

DESCARBONITZACIÓ ENERGÈTICA

Ús responsable i eficient de l'energia

RESUM

Anàlisi de l'eficiència de sistemes descentralitzats i centralitzats a partir de l'ús real de les instal·lacions. Transició de la demanda tèrmica en base a sistemes de combustió fòssils cap a sistemes elèctrics passant d'un sistema d'alta temperatura a un sistema de baixa temperatura com a claus de la descarbonització energètica de l'hospital.

HUGTiP

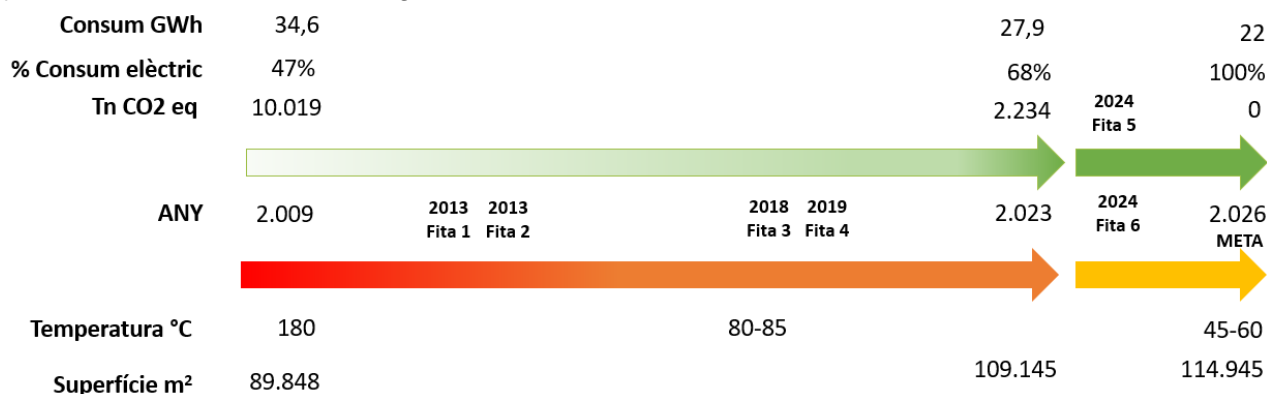
Direcció Serveis Generals

Índex

0.	RESUM EXECUTIU	2
1.	INTRODUCCIÓ I HISTÒRIC	3
2.	ABAST REPTE FINAL	8
3.	OBJECTIU	8
4.	ANÀLISI TÈCNICA DE LA SOLUCIÓ.....	8
4.1.	Anàlisi i reducció de la demanda.....	9
4.1.1.	Anàlisi de la demanda i funcionament. Selecció dels equips sobre els que actuar.	9
4.1.2.	Proposta d'execució.....	11
4.2.	Anàlisi del consum de calefacció. Projecte eliminació de combustibles fòssils.	11
4.2.1.	Anàlisi de la demanda. Premisses.....	11
4.2.2.	Simulació de la solució.....	14
4.2.3.	Conclusions.	15

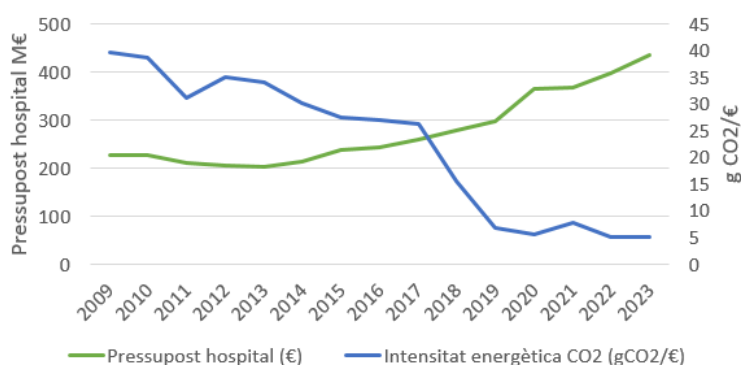
0. RESUM EXECUTIU

El camí cap a la descarbonització. Els conceptes claus per tal de poder transitar el camí són: electrificació de la demanda tèrmica passant de sistemes de alta a baixa temperatura, digitalització, anàlisi de la demanda i optimització de sistemes centralitzats i descentralitzats, juntament amb eficiència energètica.

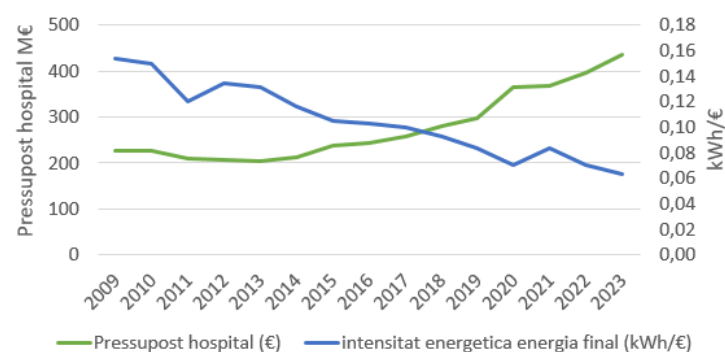


Les principals fites assolides són les següents: **Fita 1.** Descentralització generació de vapor mantenint la centralització sistemes de climatització (aigua calenta) i ACS (Aigua Calenta Sanitària). (2009-2013). **Fita 2.** Digitalització de les instal·lacions (2013 - actualitat). **Fita 3.** ISO 50.001 gestió energètica (2018- actualitat). **Fita 4.** Compra verda energia. GdO (Garantia d'Origen) (2018 - actualitat). **Fita 5.** Descentralització del sistema d'ACS (2019-2024). **Fita 6.** Centralització total del sistema de climatització i introducció de sistemes d'aerotèrmia. (2019-2024). **Meta, el repte final.** Producció d'aigua calenta per climatització amb bombes de calor. (2024-2026). Desenvolupament del projecte en els següents punts de la present memòria. Els principals resultats obtinguts fins al moment són els següents:

L'hospital ha passat d'emetre **40 g CO2 per euro de pressupost a 5**, el que suposa una **reducció del 87,5%**



L'hospital ha passat de consumir **0,16 kWh per euro de pressupost a 0,06**, el que suposa una **reducció del 62,5%**



1. INTRODUCCIÓ I HISTÒRIC

Punt de partida. L'hospital és un edifici dissenyat als anys 70, construït a finals dels 70 i principis dels 80 i que va entrar en funcionament l'any 1983. Aquesta darrera dècada l'hospital ha experimentat un elevat creixement i un fort augment de l'activitat.

L'any 2009 gairebé no es parlava de descarbonització però l'hospital ja va fer les primeres passes per tal de poder arribar a la descarbonització energètica.

Fita 1. Descentralització generació de vapor mantenint la centralització sistemes de climatització (aigua calenta) i ACS (2009-2013). Al 2009 es va iniciar el procés de canvi del sistema de generació d'aigua calenta a l'hospital. Fins aleshores, l'aigua calenta es destinava a abastir els sistemes de calefacció, ACS (Aigua Calenta Sanitària) i esterilització (autoclaus). La generació de l'energia tèrmica es feia mitjançant calderes de vapor centralitzades alimentades amb gas natural, que era necessari pels autoclaus, amb una temperatura de treball de 180 °C. Aquestes calderes de vapor es varen substituir per calderes de baixa temperatura de gas per donar servei al sistema de climatització i al d'ACS tots dos centralitzats. A més es varen instal·lar generadors de vapor elèctrics pels autoclaus, descentralitzant la producció. Les calderes de vapor es varen apagar definitivament l'any 2013.

Fita 2. Digitalització de les instal·lacions (2013 - actualitat). Introducció del primer sistema SCADA centralitzat l'any 2013. Creixement i evolució del concepte IoT (internet of Things) al llarg dels següents anys. L'any 2018 es sistematitza de forma definitiva els sistemes d'adquisició i emmagatzematge de dades de les diferents instal·lacions, possibilitant prendre decisions basades en l'anàlisi de dades. La digitalització i la cultura de la dada ha esdevingut part essencial del desenvolupament de projectes i la gestió de les infraestructures.

Fita 3. ISO 50.001 gestió energètica (2018- actualitat). Al llarg del 2018 l'hospital treballa en la preparació de la certificació de la "ISO 50.001 gestió energètica" i estableix un full de ruta cap a la descarbonització energètica basat en el procés de millora contínua, l'anàlisi de dades i l'eficiència energètica.

Fita 4. Compra verda d'energia. GdO (Garantia d'Origen) (2018 - actualitat). L'energia elèctrica que es compra és d'origen renovable.

Fita 5. Descentralització del sistema d'ACS (2019-2024). A partir de l'anàlisi de dades de consum d'ACS i de mesures realitzades en el sistema de distribució es fa una simulació horària de consums i preus de l'energia. Es simula l'escenari de l'any 2019, sistema totalment centralitzat en base a caldera de gas i distribució d'aigua a través de dos circuits que recorren tot l'hospital, front a un sistema totalment descentralitzat i elèctric amb producció instantània a punt final de consum. Les mesures realitzades indicaven que es consumia entre un 3% i un 6% de l'aigua que es recirculava, donant el càlcul de la simultaneïtat un 6%. La temperatura d'impulsió del circuit era de 65 °C i el retorn de 55 °C. Es va calcular que les pèrdues tèrmiques i el consum d'energia per bombeig era de 2 GWh anuals, sent el rendiment de la producció d'ACS amb termos elèctrics instantanis molt més alta que l'escenari amb caldera de gas. Amb aquestes dades es va engegar un projecte consistent en inventariar els punts de consum i eliminar aquells que no s'utilitzaven o no feien falta, fer una prova pilot amb la tecnologia seleccionada per verificar els consums, el correcte servei i

possibles problemes de legionel·losi. Al llarg del 2022, 2023 i part del 2024 s'han instal·lat termos instantanis. Tots els termos instantanis instal·lats es mesuren i s'espera que al llarg del 2024 es puguin tenir dades consolidades que validin les simulacions fetes. Cal remarcar que aquest projecte ha millorat dos punts crítics de la instal·lació d'ACS: l'aparició de positius de legionel·losi i el manteniment de les canonades que es malmetien per causa de les hipercloracions a alta temperatura que es realitzaven. A més s'alinea amb les noves tècniques d'higiene en sec utilitzades per infermeria, que redueixen el consum d'aigua calenta, i per tant el sistema de generació instantània a punt final és encara més favorable en termes de consum, cost i eficiència.

Fita 6. Centralització total del sistema de climatització i introducció de sistemes d'aerotèrmia. (2019-2024). El principal consum energètic de l'hospital és el derivat de la climatització. El repte es planteja al 2018 i s'aborda a partir del 2019. L'objectiu és triple, transformar el sistema de climatització de 2 tubs a 4 tubs, eficiència energètica i descarbonització. La metodologia es basa en l'anàlisi de dades per prendre decisions i les probes pilot que validen les simulacions i hipòtesis fetes. Es parteix d'un sistema de distribució primari, secundari i terciari tant en fred com en calor amb bombejos del sistema primari en fred sobredimensionats. Degut al funcionament que hi havia fins aleshores (2 tubs) els diferents projectes que s'anaven implementant incorporaven sistemes propis de generació tant per fred com per calor, amb l'aparició de més subsistemes de generació i distribució incorporats al sistema general. Per donar solució a tota aquesta problemàtica es va començar per analitzar com es distribuïa l'energia tant del sistema de fred com el de calor, instal·lant *energy valves* per la regulació dels equips de climatització de l'hospital. Les *energy valves* permeten regular i, a la vegada, tenir les mesures de cabal, temperatures, potència i energia de forma instantània. A partir d'aquestes dades i del seu anàlisi es prenen les següents decisions:

- (Instal·lació *energy valves* pas previ)
- Centralització total de la producció de fred i calor a l'hospital
- Instal·lació de dos bombes de calor de 500 kW tèrmics i una refrigeradora amb recuperació total de 500 kW tèrmics.
- El circuit de fred es passa primari variable
- El circuit de calor amb caldera es manté igual en el seu funcionament incorporant variadors de freqüència a les bombes de distribució, i únicament amb un primari quan es treballa amb aerotèrmia.

La implementació de totes aquestes solucions ha permès l'augment de l'eficiència de producció de fred en un 34%, l'eliminació de grups de bombeig secundaris i terciaris, l'eliminació d'equips de generació de fred i calor dispersos per l'hospital, passar d'un funcionament de 2 a 4 tubs i millorar els paràmetres de confort d'usuaris i qualificació d'ambients controlats. També permet que l'ús d'aigua calenta en època d'estiu es generi a través d'aerotèrmia. Per tant, per poder descarbonitzar queda pendent poder electrificar el consum de calefacció de l'hospital.

Subcentral A abans:



Subcentral A després:



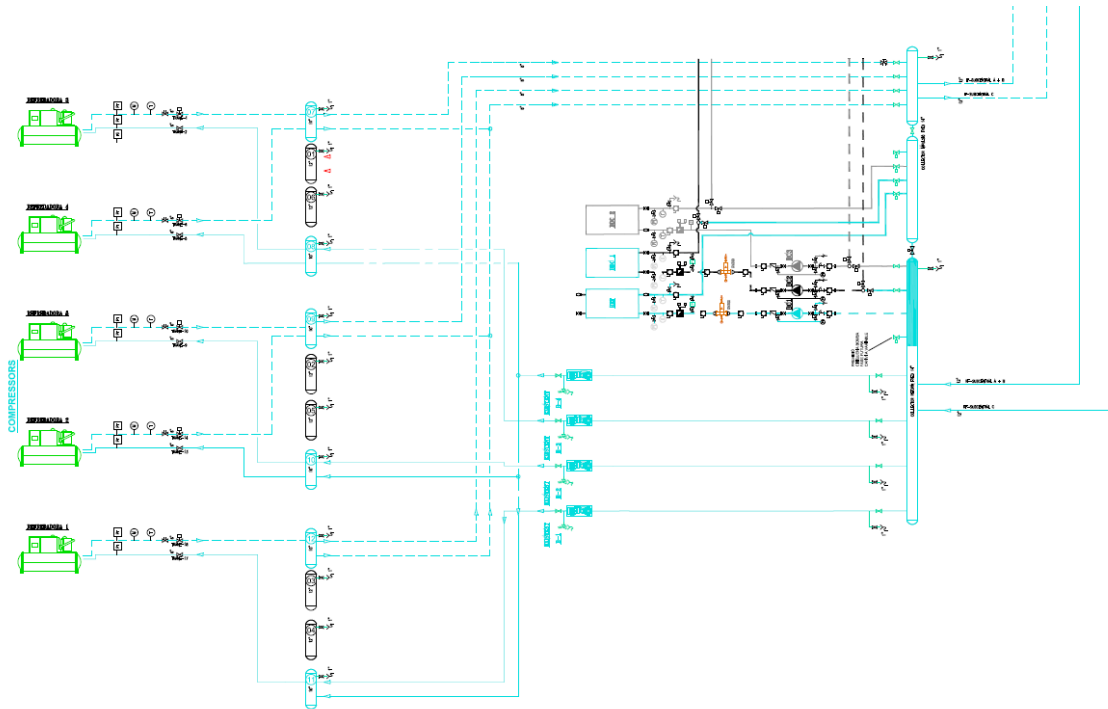
Subcentral C abans:



Subcentral C després:



Central tèrmica fred abans:



Central tèrmica fred després:



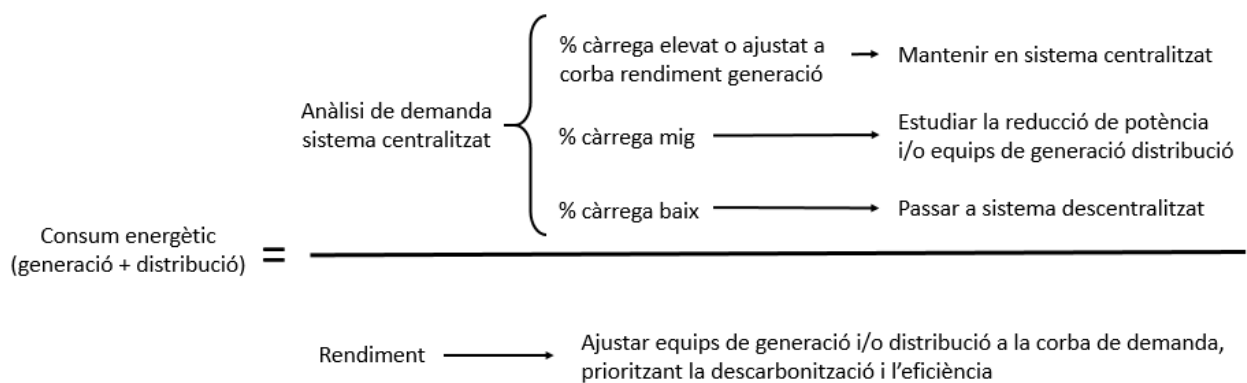
Meta, el repte final. Producció d'aigua calenta per climatització amb bombes de calor. (2024-2026). Desenvolupament del projecte en els següents punts de la present memòria.

2. ABAST REPTE FINAL

El projecte que es proposa a continuació es centra en poder cobrir la demanda de calefacció de l'hospital a partir d'equips d'aerotèrmia. A partir de l'històric presentat l'aproximació és la següent: reduir la demanda i millorar el rendiment:

$$\text{Consum} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Rendiment}}$$

La metodologia es basa en l'anàlisi de dades:



3. OBJECTIU

Com a eix vertebrador per construir i assolir els objectius es planteja la digitalització i el tractament de dades per a la presa de decisions.

L'objectiu general és assolir la descarbonització energètica total a partir dels dos projectes que es detallen a l'apartat 4:

- Reducció de la demanda (en 9 quiròfans existents).
- Eliminació dels combustibles fòssils (gas natural).

4. ANÀLISI TÈCNICA DE LA SOLUCIÓ

Des de l'entrada en funcionament de les primeres bombes de calor centralitzades a l'hospital s'ha anat fent un seguiment del comportament de les mateixes i de la viabilitat de poder cobrir la demanda de calefacció de l'hospital. Després de totes les modificacions fetes, i el seguiment dels anàlisi plantejats es considera viable poder cobrir la demanda de calefacció amb sistemes d'aerotèrmia. Aquest escenari planteja una sèrie de reptes que s'analitzaran a continuació:


- Sistema de distribució de calor dimensionat per un salt tèrmic i temperatura superior al de treball de les bombes de calor: anàlisi del sistema del canonades existent i bateries dels climatitzadors per valorar la viabilitat de treballar a més baixa temperatura i major cabal.
- Sistemes de climatització ineficients i obsolets, que es tradueix en una alta demanda.

Com a punt de partida tecnològic es valora l'evolució tecnològica del mercat de bombes de calor, que actualment proporcionen temperatures de treball superiors als 60°C i ΔT per damunt de 5 °C.

4.1. Anàlisi i reducció de la demanda.

4.1.1. Anàlisi de la demanda i funcionament. Selecció dels equips sobre els que actuar.

El primer pas és analitzar la demanda i l'eficiència en punt final de consum, és a dir, a les bateries de les climatitzadors / unitats de tractament d'aire (UTA). S'analitza l'energia consumida en mode **calor** al llarg d'un any obtenint el següent resultat:

Nº CL	Nom CL	%/Total	% acumulat	Tipus CL	kWh/m ²	
CL29	HALL PSIQUIATRIA	6,8%	6,8%	Recirculat		 <div>+ consum</div> <div>- consum</div>
CLUR03	ACCÉS PRINCIPAL URGÈNCIES	5,9%	12,7%	Recirculat		
CL42.2	HOSPITAL DE DIA I CAIXES QUIRÒFANS	5,7%	18,4%	Aire_Exterior_S.H.R.		
CL89	HABITACIONS COSTAT SUD TG	4,8%	23,2%	Aire_Exterior_S.H.R.		
CL13	HEMODIALISIS	4,5%	27,7%	Recirculació		
CL63	QUIRÒFANS PL1-PL2	4,1%	31,8%	Aire_Exterior_S.H.R.		
CL90	HABITACIONS COSTAT NORD TG	4,1%	35,9%	Aire_Exterior_S.H.R.		
CL152	AP COSTAT PRINCIPAL	3,2%	39,1%	Aire_Exterior_S.H.R.		
CL62	PASSADÍS PERSONAL ZONA J	3,1%	42,2%	Recirculat		
CL153	AP COSTAT URGÈNCIES	3,0%	45,1%	Aire_Exterior_S.H.R.		
CL61	PASSADÍS PERSONAL ZONA K	2,8%	47,9%	Recirculat		
CL36	HALL GENERAL	2,6%	50,5%	Aire_Exterior_S.H.R.		

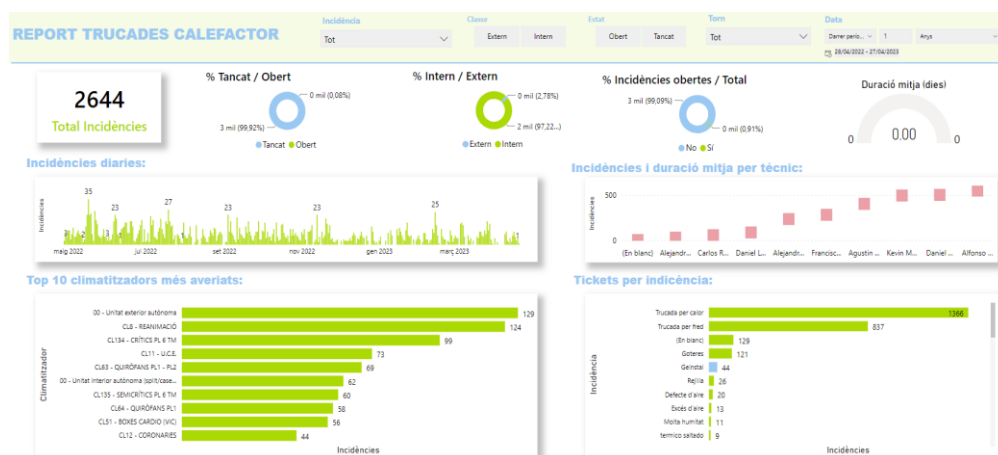
A la taula es mostren els resultats del consum total d'energia en % sobre el total i el % acumulat. També es mostra amb un gradient de color l'indicador kWh/m² climatitzat. S'estan realitzant estudis per a cadascuna les UTA que apareixen.

De forma anàloga a l'anàlisi del consum d'aigua calenta per climatització, es fa el mateix amb l'aigua freda, obtenint els següents resultats:

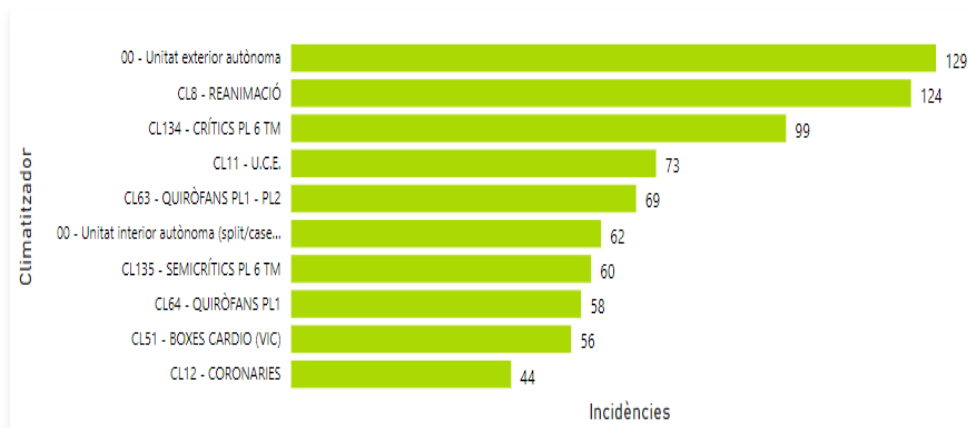
Nº CL	Nom CL	%/Total	% acumulat	Tipus CL	kWh/m²
CL63	QUIRÒFANS PL1-PL2	7,9%	7,9%	Aire_Exterior	
CL42.2	HOSPITAL DE DIA I CAIXES QUIRÒFANS	4,2%	12,1%	Aire_Exterior	
CL64	QUIRÒFANS PL1	4,1%	16,3%	Aire_Exterior	
CL89	HABITACIONS COSTAT SUD TG	4,0%	20,2%	Aire_Exterior	
CL93	INFERMERIA COSTAT NORD TG	3,5%	23,7%	Aire_Exterior	
CL55	QUIRÒFANO 2.4 CARDIO	3,3%	27,1%	Recirculació	
CL94	INFERMERIA I OCI COSTAT NORD TG	3,3%	30,4%	Aire_Exterior	
CLUR05	URGÈNCIES GENERALS	3,3%	33,7%	Recirculació	
CL56	PARITORIS	3,0%	36,7%	Aire_Exterior	
CL09	CORE	2,5%	39,3%	Recirculació	
CL90	HABITACIONS COSTAT NORD TG	2,2%	41,5%	Aire_Exterior	
CLUR03	ACCÈS PRINCIPAL URGÈNCIES	2,1%	43,5%	Recirculació	
CL153	AP COSTAT URGÈNCIES	2,1%	45,6%	Aire_Exterior	
CL152	AP COSTAT PRINCIPAL	2,0%	47,6%	Aire_Exterior	
CL58	REA QUIRÒFANS NORD	2,0%	49,7%	Aire_Exterior	
CL05	MICROBIOLOGIA	2,0%	51,7%	Aire_Exterior	

Cal remarcar que els quiròfans suposen un consum i potència tèrmica significatiu sobre el global dels equips de climatització de l'hospital, representant el 11,2% del consum total d'energia en calor i un 27,6% del consum total d'energia en fred.

Per acabar l'anàlisi es mostra el número d'incidències rebudes per l'equip de calefactores de l'hospital. Aquestes dades han estat recollides per una aplicació de desenvolupament propi que gestiona la informació rebuda per les trucades al telèfon 24 hores dels calefactores, aportant informació sobre el manteniment conductiu i la casuística d'incidències associades als climatitzadors:



En el següent gràfic es mostra el número d'incidències per climatitzador:



De tots els anàlisi fets, i l'estudi de possibles solucions es decideix prioritzar l'actuació en els que es consideren significatius el seu consum i nombre d'incidències.

4.1.2. Proposta d'execució.

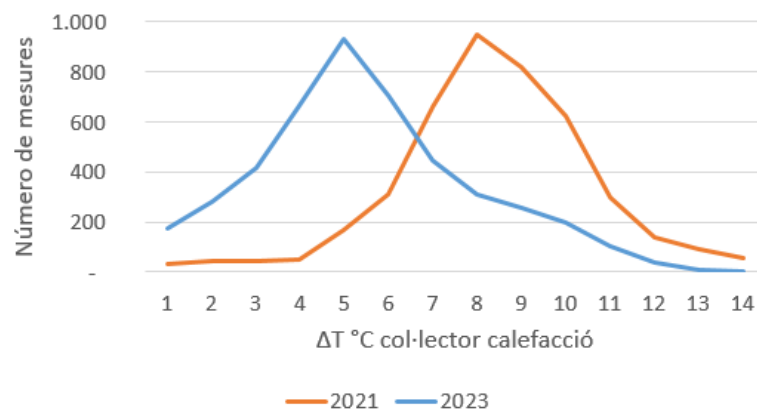
Es facilita llistat i plànols amb els climatitzadors afectats i la seva ubicació.

4.2. Anàlisi del consum de calefacció. Projecte eliminació de combustibles fòssils.

4.2.1. Anàlisi de la demanda. Premisses.

L'eliminació dels combustibles fòssils passa per l'electrificació de la demanda tèrmica d'aigua calenta pel sistema de climatització. Actualment el mercat ofereix bombes de calor capaces de poder subministrar aigua calenta per sobre de 60°C i ΔT per damunt de 5°C.

Es parteix de l'experiència de funcionament dels equips existents d'aerotèrmia, l'anàlisi de dades de la demanda (dades de temperatura quart-horàries dels col·lectors d'impulsió i retorn de calefacció), les dades de consum d'energia elèctrica, les dades de consum de gas de calderes, i les dades de temperatura exterior per l'any 2023. El primer resultat de l'anàlisi fet, després d'implementar diferents mesures de reducció de demanda (actualització de UTA i incorporació de noves UTA, així com mesures de regulació, és que s'observa un desplaçament del ΔT °C en els col·lectors de calefacció. A continuació es mostra el número d'observacions per cada resultat de ΔT °C pels anys 2021 i 2023:

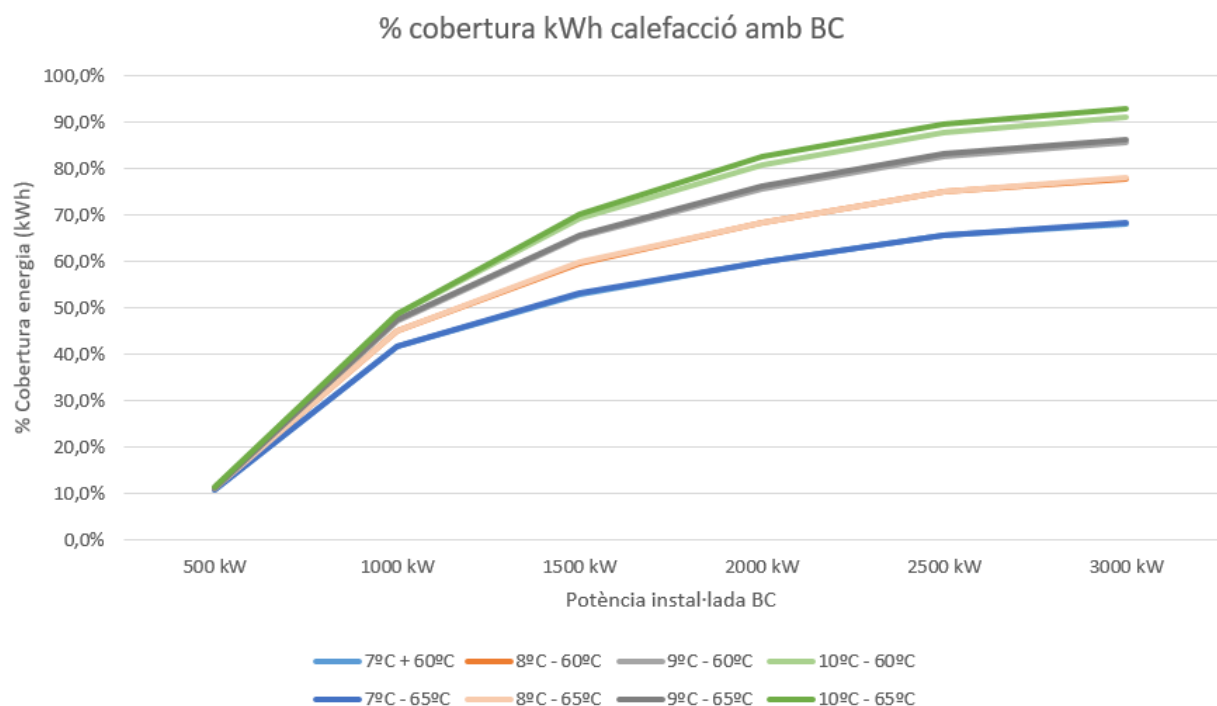
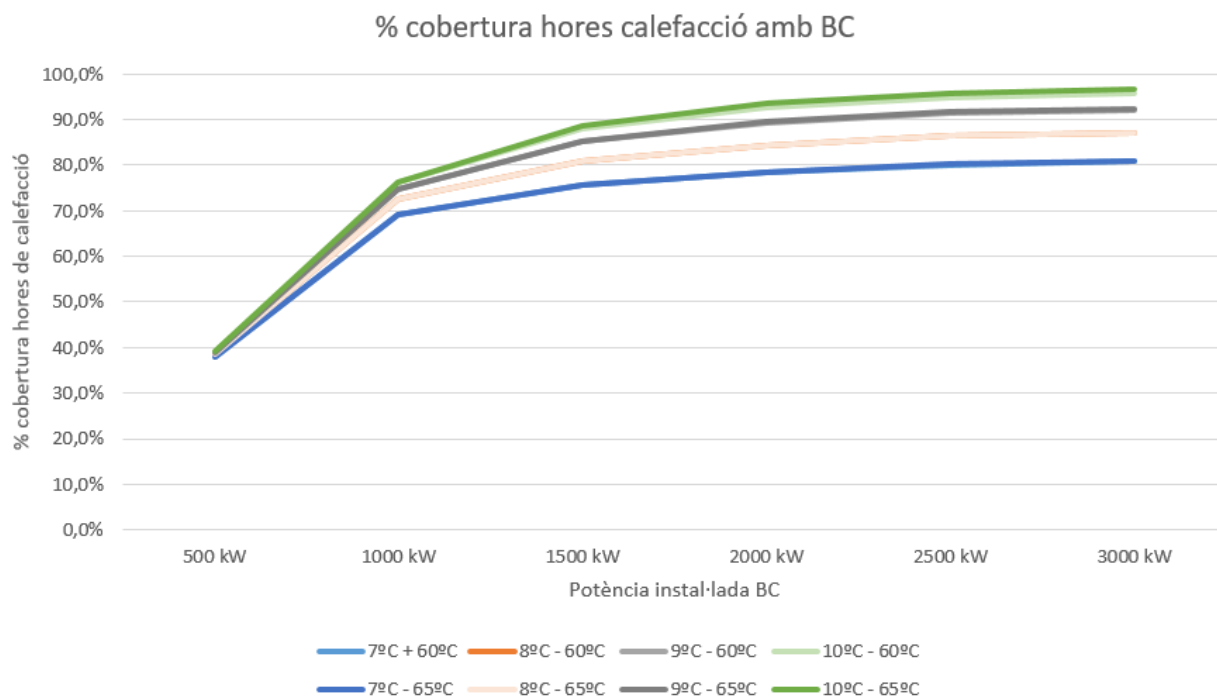


Cada cop el sistema de calefacció treballa a temperatures més properes al rang de treball de les bombes de calor. Les bateries de calor de les UTA dimensionades amb $\Delta T=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ l'any 2023 suposa un 33,6% de la potència configurada. Es preveu, en previsió de les successives ampliacions i reformes, que cada cop el % serà major, fet que afavoreix la possibilitat de substituir les calderes de gas per bombes de calor.

El següent pas és analitzar el conjunt de condicions que compleixin els requeriments de funcionament de les bombes de calor existents al mercat. S'apliquen una sèrie de condicions sobre les dades quart-horàries de l'any 2023 per tal de poder obtenir el grau de cobertura mesurat en % d'hores de cobertura de demanda de calefacció i en % d'energia de calefacció. Els % de cobertura es calculen amb les següents condicions:

- Temperatura exterior per sobre de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura impulsió:
 - Per sota de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Per sota de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ΔT :
 - Per sota de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Per sota de $8\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Per sota de $9\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Per sota de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

A més es simulen diferents potències tèrmiques instal·lades en bomba de calor per analitzar la potència necessària a instal·lar per tal de poder cobrir la demanda de calefacció. Els resultats es mostren en els següents gràfics a on es mostra la potència instal·lada en aerotèrmia a l'eix X i els % de cobertura a l'eix Y pels diferents escenaris proposats (combinacions de límits de temperatura d'impulsió i ΔT):



Es considera que l'escenari que cobreix millor la demanda de calefacció amb bombes de calor és el següent:

- Potència aerotèrmia: 2.500 kW tèrmics.
- Temperatura impulsio: fins a 60 °C.
- ΔT fins a 10 °C.

Amb un % de cobertura d'hores de calefacció anuals del 95% i del 88% de l'energia per cobrir la demanda. La resta sense cobrir es considera que és el % de reducció de demanda pel projecte de recirculació en quiròfans.

4.2.2. Simulació de la solució.

A partir de les dades existents es considera que la solució a adoptar hauria de ser la següent en condicions d'hivern:

- Necessitat de potència tèrmica: 2.500 kW
- Necessitats de fred: 500 kW
- Cabal potència tèrmica calor: 500 m³/h
- Cabal potència tèrmica fred: 150 m³/h
- Es considera una resistència elèctrica al retorn per poder mantenir les condicions de treball de les bombes de calor en moments puntuals a on els ΔT són superiors a 10 °C

A partir d'aquesta proposta tecnològica es simula el seu funcionament en contraposició a la situació actual, és a dir, escenari amb calderes de gas i escenari amb aerotèrmia.

Paràmetres de càlcul:

- **Rendiment caldera:** s'ha mesurat el rendiment estacional de les calderes (incloent any complet i el funcionament del sistema d'ACS) donant un resultat del **37%**.
- **Rendiment bombes de calor:** es considera un rendiment estacional de les bombes de calor del **2,5**.
- Preus energia horaris (electricitat i gas) mitjana dels anys 2023 i projecció 2024. Preus molt fluctuants. Resultat preus €/kWh:
 - o Electricitat: **0,120 €/kWh** impostos inclosos.
 - o Gas: **0,100 €/kWh** impostos inclosos.
- Excessos de potència amb **potència contractada de 3.400 kW** de P1 a P6

Els resultats de la simulació de la solució seleccionada són els següents:

	E final (kWh)	E primària (kWh)	Tn CO ₂ (Tn CO ₂)	Cost (€)
Escenari actual (electricitat i gas)	6.777.817	8.065.603	1.708	616.057,78 €
BC 2500kW potència ΔT° : 10°C i aixecament retorn	1.440.229	707.280	0	255.085,92 €
692kW de resistència amb ΔT° màxim: 12°C (sols electricitat)	-78,8%	-91,2%	100%	-58,6%

Un punt important a verificar és la capacitat de les canonades actuals distribució. Es compara la situació actual amb la situació simulada, obtenint els següents resultats:

Escenari actual amb caldera		➔			
2 bombes de 220 m ³ /h	440 m ³ /h			Lin Delta p (Pa/m)	V (m/s)
ΔT °C	10				
Potència kW	5102		DN200	128,8	1,82
Escenari futur amb BC		➔			
Cabal m ³ /h	500			Lin Delta p (Pa/m)	V (m/s)
ΔT °C	5		DN200	164,4	2,06
potencia kW	2898		DN250	52,4	1,31

Per tant es viable poder utilitzar les canonades de distribució actuals amb la solució proposada, tot i que es considera que està al límit. Es recomanable reduir progressivament la demanda de calor i poder garantir puntualment ΔT fins a 10 °C.

4.2.3. Conclusions.

L'electrificació de la generació per la cobertura de la demanda tèrmica és molt més eficient que la basada en sistema de combustió, a més en el mercat energètic actual afavoreix l'eliminació de les emissions contaminants. Per altra banda, l'anàlisi de les necessitats (demanda), la racionalització de la mateixa, i l'adequació dels sistemes i potències de generació i distribució genera molt estalvi i eficiència als sistemes.

Potencial estalvi d'aigua: actualment el fred en època d'estiu es fa amb sistemes aigua-aigua que són més eficients en aquesta estació. Aquest sistema funciona amb torres d'evaporació amb circuit obert d'aigua. La disponibilitat de màquines aire-aigua possibilitarà escurçar la temporada de les màquines aigua-aigua sense comprometre el rendiment del sistema. S'ha calculat que acotant el funcionament de les aigua-aigua entre el 25 de juny i el 25 de setembre es produiria un estalvi de 6.434 m³ d'aigua (equivalent a 2,6 piscines olímpiques). A més de servir de *back-up* o rotació entre equips generadors de fred.