

Treball de Fi de Grau/Màster

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi de viabilitat de la climatització d'una piscina mitjançant energia solar i la seva comparació amb biomassa

MEMÒRIA

Autor: Alejandro Calvera Martinez
Director: José Luis Martín Godoy
Ponent: No hi ha
Convocatòria: Febrer 2019



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

En aquest treball es pretén comprovar la utilitat de les energies renovables solar tèrmica i biomassa en un cas pràctic concret. Per fer-ho, es decideix estudiar el consum energètic destinat a escalfar dues piscines climatitzades exteriors al Club Natació Atlètic Barceloneta així com l'energia consumida en aigua calenta sanitària als vestidors del club.

Amb les dades de consum i tenint en compte la normativa vigent, primer s'ha comprovat si és factible una solució completament solar on tota la demanda energètica es cobreixi amb captadors solars col·locats al terrat del club.

Com a segona opció s'ha estudiat una instal·lació mixta on les calderes de biomassa es destinen a escalfar les piscines exteriors i els captadors solars satisfan la demanda d'aigua calenta sanitària.

Després de fer raonaments tècnics es descarta la primera opció, per tant, amb la segona opció es fa un dimensionament per cobrir les necessitats d'aigua calenta sanitària seguint les guies de referència de l'Institut Català de l'Energia per comprovar la viabilitat de l'opció d'estudi.

Finalment, complint l'exigència de la normativa que limita la sobreproducció d'energia solar tèrmica respecte la demanda, els captadors solars proposats cobreixen una certa part de la demanda d'aigua calenta sanitària i les calderes de biomassa satisfan la demanda restant i a la vegada aquestes s'encarreguen de l'escalfament de les dues piscines.

Com que actualment el club utilitza exclusivament calderes de biomassa per cobrir totes les demandes d'energia tèrmica, amb aquesta possible millora s'aconsegueix un estalvi en combustible i per tant econòmic al alliberar càrrega de les calderes. A més a més s'aconsegueixen reduir les emissions de CO₂ in situ (tot i que el balanç global de carboni de la biomassa sigui zero), emissions d'òxids de nitrogen, òxids de sofre, partícules sòlides i tot plegat sense generar pràcticament cap impacte mediambiental negatiu.

Sumari

SUMARI	5
1. GLOSSARI	9
2. PREFACI	14
2.1. Origen del projecte	14
2.2. Motivació	14
2.3. Requeriments previs	14
3. INTRODUCCIÓ	15
3.1. Objectius del projecte	15
3.2. Abast del projecte	16
4. ENERGIES RENOVABLES	17
4.1. Energia solar tèrmica.....	18
4.1.1. Captador solar protegit.....	19
4.1.2. Elements hidràulics	22
4.1.2.1. Vas d'expansió	22
4.1.2.2. Canonades aïllades.....	23
4.1.2.3. Vàlvules de tall, d'antiretorn i de seguretat	23
4.1.2.4. Bombes d'aigua	24
4.1.2.5. Acumulador	25
4.1.2.6. Dissipadors	26
4.2. Biomassa.....	26
5. PISCINES D'ESTUDI	29
5.1. Piscina A.....	30
5.2. Piscina B.....	32
5.3. Terrat de l'edifici	33
5.4. Aigua calenta sanitària	35
6. CÀLCULS DE LES DEMANDES ENERGÈTIQUES	36
6.1. Piscines	36
6.1.1. Fórmules emprades	38
6.1.1.1. Evaporació	38
6.1.1.2. Radiació	39

6.1.1.3. Convecció	39
6.1.1.4. Conducció	40
6.1.1.5. Renovació	40
6.1.2. Recol·lecció de les dades necessàries	41
6.2. Vestuaris (ACS)	42
6.2.1. Fórmules emprades	42
6.2.2. Recol·lecció de les dades necessàries	43
7. RESULTATS DELS CÀLCULS REALITZATS	44
7.1. Piscines.....	44
7.1.1. Piscina A.....	46
7.1.2. Piscina B.....	48
7.2. ACS.....	50
7.2.1. Cas 1: aflluència de 600 usuaris diaris	50
7.2.2. Cas 2: aflluència de 800 usuaris diaris	51
8. ANÀLISI DELS RESULTATS	52
8.1. Anàlisi de les piscines.....	52
8.2. Anàlisi de l'ACS	53
9. POSSIBLES SOLUCIONS TÈCNiques	55
9.1. Solar tèrmica.....	55
9.2. Biomassa	56
9.3. Mixta	57
10. SOLUCIÓ DEFINITIVA	58
10.1. Dimensionament per al Cas 1.....	59
10.2. Dimensionament per al Cas 2.....	65
11. ESTUDI ECONÒMIC	68
11.1. Pressupost Cas1.....	68
11.2. Pressupost Cas 2.....	69
11.3. Estalvi econòmic.....	69
12. IMPACTE MEDIAMBIENTAL	72
CONCLUSIONS	75
AGRAÏMENTS	77
BIBLIOGRAFIA	78
Referències bibliogràfiques	78

Bibliografia complementària..... 79

1. Glossari

Al llarg d'aquest treball apareixeran paraules o conceptes tècnics d'algun camp en específic que poden ser desconeguts de cara al públic general. Per facilitar la comprensió d'aquest document, les paraules o conceptes apareixeran subratllats al llarg del text indicant que es troben definides o definits en aquest glossari per ordre d'aparició en el text.

-El procés de fusió nuclear (per a fins energètics) consisteix en fusionar dos àtoms d'Hidrogen dins d'un reactor per tal de formar un àtom d'Heli, alliberant així unes quantitats immenses d'energia en forma de calor. Aquesta reacció es considera de caràcter termonuclear, ja que l'energia després eleva la temperatura dels voltants fins als 15 milions de graus centígrads. El repte actual que presenta aquesta font d'energia és el confinament del plasma generat de la reacció que es troba a tan alta temperatura, per tant, la investigació està avançant cap al disseny i construcció d'un reactor capaç de suportar tant altes temperatures el prototip del qual es diu Tokamak.

-La terra està constituïda per milions de comunitats de varis organismes les quals s'anomenen ecosistemes. D'una manera o altre els ecosistemes estan lligats els uns als altres, ja sigui per l'hàbitat físic que ocupen, o la cadena alimentària que comparteixen etc. Durant milers d'anys s'ha mantingut un equilibri dinàmic d'aquests ecosistemes però degut a la potent industrialització i la manipulació d'hàbitats per part dels essers humans, alguns d'aquests ecosistemes estan en perill o ja han patit canvis irreversibles. Un exemple són les colònies de corall, que amb l'augment de la temperatura del mar i la disminució del Ph d'aquesta (causes indirectes de l'activitat humana) fan que la seva supervivència estigui greument amenaçada.

-La radiació solar incident que arriba la superfície terrestre és una fracció del total que rep l'atmosfera terrestre a les capes més exteriors. Aproximadament l'atmosfera reflecteix cap a l'univers el 50% de l'energia en forma de radiació provinent del Sol i més o menys el 10% resulta absorbit per la pròpia atmosfera quedant així el 40% restant que representa un valor de $670 \text{ [W/m}^2\text{]}$. Font: (Bonals, 2018)

-L'efecte fotoelèctric consisteix en l'emissió d'electrons en un material causada per la incidència de fotons. En el cas de les plaques solars s'utilitza aquest efecte sobre els semiconductors de silici que les formen. Els electrons alliberats són conduïts per tal d'aprofitar la forma electromotriu generada en forma de corrent continu.

-L'aigua calenta sanitària (sigles ACS) és aquella aigua potable apta pel consum humà que prèviament ha sigut escalfada. La temperatura de servei és la temperatura que

presenta aquesta aigua en el punt de consum.

-Un intercanviador de calor té com a objectiu cedir la calor d'un fluid a un altre o cap a l'entorn. En el cas d'un intercanviador de calor bàsic entre dos líquids, aquest està format per dos circuits independents on cadascun d'ells porta un líquid diferent. El líquid calent cedeix la calor al fred de tal manera que a la sortida els dos líquids tenen una temperatura similar (no sempre és així, depèn de la finalitat de l'intercanviador). Habitualment es consideren els intercanviadors com a adiabàtics per tal de simplificar els càlculs.

-Un acumulador tèrmic és un dispositiu capaç d'emmagatzemar el fluid escalfat a l'espera de que es requereix l'ús d'aquest. Per tal d'evitar les pèrdues de calor es troba ben aïllat i sovint tenen a l'interior algun petit element generador de calor per compensar les pèrdues d'energia. Un exemple de la seva utilitat és a les dutxes de les llars, quan l'usuari demanda aigua calenta aquesta la supleix l'acumulador ja que l'aigua ja es troba escalfada de manera que l'usuari no ha d'esperar a que la caldera comenci a escalfar l'aigua. En el punt 4.1.2.5 es descriu més a fons les seves característiques.

-Un dissipador de calor té la funció de cedir la calor d'un sòlid o líquid l'entorn. En el cas d'un dissipador de calor d'un fluid, habitualment la seva estructura consta d'un feix de tubs exposats a un corrent d'aire natural o forçat el qual absorbeix per convecció la calor del fluid que circula dins dels tubs. Al punt 4.1.2.6 es detallen les seves aplicacions en l'energia solar tèrmica.

-Les pèrdues de càrrega es podrien definir com l'energia que perd un fluid al circular dins d'una canonada degut a les friccions i turbulències. Els elements com vàlvules o colzes presenten unes pèrdues de càrrega elevades ja que obliguen al fluid a canviar de direcció o simplement s'oposen al moviment d'aquest. En un circuit hidràulic es busca col·locar el mínim d'elements per evitar al màxim la pèrdua d'energia del fluid. L'energia que perd el fluid es manifesta en una pèrdua de pressió sovint mesurada en metres de columna d'aigua. El dispositiu que comunica energia als fluids en circulació es diu bomba.

-L'efecte termosifó és la circulació de fluids que es basa en la variació de densitats que experimenten aquests amb els canvis de temperatura. En un recipient d'un mateix líquid pot haver-hi punts on les temperatures del fluid siguin diferents i per tant les seves densitats també la qual cosa causa que el sector de fluid que estigui més calent suri sobre el sector de fluid més fred.

Si es contempla una font de calor constant situada a la part inferior d'un recipient ple

d'aigua, el líquid situat a la part inferior del recipient augmentarà de temperatura causant una disminució de la seva densitat i per tant surarà sobre el fluid fred que caurà cap al fons on s'escalfarà i es repetirà el procés fins que tota l'aigua del recipient arribi a la mateixa temperatura. De forma natural s'ha creat una circulació del fluid dins del recipient.

-La legionel·la és un bacteri que causa pneumònies greus, el seu habitat són llocs molt humits com poden ser torres de refrigeració, dipòsits, canonades etc. La seva temperatura òptima de reproducció està entorn els 40°C mentre que a partir dels 58°C comença a desintegrar-se. És molt important protegir les instal·lacions d'aigua sanitària contra la legionel·la escalfant l'aigua per sobre de 60°C per assegurar que el bacteri desaparegui.

-La petjada CO₂ es defineix com totes aquelles emissions de CO₂ (directes o indirectes) que s'han emès per tal de produir un producte o desenvolupar una activitat. Calcular la petjada de CO₂ és una tasca complicada ja que és difícil recollir dades i també cal fixar fins a quin nivell cal tenir en compte les emissions. Un exemple pot ser el d'un automòbil convencional el qual presenta una petjada de CO₂ força gran.

Primerament les peces utilitzades per construir el propi vehicle han requerit mecanització o fabricació, la qual cosa implica despesa energètica, a més a més les matèries primes s'han hagut d'extreure de jaciments i posteriorment tractar-los la qual cosa implica més despesa energètica. A més a més pot ser que diferents peces procedeixin de països diferents per tant cal tenir en compte el transport fins la fàbrica.

En segon lloc, el cotxe és una màquina que durant la seva vida útil genera emissions de CO₂ (entre d'altres) per tal de funcionar. Durant el períodes d'ús del cotxe, la seva petjada de CO₂ no para d'incrementar-se la qual cosa fa pensar que es tracta d'un producte força contaminant.

S'ha mencionat la despesa energètica empleada per a diferents processos, cal afegir que actualment la principal font d'energia són els combustibles fòssils i per tant qualsevol despesa energètica té associada una càrrega d'emissions de CO₂.

-Els "pellets" són petits trossos cilíndrics normalitzats (diàmetre 6mm i longitud 20-25mm) de biomassa compactada. Poden estar formats de fusta, residus agrícoles, herba, residus urbans etc. Com que presenten una bona compactació tenen un baix volum d'aigua, són fàcilment transportables, es poden manipular fàcilment i tenen una acceptable densitat energètica. Gràcies als "pellets" s'ha facilitat l'ús de les calderes de biomassa i ha aproximat més aquesta font d'energia a la gent.

-El Club Atlètic Natació Barceloneta (sigles CNAB) està present a Barcelona des de fa

103 anys a data d'avui. És un club municipal molt reconegut a nivell nacional pel seu equip de waterpolo i les sortides a mar obert. Les seves instal·lacions nombroses, modernes i variades. Entre elles hi ha quatre les piscines exteriors (dues d'elles climatitzades), una gran piscina interior, pistes de pàdel, sala de fitness, platja privada, vestidors i sales polivalents.

-El sistema de filtració desbordant, tal i com indica el nom, capta l'aigua de la piscina pels marges quan l'aigua desborda el vas de la piscina. L'aigua és circulada a través del tractament d'aigua que inclou filtració i cloració i després és retornada al vas principal.

-L'estructura que confina el líquid presenta forma de caixa i és de formigó, no obstant cal cobrir aquest formigó amb algun revestiment interior que a més a més de ser impermeable ha de ser higiènic i estèticament agradable. El revestiment que presenten la majoria de les piscines, incloses les d'aquests estudi, és a base de petites rajoles quadrades. Les sanefes que es poden fer de rajoles de diferents colors s'anomena liner.

-El rendiment tèrmic del circuit hidràulic representa la quantitat de calor que es perd entre el punt de generació i el punt de consum. Fer el càlcul exacte d'aquestes pèrdues de calor és molt complicat ja que hi ha molts elements que perden calor i les temperatures varien al llarg del circuit. Per tant, habitualment es prenen uns valors de referència depenent de si la instal·lació és nova o es tracta d'una reforma, aquest valor oscil·la entre el 80 i 95%.

-El grup auxiliar és aquell que té un paper secundari en la producció d'energia. La seva funció es complementar al sistema primari quan aquest no pot cobrir tota la demanda energètica. Els grups auxiliars han de presentar una resposta ràpida i han de ser capaços d'estar sempre disponibles, per això habitualment solen funcionar a basa d'energies convencionals com pot ser el gasoil o el gas natural.

-El Valor Net Actualitzat determina si una inversió és rendible al cap d'un cert període de temps definit tenint en compte la taxa d'interès i . Si el VAN resulta positiu al cap de T anys, la inversió serà rentable, en el cas contrari, no ho serà. Amb el VAN es pot trobar el període de retorn de la inversió quan aquest s'iguali a zero contemplat sempre el flux de caixa anual Q_n . La formula per trobar-lo és: Font: [5]

$$VAN = \sum_n^T \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

-L'horitzó de la inversió és la quantitat d'anys en la que s'espera que la inversió tingui

beneficis. Si aquest horitzó és molt gran, la inversió és a llarg termini i viceversa. Font:
[5]

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Aquest projecte s'origina amb la idea d'avançar cap una transició energètica cap a les energies renovables mitjançant la implementació d'una millora energètica a una instal·lació esportiva mitjana i pública.

Per determinar el cas d'estudi s'ha posat el focus d'atenció en alguna instal·lació pública d'ús habitual però a la vegada sense tenir una importància vital per als ciutadans de manera que hi hagi més marge d'error.

2.2. Motivació

La motivació d'aquest treball és divideix en dos aspectes principals: aplicar els coneixements apresos durant els anys d'estudi a l'escola a un cas pràctic real i per altra banda aprofundir més en el camp de la climatització industrial sostenible.

Cal afegir la que la naturalesa de la meva persona és de caràcter curiós pel que fa als aparells, màquines, processos industrials, vehicles, estructures etc. De manera que l'aprenentatge de nous coneixements en el camp de la tecnologia sempre és un al·licient per seguir treballant.

Dintre del món de l'enginyeria m'agradaria enfocar el meu futur dins del camp de l'eficiència energètica i la climatització. A més a més m'atreu molt el sector de l'energia i les seves transformacions ja que engloba molts aspectes de la nostra vida diària com pot ser engegar la llum de l'habitació, moure un vehicle, obrir l'aixeta i que surti aigua etc.

2.3. Requeriments previs

Per iniciar aquest treball ha calgut interpretar les normatives actuals respecte a la gestió de l'energia, contactar amb el club propietari de les instal·lacions perquè facilitessin dades tècniques, recollir dades climatològiques, llegir i entendre les guies oficials per fer els càlculs i planificar els temps del treball per optimitzar el temps.

3. Introducció

Per tal de determinar si és viable adaptar o millorar una instal·lació per funcionar amb energies renovables (tècnica i econòmicament) cal fer un estudi energètic previ per conèixer les demandes energètiques i les característiques de les instal·lacions. Amb les dades es poden realitzar els càlculs necessaris que permeten fer el dimensionament de noves instal·lacions tèrmiques amb diferents configuracions que en cas de ser factibles es sotmetran un estudi d'impacte mediambiental i un d'econòmic.

Les conclusions de l'estudi són de caire tècnic, econòmic, normatiu i mediambiental.

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest treball és estudiar el potencial de les energies solar tèrmica i biomassa per tal de poder dimensionar una instal·lació tèrmica viable a mode de millora capaç de satisfer la demanda energètica de dues piscines exteriors pertanyents al Club Natació Atlètic Barceloneta obertes de 6:30h a 23:00h pràcticament tots els dies de l'any. A més a més també es pretén analitzar el consum d'aigua calenta sanitària i veure si també es pot implantar una alternativa renovable factible.

També es vol analitzar quins mecanismes de transmissió de calor són més importants en el món de les piscines exteriors junt amb el descobriment de noves metodologies i equacions que modelitzen les transferències de calor.

Un altre objectiu important és aprendre i aplicar la metodologia més raonable i correcte de fer dimensionaments d'instal·lacions dins del camp de l'enginyeria.

Com a objectiu secundari s'intentarà aprofundir en la normativa actual respecte a instal·lacions tèrmiques que per la realització del treball s'utilitzarà així com coneixements de termodinàmica apresos durant el grau, metodologies presents en el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques d'Edificis (RITE), procediments de càlcul presents en documents oficials de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) i les restriccions que imposa la normativa recollida en el Código Técnico Edificación (CTE) pel que fa a instal·lacions tèrmiques solars.

Finalment, un dels objectius rellevants és la realització d'un estudi econòmic que marcarà la viabilitat econòmica de la proposta de millora fruit de l'estudi preliminar

que també contempla l'impacte mediambiental que la hipotètica nova instal·lació tèrmica podria causar i l'impacte de la realització d'aquest estudi.

3.2. Abast del projecte

Tal i com es menciona en els objectius del treball, l'objectiu principal és fer el dimensionament d'una instal·lació tèrmica renovable per cobrir les demandes energètiques de les instal·lacions, ara bé, fer un bon dimensionament planteja grans reptes pertanyents a moltes disciplines de l'enginyeria. Així doncs, en aquest treball es limita aquesta tasca a calcular la demanda energètica de les dues piscines exteriors així com la de l'aigua calenta sanitària i a realitzar un càlcul senzill i simplificat dels elements que han de conformar la instal·lació escollida.

Per fer els càlculs s'ha adoptat una política de càlculs conservadors la qual cosa implica estudiar els casos més desfavorables, per fer-los s'ha considerat sempre un estat estacionari on la demanda és constant al llarg del mes d'estudi. Tots els càlculs realitzats s'han fet durant les hores d'obertura del club, és a dir, no s'ha considerat un estudi del cas nocturn (els cas nocturn no és tant desfavorable com es veurà més endavant).

Pel que fa a la instal·lació solar tèrmica, només s'entra en el dimensionament dels captadors solars i dels elements hidràulics més rellevants presents en els circuits solars tèrmics.

Respecte als aspectes econòmics, no s'han contemplat partides que no siguin materials com ara la mà d'obra i dietes ni s'ha entrat en el camp dels permisos i llicències. Cal dir que tots els preus trobats dels elements són sense IVA. Si que s'han computat les hores d'enginyeria i finalment s'ha fet un càlcul del cost de la proposta fruit de l'estudi de viabilitat tenint en compte l'IVA.

4. Energies renovables

L'ús de les energies renovables està cada cop més estès degut a l'actual crisi energètica (les energies de més pes són força contaminants) a la que fa front la humanitat. La naturalesa de les energies renovables les situa en el punt de mira de les futures instal·lacions domèstiques o industrials. Ara per ara encara suposen una inversió inicial més elevada amb l'afegit dels possibles inconvenients o baixos rendiments que poden presentar respecte les seves rivals convencionals o no renovables.

Queda clar doncs que la direcció d'avanç en l'aspecte energètic és en aquest camp, almenys a escala més reduïda i en un horitzó de temps mitjà. Actualment existeixen línies d'investigació per a sostenir un subministrament d'energia elèctrica a gran escala mitjançant el procés de fusió nuclear. Desafortunadament aquestes investigacions estan lluny de poder satisfer l'actual demanda creixent d'energia, sobretot l'elèctrica.

Si ens fixem en la situació energètica d'Europa al 2000 i 2015, es veu que les energies renovables no arriben al 25% de total d'energia instal·lada mentre que al 2015 s'apropen al 42%.

FIGURE 7: EU POWER MIX 2000 (MW)

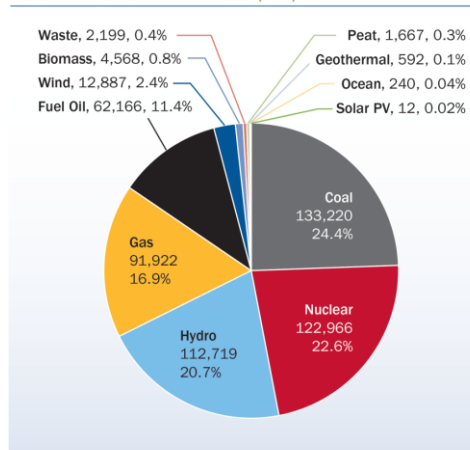
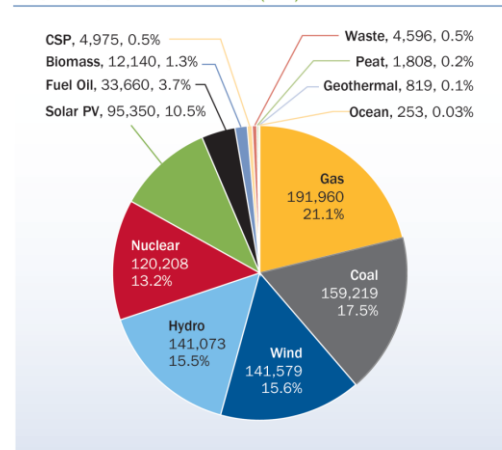


FIGURE 8: EU POWER MIX 2015 (MW)



Il·lustració 1: Capacitat de potència a Europa. Font: [8]

Aquesta tendència cap a les renovables es pot explicar des del punt de vista econòmic i mediambiental.

A mida que els combustibles fòssils es van exhaurint, segons el funcionament del lliure mercat, en baixar l'oferta i mantenir-se la demanda es dona una automàtica

pujada de preus la qual cosa repercuteix en les economies i comerç dels països importadors amb la possibilitat de ser causa de conflictes diplomàtics entre nacions.

A més a més de l'aspecte econòmic cal fixar-se en la degradació mundial que estan patint els ecosistemes terrestres a qualsevol nivell. La causa més famosa és l'augment de la concentració de CO₂ a l'atmosfera terrestre majoritàriament a causa de la combustió de combustibles fòssils. La molècula de CO₂ (entre d'altres) té capacitat d'absorbir la radiació electromagnètica i emetre-la de nou en totes direccions, aquest fenomen a gran escala crea una pantalla "rerradiant" que rebota una fracció de les radiacions emeses per la terra un altre cop cap a aquesta, creant així l'efecte hivernacle.

Una de les principals avantatges de la majoria de fonts d'energia renovables és que no es basen el processos de combustió per la transformació d'energia (exceptuant la biomassa, els biocombustibles i la crema de residus sòlids urbans), per tant no emeten gasos que causin l'efecte hivernacle. Evidentment l'ús d'energies renovables és molt positiu, però per tal de preservar els recursos naturals, l'equilibri biològic i la sustentació de la vida al planeta cal abordar problemes d'una envergadura colossal que requereixen cooperació internacional i en tots els àmbits de l'enginyeria i la societat.

En aquest treball es posarà especial èmfasis en dues energies renovables, la solar tèrmica i la biomassa degut a seva compatibilitat per l'aplicació sol·licitada.

4.1. Energia solar tèrmica

L'energia solar és aquella que prové del Sol en forma de radiació electromagnètica i arriba a la superfície terrestre. La potència aproximada que arriba a la superfície de la terra és de 670 W/m². Aquesta potència rebuda a la superfície terrestre varia segons la latitud, l'època de l'any i la climatologia. Sense la llum solar no es poden produir processos naturals vitals per a moltes espècies, entre elles els humans. Degut a la font d'energia inesgotable i tant potent que representa la nostra estrella no és estrany notar que l'esser humà porta aprofitant la seva energia des dels inicis dels temps per tal de facilitar-se la vida diària. Si ens traslladem al dia d'avui, la situació segueix sent igual però amb un grau de sofisticació més elevat.

Hi ha principalment dues maneres d'extreure la potència desitjada de la radiació incident: la més òbvia és utilitzar la radiació per escalfar objectes o fluids, l'altre opció es basa en l'efecte fotoelèctric.

Les dues opcions esmentades transformen la radiació en diferents classes d'energia. Amb l'efecte fotoelèctric s'aconsegueix transformar la radiació solar en electricitat DC la qual cosa resulta molt útil ja que la major part de l'energia que consumim és en forma d'electricitat. Per altra banda tenim la energia solar tèrmica que transforma l'energia de radiació en energia tèrmica en forma de calor.

En aquest treball s'aprofundirà en l'energia solar tèrmica degut a la afinitat que presenta en el cas d'estudi presentat.

Com ja s'ha dit, la energia solar tèrmica aprofita la radiació solar per obtenir energia tèrmica en forma de calor que pot ser aprofitada segons convingui. Un clar exemple és l'escalfament d'aigua calenta sanitària o ACS per la dutxa d'una casa unifamiliar o per rentar la roba. Enlloc d'escalfar l'aigua mitjançant una caldera de gas natural es fa servir una energia 100% neta, inesgotable i molt barata.

Per tal de fer la transformació de l'energia cal fer servir un col·lector o captador solar. N'hi ha de molts tipus amb diferents formes d'obtenir la calor desitjada i diferents configuracions, però tots comparteixen els mateixos principis físics.

Els tipus de captadors es poden classificar de la següent manera:

- Captadors de baixa temperatura
 - Protegits
 - No protegits
 - Amb tubs de buit
- Captadors d'alta temperatura
- Captadors de molt alta temperatura

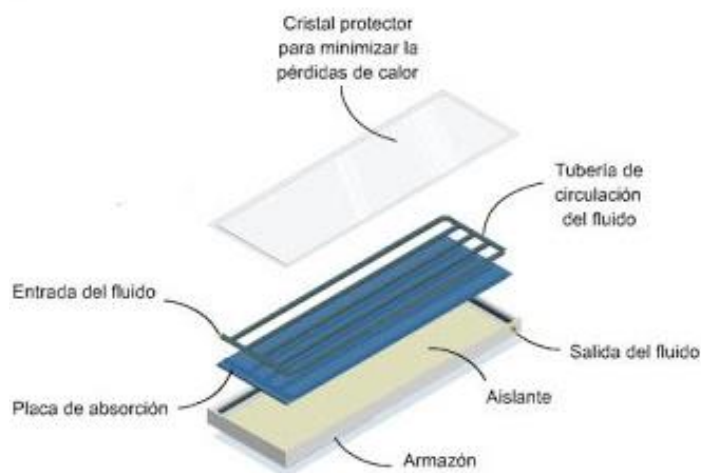
Tenint en compte el cas d'estudi d'aquets treball, els captadors solars de més interès són els captadors solars protegits el funcionament dels quals s'explica a continuació.

4.1.1. Captador solar protegit

El captador solar protegit és el més utilitzat per l'obtenció d'ACS en petites instal·lacions pel seu bon rendiment a un preu raonable. Es pot trobar en edificis d'habitatges, cases, oficines, complexos esportius i en tota mena d'instal·lacions.

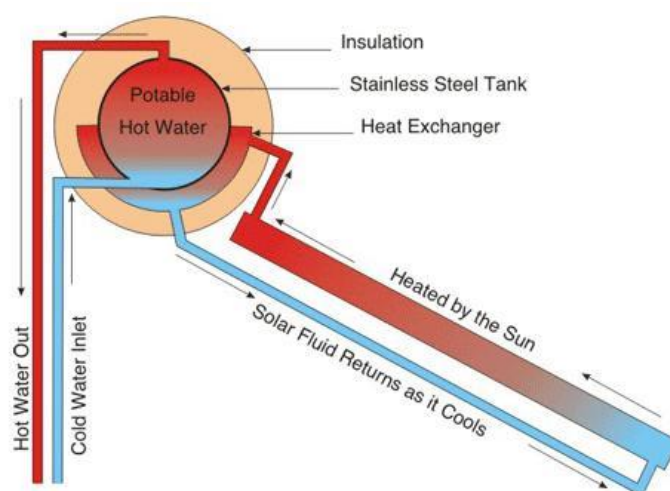
El principi en el que es basa el funcionament del captador és l'efecte hivernacle, és a dir, es busca confinar la calor dintre d'un recipient per tal de poder captar aquesta calor retentida i així extreure'n l'energia desitjada. Per fer dita tasca la seva fisonomia està determinada a continuació.

La peça principal és una caixa aïllant, amb unes mides que solen ser de 1m x 2m amb una profunditat d'aproximadament 10 cm, la cara superior de la qual és de vidre transparent. Les parets interiors de la carcassa estan cobertes amb una pintura favorable a l'absorció de la radiació mentre que la paret de la cara oposada al vidre es troba coberta amb una làmina metàl·lica també pintada sobre la qual hi ha un serpentí també metàl·lic.



Il·lustració 2: Parts del captador solar protegit

Al ser la làmina de metall, la conductivitat alta d'aquesta propicia el trasllat de la calor per conducció cap al serpentí dintre del qual hi circula un fluid (normalment sol ser aigua o una barreja d'aquesta amb anticongelant) encarregat de traslladar l'energia a un intercanviador el qual es troba dins de l'acumulador que cedirà la calor a l'aigua de consum.



Il·lustració 3: Esquema de funcionament del captador solar protegit

En aquest treball es contemplen instal·lacions solars en que el fluid caloportador circula de forma forçada impulsat per bombes, per tant, en cas de que les bombes deixessin de funcionar (ja sigui per averia o per què el sistema de control que les governa ho mana) cal protegir el captador solar en front les altres temperatures que pot arribar a assolir el fluid dins del mateix captador. La temperatura màxima que pot resistir el captador es diu temperatura d'estancament, el fluid aturat es va escalfant al no circular i això pot deteriorar el propi fluid i els materials del captador. Per solucionar aquest problema, es col·loca un dissipador⁸ de calor extern cada 6 captador aproximadament la funció del qual és dissipar la calor que s'està generant dintre el captador degut al fluid aturat.

El rang de temperatures en el qual es mou l'aigua obtinguda varia dels 35°C als 45°C. Com és evident, aquesta variació de temperatures està subjecte a la quantitat de radiació que rep el captador i en certa mesura també degut a la temperatura exterior.

La relació entre la temperatura de l'aigua obtinguda i la quantitat de radiació rebuda és proporcional la qual cosa suggereix per a maximitzar el rendiment de la instal·lació és de vital importància assegurar una bona col·locació del panell i mantenint el vidre d'aquest lliure d'elements que bloquegin la llum (per exemple neu acumulada o brutícia).

A la hora de col·locar un captador solar, com que es vol maximitzar la radiació solar incident sobre el captador, la col·locació òptima és orientant el captador cap al sud i inclinant-lo respecte l'horitzontal el mateix nombre de graus que la latitud del lloc de la instal·lació. En els casos en que la instal·lació estigui destinada a treballar durant tot l'any, es suggereix inclinar 10° extres el captador perquè tingui un millor rendiment durant els mesos freds. Òbviament convé situar el captador lluny d'obstacles que facin ombra i si es posa un captador un a continuació de l'altre, és convenient deixar una distància entre ells per evitar que es facin ombra.

El rendiment del captador no és constant ja que aquest depèn de la diferència de temperatures entre la superfície d'aquest i la temperatura de l'aire exterior. Com més gran sigui aquesta diferència, més baix serà el rendiment. Aquest raonament es pot justificar amb el mecanisme de transmissió de calor per convecció: el captador sempre presentarà una temperatura més elevada que l'aire ambient (precisament la funció del captador és retenir la calor i per tant la seva temperatura serà "elevada"). La calor flueix del focus calent al fred i de forma proporcional al gradient tèrmic (considerant un coeficient de convecció constant), per tant, com més gran sigui la diferència més calor fluirà del captador a l'ambient i és perdrà eficiència. Per aquest motiu, el rendiment dels captadors és major durant el mesos d'estiu.

Les especificacions clau d'un captador solar són:

-L'àrea de captació: és la superfície de la làmina de metall sobre la qual reposa el serpentí.

-El rendiment òptic: determina el percentatge de radiació que entra dintre del captador.

-El rendiment instantani: com ja s'ha dit, el rendiment del captador va subjecte a la diferència de temperatures entre la superfície d'aquest i l'aire ambient. El fabricant acostuma a proporcionar un gràfic on es mostra el rendiment instantani en funció de les pèrdues.

-El volum del fluid dins del captador: en funció del volum del líquid el captador serà capaç de proporcionar més o menys potència.

4.1.2. Elements hidràulics

En una instal·lació solar els captadors solars van acompanyats d'una sèrie d'elements indispensables per al correcte funcionament de la instal·lació. En els següents apartats es descriuen els elements més rellevants:

4.1.2.1. Vas d'expansió

El vas d'expansió és un recipient en de forma cilíndrica construït amb acer el qual disposa d'una vàlvula de seguretat. La seva funció és absorbir les fluctuacions de volum en el fluid caloportador degut als canvis de temperatura. Es tracta d'un element molt important ja que sinó hi fos, les canonades o captadors resultarien danyats per l'expansió del fluid quan aquest s'escalfa. La vàlvula de seguretat garanteix que davant d'un excés de pressió, ni el vas ni la instal·lació resultin danyats.

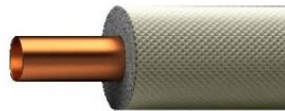


II·lustració 4: Vasos d'expansió de diferents volums

Segons la normativa (RITE 1.3.4.2.4), el volum del vas d'expansió ha de ser 1,1 vegades (110%) el volum de tot el fluid present el en circuit hidràulic.

4.1.2.2. Canonades aïllades

Segurament les canonades són els elements més importants de qualsevol instal·lació hidràulica. S'encarreguen de transportar el fluid d'un lloc a un altre salvant qualsevol obstacle i de forma senzilla. En el cas d'una instal·lació solar tèrmica, les canonades són de coure o acer amb una camisa d'aïllant tèrmic per evitar al màxim les pèrdues de calor abans d'arribar al punt de consum. La normativa (RITE 1.2.4.2.1) facilita mètodes de càlcul per determinar el gruix del aïllant. El mètode més senzill que proposa és mitjançant unes taules on es determina el gruix de l'aïllant a partir del diàmetre de la canonada.



Il·lustració 5: Canonada de coure amb aïllant

4.1.2.3. Vàlvules de tall, d'antiretorn i de seguretat

Per governar la instal·lació hidràulica existeixen les vàlvules de tall que poden tallar el pas del fluid ja sigui accionades manualment o motoritzades. És important col·locar les vàlvules de tall als llocs pertinents per aconseguir una instal·lació flexible i intel·ligent. En el cas dels captadors solars, aquests presenten vàlvules de tall als tubs d'entrada i sortida d'aquests, de manera que si cal substituir un captador, tancant les dues vàlvules es pot fer la reparació sense problemes de vessar el fluid del circuit.



Il·lustració 6: Vàlvula de tall

També es molt important col·locar vàlvules d'antiretorn, aquestes només permeten la direcció del fluid en un sol sentit cosa que resulta útil en fluids calents que interessa que vagin directes al punt de consum.

Per altra banda, les vàlvules de seguretat estan tarades a una certa pressió (inferior a la pressió màxima de treball del circuit) que garanteixen que el circuit no patirà danys en cas de sobrepressions. La normativa facilita metodologies per tal d'ubicar-les correctament en les instal·lacions tèrmiques.

4.1.2.4. Bombes d'aigua

En tota instal·lació hidràulica hi ha pèrdues de càrrega degut al fregament amb els diferents elements de la instal·lació i a la viscositat del fluid, per vèncer aquestes pèrdues cal un dispositiu encarregat de comunicar energia al fluid, aquest és el paper de la bomba d'aigua.

Quan es tracta d'una petita instal·lació d'aigua calenta sanitària amb un captador solar accionat per termosifó, no fa falta instal·lar cap bomba, ara bé, en instal·lacions més grans on hi ha més canonades i més elements (per tant més pèrdues de càrrega) es fa indispensable col·locar bombes d'aigua per tal que els sistema funcioni correctament. A més a més, una bomba ofereix la possibilitat de controlar el cabal del fluid la qual cosa és interessant per demandes fluctuants i per evitar problemes d'estancament.



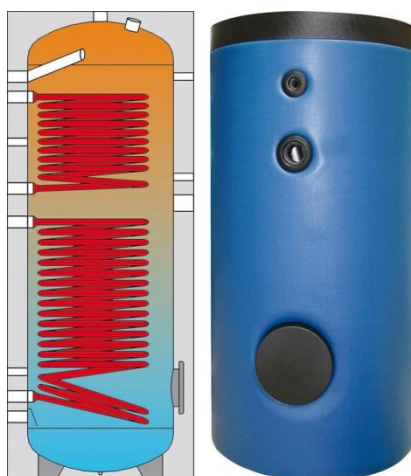
Il·lustració 7: Bomba d'aigua

Les bombes solen estar governades per controladors digitals que reben informació de diferents sensors col·locats als punts importants del circuit. És important que les bombes estiguin situades als punts més freds de tot el circuit per evitar problemes de cavitació.

4.1.2.5. Acumulador

Els acumuladors són dipòsits normalment d'acer recoberts d'una espessa capa d'aïllant tèrmic. La seva funció és emmagatzemar l'aigua calenta que no s'està consumint, per tant, fan la funció de dipòsit pulmó. El seu tret més característic és el volum d'acumulació i en el cas d'instal·lacions solars la normativa exigeix que aquest volum estigui comprès entre 50 i 180 litres per cada metre quadrat de captador solar instal·lat.

En el seu interior presenten un o dos serpentins dintre del quals hi circula el fluid caloportador provinent dels captadors o d'alguna altra font d'energia el qual cedeix la calor a l'aigua present dintre l'acumulador que prèviament s'ha omplert amb aigua de la xarxa.



Il·lustració 8: Acumulador amb dos circuits d'intercanvi

En la fotografia es mostra un acumulador amb dos serpentins, cada un dels quals aporta energia en forma de calor de diferents circuits els quals poden ser per exemple un circuit solar i un altre de gas natural.

El seu ús és vital per a qualsevol tipus d'instal·lació ja que sovint la demanda i la generació d'energia no es corresponen.

Cal anar amb compte amb l'aigua emmagatzemada ja que aquesta es susceptible de ser un ambient favorable per al desenvolupament de la legionel·la. Per evitar-ho, la normativa recomana mantenir la temperatura d'acumulació i de servei per sobre de

60°C.

4.1.2.6. Dissipadors

Els dissipadors són serpentins situats al costat o al darrere dels captadors exposat a l'aire exterior. La seva funció és dissipar la calor del fluid caloportador de dintre els captadors quan la demanda d'energia tèrmica solar és més baixa que la producció. Per evitar els danys es dissipa aquest excés de producció. Habitualment es col·loca un dissipador cada 6 captadors solars.



Il·lustració 9: Dissipador de calor connectat a un captador solar protegit

4.2. Biomassa

El terme biomassa fa referència a tot el conjunt de matèria orgànica que té origen vegetal o animal que pot ser susceptible de ser transformat en energia útil i així doncs esdevenir una font d'energia.

La biomassa és classificada com una font d'energia renovable ja que la matèria orgànica es pot considerar il·limitada sobre la superfície terrestre, és a dir, inesgotable. A més a més, el balanç de carboni es considera 0 perquè se suposa que el carboni emès a l'atmosfera prové d'un organisme que prèviament el va absorbir del medi. Hi ha certa controvèrsia respecte aquesta afirmació ja que els gasos emesos són d'efecte hivernacle i per tant nocius pel medi ambient. També cal tenir en compte que s'emeten òxids de nitrogen, monòxid de carboni, òxids de sofre i partícules sòlides degut a la combustió de la biomassa.

Un clar exemple de recurs sostenible és un camp de gira-sols utilitzat per destil·lar

biodièsel. Un cop s'ha fet la collita, se'n poden tornar a plantar de nous per seguir aconseguint biodièsel de manera que es podria considerar un recurs inesgotable.

L'extracció de l'energia interna en les diferents formes que presenta la biomassa es realitza en processos de combustió en els quals el combustible és utilitzat per als propòsits desitjats.

La biomassa es pot presentar en diversos formats: biocarburants, biogàs, massa llenyosa, residus agrícoles i residus urbans. Els biocarburants són una font d'energia indirecta a partir de la biomassa (cal destil·lar-la) i per tant la seva petjada de CO₂ és més elevada. Dit això, la forma més neta d'aconseguir energia mitjançant la crema de biomassa és aquella que generi menys emissions de CO₂ i generi més beneficis al territori. En aquest aspecte la massa de residus forestal i els residus agrícoles són les fonts de matèria orgànica més beneficioses. Les avantatges són múltiples: tenen una petjada de CO₂ baixa, és una forma útil de desfer-se de residus i poden representar un estalvi econòmic. Per exemple, en el cas dels residus forestals, se'ls dona un ús energètic enlloc de romandre en el bosc que en cas d'incendi resulta perjudicial tenir més combustible potencial de cremar.

En petites, mitjanes i grans instal·lacions es poden utilitzar calderes de biomassa, les quals poden presentar potència que oscil·len des dels 10 kW fins als 600 kW. La majoria poden utilitzar com a combustible: llenya, pinyols d'oliva, estelles de fusta, avellanes, ametlles i sobretot "pellets" de fusta.

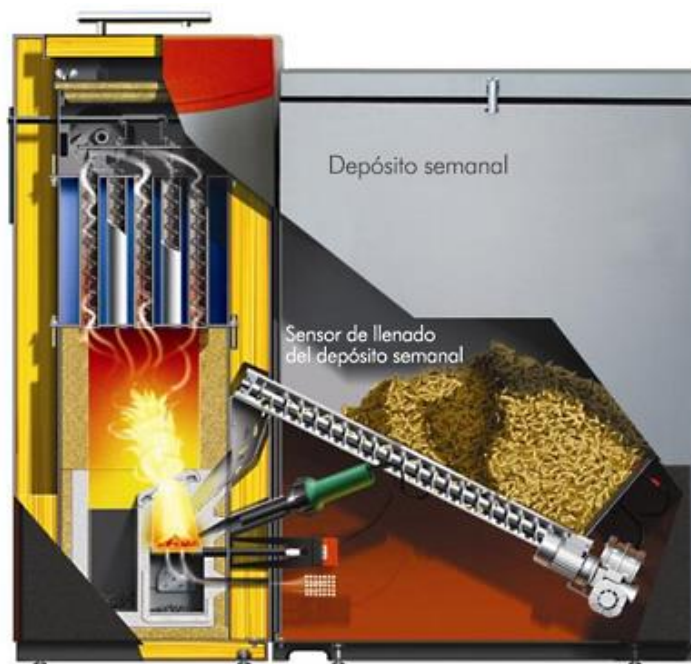


Il·lustració 10: Pellets de fusta

El principi de funcionament de dites calderes és molt senzill, es crema el combustible per tal d'escalfar un fluid dintre d'un serpentí que pot servir per a qualsevol necessitat que requereixi energia calorífica. A partir d'aquí s'han introduït millores per arribar a aconseguir grans rendiments, baixos consums, baixes emissions de CO₂ i l'automatització del procés. Hi ha fabricants que doten els seus models de calderes

amb post-cremadors per millorar les emissions, cargols sense fi per a una alimentació continua, compactació de les cendres generades, auto neteja dels cremadors etc.

Cal tenir present que les calderes poden operar en una gran varietat de règims, és a dir, una caldera pot treballar en molts punts compresos entre un cert mínim i el seu règim nominal la qual cosa resulta un gran avantatge ja que aquesta flexibilitat permet simplificar instal·lacions i respondre a demandes energètiques irregulars optimitzant sempre el consum de combustible.



Il·lustració 11: Secció d'una caldera de biomassa

5. Piscines d'estudi

Les piscines d'estudi pertanyen al Club Natació Atlètic Barceloneta (CNAB) situat al barri de la Barceloneta a les coordenades següents: 41°22'21.8"N 2°11'19.0"E. El seu emplaçament molt proper al mar representa un actiu valuós a més a més del ambient més relaxat en comparació amb altres zones de la ciutat. El club ofereix una gran varietat de serveis de caire esportiu, entre els quals hi ha tres piscines, dues d'exterior i una d'interior on s'hi celebren campionats de waterpolo.

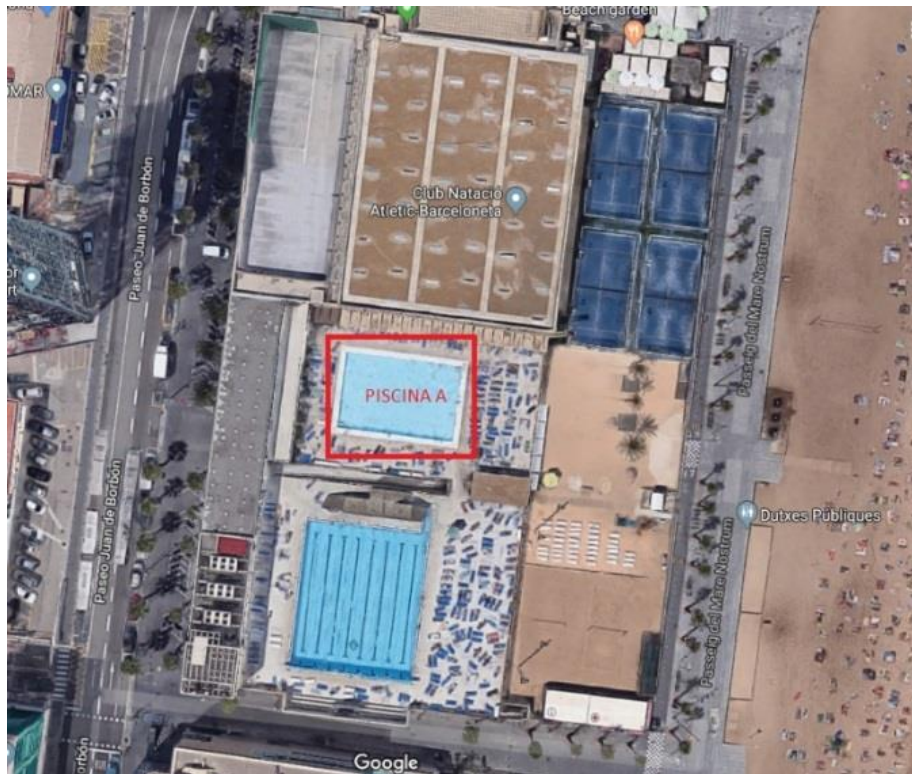
Les dues piscines exteriors estan climatitzades ja que estan obertes durant tot l'any. El nucli d'aquest treball és l'anàlisi tèrmic d'aquestes dues piscines junts amb el subministrament d'aigua calenta sanitària (ACS).

La normativa vigent (RITE article: IT 1.2.4.6.3 punt 1) exigeix que les piscines climatitzades exteriors han d'estar escalfades mitjançant energies renovables o residuals. Òbviament el CNAB compleix la normativa actual i segons conversacions informals mantingudes amb personal del club, a dia d'avui s'utilitzen **tres calderes de biomassa de 500 kW** cadascuna les quals utilitzen pinyol d'oliva provinent de Jaén com a combustible primari. Cal dir que la potència instal·lada serveix per l'escalfament de l'aigua de les piscines i per al subministrament d'aigua calenta sanitària segons fonts del club.

Un cop definit el focus de l'estudi es pretén designar una nomenclatura per fer referència a cada una de les dues piscines de manera que es faciliti la comprensió dels següents apartats presents en aquesta memòria. La nomenclatura queda definida com: piscina A i piscina B.

5.1. Piscina A

La piscina A queda definida en la següent fotografia per satèl·lit de les instal·lacions del club:



Il·lustració 12: Fotografia per satèl·lit de la piscina A

Aquesta piscina està destinada a activitats aquàtiques alternatives a la natació, com pot ser el aquagym, el curset de natació infantil, la rehabilitació de persones amb lesions etc.

La piscina està construïda amb una estructura de formigó i enrajolada totalment. El sistema de filtració és per desbordament.

Les mesures de la piscina A queden recollides en la següent taula:

Paràmetre	Dimensió
Longitud	25 metres
Amplada	20 metres
Fondària	1,3 metres
Volum	650 m ³
Superfícies de vas	500 m ²
Banyistes	62
Temperatura consigna	26°C

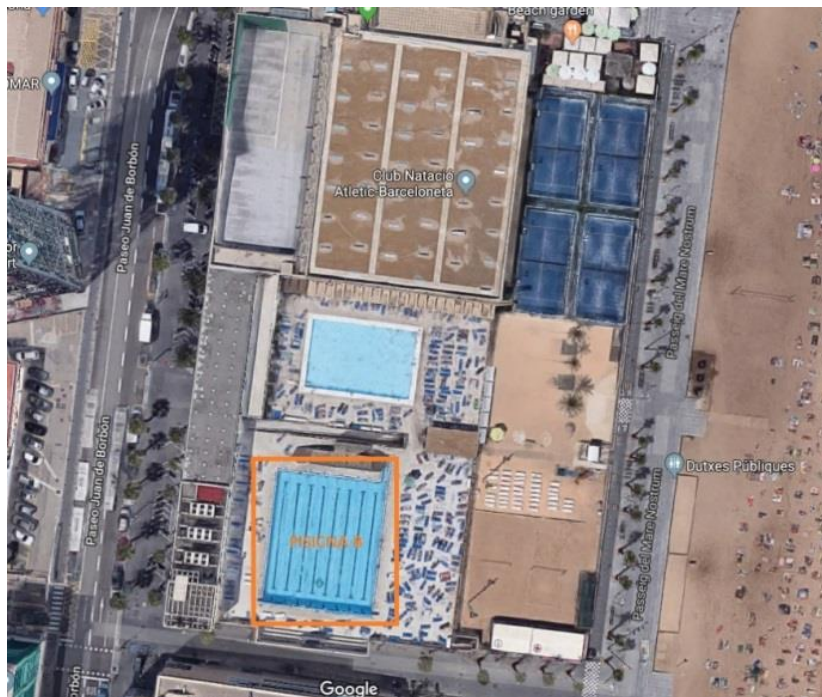
Taula 1: Dades piscina A (elaboració pròpia)

Segons la normativa (RITE article 1.2.4.5.5 punt 1) les piscines climatitzades exteriors han d'estar cobertes amb una manta tèrmica aïllant (composades d'espuma i plàstic) quan no s'estan usant de manera que la piscina presenta un tambor accionat amb un motor elèctric a un dels seus extrems amb la manta tèrmica aïllant enrullada.

La normativa recomana un màxim d'un banyista per cada 4 metres quadrats, donat l'ús de les piscines, es considera el doble d'aquesta xifra per realitzar els càlculs.

5.2. Piscina B

La següent fotografia per satèl·lit mostra la ubicació de la piscina B:



Il·lustració 13: Imatge per satèl·lit on es veu la piscina B

En aquest cas l'ús exclusiu de la piscina és la natació, per això es poden apreciar a la fotografia les línies guia pintades al fons del vas.



Il·lustració 14: Imatge de la piscina B

L'estructura d'aquesta està formada per panells metàl·lics galvanitzats i revestiment interior amb liner. El sistema de filtratge també és per desbordament.

Com a informació extra, es pot veure com la entrada i sortida als vestidors es troba molt a prop de les dues piscines per evitar que els banyistes passin fred a l'hora d'entrar i sortir de la piscina durant els mesos freds.

Les mesures de la piscina B són:

Paràmetre	Dimensió
Longitud	25 metres
Amplada	22 metres
Fondària	2 metres
Volum	1100 m ³
Superfícies de vas	550 m ²
Banyistes	68
Temperatura consigna	26°C

Taula 2: Dades de la piscina B (elaboració pròpia)

Igual que en la piscina A, la piscina B també disposa d'un tambor amb la manta tèrmica enrullada la qual es desplega en quan el club tanca les portes.

5.3. Terrat de l'edifici

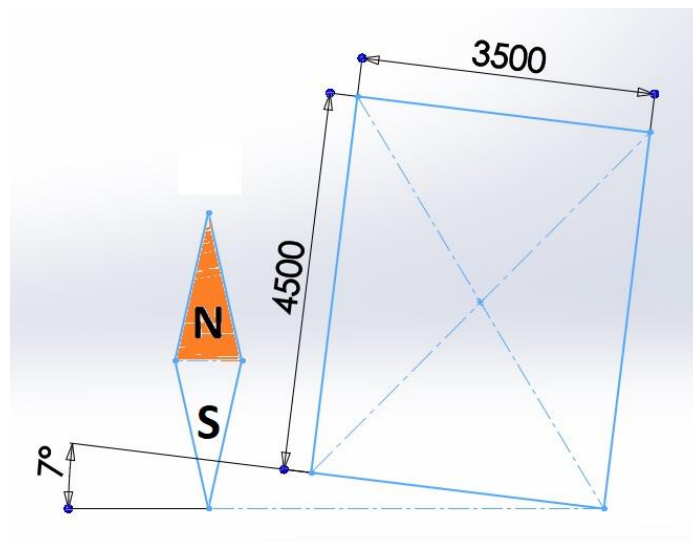
Tenint en compte la naturalesa d'aquest treball, cal saber detalls del possible emplaçament d'una hipotètica instal·lació solar tèrmica amb capadors protegits. Com sembla obvi, el millor lloc per col·locar qualsevol mena d'instal·lació solar és el terrat del edifici on hi toca el Sol durant tot l'any, no hi ha obstacles que li facin ombra, queda fora de la vista dels usuaris i és l'únic lloc propietat del club amb una gran superfície lliure disponible.

Així doncs, el més important de saber són les dimensions del terrat:

Paràmetre	Dimensió
Longitud	45 metres
Amplada	35 metres
Superfície aproximada	1575 m ²
Orientació respecte el sud	7°
Obstacles propers	Cap

Taula 3: Dades del terrat (elaboració pròpia)

En el següent esquema es mostra el terrat amb les seves mides en centímetres i la seva orientació respecte el sud:



Il·lustració 15: Esquema del terrat (elaboració pròpia)

5.4. Aigua calenta sanitària

L'aigua calenta sanitària és aquella aigua que s'utilitza per usos personals, és a dir, és aigua que consumim les persones per rentar-nos i inclús per beure i per tant ha de presentar garanties sanitàries. Habitualment l'aigua calenta sanitària es produeix i distribueix a 60°C ja que aquesta temperatura el bacteri de la legionel·losis no es pot reproduir ni sobreviure.

En el cas d'estudi, la demanda d'aigua calenta es destina als vestidors, on hi ha dutxes i piques que els usuaris poden utilitzar.

6. Càlculs de les demandes energètiques

Per poder fer un estudi complet (tècnic, econòmic i mediambiental) cal saber per sobre de tot la dimensió del problema. Amb les dades facilitades pel CNAB i les metodologies de càlcul presents en les guies oficials de l'ICAEN s'han trobat una sèrie de resultats a partir dels quals es poden començar a treure algunes conclusions o servir de base per fer altres càlculs.

En els següents apartats es descriuen les fórmules utilitzades i els càlculs realitzats així com els resultats extrets d'aquests mostrats en futurs apartats.

6.1. Piscines

Una piscina no és res més que un recipient obert a l'atmosfera que conté aigua en repòs. Si es considera la piscina com el sistema d'estudi i que tot lo demès és l'entorn, es poden plantejar balanços tèrmics per determinar un conveni de signes i determinar les equacions que governen els intercanvis tèrmics sempre treballant en un règim estacionari.

La idea de l'estudi energètic és determinar la potència que fa falta per mantenir l'aigua de la piscina a una temperatura consigna (dintre del rang de valors establerts per la normativa) durant els diversos mesos de l'any.

Potser no sembla obvi, però la piscina presenta una demanda energètica ja que aquesta presenta unes pèrdues d'energia constants, per tant, si es quantifiquen les pèrdues d'energia es pot saber l'energia que cal introduir al sistema (la demanda) per tal de mantenir l'estat del sistema constant.

El sistema piscina presenta una sèrie d'aportacions d'energia i una de pèrdues que es poden modelitzar seguint els mecanismes de transmissió de calor:

-Aportacions d'energia:

-Radiació solar: la radiació electromagnètica provinent del sol aporta energia al sistema.

-Font d'energia externa: una caldera o captadors solars aporten energia calorífica al sistema.

-Pèrdues d'energia:

-Per evaporació: la principal pèrdua d'energia en una piscina es l'evaporació. L'aigua d'aquesta absorbeix energia per tal d'efectuar el canvi de fase a vapor.

-Per radiació: segons la termodinàmica, tots els cossos a una certa temperatura emeten radiació electromagnètica (energia) a l'entorn, per tant, en tenir la piscina una certa temperatura es produeixen pèrdues d'energia cap a l'entorn.

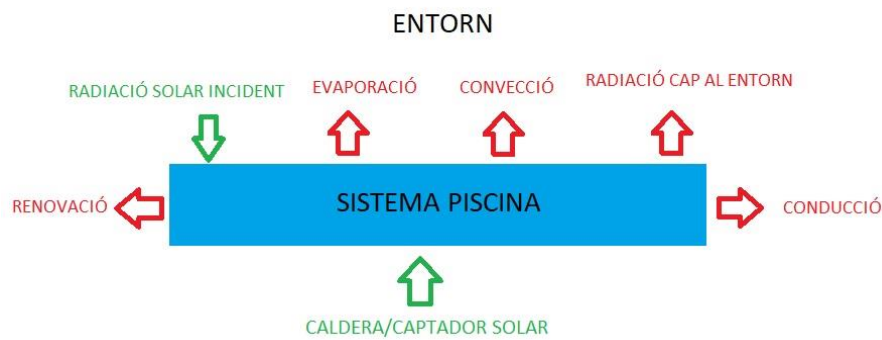
-Per convecció: al ser una piscina exterior part de l'energia se cedeix a l'aire ambient (depèn de les temperatures del dos sistemes) de forma espontània. En cas de que hi hagi vent aquest intercanvi es veu accelerat.

-Per conducció: a través de les parets del recipient existeix un petit flux d'energia sortint del sistema piscina ja que les parets estan a una temperatura més baixa que l'aigua de la piscina.

-Per renovació: degut a l'evaporació i segons normativa, cal introduir aigua nova a la piscina. Aquesta nova aigua cal escalfar-la a la temperatura de la piscina la qual cosa suposa una aportació d'energia extra que cal tenir en compte.

Per poder fer un esquema dels fluxos d'energia mencionats, cal determinar un criteri de signes. Habitualment s'utilitza el signe positiu per aquelles aportacions d'energia que entren al sistema i negatiu pels fluxos que en surten, en aquest treball s'ha considerat el criteri contrari (negatiu és flux entrant i positiu sortint), el motiu que justifica aquest canvi és el següent: al ser les pèrdues molt nombroses i les aportacions poques es decideix canviar el criteri per comoditat de càlculs i més facilitat d'interpretació.

Un cop fixat el criteri de signes, es poden representar les transmissions d'energia amb l'esquema de la pàgina següent:



Il·lustració 16: Balanç tèrmic del sistema piscina (elaboració pròpia)

6.1.1. Fórmules emprades

Com s'ha mencionat, per modelitzar gran part de les transmissions d'energia (totes elles en forma de calor) s'han utilitzat les fórmules pròpies de la termodinàmica i d'altres fórmules de termodinàmica les quals es mostren a continuació.

6.1.1.1. Evaporació

Per calcular la potència perduda per evaporació cal saber el cabal d'aigua que s'evapora per metre quadrat de piscina. Per trobar aquest cabal s'utilitza la fórmula de Carreras:

$$\text{Eq (1). } M_{evap} \left[\frac{kg}{h \cdot m^2} \right] = (9 \cdot (W_e - W_a) \cdot \left(1 + \frac{V}{1,2}\right) \cdot S + 0,42 \cdot n + 0,082 \cdot N) / S$$

Font: [2]

On:

W_e =humitat en saturació a la temperatura de l'aigua [kg aigua/kg aire]

W_a =humitat en saturació a la temperatura de l'aire [kg aigua/kg aire]

V =velocitat del vent [m/s]

S =superfície de la làmina d'aigua [m²]

n =nombre de banyistes

N =nombre de persones a les graderies

Un cop se sap el cabal d'evaporació i sabent que la calor latent de vaporització de l'aigua és de 680 Wh/kg, es pot trobar la potència perduda per evaporació per metre

quadrat de superfície del vas d'aigua:

$$\text{Eq (2). } Q_{\text{evap}} \left[\frac{W}{m^2} \right] = 680 \cdot \frac{M_{\text{evap}}}{s}$$

Font: [2]

6.1.1.2. Radiació

El líquid de la piscina perd calor per radiació quan la temperatura d'aquest és superior a la de l'entorn. Per tal d'aplicar les fórmules que quantifiquen aquest intercanvi, cal considerar la superfície del líquid com una placa a una certa temperatura (la de la piscina). Les fórmules per trobar la quantitat de calor perduda en forma de radiació per metre quadrat són les següents:

$$\text{Eq (3). } Q_{\text{rad}} \left[\frac{W}{m^2} \right] = q_{\text{rad}_1} - q_{\text{rad}_2}$$

$$\text{Eq (3.1). } q_{\text{rad}_1} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{\text{aigua}}^4$$

$$\text{Eq (3.2). } q_{\text{rad}_2} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \sigma \cdot T_{\text{aigua}}^4 \cdot (0,55 + 0,056 \cdot \sqrt{Pa}) \quad (\text{Fórmula de BRUNT})$$

Font: [2]

On:

T_{aigua} = és la temperatura consigna de l'aigua [en graus Kelvin].

σ = constant de Stefan-Boltzman que val $5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$.

ε = emissivitat de l'aigua, es considera el valor de 0,95 (adimensional).

Pa = pressió parcial de vapor de l'aire [mbar].

6.1.1.3. Convecció

Les pèrdues per convecció són aquelles en que l'aire en contacte amb la làmina d'aigua extreu la calor del líquid (la calor flueix del focus calent al fred) de forma natural i espontània. El ritme al que es perd calor ve determinat pel coeficient de convecció i del gradient tèrmic:

$$\text{Eq (4). } Q_{\text{conv}} \left[\frac{W}{m^2} \right] = h \cdot (T_{\text{aigua}} - T_{\text{aire}})$$

Font: [2]

El coeficient de convecció depèn de les condicions atmosfèriques, sobretot de la velocitat del vent. Per determinar-lo s'ha usat el model de Ruiz:

$$\text{Eq (4.1). } h \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] = 3,1 + 4,1 \cdot v$$

Font: [3]

On v és la velocitat del vent en [m/s] i totes les temperatures estan en [°C].

6.1.1.4. Conducció

Al ser la temperatura del sòl habitualment baixa durant tot l'any (i en el cas d'estudi sempre més baixa que la temperatura consigna de l'aigua) es produeix un flux de calor sortint d'aquesta a través de les parets que confinen el líquid.

Així doncs, la fórmula que determina les pèrdues de convecció per metre quadrat és:

$$\text{Eq (5). } Q_{cond} \left[\frac{W}{m^2} \right] = K_{murs} \cdot \left(\frac{S_{murs}}{S_{vas}} \right) \cdot (T_{aigua} - T_{murs})$$

Font: [2]

On:

S_{murs} =superfície en contacte amb el líquid [m²].

S_{vas} =superfície de la làmina d'aigua [m²].

T_{murs} =temperatura a la qual es troben els murs en [°C]. Per poder fets els càlculs s'han agafat els valor de referència del CTE-HE1: 8°C pels mesos de novembre, desembre, gener i febrer; 11°C per als mesos de març, abril, maig i octubre; i 13°C per al juny, juliol, agost i setembre.

K_{murs} =coeficient de transmissió de calor dels murs i solera. Per simplificar els càlculs s'ha agafat el valor genèric màxim que fixa el CTE-HE1 prenent un valor de $0,73 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$. Font: [2]

6.1.1.5. Renovació

La renovació consisteix en introduir aigua provinent de la xarxa a la piscina per suplir les pèrdues d'aigua per evaporació i també per renovar l'aigua i així garantir la salubritat de la instal·lació. La normativa fixa que aquest cabal sigui com a mínim el

5% del volum de la piscina a renovar en un dia.

L'aigua potable provinent de la xarxa acostuma a tenir una temperatura inferior als 20°C, per tant, al estar aquesta per sota la temperatura consigna de 26°C, caldrà escalfar-la i per tant suposa un consum energètic a tenir en compte. La fórmula és la següent:

$$\text{Eq (6). } Q_{\text{renov}} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \text{cabalrenov} \cdot \left(\frac{ce}{3,6} \right) \cdot \frac{(T_{\text{aigua}} - T_{\text{xarxa}})}{S_{\text{vas}}}$$

Font: [2]

On:

Cabalrenov=cabal de renovació en [m³/h].

T_{xarxa}=temperatura de l'aigua provinent de la xarxa [°C].

S_{vas}=superfície de la làmina d'aigua [m²].

Ce=calor específic de l'aigua a 25°C. Aquest valor s'ha fixat a 4186 [$\frac{J}{Kg \cdot ^\circ C}$].

6.1.2. Recol·lecció de les dades necessàries

Com s'ha pogut veure anteriorment, per trobar les pèrdues de calor del sistema piscina cal saber les condicions atmosfèriques i altres dades necessàries per fer els càlculs desitjats.

Totes les dades referents a la piscina ha estat facilitades pel departament de Relacions Públiques del club CNAB.

Pel que fa les dades meteorològiques (velocitat del vent, temperatura el aire, radiació solar etc), està clar que la situació ideal seria prendre mesures durant un període llarg de temps a la localització de les instal·lacions d'estudi i extreure les dades desitjades. Per motius obvis, en aquest treball no s'ha procedit d'aquesta manera sinó que les dades meteorològiques s'han trobat a webs oficials de la Generalitat de Catalunya on es faciliten les dades de les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMAs) distribuïdes arreu de tot el territori que prenen mesures d'un gran nombre de variables d'interès de forma diària.

Tot i així, no hi ha cap EMA situada a la localització del CNAB per tant s'han agafat les dades proporcionades per l'EMA situada a la bocana sud del Port de Barcelona la qual és la més propera a les instal·lacions d'estudi i presenta un entorn molt similar.

En la guia pràctica s'ha trobat alguna dada empírica d'interès, com pot ser la temperatura de l'aigua provinent de la xarxa o el coeficient de transmissió de calor dels murs i solera entre d'altres.

No obstant, algunes dades s'han trobat a partir del diagrama psicomètric a pressió atmosfèrica i les taules d'estats de termodinàmica a falta de taules amb dades empíriques.

6.2. Vestuaris (ACS)

A més a més de la demanda energètica que causen les dues piscines exteriors, els vestuaris requereixen aigua calenta sanitària que cal tenir en compte per tal de fer una bona anàlisi energètic global.

Com ja s'ha mencionat anteriorment, la temperatura de servei de l'ACS és de 60°C per tal de pervenir la legionel·losis de manera que aquesta dada està fixada per la normativa.

A continuació s'expliquen els procediments i fórmules utilitzats per trobar la demanda energètica causada per l'ACS els quals han estat extrets de la Guia pràctica número 3 sobre energia solar tèrmica de l'ICAEN.

6.2.1. Fórmules emprades

A diferència de les piscines, trobar la demanda energètica d'ACS només requereix d'una fórmula de termodinàmica bàsica. En aquest cas, les unitats utilitzades no són totes del Sistema Internacional degut a que en el món de l'enginyeria s'utilitzen unitats més fàcils d'interpretar, com és el cas del kilowatt hora.

La fórmula utilitzada per trobar l'energia requerida diària per ACS és:

$$\text{Eq (7). } E_{acs} \left[\frac{kWh}{\text{dia}} \right] = V \cdot \rho \cdot ce \cdot (T_{servei} - T_{xarxa})$$

Font: [1]

On:

V=volum d'aigua calenta consumit al dia [litres]

ρ =densitat de l'aigua [kg/litre].

ce =calor específic de l'aigua a 25°C. Aquest valor val 4186 $\left[\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right]$.

T_{xarxa} =temperatura de l'aigua provinent de la xarxa [°C].

T_{servei} =temperatura de l'aigua calenta sanitària. Valor fixat a 60°C.

Com es pot apreciar, cal trobar el volum d'aigua calenta diari per poder trobar la demanda energètica. Per fer-ho, cal multiplicar el consum mitjà d'un usuari del club pel nombre mitjà d'usuaris que assisteixen al club cada dia. En el següent apartat s'expliquen amb detall aquestes dues últimes dades.

6.2.2. Recol·lecció de les dades necessàries

Com s'ha pogut comprovar, el càlcul de la demanda energètica de l'ACS no és gaire complex, no obstant requereix de dades per poder-la trobar.

La temperatura de l'aigua de la xarxa així com la demanda mitja d'un usuari d'un gimnàs s'han obtingut de la mateixa guia pràctica. Aquesta última dada apareix en una taula on hi ha les demandes d'ACS aproximades en litres d'una persona i per dia segons la instal·lació que utilitzi, sent aquesta dada de 20 litres per persona i dia en el cas d'un gimnàs. Font: [3]

Malauradament, l'altre dada necessària important com és el nombre d'usuaris diaris que passen pel club en qüestió no m'ha estat facilitada pel CNAB per motius aliens a mi. Donat aquest obstacle, s'han fet dues anàlisis suposant 600 i 800 usuaris diaris al club durant tots els dies de l'any (cal tenir en compte que el CNAB és un club esportiu multidisciplinari amb unes instal·lacions de gran capacitat amb un nombre de socis propers als 10000).

7. Resultats dels càlculs realitzats

Tenint en compte les equacions exposades en els apartats anteriors, aquí s'expliquen i detallen els càlculs que s'han fet per trobar les demandes energètiques de les piscines així com de l'ASC del club.

En ambdós casos s'ha fet un càlcul de la demanda a nivell mensual (considerant les dades mensuals mitjanes aportades per les diferents fonts d'informació). També és important fer notar que s'ha volgut fer un càlcul conservador, per tant s'han considerat els casos més desfavorables fent algunes simplificacions durant el procés que alteren els resultats (cap a pitjor) per aconseguir una bona base per dimensionar una instal·lació robusta i capaç.

7.1. Piscines

Com ja s'ha pogut veure anteriorment, els càlculs referits a la piscina s'han fet utilitzant la potència instantània ja que interessa saber els pics de demanda abans que el consum total.

S'ha partit de la base que la piscina es troba en règim estacionari i que les temperatures diàries no varien al llarg del dia ni al llarg del mes. En tot moment s'estudia el cas d'obertura del club ja que per la nit la piscina es troba coberta amb un aïllant tèrmic que redueix molt les pèrdues tèrmiques per convecció i evaporació (el primer cas és més desfavorable).

Seguint l'esquema del sistema piscina mostrat (il·lustració 16) i recordant el criteri de signes, el balanç energètic (o de potències) de la piscina és el següent:

$$\text{Eq (8). } -Q_{\text{aport}} - Q_{\text{rad incident}} + Q_{\text{evap}} + Q_{\text{cond}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{renov}} + Q_{\text{rad}} = 0$$

Font: [2]

On:

Q_{aport} és la potència que cal aportar a la piscina amb una font energètica exterior com pot ser una caldera o captadors solars [W/m^2]

$Q_{\text{rad incident}}$ és la potencia solar que arriba a la piscina i contribueix al seu escalfament [W/m^2].

Per realitzar els càlculs d'ambdues piscines s'han utilitzat les següents dades:

-Velocitat del vent al Port de Barcelona (bocana Sud). Font: [4]

-Temperatura mínima mensual del aire al Port de Barcelona (per estudiar el cas més desfavorable). Font: [4]

-Humitat relativa mitjana mensual. Font: [4]

-Temperatura de l'aigua de xarxa a la ciutat de Barcelona segons el mes. Font: [1] (Mundet, 2009)

-Pressió atmosfèrica a nivell del mar. Font: [4]

-Nombre de banyistes (s'ha agafat 1 banyista per cada 8 m², el doble del mínim que imposa la normativa).

-S'ha considerat un dia molt nuvolós, la qual cosa implica que la radiació solar és nul·la de manera que tota la calor de les piscines cal que provingui d'una font d'energia externa. D'aquesta manera s'estudia un cas més desfavorable.

Existeix una fórmula empírica extreta del Pliego de Condiciones Técnicas Baja Temperatura que determina el consum energètic d'una piscina a l'aire lliure:

$$P_{consumida}[kW] = [(28 + 20 \cdot v_{vent}) \cdot (T_{aigua} - T_{aire}) \cdot S_{vas}]/1000$$

Font: [7]

Aplicant aquesta fórmula al mes de gener (velocitat del vent i temperatura del aire mensual de gener) per a la piscina A, el resultat obtingut és de 1400 kW, cosa que més endavant es demostrarà que el consum d'aquesta piscina al mes de gener és de menys de la meitat d'aquest valor proporcionat per la fórmula. Per tant, no s'ha utilitzat aquesta fórmula ja que no té en compte totes les variables que afecten al consum i no és tant precisa com les metodologies mostrades en la guia de l'ICAEN.

7.1.1. Piscina A

Les dades específiques de la piscina A són:

Superfície vas	500 m ²
Superfície de contacte amb els murs	617 m ²
Longitud del vas	25 m
Temperatura consigna	26°C
Cabal de renovació (del 5% del volum)	1,354 m ³ /h
Volum d'aigua	650 m ³
Nombre de banyistes	62

Taula 4: Dades de la piscina A (elaboració pròpia)

Els resultats obtinguts d'aplicar les equacions vistes en l'aparat 6.1.1 amb les mateixes unitats [w/m²] per cada més de l'any són:

	Eq.1	Eq.2	Eq.3.1	Eq.3.2	Eq.3	Eq.4.1	Eq.4	Eq.6	Eq.5
PISCINA A	Mevap	Qevap	qrad1	qrad2	Qrad	h	Qconv	Qrenov	Qcond
Gener	0,786	534,575	430,518	312,412	118,106	25,650	520,695	56,719	16,215
Febrer	0,626	425,722	430,518	321,206	109,312	22,370	454,111	53,568	16,215
Març	0,534	363,336	430,518	323,288	107,230	19,090	387,527	47,266	13,512
Abril	0,513	348,903	430,518	325,339	105,179	19,500	395,850	40,964	13,512
Maig	0,410	278,842	430,518	337,418	93,100	18,680	379,204	37,813	13,512
Juny	0,221	150,074	430,518	350,632	79,886	19,090	387,527	34,662	11,711
Juliol	0,185	125,804	430,518	359,597	70,921	19,910	404,173	31,511	11,711
Agost	0,156	106,297	430,518	359,998	70,520	18,270	370,881	34,662	11,711
Setembre	0,336	228,442	430,518	344,711	85,807	20,320	412,496	37,813	11,711
Octubre	0,308	209,380	430,518	345,148	85,370	16,220	329,266	40,964	13,512
Novembre	0,542	368,602	430,518	316,487	114,031	19,090	387,527	47,266	16,215
Desembre	0,666	452,586	430,518	309,061	121,457	21,550	437,465	56,719	16,215

Taula 5: Pèrdues mensuals de la piscina A (elaboració pròpia)

En la taula anterior es poden apreciar totes les pèrdues, per tant, utilitzant l'equació (8) es pot aïllar l'aportació necessària per metre quadrat per garantir la temperatura consigna, on multiplicant per la superfície del vas es troba la potència total després

passada a unitats de quilowatts.

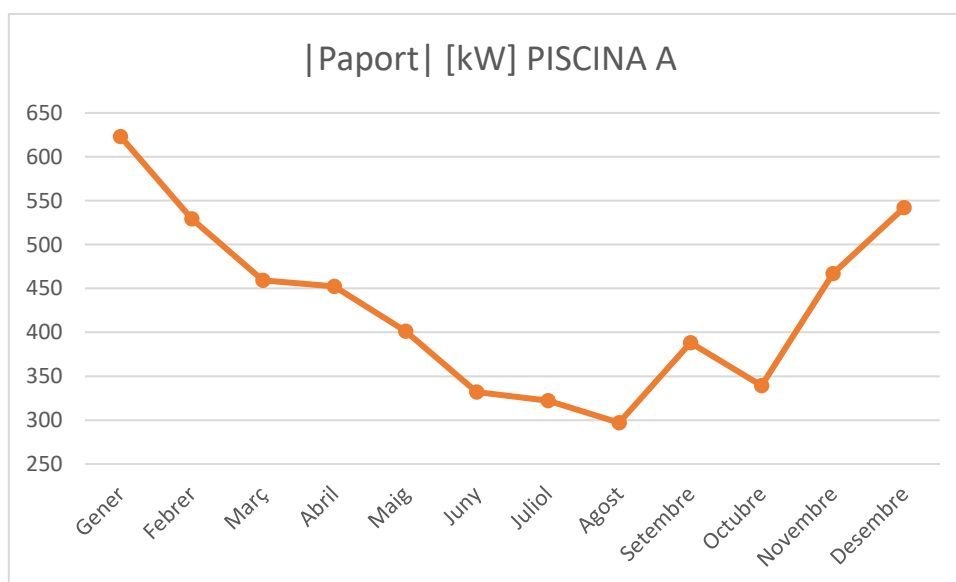
Segons el criteri de signes l'energia aportada és negativa, en la taula següent es mostra la potència aportada en valor absolut per facilitar la visualització:

Eq.8

PISCINA A	Qaport	Paport [kW]
Gener	1246,310	623,155
Febrer	1058,928	529,464
Març	918,872	459,436
Abril	904,409	452,204
Maig	802,471	401,236
Juny	663,859	331,930
Juliol	644,119	322,060
Agost	594,070	297,035
Setembre	776,268	388,134
Octubre	678,493	339,246
Novembre	933,641	466,821
Desembre	1084,443	542,221

Taula 6: Potències aportades a la piscina A (elaboració pròpia)

Representant gràficament la potència aportada es veu la tendència que segueix durant l'any:



Il·lustració 17: Potència aportada a la piscina A mensualment (elaboració pròpia)

Tots aquests resultats obtinguts es discutiran en apartats futurs.

7.1.2. Piscina B

Les dades específiques de la piscina B són:

Superfície vas	550 m ²
Superfície de contacte amb els murs	738 m ²
Longitud del vas	25 m
Temperatura consigna	26°C
Cabal de renovació (del 5% del volum)	2,291 m ³ /h
Volum d'aigua	1100 m ³
Nombre de banyistes	68

Taula 7: Dades piscina B (elaboració pròpia)

Els resultats obtinguts d'aplicar les equacions vistes en l'aparat 6.1.1 amb les mateixes unitats [w/m²] per cada més de l'any són:

	Eq.1	Eq.2	Eq.3.1	Eq.3.2	Eq.3	Eq.4.1	Eq.4	Eq.6	Eq.5
PISCINA B	Mevap	Qevap	qrad1	qrad2	Qrad	h	Qconv	Qrenov	Qcond
Gener	0,786	534,561	430,518	312,412	118,106	25,650	520,695	87,245	17,631
Febrer	0,626	425,709	430,518	321,206	109,312	22,370	454,111	82,398	17,631
Març	0,534	363,324	430,518	323,288	107,230	19,090	387,527	72,705	14,693
Abril	0,513	348,891	430,518	325,339	105,179	19,500	395,850	63,011	14,693
Maig	0,410	278,832	430,518	337,418	93,100	18,680	379,204	58,164	14,693
Juny	0,221	150,068	430,518	350,632	79,886	19,090	387,527	53,317	12,734
Juliol	0,185	125,800	430,518	359,597	70,921	19,910	404,173	48,470	12,734
Agost	0,156	106,293	430,518	359,998	70,520	18,270	370,881	53,317	12,734
Setembre	0,336	228,434	430,518	344,711	85,807	20,320	412,496	58,164	12,734
Octubre	0,308	209,372	430,518	345,148	85,370	16,220	329,266	63,011	14,693
Novembre	0,542	368,589	430,518	316,487	114,031	19,090	387,527	72,705	17,631
Desembre	0,666	452,572	430,518	309,061	121,457	21,550	437,465	87,245	17,631

Taula 8: Pèrdues mensuals de la piscina B (elaboració pròpia)

En la taula anterior es poden apreciar totes les pèrdues, per tant, utilitzant la equació (8) es pot aïllar la aportació necessària per metre quadrat per garantir la temperatura consigna, on multiplicant per la superfície del vas es troba la potència total després

passada a unitats de quilowatts.

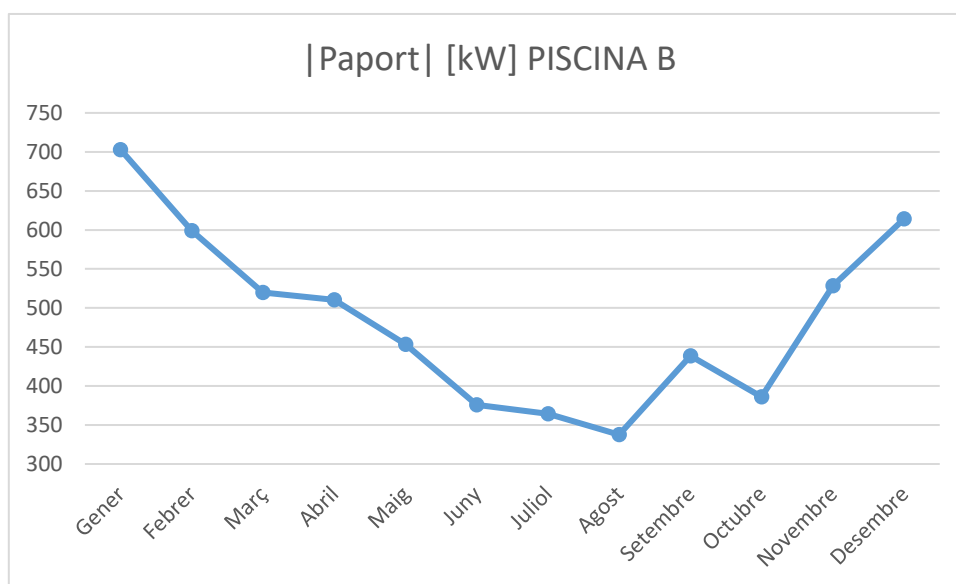
Segons el criteri de signes l'energia aportada és negativa, en la taula següent es mostra la potència aportada en valor absolut per facilitar la visualització:

Eq.8

PISCINA B	Qaport	Paport [kW]
Gener	1278,239	703,031
Febrer	1089,162	599,039
Març	945,478	520,013
Abril	927,624	510,193
Maig	823,993	453,196
Juny	683,532	375,943
Juliol	662,097	364,154
Agost	613,744	337,559
Setembre	797,634	438,699
Octubre	701,712	385,941
Novembre	960,483	528,266
Desembre	1116,371	614,004

Taula 9: Potència mensual aportada a la piscina B (elaboració pròpia)

Representant gràficament la potència aportada es veu la tendència que segueix durant l'any:



Il·lustració 18: Potència mensual aportada a la piscina B (elaboració pròpia)

Tots aquests resultats obtinguts es discutiran en apartats futurs.

7.2. ACS

Amb el cas d'aigua calenta sanitària, els càlculs realitzats mostren el consum d'energia en forma d'aigua calenta de forma diària. Per fer-los calen les següents dades:

-Temperatura de l'aigua de xarxa a la ciutat de Barcelona segons el mes. Font: [1]

-Consum diari de litres d'ACS per persona. Font: [1]

-Nombre d'usuaris diaris al club.

Com ja s'ha comentat, no s'ha disposat d'aquesta última dada, per tant s'han realitzat dos estudis de dos casos diferents. Primer s'ha suposat una aflluència diària de 600 usuaris i després una de 800 usuaris diaris, Cas 1 i Cas 2 respectivament.

7.2.1. Cas 1: aflluència de 600 usuaris diaris

Suposant un volum de 600 usuaris durant l'horari d'obertura del club, els litres diaris consumits d'ACS són la multiplicació del nombre d'usuaris pel consum de cada un d'aquests (20 litres per persona i dia en el cas d'un gimnàs), obtenint així 12000 litres al dia d'aigua calenta sanitària.

Amb aquest valor i la equació (7) s'obté la següent taula de valors on la energia mensual és la multiplicació del consum diari per nombre de dies del mes en qüestió:

Eq. 7

n=600	Eacs [kWh/dia]	Eacs mensual [kWh]
Gener	725,573	22492,773
Febrer	711,620	19925,360
Març	683,713	21195,113
Abril	655,807	19674,200
Maig	641,853	19897,453
Juny	627,900	18837,000
Juliol	613,947	19032,347
Agost	627,900	19464,900
Setembre	641,853	19255,600
Octubre	655,807	20330,007
Novembre	683,713	20511,400
Desembre	725,573	22492,773

Taula 10: Consum mensual d'energia per ACS (elaboració pròpia)

Els resultats es discutiran més endavant.

7.2.2. Cas 2: afluència de 800 usuaris diaris

Suposant un volum de 800 usuaris durant l'horari d'obertura del club, els litres diaris consumits d'ACS són la multiplicació del nombre d'usuaris pel consum de cada un d'aquests (20 litres per persona i dia en el cas d'un gimnàs), obtenint així 16000 litres al dia. Igual que en l'apartat anterior, la taula de resultats queda així:

Eq. 7

n=800	Eacs [kWh/dia]	Eacs mensual [kWh]
Gener	967,431	29990,364
Febrer	948,827	26567,147
Març	911,618	28260,151
Abril	874,409	26232,267
Maig	855,804	26529,938
Juny	837,200	25116,000
Juliol	818,596	25376,462
Agost	837,200	25953,200
Setembre	855,804	25674,133
Octubre	874,409	27106,676
Novembre	911,618	27348,533
Desembre	967,431	29990,364

Taula 11: Consum mensual d'energia per ACS (elaboració pròpia)

Tots els resultats obtinguts es discutiran en els següents apartats.

8. Anàlisi dels resultats

En aquest apartat es discutiran i analitzaran els resultats obtinguts en els càlculs anteriors de forma global.

8.1. Anàlisi de les piscines

Com es pot comprovar, la major demanda de potència es produeix al mes de gener en ambdues piscines sent aquesta de **623,155 kW** per la piscina A i de **703,031 kW** en el cas de la piscina B. Amb aquests dos resultats es pot fer una petita comprovació per veure si els resultats són factibles. Si se sumen els dos valors es pot veure que no superen els 1500 kW instal·lats a dia d'avui segons fonts del club, la qual cosa indica que encara que els càlculs hagin estat conservadors, la potència instal·lada és suficient per cobrir la demanda la qual cosa indica que els resultats podrien ser realistes.

Analitzant les pèrdues que experimenten les piscines, es troben les contribucions de cada mecanisme de transmissió de calor per a cada piscina:

Contribució a les pèrdues totals	Qevap	Qrad	Qconv	Qrenov	Qcond
PISCINA A	34,86%	11,26%	47,22%	5,04%	1,61%
PISCINA B	33,89%	10,95%	45,91%	7,54%	1,70%

Taula 12: Contribucions a les pèrdues de cada mecanisme de transmissió de calor (elaboració pròpia)

Tal i com ja s'esperava, la principal pèrdua de potència es produeix pel contacte amb l'aire. Per això si es vol minimitzar la despesa energètica és interessant fer una coberta per la piscina o (com ja indica la normativa) cobrir la piscina amb un aïllant tèrmic sempre que es pugui. Per aquets motiu, la demanda en hores en que el club roman tancat (per les nits) és més baixa ja que la manta tèrmica bloqueja gran part de les pèrdues per convecció.

A grans trets, es pot apreciar la gran quantitat de potència que fa falta, sobretot als mesos d'hivern, per mantenir l'aigua a la temperatura desitjada. Això justifica la exigència de la normativa d'obligar a que tota aquesta energia provingui d'un font renovable i neta.

Per altra banda, s'intueix que la generació de tota aquesta potència sols amb energia solar tèrmica pot resultar ser tècnicament inviable i econòmicament un disbarat. En apartats següents es discutiran les opcions que hi ha.

8.2. Anàlisi de l'ACS

Per poder comparar les xifres de potència obtingudes als càlculs de les piscines amb les xifres d'energia diària de l'aigua calenta (per poder fer una comparació de magnituds), es proposa el següent petit càlcul:

Si s'agafa el consum energètic diari del mes més desfavorable mostrat en taules anteriors i es divideix pel nombre d'hores d'obertura del club (16h), es pot trobar una potència mitjana diària (la més gran de tots el mesos del any). Fent aquest càlcul pels dos casos d'estudi trobem que:

	Energia anual [kWh]	Mes de màxim consum	Màxim consum diari [kWh]	Potència mitjana [kW]	Diferència
Cas 1	243108,927	gener/desembre	725,573	45,348	33,33%
Cas 2	324145,236	gener/desembre	967,431	60,464	

Taula 13: Resum de resultats per ACS (elaboració pròpia)

Comparant les xifres, es veu clarament com la potència mitjana requerida per produir ACS durant el mes més crític de l'any és insignificant si es compara amb la demanda de potència de les piscines de qualsevol mes de l'any.

També es pot veure que la progressió de l'energia consumida és proporcionalment lineal al increment d'usuaris que utilitzin el club.

A més a més es veuen en les taules de resultats que els consum energètic no fluctua tant com és el cas de les piscines, això es degut al inferior nombre de variables que prenen part en el càlcul d'aigua calenta sanitària. Cal dir que s'ha considerat una demanda d'ACS constant durant l'any i un nombre constant d'usuaris sense tenir en compte els períodes de vacances que poden afectar a la afluència de gent.

Un cop més, aquestes simplificacions s'han fet per presentar el cas més desfavorable i així proporcionar uns resultats més conservadors.

9. Possibles solucions tècniques

Com bé indica el títol d'aquest treball i tal i com s'ha pogut veure reflectit en l'abast i objectius d'aquest projecte, es tracta de comprovar la viabilitat tècnica i econòmica de climatitzar les piscines exteriors amb instal·lacions solars tèrmiques i comparar-les amb les actuals instal·lacions de biomassa.

Actualment hi ha moltes piscines exteriors escalfades amb energia solar tèrmica ja que la normativa exigeix que l'energia provingui de fonts renovables per tal de climatitzar les piscines exteriors i les opcions són poques (o energia solar tèrmica o biomassa principalment). Sovint la energia solar tèrmica és suficient per satisfer les necessitats energètiques de la instal·lació de manera que no cal instal·lar una caldera de biomassa on els costos creixen degut al consum de combustible i la inversió inicial elevada. Ara bé, les instal·lacions que funcionen exclusivament amb energia solar tèrmica presenten grans limitacions com ara períodes de bany limitats a certs mesos del any o la grandària de les piscines és de caire domèstic.

En aquest treball s'ha estudiat les opcions d'utilitzar energia solar, biomassa i una combinació de les dues per satisfer les necessitats energètiques de climatització de les piscines i el subministrament d'aigua calenta sanitària.

Per fer un bon dimensionament d'una instal·lació tèrmica, es reitera que cal estudiar el cas més desfavorable per així assegurar que la instal·lació funciona en una gran varietat de condicions. Així doncs, en els següents apartats es presenten les discussions i raonaments sobre els dimensionaments d'instal·lacions amb les diferents alternatives energètiques que hi ha per climatitzar les piscines i a més a més garantir el subministrament d'aigua calenta sanitària.

9.1. Solar tèrmica

Abans de fer cap càlcul, cal raonar si és factible tenir una sola instal·lació solar tèrmica capaç de suplir la totalitat de la demanda energètica al llarg de tot el dia durant tot l'any.

La resposta és no. Un dels inconvenients de l'energia solar és que necessita radiació solar per funcionar, per tant, en hores nocturnes no hi ha generació. En el cas d'estudi que ens ocupa això resulta ser un gran inconvenient ja que la demanda d'energia per part de les piscines és continua, especialment durant les hores d'obertura del club.

En els mesos hivernals es pot apreciar aquest comportament: el club tanca les portes a les 23h, tenint en còpte que el Sol es pon aproximadament a les 18h, s'aprecia un interval de temps en que no hi ha radiació solar però la demanda segueix sent alta. Com és obvi, un dia nuvolat amb una radiació solar molt baixa també impedeix que la energia solar sigui la única font d'energia per als diversos usos que ens ocupen.

La conclusió extreta amb el raonament anterior és que no és viable suplir la totalitat de la demanda exclusivament amb energia solar tèrmica, cal una font d'energia auxiliar.

9.2. Biomassa

La biomassa no presenta els inconvenients de l'energia solar tèrmica, té una gran flexibilitat i també és una font d'energia renovable.

Com ja s'ha dit repetides vegades, per fer un bon dimensionament cal fixar-se en el cas més desfavorable, per tant, les dades de referència de consum de potència són les referents al mes de gener per ambdues piscines i per l'ACS tenint en compte una afluència de 800 persones (cas més desfavorable). Recuperant els resultats corresponents a aquestes referències tenim que: **623,155 kW**, **703,031 kW** i **60,464 kW** respectivament.

Si es fa la suma dels valors anteriors es pot trobar la potència tèrmica total que pot arribar a consumir el club en un mes de gener és de: **1386,650 kW**.

Com ja s'ha dit, actualment el club disposa de tres calderes de biomassa amb una potència nominal de 500 kW cada una, la qual cosa un cop més indicia que la potència instal·lada es suficient per suplir la demanda energètica durant tot l'any sense problemes i així ho reflecteixen els càlculs fets.

El raonament al qual s'arriba és que la biomassa és suficient per satisfer les necessitats de climatització de les piscines i l'ACS del club en una gran varietat de condicions meteorològiques.

Cal mencionar que la biomassa en aquest cas és més pràctica ja que les calderes es poden adaptar a la fluctuació de la demanda fàcilment.

9.3. Mixta

Queda clar doncs com la biomassa és una opció molt sòlida, no obstant, emet gasos d'efecte hivernacle in situ junt amb altres contaminants atmosfèrics durant la combustió i cal pagar pel combustible per tant seria interessant aconseguir algun estalvi en aquesta direcció.

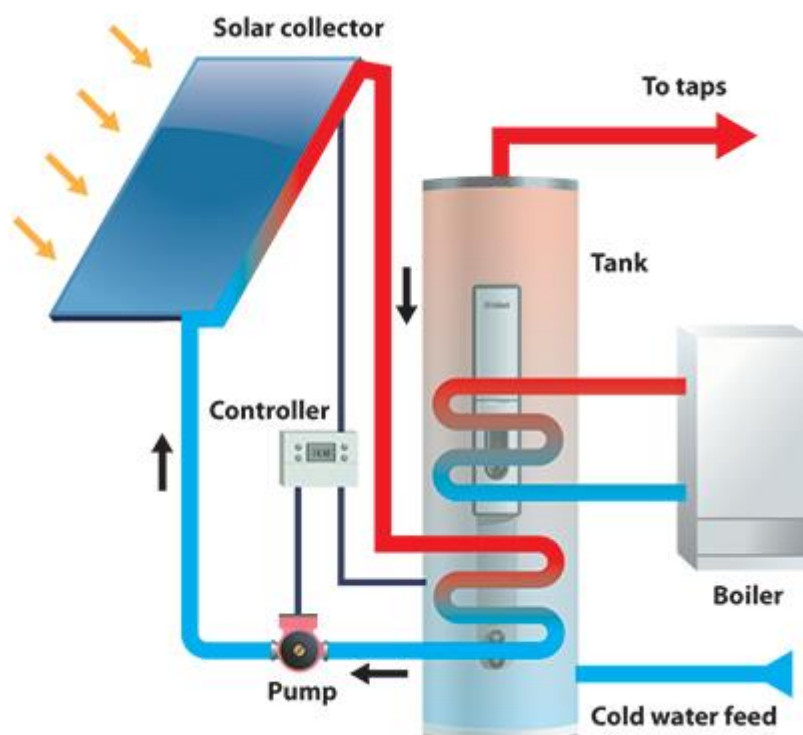
Un dels objectius d'aquets treball és millorar l'eficiència energètica i reduir l'impacte mediambiental de l'actual instal·lació i a més a més aconseguir un estalvi econòmic a mitjà o llarg termini. Per això es proposa que gran part de la demanda energètica que suposa l'ACS sigui satisfeta amb una petita instal·lació solar tèrmica amb la biomassa com a font d'energia auxiliar (en cas de que l'energia solar no sigui suficient per satisfer la demanda).

Així doncs en el següent apartat es mostrarà el procediment seguit per fer un dimensionament de la instal·lació solar tèrmica destinada a produir ACS assumint que la demanda de potència de les piscines es supleix amb les calderes de biomassa.

10. Solució definitiva

Com s'ha comentat, la solució definitiva és una combinació d'energia solar tèrmica per satisfer la demanda d'ACS i les calderes de biomassa per a la climatització de les dues piscines i en cas de que faci falta de produir també ACS.

Per tant, en aquest apartat es pretén analitzar a fons una instal·lació tèrmica solar per satisfer exclusivament la demanda d'ACS, el funcionament de la qual apareix en el següent gràfic:



Il·lustració 19: Esquema del funcionament de la instal·lació proposada

Els captadors solars escalfen l'aigua dels acumuladors sempre que hi hagi radiació solar, altrament l'aigua de l'acumulador és escalfada per la caldera de biomassa.

Per fer el dimensionament dels elements cal tenir en compte diversos aspectes tècnics i normatius:

- El model de captador solar a utilitzar amb les especificacions tècniques d'aquest
- El volum d'acumulació és troba entre 50 i 180 litres per cada metre quadrat de captador

- El volum del vas d'expansió ha de ser el 110% del volum del circuit
- La normativa prohibeix que s'excedeixi el 110% de la demanda en un sol mes
- La normativa prohibeix que s'excedeixi el 100% de la demanda durant 3 mesos
- L'espai disponible per la instal·lació és limitat (la instal·lació solar se situaria al terrat del club el qual presenta un espai limitat) per tant cal comprovar que hi pugui cabre.

Amb aquestes normes en ment i recuperant els resultats mostrats al apartat 8.2, es poden fer els dos dimensionaments dels dos casos d'estudi que representen 600 i 800 usuaris diaris al club.

Hi ha softwares que fan aquesta tasca d'una manera iterativa, introduint la demanda d'aigua calenta sanitària retornen un cert nombre de captadors solars a col·locar. Aquests softwares tenen en compte la normativa i tots els aspectes necessaris per fer el dimensionament com pot ser el model del capador a utilitzar, la inclinació d'aquest, el metres de canonades utilitzats etc.

No obstant, en aquest treball s'ha intentat utilitzar el software oficial CHEQ4 de l'IDAE però per motius tècnics el programa no estava disponible i la versió posteriorment disponible presentava defectes de funcionament. Es van buscar altres softwares més comercials però alguns d'ells presentaven taules de radiació solar incorrectes que portaven a resultats erronis.

Finalment s'ha optat per seguir els processos de dimensionament presents en la guia de l'ICAEN.

10.1. Dimensionament per al Cas 1

En aquest cas, la suma dels consums d'energia mensuals per produir ACS per a 600 usuaris diaris és de **243108,927 kWh** a l'any.

Per captar l'energia solar es pretén utilitzar un captador solar Saltoki GH-LOOP 25 V orientat al sud amb una inclinació de 50°. Tenint en compte que la latitud del lloc és d'aproximadament 40°, els panells es col·loquen a 10° més de la latitud per millorar l'angle d'incidència del Sol en els mesos d'hivern.

Per seguir endavant amb el dimensionament, cal saber la radiació solar incident diària amb orientació sud a un angle de 50° respecte l'horitzontal a l'emplaçament.

Font: [1]

El següent pas és determinar quina quantitat d'energia es pot aprofitar realment (energia útil), per tant cal aplicar el rendiment òptic, el rendiment instantani i el rendiment del circuit hidràulic.

Com ja s'ha comentat, el rendiment instantani del captador varia en funció de les condicions ambientals així com el rendiment del circuit hidràulic. Per tal de simplificar càlculs, s'han agafat valors mitjos per a aquests rendiments prenent uns valors de 60% i 90% respectivament mentre que el rendiment òptic el facilita el fabricant sent 81% en el model de captador escollit.

En la següent taula es mostren l'energia diària incident a 50° d'inclinació [kWh/m²·dia], l'energia que es genera als captadors un cop es tenen en compte el rendiment òptic i instantani [kWh/m²·dia] i finalment l'energia útil que realment es pot aprofitar [kWh/m²·dia] aplicant el rendiment del circuit hidràulic:

	Radiació a 50° [kWh/m ² ·dia]	Energia generada [kWh/m ² ·dia]	Energia útil [kWh/m ² ·dia]
Gener	3,650	1,774	1,597
Febrer	4,260	2,070	1,863
Març	4,960	2,411	2,170
Abril	5,400	2,624	2,362
Maig	5,520	2,683	2,414
Juny	5,520	2,683	2,414
Juliol	5,560	2,702	2,432
Agost	5,560	2,702	2,432
Setembre	5,290	2,571	2,314
Octubre	4,460	2,168	1,951
Novembre	3,930	1,910	1,719
Desembre	3,480	1,691	1,522

Taula 14: Energies diàries rebudes, generades i útils per unitat de superfície (elaboració pròpia)

Per trobar el nombre de metres quadrats de captadors que satisfan el 100% de la demanda es fa servir la següent fórmula:

$$\text{Eq. (12).} \quad M^2 \text{ de captadors} = \frac{E_{acs}}{\text{Energia útil}}$$

Font: [1]

On es divideix la energia demandada diària entre la energia útil diària per metre quadrat de captador solar. Per trobar finalment el nombre de captadors cal dividir els metres quadrats obtinguts amb la fórmula anterior entre la superfície d'un sol

captador.

Com s'ha dit més amunt, la normativa (CTE-HE4 2.1.4) estableix uns límits a la energia generada, per tant, no es poden col·locar tants captadors com facin falta. Per exemple, si es col·loquen els captadors suficients per satisfer el 100% de la demanda al gener, als mesos estivals hi ha una producció que supera àmpliament la demanda la qual cosa no està permès.

La normativa CTE-HE4 2.1.4 indica que la producció no pot ser superior al 100% de la demanda durant un màxim de 3 mesos al any i que en cap mes es pot excedir el 110% d'aquesta, la qual cosa significa que com a molt es pot satisfer la demanda d'ACS al 100% durant 3 mesos al any. En la resta de mesos caldrà en més o menys mesura l'aportació d'energia extra per part del grup auxiliar (calderes de biomassa en aquest cas).

Així doncs, la fórmula anterior no s'ha utilitzat per trobar el nombre de captadors, enlloc s'ha optat per realitzar un procés iteratiu amb el qual s'examina la producció d'energia mensual amb n captadors i es comprova que compleix la normativa mirant el tant per cent de demanda que es cobreix.

Per tant, fent aquest procés, s'arriba a que el nombre màxim de captadors que es poden col·locar i no violar la normativa és de **112 captadors**.

Per trobar l'energia útil mensual generada amb els 112 captadors es fa servir la fórmula següent:

$$\text{Eq.(13). } E_{\text{útil}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right] = E_{\text{útil}} \cdot \text{Dies del mes} \cdot \text{Àrea captador} \cdot N_{\text{captadors}}$$

Font: [1]

Aplicant la formula anterior (13) fixant N captadors a 112, i tenint en compte la demanda mensual (Eacs mensual), es troba la taula de resultats següent:

	Eacs mensual [kWh]	Energia útil amb 112 captadors [kWh/mes]	Demanda satisfeta [%]
Gener	22492,773	12859,952	57,17%
Febrer	19925,360	13556,651	68,04%
Març	21195,113	17475,442	82,45%
Abril	19674,200	18411,951	93,58%
Maig	19897,453	19448,475	97,74%
Juny	18837,000	18821,105	99,92%
Juliol	19032,347	19589,406	102,93%
Agost	19464,900	19589,406	100,64%
Setembre	19255,600	18036,892	93,67%
Octubre	20330,007	15713,804	77,29%
Novembre	20511,400	13399,808	65,33%
Desembre	22492,773	12260,995	54,51%
Anuals [kWh]	243108,927	199163,888	81,92%

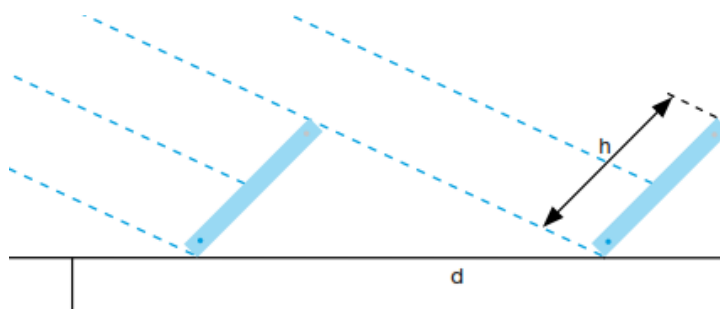
Taula 15: Resultats del procés iteratiu (elaboració pròpia)

Abans d'establir aquest número de captadors com a definitiu, cal comprovar que aquests hi càpiguen al terrat del edifici i que aquest sigui capaç de suportar el pes del conjunt (aquesta última condició s'ha assumit com a certa). Per determinar la distància a la que cal col·locar les fileres de captadors les unes respectes les altres per evitar que es facin ombra és la següent:

$$\text{Eq.(14). } \text{Distància [m]} = h \cdot K$$

Font: [1]

On h és la alçària del captador en metres i K el coeficient de distància entre captadors.



Il·lustració 20: Distància entre captadors inclinats. Font: [1]

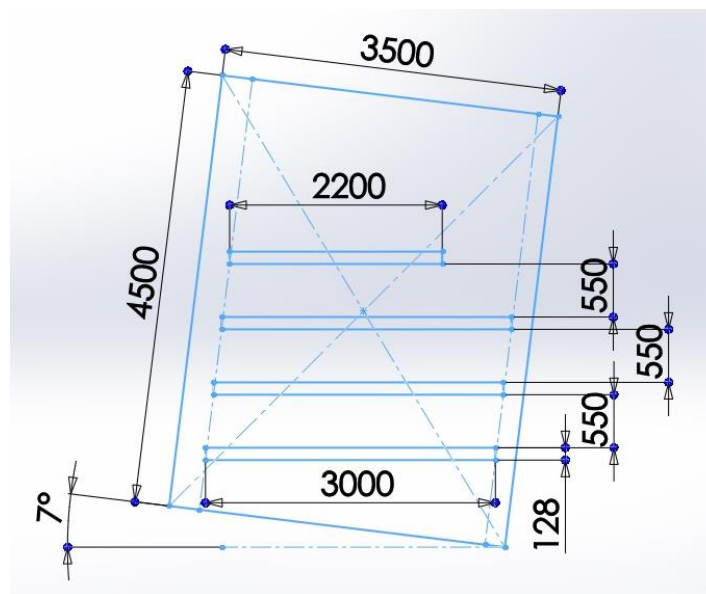
En el cas dels captadors escollits, l'amplada d'aquests és **A=1 metre** mentre que l'alçada val **h=2 metres**. El paràmetre K ve determinat per l'angle d'inclinació que per al cas de 50° aquest valor K val 2,74. Font: [1]

Aplicant la equació (14) obtenim que les fileres de captadors han d'estar situades a **d=5,5 m** entre elles.

El terrat del club és un rectangle de base 35 metres i alçada 45 metres, ara bé, la base d'aquest està desviada 7° respecte a la orientació sud, per tant, com que tots els càlculs s'han considerat per a un angle d'inclinació 0° , cal que les fileres de captadors no estiguin col·locades paral·leles a la base del terrat sinó que presentin una orientació de 7° respecte a la base.

Dit això, es proposa agrupar els panells en **3 files de 30 captadors** cada una i **una fila de 22 captadors**.

En la següent imatge es mostra el terrat vista en planta amb les cotes en centímetres:



Il·lustració 21: Esquema de col·locació dels captadors al terrat (elaboració pròpia)

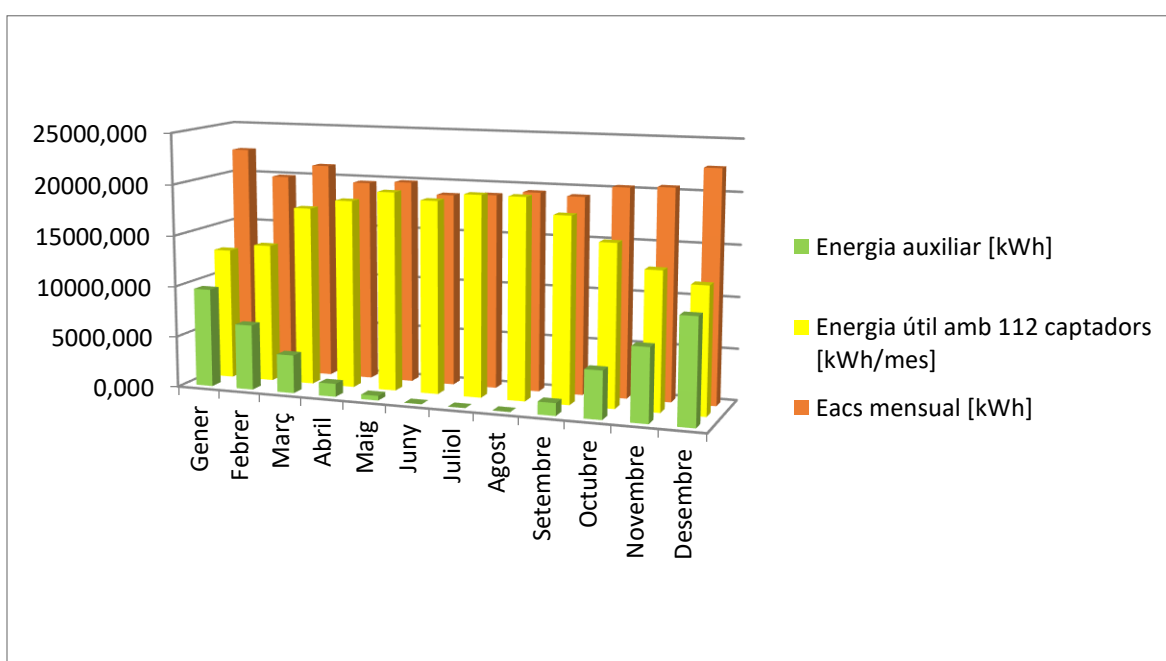
Es pot comprovar com els 112 captadors solars hi caben perfectament respectant els requeriments anteriors.

Per tant, es pot donar per bona la xifra de 112 captadors. Així doncs, al col·locar menys captadors dels que seria idoni, els mesos més crítics (hivernals) no s'arriba a satisfer el 100% de la demanda mentre que als mesos d'estiu sí. Per tant, la font

d'energia auxiliar torna a entrar en joc satisfent la demanda restant als mesos crítics.

A nivell global, només amb l'energia solar tèrmica, es pot arribar a produir el **81,92%** de l'aigua calenta sanitària. La resta cal produir-la amb el sistema auxiliar que en aquets cas són les calderes de biomassa. Aquest comportament es veu molt clar en el mes de gener o desembre on només es satisfà al 57,17% i 57,51% respectivament amb la energia solar tèrmica la qual cosa exigeix que alguna de les 3 calderes de biomassa s'encarregui de cobrir aquesta mancança.

A continuació es mostra el gràfic que exemplifica aquesta circumstancia així com la generació solar en front de la demanda total:



II-lustració 22: Consum, generació solar i generació auxiliar mensuals (elaboració pròpia)

Un cop determinat el nombre de captadors es poden determinar els altres elements hidràulics segons les pautes que marca la normativa i mencionades més amunt. De tal manera queden definits el volum del vas d'expansió a un volum de 178,64 litres i el volum d'acumulació entorn els 20000 litres.

La resta d'elements hidràulics s'han dimensionat de forma orientativa degut a la complexitat dels càlculs i l'abast del projecte. El llistat complet de material està present en el pressupost econòmic més endavant.

10.2. Dimensionament per al Cas 2

En aquest cas, la demanda d'energia per a ACS anual dels 800 usuaris és de **324145,236 kWh**. Els procediments són exactament els mateixos que els mencionats en l'apartat anterior.

Atès que els captadors són el mateix model que abans i l'emplaçament és el mateix, les dades d'energia útil i generada per metre quadrat també són iguals que les del apartat anterior tal i com es mostra en la taula següent:

	Radiació a 50° [kWh/m ² ·dia]	Energia generada [kWh/m ² ·dia]	Energia útil [kWh/m ² ·dia]
Gener	3,650	1,774	1,597
Febrer	4,260	2,070	1,863
Març	4,960	2,411	2,170
Abril	5,400	2,624	2,362
Maig	5,520	2,683	2,414
Juny	5,520	2,683	2,414
Juliol	5,560	2,702	2,432
Agost	5,560	2,702	2,432
Setembre	5,290	2,571	2,314
Octubre	4,460	2,168	1,951
Novembre	3,930	1,910	1,719
Desembre	3,480	1,691	1,522

Taula 16: Energies diàries rebuda, generada i útil per unitat de superfície (elaboració pròpia)

Per tant, sabent la nova demanda, fent el procés iteratiu explicat en el punt anterior s'arriba a que el nombre màxim de captadors que es poden instal·lar és de **150 captadors**.

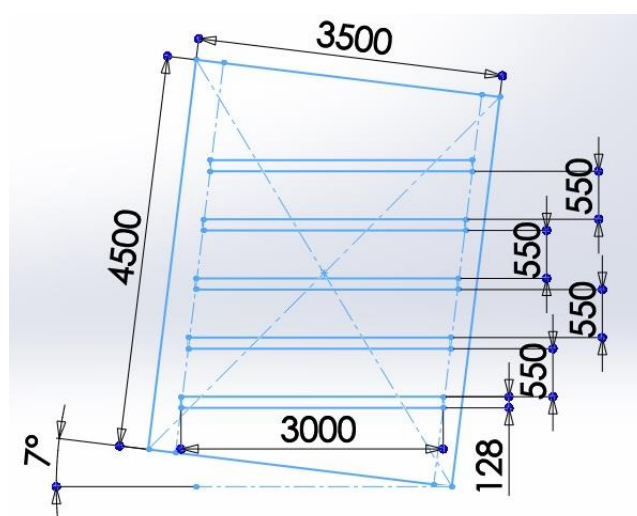
Amb aquest nombre de captadors i utilitzant la equació (13) que determina l'energia útil que es pot generar i aprofitar amb N captadors, s'obté la taula present en la pagina següent:

	Eacs mensual [kWh]	Energia útil amb 150 captadors [kWh/mes]	Demanda satisfeta [%]
Gener	29990,364	17223,150	57,43%
Febrer	26567,147	20101,539	75,66%
Març	28260,151	23404,609	82,82%
Abril	26232,267	25480,824	97,14%
Maig	26529,938	26047,065	98,18%
Juny	25116,000	26047,065	103,71%
Juliol	25376,462	26235,812	103,39%
Agost	25953,200	26235,812	101,09%
Setembre	25674,133	24961,771	97,23%
Octubre	27106,676	21045,274	77,64%
Novembre	27348,533	18544,378	67,81%
Desembre	29990,364	16420,976	54,75%
Anuals [kWh]	324145,236	271748,274	83,84%

Taula 17: Resultats de procés iteratiu (elaboració pròpia)

Un cop més, abans d'agafar el numero de captadors obtingut com a definitiu, cal fer les comprovacions que s'han fet abans sobre l'espai que ocuparia unes instal·lació amb 150 captadors.

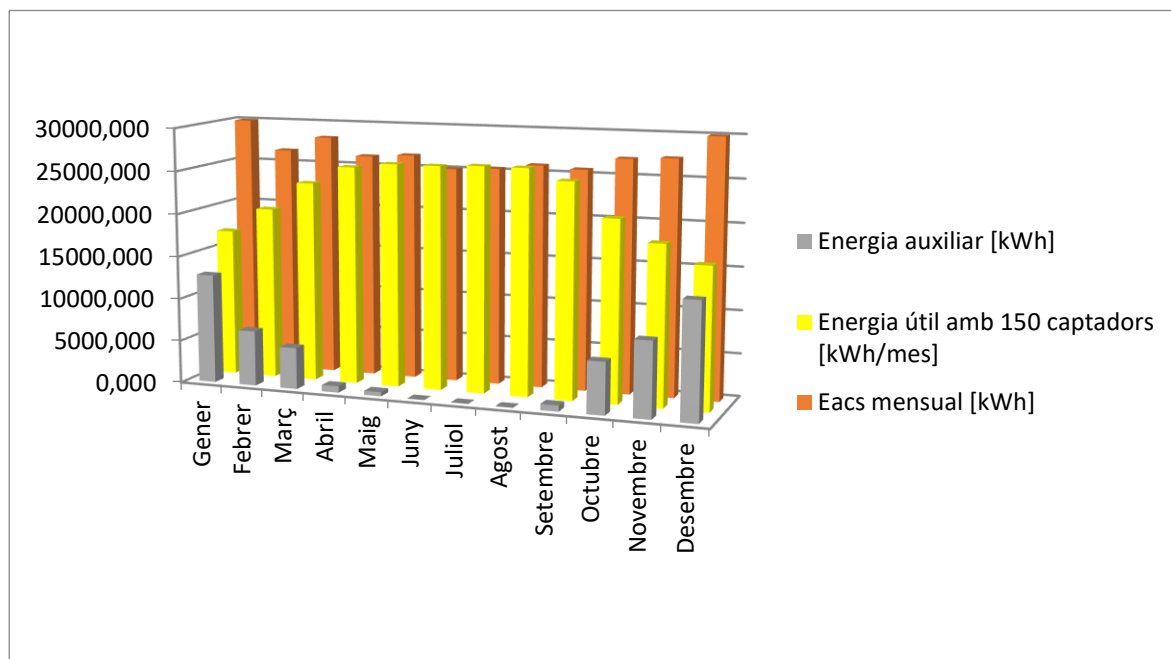
Així doncs, recuperant la distància entre fileres de capadors obtingut al apartat anterior fixada a **5,5 metres**, les dimensions dels captadors i les dimensions del terrat junt amb la orientació que haurien de presentar les files, es proposa una distribució de **5 fileres de 30 captadors cadascuna**. La representació de la distribució és la següent:



Il·lustració 23: Esquema de la col·locació dels captadors al terrat (elaboració pròpia)

Un cop més, queda comprovat que els 150 captadors hi caben al terrat complint els requisits d'orientació i distància entre fileres.

Una vegada més, s'observa com en alguns mesos del any la generació solar és inferior a la demanda. En el següent gràfic es mostra la demanda i la generació solar i auxiliar:



Il·lustració 24: Consum, generació solar i generació auxiliar mensuals (elaboració pròpia)

Finalment, amb el nombre de captadors fixat es troba el volum del vas d'expansió amb un valor de 239,25 litres i el volum d'acumulació amb un valor entorn als 25000 litres. La resta d'elements hidràulics estan presents al pressupost mostrat en futurs apartats.

11. Estudi econòmic

En aquest estudi de viabilitat, finalment es proposa la possibilitat d'implementar una instal·lació solar tèrmica per generar l'ACS. S'ha pogut veure que en els dos casos d'estudi no es pot satisfer la demanda d'ACS al llarg de l'any i que la climatització de les piscines exteriors s'ha de fer mitjançant de calderes de biomassa. No obstant, a continuació es mostra l'estudi econòmic que suposaria construir la instal·lació solar tèrmica a part de la instal·lació de biomassa ja existent.

Una vegada més, es distingeixen els dos casos hipotètics en que la aflluència de gent al club és de 600 i 800 persones la qual cosa altera la demanda d'energia com ja s'ha vist anteriorment.

11.1. Pressupost Cas1

Amb els càlculs fets en els apartats anteriors, aquí es mostren les partides que representen els diferents elements que conformen la instal·lació amb l'afegit del cost de l'enginyeria però sense tenir en compte la mà d'obra, llicències d'obres, impostos, transports.... Cal mencionar que tots els preus unitaris són sense IVA.

Mètrica	Unitats	Concepte	Preu unitari	Total
Materials				
ut	112	Captador GH-LOOP 26 V	460,00 €	51.520,00 €
ut	112	Suports captador	126,00 €	14.112,00 €
ut	4	Acumulador 5000 litres	5.503,00 €	22.012,00 €
ut	200	Canonades aïllades	13,67 €	2.733,33 €
ut	7	Bomba	522,30 €	3.656,10 €
ut	1	Vas d'expansió 200 litres	395,41 €	395,41 €
ut	112	Vàlvula seguretat	12,00 €	1.344,00 €
ut	230	Vàlvules de tall	40,00 €	9.200,00 €
ut	8	Vàlvules 3 vies	339,00 €	2.712,00 €
ut	19	Dissipadors	470,00 €	8.930,00 €
			SUBTOTAL	116.614,84 €
Estudi tècnic				
hrs	120	Enginyer industrial	12,50 €	1.500,00 €
			SUBTOTAL	1.500,00 €
			TOTAL NET	118.114,84 €
			TOTAL(amb IVA)	142.918,96 €

Taula 18: Pressupost Cas 1 (elaboració pròpia). Preus als annexos: Catálogo-tarifa Saltoki 2016

11.2. Pressupost Cas 2

En aquest cas, els elements són els mateixos però amb quantitats diferents. S'observa el petit detall que un augment de l'aflluència d'usuaris del 33% suposa un increment del 32% en el cost total del projecte, pràcticament una relació proporcional.

A continuació es mostra el pressupost econòmic per aquest cas d'estudi amb els preus unitaris sense IVA:

Mètrica	Unitats	Concepte	Preu unitari	Total
Materials				
ut	150	Captador GH-LOOP 26 V	460,00 €	69.000,00 €
ut	150	Suports captador	126,00 €	18.900,00 €
ut	5	Acumulador 5000 litres	5.503,00 €	27.515,00 €
ut	240	Canonades aïllades	13,67 €	3.280,00 €
ut	10	Bomba	522,30 €	5.223,00 €
ut	1	Vas d'expansió 250 litres	429,02 €	429,02 €
ut	150	Vàlvula seguretat	12,00 €	1.800,00 €
ut	340	Vàlvules de tall	40,00 €	13.600,00 €
ut	10	Vàlvules 3 vies	339,00 €	3.390,00 €
ut	25	Dissipadors	470,00 €	11.750,00 €
SUBTOTAL				154.887,02 €
Estudi tècnic				
hrs	120	Enginyer industrial	12,50 €	1.500,00 €
SUBTOTAL				1.500,00 €
TOTAL NET				156.387,02 €
TOTAL(amb IVA)				189.228,29 €

Taula 19. Pressupost cas 2 (elaboració pròpia). Preus als annexos: Catálogo-tarifa Saltoki 2016

11.3. Estalvi econòmic

L'objectiu de construir la instal·lació solar que sigui capaç de cobrir bona part de la demanda d'aigua calenta sanitària, a més a més de ser positiu des del punt de vista mediambiental, també suposa una inversió que a la llarga aporta beneficis de caire econòmic. En aquest cas, l'estalvi anual s'aconsegueix en la reducció de la compra de combustible per a les calderes de biomassa, al no consumir tanta energia, aquetes consumeixen menys combustible i per tant suposa un estalvi en la compra d'aquest.

Per quantificar l'estalvi en combustible de biomassa, es proposa considerar quants quilograms de biomassa fan falta per proporcionar l'energia que es generaria en les dues instal·lacions solars proposades més amunt.

Actualment al CNAB les calderes de biomassa son alimentades amb pinyol d'oliva provinent de Jaén a un preu de 120€ la tona o l'equivalent de 0,12€ el quilogram (senes tenir en compte costos de distribució i transport).

Sabent que el PCI del pinyol d'oliva és de 4,48 kWh/kg i que el rendiment de les calderes és del 84,9% a càrrega parcial, es pot trobar el nombre de kg de combustible necessari per cobrir l'energia que proporcionarien els captadors solars.

Recuperant els resultats pels dos casos d'estudi mostrats als apartats anteriors, es té que l'energia generada anualment per la instal·lació solar en el cas dels 600 usuaris diaris seria de **199163,888 [kWh/any]** mentre que en el cas de ser 800 usuaris diaris aquesta xifra seria de **271748,274 [kWh/any]**.

Si s'agafen les xifres anteriors d'energia i es divideixen pel rendiment de la caldera tal com mostra la fórmula següent, es troba l'energia que consumeix aquesta en els diferents casos:

$$\text{Eq. (15). } \text{Energia consumida} = \frac{\text{Energia útil}}{\text{rendiment caldera}}$$

Un cop se sap l'energia que consumeix la caldera, només cal trobar el nombre de kilograms necessaris per proporcionar dita energia i calcular a quin preu costa aquest combustible. En la següent taula es mostren els resultats pels dos casos d'estudi:

	Energia útil [kWh/any]	Energia consumida [kWh/any]	kg de combustible necessaris	Cost de tot el combustible anual
Cas 1	199163,888	234586,440	52363,04	6.283,56€
Cas 2	271748,274	320080,416	71446,52	8.573,58€

Taula 20: Resultats per trobar l'estalvi anual (elaboració pròpia)

Per comprovar fins quin punt resultaria rentable aquesta inversió, es proposa calcular el Valor Actualitzat Net (VAN) considerant un horitzó de la inversió de 25 anys i una taxa d'interès de l'1%.

Cal afegir que les inversions en energies renovables sovint presenten períodes de retorn molt alts i rendibilitats baixes, això es deu al seu cost elevat i la baixa productivitat. Molt sovint les instal·lacions es construeixen per imperatiu legal (la normativa ho exigeix) independentment dels costos que puguin suposar.

Dit això, en la taula següent es recullen el VAN i el període retorn per als dos casos:

	Inversió inicial (amb IVA)	Estalvi anual	VAN (25 anys)	Període de retorn (anys)
Cas 1	142.918,96 €	6.283,56€	316,07€	25
Cas 2	189.228,29 €	8.573,58€	- 411,00€	26

Taula 21: Resultats per trobar el VAN i període de retorn (elaboració pròpia)

Els elevats períodes de retorn mostren com les instal·lacions solars, tot i que tècnicament viables, són difícilment rentables. Per això cal incentivar l'ús d'aquestes energies amb ajudes públiques o subvencions perquè siguin més atractives als ulls dels inversors ja que al fer una inversió es busquen períodes de retorn curts.

En aquest cas es podria decidir fer la inversió inicial ja que la vida útil de les instal·lacions solars acostuma a estar entorn els 50 anys i per tant la instal·lació proposada podria generar beneficis durant un bon període de temps (suposant que no hi hagués cap averia greu).

Cal mencionar que l'estalvi anual només contempla el cost del combustible i no s'han tingut en compte possibles ajudes governamentals per a instal·lacions solars que com ja s'ha dit, augmentarien la rendibilitat de la instal·lació. No obstant, tampoc s'han considerat costos d'operació de les instal·lacions però en el cas d'instal·lacions solars, el manteniment que requereixen és mínim.

12. Impacte mediambiental

Com a tots els projectes d'enginyeria, cal dedicar una atenció important al medi ambient ja que com a éssers vius que som, depenem completament del nostre entorn. Un projecte que presenta un impacte mediambiental negatiu elevat pot resultar pèssim per el medi proper a curt i llarg termini, la qual cosa s'ha d'evitar per evitar sancions per part de l'administració i òbviament per cuidar la nostra terra i evitar mals a persones i animals. Per altra banda, hi ha projectes d'enginyeria destinats a provocar un impacte mediambiental positiu al entorn, és a dir, que l'objectiu principal del projecte genera un benefici ecològic al entorn de forma directa o indirecta.

En el cas que ens ocupa, l'impacte al medi ambient més rellevant que causa actualment el CNAB és en forma d'emissions de gasos d'efecte hivernacle degut a la combustió de la biomassa, com són el CO₂ però també altres compostos com els òxids de nitrogen, òxids de sofre i partícules solides. També es podria dir que el club presenta un impacte mediambiental negatiu al paisatge costaner de Barcelona, però això és un tema que presenta molts punts de vista i queden fora del abast d'aquest projecte.

Amb les instal·lacions solars que s'han proposat més amunt, es pretén eliminar en gran part les emissions de CO₂ causades per la combustió de la biomassa, per tant, l'impacte mediambiental de les instal·lacions solars és positiu ja que es deixen d'emetre gasos d'efecte hivernacle. És cert que la producció de panells solars i d'altres elements de la instal·lació present una certa petjada de CO₂, però tenint en compte la llarga vida dels elements i al fi al que estan destinats es pot menysprear aquesta petjada de CO₂.

Amb la instal·lació solar tèrmica operativa es podrien reduir les emissions de CO₂ in situ. No obstant, com que la biomassa és considerada una energia amb una balanç de carboni neutre, no es poden quantificar les tones de CO₂ estalviades durant un any.

En cas que es produís una ruptura d'alguna canonada portadora de fluid caloportador, al ser aquest una barreja d'aigua i glicol, al poc temps s'evaporaria el fluid i no causaria cap mena de contaminació a l'ambient.

Pel que fa al soroll o impacte visual, els captadors solars no fan cap soroll i només es poden veure des d'una posició elevada, per tant, no hi ha cap impacte en el medi en aquests dos aspectes.

A mode de resum, es podria afirmar que una instal·lació solar tèrmica al terrat del

CNAB no causaria danys ambientals a l'entorn, és més, generaria un benefici en matèria d'estalvi d'emissions de CO₂ in situ i d'altres contaminants atmosfèrics.

Pel que fa l'impacte mediambiental que genera la realització d'aquest estudi de viabilitat, és obvi que l'impacte és mínim ja que només s'ha fet feina d'oficina i no s'ha generat cap tipus de residu. La única consideració que es té és el consum d'energia elèctrica provinent de l'ordinador fet servir per fer tot l'estudi.

Per fer-ho és multiplicarà el consum elèctric en kWh de l'ordinador durant tot el temps de realització del treball per el nombre de kilograms de CO₂ que s'emet al produir 1 kWh d'energia elèctrica (mix elèctric del 2017). Les fórmules emprades són les següents:

$$\text{Eq. (16). } \textit{Consum elèctric [kWh]} = \textit{Potència[kW]} \cdot \textit{Temps[h]}$$

On la potència del ordinador és de 0,125 kW i les hores d'ús són 120. Per tant, s'obté un consum de **15 kWh**. Tenint en compte que aproximadament per produir un kWh d'energia elèctrica al 2017 s'emeten 392 grams de CO₂, s'arriba que les emissions de CO₂ per realitzar aquest estudi de viabilitat són de **5880 grams**.

A efectes pràctics, aquest impacte és mínim per tant es podria considerar que aquest estudi no ha causat danys al medi ambient.

Conclusions

Al llarg de l'estudi que representa aquest treball s'han fet raonaments, observacions i càlculs que han permès extreure una sèrie de conclusions les quals es resumeixen de forma clara i simplificada a continuació:

-Per climatitzar les dues piscines exteriors cal una gran quantitat de potència, sobretot durant els mesos hivernals. Per tant, en les circumstàncies actuals no és viable tècnicament poder proporcionar tota aquesta potència amb energia solar tèrmica, cal una font d'energia auxiliar renovable com són les calderes de biomassa.

-Les principals pèrdues d'energia d'una piscina exterior es deuen a la convecció amb l'aire i l'evaporació de la pròpia aigua, per tant, per reduir significativament el consum de la instal·lació cal treballar en minimitzar aquestes pèrdues ja sigui cobrint la piscina o reduir l'horari d'obertura d'aquesta. Queda reforçada doncs, l'obligatorietat de cobrir la piscina amb una manta tèrmica sempre que sigui possible imposada per la normativa.

-Gran part de l'aigua calenta sanitària es pot produir amb captadors solars, sobretot als mesos d'estiu. Com que la normativa limita la producció d'energia solar, cal un grup auxiliar per suplir la demanda en els mesos més crítics o en dies de baixa radiació solar.

-Per fer un dimensionament de qualsevol instal·lació cal estudiar el cas més desfavorable per garantir que la instal·lació projectada sigui capaç de treballar en les condicions més adverses. En l'objecte d'aquest treball, les condicions més adverses per les instal·lacions corresponen a un dia nuvolat de gener tal i com reflexa el consum de potència.

-La normativa fixa molts paràmetres de disseny, obliga a seguir certs procediments, proposa recomanacions tècniques i fixa límits de tota mena per les instal·lacions tèrmiques de manera que s'optimitzin al màxim els recursos energètics i també s'evitin sobre dimensionaments els quals suposen un cost econòmic superior.

-Segons les propostes a mode de millora (dos casos d'estudi: per 600 i 800 usuaris diaris) de les instal·lacions actuals, la viabilitat econòmica d'aquestes és qüestionable. Al ser els períodes retorn elevats es poden considerar una inversió a llarg termini amb els riscos que això comporta.

Com a conclusió global, s'afirma que s'han assolit els objectius marcats al inici d'aquest treball.

Aquest estudi de viabilitat de climatitzar dues piscines exteriors i cobrir la demanda d'ACS amb energies renovables es podria continuar examinant la possibilitat d'incorporar energia

eòlica a l'estudi ja que també és una energia renovable que no emet gasos nocius pel medi ambient.

Agraïments

En primer lloc m'agradaria agrair el suport rebut per part del meu tutor i professor de termodinàmica José Luis Martín Godoy l'ajuda del qual m'ha estat molt útil per saber on centrar els meus esforços. En segon lloc, agraeixo l'ajuda rebuda pel departament de Relacions Púbiques del CNAB tot que mantenir la comunicació no hagi estat fàcil.

Finalment m'agradaria reconèixer l'ajuda d'aquelles persones que m'han animat a seguir treballant i m'han aplanat el camí perquè pugui continuar avançant.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] MUNDET, A. *Energia solar tèrmica, quadern pràctic número 3*. Barcelona, 2009.
[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/04_coleccio_QuadernPractic/quadern_practic/arxius/03_energia_solar_termica.pdf, consulta: 29 de juliol de 2018]
- [2] SALAS, A. *L'energia a les instal·lacions esportives, quadren pràctic número 6*. Barcelona 2012.
[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/04_coleccio_QuadernPractic/quadern_practic/arxius/06_installacions_esportives.pdf, consulta: 29 de juliol de 2018]
- [3] AHMAD AL-NIMR M. *Energy conversion and Manegement: (article) Dynamic simulation and thermo-economic analysis of a PhotoVoltaic/Thermal collector heating system for an indoor–outdoor swimming pool*, Jordània: Jordan University of Science and Technology. (2015) pàg 176–192
- [4] METEO CAT. *Taules EMA 2017*. Barcelona, 2017. [<http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2018/06/08090426/EMA-taules2016.pdf>, consulta: 15 de juliol de 2018].
- [5] UPC ETSEIB. *Apunts d'Organització i Gestió*. Barcelona, 2017.
- [6] BONALS, L. *Transferència de calor, apunts de classe*. Barcelona, 2018.
- [7] IDAE. *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura*. Madrid, 2009.
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf, consulta: 12 d'octubre de 2018]
- [8] EWEA. *Wind in power. European statistics 2015*.
[<http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>, consulta: 29 de juliol de 2018]

Bibliografia complementària

SALTOKI. *Catálogo-tarifa 2016*. Cornellà, 2016.

OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC. *Nota informativa sobre la metodologia de la estimación del mix eléctrico*. 2018.

[http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/reduceix_emissions/Com_calcular_emissions_GEH/factors_emissio_associats_energia/180216_Nota-metodologica-mix_esp.pdf, consulta: 11 de gener de 2019]

UPC ETSEIB. *Taules i gràfiques de propietats termodinàmiques*. Barcelona, 2014.

CLUB NATACIÓ ATLÈTIC-BARCELONETA. [www.cnab.cat/es, consulta: 24 de juny de 2018]

ITER.ORG. *Tokamak*. [<https://www.iter.org/mach/Tokamak>, consulta: 11 de setembre de 2018]

WIKIPEDIA. *Pellet fuel*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Pellet_fuel, consulta: 14 de setembre de 2018]

PRO PELLETS AUSTRIA. *Wood pellets fuel*. [<https://www.propellets.at/en/wood-pellets-fuel>, consulta: 14 de setembre de 2018]

TUANDCO. *Que es una piscina desbordante y como funciona*.

[<https://www.tuandco.com/aprendeymejora/que-es-una-piscina-desbordante-y-como-funciona/>, consulta: 25 de setembre de 2018]

IDAE. *Código técnico de la edificación*. Madrid, 2017.

[<http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/codigo-tecnico-de-la-edificacion>, consulta: 12 d'octubre de 2018]

IDAE. *Guía técnica agua caliente sanitaria central*. Madrid, 2007.

[<http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-0>, consulta: 2 de novembre de 2018]

IDAE. *Guía Técnica de Mantenimiento de Instalaciones Térmicas*. Madrid, 2007.

[<http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-0>, consulta: 2 de novembre de 2018]

IDAE. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE)*. Madrid, 2007.

[<http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-0>, consulta: 2 de novembre de 2018]

FENERCOM. *Guía eficiencia energética en instalaciones deportivas*. Madrid, 2008.

[<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-eficiencia-energetica-en-instalaciones-deportivas-fenercom.pdf>, consulta: 3 de novembre de 2018]

IDAE. *Guía técnica condiciones climáticas exteriores del proyecto*. Madrid, 2010.

[<http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-0>, consulta: 8 de novembre de 2018]

IDAE. *Guía Técnica Contabilización de consumos*. Madrid, 2007.

[<http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-0>, consulta: 8 de novembre de 2018]

IDAE. *Poderes caloríficos combustibles*.

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_Update_2014_0830376a.xlsx, consulta: 20 de desembre de 2018]

PLANTASDEBIOMASA.NET. Qué es la biomassa. [<http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>, consulta: 6 de setembre de 2018]

INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA. Estadístiques energètiques.

[http://icaen.gencat.cat/ca/l_icaen/dades_obertes/index.html, consulta: 7 de juliol de 2018]

TEIXIDOR, J. *Emissions en caldres de biomassa*. Barcelona, 2016.

[http://icaen.gencat.cat/web/ca/energia/renovables/biomassa/BiomassaCAT/.content/09_publicacions/cercador_publicacions/documents/Guia-emissions-en-calderes-de-biomassa-web.pdf, consulta: 14 de gener de 2019]

CAMPAÑÁ, A. *Instal·lació de calderes de biomassa en edificis, quadern pràctic número 5*. Barcelona, 2011.

[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/08_guies_informes_estudis/informes_i_estudis/arxius/2011_guia_calderes_biomassa.pdf, consulta: 12 d'agost de 2018]