500	5	60	3
	Lavandería	65	0	60	0
	Aseos	330	10	60	6
	Salas de estar	200	10	60	6
	Vestuarios	460	36	60	21,6
	Almacenes, otros	5000	0	60	0



Es muy importante la orientación del edificio y su acristalamiento para considerar el efecto de la radiación solar. Se consideran los siguientes valores de radiación en función de la hora solar y la latitud.

Radiación solar directa a través del cristal desnudo, en W/m ²										
		Orientación								
Latitud Norte	Hora Solar	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
40	8	44	406	646	491	57	37	37	37	MAÑANA
	9	48	248	520	510	132	44	44	44	
	10	50	98	399	466	217	50	50	50	
	11	53	57	182	355	283	72	53	53	
	12	53	53	59	202	309	202	59	53	TARDE
	13	53	53	53	72	283	355	182	57	
	14	50	50	50	50	217	466	399	98	
	15	48	44	44	44	132	510	567	248	
	16	44	37	37	37	57	491	646	406	
	17	50	31	31	31	35	390	614	469	
18	81	19	19	19	22	211	412	366		
Media Mañana		50	173	361	405	200	81	49	48	
Media Tarde		54	39	39	42	124	404	470	274	



La principal ventaja de realizar una simulación con el nivel de detalle descrito, para llevar a cabo el análisis energético, es poder valorar situaciones a priori desconocidas; un ejemplo es aquella en las que, para condiciones exteriores equivalentes, las plantas enfriadoras tienen que aportar una capacidad completamente distinta.

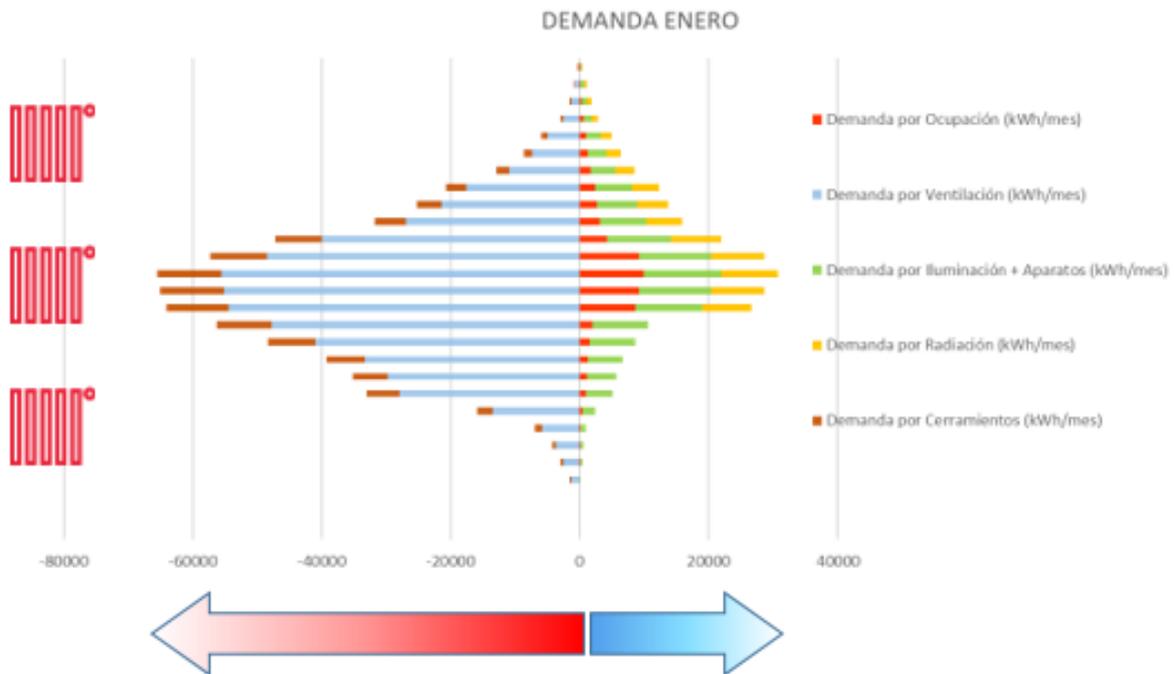
En nuestro caso de estudio, para una misma temperatura exterior de 23°C, hay momentos en los cuales la planta enfriadora va a estar suministrando 482 kW y otros en los que va a tener que suministrar 543 kW. Esta situación da lugar a un punto de trabajo del equipo diferente a nivel de carga de capacidad y por tanto a un rendimiento diferente aun trabajando en el mismo punto de condensación.

Por este motivo se hace imprescindible disponer de datos reales de los equipos en los puntos de trabajo requeridos, no sólo de rendimiento de los mismos en cargas parciales, sino en función de la variación de las condiciones de condensación.

Del resultado de la simulación energética se puede realizar un interesante análisis del funcionamiento del sistema a lo largo del año.

En meses como enero la demanda de frío es altísima, fundamentalmente debida a la transmisión por los cerramientos y al aire de ventilación, que está por debajo de la temperatura de confort del edificio.

Las cargas positivas debidas a la ocupación, radiación e iluminación ayudan a calentar el edificio, pero no son suficientes para contrarrestar la pérdida de calor, por lo que será necesario aportar calor en todo momento.



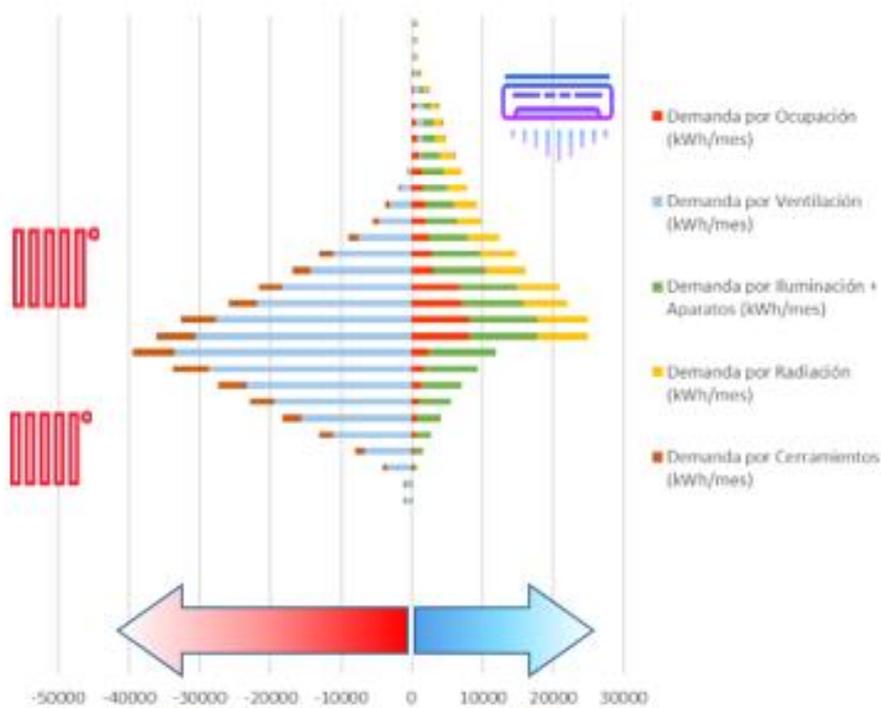
En lo que respecta a la parte de distribución de aire, las Unidades de Tratamiento de Aire deberán estar dotadas de recuperadores de energía con una eficiencia superior al 73%, lo cual supone que la carga por ventilación va a ser muy inferior a la que tendríamos si ese aporte de aire de ventilación se hiciera sin recuperación (pretratamiento gratuito).

Con unos niveles actuales de recuperación exigidos por el reglamento Erp Ecodiseño (UE) 1253/2014 superiores al 73%, un aire exterior que hipotéticamente estuviera a 5°C de temperatura, recuperaría la energía del aire extraído y alcanzaría, sólo gracias a la recuperación, una temperatura mínima de 19,6°C (ver artículo <http://www.evair.es/evair-academy>). Esto es especialmente interesante cuando la carga de ventilación es muy elevada, en épocas muy cálidas o muy frías.

En otros meses del año, como por ejemplo Abril, se aprecia una reducción drástica de la carga negativa (frío), manteniéndose prácticamente constante la carga positiva debida a la ocupación, iluminación y radiación, lo cual hace que, en determinados momentos del día, el balance entre la carga positiva y la negativa haga necesario refrigerar y en otros haga necesario calentar.

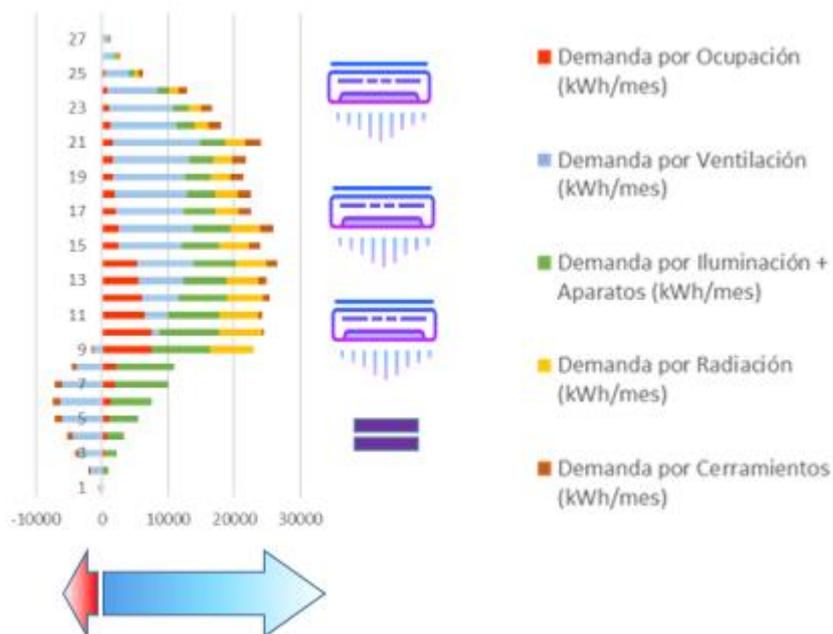
Cuando la temperatura exterior esté por encima de la consigna de temperatura interior (unos 24°C), la carga de ventilación y de transmisión pasa a ser positiva. Por otra parte, la carga de ventilación negativa se puede utilizar (y aumentar) para enfriar determinadas dependencias del Hospital (Quirófanos) en los que la carga interna es elevada, provocando una reducción del uso (o incluso una parada) del grupo frigorífico durante ese periodo. Esta estrategia, que también ha sido tenida en cuenta en la simulación, se denomina habitualmente *free-cooling* o enfriamiento gratuito.

DEMANDA ABRIL

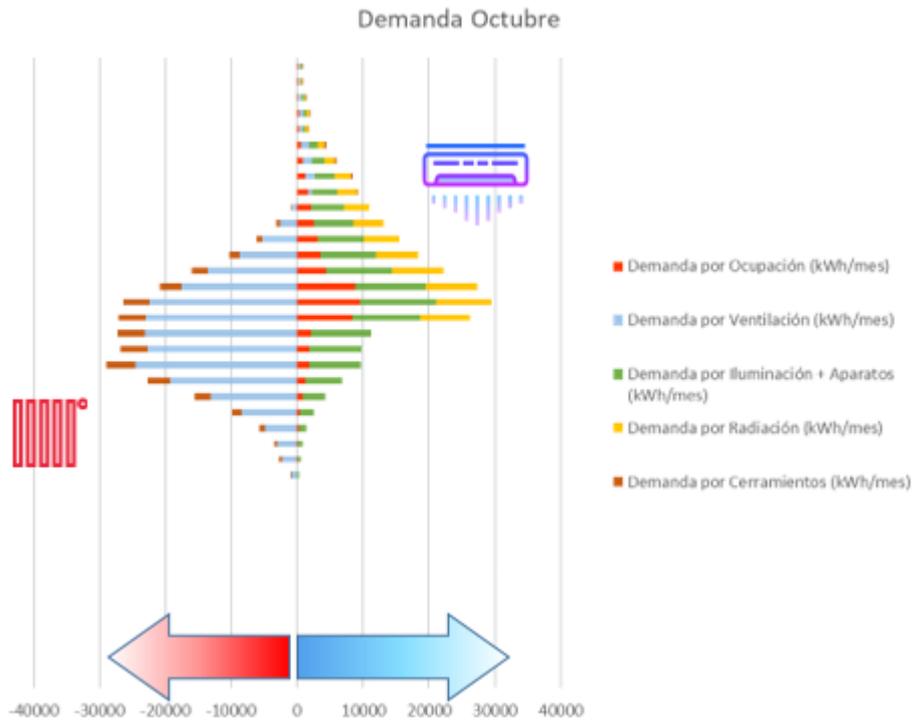


La situación en verano varía considerablemente. En Julio vemos que el balance en todo momento es positivo. A lo largo de la noche, cuando la temperatura exterior puede llegar a ser inferior a la temperatura de consigna del hospital, el aporte de aire más fresco de la ventilación provoca un equilibrio térmico sin necesidad de aporte energético con los grupos de producción.

DEMANDA JULIO



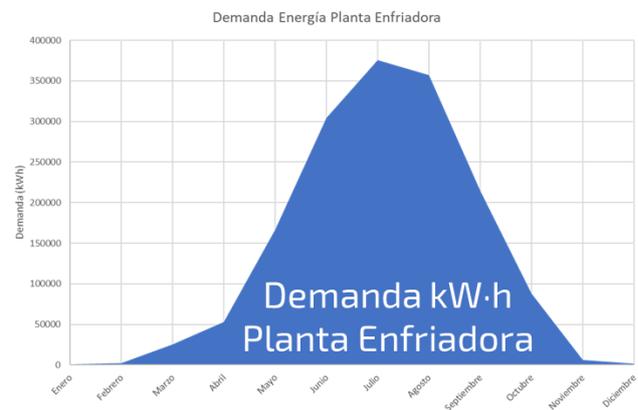
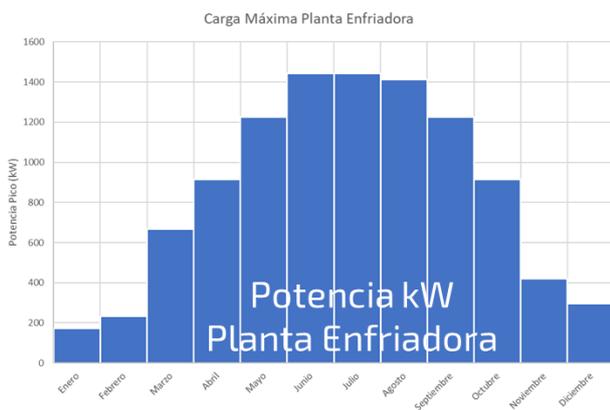
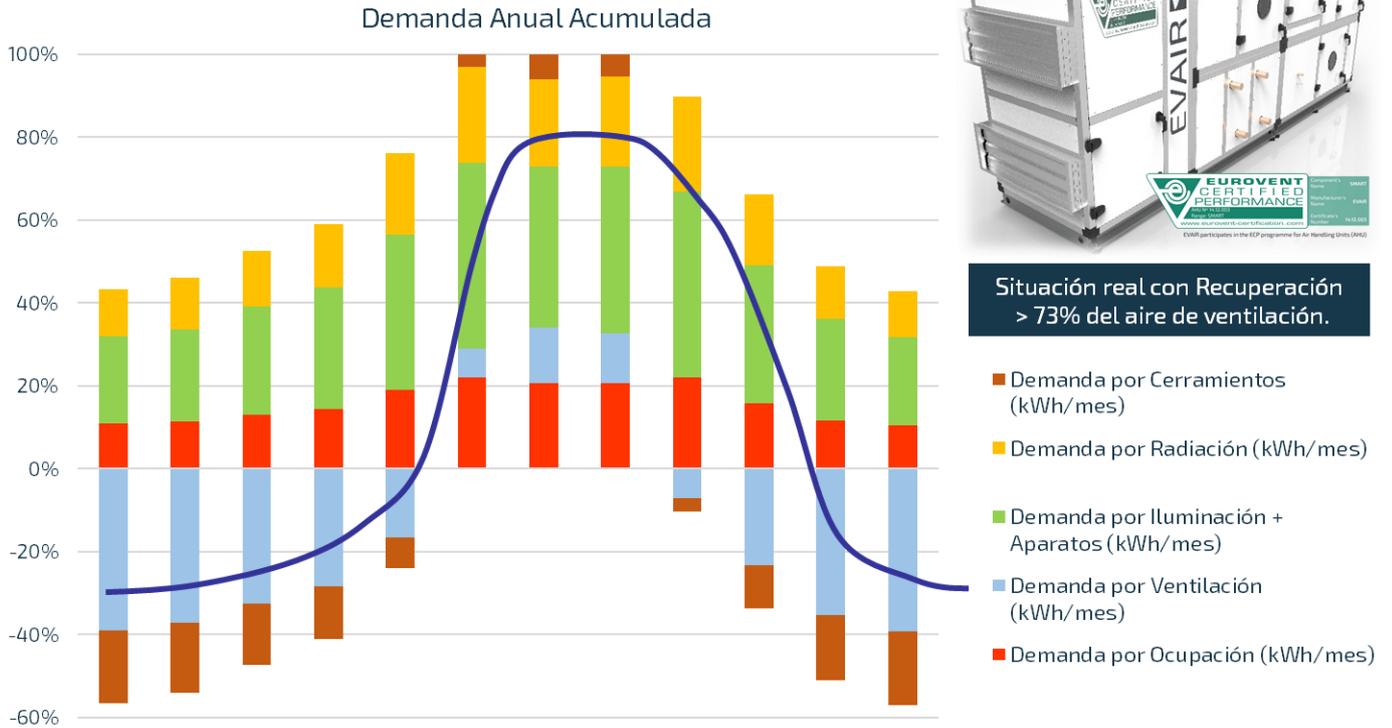
La situación en otoño es similar a la de primavera, existiendo momentos del día en los que todas las cargas son positivas y otros en los que la carga negativa del aire de ventilación compensaría la carga interior, reduciendo o anulando el aporte de los sistemas de producción. En momentos puntuales, la carga negativa supera a la carga positiva y es necesario el aporte de calor.



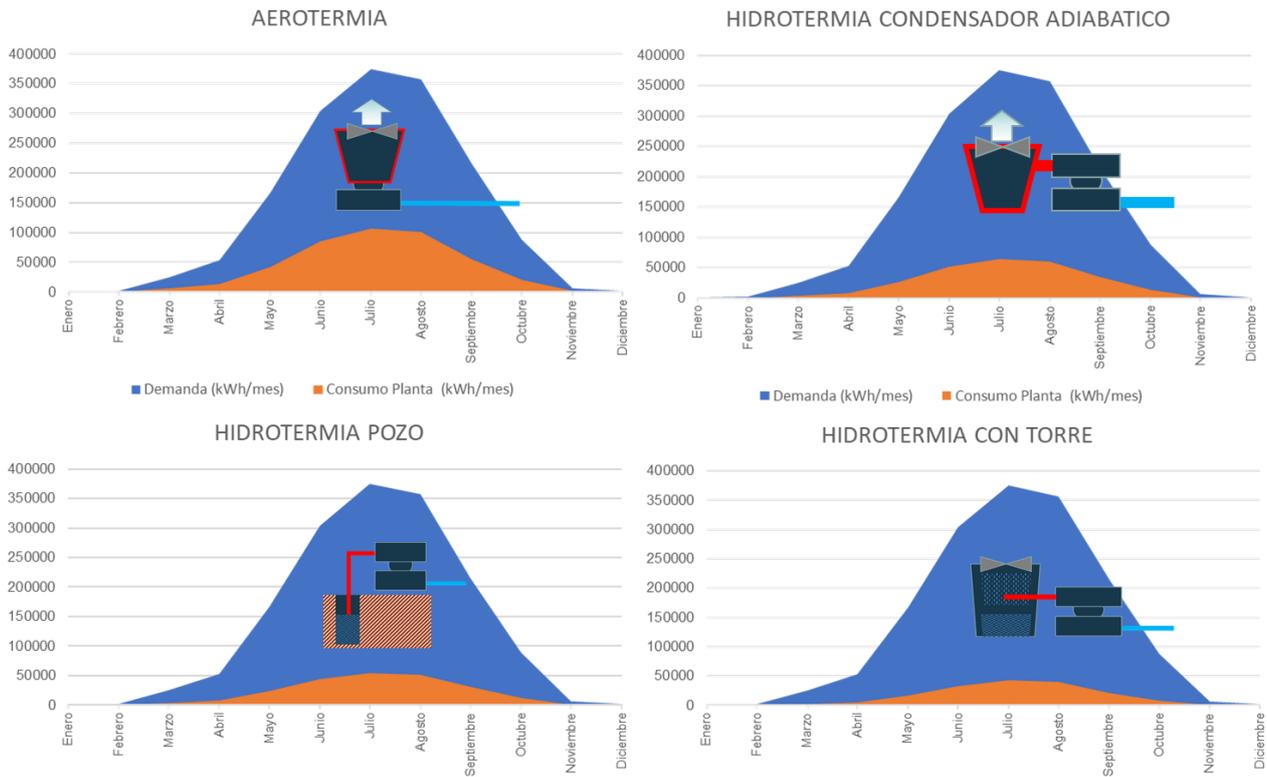
Agregando las necesidades hora a hora durante todo el año se obtiene la curva de demanda del edificio y la potencia térmica máxima necesaria en cada momento.

Aunque la parte de distribución no es objeto de este estudio, merece la pena resaltar la potencial reducción de carga térmica debido a la recuperación de calor del aire de extracción que se utiliza para precalentar (o preenfriar) el aire de ventilación. De igual modo, el *free-cooling* es una estrategia que permite que las unidades de tratamiento de aire den lugar a un impacto notable en lo que al ahorro energético final de la instalación respecta.

Teniendo en consideración la recuperación de calor y el *free-cooling*, obtenemos la curva real de demanda de la instalación:



Considerando el rendimiento a cargas parciales y teniendo en cuenta la variación de las condiciones de condensación de cada supuesto, podemos obtener la curva de consumo (demanda de energía eléctrica) según el sistema de producción elegido:



Estudiando las tablas de consumos y costes se aprecia que, como norma general, los sistemas que condensan con agua directamente, como la Torre y el Pozo, consiguen mejores rendimientos. Partiendo de los datos de tarificación eléctrica del hospital, se obtuvieron los costes por consumo de energía para cada caso:



RESUM EN ANUAL AEROTERMIA									
Mes	Demanda (kW h/mes)	Carga Máxima (kW)	Consumo Planta (kW h/mes)	Coste Electricidad (Fórmula Fijo SNVA - CLMA) [€]	Precio Electricidad (Fórmula Variable Mensual) [€/kWh]	Coste Electricidad (Fórmula Variable Mensual) [€]	Coste Electricidad (Fórmula Fijo - 5,11%) [€]	Coste Electricidad [€]	
Enero	674	172	189	2537	0,0705	13,35	130,32	2680,57	
Febrero	2418	234	630	2537	0,0705	44,42	131,91	2713,23	
Marzo	25216	668	5911	2537	0,0585	345,79	147,31	3030,01	
Abril	52996	916	12746	2537	0,0535	681,90	164,48	3383,29	
Mayo	166241	1226	41678	2537	0,0535	2229,78	243,58	5010,27	
Junio	304119	1443	84702	2537	0,0665	5632,69	417,47	8587,07	
Julio	375356	1443	106881	2537	0,0715	7641,96	520,14	10699,01	
Agosto	357055	1412	100210	2537	0,0484	4850,15	377,48	7764,54	
Septiembre	214847	1226	54503	2537	0,0590	3215,68	293,96	6046,55	
Octubre	88277	916	20877	2537	0,0535	1116,93	186,71	3840,55	
Noviembre	6063	420	1508	2537	0,0585	88,23	134,14	2759,28	
Diciembre	1313	296	324	2537	0,0705	22,81	130,80	2690,52	
						25883,69	2878,29	59204,90	



RESUM EN ANUAL HIDROTÉRICA CON AEROCONDENSADOR SECO									
	Demanda (kW h/mes)	Carga Máxima (kW)	Consumo Planta (kW h/mes)	Coste Electricidad (Fijo - SN IVA - CLM A) [€]	Precio Electricidad (Fijo Variable Mensual) [€/kW h]	Coste Electricidad (Fijo Variable Mensual) [€]	Coste Electricidad (Fijo - 5,11%) [€]	Coste Electricidad [€]	
Enero	674	172	103	2933,33	0,0705	7,26	150,26	3090,86	
Febrero	2418	234	376	2933,33	0,0705	26,51	151,25	3111,09	
Marzo	25216	668	4233	2933,33	0,0585	247,63	162,55	3343,51	
Abril	52996	916	9330	2933,33	0,0535	499,16	175,40	3607,88	
Mayo	166241	1226	31319	2933,33	0,0535	1675,57	235,51	4844,41	
Junio	304119	1443	64883	2933,33	0,0665	4314,72	370,38	7618,42	
Julio	375356	1443	82110	2933,33	0,0715	5870,87	449,89	9254,09	
Agosto	357055	1412	76652	2933,33	0,0484	3709,96	339,47	6982,76	
Septiembre	214847	1226	41374	2933,33	0,0590	2441,07	274,63	5649,03	
Octubre	88277	916	15230	2933,33	0,0535	814,81	191,53	3939,66	
Noviembre	6063	420	965	2933,33	0,0585	56,45	152,78	3142,56	
Diciembre	1313	296	208	2933,33	0,0705	14,66	150,64	3098,64	
						19678,65	2804,30	57682,91	



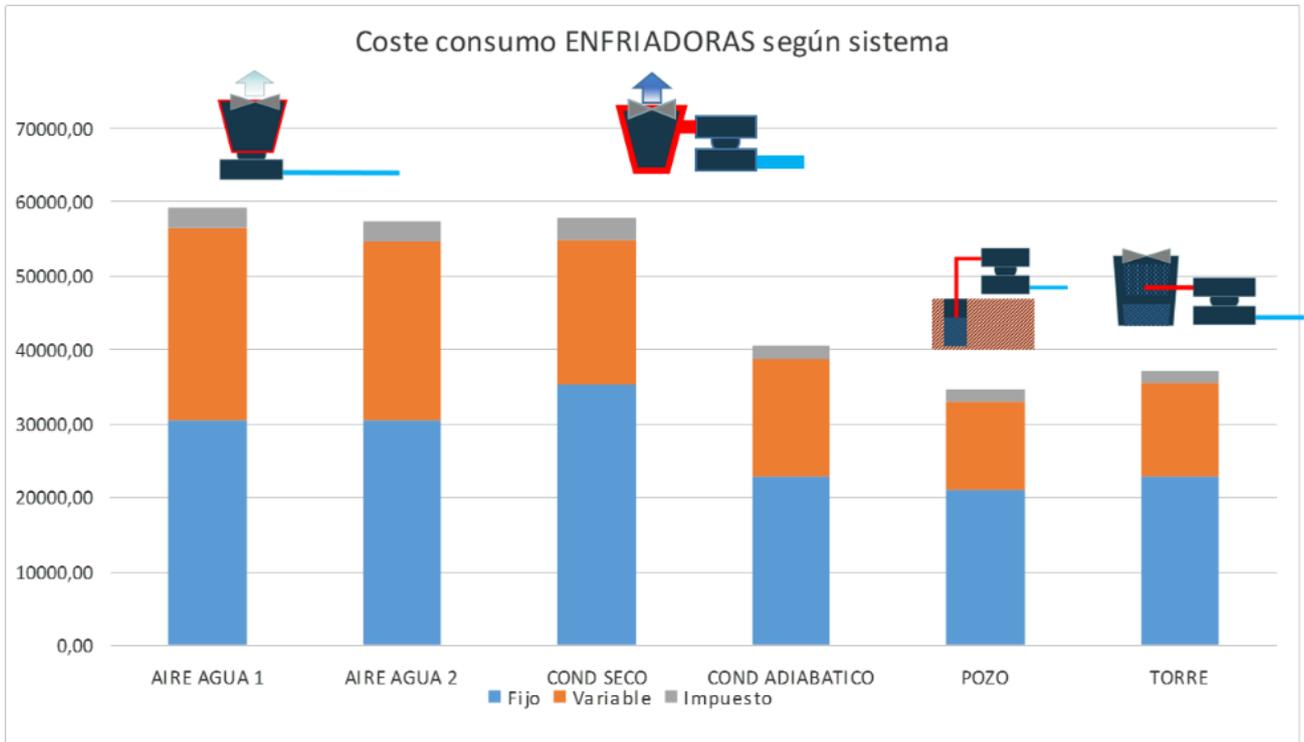
RESUM EN ANUAL HIDROTÉRICA POZO									
	Demanda (kW h/mes)	Carga Máxima (kW)	Consumo Planta (kW h/mes)	Coste Electricidad (Fijo - SN IVA - CLM A) [€]	Precio Electricidad (Fijo Variable Mensual) [€/kW h]	Coste Electricidad (Fijo Variable Mensual) [€]	Coste Electricidad (Fijo - 5,11%) [€]	Coste Electricidad [€]	
Enero	674	172	81	1744	0,07	5,71	89,42	1839,29	
Febrero	2418	234	289	1744	0,07	20,37	90,17	1854,70	
Marzo	25216	668	2980	1744	0,06	174,33	98,03	2016,52	
Abril	52996	916	6298	1744	0,05	336,94	106,34	2187,45	
Mayo	166241	1226	20248	1744	0,05	1083,27	144,48	2971,91	
Junio	304119	1443	38422	1744	0,07	2555,06	219,69	4518,91	
Julio	375356	1443	47946	1744	0,07	3428,14	264,30	5436,60	
Agosto	357055	1412	45284	1744	0,05	2191,75	201,12	4137,03	
Septiembre	214847	1226	26061	1744	0,06	1537,60	167,70	3449,46	
Octubre	88277	916	10479	1744	0,05	560,63	117,77	2422,56	
Noviembre	6063	420	722	1744	0,06	42,24	91,28	1877,68	
Diciembre	1313	296	157	1744	0,07	11,07	89,69	1844,92	
						11947,10	1680,02	34557,04	



RESUM EN ANUAL AGUA-AGUA TORRE									
	Demanda (kW h/mes)	Carga Máxima (kW)	Consumo Planta (kW h/mes)	Coste Electricidad (Fijo - SN IVA - CLM A) [€]	Precio Electricidad (Fijo Variable Mensual) [€/kW h]	Coste Electricidad (Fijo Variable Mensual) [€]	Coste Electricidad (Fijo - 5,11%) [€]	Coste Electricidad [€]	
Enero	674	172	78	1903	0,07	5,50	97,51	2005,67	
Febrero	2418	234	278	1903	0,07	19,60	98,23	2020,49	
Marzo	25216	668	2937	1903	0,06	171,81	106,01	2180,48	
Abril	52996	916	6299	1903	0,05	337,00	114,45	2354,10	
Mayo	166241	1226	20546	1903	0,05	1099,21	153,40	3155,27	
Junio	304119	1443	40857	1903	0,07	2716,99	236,06	4855,71	
Julio	375356	1443	51374	1903	0,07	3673,24	284,93	5860,83	
Agosto	357055	1412	48098	1903	0,05	2327,94	216,18	4446,79	
Septiembre	214847	1226	26850	1903	0,06	1584,15	178,18	3664,99	
Octubre	88277	916	10427	1903	0,05	557,84	125,73	2586,24	
Noviembre	6063	420	699	1903	0,06	40,89	99,32	2042,87	
Diciembre	1313	296	151	1903	0,07	10,65	97,77	2011,08	
						12544,83	1807,75	37184,50	

Estudiando el coste de la electricidad el escenario comienza a ser diferente, ya que hay que tener en cuenta, no sólo la tarificación eléctrica, sino también el hecho de que algunos sistemas que tienen menores picos de demanda (consumo más estable a lo largo del año), lo cual permite reducir la contratación eléctrica en lo que a término fijo refiere.

Gráficamente:

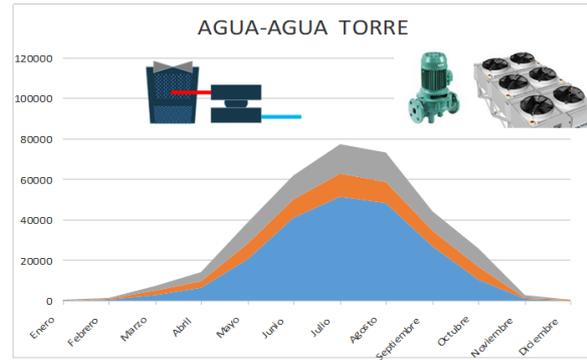
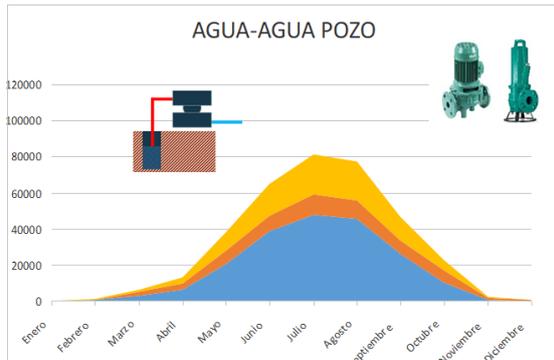
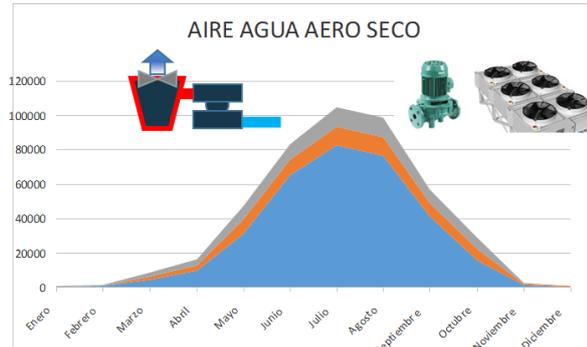
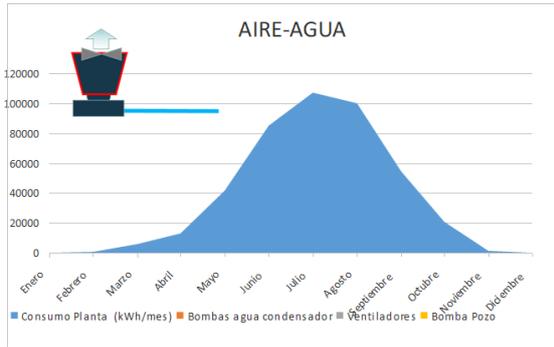


En este primer análisis parece que el coste de consumo de los equipos (plantas enfriadoras) más favorable es el de los sistemas condensados por agua con pozo y con torre, sin embargo, para completar el comparativo, hay que tener en cuenta el consumo asociado a elementos necesarios de transporte de energía que conciernen exclusivamente a la producción, como son las bombas de circulación de agua, la bomba de pozo o los ventiladores.

Incorporación de circuladores de agua y aire en condensación:



Si se añaden los consumos asociados al transporte de energía, se obtiene una nueva curva de consumo de cada sistema:

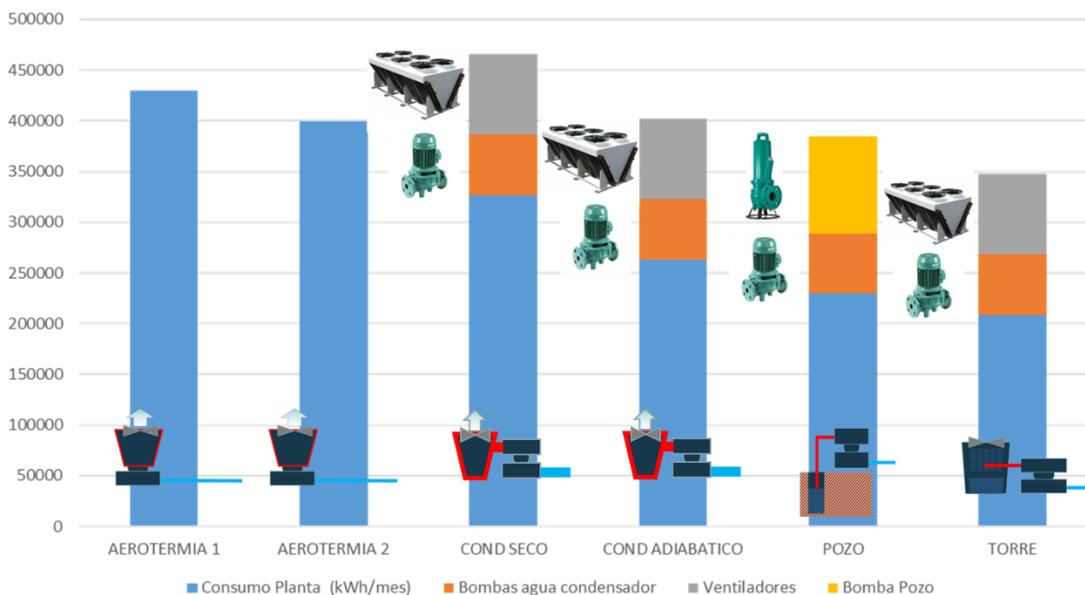


- Consumo Planta (kWh/mes)
- Bombas agua condensador
- Ventiladores
- Bomba Pozo

José Antonio Torre – Ingeniero Industrial

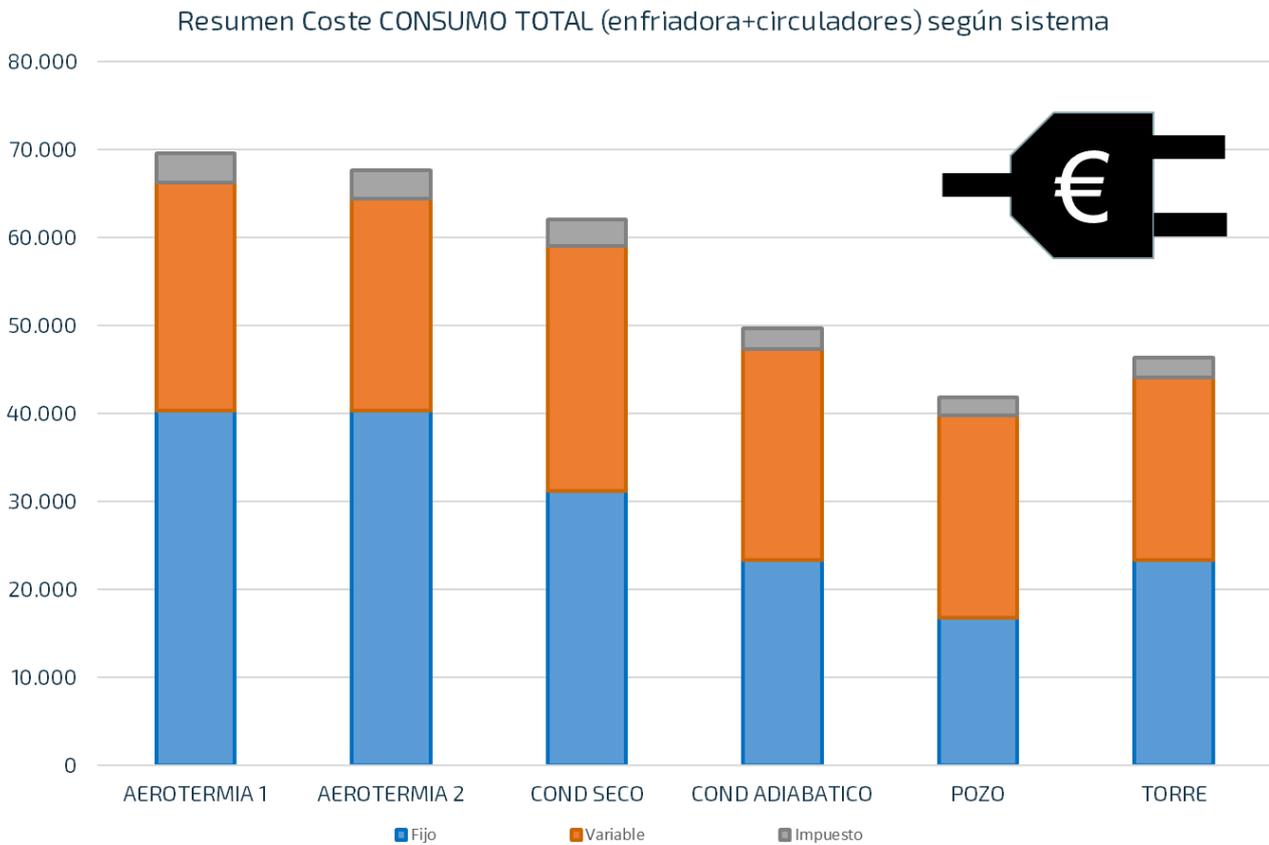
A partir de ahí ya se puede establecer un consumo real de cada sistema contabilizando la condensación de la planta enfriadora y todos los elementos necesarios para el transporte de energía en condensación.

Resumen Consumo TOTAL - kWh/mes



Finalmente, añadiendo los costes asociados a dicho consumo y se obtiene el coste final de cada sistema y se puede comparar el coste anual de los distintos sistemas de condensación para el hospital. Considerando todos los costes, se puede apreciar que la diferencia entre los sistemas condensados por aire y agua es mucho menor de lo que cabría pensar inicialmente al hacer una comparativa directa de rendimientos.

Como referencia, si se quieren tomar datos de referencia €/m², recordar que el estudio se planteó para un hospital de 20.000 m³/h.



Este artículo, como se mencionó anteriormente, se centró en la parte de simulación energética y la contrastación de datos con los existentes del hospital.

En la ponencia completa, presentada en el XXXVI Congreso de Ingeniería Hospitalaria, se incluyó además un resumen de costes de adquisición de equipos, instalación, mantenimiento, limpieza y seguridad sanitaria.

Estos costes, varían mucho entre sistemas, y cabe destacar el peso que tienen algunos consumibles y operaciones de mantenimiento como la limpieza de los filtros de pozo, la desinfección de torres de condensación o el consumo de agua. Como conclusión de este resumen de costes, citar simplemente que los costes de explotación más altos fueron los de Torre de Refrigeración, seguidos de los de Pozo. En cuanto a los costes de inversión, los más altos fueron los de los equipos con condensación con pozo, siendo el resto muy similares.

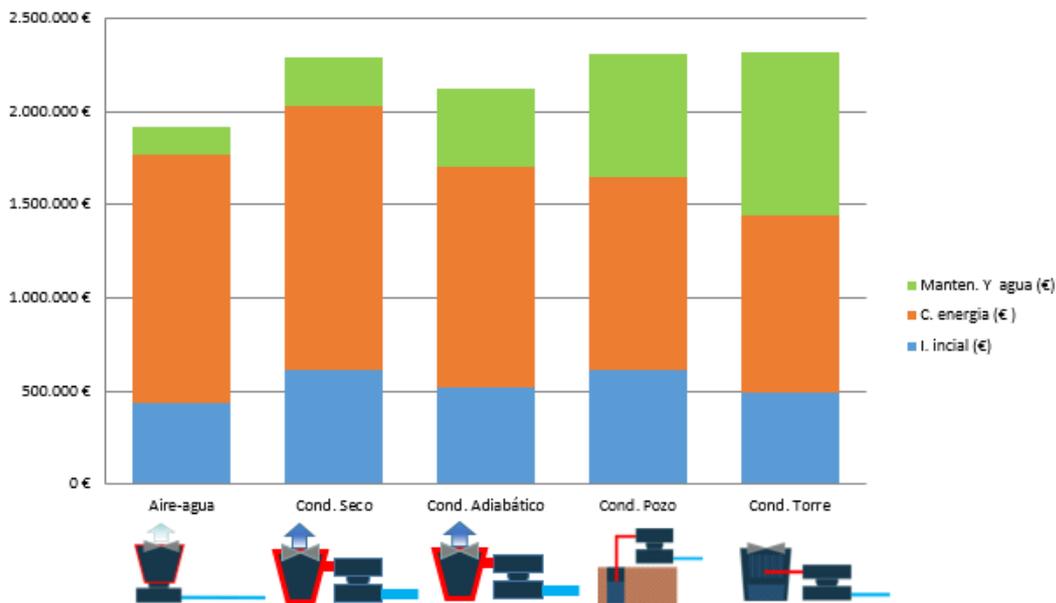
CONCLUSIÓN

La primera conclusión de este estudio, a tenor de la constatación de los datos obtenidos mediante la simulación, con datos reales de consumo de un hospital, es que se puede afirmar que la Simulación Energética, se postula como una herramienta excelente para anticipar el comportamiento del hospital, prever consumos reales y así poder tomar decisiones de cara a establecer diferentes estrategias de ahorro energéticas.

En lo que concierne al caso de estudio, para este hospital de tamaño medio, la ausencia de grandes diferencias entre los sistemas hace, a priori, más atractiva la elección de sistemas de condensación por aire. En cualquier caso, la elección dependerá de aspectos como la disponibilidad de espacio, las condiciones meteorológicas de la zona, y las condiciones de suministro de la red eléctrica.

Aunque fuera del alcance de este artículo, a modo informativo, se presenta el resumen final de los costes finales que de explotación de los diferentes sistemas a lo largo de una vida útil de 20 años.

Cuenta de explotación global a lo largo de la vida útil del sistema de producción considerado (20 años)



AGRADECIMIENTOS

Para la realización del estudio se formó un equipo de ingenieros con experiencia en la materia formado por: Fidel Ledesma Lardiés, Ingeniero Técnico de Mantenimiento Hospital Nuestra Señora de Gracia de Zaragoza, José Muerza Ingeniero y Gerente en GESTE Innovación, Carlos Gil Ingeniero y Delegado de KEYTER INTARCON en Aragón, Alberto Fernández, Consultant Engineer en TRANE y José Antonio Torre, Ingeniero Industrial y Director Comercial en EVAIR. La excelente coordinación de todo el equipo, fue clave para la culminación del mismo. A todos los miembros del equipo, nuestro agradecimiento y reconocimiento por su profesionalidad.

Para la simulación Energética fue necesario la inclusión de rendimientos de los equipos de producción de frío trabajando en distintas condiciones de condensación y a cargas parciales. Dichos datos fueron tratados con absoluta confidencialidad, mostrando en el estudio exclusivamente los resultados del análisis sin identificar el



origen de dichos datos. Nuestro agradecimiento por su colaboración y profesionalidad a las empresas que proporcionaron estos datos para la elaboración de la simulación: KEYTER, TRANE, CARRIER y YORK (Johnson Controls).