

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials
(GETI)

**Estudi d'implementació d'una
instal·lació de cogeneració en un centre esportiu**

MEMÒRIA

Autor: Enric Pascual Torner i Sergi García García
Director: Jose Maria Morancho Llena
Convocatòria: Gener 2022



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

L'objectiu del projecte es basa en l'estudi, la definició i la viabilitat econòmica d'una possible implantació d'una planta de cogeneració en un centre esportiu.

S'estudiaran els diferents tipus de sistemes de cogeneració, seguidament es decidirà quins dels tipus és el més adient per a implantar en el nostre centre, tenint en compte tot un seguit de consideracions tals com l'espai, el rendiment elèctric i tèrmic, etc.

Una vegada es tingui seleccionat el tipus de planta es procedirà al càlcul de la demanda energètica del centre. Aquest càlcul consistirà en estudiar quina és la demanda de ACS del centre y quin és el cost energètic de mantenir les condicions òptimes de la piscina d'aquest.

Quan es té la demanda tèrmica que presenti el centre en forma d'aigua calenta per a la climatització de les piscines, la calefacció i refrigeració de les sales del centre, es calcula la demanda elèctrica del centre.

Amb totes les demandes energètiques calculades, s'estudia els tipus de components que faran funcionar la nostra planta de cogeneració.

Com a objectiu final es tindrà la determinació de si la cogeneració és una bona opció per estalviar diners de forma més eficient enfront la implantació d'un sistema tradicional.

Sumari

SUMARI	4
1. PREFACI	7
1.1. Origen del projecte	7
1.2. Requeriments previs	7
2. INTRODUCCIÓ	8
2.1. Objectius del projecte	8
2.2. Abast del projecte.....	8
3. INTRODUCCIÓ A LA COGENERACIÓ	9
3.1. Concepte de cogeneració	9
3.2. Termodinàmica i paràmetres d'una planta de cogeneració	9
3.3. Emissions de les plantes de cogeneració	12
3.4. Aplicacions	13
3.5. Cogeneració a espanya i Catalunya	15
3.6. Marc normatiu	18
3.7. Situació actual de la cogeneració.....	20
4. TIPUS DE PLANTES DE COGENERACIÓ	21
4.1. Plantes de cicle superior	21
4.1.1. Cogeneració amb turbina de vapor (o cicle Rankine)	21
4.1.2. Cogeneració amb turbina de gas (o cicle Bryton)	22
4.1.3. Cogeneració amb cicle combinat (turbina de vapor i de gas)	23
4.1.4. Cogeneració amb motor de combustió interna (cicle Otto)	25
4.2. Plantes de cicle inferior	26
4.3. Microcogeneració	26
4.4. Trigeneració	27
5. DESCRIPCIÓ DEL CENTRE ESPORTIU	28
6. DEMANDA ENERGÈTICA DEL CENTRE	35
6.1. Necessitats energètiques bàsiques.....	35
6.2. Climatització de les piscines	35
6.3. Deshumectació de les piscines	37
6.4. Pèrdues de calor de l'aigua	41
6.4.1. Pèrdues per radiació de calor.....	42
6.4.2. Pèrdues per evaporació de l'aigua del vas.....	45
6.4.3. Pèrdues per convecció de calor	52
6.4.4. Pèrdues per conducció.....	55
6.4.5. Pèrdues per renovació de l'aigua de la piscina	57
6.4.6. Potència de posada en marxa.....	60
6.4.7. Acondicionament de l'aire de l'interior de la piscina.....	61
6.5. Demanda d'energia elèctrica del centre.....	65
7. CÀLCUL DE L'AIGUA CALENTA SANITÀRIA (ACS)	66
8. DEFINICIÓ DEL SISTEMA DE COGENERACIÓ	69
9. DEFINICIÓ DEL SISTEMA DE COGENERACIÓ	73
9.1. Objectiu de la planta de cogeneració	73
9.2. Descripció i característiques de la planta	73
9.3. Motor-Generador.....	75
9.4. Descripció del motor escollit.....	76
9.4.1. Alternador.....	79
9.4.2. Sistema d'arrencada.....	80
9.4.3. Sistema de lubricació	80

9.4.4.	Sistema de refrigeració.....	81
9.4.4.1.	Refrigeració del circuit d'alta temperatura	81
9.4.4.2.	Refrigeració del circuit de baixa temperatura	82
9.4.4.3.	Refrigeració del motor-generador.....	82
9.4.5.	Sistema d'entrada d'aire.....	82
9.4.6.	Sistema de combustible	83
9.5.	Potència Motor-Generador.....	83
9.6.	Aprofitament de l'energia tèrmica del motor.....	85
9.7.	Circuits de recuperació.....	86
9.7.1.	Aprofitament del calor del circuit de refrigeració	87
9.7.2.	Circuit d'escapament de gasos	88
9.8.	Consideracions de les sales de màquines.....	91
10.	FUNCIONAMENT DE LA PLANTA DE COGENERACIÓ	94
10.1.	Període de funcionament	94
11.	COBERTURA DE LA DEMANDA ENERGÈTICA DEL CENTRE.	
	BALANÇ ENERGÈTIC	96
11.1.	Consum de matèries primes	98
12.	CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE LES PLANTES COGENERADORES	100
12.1.	Normativa associada a les plantes de cogeneració	100
12.2.	Rendiment elèctric equivalent (REE)	100
13.	VIABILITAT ECONÒMICA	103
13.1.	Introducció.....	103
13.2.	Anàlisi de la rendibilitat.....	104
13.2.1.	Consideracions bàsiques	104
13.2.2.	104	
13.2.3.	Inversió i ingressos de la cogeneració	104
13.2.4.	Inversió, despeses i ingressos abans de la cogeneració	110
13.2.5.	Comparació de les dues tecnologies.....	115
14.	IMPACTE MEDIAMBIENTAL	117
14.1.	Contaminació atmosfèrica	117
14.2.	Anàlisi dels residus i perillosos, RTP	119
15.	PRESSUPOSTS	121
16.	CONCLUSIONS	122
BIBLIOGRAFIA		124
	Referències bibliogràfiques	124

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

Com a últim pas per obtenir la titulació com a enginyer cal la realització d'un treball de fi de grau.

La implantació d'una font d'energia més eficient la qual permeti donar abast a la demanda tèrmica d'un centre esportiu fent estalviar-l'hi i/o generar benefici gràcies a l'obtenció pròpia d'energia.

1.2. Requeriments previs

Per a la bona realització del projecte calen coneixements de Termodinàmica i transferència de calor i nocions bàsiques d'economia.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

- Estudiar i definir els tipus de sistemes de cogeneració.
- Saber escollir el tipus més adient per a les característiques del nostre treball.
- Dimensionar la planta de cogeneració.
- Estudiar la seva viabilitat econòmica i energètica.

2.2. Abast del projecte

L'abast d'aquest projecte es basa en conèixer quins tipus de sistemes de cogeneració existeixen, estudiar la demanda energètica d'un centre esportiu amb piscina i decidir quin tipus de sistema de cogeneració és el més adient per aquests consums calculats. Una vegada es sàpiga la demanda tèrmica i el tipus de sistema escollit, el projecte es centre en l'estudi dels components del tipus de sistema de cogeneració que abastiran la demanda tèrmica del centre.

No obstant, també s'estudiarà la viabilitat econòmica d'aquesta implantació, però sense fixar-nos en la rendibilitat d'una possible inversió sobre aquesta planta.

A grans trets, el projecte es basarà en identificar, analitzar i implantar una solució de cogeneració en un centre esportiu.

3. Introducció a la cogeneració

3.1. Concepte de cogeneració

La paraula cogeneració significa producció de dos o més tipus d'energia. Generalment aquestes energies produïdes son electricitat i calor, encara que en alguns casos pot ser energia mecànica i calor (i/o fred).

La producció simultània implica proximitat de la planta generadora als consums, cosa que es contraposa completament amb el sistema de producció convencional d'energia en centrals termoelèctriques independents. En aquest cas, també hi han pèrdues de calor, però enlloc de ser aprofitades, son eliminades a l'ambient. És inevitable que una part del calor absorbit no pugui ser aprofitada en forma de treball, però amb la cogeneració, es busca limitar al màxim possible aquestes pèrdues d'energia.

En el següent apartat, entrarem més en detall sobre les plantes de cogeneració, per entendre com funcionen principals elements.

3.2. Termodinàmica i paràmetres d'una planta de cogeneració

En primer lloc, definirem els principals paràmetres o elements que formen part en una planta de cogeneració.

Per començar, tenim la font d'energia primària, que sol ser de gas natural, gasoil o fueloil. L'element motor és l'element que s'encarrega de transformar l'energia tèrmica o química en energia mecànica. Segons el tipus de cogeneració, podem tenir una turbina de gas, de vapor o inclús motors alternatius. Un cop feta la transformació, es passa al sistema d'aprofitament d'energia mecànica. Sol estar format per un alternador que transforma l'energia mecànica en elèctrica. També es poden usar compressors o bombes on s'aprofita directament l'energia mecànica.

Llavors tenim el sistema d'aprofitament de calor, que pot estar format per calderes recuperadores de calor de gasos d'escapament, secadors o bescanviadors de calor.

Molt important és el sistema de refrigeració, ja que una part de l'energia tèrmica continguda en el combustible no s'aprofitarà en la planta i haurà de ser evacuada. Normalment està format per torres de refrigeració, aerocondensadors o intercanviadors. Com hem dit abans, un dels objectius de les plantes de cogeneració és minimitzar la quantitat de calor desaprovechada a l'atmosfera.

Per acabar, tenim tres sistemes: el sistema de tractament de l'aigua, el sistema de control i el sistema elèctric.

El primer dels tres, serveix per a donar un sistema de tractament i control de l'aigua que es sol usar en el sistema de refrigeració o l'aprofitament de calor. El sistema de control té la funció de governar les instal·lacions, que solen ser molt automatitzades. Per acabar, el sistema elèctric, permet tant l'alimentació dels equips auxiliars de la planta com l'exportació i importació d'energia elèctrica necessària per a complir el balanç. Té una gran fiabilitat i permet alimentar la fàbrica en situació de deficiència en la xarxa externa i estar disponible immediatament després del restabliment de les condicions de servei.

Un cop vistos els principals elements d'una planta de cogeneració, ara veurem els principis fonamentals de la termodinàmica que usarem ens seran útils.

La primera llei s'anomena "Llei de la Conservació de la Energia" ja que dicta que en qualsevol sistema físic aïllat del seu entorn, la quantitat total d'energia serà sempre la mateixa, encara que es pugui transformar de una forma d'energia en altres de ben diferents. Per tant, com bé sabem, aquesta llei vol dir que l'energia ni es crea ni es destrueix, simplement es transforma. Per tant, al subministrar a un sistema físic una quantitat de calor (Q), la seva variació d'energia interna es pot calcular com el calor subministrat menys el treball (W) efectuat pel sistema al seu voltant.

La segona llei de la Termodinàmica, també anomenada "Llei de la entropia", pot explicar-se com que la entropia en l'univers tendeix a incrementar en el temps. Això vol dir que el grau de desordre augmenta fins a arribar a un punt d'equilibri, que és on es troba l'estat de major desordre del sistema. En cada procés físic on hi ha una transformació d'energia, existeix una certa quantitat d'energia que no és utilitzable, per tant que no pot fer treball. A la major part dels casos aquesta energia és calor, que allibera el sistema i fa augmentar el desordre, és a dir la seva entropia. Per tant, l'entropia és una mesura de desordre del sistema. Si ens centrem en la formulació d'aquesta llei, aquesta queda de la següent manera:

$$\Delta U = Q - W \quad (1.1)$$

Un cop vistos els principals principis o lleis de la termodinàmica, ara veurem el càlcul de rendiments

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad (1.2)$$

focalitzats en la cogeneració.

Primer de tot tenim el rendiment d'una màquina tèrmica, que és igual al quocient entre el treball produït (W) i la calor proporcionada (Q). La fórmula és la següent:

$$\eta_t = \frac{W}{Q} \quad (1.3)$$

En segon lloc, analitzarem el rendiment tèrmic d'una màquina tèrmica de Carnot, que és el màxim possible per a unes determinades temperatures dels focus calent i fred. On la anomenem T_f la temperatura del focus fred y T_c a la del focus calent. L'expressió queda:

$$\eta_{tc} = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad (1.4)$$

La cogeneració té com un dels seus objectius clau la maximització dels rendiments tant elèctric com tèrmic.

El rendiment elèctric es pot definir com l'eficàcia energètica, en aquest cas, energia elèctrica generada per quantitat d'energia tèrmica que el combustible proporciona:

$$\eta_e = \frac{E}{Q} \quad (1.5)$$

E = Energia elèctrica generada per un sistema de cogeneració (kWh_e).

Q = Energia tèrmica primària (kWh_f)

Ara definirem de nou el rendiment tèrmic, però d'una altra forma: com el quocient de la calor útil produïda pel sistema de cogeneració entre l'energia tèrmica aportada pel combustible:

$$\eta_{t1} = \frac{V}{Q} \quad (1.6)$$

V = Calor útil produït. (kWh_t)

D'altra banda es defineix el rendiment global com el quocient de l'energia produïda (elèctrica i calor útil) entre l'energia tèrmica del combustible:

$$\eta_g = \frac{E+V}{Q} \quad (1.7)$$

Com un dels principals paràmetres de la cogeneració es té el rendiment elèctric equivalent, que es utilitzat per determinar l'aprofitament de l'energia primària i l'eficiència del sistema. Es pot expressar com:

$$REE = \frac{E}{Q - \left(\frac{V}{E_{refH}}\right)} \quad (1.8)$$

On E_{refH} = Valor de referència del rendiment per a la producció externa de calor.

3.3. Emissions de les plantes de cogeneració

En l'aspecte dels beneficis socials de la tecnologia aplicada a les plantes de cogeneració, es pot afirmar que existeix una gran protecció del medi ambient, ja que les emissions nocives per a la flora i la fauna es redueixen de manera considerable. Això permet obtenir una més gran eficiència en la generació, el transport i la distribució de l'electricitat i també en el calor perquè com hem vist anteriorment, l'energia es genera on es consumeix.

Si es comparen les emissions contaminants de les plantes de cogeneració amb els sistemes convencionals, veiem que els últims representen el doble. De fet, se sap que l'emissió dels gasos amb efecte hivernacle està directament relacionat amb la quantitat de combustible cremat. Al capturar i usar el calor del rebuig, la producció de CO₂ es redueix doncs de manera significativa. Per donar un exemple per veure la relació en l'emissió de CO₂ a l'atmosfera entre els sistemes convencionals i els de cogeneració (en g de CO₂/kWh), es pot observar la Figura 3.1

<u>Tipo de combustible</u>	<u>Convencional CO2/kWh(e)</u>	<u>Cogeneración CO2/kWh(e)</u>
Carbón	1	0.5
Fuel-oil	0.7	0.35
Gas Natural	0.5	0.25

Figura 3.1: Comparació de la generació de g de CO₂ per kWh(e) dels sistemes convencionals i de cogeneració.

FONT: TNA Report

Es veu clarament com l'emissió de CO₂ es redueix a la meitat respecte un sistema convencional.

3.4. Aplicacions

Si ens centrem en el nostre país (Espanya), els subsectors industrials més desenvolupats en la cogeneració són el paperer, el químic i petroquímic, la refineria, els processos (alimentació tèxtil, fusta, minerals) o construcció. Però també compta amb un gran potencial per ser implementat en la fermentació, forns coques, forns per vidre, refinació d'olis o el sector agrícola.

Així com la cogeneració es pot aplicar en el sector residencial i terciari, petit i mitjà, la seva funcionalitat per a la calefacció o climatització abarca tots els edificis a l'abast de la xarxa de distribució de calor. Com per exemple comercials (edificis d'oficina, hotels, clubs de salut, residències de gent gran), residencials (apartaments, urbanitzacions), institucionals (escoles i universitats, hospitals, bases militars) o municipals (sistemes d'energia de districte, instal·lacions de tractament d'aigües residuals, edificis públics).

Un cop vistes les principals aplicacions que pot tenir una planta de cogeneració, a continuació veurem els seus principals avantatges i desavantatges.

La cogeneració té varies avantatges, que anomenarem a continuació:

- 1. Estalvi en el combustible:** Si es realitza una bona instal·lació, es pot estalviar fins un 25% de consum de combustible respecte la producció d'electricitat convencional.
- 2. Reducció d'emissions:** L'emissió de contaminants es redueix degut a dos principals motius. El primer és que per a produir la mateixa energia útil, és menor la quantitat de combustible necessari. El segon és que la cogeneració utilitza tecnologies molt avançades que permeten fer ús de combustibles relativament nets, com és el cas del gas natural. El fet d'usar menys combustible i que aquest últim sigui més net, contribueix directament a la reducció de les emissions d'efecte hivernacle i en la mitigació del canvi climàtic.
- 3. Avantatges econòmiques:** Els costos d'energia de les unitats de cogeneració són més baixos que els sistemes convencionals. Parlem d'una reducció del voltant del 20-30%.
- 4. Seguretat del subministrament:** La reducció del consum d'energia permet tenir un accés permanent a les fonts d'energia primària a preus accessibles i les avantatges de la generació distribuïda contribueix a assegurar el subministrament d'energia final independentment del nivell de demanda.
- 5. Generació distribuïda:** Es produeix l'energia on es consumeix, això fa que hi hagin menys pèrdues de transport i en conseqüència augmenta la autonomia de les fàbriques. Aquesta idea s'anomena generació distribuïda d'energia i representa un gran canvi en el sistema energètic.

Com a resum, podem dir que la cogeneració és una molt bona alternativa ja que en primer lloc, permet satisfer les necessitats energètiques de l'usuari amb una major confiabilitat i un menor cost respecte el subministrament convencional d'energia elèctrica i tèrmica. Per acabar, però no menys important, redueix la contaminació cap al medi ambient.

Ara bé, la cogeneració també té alguns desavantatges, que anomenarem a continuació:

1. Els sistemes de cogeneració requereixen una inversió inicial molt elevada, que no s'amortitza fins passats uns quants anys. Per tant moltes empreses no estan en disposició d'implementar una planta de cogeneració.
2. El disseny i la operació de la instal·lació pot arribar a ser força complex, pel que es requereix de la intervenció d'empreses o de gent molt ben capacitada en aquesta àrea.
3. En alguns projectes succeeix que la seva economia pot ser molt sensible als costos d'energia elèctrica i dels combustibles, els quals son completament impredecibles, encara que la seva tendència normal és a l'alça. Pel que fa a projectes que son altament dependents de la venda d'excedents a la xarxa, han de buscar contractes a llarg termini amb preus de compra que mantinguin la rendibilitat del projecte.

Com a resum, podem dir que els desavantatges principals son el cost de la instal·lació i a la seva complexitat a la hora de dissenyar-lo.

3.5. Cogeneració a espanya i Catalunya

La cogeneració a Espanya l'any 2020 va aportar aproximadament un 11%, segons l'ACOGEN. ("Asociación Española de Cogeneración").

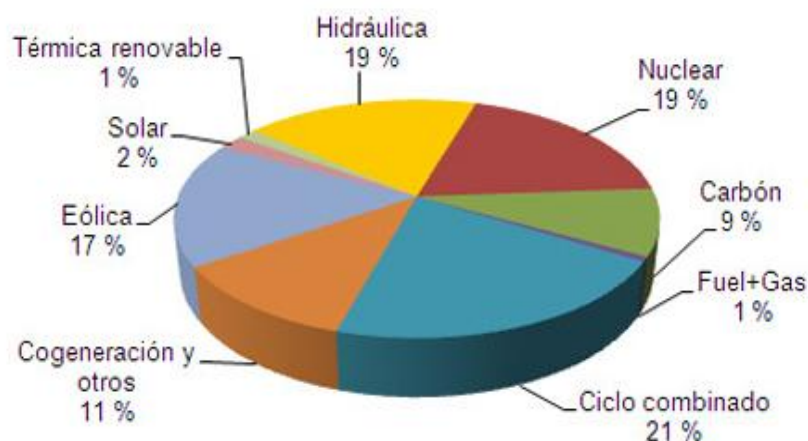


Figura 3.2: Aportació anual en percentatge de les diferents fonts d'obtenció d'energia.

FONT: ACOGEN

Espanya consta d'aproximadament uns 6800 MW de potència instal·lada a tot el territori nacional, sent Catalunya la comunitat autònoma amb més potència instal·lada amb un 22% del total, es pot veure a la figura 4.3.

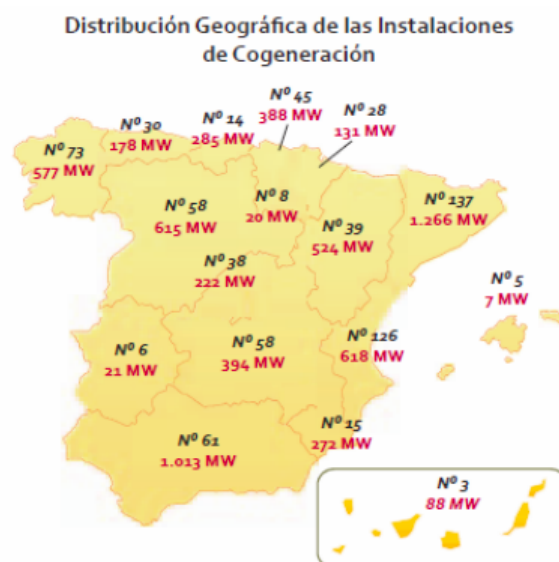


Figura 3.3: Distribució geogràfica de instal·lacions de Cogeneració.

FONT: REE

Aquesta potència es distribuïda en unes 1000 plantes de cogeneració de diferents tipus de potència. Es pot veure a la figura 3.4, on es veu com la major part de les instal·lacions de cogeneració són d'una potència entorn 1MW i 10 MW. Aquestes plantes posseeixen un rendiment elèctric entorn el 29% i un rendiment global d'un 80%.

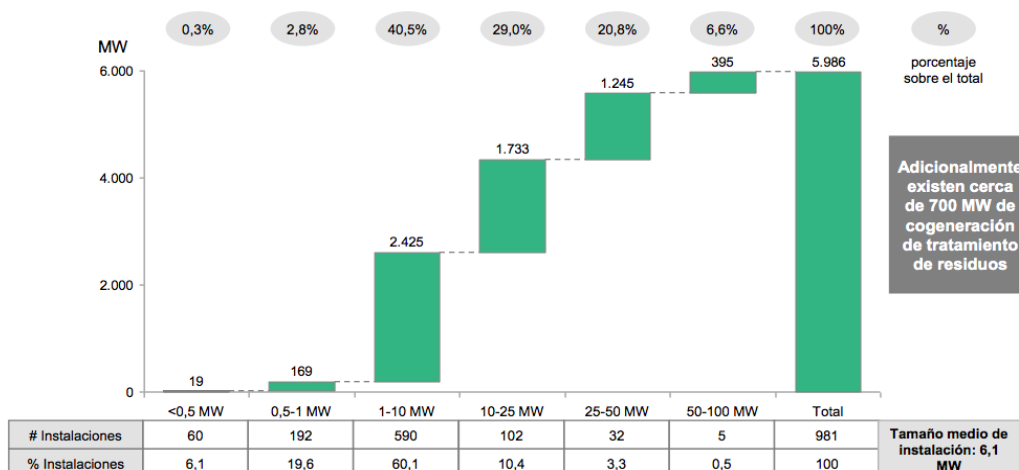


Figura 3.4: Tipus de potència instal·lada.

FONT: IDAE/MYTIC

Tot i que la cogeneració no està desenvolupada en el territori espanyol, en comparació amb els altres països europeus, el sector industrial espanyol és un gran consumidor d'aquesta tecnologia. Actualment el sector industrial consumeix el 90% de l'energia obtinguda per cogeneració a Espanya, tot seguit del sector terciari i residencial amb un 10%.

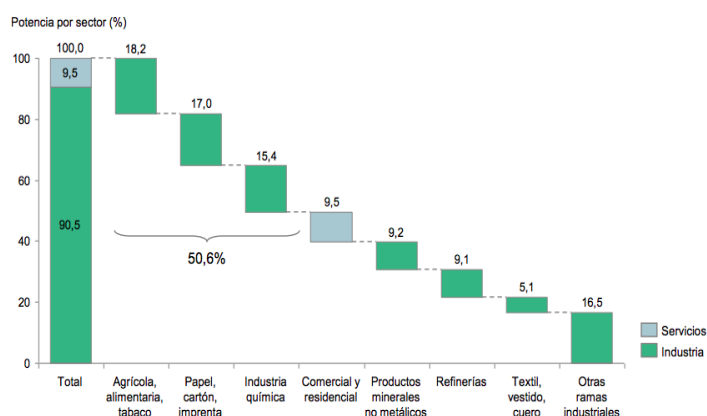


Figura 3.5: Distribució de la potència instal·lada.

FONT: IDAE/MYTIC

Segons la figura 3.5, els subsectors més desenvolupats, en la generació d'energia per cogeneració, són el paperer, refí, química i petroquímica i alimentació, així com la construcció. També es pot destacar, que existeix un gran potencial per desenvolupar en cogeneració, en el sector terciari, petit i mitjà, així com el sector residencial.

Si parlem dels combustibles més utilitzats a les plantes de cogeneració són:

- Gas Natural amb un 76%.
- Fuel oli i gas Oil amb un 18%.
- Gas de refinaria amb un 4%.

Espanya, mitjançant les mesures d'estímul adequades, podria arribar a disposar de 24.000 MWe en cogeneració, amb una producció anual estimada d'uns 120 TWh/any. Aquesta potència seria suficient per a reemplaçar les actuals centrals tèrmiques convencionals i centrals de cicle combinat per aquestes plantes més eficients i amb menors emissions, permetent-nos aconseguir els objectius fixats per la UE, fins ara voluntaris, en breu vinculants. Per contra, sense un suport específic podria desaparèixer.

A la vista d'aquesta situació, si no hi ha un canvi important sobretot a nivell legislatiu, podem trobar-nos amb una situació que suposi una pèrdua de llocs de treball, una disminució d'eficiència energètica i una pèrdua de competitivitat a nivell empresarial. Segons una nota de premsa de ACOGEN del 24 de febrer del 2015, en el sector de la cogeneració, s'ha produït el tancament d'un centenar de plantes i s'ha reduït en un 20% la producció.

3.6. Marc normatiu

Al 2014 es va publicar en el BOE el Reial decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regulava l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.

Aquest Reial decret es complementa amb l'Ordre IET/1045/2014, de 6 de juny, publicada en el BOE el 20 de juny de 2014, per la qual s'aproven els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.

L'Ordre IET/1344/2015, de 2 de juliol, publicada en el BOE el 7 de juliol de 2015, per la qual s'aproven les instal·lacions tipus i els seus corresponents paràmetres retributius, aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus, estableix les instal·lacions tipus necessàries que no van ser incloses en l'Ordre IET / 1045 / 2014, així com els seus paràmetres retribuïts. Amb anterioritat, les normes que han regulat la producció d'energia elèctrica mitjançant cogeneració, han estat:

- Llei 54/1997, del 27 de novembre, del sector elèctric.
- Reial decret 2818/1998, del 23 de desembre, sobre la producció d'energia elèctrica per instal·lacions proveïdes per recursos o fonts d'energia renovables, residus i cogeneració.
- Reial decret 841/2002, del 2 d'agost, pel qual es regula per a les instal·lacions de producció d'energia elèctrica en règim especial la seva incentivació en la participació en el mercat de producció, obligacions d'informació de les seves previsions de producció, i l'adquisició pels comercialitzadors de la seva energia elèctrica produïda.
- Reial decret 436/2004, de 12 de març, pel qual s'estableix la metodologia per a l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció elèctrica en règim especial.
- Reial decret 616/2007, d'11 de maig, sobre foment de la cogeneració.
- Reial decret 616/2007, d'11 de maig, sobre foment de la cogeneració.

- Reial decret 661/2007, de 25 de maig, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
- Reial decret llei 9/2013, de 12 de juliol, pel qual s'adopten mesures urgents per a garantir l'estabilitat financera del sistema elèctric.
- Llei 24/2013, del 26 de desembre, del sector energètic. L'RD 413/2014 recull els drets i les obligacions dels titulars de les plantes renovables, i juntament amb l'Ordre IET/1045/2014, que conté la retribució exacta d'aquestes plantes renovables, substitueixen al RD 661/2007.
- Segons l'RD 413/2014, l'energia elèctrica procedent de fonts d'energia renovables i de cogeneració té prioritat d'accés i de connexió a la xarxa. A més, tindrà prioritat de despatx l'energia procedent de plantes renovables i a continuació la procedent de cogeneració, sempre que estiguin en igualtat de condicions econòmiques en el mercat.
- Segons l'Ordre IET/1045/2014, es consideraran dos períodes semestrals, d'octubre a març i d'abril a setembre, per a l'aplicació del règim retributiu, sempre que es compleixin les condicions d'eficiència energètica descrites en l'RD 413/2014.

Existia el Pla d'Energies Renovables (PER) 2011-2020, elaborat per l'IDEA, que incloïa els elements essencials del Pla d'Acció Nacional d'Energies Renovables d'Espanya (PANER) 2011-2020. L'objectiu que recollia el PER i que es va aprovar en el Congrés dels Diputats és que les energies renovables tinguessin una presència del 20,8% l'any 2020.

3.7. Situació actual de la cogeneració

A l'any 2019, la cogeneració es va convertir en una eina energètica clau per a més de 600 indústries espanyoles, mantenint 200.000 llocs de treball directes i aportant el 20% del PIB industrial del país, generant el 11% de la electricitat nacional i el 20% de la demanda de gas. No obstant això, el 2020 ha estat un any convuls per a tots els sectors i concretament pel sector energètic també ho ha estat. Aquests mesos on tot s'ha aturat en la producció industrial com a conseqüència de la crisi del Covid-19, s'ha reduït l'ús de aquesta font d'energia. Tot i això, mentre l'economia nacional va millorant poc a poc, la cogeneració està sent clau per a la recuperació industrial del país en sectors com l'alimentari el paperer, el químic, el ceràmic i automobilístic entre altres.

Si tirem la vista enrere, ens ajudarà a entendre millor la situació actual de la cogeneració. A Espanya, el sector de la cogeneració va tenir el seu auge durant la dècada dels noranta. En aquest període, la cogeneració es va expandir des dels 356 MW el 1990 fins als 4.202 MW al 1999, el que va significar una taxa de creixement mitjà anual de el 31,5%. A partir de 2000 la taxa de creixement s'alenteix - 3,7% de mitja anual i la potència instal·lada creix fins als 6.067 MW el 2009 com s'observa a la Figura 3.6.

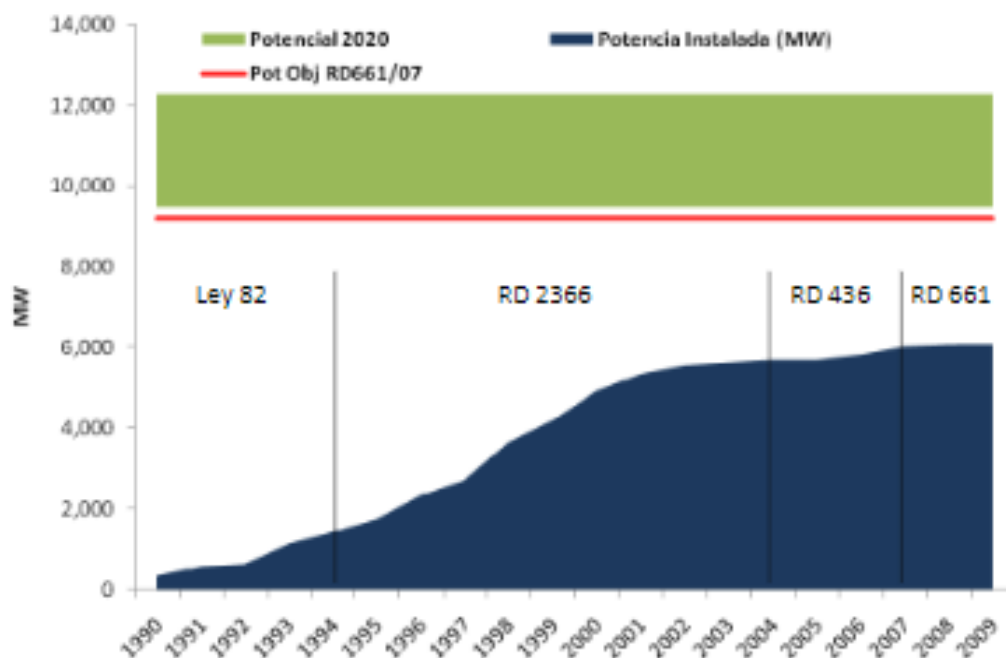


Figura 3.6: Potència instal·lada i potencial 2020

FONT: Monografias

4. Tipus de plantes de cogeneració

4.1. Plantes de cycle superior

Per començar, veurem les plantes de cogeneració de cycle superior. En aquests casos, el combustible que es subministra s'usa principalment per a la generació d'energia elèctrica, i més endavant produeix energia tèrmica durant el procediment. Aquesta energia produïda, es fa servir principalment per a satisfer amb les necessitats del calor del procés. També es pot fer servir per a satisfer altres subministres tèrmics. Aquests tipus de plantes son els més populars i utilitzats en la indústria, i a continuació presentarem els diferents tipus de plantes de cogeneració de cycle superior.

4.1.1. Cogeneració amb turbina de vapor (o cycle Rankine)

El primer que veurem és el de turbina de vapor. Aquest tipus de cogeneració s'utilitza principalment per a la generació d'energia mecànica i el processament de vapor, provinent d'una caldera.

L'energia en forma de vapor, que és el fluid de treball, passa a través del rodet que és l'òrgan principal de la turbina. Gràcies a la seva configuració amb pales, permet realitzar l'intercanvi energètic. Un cop l'energia mecànica és generada, un generador l'aprofita per a la producció d'electricitat.

Es poden distingir dos tipus de turbines de vapor. El primer és el de contrapressió, que es caracteritza principalment per a obtenir una pressió del vapor a la sortida de la turbina superior a la atmosfèrica.

El segon tipus de turbines de vapor son les de condensació. En aquest cas doncs, la pressió es troba per sota de la pressió atmosfèrica i el condensador ha d'estar present en el procés.

Al treballar aquest tipus de turbina a pressions elevades de vapor, en la majoria d'aplicacions s'utilitzen les de contrapressió. El seu rang de potència està entre els 0,5 MW i els 15 MW.

Per acabar, veurem alguns avantatges i desavantatges d'aquest tipus de sistema de cogeneració.

Els principals avantatges que posseeix és el ample rang de combustibles que permet en la seva utilització (biomassa, gas natural, carbó, gasolina, residus sòlids municipals, etc). A més, té una gran disponibilitat, és a dir que té un alt rang de funcionament, és a dir el temps que pot estar funcionant. La seva vida operacional arriba als 50 anys. Per acabar, té un gran rang de pressions, caudals i

temperatures, el que li permet tenir un alt rang de processos i poder-se adaptar perfectament a les necessitats dels usuaris.

També té algunes desavantatges. El primer és el gran soroll que provoca durant el seu funcionament a més de tenir un pobre rendiment elèctric. A més, destacar que el períodes de pre-calentament de les turbines és massa llarg. De fet pot arribar a durar fins a un dia.

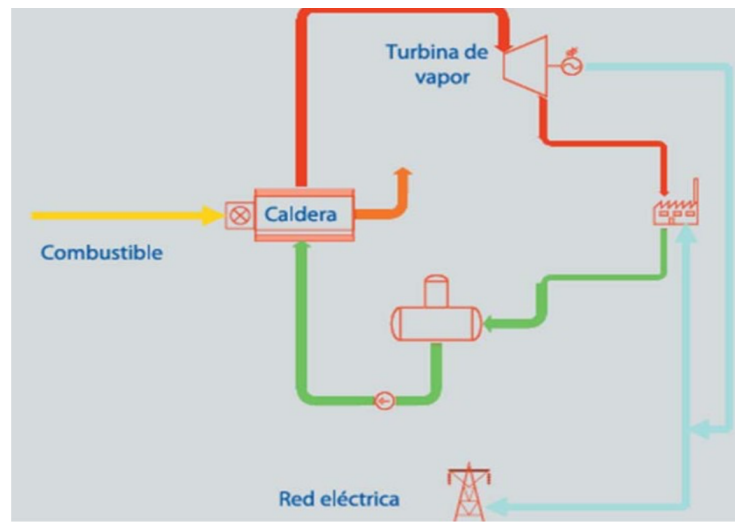


Figura 4.1: Sistema de cogeneració amb turbina de vapor.

FONT: GUÍA DE LA COGENERACIÓN (FENERCOM)

4.1.2. Cogeneració amb turbina de gas (o cicle Bryton)

Aquest tipus de turbina és un tipus de motor on es crema el combustible en un turbogenerador. Aquest motor és el responsable de transformar l'energia que està en el combustible, en energia mecànica, que posteriorment es transformarà en energia elèctrica gràcies a l'alternador. Aquest sistema constarà doncs d'una turbina de gas i d'una caldera de recuperació.

Primer de tot, quan parlem de gas, ens referim a l'aire de l'ambient que introduïm en el motor. Concretament, un cop introduït aquest aire en el motor, es comprimeix gràcies al compressor i es barreja amb el combustible introduït en la cambra de combustió i per conseqüent s'encén. Això provoca un augment de la temperatura del gas, que llavors es porta a través d'una sèrie d'aspes aerodinàmiques que serveixen per transferir l'energia creada en forma de gas calent durant la combustió, per a fer girar un eix de sortida, mitjançant la seva expansió.

El seu tamany o rang de potència està comprès entre els 0,5 MW i els 250 MW.

Si ens centrem en les seves principals avantatges, veurem que té un gran rang d'utilització de combustibles, com en el cas de les turbines de vapor. Concretament, poden usar combustibles gasosos (gas natural, propà o hidrogen) o líquids (gasoil, gas liquat de petroli (GLP), entre altres). Per acabar, la seva principal avantatge és el seu sistema de recuperació de calor, que es troba en gran part en els gasos d'escapament. Aquests gasos es troben a temperatures molt elevades, el que permet produir de manera molt eficient vapor d'aigua a través de la caldera de recuperació, abans esmentat. Això permet doncs disminuir l'impacte ambiental.

En canvi, té algunes desavantatges. La relació entre la potència elèctrica i la potència calorífica és constant, per tant sempre es produirà la mateixa quantitat de potència dels dos tipus. També destacar hi ha una reducció de la eficiència sota algunes condicions, com per exemple, la operació de càrregues parcials.

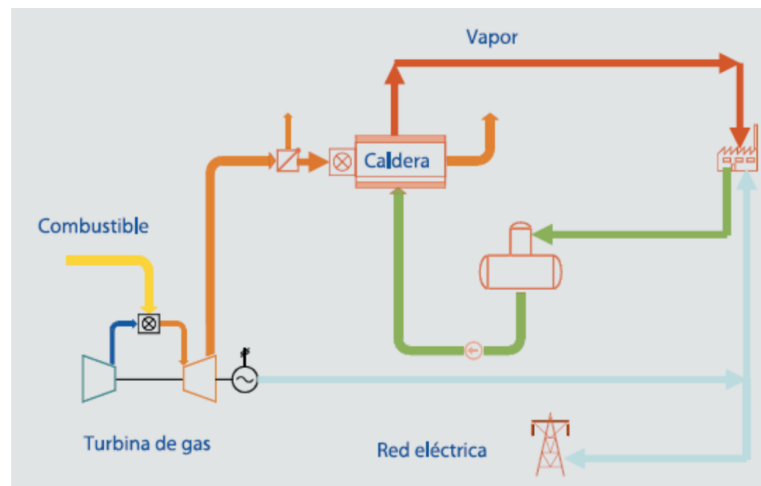


Figura 4.2: Cicle turbina de gas cicle simple

FONT: GUÍA DE LA COGENERACIÓN (FENERCOM)

4.1.3. Cogeneració amb cicle combinat (turbina de vapor i de gas)

Aquest tipus de cogeneració, s'anomena de cicle combinat ja que es fa ús tant de la turbina de vapor com de la turbina de gas.

Com hem vist anteriorment, els gasos d'escapament a la sortida de la turbina de gas es poden aprofitar gràcies a la caldera de recuperació, la qual produeix vapor a alta pressió. Aquest vapor, es pot fer passar en una turbina de vapor per descomprimir-lo i produir energia elèctrica addicional. A la sortida de la turbina de vapor obtindrem doncs vapor a baixa pressió, que podrem usar directament o fer-lo passar a través d'un condensador per a condensar-lo. D'aquesta manera, obtindrem aigua calenta o sobreescalfada.

En el cas de que la demanda de vapor superi el potencial dels gasos d'escapament, es pot utilitzar un cremador de postcombustió produint així una quantitat addicional de vapor. Això es pot fer introduint una quantitat addicional de combustible, concretament gas natural, directament en un cremador especial que conté la caldera.

En aquests tipus de sistemes, la selecció de la pressió i de la temperatura del vapor viu son essencials, ja s'han d'adaptar a les turbines de gas i de vapor escollides. Aquestes turbines s'han de seleccionar segons criteris com l'eficiència i la economia.

Existeixen també variants al cicle combinat que acabem de descriure, que fa servir la turbina de vapor de contrapressió abans explicat. També es pot fer segons el cicle combinat amb turbina de gas de condensació, en el que abans d'arribar a la turbina, realitzem l'aprofitament tèrmic. La condensació el vapor de sortida es fa en un condensador que treballa doncs a una pressió inferior a la atmosfèrica, així aconseguim que el salt tèrmic sigui el més gran possible.

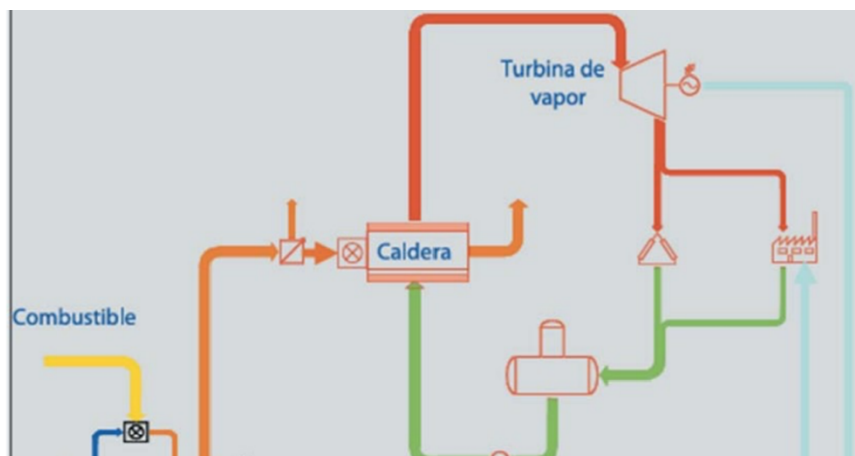


Figura 4.3: Planta de cogeneració de cicle combinat de turbina de gas i turbina de vapor.

FONT: GUÍA DE LA COGENERACIÓN

4.1.4. Cogeneració amb motor de combustió interna (cicle Otto)

Aquest tipus de motor, obté energia mecànica directament de l'energia d'un combustible, que crema dins una càmera de combustió o cilindre. Dins aquest cilindre, hi ha un pistó que es va movent. Aquest pistó està connectat a un cigonyal, que permet convertir el moviment lineal del pistó en moviment rotatori del cigonyal. En aquest tipus de cicle, la ignició de la barreja entre el combustible i l'aire es produeix gràcies a una bugia.

Està format per quatre temps. El primer és el d'admissió, que es caracteritza per l'entrada de la barreja combustible-aire dins el cilindre. El segon és el de compressió, on la barreja es comprimeix i s'encén gràcies a la bugia. Seguidament, els gasos calents productes de la mateixa combustió, s'expandeixen i premen el pistó cap a baix. Finalment, els gasos d'escapament són conduïts cap a l'exterior a través de la vàlvula d'escapament. El combustible més utilitzat per aquest tipus de motor és el gas natural, que es pot encendre de dues maneres diferents segons el seu tamany. Un és l'encesa per ignició en el mateix cilindre, que s'anomena de càmera oberta. L'altre és la ignició es produeix en una càmera prèvia al cilindre, i s'anomena càmera de pre-combustió.

Pel que fa als gasos d'escapament, el 50% d'aquests corresponen al calor generat pel motor i totes les corrents de calor es poden fer servir per a generar aigua calenta.

Aquestes plantes poden fer servir potències de fins a 4 MW.

El principal avantatge del cicle Otto és la rapidesa en la seva encesa, de l'ordre de segons, el que la fa molt útil per a processos discontinus. A més, la seva eficiència a càrrega parcial disminueix molt poc, en comparació a les turbines de vapor o de gas. La seva disponibilitat està al voltant del 95%.

Les principals desavantatges són la necessitat d'usar sistemes de refrigeració en tots els casos, la seva baixa relació potència/pes, les seves vibracions i sorolls que genera.

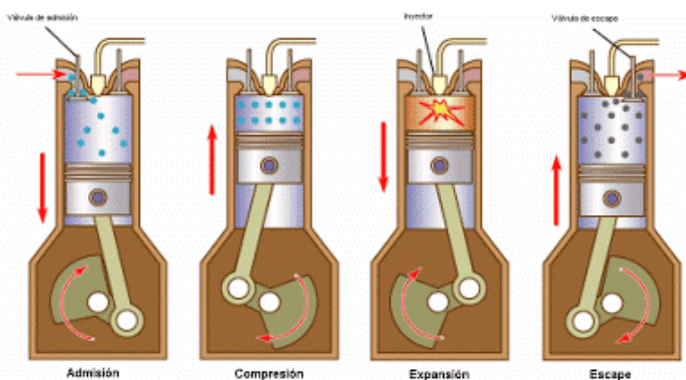


Figura 4.4: Planta de cogeneració de motor de combustió interna.

FONT: UPV

4.2. Plantes de cicle inferior

Aquest tipus de plantes, no son gaire utilitzades, encara que en algunes indústries com el ciment, l'acer , el gas, la petroquímica entre d'altres sí que ho utilitzen.

El combustible principal és utilitzat per a generar energia tèrmica a grans temperatures. El calor que queda rebutjat, s'aprofita més endavant per a la generació d'energia mitjançant un bòiler de recuperació i un generador de turbina. Gràcies a la seva aplicació a altes temperatures, algun sector com el de manufactura l'utilitza bastant.

4.3. Microcogeneració

La microcogeneració es caracteritza per a obtenir energia elèctrica i tèrmica simultàniament. Això s'aconsegueix gràcies al moviment de gir d'un eix mitjançant un motor, que gràcies a un alternador, que està junt a l'eix, es genera energia elèctrica. Com en els casos anteriors, també es pot aconseguir energia tèrmica gràcies als gasos d'escapament. A més també s'aprofita l'aigua e refrigeració del motor. Aquesta energia tèrmica s'aprofita per a obtenir aigua calenta o usar-la per a la calefacció.

També comentar que es pot també produir fred, llavors estariem parlant de microtrigeneració. En aquest cas, s'usaria un màquina d'absorció, capaç de transformar el calor en fred.

La seva aplicació es vasa en edificis d'habitatge o oficines, hotels, residències, centres comercials, etc. La seva potència d'aplicació no supera els 0,5 MW.

El principal de d'aquest tipus de cogeneració és el seu grau d'eficiència, ja que produeix de manera simultània electricitat i energia tèrmica. A més, pot ser considerat un sistema d'energia renovables segons el tipus de combustible usat.

La principal desavantatge és la seva limitació pel que fa a la potència.

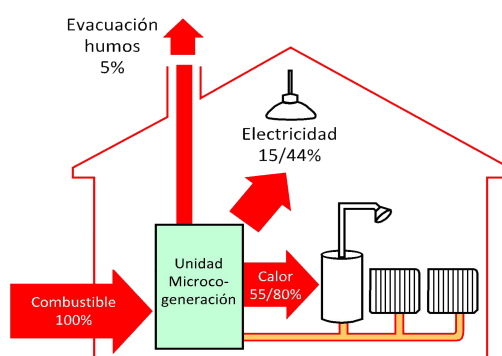


Figura 4.5: Exemple procés de microcogeneració.

FONT: OCU

4.4. Trigeneració

La trigeneració es basa en la producció simultània de l'energia mecànica o electricitat, calor i refrigeració a partir d'una única font de calor, ja pot ser un combustible fòssil o energia solar tèrmica. Com en els processos vistos anteriorment, el calor residual que resulta de la generació d'energia elèctrica, s'aprofita per aigua calenta sanitària per exemple. En aquesta tecnologia però, es busca obtenir electricitat, calor i fred a través d'un sol combustible. El fred s'obté usant equips d'absorció, que transforma total o parcialment l'aigua calenta, sobreescalfada o directament vapor en aigua freda.

El fet de poder produir fred, obre el ventall d'aplicacions possibles per aquest tipus de plantes.

A la figura 4.6, es mostra un diagrama de procés simplificat d'una planta de trigeneració, de cicle combinat, amb motor alternatiu a gas. Permet arribar a centres on es demani energia elèctrica però també es requereixi un sistema de refrigeració. Per exemple, el sector alimentari és un client potencial, així com els hotels, hospitals, centres educatius, etc. Aquests centres requereixen de calor per l'hivern però també de fred per a l'estiu.

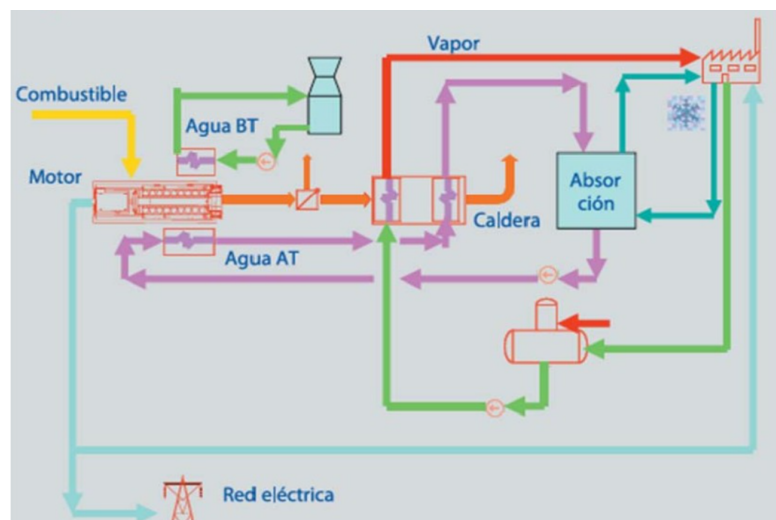


Figura 4.6: Planta de trigeneració.

FONT: GUÍA DE LA COGENERACIÓN (FENERCOM)

5. Descripció del centre esportiu

Un cop vist els diferents tipus de cogeneració que existeixen, ara toca escollir el centre esportiu en el qual implementarem el sistema de cogeneració.

Aquest centre s'anomena "Centre Esportiu Municipal Sistrells" i està situat a Badalona, una ciutat a prop de Barcelona. Consta de diferents serveis com es veurà més endavant. A continuació es mostren dues fotografies. La primera d'elles, que correspon a la figura 5.1, mostra una imatge del centre des de l'exterior. La segona, que correspon a la figura 5.2, mostra la sala on estan ubicades les dues piscines.



Figura 5.1: Vistes exteriors al Centre Esportiu Municipal Sistrells

FONT: CEM sistrells



Figura 5.2: Piscines interiors Centre Esportiu Municipal Sistrells

FONT: CEM sistrells

El centre té unes dimensions de 4824 m². A continuació es desglossa les diferents instal·lacions de les que disposa el i dels diferents serveis que ofereix:

- Piscina de 25 m amb unes dimensions de 25 X 16,67 X 1,47 que indiquen una superfície de 416,75 m² i un volum de 612,3 m³, formada per 8 carrils.
- Piscina lúdica recreativa de dimensions 16,67 X 10 X 1,2 que indiquen na superfície de 166,7 m² i un volum de 200,04 m³.
- Sala Fitness d'uns 420 m² de superfície amb 5 zones de treball equipades amb màquines d'última generació, sistema de climatització i sistema de àudio i televisió
- Sala de Spingie de 150 m² superfície equipada amb 62 bicicletes Stage. Compta amb un sistema de projecció APLIFIT i APLIFIT PLAY de Fit4flife el qual permet gaudir de rutes reals amb gràfics d'intensitat i relleu.
- Sala principal de 271 m²de superfície coberta de goma. Sistema d'àudio i climatització òptima per a la realització de diferents activitats dirigides.
- Sala polivalent d'uns 103 m² que aprofita llum natural en tota la sala.
- Sala virtual de 80 m² per a la realització de classes dirigides. Té un sistema de projecció APLIFIT per a la realització d'activitats físic-virtuals.

Un cop vistes les dimensions de les principals sales del centre, ensenyem a continuació la distribució que tenen. El nostre centre està dividit en tres plantes (planta baixa, planta 1 i planta -1). A continuació hem dissenyat una taula per descriure la distribució de les diferents sales en el centre:

Planta	Espai
Planta baixa	Recepció
	Administració i oficines
	Passadissos distribuïdors
	Vestuari homes
	Vestuari dones
	Piscina 25m
	Piscina lúdica
	Sala Polivalent
Planta 1	Sala Fitness
	Cafeteria
	Sala Virtual
	Sala Exterior
Planta -1	Sala Spingie
	Sala Principal
	Sales de manteniment

Taula 5.1: Distribució del centre esportiu

Un cop la distribució del centre, es descriu l'horari del centre a continuació:

- Horari de dilluns a divendres: Obert de 7:00 a 23:00. (16 hores de funcionament (a) i 8 hores de repòs (b)).
- Horari de dissabtes: Obert de 7:00 a 20:00. (13 hores de funcionament i 11 hores de repòs).
- Horari de diumenges i festius: Obert de 8:00 a 14:00. (6 hores de funcionament i 18 hores de repòs).

(a): En funcionament significa que el centre està obert als clients.

(b): En repòs significa que el centre està tancat als clients.

Per obtenir la demanda tèrmica del centre, és primordial separar les diferents franges horàries per tal de calcular les demandes per a cada una. Per aquest motiu, basant-nos en el calendari de l'any 2021, s'ha obtingut els dies entre setmana, els dissabtes i els diumenges (que inclouen festius), per a cada mes.

En la taula 5.2, es detalla aquest càlcul. Multiplicant el nombre d'hores per dia de cada franja horària, pel nombre de dies que té aquesta franja en un mes, s'ha pogut obtenir el nombre d'hores que té cada mes obert el centre.

Mes	Hores/ dia			Dies/ Mes			Hores totals
	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	Nº de dies de Dilluns a Divendres	Nº de Dissabtes	Nº de Diumenges i festius	
Gener	16	13	6	19	5	7	411
Febrer	16	13	6	20	4	4	396
Març	16	13	6	23	4	4	444
Abril	16	13	6	20	4	6	408
Maig	16	13	6	20	4	7	414
Juny	16	13	6	22	4	4	428
Juliol	16	13	6	22	5	4	441
Agost	16	13	6	22	4	5	434
Setembre	16	13	6	21	3	6	411
Octubre	16	13	6	20	5	6	421
Novembre	16	13	6	21	4	5	418
Desembre	16	13	6	21	3	7	417

Taula 5.2: Hores totals en funcionament

A més, també es realitza el càlcul de les hores de NO funcionament, és a dir, les hores de repòs del centre. En la taula 5.3, es pot veure el detall del càlcul.

Mes	Hores/ dia			Dies/ Mes			Hores totals
	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	Nº de dies de Dilluns a Divendres	Nº de Dissabtes	Nº de Diumenges i festius	
Gener	8	11	18	19	5	7	333
Febrer	8	11	18	20	4	4	276
Març	8	11	18	23	4	4	300
Abril	8	11	18	20	4	6	312
Maig	8	11	18	20	4	7	330
Juny	8	11	18	22	4	4	292
Juliol	8	11	18	22	5	4	303
Agost	8	11	18	22	4	5	310
Setembre	8	11	18	21	3	6	309
Octubre	8	11	18	20	5	6	323
Novembre	8	11	18	21	4	5	302
Desembre	8	11	18	21	3	7	327

Taula 5.3: Hores totals en repòs

Ara ja s'està en disposició de poder analitzar la demanda tèrmica del centre, tenint en compte els diferents paràmetres descrits en aquest mateix apartat.

Però abans, s'han de fer algunes consideracions prèvies. En concret, s'han de tenir en consideració alguns factors que poden afectar a la demanda tèrmica mensual, degut als canvis d'estació. Per aquest motiu, s'obtenen els tres següents factors:

- Temperatura mitja de l'aire exterior.
- Temperatura mitja de l'aigua de les canonades (aigua que accedeix al centre).
- Humitat relativa.

En la taula 5.4, es pot observar com varien aquests tres factors exposats anteriorment.

Mes	T^a mitja aire exterior (°C)	T^a mitja aigua canonades (°C)	Humitat relativa (%)
Gener	12	9	69
Febrer	11.5	10	68
Març	13.5	11	69
Abril	16.5	12	72
Maig	19.5	14	70
Juny	23.5	17	68
Juliol	26	19	69
Agost	26	19	69
Setembre	23	17	71
Octubre	20	15	72
Novembre	15	12	68
Desembre	12	10	70

Taula 5.4: Paràmetres que varien segons els mesos (Temperatura exterior Temperatura de canonades i Humitat relativa): Font: NOAA e IDAE

6. Demanda energètica del centre

6.1. Necessitats energètiques bàsiques

Per dur a terme els càlculs de la demanda energètica que té el centre s'han de tenir en compte el següents tipus de consum:

- Proveïment d'aigua calenta sanitària (ACS).
- Calefacció del centre esportiu (sales esportives, oficines, vestidors, sala de piscines, ...).
- Climatització i deshumectació de les piscines.
- Manteniment de les condicions energètiques de les piscines durant les hores de repòs (cal mantenir la temperatura de la piscina constant per la nit perquè també té pèrdues).
- Pèrdues tèrmiques de les piscines:
 - Convecció de calor entre l'aigua de la piscina i l'aire.
 - Radiació de calor entre piscina i ambient per diferència de temperatura.
 - Evaporació de l'aigua del vas.
 - Renovació de l'aigua del vas (per mantenir el mateix nivell d'aigua).
 - Transmissió de calor de l'aigua del vas.
 -

Abans de realitzar els càlculs s'estudien els diferents tipus de consums energètics del centre.

6.2. Climatització de les piscines

Per gaudir d'una piscina coberta és necessària la seva respectiva climatització i deshumectació, ja que a diferència d'altres tipus d'edificis, dins d'un recinte amb una piscina climatitzada existeix una forta evaporació que es condensa en les parets, mobiliari i vidres del recinte, i d'altra banda tenim un gran nombre de persones amb un grau de vestimenta mínim.

Per garantir unes condicions de confort idònies i evitar condensacions, s'han de considerar diferents aspectes tals com:

- Manteniment d'una temperatura i humitats ambientals adequats.
- Garantir una ventilació mínima higiènica.
- Evitar condensacions com a conseqüència de la humitat existent, entre altres.

El decret 95/2000, del 22 de febrer, modificat posteriorment pel Decret 165/2001, estableix aquestes condicions, en les piscines climatitzades en la figura 6.1

Tabla 1. Temperatura del agua, temperatura ambiente y humedad ambiental relativa media en las piscinas cubiertas reflejada en los Decretos y Órdenes de las diferentes comunidades autónomas de nuestro país				
COMUNIDAD	DECRETO/ORDEN	TEMPERATURA DEL AGUA	TEMPERATURA AMBIENTE	HUMEDAD AMBIENTAL RELATIVA MEDIA
Andalucía	Decreto 23/99 de 23 de febrero Reglamento Sanitario de Piscinas de Uso Colectivo	24 – 30 ° C	Superior a la del agua de 2 a 4 ° C	No superior al 80 %
Aragón	Decreto 50/1993 de 9 de mayo Condiciones higiénico-sanitarias de piscinas de uso colectivo , modificado por Decreto 53/1999 y 119/2006	24 – 28 ° C	Entre 2 - 4 ° C superior a la del agua	60 – 70 %
Asturias	Decreto 26/2003 Regulación de las condiciones higiénico – sanitarias de piscinas	22 – 28 ° C Pudiendo alcanzar los 30 ° C para la realización de actividades especiales destinadas a colectivos como niños, personas mayores o colectivos con necesidades especiales respecto a una mayor temperatura del agua	Superior en 2 a 4 ° C a la del agua del vaso	No superior al 70 %
Baleares	Decreto 53/1995 de 18 de mayo de condiciones higiénicas – sanitarias de las piscinas de alojamientos turísticos y de uso colectivo	20 – 30 ° C	Superior a la que presente el agua de la piscina	< 85%
Canarias	Orden 2 de marzo de 1989 Régimen técnico – sanitario de piscinas , modificado por Decreto 212/2005 de 15 de noviembre	20 – 24 ° C	-----	60 – 70 %
Cantabria	Decreto 58/1993 de 9 de agosto Reglamento sanitario de las piscinas de uso colectivo	22 – 30 ° C	2 a 4 ° C superior a la del agua	No superior a l 75 %
Castilla La Mancha	Decreto 216/1999 de 19 de octubre Condiciones higiénico-sanitarias de las piscinas de uso público	22 – 27 ° C	2 a 4 ° C superior a la del agua	60 – 70 %
Castilla León	Decreto 177/1992 de 22 de octubre Normativa higiénico – sanitaria para piscinas de uso público , modificado por Decreto 106/1977	24 – 28 ° C	Temperatura superior en 2 a 4 ° C a la del agua	65 – 75 %
Cataluña	Decreto 95/2000 de 22 de febrero Normas sanitarias aplicables a las piscinas de uso público , modificado por Decreto 165/2001	24 – 30 ° C	Entre 2 y 4 ° C más elevada que la temperatura del agua del vaso (medida a 1 metro de altura sobre la lámina del agua)	60 – 70 %

Figura 6.1: Toleràncies de temperatures i humitats relatives en sales amb piscina climatitzada.

FONT: Decret 165/2001

En el nostre cas, interessa observar la fila on es descriu la legislació de Catalunya, que és on està situat el nostre centre esportiu.

Com es pot observar, pel que fa a la temperatura de l'aigua de la piscina, ha d'estar entre 24°C i 30 °C. A més, la temperatura de l'ambient en la sala, ha d'estar al voltant de 2°C i 4°C per sobre la temperatura de l'aigua del vas de la piscina.

Finalment, la humitat relativa de l'aire en la sala, ha d'estar al voltant de 60% i 70%.

Un cop vista la legislació, s'han definit aquests tres paràmetres pel nostre cas. Aquesta informació, està recollida en la taula 6.1.

Condiciones bàsiques de la piscina climatitzada	Valor proposat per la RITE
Temperatura de l'aire ambient interior	27°C
Temperatura de l'aigua de la piscina	25°C
Humitat relativa	65%

Taula 6.1: Condicions bàsiques en la sala amb les piscines climatitzades del centre

6.3. Deshumectació de les piscines

Cal entendre els factors que intervenen en l'aportació d'humitat a l'ambient, ja que seran importants a l'hora de calcular les necessitats de deshumectació del local. Alguns dels factors a tenir en compte són:

- Evaporació de la làmina d'aigua del vas de la piscina, que depèn del nombre de banyistes i de la velocitat de l'aire sobre la làmina d'aigua.
- Evaporació de l'aigua que porten els ocupants a la pell al sortir del vas de la piscina.
- Aportació tèrmica dels ocupants de la sala, ja siguin banyistes, entrenadors, personal del centre o altres. Aporten una quantitat d'energia considerable.

Per al càlcul de les necessitats de deshumectació es poden utilitzar un seguit de fórmules en funció dels factors descrits anteriorment. Els resultats d'aquests càlculs poden diferir segons el tipus de mètode o fórmula utilitzats i també depenent de les hipòtesis utilitzades per arribar al resultat, com poden ser el nombre de banyistes presents.

Una de les fórmules que es poden utilitzar es la fórmula de Bernier:

$$Me = A [(16 + 133n) \cdot (We - Ga \cdot Was)] + 0,1 \cdot N \quad (6.1) \text{On:}$$

- **Me:** Flux màssic d'aigua evaporada (kg/h).
- **A:** Superfície de la làmina d'aigua de la piscina (m²).
- **n:** Nombre de banyistes per m² de superfície de la làmina d'aigua.
- **We:** Humitat absoluta aire saturat a la temperatura de l'aigua de la piscina (kg aigua / kg aire).
- **Ga:** Grau de saturació.
- **Was:** Humitat absoluta de l'aire saturat a la temperatura de l'aire ambient interior (kg aigua / kg aire).
- **N:** Nombre total d'espectadors.

A l'hora de realitzar els càlculs, s'ha de tenir en compte els valors d'humitat absoluta de l'aire saturat dins del recinte on es troba la piscina, que es poden veure a la taula 6.2.

T °C	Humitat absoluta : W (Kg aigua / kg aire)
24	0,0187
25	0,0200
26	0,0213
27	0,0225
28	0,0240
29	0,0255
30	0,0270

Taula 6.2: Valors de les humitats absolutes per a diferents temperatures

Per a la obtenció d'aquests valors d'humitat absoluta, s'ha fet ús del diagrama psicomètric, corresponent a la figura 6.2.

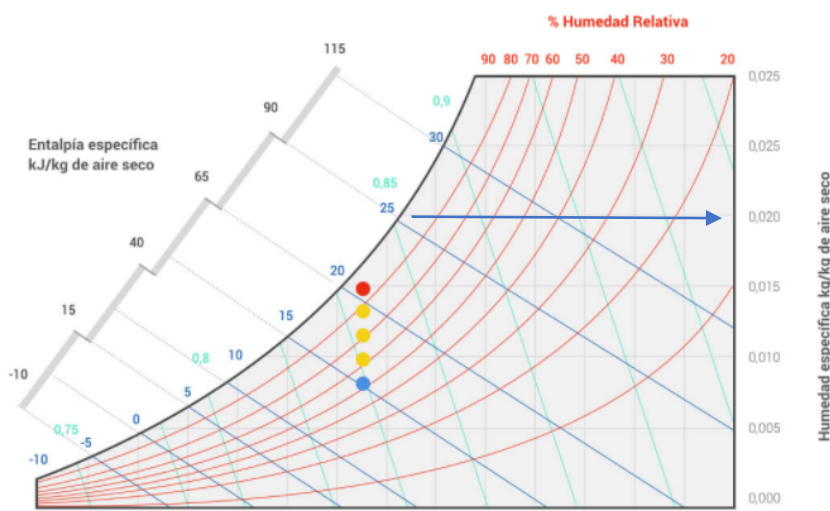


Figura 6.2: Diagrama Psicomètric.

FONT: S&P

A mode d'exemple, es mostra, en la figura 6.2, gràcies a una fletxa, com s'obté el valor de la temperatura 25°C. Es situa a la horitzontal a l'alçada de la temperatura que es vulgui obtenir la seva humitat absoluta (en aquest exemple, en la temperatura de 25°C) i es va a tallar l'eix de les abscisses, on es pot llegir el valor d'humitat absoluta. En aquest exemple, s'obté 0,020 kg aigua / kg aire sec. Per les demés temperatures, el procediment és idèntic.

Un cop les humitats absolutes ben definides, ja es pot fer servir l'equació (6.1) de Bernier per al cas de les dues piscines:

Piscina gran:

Dades:

- **A** = 416,75 m².
- **n** = 75 persones / 416,15 m².
- **We** = 0,02 (kg aigua / kg aire).
- **Ga** = 0,65 (Humitat relativa).
- **Was** = 0,0225 /kg aigua / kg aire).
- **N** = 150 persones com a màxim.

El flux màssic d'aigua evaporat en hores de funcionament queda així:

$$Me = 416,75 \text{ m}^2 \cdot \left[16 + 133 \left(\frac{75}{416,75} \right) \cdot (0,02 - 0,65 \cdot 0,0225) \right] + 0,1 \cdot 150 = 104,46 \frac{\text{kg aigua}}{\text{h}}$$

Aquest valor farà referència a les hores amb banyistes i aforament màxim.

Per les hores en respòs el valor del flux màssic d'aigua evaporat d'aigua serà:

$$Me = 416,75 [(16 + 133 \cdot 0) \cdot (0,02 - 0,65 \cdot 0,0225)] + 0,1 \cdot 0 = 35,84 \frac{\text{kg aigua}}{\text{h}}$$

Piscina petita:*Dades:*

- $A = 166,7 \text{ m}^2$
- $n = 20 \text{ persones} / 166,7 \text{ m}^2$
- $We = 0,02 \text{ (kg aigua / kg aire)}$
- $Ga = 0,65 \text{ (Humitat relativa)}$
- $Was = 0,0225 \text{ (kg aigua / kg aire)}$
- $N = 150 \text{ persones com a màxim}$

Per hores en funcionament, el flux màssic d'aigua evaporat queda:

$$Me = 166,7 \left[\left(16 + 133 \left(\frac{20}{166,7} \right) \right) \cdot (0,02 - 0,65 \cdot 0,0225) \right] + 0,1 \cdot 150 = 43,63 \text{ kg aigua/h}$$

Per les hores en respòs el valor del flux màssic d'aigua evaporat serà:

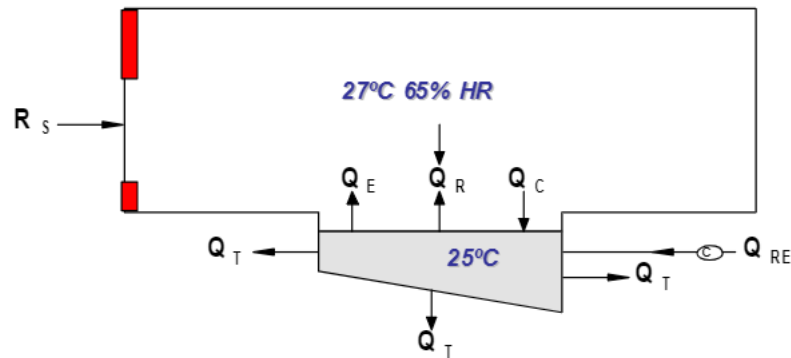
$$Me = 166,7 [(6 + 133 \cdot 0) \cdot (0,02 - 0,65 \cdot 0,0225)] + 0,1 \cdot 0 = 14,34 \frac{\text{kg aigua}}{\text{h}}$$

Amb això s'observa que és convenient que la temperatura no sigui gaire elevada i que la temperatura de l'ambient sigui més gran que la de l'aigua, degut a que com més gran sigui la temperatura de l'aigua més gran serà la humitat absoluta en saturació, el que farà que s'evapori més aigua. D'aquesta manera es pot garantir les condicions d'evaporació i de confort necessàries.

Posteriorment es realitzaran els càlculs mitjançant un software de càlcul, Sedical, que es veurà més endavant, per comparar resultats i veure si en són adients.

6.4. Pèrdues de calor de l'aigua

Uns dels factors que més influeixen en el consum tèrmic del centre es el mantenir constant la temperatura de les piscines, ja que cal compensar les pèrdues del vas de la piscina per aconseguir-ho . Les pèrdues que es troben en una piscina coberta climatitzada es poden veure a la figura



Y estas pérdidas dependen de los siguientes factores:

1. Temperatura del agua de la piscina
2. Temperatura del aire ambiente
3. Humedad del aire ambiente
4. Ocupación de la piscina
5. Características constructivas del vaso.

Figura 6.3: Pèrdues en una piscina climatitzada.

FONT: Ciatesa

On aquestes pèrdues fan referència a:

- R: Radiació de calor de diferents temperatures
- E: Evaporació de l'aigua del vas
- C: Convecció de calor entre aigua i aire
- K: Conducció de calor de l'aigua del vas
- RV: Renovació de l'aigua del vas

Si es parla en concepte de pèrdues en forma de calor hi distingim:

- **Q_r**: Pèrdues radiació
- **Q_e**: Pèrdues evaporació
- **Q_c**: Pèrdues convecció
- **Q_k**: Pèrdues conducció
- **Q_{rv}**: Pèrdues renovació

On podem veure el balanç d'energia

Totes aquestes pèrdues es veuen influenciades per diferents factors com:

1. Temperatura de l'aigua del vas
2. Temperatura de l'aire ambient interior del recinte
3. Humitat de l'aire del recinte
4. Ocupació de la piscina
5. Dimensions i característiques específiques del vas

Seguidament s'analitzaran aquestes pèrdues individualment.

6.4.1. Pèrdues per radiació de calor

Les pèrdues per radiació s'originen a causa de la diferència de temperatura entre l'aigua de la piscina i la temperatura de l'ambient interior. Les calcularem utilitzant la fórmula de Stefan-Boltzmann.

$$Q_{rad} = S_{vas} \cdot \epsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{piscina}^4 - T_t^4) \quad (6.2)$$

On:

- **S_{vas}**: Superfície de l'aigua de la piscina: 416,75 m² per a la piscina gran i 166,7 m² per a la piscina petita
- **ε_a**: Emissivitat de l'aigua: 0,95
- **σ**: Constant de Stefan-Boltzmann : 5,67x10⁻⁸ W/m²·K⁴
- **T_{piscina}** : Temperatura de l'aigua e la piscina en Kelvins: 298 K.
- **T_t** : Temperatura superficial dels tancaments en Kelvins. (serà la temperatura mitja entre el tancament interior i el tancament exterior).

Es realitzen els càlculs i es troba les següents demandes tèrmiques:

Piscina gran:

Mes	Hores/Mes	Temperatura parets (°C)/mes	Temperatures exterior (°C)/ mes	Demanda total (kW·h)
Gener	744	292,65	12	9012,90
Febrer	672	292,4	11,5	8510,34
Març	744	293,4	13,5	7778,80
Abril	720	294,9	16,5	5111,66
Maig	744	296,4	19,5	2746,91
Juny	720	298,4	23,5	-671,30
Juliol	744	299,65	26	-2879,47
Agost	744	299,65	26	-2879,47
Setembre	720	298,15	23	-251,42
Octubre	744	196,65	20	2320,63
Novembre	720	294,15	15	6324,39
Desembre	744	292,65	12	9012,90
TOTAL				44136,87

Taula 6.3: Demanda tèrmica de radiació per a la piscina gran

Piscina petita:

Mes	Hores/Mes	Temperatura parets (°C)/mes	Temperatures exterior (°C)/ mes	Demanda total (kW·h)
Gener	744	292,65	12	3605,16
Febrer	672	292,4	11,5	3404,14
Març	744	293,4	13,5	3111,52
Abril	720	294,9	16,5	2044,66
Maig	744	296,4	19,5	1098,76
Juny	720	298,4	23,5	-268,52
Juliol	744	299,65	26	-1151,79
Agost	744	299,65	26	-1151,79
Setembre	720	298,15	23	-100,57
Octubre	744	196,65	20	928,25
Novembre	720	294,15	15	2529,76
Desembre	744	292,65	12	3605,16
TOTAL				17654,74

Taula 6.4: Demanda tèrmica de radiació per a la piscina petita

S'obté una potència de pèrdues de radiació de:

$$Q_{Tot, rad} = 44.136,87 + 17.654,74 = \mathbf{61.791,61 kWh}$$

6.4.2. Pèrdues per evaporació de l'aigua del vas

En el procés d'evaporació de l'aigua del vas de la piscina s'absorbeix calor, pel que es produeix un refredament de la resta de l'aigua que no s'evapora, és a dir, disminueix la temperatura de l'aigua del vas. Per tant, com més evaporació existeixi més es refredarà l'aigua de la piscina i major seran les necessitats que es tindran alhora de compensar aquestes pèrdues.

Pel càlcul de la potència perduda en l'evaporació de l'aigua s'utilitza el calor latent de vaporització de l'aigua. Obtenint la massa d'aigua evaporada i multiplicant-la per el calor latent de vaporització s'obté l'energia que es perd. El calor de vaporització es el calor necessària per canviar de fase una certa massa m . Seguint:

$$Q_e = \dot{m} \cdot c_v \quad (7.3)$$

On:

- \dot{m} : Flux màssic d'aigua evaporada (kg/h)
- c_v : Calor latent de vaporització de l'aigua (kJ/kg)

Anteriorment s'havia calculat el flux màssic d'evaporació del aigua de la piscina, com a necessitat de deshumectació. Utilitzant aquesta dada es procedirà a calcular la massa que s'evapora diàriament, on s'ha de tenir en compte els diferents dies de la setmana ja que depenent de les hores de funcionament o de repòs s'evaporarà més o menys quantitat d'aigua.

Considerant que:

- De dilluns a divendres la piscina està en funcionament 16 hores i en repòs 8 hores.
- Dissabtes funciona 13 hores i descansa 11 hores.
- Per últim, els diumenges i festiu el centre treballa un total de 6 hores i en reposa 18 hores.

Es consideren els següents fluxos màssics per a la realització dels càlculs:

Flux màssic d'aigua evaporada (kg/h)	Piscina gran	Piscina petita
Piscina en funcionament	104,46	43,63
Piscina en repòs	35,84	14,34

Taula 6.5: Fluxos màssic (kg/h) per les dues piscines.

Per exemple si volem saber la massa evaporada d'un dia entre setmana en horari de funcionament de la piscina gran, multipliquem el flux màssic d'evaporació per les hores en que està obert y obtenim la massa total evaporada, com es pot veure:

$$104,46 \frac{kg}{h} \cdot 16 \frac{h}{dia} = 1.671,36 \frac{kg}{dia}$$

Això es realitza per a cada un dels dies de la setmana, tant per període de funcionament com de repòs, multiplicant el flux màssic corresponent a cada dia per les hores del període que li pertoca i obtenim:

Per la piscina gran

	Període de funcionament	Període de repòs
De dilluns a divendres	1.671,36 kg/dia	349,04 kg/dia
Dissabtes	1.357,98 kg/dia	479,93 kg/dia
Diumenges i festius	626,76 kg/dia	785,34 kg/dia

Taula 6.6: Flux màssic (kg/dia) per els diferents dies de la setmana, per la piscina gran

Per la piscina petita

	Període de funcionament	Període de repòs
De dilluns a divendres	573,44 kg/dia	114,72 kg/dia
Dissabtes	465,92 kg/dia	157,74 kg/dia
Diumenges i festius	215,04 kg/dia	258,12 kg/dia

Taula 6.7: Flux màssic (kg/dia) per els diferents dies de la setmana, per la piscina petita

Una vegada es té la massa que s'ha evaporat en tots els períodes existents, aplicant l'equació (6.3), del calor específic de l'aigua s'obtidran les pèrdues que representa aquesta evaporació. Sabem que el calor específic de l'aigua és de 2260 kJ/kg.

A mode d'exemple, es calcula el cas d'un dia entre setmana, en horari de funcionament de la piscina gran. Es multiplica el flux màssic d'evaporació en aquest dia per el calor latent, que és una constant, quedant la següent expressió:

$$Q_e = 1.671,36 \frac{kg}{dia} \cdot 2260 \frac{kJ}{kg} = 3.777.273,6 \frac{kJ}{dia}$$

A part, se sap que de manera general:

$$Potència (kW) = \frac{Energia \text{ kJ}}{temps(s)} \quad (6.4)$$

Per tant, s'ha de fer un factor de conversió, ja que s'obté l'energia en un dia i el temps definit com a dia no és del sistema internacional. Per tant per obtenir la potència de les pèrdues s'ha de passar els dies en segons. Aquesta conversió es fa de la següent manera.

$$3.777.273,6 \frac{kJ}{dia} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hores}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 43,72 \text{ kJ/s}$$

Per tant segons la fórmula 6.4, obtenim la següent potència de pèrdues per un dia entre setmana, en hores de funcionament i per a la piscina gran:

$$43,72 (kW) = 43,72 \frac{kJ}{temps(s)}$$

Si s'opera per les dues piscines, s'obtenen els valors, que s'exposen en les següents taules:

Per la piscina gran

Mes	Hores repòs/ Mes			Potència (kW)			Demanda total (kW·h)
	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	
Gener	152	55	126	8,61	12,55	20,54	4.295,87
Febrer	160	44	72	8,61	12,55	20,54	3.900,76
Març	184	44	72	8,61	12,55	20,54	4.314,04
Abril	160	44	108	8,61	12,55	20,54	4.147,24
Maig	160	44	126	8,61	12,55	20,54	4.270,48
Juny	176	44	72	8,61	12,55	20,54	4.176,28
Juliol	176	55	72	8,61	12,55	20,54	4.339,43
Agost	176	44	90	8,61	12,55	20,54	4.299,52
Setembre	168	33	108	8,61	12,55	20,54	4.121,85
Octubre	160	55	108	8,61	12,55	20,54	4.310,39
Novembre	168	44	90	8,61	12,55	20,54	4.161,76
Desembre	168	33	126	8,61	12,55	20,54	4.245,09
TOTAL							50.582,71

Taula 6.8: Demanda tèrmica d'evaporació en les hores de repòs per la piscina gran

Mes	Hores Funcionament/ Mes			Potència (kW)			Demanda total (kW·h)
	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	
Gener	304	65	42	43,72	35,52	16,39	16.288,06
Febrer	320	52	24	43,72	35,52	16,39	16.230,8
Març	368	52	24	43,72	35,52	16,39	18.329,36
Abril	320	52	36	43,72	35,52	16,39	16.427,48
Maig	320	52	42	43,72	35,52	16,39	16.525,82
Juny	352	52	24	43,72	35,52	16,39	17.629,84
Juliol	352	65	24	43,72	35,52	16,39	18.091,6
Agost	352	52	30	43,72	35,52	16,39	17.728,18
Setembre	336	39	36	43,72	35,52	16,39	16.665,24
Octubre	320	65	36	43,72	35,52	16,39	16.889,24
Novembre	336	52	30	43,72	35,52	16,39	17.028,66
Desembre	336	39	42	43,72	35,52	16,39	16.763,58
TOTAL							204.597,86

Taula 6.9: Demanda tèrmica d'evaporació en les hores de funcionament per la piscina gran

Per la piscina petita

Mes	Hores Repòs/ Mes			Potència (kW)			Demanda total (kW·h)
	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	
Gener	152	55	126	3	4,13	6,75	1.463,95
Febrer	160	44	72	3	4,13	6,75	1.336,76
Març	184	44	72	3	4,13	6,75	1.480,76
Abril	160	44	108	3	4,13	6,75	1.417,76
Maig	160	44	126	3	4,13	6,75	1.458,26
Juny	176	44	72	3	4,13	6,75	1.432,76
Juliol	176	55	72	3	4,13	6,75	1.486,45
Agost	176	44	90	3	4,13	6,75	1.473,26
Setembre	168	33	108	3	4,13	6,75	1.412,07
Octubre	160	55	108	3	4,13	6,75	1.471,45
Novembre	168	44	90	3	4,13	6,75	1.425,26
Desembre	168	33	126	3	4,13	6,75	1.452,57
TOTAL							17.311,31

Taula 6.10: Demanda tèrmica d'evaporació en les hores de repòs de la piscina petita

Mes	Hores Funcionament/ Mes			Potència (kW)			Demanda total (kW·h)
	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	Dilluns a Divendres	Dissabtes	Diumenges i festius	
Gener	304	65	42	15	12,19	5,62	5.588,29
Febrer	320	52	24	15	12,19	5,62	5.568,56
Març	368	52	24	15	12,19	5,62	6.288,51
Abril	320	52	36	15	12,19	5,62	5.636,06
Maig	320	52	42	15	12,19	5,62	5.669,81
Juny	352	52	24	15	12,19	5,62	6.048,53
Juliol	352	65	24	15	12,19	5,62	6.206,99
Agost	352	52	30	15	12,19	5,62	6.082,28
Setembre	336	39	36	15	12,19	5,62	5.717,57
Octubre	320	65	36	15	12,19	5,62	5.794,53
Novembre	336	52	30	15	12,19	5,62	5.842,29
Desembre	336	39	42	15	12,19	5,62	5.751,32
TOTAL							70.194,76

Taula 6.11: Demanda tèrmica d'evaporació en les hores de funcionament de la piscina petita

Obtenim una potència total de pèrdues per evaporació de:

$$Q_{Tot, renovació} = 50.582,71 + 204.597,86 + 17.311,31 + 70.194,76 = \mathbf{342.686,64 \text{ kWh}}$$

6.4.3. Pèrdues per convecció de calor

Les pèrdues de convecció, com es veurà més endavant amb la fórmula de la potència per convecció, depenen en gran part de la diferència de temperatura de l'aigua del vas i la temperatura de l'aire que hi ha a la sala. Aquesta variació, com s'ha vist en l'apartat de normativa, no pot diferir més de 4 °C, i en el nostre cas concret, difereix de 2 °C. Això vol dir que les pèrdues per convecció seran ínfimes.

Per el càlcul de la potència de convecció, es farà servir la següent fórmula de la termodinàmica:

$$Q_{conv} = S_{vas} \cdot 0,6246 \cdot (T_{H2O, vas} - T_{aire})^{\frac{4}{3}} \quad (7.5)$$

On:

- **Svas** : Superfície del vas de la piscina (variarà segons la piscina)
- **TH2O** : 25 °C, temperatura de l'aigua del vas per ambdues piscines
- **Taire** : 27 °C, temperatura aire sala per ambdues piscines

Un cop clars els diferents elements que intervenen en la fórmula, es procedeix a calcular les pèrdues per convecció per ambdues piscines:

Piscina gran:

Dades:

- $S_{vas} = 524 \text{ m}^2$
- $T_{H2O} = 25 \text{ °C}$
- $T_{aire} = 27 \text{ °C}$

Per tant, les pèrdues per conducció per a la piscina gran queden de la següent manera:

$$Q_{conv} (W) = 524 \text{ m}^2 \cdot 0,6246 \cdot (25 \text{ °C} - 27 \text{ °C})^{\frac{4}{3}} = \mathbf{824 \text{ W}}$$

Per tant, si es multiplica aquesta potència per les hores totals de cada mes, s'obtindrà la demanda tèrmica total per a la piscina gran:

Mes	Hores totals (h)	Demanda tèrmica convecció (kW·h)
Gener	744	713,056
Febrer	672	553,728
Març	744	613,056
Abril	720	593,280
Maig	744	613,056
Juny	720	593,280
Juliol	744	613,056
Agost	744	613,056
Setembre	720	593,280
Octubre	744	613,056
Novembre	720	594,280
Desembre	744	613,056
Total Piscina gran		7.218,24

Taula 6.12: Demanda tèrmica convecció per a la piscina gran

Piscina petita:

Dades:

- $S_{vas} = 131 \text{ m}^2$
- $T_{H2O} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{aire} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_{conv} = 131 \text{ m}^2 \cdot 0,6246 \cdot (25 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C})^{\frac{4}{3}} = 206,18 \text{ W}$$

Per tant, si es multiplica aquesta potència per les hores totals de cada mes, s'obtindrà la demanda tèrmica total per a la piscina petita

Mes	Hores totals (h)	Demanda tèrmica convecció (kW·h)
Gener	744	153,40
Febrer	672	138,55
Març	744	153,40
Abril	720	148,45
Maig	744	153,40
Juny	720	148,45
Juliol	744	153,40
Agost	744	153,40
Setembre	720	148,45
Octubre	744	153,40
Novembre	720	148,45
Desembre	744	153,40
Total Piscina gran		1.806,14

Taula 6.13: Demanda tèrmica convecció per a la piscina petita

D'aquí s'obté la l'energia total de pèrdues:

$$Q_{tot, convecció} = 7.218,24 + 1.806,14 = \mathbf{9.024,3768 \text{ kWh}}$$

6.4.4. Pèrdues per conducció

Les pèrdues per transmissió depenen de la superfície del tancament del vas de la piscina i del material que envolta aquesta.

Obtenim les pèrdues mitjançant la fórmula :

$$Q_{con} = S_{cont} \cdot \lambda \cdot (T_{H2O} - T_{parets}) \quad (6.6)$$

On:

- **Scont:** Es la superfície de contacte entre l'aigua el material que aïlla (formigó). Aquesta superfície es la suma de perímetres de piscines més la suma de sòl en contacte. En aquest cas: $S_{cont} = 814 \text{ m}^2$.
- λ : Coeficient de transferència del material que envolta l'aigua. Com que es formigó, aquest coeficient pren un valor de $1,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- **Tpiscina:** Temperatura de l'aigua de la piscina (25°C).
- **Tparets :** Temperatura de les parets que envolten el fluid. Sent aquesta una dada complicada de trobar amb exactitud, es decideix fer una mitja de la temperatura anual del centre, i agafar aquesta dada com a valor. Fent aquest supòsit la T_{parets} serà de $18,21^\circ\text{C}$.

$$Q_{cond} (W) = 814 \text{ m}^2 \cdot 1,50 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (25 - 18,21) ^\circ\text{C} = 8.290,59$$

$$Q_{cond} (kW) = 9,29 \text{ kW}$$

Per obtenir les pèrdues anuals es multiplica el valor de la potencia per pèrdues de conducció per les hores que té un dia, no es fa diferencia entre períodes de funcionament i de repòs, ja que es la temperatura de l'aigua de la piscina es vol sempre a 25°C i la de les parets es suposa constant.

La potència diària per pèrdues de conducció és de:

$$Q_{cond, diària} = Q_{cond} \cdot \frac{24h}{1 \text{ dia}} = 198,97 \frac{kWh}{\text{dia}}$$

Es procedeix al càlcul de la demanda anual, multiplicant la Q cond, diària per els dies de cada mes.

Mes	Dies/Mes	Qtot total conducció (kW·h)
Gener	31	6.168,07
Febrer	28	5.571,16
Març	31	6.168,07
Abril	30	5.969,1
Maig	31	6.168,07
Juny	30	5.969,1
Juliol	31	6.168,07
Agost	31	6.168,07
Setembre	30	5.969,1
Octubre	31	6.168,07
Novembre	30	5.969,1
Desembre	31	6.168,07
TOTAL		72.624,05

Taula 6.14: Demanda tèrmica total de conducció

S'obtenen unes pèrdues totals anuals per conducció de :

$$Q_{Tot, cond} = 72.624,05 \text{ kWh}$$

6.4.5. Pèrdues per renovació de l'aigua de la piscina

L'aigua de la piscina es renova en petites quantitats diàriament, a causa de la pèrdua de volum per l'evaporació de l'aigua del vas, la quantitat d'aigua que s'emporten el banyistes a la pell, etc, i per raons higièniques la normativa exigeix un mínim d'un 5% de renovació diària. Aquest factor genera una gran pèrdua de calor.

Calcularem el calor perduda mitjançant la fórmula

Aquesta aigua de renovació té una temperatura igual a la de la xarxa de canonades, la qual s'ha d'escalfar prèviament per garantir la temperatura constant de l'aigua del vas de la piscina. On la seva temperatura serà diferent cada mes, ja que es considerarà que la temperatura mitja de l'aigua de les canonades varia mensualment.

Com que la temperatura de l'aigua de les canonades és diferent cada mes, es fa una taula amb els valors que prendrà aquest diferencial de temperatura per a cada mes:

Mes	T ^a aigua canonada (T ^a cano)	T ^a aigua piscina (T ^a pisc)	T ^a pisc-T ^a cano
Gener	9	25	16
Febrer	10	25	15
Març	11	25	14
Abril	12	25	13
Maig	14	25	11
Juny	17	25	8
Juliol	19	25	6
Agost	19	25	6
Setembre	17	25	8
Octubre	15	25	10
Novembre	12	25	13
Desembre	10	25	15

Taula 6.15: Temperatura piscina – Temperatura canonada, per a cada mes

Per calcular les pèrdues per renovació de l'aigua, s'utilitza la següent fórmula:

$$Q_r \left(\frac{kJ}{h} \right) = V_{ren} \cdot \rho_{ren} \cdot CH_{2O} \cdot (T_{piscina} - T_{canonada}) \quad (6.7)$$

On:

- **Vren:** Volum de renovació del aigua de la piscina. Aquesta dada la trobarem multiplicant el % de volum renovació establert per la normativa vigent (5%) pel volum de la piscina. En el nostre cas, la piscina gran té un volum de 612,3 m³ i la piscina petita té 200,04 m³. Es suposa que el volum de renovació serà el mínim establert per la normativa aplicable, per tant el volum de renovació serà el 5% del volum total d'aigua de les piscines: $V_{ren} = 0,05 \cdot (612,3 + 200,04) = 40,617 \text{ m}^3$
- **ρren:** Densitat de l'aigua (1000 kg/m³)
- **Ch_{2O}:** Calor específic de l'aigua 4,186 kJ / kg·°C
- **T_{piscina}:** Temperatura de l'aigua de la piscina (25°C)
- **T_{canonades}:** Temperatura de l'aigua de les canonades (°C)

Les pèrdues per renovació variaran mensualment ja que la temperatura de l'aigua de la xarxa de canonades és diferent cada mes.

Aplicant la fórmula 6.7, tomant per exemple el mes de gener, s'obtenen unes pèrdues de:

$$Q_{ren}(kJ) = 40,617 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,186 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (25 - 9) ^\circ C = 2.720.364,19 \text{ kJ}$$

Dividint l'energia entre les hores diàries (24h), obtenim la potència diària en el mes de gener:

$$Q_{ren} \left(\frac{kJ}{h} \right) = 2.720.364,19 \frac{kJ}{24h} = 113.348,51 \frac{kJ}{h}$$

Si es fa el factor de conversió d'hores a segons, s'obindrà la potència en kW ja que la magnitud kJ/s i kW són equivalents.:

$$Q_{ren} (kW) = 113.348,51 \frac{kJ}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 31,49 \text{ kW}$$

Multiplicant les hores totals de cada mes s'obté la demanda mensual.

En aquest cas es considera que la piscina està renovant l'aigua durant tot el dia (24 hores), per això no hi fem distinció entre períodes (funcionament o repòs) ja que l'única variable que fluctua és la temperatura de l'aigua de les canonades, la qual només varia mes a mes.

Dividint la potència entre les hores totals que té un dia, obtenim les pèrdues per renovació diàries.

Per tant, aplicant la fórmula 6.7 pels diferents mesos de l'any obtenim:

Mes	Hores/Mes	Q ren (kW)	Demanda tèrmica total (kW·h)
Gener	744	31,49	23.425,36
Febrer	672	29,52	19.835,99
Març	744	27,55	20.497,19
Abril	720	25,58	18.419,13
Maig	744	21,65	16.104,93
Juny	720	15,74	11.334,85
Juliol	744	11,81	8.784,51
Agost	744	11,81	8.784,51
Setembre	720	15,74	11.334,85
Octubre	744	19,68	14.640,85
Novembre	720	25,58	18.419,13
Desembre	744	29,52	21.961,27
TOTAL			193.542,58

Taula 6.16: Demanda tèrmica de renovació de l'aigua de la piscina

S'obté finalment unes pèrdues totals per renovació de l'aigua del vas de:

$$Q_{\text{totsl, renovació}} = 193.542,58 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

6.4.6. Potència de posada en marxa

Un cop la piscina ja està omplerta per l'aigua de la xarxa, s'ha d'avaluar l'esforç calorífic que es necessita per a escalfar l'aigua del vas a la temperatura desitjada. En el nostre cas, es considera que es realitza la posada en marxa una vegada a l'any, concretament, en el mes de gener. Destacar que per a la obtenció d'aquesta potència, es farà ús de les dues piscines conjuntes. Per conèixer aquesta potència, es farà en primer lloc servir la següent equació:

$$Q_{pm}(W) = V \cdot \rho_{ren} \cdot CH_{2O} \cdot \frac{T_{piscina} - T_{canonada}}{t_{pm}} \quad (6.8)$$

On:

- **V:** 612 + 200,04= 812,04 m³ (Volum de la piscina gran i petita, respectivament)
- **ppm:** Densitat de l'aigua (1000 kg/m³)
- **Ch₂₀:** Calor específic de l'aigua 4,186 kJ / kg·°C
- **T_{piscina}:** Temperatura de l'aigua de la piscina (25°C)
- **T_{canonada}:** Temperatura de l'aigua de les canonades (°C)
- **t_{pm}:** Temps de posada en marxa (96 hores)

Un cop clars els elements que apareixen en la fórmula, es passa a calcular l'energia per hora per a la posa en marxa, per a les dues piscines a la vegada:

$$Q_{pm}(kW) = 812,04 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \frac{(25 - 9) ^\circ\text{C}}{96\text{h}} = 566505,33 \text{ kJ/h}$$

Un cop se sap l'energia que es fa servir per hora de cara a la posada en marxa (és a dir la potència), es fa el canvi de conversió, per passar a kJ/s, que al ser del sistema internacional, passa a ser directament potència en kW:

$$Q_{pm} (kW) = 566.505,33 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = 157,3 \text{ kW}$$

Si es consideren 96 hores de posada en marxa, s'obtindrà doncs una demanda per la posada en marxa de:

$$\text{Demanda de posada en marxa} = 157,3 \text{ kW} \cdot 96 \text{ h} = \mathbf{15.100,8 \text{ kWh}}$$

6.4.7. Acondicionament de l'aire de l'interior de la piscina

Es considera que per mantenir les necessitats òptimes d'aire dins de la piscina s'hauran de cobrir unes certes pèrdues per la climatització d'aquesta, ja que es té que mantenir la temperatura del recinte i les necessitats d'humectació.

Es realitzaran uns càlculs simplificats per tenir una noció de l'abast que poden tenir les pèrdues generades per l'aire del recinte.

Pèrdues per conducció de l'aire amb les parets.

El contacte entre l'aire del local i les parets que envolten el recinte, genera un seguit de pèrdues per conducció. Mitjançant l'equació de transferència de calor per conducció:

$$Q_{cond\ aire} = K \cdot S \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (6.9)$$

On:

- K: coeficient de conductivitat tèrmica de les parets del recinte ($W/m^2 \cdot K$)
- S: Superfície de les parets (m^2)
- T_{int} : Temperatura interior de les parets del recinte ($^{\circ}C$)
- T_{ext} : Temperatura exterior de les parets ($^{\circ}C$)

Per simplificar els càlculs es decideixen fer generalitats, tals com:

1. El coeficient de conductivitat tèrmica és el mateix per a totes les parets del recinte. Que serà el coeficient del formigó, amb valor de $K = 1,50 W/m^2 \cdot ^{\circ}C$.
2. Per abreviar els càlculs, es pren la mitja de les superfícies de les façanes del recinte com a superfície de les parets. La mitja de les superfícies de de les quatre parets pren un valor de $S = 1.300 m^2$.
3. T interior serà sempre $27 ^{\circ}C$.
4. T exterior prendrà el valor mig que li correspon mensualment.

Amb aquestes consideracions, per exemple pel mes de gener, aplicant l'equació (6.9) obtenim:

$$Q_{cond\ aire} (W) = 1,50 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 1.300 m^2 \cdot (27 - 12) ^{\circ}C = 29.250 W$$

Que correspon a una potència en kW de:

$$Q_{cond\ aire\ (kW)} = 29.250\ W \cdot 1 \frac{kW}{1000\ W} = 29,25\ kW$$

Multiplicant la potència per les hores totals de funcionament del centre obtenim el valor energètic:

$$Q(kWh) = 35,1\ kW \cdot 744h = 21.762\ kWh$$

Aplicant aquesta equació (6.9) mensualment obtenim:

Mes	Hores totals/ Mes	Temperatura mitja aire exterior	Potència (kW)	Demanda energètica (kW·h)
Gener	744	12	29,25	21762
Febrer	672	11,5	30,23	20.311,2
Març	744	13,5	26,33	19.585,8
Abril	720	16,5	20,48	14.742
Maig	744	19,5	14,63	10.881
Juny	720	23,5	6,83	4.914
Juliol	744	26	1,95	14.50,8
Agost	744	26	1,95	14.50,8
Setembre	720	23	7,8	5.616
Octubre	744	20	13,65	10.155,6
Novembre	720	15	23,4	16.848
Desembre	744	12	29,25	21.762
TOTAL				149.479,2

Taula 6.17: Demanda energètica de l'aire de l'interior de la piscina

S'obté per tant:

Demanda energètica de l'aire de l'interior de la piscina = **149.479,2 kWh**

Ara es procedirà a calcular les pèrdues per ventilació del aire, i junt amb aquestes obtindrem les pèrdues totals generades per mantenir la qualitat òptima del aire climatitzat de les piscines.

Pèrdues per ventilació de l'aire.

Per a assegurar que l'aire compleix les condicions òptimes establertes, la ventilació del recinte es la que s'encarrega de fer recircular i renovar l'aire, introduint aire de l'exterior i fent sortir aire de l'interior. Això generarà pèrdues ja que l'aire que s'introdueix no està en les condicions adequades, per tant el procés per dur aquest aire a les condicions idònies generarà pèrdues.

Aquestes pèrdues les podem calcular mitjançant la fórmula:

$$Q_{\text{reno aire}} (W) = Q_p \cdot \rho_a \cdot C_{e, \text{aire}} \cdot N \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (6.10)$$

On:

- **Qp:** Caudal de renovació de l'aire per persona establert per la normativa UNE- 100.011.91 indica un mínim d'aire de renovació de 15 l/s per persona.
- **pa:** Densitat de l'aire: 1,2 kg/m³
- **Ce, aire:** Calor específic de l'aire: 1010 J/ kg·K
- **N:** Nombre de persones totals dins del recinte.
- **Tint:** Temperatura de l'aire interior del recinte: 27°C
- **Text:** Temperatura de l'aire exterior del recinte: Variarà mensualment (°C).

Aplicant l'equació (7.10), per el mes de gener, s'obté:

$$Q_{\text{reno aire}} (W) = 15 \frac{l}{s \cdot \text{persona}} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1010 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (27 - 12) ^\circ C \cdot 150 \text{ pers} = 40.905 W$$

Que correspon a una potència en kW de:

$$Q_{\text{reno aire}} = 40.905 W \cdot \frac{1 kW}{1000 W} = 40,91 kW$$

Es considera que l'aire només es renova durant les hores de funcionament del centre.

Multiplicant la potència per les hores totals de funcionament del centre obtenim el valor energètic.

$$Q \text{ (kWh)} = 40,91 \text{ kW} \cdot 411 \text{ h} = 16.814,01 \text{ kWh}$$

Aplicant aquesta equació (6.10) mensualment s'obté:

Mes	Hores totals/ Mes	Temperatura mitja aire exterior (°C)	Potència (kW)	Demanda energètica (kW·h)
Gener	411	12	40,91	16.811,96
Febrer	396	11,5	42,27	16.738,33
Març	444	13,5	36,81	16.345,64
Abril	408	16,5	28,63	11.682,47
Maig	414	19,5	20,45	8.467,34
Juny	428	23,5	9,54	4.085,05
Juliol	441	26	2,73	1.202,61
Agost	434	26	2,73	11.83,52
Setembre	411	23	10,91	4.483,19
Octubre	421	20	19,09	8.036,47
Novembre	418	15	32,72	13.678,63
Desembre	417	12	40,91	17.057,39
TOTAL				119.772,57

Taula 6-18: Demanda energètica de la ventilació de l'aire

S'obté per tant una demanda energètica per ventilació de l'aire de:

$$\text{Demanda energètica per ventilació de l'aire} = 119.772,57 \text{ kWh}$$

6.5. Demanda d'energia elèctrica del centre

En aquest cas no va ser necessari realitzar cap càlcul ja que el centre ens va facilitar la dada del consum d'energia elèctrica anual que va tenir el centre l'any anterior, el qual es va utilitzar com a base.

Aquest consum energètic va ser de:

$$Q_{elect} = 792.344 \text{ kWh}$$

7. Càlcul de l'aigua calenta sanitària (ACS)

L'aigua calenta sanitària, o més ben coneguda com ACS, és aigua destinada a consum humà (potable) que ha estat escalfada. S'utilitza per a usos sanitaris (banys, dutxes, etc.) i per a altres usos de neteja.

Per obtenir la potència necessària en el nostre centre per l'obtenció de ACS, es fa servir la fórmula de transferència de calor:

$$Q \text{ (kW)} = m \cdot cp \cdot (T_{ut} - T_{canonada}) \quad (7.1)$$

En primer lloc, per obtenir el valor del flux màssic, tenim en compte els valors exigits en el "Código Técnico de la Edificación". Específicament, ens centrem en l'apartat de ("Salubritad").

D'aquí, obtindrem els caudals necessaris tant per a les dutxes i els lavabos de que disposa el nostre local. En la següent taula, extreta de la web anteriorment mencionada, podem veure els diferents valors de caudals d'ACS per a diferents instal·lacions:

Tabla 2.1 Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinaris con grifo temporizado	0,15	-
Urinaris con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Caudales mínimos instantáneos de suministro

La tabla 2.1 recoge los caudales mínimos admisibles, por lo que pueden emplearse caudales mayores de diseño si se considera oportuno.

En el dimensionado, deberán tenerse en cuenta los coeficientes de simultaneidad.

Taula 7.1: valors dels caudals segons els aparells

Només ens interessa els caudals d'ACS de les dutxes i dels lavabos, que son els següents:

- Dutxa: 0,10 dm³/s
- Rentamans: 0,03 dm³/s

En el nostre centre tenim:

- 26 dutxes
- 6 Rentamans

Per obtenir el flux màssic, s'obté el flux volumètric de l'aigua multiplicant els caudals establerts per cada tipus d'instal·lació multiplicats per el nombre d'instal·lacions existents.

D'aquesta manera i realitzant el càlcul obtenim:

$$\text{Flux volumètric total} = 0,10 \cdot 26 + 0,065 \cdot 6 = 2,78 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \quad (7.2)$$

Com que el fluid d'estudi es aigua, es sap que la densitat d'aquest és 1000 kg/m³. Per tant a partir del flux volumètric podem obtenir el flux màssic multiplicant-lo per la densitat del líquid i obtenim :

$$2,86 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{1 \text{ m}^3} = 2,78 \text{ kg}$$

Aquest càlcul s'ha fet sabent els caudals tant de les dutxes com dels lavabos i sabent el nombre de cada instal·lació en el nostre centre, podem obtenir el flux màssic d'aigua:

El valor de $T_{ut} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ és un valor fix i correspon a la temperatura d'utilització d'ACS, que s'aconsella que estigui entre $40 \text{ }^\circ\text{C}$ i $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

El valor de la T^a_c dependrà del mes en el que estem ja que correspon a la temperatura d'entrada (en la taula de la secció anterior s'han definit per cada mes de l'any). Segons l'estació de l'any, aquest valor serà més o menys gran. És important destacar que aquesta temperatura mai podrà ser superior a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ per a la prevenció de la Legionel·la.

Un cop aclarit com funciona la fórmula i els termes que hi apareixen, fem el càlcul per a cada mes i un cop obtingut el valor de la potència en kW, ho multipliquem per les hores total al mes i obtenim d'aquesta manera la demanda total tèrmica per a cada mes de l'any.

A mode d'exemple, realitzem el càlcul pel cas del mes de gener:

$$Q \text{ (kW)} = 2,78 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,168 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot (40 - 9) \text{ }^\circ\text{C} = 359,20 \text{ kW}$$

Si es multiplica aquest valor per les hores totals en el mes de gener obtenim una demanda tèrmica de:

$$DT = 359,20 \cdot 411 = 147.631,2 \text{ kWh}$$

Es realitza aquest càlcul iterativament per a la resta de dels mesos de l'any i en la següent taula es mostra els resultats obtinguts:

Mes	Hores totals/Mes	Potència ACS (kW)	Demanda Tèrmica ACS (kW·h)
Gener	411	359,20	147.631,2
Febrer	396	347,61	137.653,56
Març	444	336,02	149.192,88
Abril	408	324,44	132.371,52
Maig	414	301,26	124.721,64
Juny	428	266,50	114.062
Juliol	441	243,33	107.308,53
Agost	434	243,33	105.605,22
Setembre	411	266,50	109.531,5
Octubre	421	289,68	121.955,28
Novembre	418	324,44	135.615,92
Desembre	417	347,61	144.953,37
Total			1.530.602,62

Taula 7.2: Demanda total d'ACS

S'obté per tant una demanda en forma d'energia d'ACS de:

$$Q_{Tot, ACS} = 1.530.602,62 \text{ kW·h}$$

8. Definició del sistema de cogeneració

Una vegada es té el consum tèrmic, elèctric que té el centre anualment, es necessita escollir quin tipus de cogeneració és el més adient per al nostre estudi. Aquesta elecció ve donada per un seguit de factors com poden ser la potència elèctrica que produeix el sistema, la potència tèrmica, la relació electricitat/calor, etc.

Es realitza una taula de característiques (taula 8.1), on es comparen les possibles tecnologies segons un seguit de factors:

	Turbina de vapor	Turbina de gas (cicle simple)	Motor alternatiu
ηelèctric	30-42%	25-40%	25-45%
Rang Potències (MW)	—	3-200	0,15 - 5
Cost instal·lació (€/kW·h)	0.004	0,002-0,008	0.007-0,015
Temps d'arrencada	1 hora - 1 dia	10 min - 1 hora	10 segons
Combustible	Tots	Gas natural, biogàs, propà, olis destil·lats	Gas natural, propà, biogàs
Nivell Sonor	Moderat i/o poc elevat.	Elevat	Moderat
NOx (kg/MW·h)	0,82	0,14-1,82	1-12, 7
Utilització del calor recuperat	Vapor, BP	Calor directe, ACS, vapor BP-AP	ACS, vapor, BP
Temperatura de aprofitament (°C)	—	260-595	150-260

Taula 8.1: Taula de característiques de les dues turbines (gas i vapor) i el motor de combustió

Font: Review of Combined Heat and Power Technologies

Altres factors que també influeixen en la l'elecció del tipus de sistema són per exemple considerar d'aprofitar la instal·lació disponible del centre, com és la del gas natural, la qual es podria aprofitar si es combinés amb un sistema que funcionés amb motor alternatiu, per compensar un menor rendiment tèrmic.

També és molt important tenir en compte el cost de la inversió que es realitzarà. Es volen reduir el màxim possible els costos, i en el cas del nostre estudi, la potència requerida per la planta no supera els 4 MW, per tant es parla d'una planta petita. En termes d'inversió, s'ha de vigilar quin sistema s'escull.

Principalment es descarta el sistema de turbina de vapor per presentar un cost instal·lació molt més elevat que la resta i pitjors rendiments tèrmics.

El sistema amb motor alternatiu i el de turbina de gas, aquests dos sistemes, tenen un rendiment més elevat que la resta, això permet una major flexibilitat de funcionament, cosa que els permet respondre de manera pràcticament immediata a les variacions de potència, sense crear un gran consum específic del motor.

Conceptualment, el sistema amb turbina de gas és molt similar al del motor alternatiu, però existeixen diferències importants. Amb els motors alternatius s'obtenen rendiments elèctrics més elevats però, d'altra banda, amb una major dificultat d'aprofitament de l'energia tèrmica, ja que posseeix un nivell tèrmic molt inferior, i a més es troba més repartida (gasos de fuga i circuits de refrigeració del motor). En canvi un sistema amb turbina de gas té un rendiment elèctric inferior però amb un rendiment tèrmic superior amb una fàcil recuperació del calor, concentrada en els gasos de fuga.

Es realitza una taula per veure l'aprofitament que realitzen els dos sistemes del combustible que se'ls hi subministra:

	Turbina de gas	Motor alternatiu
Electricitat	28-42%	38-45%
Gasos calents	58-72%	25-30%
Aigua calenta a 90°C	0%	15-20%
Aigua calenta a 45°C	0%	15-20%

Taula 8.2: Percentatge de combustible per la turbina de gas i motor alternatiu

FONT: CogenSpain, 2011

Es veu clarament com el motor alternatiu té un rendiment genèric molt més elevat que la turbina de gas.

La turbina de gas no és del tot una bona decisió en el nostre cas, perquè la demanda tèrmica del centre no és constant durant l'any, cosa que fa reduir molt la rendibilitat d'aquesta, ja que les turbines no treballen bé si no hi són a plena càrrega, cosa que fa que es descarti davant el motor alternatiu, el qual s'adapta bé als canvis en la demanda tèrmica.

Per eficiència, rendibilitat, cost moderat i rang de potències adient al nostre estudi, finalment es decideix escollir el motor alternatiu.

Els seus avantatges més rellevants són:

- L'eficiència elèctrica és elevada, superior a la que es pot obtenir amb altres tecnologies, tenint rendiments entre el 40-47% (general).
- Gran varietat de combustibles que poden utilitzar.
- Tecnologia molt provada i fiable.
- Bones eficiències a càrrega parcial i flexibilitat de funcionament, permetent respondre de forma gairebé instantània a les fluctuacions de la potència sense augmentar pràcticament el consum específic.
- Elevada relació electricitat/calor.
- Energia tèrmica molt distribuïda i a temperatura més baixa (400 °C).
- Arrencada fàcil i temps de vida llarg: instal·lacions amb parada diària.
- Poc volum i inversió baixa en equips auxiliars.
- Cost d'adquisició relativament baixos.
- Capacitat d'adaptació a variacions de la demanda.

Els seus inconvenients en canvi són:

- Necessiten sistema de refrigeració, encara que no s'aprofiti la calor residual
- Cost elevat per potència instal·lada i de manteniment
- Forces internes no equilibrades, que requereixen bancades robustes i aïllants
- Problemes de sorolls



Figura 8.3: Motor de combustió interna

FONT: Soldim

9. Definició del sistema de cogeneració

9.1. Objectiu de la planta de cogeneració

L'objectiu fonamental de la instal·lació d'aquesta planta de cogeneració és optimitzar els recursos disponibles per a satisfer les necessitats energètiques de manera més eficient, i aprofitant l'energia tèrmica procedent dels gasos d'escapament i del circuit de refrigeració del motor, s'abastirà pràcticament la totalitat de la demanda tèrmica del centre, ja sigui en forma d'aigua calenta per a la calefacció de les piscines climatitzades, calefacció de la resta del centre o el proveïment de l'aigua calenta sanitària (ACS).

Com el centre té una demanda tèrmica molt elevada, per assegurar-se de que el sistema cobreixi la demanda tèrmica, es deixarà una caldera o potser, dependent de la potència del motor escollit, es deixarien les dues.

Amb la introducció de la planta de cogeneració es desitja complir uns objectius bàsics tals com:

- Disminuir els costos energètics gràcies a l'alta eficiència energètica dels sistemes de cogeneració. Gran eficiència ja que obté energia elèctrica i calorífica simultàniament. També obtenir-ne benefici, si fos possible, gràcies a la venda d'energia elèctrica sobrant a la xarxa general.
- Minimitzar les emissions a l'atmosfera de gasos d'efecte hivernacle mitjançant alimentació per gas natural.

9.2. Descripció i característiques de la planta

Una vegada es té escollit el tipus de sistema de cogeneració, motor alternatiu, s'ha d'escollir el tipus de combustible que alimentarà el generador de la nostra planta, aquest serà un combustible fòssil. Per començar és farà l'elecció de la font d'energia primària que alimentarà la nostra planta. Se sap que els motors de combustió interna funcionen amb quatre tipus de combustibles:

1. Gas natural
2. Propà
3. Biogàs
4. Gasoil

Abans de pensar en fer una petita comparació d'aquests tipus de combustible, s'ha de tenir en compte quin tipus de combustible s'utilitza actualment i considerar utilitza el mateix, per no tenir que fer una altra instal·lació. En el nostre cas el centre esportiu utilitza gas natural per alimentar les seves calderes.

Un altre factor a considerar a l'hora d'escollir el combustible també serà el compliment d'un dels principals objectius del projecte, reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Com que es volen minimitzar les emissions de gasos de efecte hivernacle, es descarten totes les opcions menys el gas natural, que presenta una combustió més neta i per tant una menor contaminació, a més d'estar exempts de sofres els productes de la combustió, per la qual cosa no produeix accions corrosives en els equips que componen el sistema de cogeneració. D'altra banda, els motors de gas natural presenten una major vida útil i un menor manteniment que els motors a gasoil.

Altres avantatges que ofereix el gas natural són:

- Rendiment de combustió elevat
- No requereix preparació prèvia ni necessita ser manejat.
- Subministrament fiable
- No ocasiona problemes en equips (motors, TG, calderes...), al no contenir components corrosius com el sofre
- A Espanya hi ha bona xarxa global de gas natural. Té una gran infraestructura a nivell nacional

Per aquesta raó s'utilitzarà el gas natural com a matèria prima del nostre motor-generador.

La planta constarà de:

- Un grup motor-generador de gas natural
- Un sistema de refrigeració del circuit de baixa temperatura del motor sobre la base d'un refrigerador.
- Un sistema de refrigeració del circuit d'alta temperatura del motor sobre la base d'un recuperador de calor de plaques aigua/aigua, per a l'aprofitament de l'energia tèrmica en forma d'aigua calenta, en sèrie amb aquest un aereorefrigerador per a la refrigeració d'emergència del circuit quan no existeixi demanda suficient de calor en el complex esportiu i centre social.
- Un recuperador de calor dels gasos de fuga per a la producció d'aigua calenta, que aprofita l'energia tèrmica dels gasos de fuga a la sortida del motor i abans de l'evacuació a l'atmosfera.
- Tots els sistemes i equips accessoris necessaris per al correcte funcionament de la planta de cogeneració.

A continuació es descriuran els components que intervindran en la planta.

9.3. Motor-Generador

La selecció del motor té que ajustar-se a les condicions de demanda elèctrica que té el centre i, intentar abastir parcial o totalment la demanda tèrmica del centre. Per començar cal recordar les demandes energètiques del centre:

Demanda Tèrmica total (kW·h)	Demanda Elèctrica total (kW·h)
2.494.630,207	792.344

Taula 9.1: Demandes tèrmiques y elèctriques

S'observa com la demanda tèrmica és elevada i l'elèctrica també, per tant s'ha de buscar un generador que tingui potència necessària per abastir aquestes dues demandes.

El consum energètic total s'obté de la suma de les dues demandes, tèrmica i elèctrica, el qual ascendeix a 3.286.974,207 kWh.

Per saber quin generador s'ha d'escollir, es vol saber la potència mínima que ha de tenir un generador per abastir el nostre consum.

Si dividim la demanda tèrmica total anual per les hores que té un any, obtindrem la potència requerida pel centre.

$$Pot\ requerida(kW) = \frac{3.286.974\ kWh}{(365 \cdot 24)h} = 375,23\ kW \quad (9.1)$$

Si es vol abastir la totalitat de la demanda elèctrica, s'ha de imposar un rendiment mínim elèctric que ha de tenir el generador, per abastir la totalitat de la demanda elèctrica. Aquest rendiment anirà fluctuant depenent de la potència total del generador.

Multiplicant la potència mínima requerida pel rendiment mínim requerit (és el que es vol trobar) hauríem d'obtenir la demanda elèctrica total.

Partint d'aquest càlcul, es sap que el nostre generador hauria de tenir una potència mínima de 375,23 kW. Amb això es pot saber que quant més gran sigui la potència, menys rendiment elèctric es necessita.

A l'hora de trobar el motor més adient, s'haurà de fer un càlcul similar a la inversa, trobant si amb la potència nominal que ofereix i el rendiment elèctric de la placa de característics, aconseguix abastir la demanda desitjada

9.4. Descripció del motor escollit

Tenint en compte les consideracions esmentades en la secció anterior, s'ha decidit escollir el següent motor-generador de combustió interna, tipus dièsel: "Caterpillar G3516B CHL" de gas natural. En la taula 10-2, es mostren les principals característiques a destacar d'aquest conjunt motor-generador.

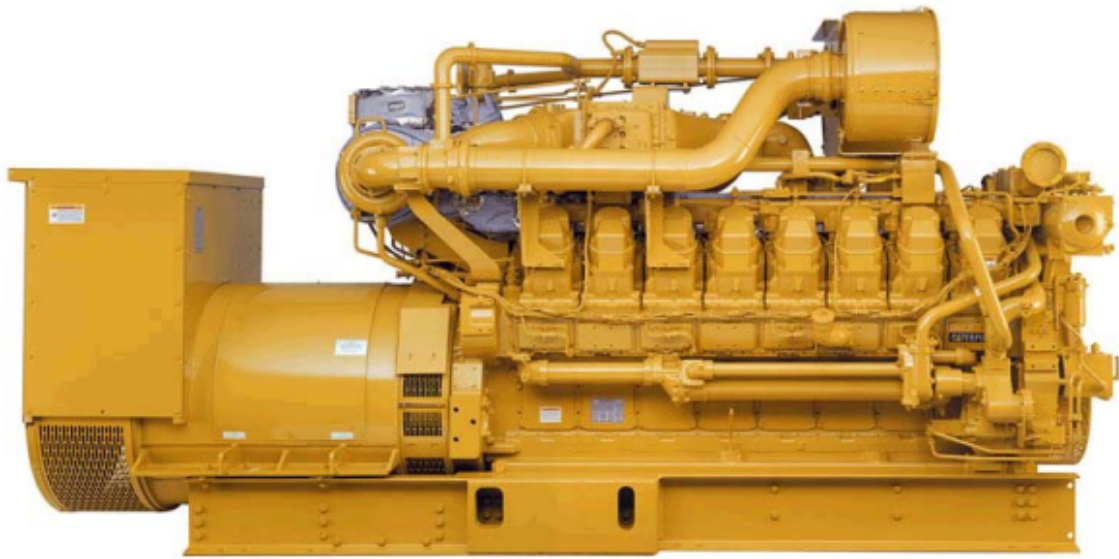


Figura 9.1: Motor escollit de combustió interna

FONT: Fitxa tècnica de Caterpillar G3516B CHL

Dades tècniques

Potència nominal	kW	1030
Velocitat del motor	rpm	1500
Tensió nominal	V	400
Freqüència	Hz	50
Combustible		Gas natural
Relació de compressió		11,7 : 1
Tª sortida aigua de camises	°C	92
PCI GAS	MJ/ Nm3	38,2
Tª ATM	°C	25
RTO Alternador	cosφ=1	97,4
Rendiment del Motor	%	39
Rendiment Elèctric	%	38
Rendiment Tèrmic (Nominal)	%	49,5
Rendiment Total (Nominal)	%	85,8
Llargada	mm	4.906
Amplada	mm	2.091
Alçada	mm	2.350
Voltatge d'arrencada	Vcc	24
Pes amb oli i refrigerant	kg	14.000
CONSUM DE COMBUSTIBLE (ISO 3046/1)	MJ/kW·h	9,23

Caudal volumètric d'aire (0°C,101,3kPa)	Nm ³ /kW·h	4,54
Caudal màssic d'aire	kPa	220
Temperatura d'escapament	°C	542
Caudal volumètric gasos escapament (0°C,101,3kPa)	MJ/kW·h	4,81
Caudal màssic gasos escapament	Nm ³ /kW·h	6,08
Emissions NOx	mg/Nm ³	500
Emissions CO	mg/Nm ³	1156
Emissions O2	%	9,3
Emissions LAMBDA	%	1,8
Pot. Tèrmica aiga camises	kW	392
Pot. Tèrmica oli	kW	75
Pot. Tèrmica escapament (PCI a 25°C)	kW	1017
Pot. Tèrmica escapament (PCI a 120°C)	kW	861
Radiació del motor	kW	109

Taula 9.2: Principals paràmetres de la màquina de combustió escollida

FONT: Fitxa tècnica de Caterpillar G3516B CHL

9.4.1. Alternador

Com en tot motor de combustió, hi ha associat un alternador que està connectat al gir del motor a través d'una corretja. D'aquesta manera, l'alternador pot girar a la velocitat de gir del mateix motor. Al girar, es genera corrent alterna en el seu interior, el que permet subministrar corrent als seus diferents sistemes electrònics, així com poder-se recarregar.

Les principals característiques del nostre alternador son les següents:

Diferents paràmetres	Unitats	Valors
Potència nominal amb $\cos(\varphi) = 1$	kW	1030 kW
Rendiment amb $\cos(\varphi) = 1$	%	97,4
Revolucions per minut	rpm	1.500

Taula 9.3: Principals paràmetres de l'alternador

FONT: Fitxa tècnica de Caterpillar G3516B CHL

Aquestes son les principals característiques de l'alternador.

A més, les revolucions per minut a les quals girarà l'alternador per a obtenir energia elèctrica serà les del motor ja que està connectat al gir d'aquest, com s'ha especificat anteriorment.

Per entendre millor el que és el factor de potència, es fa una petita explicació a continuació:

El factor de potència en una instal·lació elèctrica (en aquest cas el generador), que està alimentada per una corrent alterna, es defineix com el quocient entre la potència activa P (és a dir la potència útil que es dissipa) i la potència aparent S (és la suma de la potència que es dissipa més la potència de camps o reactiva Q, tant elèctrics com magnètics). Aquesta última potència Q, no genera cap treball útil, per tant no es consumeix.

En altres paraules:

$$S(kVa) = P(kW) + Q(kVar) \quad (9.2)$$

9.4.2. Sistema d'arrencada

El sistema d'arrencada del motor és un motor elèctric que la seva missió és la posada en marxa del motor de combustió.

En el nostre cas, aquest sistema està compost per 2 motors d'arrencada de 24 Vcc (en corrent contínua).

Per subministrar aquesta tensió, disposa d'un joc de 4 bateries d'arrencada amb suport i cables.

9.4.3. Sistema de lubricació

El sistema de lubricació és essencial en qualsevol motor ja que ajuda a evitar friccions entre les superfícies dels components del motor i per tant evita el seu desgastament prematur.

L'oli lubricant és aspirat per la bomba d'oli a través d'una campana de succió des del càrter.

Després del seu pas per la bomba, l'oli lubricant és refredat en un intercanviador aigua/oli. D'aquí, entra en el filtre d'oli per a la seva purificació.

L'oli entra en el bloc a través d'unes galeries en les quals existeixen vàlvules de prioritat, per a assegurar la lubricació dels turbocompressors en l'arrencada. La lubricació dels cilindres es duu a terme mitjançant uns injectors, que a través de la ranura del cercol de compressió lubrica les parets de les camises.

Per a mantenir constant el nivell d'oli en el càrter durant el funcionament del grup es disposa d'un regulador de nivell amb un dispositiu de boia d'accionament per gravetat.

Els principals elements d'aquest sistema son els següents:

- Filtre d'oli: impedir el pas de possibles impureses en el sistema de lubricació
- Refredador d'oli: Radiador petit per refrigerar la lubricació.
- Càrter d'oli amb vàlvula de drenatge manual i vàlvules de seguretat en cas d'explosió: El càrter és l'encarregat de contenir i protegir l'oli de l'exterior.
- Respirador del càrter (en la part superior): Permet l'entrada de l'aire en el sistema de ventilació del càrter.
- Regulador del nivell d'oli: Serveix per regular el nivell d'oli, amb un senyal de baix nivell.
- Vareta de nivell d'oli: Normalment amb dues marques, a diferents nivells de la vareta per identificar el nivell d'oli.
- Oli lubricant per el primer ompliment.

9.4.4. Sistema de refrigeració

Aquest sistema està format per dos circuits diferents. El primer és el circuit d'alta temperatura (AT) i el segon és el circuit de baixa temperatura (BT).

A continuació, es presentaran els diferents elements presents a cada circuit:

Circuit d'alta temperatura (AT):

En aquest circuit s'inclouen els circuits d'aigua de camises, d'oli i la primera etapa post refredador.

Els principals elements són els citats a continuació:

- Vàlvula termostàtica a la sortida del circuit: Permet ajustar la temperatura de manera automàtica segons la temperatura de l'ambient.
- Connexions flexibles a la entrada i la sortida del circuit i en by-pass.
- Anticongelant i anticorrosiu pel primer ompliment del circuit: el primer ompliment sol ser el més crític.
- Resistències de calefacció de l'aigua de refrigeració, amb vàlvules d'aïllament amb control intern. També s'inclou bomba de circulació.
-

Circuit de baixa temperatura (BT):

Aquest circuit inclou la segona etapa del postrefredament aigua-aire. Com en l'altre circuit, inclou connexions flexibles a l'entrada i la sortida del circuit.

9.4.4.1. Refrigeració del circuit d'alta temperatura

Al circuit de camises i oli de lubricació entra el refrigerant, constituït per aigua i anticongelant, a través d'una bomba, aquest es dirigeix a l'interior del bloc on refrigera les camises dels cilindres, el motor i l'oli.

La sortida del motor es realitza mitjançant una caixa de termòstats, on deriven el refrigerant a l'aspiració de la bomba o ho envien a l'equip format per un bescanviador de calor de plaques per a l'aprofitament d'ACS o calefacció.

9.4.4.2. Refrigeració del circuit de baixa temperatura

El refrigerant entra al sistema a través d'una bomba centrífuga, d'on s'envia directament a un bescanviador de calor per a refrigerar l'aire d'admissió procedent de turbocompressor. El refrigerant escalfat es dirigeix a una vàlvula termostàtica que connecta l'aigua a l'aspiració de la bomba en cas de baixa temperatura del refrigerant.

La pressió del sistema i en l'aspiració de la bomba es manté gràcies a la disposició d'un tanc d'expansió.

9.4.4.3. Refrigeració del motor-generator

La refrigeració del motor-generator ve donada per un ventilador incorporat dins del propi motor (exactament al rotor). Aquest s'encarrega de fer entrar i sortir aire per a la refrigeració d'aquest.

9.4.5. Sistema d'entrada d'aire

A través dels filtres d'aire entra al motor l'aire d'admissió. Incorpora un indicador de l'estat del filtre, que indica el moment en que s'han de canviar aquests, mitjançant una mesura de pressió diferencial abans i després del filtre. Després de passar pel filtre, l'aire entra al turbocompressor, que és alimentat pels gasos d'escapament, on passa al post-refrigerador d'aire on es refrigera amb aigua, així s'assegura una entrada idònia als cilindres.

El sistema està format per:

- 2 filtres d'aire modulars de tipus sec, amb tambor autocentrable d'alt rendiment de filtrat. Incorporen carcassa metàl·lica d'allotjament.
- Indicador de servei per a canvi de filtre.
- Turbocompressors

9.4.6. Sistema de combustible

El sistema de combustible està format per:

Rampa de gas

Aquesta rampa es la que permet aportar el cabal de gas necessari perquè el motor pugui desenvolupar la potència requerida.

Estarà formada pels següents components :

- Brides d'entrada i sortida
- Vàlvula de bola d'accionament manual
- Filtre amb vàlvula de purga
- 3 manòmetres amb vàlvula polsadora
- Doble electrovàlvula de 24 Vcc, d'obertura lenta
- Vàlvula de control d'estanqueïtat de 24 Vcc
- Pressòstats de màxima i mínima pressió

Compensador de dilatacions d'entrada de gas al motor

Regula el caudal de gas igualant la pressió d'alimentació a la de l'aire d'admissió. Regulador de diafragma amb compensació de pressió interna i externa.

Sistema TECJET de control del caudal de combustible

Regula el caudal de gas igualant la pressió d'alimentació a la de l'aire d'admissió. Esta format per un regulador de diafragma amb compensació de pressió interna i externa

9.5. Potència Motor-Generador

Un cop vist els principals elements del conjunt motor-generador, ara s'analitzarà l'abast energètic disponible que pot presentar.

En primer lloc es veurà l'energia total que pot subministrar aquesta màquina durant un any de funcionament. Com es pot veure en la taula X on es mostren els diferents paràmetres del motor, la seva potència nominal és de 1030 kW.

Per veure l'energia total que pot subministrar al llarg de l'any només tenim que multiplicar la potencia que té la màquina per les hores totals que té un any.

$$1030 \text{ kW} \cdot 365 \text{ dies} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{1 \text{ dia}} = 9.022.800 \text{ kWh} \quad (10.2)$$

Si comparem aquest resultat, energia total que pot produir la màquina (9.022.800 kW·h), amb la demanda energètica del centre (4.286.974,207 kW·h) , es veu com la màquina produiria molta més energia de la que es demandarà si estigués treballant diàriament.

Considerant que no tota l'energia produïda serà útil, ja que cada motor té un rendiment que limita la seva potència a causa de les pèrdues com sobreescalfaments o per efecte Joule, s'ha de diferenciar el rendiment elèctric i tèrmic a l'hora de afirmar si la màquina serà capaç d'abastir el consum energètic tant tèrmic com elèctric.

Rendiment elèctric

En el cas d'aquest motor, el seu rendiment elèctric és del 38%. Aquest rendiment fa referència al percentatge d'energia total que es transforma en energia elèctrica.

Així doncs per conèixer l'energia elèctrica total que podria subministra al centre durant un any, s'ha de multiplicar l'energia total produïda per la màquina en un any per el rendiment elèctric:

$$Q_{elec\ tot\ anual} = 9.022.800\ kWh \cdot 0,28 = 3.428.664\ kWh \quad (9.3)$$

Per tant, si comparem aquesta energia elèctrica que ens pot subministrar aquest motor amb la demanda elèctrica del centre, que és de 1.792.344 kW·h en un any, es veu que es pot obtenir gairebé el doble d'energia elèctrica. Aquesta energia restant s'intentarà vendre a la xarxa elèctrica.

Rendiment tèrmic

D'altra banda si s'analitza la demanda tèrmica, s'haurà de fer de igual manera.

En el nostre centre, s'obté una demanda tèrmica de 2.494.630,207 kW·h l'any i el generador té un rendiment tèrmic del 49,5%.

Primer es calcula quanta energia tèrmica es podrà produir en un any, multiplicant l'energia produïda total pel rendiment tèrmic que presenta la màquina:

$$Q_{term\ total\ anual} = 9.022.800\ kWh \cdot 0,495 = 4.466.286\ kWh \quad (9.4)$$

S'observa clarament com aquest motor cobreix la totalitat i més, com en el cas de l'energia elèctrica, la demanda tèrmica en un any del centre.

Aquesta energia tèrmica, s'obtindrà a través de la refrigeració, de l'oli i dels gasos d'escapament.

Per tant, donada la magnitud de la producció d'energia tèrmica, es rebutjarà l'opció de mantenir les calderes existents, ja que la màquina té una producció d'energia tèrmica molt elevada en comparació amb la demanda del centre.

9.6. Aprofitament de l'energia tèrmica del motor

Les dues vies en les que el sistema de cogeneració aprofita l'energia tèrmica són:

Gasos d'escapament del motor

Els gasos de fuita del motor, una vegada passada la vàlvula de bypass es dirigeixen a l'equip de recuperació format per un economitzador (caldera de recuperació) d'aigua calenta.

Per a la obtenció del cabal màssic d'aquests gasos, s'utilitzarà la dada que es proporciona en el document on es descriu el motor. En aquest cas, el cabal màssic de gasos d'escapament és de $Q_{esc} = 6,08 \text{ kg/kW}\cdot\text{h}$. Aquest cabal màssic està donat per unitat d'energia, per tant, per a obtenir kg/h, s'haurà de multiplicar per la potència nominal del motor. A continuació, es mostra el càlcul:

$$Q_{esc} = 6,08 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \cdot 1030 \text{ kW} = 6262,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (9.5)$$

El motor produeix 6262,4 kg/h de gas a una temperatura màxima de 542 °C Aquesta energia disponible en els fums és aprofitada per una caldera de recuperació d'aigua calenta.

Circuit de refrigeració del motor

L'energia aprofitada en el circuit de refrigeració del motor prové de:

- De la refrigeració de la camisa dels cilindres.
- Del circuit de refrigeració de l'oli de lubricació.
- De la refrigeració del post refrigerador.

La planta de cogeneració utilitzarà aquesta energia disponible per a la producció d'aigua calenta per al centre esportiu.

L'energia que es pot aprofitar d'aquest motor segons la fitxa tècnica d'aquest és:

Potència disponible :	kW
Refrigeració de l'oli	75
Refrigeració aigua de camises	392
Post refredaments	170
Gasos escapament	861

Taula 9.4: Potències de refrigeració disponibles

FONT: Fitxa tècnica de Caterpillar G3516B CHL

9.7. Circuits de recuperació

L'energia tèrmica continguda en els gasos de fuga i en els circuits de refrigeració del motor s'aprofitarà durant tot el temps de funcionament del motor per a produir ACS.

El sistema de recuperació que utilitzarà la planta de cogeneració consistirà en dos circuits independents, un circuit tancat d'aigua per a la producció d'ACS i un altre per si existeix demanda de vapor.

Aquesta calor recuperada es cedirà mitjançant bescanviadors de calors al circuit d'aigua del centre. La idea és aprofitar l'energia tèrmica del circuit de refrigeració d'alta temperatura del motor mitjançant un bescanviador de plaques, amb el qual augmentar la temperatura de l'aigua de la xarxa de canonades (aigua freda) fins a una temperatura intermitja de 45°C.

S'anomenarà etapa 1 a l'escalfament de l'aigua de la xarxa amb el circuit de refrigeració del motor. Tot seguit, depenent de les necessitats tèrmiques del centre, aquesta aigua es cedirà al circuit del centre per el consum de dutxes o aixetes, o es dirigirà a la caldera de recuperació d'aprofitament dels gasos d'escapament del motor, per pujar la temperatura d'aquesta aigua fins a 95°C on s'enviarà directament al circuit del centre per el consum de demandes tèrmiques més elevades.

9.7.1. Aprofitament del calor del circuit de refrigeració

Del circuit de refrigeració d'aigua de camises s'aprofitarà la calor mitjançant la implantació d'un intercanviador de plaques aigua/aigua, el qual recollirà la calor de refrigeració del circuit d'alta temperatura del motor i la cedirà per a la posterior producció aigua calenta que serà utilitzada tant per ACS com per calefacció.

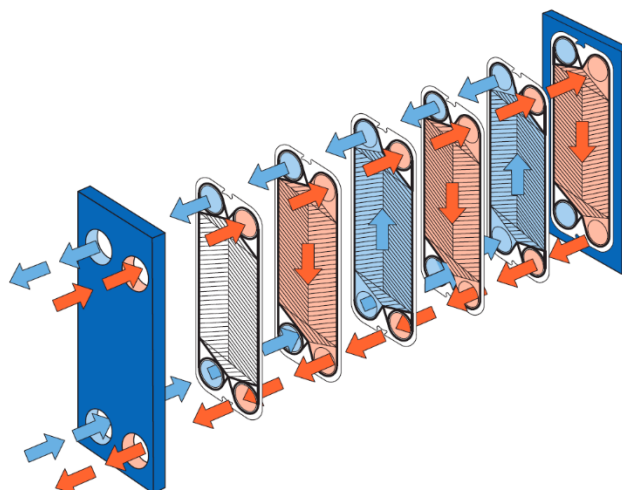
Del circuit de refrigeració del motor es pot obtenir energia de tres vies diferents:

- L'aigua de les camises
- L'oli de refrigeració
- Post refredador (aire)

S'estudiarà la calor recuperada per l'aigua de camises i per l'oli de refrigeració, amb els quals s'obtindrà calor suficient per augmentar la temperatura de l'aigua de la xarxa fins a la temperatura desitjada.

La primera etapa d'escalfament consistirà en escalfar l'aigua de la xarxa de canonades, la qual entrarà a diferents temperatures depenent de l'època de l'any, a través de l'aigua de camises, que surt del motor a uns 92°C.

El principi de funcionament d'un intercanviador de plaques aigua/aigua es mostra en la figura 9.2.



Principio de funcionamiento de un intercambiador de placas

Figura 9.2. Esquema de funcionament d'un intercanviador de plaques aigua/aigua

FONT: Tecnigrado

Per a la realització d'aquest intercanvi calorífic es necessita un intercanviador de plaques aigua/aigua. S'implanta el intercanviador de plaques AstralPool Waterheat Evo, construït especialment per aplicacions aigua/aigua i refrigeració d'oli.

Les principals característiques de l'intercanviador de plaques són:

Temperatura aigua entrada motor °C	45,5
Temperatura aigua sortida motor °C	92
Temperatura entrada intercanviador de plaques °C	Variable mensualment
Temperatura sortida intercanviador de plaques °C	45
Potència tèrmica intercanviador kW	392

Taula 9.5: Principals paràmetres intercanviador plaques aigua/aigua escollit

FONT: Poolaria

Aquest mètode és aplicable pel reaprofitament de la calor obtinguda en la refrigeració de l'oli de lubricació, el qual es considera que surt juntament amb l'aigua de les camises, aportant un valor calorífic de 75 kW.

En resum, s'aprofiten uns 392 kW de la refrigeració del motor.

9.7.2. Circuit d'escapament de gasos

Per a la recuperació de l'energia tèrmica dels gasos d'escapament a la sortida del motor, s'instal·la una caldera de recuperació per a la generació d'aigua calenta, de la marca Ygnis

Aquesta caldera de recuperació funciona seguint el principi dels tubs de gasos. Els gasos d'escapament es condueixen a través dels haz tubulars que transmeten la calor a l'aigua que circula per la caldera. En els recuperadors de gasos, l'aigua flueix a través de l'interior dels tubs i els gasos flueixen al voltant dels mateixos dins de la carcassa del recuperador.

Els gasos d'escapament del motor són enviats a la caldera de recuperació per on hi circula aigua de la xarxa ja escalfada, és a dir, l'aigua sortint de l'intercanviador. Aquesta aigua es escalfada pels

gasos, que es troben a 542°C, fins a una temperatura que oscil·li entre els 90-99°C, el màxim possible.

L'aigua sortint de la caldera de recuperació s'utilitza per abastir la demanda tèrmica del centre, per calefacció, producció d'ACS , etc.

Una vegada els gasos han cedit la calor en l'intercanviador, son alliberats a l'atmosfera a uns 120 °C mitjançant una xemeneia o extractor de fums.

Característiques tècniques bàsiques de la caldera de recuperació:

Potència tèrmica (kW)	756 kW
Temperatura mínima entrada gasos	220 °C
Temperatura sortida gasos (°C)	120 °C

Taula 9.6: Principals característiques de la caldera de recuperació escollida

FONT: ygnis

Ja que se sap la temperatura de sortida de l'aigua de camises (aquesta serà la temperatura de sortida del intercanviador de plaques aigua/aigua) s'intenta que els dos circuits obtinguin la mateixa temperatura de sortida.

S'escull el model de caldera de recuperació de 756 kW, suficient per abastir la demanda d'aigua calenta del centre amb la temperatura de l'aigua desitjada.

Es pot veure el model en la figura 9.3.



Figura 9.3: Caldera de recuperació escollida de 756 kW

FONT: ygnis

Les característiques principals del model escollit són:

Calor recuperat (kW)	756
Caudal volumètric de gasos (Nm ³ /h)	4,54
Caudal màssic de gasos (kg/h)	5,87
T ^a d'entrada dels gasos (°C)	542
T ^a de sortida dels gasos (°C)	120
Pressió de disseny (bar)	12
Caudal d'aigua (m ³ /h)	45
T ^a d'entrada de l'aigua (°C)	Variable mensualment
T ^a de sortida del aigua (°C)	92

Taula 9.7: Característiques principals caldera de recuperació escollida

FONT: ygnis

Cal remarcar que no sempre s'utilitzarà el 100% de la potència disponible de la caldera de recuperació, aquesta variarà segons la demanda tèrmica del centre.

En els mesos d'hivern, s'utilitza un valor més elevat de potència que en els mesos d'estiu.

Finalment, aquesta aigua que s'obtingui a una temperatura de 92 °C serà l'aigua calenta sanitària que farà servir el centre.

Amb aquesta caldera de recuperació el que es vol abastir es gran part de la demanda tèrmica del centre,

Aquesta és només una part de la demanda tèrmica que es pot aprofitar de la màquina de combustió. L'altre s'explica a continuació, és l'aigua escalfada durant el procés de refrigeració del motor.

Considerant la potència recuperada per la refrigeració del circuit d'alta temperatura (aigua de camises) i l'aprofitament dels gasos d'escapament, la potència tèrmica obtinguda es suficient per abastir la demanda tèrmica del centre.

La potència màxima que es pot aprofitar segons la fitxa tècnica del motor dels gasos d'escapament és de 861 kW, amb la caldera de recuperació s'aprofitarà el 87,8%.

9.8. Consideracions de les sales de màquines

Per a un funcionament segur de les màquines, s'han de regular diferents paràmetres tals com:

Ventilació sala del motor

Per a la ventilació de la sala del motor i l'admissió d'aire de combustió del motor s'estudia la instal·lació de dos ventiladors, el càlcul dels quals es realitza segons la fórmula recollida en el RITE, I.T.1.3.4.1.2.7. Aniran instal·lats a l'interior de la sala del motor, en la zona superior i apuntant al motor:

$$Q = 20 \cdot A + 2 \cdot P \quad (9.6)$$

On:

- **Q:** caudal en m³/h
- **A:** superfície sala de màquines en m²
- **P:** Potència calorífica nominal en kW

II·luminació de la sala de màquines

2.15. Centrales de energía eléctrica					
2.15.1.	Planta de suministro de combustible	50	---	20	Se deben reconocer los colores de seguridad
2.15.2.	Alojamiento de caldera	100	28	40	
2.15.3.	Salas de máquinas	200	25	80	Para grandes alturas véase 4.6.2.
2.15.4.	Salas laterales, p. ej., salas de bombas, salas de condensadores, etc.; cuadros de control (dentro de edificios)	200	25	60	
2.15.5.	Salas de control	500	16	80	1. Los paneles de control están a menudo en vertical 2. Puede requerirse regulación de flujo luminoso 3. Para trabajo en EPV véase el apartado 4.11
2.15.6.	Aparatos de conmutación exterior	20	---	20	Se deben reconocer los colores de seguridad

Figura 9.4: Valors de llum sala de màquines

FONT: Enkalux

La il·luminació de qualsevol sala és vital per tenir un correcte funcionament de les activitats que es desitgin dur a terme. S'ha de tenir per tant una il·luminació ideal, adaptada a la activitat que es realitzi. És per això, que existeixen diferents lleis que regulen els mínims de llum requerida per diferents activitats. Concretament, la norma europea UNE 12464.1, que es centra en la il·luminació en els interiors, té com a objectiu el compliment dels nivells de llum, avaluats a nivell de confort visual com al rendiment dels colors.

Si s'observa la taula 9.4, es veu el mínim de LUX requerits en una sala de màquines, que és de 200 lux. Els lux és un quantitat d'il·luminació que té la següent equivalència:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$$

A més, també s'observa que el factor de URGL ha de ser de 25. Aquest valor indica l'índex d'enlluernament unificat. Aquest valor té un rang entre 10 i 30. En aquest tipus d'instal·lacions, el valor és de 25, sent un enlluernament important.

Finalment, el factor de RA, que és l'índex de rendiment cromàtic, ha de ser de 80.

El màxim valor de RA és de 100 i indica el potencial d'una font lluminosa de reproduir els colors dels objectes que estan il·luminats en comparació amb una font que sigui ideal, és a dir d'un cos negre.

Sistema anti-incendis

A la sala de màquines s'instal·larà un sistema de detecció de fums/gasos. Amb això es pretén prevenir possibles incendis i/o combustions no desitjades amb els gasos.

S'instal·larà un detector de gas per cada 25 m² de superfície sempre a la bora del generador a gas. Aquest detector de fugues han de detectar una possible fuga abans de que el nivell de gasos sigui superior al 50% del límit explosiu del combustible. Tenen com a funció activar el sistema de tall de subministrament i activar el sistema d'extracció de gasos.

S'estudia la implantació d'extintors a la sala de màquines per poder solventar petites incidències si n'hi hagués un incendi.

Nivell acústic a les sales de màquines

La sala de màquines on està el motor-generador ha de seguir la Normativa Bàsica de l'Edificació NBE-CA-88 sobre contaminació acústica en els edificis i l'ordenança municipal mediambiental reguladora de l'emissió i recepció de sorolls i vibracions i de l'exercici de les activitats sotmeses a llicència Aprovació 9/6/97.

El nivell sonor permès és de :

- 60 dB de 8.00h - 22.00 h
- 50 dB de 22.00h - 8.00 h

El soroll provinent de la nostra planta ve de:

1. Soroll mecànic del motor.
2. Soroll provinent del sistema de recuperació d'energia tèrmica.
3. Soroll de fuites provinents del motor.
4. Soroll dels sistemes de ventilació.
5. Soroll dels elements de refrigeració.

10. Funcionament de la planta de cogeneració

10.1. Període de funcionament

La nostra planta funcionarà les 24 hores del dia , els 7 dies de la setmana però a diferents càrregues. Durant les hores de funcionament, és a dir, quan el centre estigui obert segons l'horari establert, estarà a màxima càrrega. D'altra banda, en les hores en que el centre estigui tancat, el que en aquest treball s'anomena hores en repòs, es considera que treballarà al 10 % de càrrega.

A més, també s'han de tenir en compte les hores de manteniment.

Es considera que tots els diumenges de cada mes, es realitza un manteniment de la planta de cogeneració. El centre obra durant 8 hores els diumenges, per tant està 16 hores en repòs. D'aquestes 16 hores, 10 hores les utilitzarà per a fer el manteniment.

Això vol dir que durant 480 hores al any, la planta de cogeneració no estarà produint energia tèrmica ni elèctrica.

En aquests períodes on la planta no estigui operativa, la demanda tèrmica serà abastida per una de les calderes que es deixen de la instal·lació anterior del centre i la demanda elèctrica es farà mitjançant la compra d'energia elèctrica a la xarxa general.

És difícil saber quina serà la demanda d'energia elèctrica en kW del centre en aquests períodes ja que es desconeixen els kW exactes que consumeix el centre en aquestes hores, considerant que romana tancat sempre que la màquina està en període de manteniment.

Sabem que un any té 8.760 hores (24h x 365 dies), per tant, la planta de cogeneració estarà en funcionament durant :

$$8.760h - (40 \cdot 12h) = 8.280 \frac{h}{any} \quad (10.1)$$

D'aquestes hores en funcionament, una part està a màxima càrrega i una part al 10% de la càrrega. A continuació, es mostra la taula 11-1, on es veuen les hores per a cada cas:

Mes	Hores de càrrega al 100%/mes	Hores de càrrega al 10%/mes	Hores manteniment/mes
Gener	411	293	40
Febrer	396	236	40
Març	444	260	40
Abril	408	272	40
Maig	414	290	40
Juny	428	252	40
Juliol	441	263	40
Agost	434	270	40
Setembre	411	269	40
Octubre	421	283	40
Novembre	418	262	40
Desembre	417	287	40

Taula 10.1: càlcul de les diferents hores de funcionament del motor

La planta de cogeneració estarà, doncs, en funcionament un 94,5% del temps en un any.

D'aquest percentatge en funcionament tenim el 60,9% de les hores treballant a màxima càrrega i el 39,1% al 10% de la càrrega.

Concretament estarà 8.280 hores en funcionament, de les quals 5.043 estarà al 100% de la càrrega i 3.237 al 10% de la càrrega.

11. Cobertura de la demanda energètica del centre.

Balanç energètic

Prèviament cal recordar les demandes energètiques del centre, aquestes eren:

Demanda Tèrmica	Demanda Elèctrica
2.494.630,207	792.344

Taula 11.1: Demandes tèrmiques i elèctriques

FONT: Centre esportiu (Demanda Elèctrica)

Tot seguit s'ha d'avaluar la potència tèrmica i elèctrica que pot subministrar la planta de cogeneració, segons les hores de funcionament de les que es disposen.

Cal tenir en compte les següents consideracions:

- El rendiment elèctric del motor és del 38%
- El rendiment tèrmic del motor és del 49,5%
- Es recuperen un màxim de 756 kW + 392 kW = 1148 kW de potència tèrmica.
- La planta està a màxima càrrega 5.043 hores.
- La planta funciona a mínima càrrega 3.237 hores.
- La potència nominal del generador es de 1030 kW.
- En les hores de manteniment no es requereix cap tipus d'energia.

Es procedeix al càlcul de la producció d'energia elèctrica i tèrmica anual que produirà la planta de cogeneració, tenint en compte les consideracions anteriorment descrites.

Pel que fa a la producció d'energia elèctrica, aquesta es calcula multiplicant la potència nominal elèctrica de la màquina pel seu rendiment elèctric i per les hores en que funciona aquesta.

Com que el motor treballa en càrregues diferents, es diferenciaren els dos tipus de franges horàries.

Per tant, l'energia elèctrica produïda al quan el motor treballa al 100% de càrrega és igual :

$$1020 \text{ kW} \cdot 0,38 \cdot 5043 \text{ h} = 1.973.832 \text{ kWh}$$

D'altra banda , l'energia elèctrica produïda al quan el motor treballa al mínim de càrrega establert , és igual :

$$1030 \text{ kW} \cdot 0,38 \cdot 3237 \text{ h} \cdot 0,1 = 126.696,2 \text{ kWh}$$

Així veiem com la planta de cogeneració produeix un total anual de 2.100.526,4 kW·h anuals.

Pel que fa a l'energia tèrmica es calcula multiplicant la potència tèrmica recuperada per les hores de funcionament , en les diferents franges de càrrega, pel rendiment tèrmic que conté.

Energia tèrmica produïda al màxim de càrrega:

$$1148 \text{ kW} \cdot 5043 \text{ h} \cdot 0,495 = 2.865.735,2 \text{ kWh}$$

En el cas de treballar al mínim de càrrega:

$$1148 \text{ kW} \cdot 3237 \text{ h} \cdot 0,495 \cdot 0,2 = 183.945,76 \text{ kWh}$$

Pel que fa un total de 3.049.680,9 kWh anuals d'energia tèrmica.

En la taula 11.2 s'indica el percentatge d'energia abastida en relació a l'energia elèctrica.

Demanda elèctrica total (kW·h)	Energia elèctrica produïda anual (kW·h)	Percentatge abastiment (%)
792.344	2.100.526,4	265,10 %

Taula 11.2: Percentatge d'abastiment d'energia elèctrica

Així mateix amb l'energia tèrmica, trobem en la taula 11.3 el percentatge d'abastiment tèrmic.

Demanda tèrmica total (kW·h)	Energia tèrmica produïda anual (kW·h)	Percentatge abastiment (%)
2.494.630,207	3.049.680,9	122,25 %

Taula 11.2: Percentatge d'abastiment d'energia tèrmica

S'observa com la planta de cogeneració abasteix tant la demanda tèrmica com la demanda elèctrica del centre, presentant així excedents tant tèrmics com elèctrics.

Es té un excedent elevat de potència tèrmica perquè es considera que la planta de cogeneració segueix funcionant durant els períodes de repòs, és a dir, la planta de cogeneració només fa les parades obligatòries per manteniment y sempre abasteix la demanda tant en període de funcionament del centre com en períodes de repòs.

En el cas dels excedents elèctrics es vendran a la xarxa elèctrica municipal.

11.1. Consum de matèries primes

La única matèria prima que consumeix la planta de cogeneració es el gas natural que crema dins del motor-generador de combustió.

Per trobar el consum anual de gas natural el qual té la màquina, es realitza una taula (Taula 12.4) on es calcula la demanda mensual de gas natural que té el centre.

Segons les especificacions del motor-generador utilitzat, la màquina té un consum de combustible de 9,23 MJ/kW·h.

Es pot trobar el consum mensual de gas natural multiplicant el consum de gas de la màquina per les hores de consum de la màquina i la potència que subministra la màquina per a la producció d'energia elèctrica. Quedant, per exemple, en el mes de gener:

$$9,23 \frac{MJ}{kWh} \cdot 1030 kW \cdot \frac{1h}{3600s} \cdot \frac{1000kJ}{1MJ} = 2.640,6 \frac{kJ}{s} = 1.307,2 kW$$

Es diferencien les hores depenent segons :

Si la màquina treballi a màxima càrrega (100%):

$$2.640,8 \text{ kW} \cdot 411 \text{ hores} = 1.085.368,8 \text{ kWh}$$

En el cas de que la màquina treballés a mínima càrrega (10%):

$$2.640,8 \text{ kW} \cdot 0,1 \cdot 293 = 77.375,4 \text{ kWh}$$

Per tant, l'energia de combustible en el mes de gener serà de:

$$1.085.368,8 \text{ kWh} + 77.375,4 \text{ kWh} = 1.162.744,2 \text{ kWh}$$

Es representa en la taula 11.4 el consum de gas natural anual distribuït mes a mes.

Mes	Consum gas natural (kW·h)
Gener	1.162.744,2
Febrer	1.108.079,68
Març	1.241.176
Abril	1.149.276,16
Maig	1.169.874,4
Juny	1.196.810,56
Juliol	1.234.045,84
Agost	1.217.408,8
Setembre	1.156.406,32
Octubre	1.186.511,44
Novembre	1.173.043,36
Desembre	1.177.004,56
TOTAL	14.172.381,36

Taula 11.3: Consum de gas natural total

12. Característiques generals de les plantes cogeneradores

12.1. Normativa associada a les plantes de cogeneració

Després d'haver analitzat els diferents elements i necessitats tèrmiques de la nostra planta de cogeneració, s'ha de verificar que compleixi amb la normativa vigent. Aquesta normativa està continguda en el "Real Decreto" 661/2007 del 25 de maig, on es regula la l'energia elèctrica que es produeix en règim especial.

Per complir amb aquesta normativa, es defineix un rendiment en l'annex I d'aquest mateix "Real Decreto" que la nostra planta ha de complir per a justificar les necessitats de calor útils que s'utilitzen en la nostra instal·lació.

12.2. Rendiment elèctric equivalent (REE)

La normativa vigent, el Reial Decret 661/2007, obliga a les instal·lacions a complir un valor mínim de Rendiment Elèctric Equivalent per a poder ser inscrites com a instal·lacions d'alta eficiència i poder acollir-se a la venda d'energia elèctrica produïda en "Règim Especial", és a dir, vendre energia elèctrica de manera regulada.

En el cas de motors que funcionen amb gas natural, el valor mínim establert és del 55%, no obstant, si la potencia instal·lada és inferior a 1 MW, haurà de ser superior al 49,5%.

El REE (Rendiment Elèctric Equivalent) mesura l'eficiència d'una instal·lació i es defineix com:

$$REE = \frac{E}{Q_{Ref} - \frac{V}{H}} \quad (12.1)$$

On:

- Q : Consum d'energia primària, mesurat pel poder calorífic inferior dels combustibles utilitzats.
- V : Producció de calor útil o energia tèrmica útil.
- E : Energia elèctrica generada mesurada en bornes de l'alternador i expressada com energia tèrmica. 1kWh = 860 kcal.
- Ref H : Valor de referència del rendiment per a la producció per separat de calor que apareix publicat en l'annex II de la "Decisión de la Comisión " del 21 de desembre del 2006, per el que s'estableixen valors de referència harmonitzats per a la producció per separat de l'electricitat i de calor, de conformitat amb la Directiva 2004/8/CE del Parlament Europeu.

Per al càlcul del rendiment elèctric equivalent, es comptabilitzaran que els paràmetres Q,V i E durant un període ininterromput de dues hores de funcionament a carga nominal.

S'agafen els valors teòrics anuals per a la realització del càlcul del REE, quedant el valor de cada paràmetre com:

Consum d'energia primària (Q)	14.172.381,36
Energia elèctrica generada (E)	3.428.664
Producció de calor útil (V)	7.682.220
Valor de referència	0,9

Taula 12.1: Valors que apareixen en el REE

Si usem l'equació (12.1) amb els valors de la taula 13-1, s'obté un REE de:

$$REE = \left(\frac{3.428.664}{14.172.381,36} - \frac{1.628.220}{0,9} \right) \cdot 100 = 60,8 \%$$

El REE de la nostra planta és superior al mínim establert, per la qual cosa, compleix amb la Normativa.

En la fórmula utilitzada pel càlcul del REE s'agafen dades calculades prèviament que fan referència a:

- **Consum d'energia primària anual (Q):** és la potència primària consumida pel motor, multiplicada per les hores de funcionament de la Planta de Cogeneració.

- **Calor útil aportada al procés(V):** correspon a l'energia tèrmica teòrica que pot subministrar la màquina (per a la calefacció, ACS i climatització de piscines):
Vist això, la instal·lació pot adoptar l'estatut d'unitat cogeneradora.

13. Viabilitat econòmica

13.1. Introducció

Un cop analitzat les potències tant tèrmiques com elèctriques que la nostra planta de cogeneració és capaç de subministrar, ara toca analitzar si la nostra planta de cogeneració és viable o no, és a dir, s'analitzarà l'abast econòmic de la implantació de la planta de cogeneració i es compararà amb el cost actual d'una instal·lació de calderes a gas convencionals.

Com ja es va comentar a l'inici de l'estudi, la inversió inicial de instal·lació d'una planta de cogeneració, és molt elevada, el que provoca que l'anàlisi econòmic tingui una gran rellevància. Per sort però, el seu funcionament suposa un important estalvi econòmic.

Per tant, s'haurà de tenir en compte els costos que es tenen per a la instal·lació de la cogeneració i els ingressos que ens suposen. D'aquesta manera podrem veure si generem beneficis o al contrari, es perden diners. Aquest anàlisi es realitzarà tenint en compte els diferents paràmetres econòmics que es detallaran més endavant.

Per portar a terme aquest estudi, es tindran en compte els diferents factors que influeixen en els costos i ingressos de la instal·lació de la planta de cogeneració. Aquests factors es detallen a continuació:

1. La inversió inicial de la instal·lació de la planta de cogeneració.
2. Les despeses en combustible per a la producció d'energia tèrmica i elèctrica, en el nostre cas gas natural.
3. El preu de venda de l'excedent d'energia elèctrica, segons el "*Real Decreto*" 661/2007.
4. Preu de venda de l'energia tèrmica que es produeixi.
5. Les despeses en assegurances de la nostra planta i en manteniment.

13.2. Anàlisi de la rendibilitat

13.2.1. Consideracions bàsiques

S'utilitzen les eines comunes per als càlcul de rendibilitats econòmiques, aquestes són:

Valor actual net (VAN): Calcula el valor actual net present d'una inversió a partir d'una taxa de descompte k , de la inversió realitzada i dels fluxos de caixa. Expressat mitjançant la fórmula :

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (13.1)$$

On cada variable fa referència a:

- F_t : flux de caixa
- I_0 : Inversió inicial
- k : taxa de descompte

Per a realitzar l'anàlisi de rendibilitats es defineixen diferents paràmetres necessaris per a la resolució de l'anàlisi.

- Inversió: L'estudi d'inversió es realitzarà per a 10 anys.
- Actualització d'ingressos i despeses: Actualitzarem tot segons el valor de l'IPC.

13.2.2.

13.2.3. Inversió i ingressos de la cogeneració

La inversió inicial que s'ha de realitzar, essent a la suma de la compra de tots els components necessaris per a la implantació de la planta, la compra de diferents elements tals com el motor de combustió, la caldera de recuperació de gasos d'escapament, l'intercanviador de calor, els elements presents a la sala de màquines com son els extintors, sistemes de detecció de gas, etc.

La suma de tots aquests components farà referència al cost total d'inversió inicial que s'ha de realitzar per a la implantació de la planta de cogeneració.

Es realitza un supòsit en el disseny de la inversió, tenint en compte preus reals coneguts (preu del motor de combustió, caldera de recuperació i intercanviador de plaques) i suposant preus a les diferents parts i/o components de la instal·lació, de les quals es desconeixen el preu (cost d'instal·lació, manteniment , etc).

Components	Preu €
Motor-Generador Caterpillar G3516B	400.000
Caldera de recuperació Ygnis	96.000
Intercanviador de plaques aigua/aigua AstralPool Waterheat Evo	3.145
Instal·lació elèctrica	20.000
Equipament auxiliar	10.000
Altres consideracions	25.000
INVERSIÓ TOTAL	554.145€

Taula 13.1: Cost dels diferents components de cogeneració

FONT: ygnis, caterpillar, Poolaria

Els costos de manteniment anuals de la planta de cogeneració ascendeixen a :

Tipus de manteniment	Preu € /any
Manteniment general motor Caterpillar	7.000
Oli de lubricació	5.000
Manteniment preventiu instal·lacions	2.000
TOTAL MANTENIMENT	14.000€/any

Taula 13.2: Costos de manteniment

Pel que fa a la compra de combustible es multiplica la demanda de gas natural calculada prèviament, 17.417.002 kWh, per el preu de compra del gas natural actual, que ascendeix a 0.045 €/kWh:

$$14.172.381,36 \text{ kWh} \cdot 0,045 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 637.757 \frac{\text{€}}{\text{any}}$$

TOTAL COMPRA GAS NATURAL	637.757 €/any
--------------------------	---------------

Una vegada calculats els costos, orientativament, es procedeix a calcular els ingressos per venda d'energia elèctrica a la xarxa.

Per aquest càlcul, s'ha de tenir en consideració el preu de venda a la xarxa (en €/kWh) i l'excedent d'energia elèctrica anual.

Com ja s'ha calculat anteriorment, la planta de cogeneració produeix 2.100.526,4 kWh dels quals es demanen 792.844 kWh pel centre. Això ens deixa un excedent de 1.307.682,4 kWh anuals.

A l'hora d'establir un preu de venda a la xarxa, com aquest depèn de les hores del dia, es calcula la mitjana del preu de venda diari.

Les franges horàries es veuen en la taula 13.3:

Franja horària	Preu de venda €/kWh
10:00h - 14:00 h / 18:00 - 22:00	0,354383
08:00 - 10:00 h / 14:00h - 18:00h / 22:00 - 00:00	0,325669
00:00h - 08:00 h / Caps de setmana i festius	0,27091
MITJANA DE LES FRANJES	0,31823 €/kWh

Taula 13.3: Preu de venda mitjà de l'electricitat

Multiplicant el preu de venda mitjà calculat pel excedent elèctric obtenim els beneficis de venda a la xarxa:

$$1.308.182,4 \text{ kWh} \cdot 0,31823 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 416.302,88 \text{ € anuals}$$

Una vegada es tenen tots els consums i ingressos, es procedeix al càlcul d'ingressos i costos anuals que tindrà la planta en els següents deu anys.

Primer s'estableix una taxa d'interès (IPC) per actualitzar tots els preus de compra i de venda. S'estima un valor del 2% per el primer any i un valor del 2,5% per la resta d'anys.

Es realitza la previsió anual de les despeses que tindrà el centre de cara als següents deu anys.

Any	IPC (%)	Energia venuda a la xarxa (kWh)	Tarifa elèctrica anual (€/kWh)	Ingressos totals (€)
2021	2	1.308.182,4	0,3182	416.302,88
2022	2,5	1.308.182,4	0,3262	426.710,45
2023	2,5	1.308.182,4	0,3343	437.378,21
2024	2,5	1.308.182,4	0,3427	448.312,67
2025	2,5	1.308.182,4	0,3513	459.520,49
2026	2,5	1.308.182,4	0,3600	471.008,50
2027	2,5	1.308.182,4	0,3690	482.783,72
2028	2,5	1.308.182,4	0,3782	494.853,31
2029	2,5	1.308.182,4	0,3877	507.224,64
2030	2,5	1.308.182,4	0,3974	519.905,26
2031	2,5	1.308.182,4	0,4073	532.902,89

Taula 13.4: previsió de despeses a 10 anys vista cogeneració

Tot seguit s'efectua el mateix càlcul però en relació amb els costos des següents 10 anys.

Any	IPC (%)	Consum gas natural (kWh)	Tarifa gas natural (€/kWh)	Costos manteniment (€)	Costos totals (€)
2021	2	14.172.381,36	0,045	1.4000	651.757,16
2022	2,5	14.172.381,36	0,0459	14.280	664.792,30
2023	2,5	14.172.381,36	0,0470	14.565,60	681.340,71
2024	2,5	14.172.381,36	0,0482	14.856,91	698.301,40
2025	2,5	14.172.381,36	0,0494	15.154,05	715.684,65
2026	2,5	14.172.381,36	0,0506	15.457,13	733.500,99
2027	2,5	14.172.381,36	0,0519	15.766,27	751.761,23
2028	2,5	14.172.381,36	0,0532	16.081,59	770.476,43
2029	2,5	14.172.381,36	0,0545	16.403,23	789.657,94
2030	2,5	14.172.381,36	0,0559	16.731,29	809.317,37
2031	2,5	14.172.381,36	0,05732	17.065,92	829.466,65

Taula 13.5: costos totals a 10 anys vista cogeneració

En resum, es tenen uns costos i ingressos totals de :

Costos totals prevists (€)	Ingressos totals prevists (€)	Pèrdues totals (€)
8.096.056,8	5.196.903,04	-2.899.153,76

Taula 13.6: Pèrdues totals cogeneració

Si s'analitza la rendibilitat de la inversió en el termini de deu anys:

Any	Inversió (€)	Ingressos (€)	Despeses (€)	Flux caixa (€)
2021	554.145€	0	0	-554.145€
2022	0	416.302,88	651.757,16	-235.454,28
2023	0	426.710,45	664.792,30	-238.081,85
2024	0	437.378,21	681.340,71	-243.96,5
2025	0	448.312,67	698.301,40	-249.988,73
2026	0	459.520,49	715.684,65	-256.164,16
2027	0	471.008,50	733.500,99	-262.492,49
2028	0	482.783,72	751.761,23	-268.977,51
2029	0	494.853,31	770.476,43	-275.623,12
2030	0	507.224,64	789.657,94	-282.433,3
VAN				-2.758.063,59

Taula 13.5: Càlcul del VAN per la cogeneració

No es calcula el període de retorn perquè es pot veure com numèricament, la inversió no és recuperaria mai ja que sempre hi hauran més costos que ingressos, però l'estalvi enfront el sistema actual es veurà a continuació.

13.2.4. Inversió, despeses i ingressos abans de la cogeneració

Un cop estudiat els principals costos i els ingressos que es podran generar al llarg dels anys en la nostra planta de cogeneració, ara se centrarà en analitzar-ho pel sistema implementat abans de la cogeneració, és a dir calderes.

Es considera que el centre disposa de dues calderes de 500 kW de potència de la marca Ygnis amb un cost d'inversió :

Components	Preu €
Caldera Ygnis FBG	27.000€
Caldera Ygnis FBG	27.000€
TOTAL	54.000€

Taula 13.6: Preu components caldera

FONT: ygnis

Els costos de manteniment anuals de les calderes es suposen de :

TOTAL MANTENIMENT	4.000 €/any
--------------------------	--------------------

Es considera que les calderes consumeixen el mateix que la demanda d'energia tèrmica, és a dir, 2.494.630,207 kWh de demanda tèrmica.

Per tant el preu de consum de combustible surt multiplicant l'energia tèrmica demanda, per el preu de compra del gas natural actual, que ascendeix a 0.045 €/kWh:

$$2.494.630,207 \text{ kWh} \cdot 0,045 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 112.258,36 \text{ €/any}$$

TOTAL COMPRA GAS NATURAL	112.258,36 €/any
---------------------------------	-------------------------

Sense producció d'energia elèctrica aquesta s'ha de comprar a la xarxa de distribució, considerant que el preu de compra es diferent al de venda, es realitza la mitja de totes les tarifes horàries mostrades a la taula 13.9.

Hora	€/kWh
00:00 h	0,24933 €/kWh
01:00 h	0,23932 €/kWh
02:00 h	0,23936 €/kWh
03:00 h	0,23831 €/kWh
04:00 h	0,23813 €/kWh
05:00 h	0,25193 €/kWh
06:00 h	0,28775 €/kWh
07:00 h	0,297 €/kWh
08:00 h	0,33004 €/kWh
09:00 h	0,3296 €/kWh
10:00 h	0,39252 €/kWh
11:00 h	0,38612 €/kWh
12:00 h	0,38244 €/kWh
13:00 h	0,38198 €/kWh
14:00 h	0,31145 €/kWh
15:00 h	0,3137 €/kWh
16:00 h	0,31598 €/kWh
17:00 h	0,32648 €/kWh
18:00 h	0,24933 €/kWh

Taula 13.7: Preu de compra energia elèctrica per franges horàries

Font Tarifes Ilum

Fent la mitja de totes les franges horàries, es pren el preu de compra de:

0.32869 €/kWh

Per tant si multipliquem el preu de la compra d'energia elèctrica pel consum elèctric total que té el centre obtenim els costos per la compra d'aquest:

$$792.344 \text{ kWh} \cdot 0,32869 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 260.435,55 \text{ €}$$

TOTAL COMPRA ENERGIA ELÈCTRICA	260.435,55 €/any
--------------------------------	------------------

Una vegada es tenen tots els consums, es procedeix al càlcul dels costos anuals que tindrà la planta en els següents deu anys.

Primer s'estableix una taxa d'interès (IPC) per actualitzar tots els preus de compra i de venda. S'estima un valor del 2% per el primer any i un valor del 2,5% per la resta d'anys igual que amb la cogeneració.

Tot seguit s'efectua el mateix càlcul però en relació amb els costos dels següents deu anys

Any	IPC (%)	Consum gas natural (kWh)	Tarifa gas natural (€/kWh)	Consum energia elèctrica (kWh)	Tarifa energia elèctrica (€/kWh)	Costos totals (€)
2021	2	2.494.630,207	0,045	792.344	0,3287	372.701,83
2022	2,5	2.494.630,207	0,0459	792.344	0,3352	380.097,23
2023	2,5	2.494.630,207	0,0470	792.344	0,3436	389.615,51
2024	2,5	2.494.630,207	0,0482	792.344	0,3522	399.363,82
2025	2,5	2.494.630,207	0,0494	792.344	0,3610	409.343,95
2026	2,5	2.494.630,207	0,0506	792.344	0,3701	419.636,98
2027	2,5	2.494.630,207	0,0519	792.344	0,3793	430.086,30
2028	2,5	2.494.630,207	0,0532	792.344	0,3888	440.852,33
2029	2,5	2.494.630,207	0,0545	792.344	0,3985	451.857,79
2030	2,5	2.494.630,207	0,0559	792.344	0,4084	463.104,71
2031	2,5	2.494.630,207	0,0573	792.344	0,4186	474.674,41

Taula 13.8: Costos totals sense cogeneració

Es preveu un cost total en deu anys de :

Costos totals previstos (€)	Ingressos totals previstos (€)	Pèrdues totals (€)
4.631.334,86 €	0	-4.631.334,86 €

Taula 13.9: Pèrdues totals sense cogeneració

Si s'analitza la rendibilitat de la inversió en el termini de deu anys :

Anys	Inversió (€)	Ingressos (€)	Gastos (€)	Flux de caixa (€)
2021	54.000€	0	0	-54.000
2022	0	0	372.701,83	-372.701,83
2023	0	0	380.097,23	-380.097,23
2024	0	0	389.615,51	-389.615,51
2025	0	0	399.363,82	-399.363,82
2026	0	0	409.343,95	-409.343,95
2027	0	0	419.636,98	-419.636,98
2028	0	0	430.086,30	-430.086,30
2029	0	0	440.852,33	-440.852,33
2030	0	0	451.857,79	-451.857,79
2031	0	0	463.104,71	-463.104,71
VAN				-3.959.855,65

Taula 13.10: Càlcul del VAN per abans de la cogeneració

13.2.5. Comparació de les dues tecnologies

Un cop analitzada la rendibilitat de les dues tecnologies, l'actual del centre i la proposada per la planta de cogeneració, es passa a comparar l'anàlisi de les dues tecnologies.

Per veure la projecció a deu anys de les dos rendibilitat, s'opta per realitza un gràfic on es mostraran els costos de cada instal·lació al llarg dels anys.

Es prenen diferents criteris per a cada tipus d'instal·lació. Es considera que a temps 0, és a dir a l'inici de la instal·lació, els costos faran referència a la inversió per a l'adquisició dels diferents dispositius, tal com s'ha realitzat anteriorment. Els següents anys es consideraran d'igual manera que en els càlculs anteriors, utilitzant les tarifes actualitzades cada any amb l'IPC corresponent. El període és igual que l'esmentat anteriorment en l'invers de cada dispositiu, 10 anys.

Es genera una taula per a cada tipus de sistema de generació d'energia, on es calculen els costos esperats en el següents 10 anys, partint de l'any 0 on l'únic costs es la inversió de compra de cada instal·lació. Es pot observar a la taula 13.13.

Anys	Cost Calderes	Cost Cogeneració
0	54,000€	555,145€
1	426,702€	776,639€
2	806,799€	1,000,422€
3	1,196,415€	1,229,198€
4	1,595,778€	1,463,993€
5	2,005,122€	1,704,544€
6	2,424,759€	1,950,721€
7	2,854,846€	2,203,548€
8	3,295,698€	2,462,764€
9	3,747,556€	2,727,977€
10	4,222,230€	3,007,232€

Taula 13.11: Taula comparativa dels costos amb i sense cogeneració

En la taula 13.13 es representa el cost inicial el primer any i la suma de els fluxos de caixa anuals per a cada tipus d'instal·lació, d'aquesta manera es representa l'acumulació de costos totals que tindrà cada tipus d'alternativa durant el temps establert.

Representant aquesta taula en un gràfic obtenim el gràfic, que correspon a la figura 13.1 on s'observa com l'opció de la cogeneració resulta millor a partir del tercer any, on els costos del sistema actual (sistema amb calderes) comencen a ser superior al dels obtinguts amb cogeneració.

Cost Calderes and Cost Cogeneració

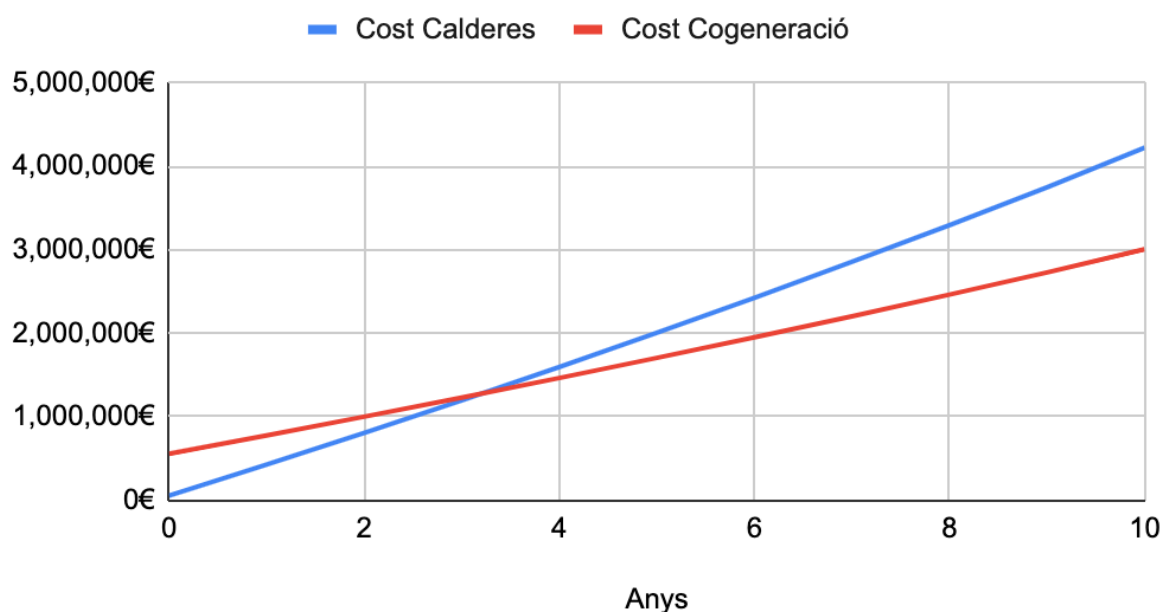


Figura 13.14: Gràfica on es veu l'evolució dels costos amb i sense cogeneració al llarg del temps

Es veu clarament com la pendent dels costos del sistema amb calderes és molt més positiva que la dels costos amb cogeneració.

Donat això es conclou que l'elecció del sistema de cogeneració és més adient i òptim enfront del sistema de calderes que utilitza el centre esportiu actual. Es sabut que la inversió a realitzar és molt gran però es veu com a la llarga l'estalvi de diners és real, ja que el sistema de cogeneració només requereix de gas natural, un consum més elevat que el de calderes convencionals, però tenim l'excedent d'energia elèctrica generada que ens aporta un gran estalvi i una gran inversió.

Així doncs, la implantació d'un sistema de cogeneració és realment més rentable.

14. Impacte mediambiental

La cogeneració s'entén com una millora al medi ambient a causa de la seva alta eficiència, el combustible requerit per unitat elèctrica generada sol ser la meitat de l'empleat per les centrals tèrmiques convencionals.

Aquesta planta utilitza com a combustible gas natural, un combustible net i de baixes emissions de contaminants.

La contribució de la cogeneració a l'enfortiment econòmic de la indústria, el seu alt rendiment energètic, la seva influència en la millora del medi ambient i el combustible utilitzat, fan que les plantes de cogeneració siguin respectuoses amb el nostre entorn.

Dels "residus" produïts per la planta, es sap que :

- En la combustió del gas natural no es produeix.
- En el cas de l'oli de lubricació si que en genera i seran emmagatzemats en grans bidons segons la normativa vigent.

14.1. Contaminació atmosfèrica

Segons les especificacions tècniques del fabricant del motor-generador, els nivells d'emissions de contaminants són:

NOx	mg/Nm ³	500
CO	mg/Nm ³	1156
HCT	mg/Nm ³	1854
HCNM	mg/Nm ³	372
O₂	%	9,3
Lambda		1,8

Taula 14.1: Nivells d'emissions de contaminants motor--generador

FONT: Fitxa tècnica Caterpillar

Aquest valors són inferiors als establerts pel Decret 833/1975 del 06 de Febrer. Aquest decret és el que estableix els valors mínims de gasos emesos, les condicions en que s'alliberen a la atmosfera, etc.

Aquests valors venen mesurats en condicions de sortida dels gasos, tal com marca la normativa vigent. La normativa del Decret 833/1975 marca una dispersió de gasos mínima la qual s'ha de complir obligatòriament.

Per garantir una dispersió òptima dels contaminants i acord amb la normativa, s'ha d'implantar una xemeneia amb una altura suficient.

Per trobar l'altura necessària mínima s'utilitza el mètode de càlcul proporcionat pel document present al BOE sobre "Prevenió i correcció de la contaminació atmosfèrica d'origen industrial" present en l'Ordre Ministerial de 18 d'Octubre de 1976.

Aquest mètode facilita la fórmula:

$$H = \left(\frac{A \cdot Q \cdot F}{cm} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{n}{\Delta T} \right) \quad (14.1)$$

On segons el document de "Prevenió i correcció de la contaminació atmosfèrica d'origen industrial" els paràmetres fan referència a :

- **A:** paràmetre que reflecteix les condicions climatològiques del lloc i l'estimació del qual s'explica en el punt 5 d'aquestes instruccions. És funció de l'estabilitat tèrmica vertical mitjana o distribució mitjana de la temperatura i de la humitat en les capes de l'atmosfera.
- **Q:** Cabal màxim de substàncies contaminants, expressat en Kg/h.
- **F:** coeficient sense dimensions relacionat amb la velocitat de sedimentació de les impureses en l'atmosfera. Per al SO₂ i altres contaminants gasosos d'igual tipus, la velocitat de sedimentació del qual és pràcticament nul·la, es prendrà F = 1. En el cas de partícules sòlides o impureses pesades, es prendrà F = 2.
- **Cm:** concentració màxima de contaminants, a nivell del sòl, expressada en mg/m³N com a mitjana de vint-i-quatre hores. Es determina com a diferència entre el valor de referència fixat en l'annex I del Decret 833/1975, de 6 de febrer, pel qual es desenvolupa la Llei 38/1972, de 22 de desembre, de protecció de l'ambient atmosfèric, per a situacions admissibles i el valor de la contaminació de fons.

- n : nombre de xemeneies, inclosa la que és objecte de càlcul, situades a una distància horitzontal inferior a $2 H$ de l'emplaçament de la xemeneia de referència
- v : caudal de gasos emesos, expressats en $m^3/hora$.
- ΔT : diferència entre la temperatura dels gasos a la sortida de la xemeneia i la temperatura mitjana anual de l'aire ambient en el lloc considerat, expressat en $^{\circ}C$.

Aplicant aquesta fórmula amb el valors de cada paràmetre per a la nostra instal·lació s'obté una altura de la xemeneia de 15,75 m.

14.2. Anàlisi dels residus i perillosos, RTP

La planta de cogeneració, constituïda per el motor de combustió interna, produirà alguns residus. Aquests residus es poden presentar amb diferents formes possibles, però algunes d'elles seran negligibles.

Generalment, durant la combustió, es creen grans residus en forma de diòxid de carbó, que poden ser perillosos per a la salut de les persones i també pel medi ambient.

En el nostre cas, utilitzem una font de combustible fòssil que té un menor impacte en el medi ambient, com és el gas natural. Per tant, en la combustió del nostre motor no genera cap tipus de residu tòxic ni perillós.

Un altre font de residus és en el circuit d'oli, que s'utilitza per a la lubricació del motor. Aquest oli es considera que està barrejat amb aigua. Per el tractament dels residus, s'utilitza un separador de grasses i oli.

Els dos fluids (oli i aigua) es caracteritzen entre sí per tenir diferents densitats, el que permet separar els contaminants de l'aigua.

En un mateix contenidor, es separa les grasses i l'oli, que quedaran en la part superior i la matèria orgànica en la part inferior. L'aigua quedarà doncs en la part central lliure de contaminants.

Aquests contaminants en forma de grassa seran retirats en algun vertader autoritzat.

Les aigües residuals en aquest separador compleixen amb la normativa de Salubritat (3.3.1.5) del CTE (Código técnico de edificación).

A continuació, es mostra la figura 15-1 on es veu perfectament el procediment del separador de grasses i oli:

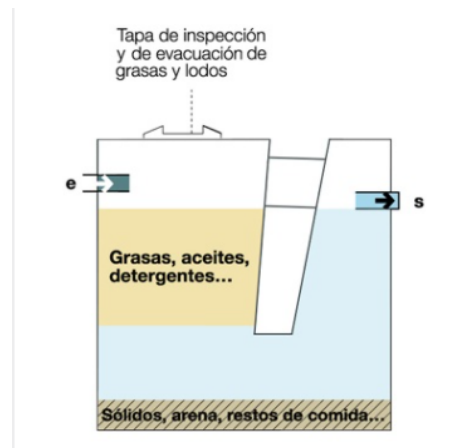


Figura 14.1: Separador de grasses i oli

FONT: Maydisa

15. Pressuposts

- Hores d'enginyer 500 hores
- Euros / hora 22 euros / hora
- Cost enginyer 11.000 euros

- 2 enginyers 22.000 euros

- Hores tutor 150 hores
- Euros / hora 40 euros / hora
- Cost enginyer 6.000 euros

- Total cost 28.000 euros

Font: Projecte DASER

16. Conclusions

L'abast principal d'aquest projecte era estudiar, definir i analitzar el tipus de motor més adequat per la implantació d'un sistema de cogeneració en un centre esportiu amb piscina, i analitzar la seva viabilitat enfront el sistema que el centre esportiu d'estudi. Els resultats han estat satisfactoris, ja que s'han aconseguit els objectius marcats.

La cogeneració és un camp molt interessant, ja que és una forma de producció d'energia que podem classificar com a sostenible amb el medi ambient. Encara que no forma part de les energies renovables, presenta bastants beneficis respecte als sistemes de producció d'energia convencionals.

Primerament es va estudiar que era la cogeneració, la normativa existent i els diferents tipus existents. Una vegada realitzada aquesta primera aproximació, i ja seleccionada la tecnologia de motor de gas, es va començar a buscar informació dels equips que es podrien implantar. Es va seleccionar la gamma de motors del fabricant Caterpillar perquè disposaven de fitxa tècnica on es podia treure informació per a la realització dels càlculs corresponents.

En la següent etapa, la de realització dels estudis energètics i de viabilitat ha estat la més extensa del projecte, i d'on s'han tret conclusions.

La selecció del motor va ser gairebé difícil, ja que realment la gama de potències al mercat no és gaire abundant, i dins d'aquestes, no totes disposen d'una fitxa tècnica en condicions per a realitzar un estudi òptim.

Una de les consideracions més importants va ser la de dividir les hores en que la màquina treballava a plena càrrega. Això es va realitzar per obtenir-ne un estudi el més realista possible, és a dir, si la planta operés sempre al 100% abastiria sense cap problema totes les demandes energètiques i a més s'obtidrien molt més excedents energètics, amb els quals aconseguir benefici.

Un dels inconvenients que s'observen del rendiment de la planta de cogeneració, és el gran consum de gas natural que requereix i el poc rendiment elèctric que té, ja que aquest és qui realment marca l'eficiència i el rendiment del sistema de cogeneració.

Per això a l'hora de fer una inversió en una planta cogeneradora cal fer un estudi previ del consum que es vulgui abastir. Aquesta inversió pot ser molt atractiva, ja que la rendibilitat de la mateixa està teòricament garantida per les autoritats, per fer una inversió de tants diners pot no ser la millor opció. En aquest cas, la inversió realitzada a nivell econòmic és difícil d'amortitzar amb els pocs ingressos que es tenen, però d'altra banda tenim molt menys costos anuals que si un sistema tradicional amb calderes de gas.

Realment la instal·lació d'una planta de cogeneració és molt més rentable que la instal·lació d'un sistema tradicional, tot i que en l'abast d'aquest projecte s'han fet supòsits de preus i s'han obviat alguns paràmetres massa complexos ja que requerien un estudi molt més exhaustiu, cosa que excedia els objectius del projecte.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] WILSON, Joel K., *Cogeneration Power Plants: Planning and Evaluation*, PennWell Books, capítol 5, 6, 7
- [2] KUNDU, Pijush, *Fluids Mechanics*, Academic Press; N.º: 6 edició (4 junio 2015), capítol 6, 7, 8
- [3] TAULA, *comparació generació de grams Co2 per Kwh del sistemes tradicionals i cogeneració*, [link https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref28x07_35.pdf](https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref28x07_35.pdf)
- [4] GUIA COGENERACIÓ, [link: http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015249.pdf](http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015249.pdf)
- [5] REE, *Red Eléctrica de España*
- [6] CLIMATIZACIÓN PISCINAS CUBIERTAS, [link: https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [7] ACOGEN, *Asociación Española de Cogeneración*, [link: https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [8] IDAE, *Instituto para la Diversificación y ahorro de energía*, [link: https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [9] BOE 244, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [10] BOE 661/ 2007, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [11] NORMES NIDE 3, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [12] GRUPO MOTOR CATERPILLAR 3516B CHL, fitxa tècnica
- [13] CODIGO TÉCNICO EDIFICACIÓN, *apartado salubridad*, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [14] COGENSPAIN 2018, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [15] SOLDIM, motor combustió interna, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [16] TECNIGRADO, intercanviador plaques aigua - aigua, esquema, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)

- [17] POOLARIA, intercanviador plaques aigua - aigua, selecció element, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [18] YGNIS, caldera de recuperació escollida, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [19] ENKALUX, nivell de llum funció dels espais, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [20] MAYDISA, esquema de separació de grasses i oli, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [21] TARIFA LLUM, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [22] TEMPERATURES I HUMITATS RELATIVES A BARCELONA, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)
- [23] PROJECTE DASER, [link https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html](https://docplayer.es/7038949-Climatizacion-de-piscinas-cubiertas.html)