

Treball de Fi de Grau

**Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials**

**Estudi d'un generador Stirling per aigua calenta i electricitat**

**MEMÒRIA**

**Autor:** Judith Marías Cano  
**Director:** Daniel Montesinos-Miracle  
**Convocatòria:** Setembre 2019



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

El present treball presenta les característiques i el funcionament d'un sistema dish Stirling, mitjançant el qual es pot produir energia elèctrica i també energia tèrmica en el cas que es tracti d'un sistema amb cogeneració. Més concretament, es presentarà el dish Stirling TRINUM que es troba instal·lat a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

Aquest dish Stirling va deixar de funcionar ara fa dos anys, perdent tota mena de capacitat per generar. Així doncs, és intenció d'aquest projecte trobar quins són els errors que han aturat el funcionament del generador i solucionar-los. D'altra banda, també es realitza l'estudi del sistema de monitorització i es presenta una nova proposta del seu web mitjançant el software Power Studio Scada.

Un cop resolt els problemes, s'analitzaran les dades extretes d'aquest sistema de monitorització per tal de garantir que el dish Stirling torna a funcionar de manera adient, conclouent que s'ha assolit l'objectiu principal.

# Sumari

<b>ÍNDIX DE FIGURES</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDIX DE TAULES</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>10</b>
1.1. Origen del projecte i motivació	11
1.2. Objectius del projecte	11
1.3. Abast del projecte	11
<b>2. ESTAT DE L'ART</b>	<b>13</b>
2.1. Història del dish Stirling	13
2.2. Components d'un dish Stirling. Funcionament.	14
2.2.1. Concentrador solar	15
2.2.2. Receptor	17
2.2.3. El motor Stirling	17
2.2.4. Sistema de refrigeració	21
<b>3. DISH STIRLING TRINUM</b>	<b>22</b>
3.1. Estat del sistema	22
3.2. Descripció del sistema	23
3.2.1. Circuit primari	26
3.2.2. Circuit secundari	33
3.3. Estructura de suport	34
<b>4. POSTA EN MARXA</b>	<b>35</b>
4.1. Panell de control	35
4.2. Llistat d'errors comuns	36
4.3. Falles detectades	37
<b>5. SISTEMA DE MONITORITZACIÓ</b>	<b>43</b>
5.1. Interfície online	44
5.2. Anàlisi de dades	50
<b>6. PLANIFICACIÓ</b>	<b>52</b>
<b>7. PRESSUPOST</b>	<b>53</b>
7.1. Costos directes	53
7.2. Costos indirectes	54
7.3. Cost total	54

<b>8. IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>55</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>57</b>
Tasques realitzades .....	57
Futures línies de treball .....	57
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>60</b>



## Índex de figures

Figura 2.1. Esquema bàsic dish Stirling [2] .....	14
Figura 2.2. Distribució de la potència radiant en incidir en una superfície [3] .....	15
Figura 2.3. Disposició de les plaques del concentrador solar [6] .....	16
Figura 2.4. Representació dels eixos elevació (blau) i azimut (vermell) del dish Stirling [5] ..	16
Figura 2.5. Esquema del principi de funcionament d'un motor Stirling [7] .....	18
Figura 2.6. Cicle termodinàmic Stirling [10] .....	19
Figura 2.7. Parts principals d'un motor amb regenerador [10] .....	20
Figura 3.1. Posició del dish Stirling segons el mode [12].....	22
Figura 3.2. Sistema dish Stirling del terrat del pavelló C de l'ETSEIB [font pròpia] .....	24
Figura 3.3. Esquema del sistema complet [6] .....	25
Figura 3.4. Esquema del concentrador parabòlic [13] .....	26
Figura 3.5: Motors de control dels eixos de posició azimut i elevació [14].....	26
Figura 3.6. Sensor de pluja [font pròpia].....	28
Figura 3.7. Anemòmetre [font pròpia] .....	28
Figura 3.8. Cabalímetre fluid refrigerant [font pròpia].....	28
Figura 3.9. Unitat de Control Electrònic [13].....	30
Figura 3.10. Unitat de Control Hidràulic (HCU) [font pròpia].....	31
Figura 3.11. Bomba del circuit primari [font pròpia].....	31
Figura 3.12. Intercanviador de calor extern [font pròpia] .....	32
Figura 3.13. Esquema elèctric intercanviador de calor extern [14] .....	32
Figura 3.14. Acumulador [6].....	33

Figura 3.15. Bomba del circuit secundari [font pròpia].....	33
Figura 3.16. Vas d'expansió circuit secundari [font pròpia] .....	34
Figura 4.1. Taula de control [13].....	35
Figura 4.2. Pantalla principal de la taula de control [13].....	35
Figura 4.3. Pantalla principal de la taula de control [font pròpia].....	38
Figura 4.4. Sensor [font pròpia] .....	39
Figura 4.5. Cables sensor [14].....	39
Figura 4.6. Purgador entrada motor [font pròpia].....	40
Figura 4.7. Purgador sortida HCU [font pròpia].....	40
Figura 4.8. Muntatge d'ompliment del circuit hidràulic [font pròpia] .....	40
Figura 4.9. Acumulador [font pròpia] .....	41
Figura 4.10. Caixa de cables de l'acumulador [font pròpia] .....	41
Figura 4.11. Bateria nova UPS [font pròpia].....	42
Figura 5.1. Arquitectura del sistema de monitorització [font pròpia] .....	43
Figura 5.2. Pantalla principal Scada 08/09/2019 12:13:47 [font pròpia] .....	47
Figura 5.3. Potència elèctrica generada del 26/08/2019 al 01/09/2019 [font pròpia] .....	48
Figura 5.4. Informe de Temperatures del 31/08/2019 al 06/09/2019 [font pròpia] .....	49
Figura 5.5. Gràfic de la generació i la temperatura del receptor 29/07/2019 [font pròpia] .....	50
Figura 5.6. Energia elèctrica generada en el període d'estudi [font pròpia] .....	51
Figura 6.1. Diagrama de Gantt de la planificació de les activitats del projecte [font pròpia] ..	52



## Índex de taules

Taula 2.1. Característiques dels materials més típics per concentrador [2].....	16
Taula 3.1. Resum de les característiques tècniques principals del sistema [12].....	23
Taula 3.2. Paràmetres principals del motor [5].....	27
Taula 3.3. Punt de congelació i punt d'ebullició segons la proporció de propilenglicol [6] .....	27
Taula 3.4. Condicions mínimes que ha de suportar l'estructura de suport [6] .....	34
Taula 4.1. Llistat d'errors comuns del sistema [13] .....	36
Taula 5.1. Llistat de variables parametritzades a Scada [font pròpia].....	45
Taula 5.2. Llistat de variables calculades introduïdes a l'Scada [font pròpia] .....	45
Taula 7.1. Càlcul del cost per treballador [font pròpia].....	53
Taula 7.2. Desglossament del cost dels recursos humans per activitat i rol [font pròpia] .....	53
Taula 7.3. Desglossament dels costos materials [font pròpia] .....	54
Taula 7.4. Cost total del projecte [font pròpia] .....	54
Taula 8.1. Emissions de CO2 emeses a partir de l'energia consumida [font pròpia] .....	56

# 1. Introducció

L'any 2015 la Universitat Autònoma de Barcelona es va posar en contacte amb el centre CITCEA-UPC per realitzar un projecte estratègic finançat per la Unió Europea, dintre del programa *ENPI-CBCMED*<sup>1</sup>. Aquest projecte interdisciplinari es va adreçar a la promoció i aplicació de tecnologies innovadores i a la transferència de coneixements en el camp de la generació descentralitzada d'electricitat de font solar d'escala reduïda mitjançant sistemes que poden ser integrats en edificis o dependències públiques. El projecte va ser planificat posant èmfasi en la col·laboració publico-privada transfronterera, amb la participació i cooperació d'entitats d'Espanya, Grècia, Egipte i Jordània. Concretament, els socis d'aquests Projecte són [1]

- Universitat Autònoma de Barcelona, UAB, INCERS Research Group, Espanya
- Institute for Innovation and Sustainable Development, AEIPLUS, Grècia
- Egyptian Association for Energy and Environment, EAEE, Egipte
- Balqa Applied University, BAU, Jordània
- University of Alexandria, AU, Egipte
- Mediterranean Agronomic Institute of Chania, MAICh, Grècia
- Eco-System Europa, SL, ESE, Espanya

Com a conseqüència, es va comprar el dish Stirling TRINUM a l'empresa Innova Solar, i es va instal·lar a l'edifici de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, UPC. Aquest, permet generar 1 kW de potència elèctrica i 3 kW de potència tèrmica, que va destinada a ajudar a escalfar l'aigua del gimnàs de l'Escola.

Aquests sistemes es caracteritzen per ser una font d'energia renovable, concretament d'energia solar. Seria interessant promoure aquest tipus d'energies, ja que el seu impacte ambiental és molt petit i, tot i que sempre ha estat important, actualment el canvi climàtic ha arribat a un punt de no retorn que demana urgentment la presa de mesures eficaces.

---

<sup>1</sup> European Neighborhood Initiative - Cross Border Cooperaton in the Mediterranean Basin Regions

## 1.1. Origen del projecte i motivació

L'origen d'aquest projecte neix de l'interès en el sector de l'electricitat i les energies renovables. Ja abans d'iniciar els estudis universitaris sentia curiositat per aquests àmbits i més endavant, al anar cursant les assignatures del Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials, em vaig adonar de que les branques que més em motivaven eren les d'aquest sector.

És per això que tinc un especial interès en desenvolupar els meus coneixements i les meves capacitats en aquests àmbits, i la realització d'aquest projecte, amb una forta component pràctica, és una molt bona opció per començar. Es tracta, com ja s'ha comentat, de l'estudi d'un generador Stirling juntament amb la possibilitat de treballar amb un exemplar que es troba a l'Escola.

## 1.2. Objectius del projecte

Un dels objectius d'aquest projecte és l'estudi d'un generador Stirling i l'anàlisi més específica del dish Stirling que es troba a l'Escola. No obstant, a l'inici del projecte es trobava inactiu degut a diversos problemes que s'han trobat al llarg de la seva elaboració. Així doncs, l'objectiu inicial i principal del treball és observar quins són aquests problemes i buscar les solucions adients per tal d'intentar que el sistema torni a produir energia i, consegüentment, poder-ne estudiar el funcionament.

Cal afegir un tercer objectiu, que és l'estudi del sistema de monitorització juntament amb la presentació d'una nova proposta del seu web mitjançant el software Power Studio Scada.

## 1.3. Abast del projecte

Un cop vistos els objectius del projecte se'n pot establir l'abast, del qual se'n diferencien tres grans blocs. En primer lloc es realitza una cerca i síntesi d'informació indispensable per a la comprensió i la futura detecció dels problemes que presenta el dish Stirling instal·lat a l'Escola.

En segon lloc, es buscaran els problemes que inhabiliten el sistema i s'analitzaran per tal de solucionar-los i aconseguir que torni a entrar en funcionament.

Finalment, es durà a terme l'estudi del sistema de monitorització tot oferint una nova proposta de visualització i tractament de dades mitjançant el software Power Studio Scada. Aquestes dades seran breument analitzades per tal d'assegurar que s'ha aconseguit que el sistema funcioni de forma correcta.



## 2. Estat de l'art

El pas previ a conèixer el sistema del present treball és contextualitzar i entendre de què es tracten aquest tipus de generadors així com cadascun dels seus components. També és interessant saber qui va crear aquests sistemes i amb quina finalitat, per tal de comprendre'n la seva utilitat.

### 2.1. Història del dish Stirling

Robert Stirling fou un clergue i inventor escocès nascut l'any 1790 al poble de Cloag pare de l'avui conegut com a motor Stirling, pel qual es va demanar la patent l'any 1816. La considerada necessitat de l'inventor de dissenyar un motor que competís amb el de vapor, va portar-lo a crear el motor Stirling. Més endavant, l'inventor va intentar millorar l'eficiència del motor mitjançant la creació del regenerador, un element que permet emmagatzemar calor d'un cicle termodinàmic quan el gas disminueix de temperatura a volum constant i subministrar-la quan aquest torna a augmentar la temperatura, de manera que en millora el rendiment.

Malgrat això, no va ser fins l'any 1950 que aquest tipus de motor va ser emprat per a la generació d'energia per diverses empreses estatunidenques i europees. Una de les aplicacions amb el motor Stirling és a les tecnologies de dish Stirling, on s'aconsegueix el focus de temperatura calenta a partir d'un disc que concentra la radiació solar i escalfa un punt on es troba el focus. Exemples d'aquests sistemes dish Stirling són l'anomenat *Vanguard*, instal·lat a Califòrnia l'any 1983, el *MDAC-25* disc a Los Angeles l'any 1984 i els discos *Schlaich, Bergemann and Partner* (SBP) instal·lats l'any 1984 a l'Àrabia Saudita. El disc *Vanguard* va establir el rècord en eficiència entre radiació solar directe i conversió elèctrica d'un 30%.

Els avenços que s'estan produint en aquesta tecnologia fan preveure una disminució en el cost de compra i instal·lació que li permeti competir amb altres tecnologies solars. No obstant, tot i tenir un enorme potencial, la seva potència unitària (inferior a 25 kW) pot obstaculitzar la seva producció a gran escala. Conseqüentment, l'aplicació més usual d'aquesta tecnologia és en habitatges.

De totes les tecnologies solars, els sistemes dish Stirling aconseguen el coeficient de conversió d'energia solar a elèctrica més alt, d'aproximadament un 30% tal com s'ha comentat anteriorment i, per tant, poden convertir-se en una de les energies renovables més eficients. Té la capacitat d'operar de manera individual per a aplicacions remotes o bé agrupar-se en forma de granges i connectar-se a la xarxa. A més, també poden funcionar amb combustibles fòssils per obtenir el focus calent i funcionar durant les 24 hores del dia.

## 2.2. Components d'un dish Stirling. Funcionament.

Els sistemes de disc parabòlic són equips de generació d'energia que converteixen l'energia provinent de la radiació solar en energia elèctrica i tèrmica (quan es tracta d'un sistema amb cogeneració) utilitzable en sistemes d'aigua calenta sanitària (ACS). Com s'especificarà més endavant, els sistemes de disc parabòlic utilitzen un conjunt de miralls per reflectir i concentrar la radiació solar a un receptor, amb la finalitat d'assolir les temperatures necessàries per convertir la calor en treball i el treball en energia elèctrica de la forma més eficient possible. A la *Figura 2.1* s'hi poden observar els diferents elements d'un dish Stirling bàsic.

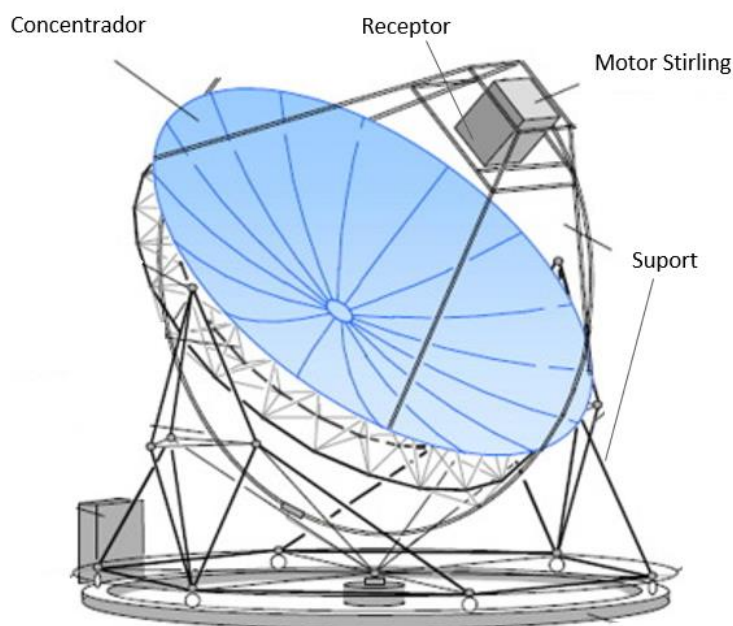


Figura 2.1. Esquema bàsic dish Stirling [2]

La radiació solar concentrada és absorbida pel receptor i transferida al focus calent del motor, de manera que és necessària l'existència d'un sistema que permeti al dish seguir les coordenades de la posició del sol per treure'n el màxim profit, fet que s'aconsegueix mitjançant els eixos azimut i elevació.

Aquest tipus de sistemes, doncs, es caracteritzen per una elevada eficiència i per la capacitat d'operar de forma autònoma i sostenible.

### 2.2.1. Concentrador solar

El concentrador solar és un tipus de col·lector solar que concentra la radiació del sol en una àrea reduïda on es troba el receptor (apartat 2.2.2) amb l'ajuda de diverses superfícies reflectants que es disposen de diferents formes depenent del tipus de concentrador de què es tracti. [3]

A la *Figura 2.2* es mostra un esquema de com la potència radiant incideix sobre una superfície. Depenent de la superfície, aquesta potència es comportarà d'una forma o altra.

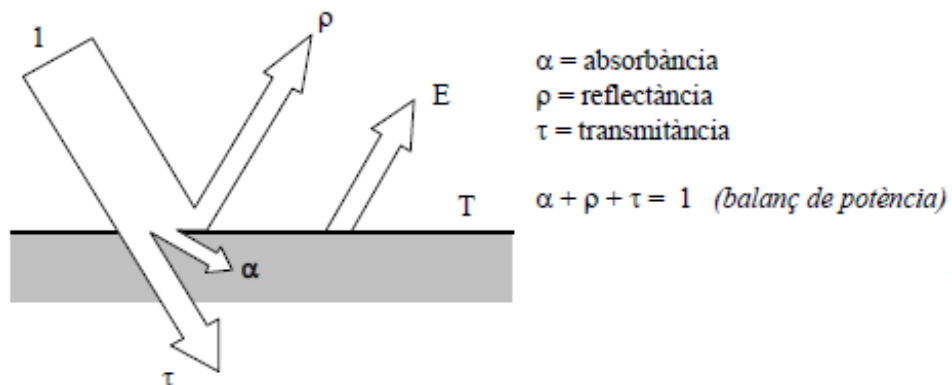


Figura 2.2. Distribució de la potència radiant en incidir en una superfície [3]

Es defineix absorptància  $\alpha$  com la fracció absorbida de tota la potència radiant incident. Pel que fa a la reflectància  $\rho$ , és la fracció reflectada de tota la potència radiant incident. La transmissància  $\tau$  és la fracció que travessa la superfície i passa de llarg. Per altra banda, tots els cossos que es troben a una temperatura determinada emeten una certa radiació, coneguda com poder emissiu  $E$ .

Aclarint la *Figura 2.2*, la transmissància d'un cos és nul·la quan es tracta d'un cos opac, consideració que es farà a partir d'ara. Com es vol aprofitar al màxim la radiació solar, ha d'arribar al receptor la màxima potència possible, sent necessària una reflectància elevada i, com a conseqüència del balanç de potència, una absorptància mínima.

Les mides del concentrador vindran determinades per la potència nominal i l'energia generada en un cert període de temps i en unes determinades condicions de radiació solar i rendiment del sistema. Generalment, el màxim de radiació directa sol ser d'uns  $900 \text{ W/m}^2$ . El diàmetre del dish dependrà de la quantitat d'energia que es vol produir i pot oscil·lar entre uns 3 m fins als 20-25 m. [4] [5]

Per altra banda, cal tenir en compte les propietats que ha de presentar el disc parabòlic: un pes raonable, durabilitat enfront la humitat i els canvis de temperatura, flexibilitat de les parts de què està format, que estigui format d'un material reflectant i de vida útil llarga, i òbviament, que sigui el més econòmic possible.

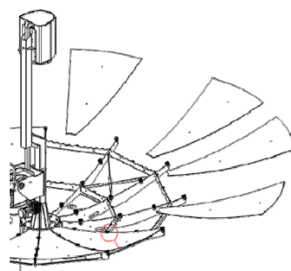


Figura 2.3. Disposició de les plaques del concentrador solar [6]

Aquest material reflectant es divideix en plaques, tal i com es pot veure a la *Figura 2.3*, de manera que es pugui formar la geometria de paraboloides requerida.

A l'hora de triar el material, és útil tenir en compte les propietats que es mostren a la *Taula 2.1*. Tot i que l'acer inoxidable és el menys usat degut a que la seva reflectància és més baixa que en els altres dos materials, algunes vegades també és emprat en la fabricació de concentradors solars.

Taula 2.1. Característiques dels materials més típics per concentrador [2]

Material	Reflectància, $\rho$ (%)	Pes específic ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )	Preu (€ / kg)
Plata	95	10500	496
Alumini	86	2600	1,58
Acer inoxidable	50	7800	2

*\*Nota: els valors donats són aproximats, ja que els materials poden estar enriquits amb d'altres, variant lleugerament les seves característiques*

Clarament el material més adient dels tres exposats és l'alumini ja que, tot i no ser el que té la reflectància més alta, aquesta és suficientment bona i tant el seu pes específic com el preu són també molt adequats.

### Seguiment solar

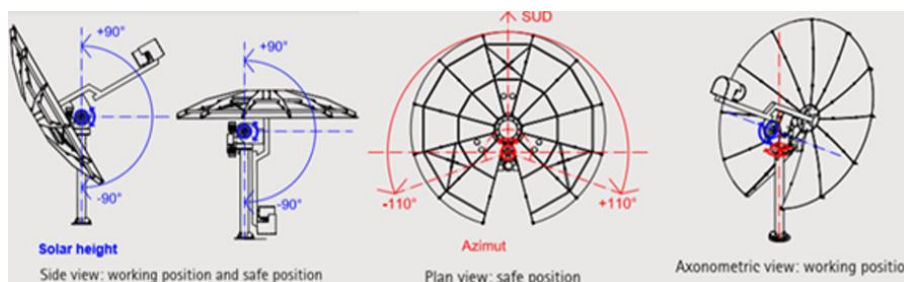


Figura 2.4. Representació dels eixos elevació (blau) i azimut (vermell) del dish Stirling [5]

Els sistemes dish Stirling efectuen, a més, un seguiment solar mitjançant dos eixos: l'elevació i l'azimut. Segons la *Figura 2.4*, l'azimut està representat pel color vermell i fa girar el dish



entorn a un pla perpendicular a la Terra; l'elevació ve representat pel color blau i fa girar el dish entorn un pla perpendicular a l'eix azimut [5].

### 2.2.2. Receptor

El receptor és l'element encarregat d'absorbir la radiació solar reflectida pel concentrador, transferint-la al fluid de treball en forma de calor. Contràriament al concentrador, serà indispensable una absorbència molt elevada i com es considera el cos com a opac, una reflectància mínima.

Un cos negre és aquell cos que absorbeix tota l'energia radiant incident des de qualsevol direcció i per a totes les longituds d'ona, sense reflectir-la, transmetre-la o dispersar-la. El concepte de cos negre és una idealització, però interessa que l'absorbidor s'hi acosti el màxim possible. [3]

Per altra banda, quan el comportament del cos sigui molt proper al d'un cos negre (95%) es considerarà que es comporta com un absorbidor perfecte amb  $\alpha = 1$  i, com a conseqüència del balanç de potència, reflectància nul·la. Així doncs, prenent l'absorbidor del receptor com a cos negre aquest seguirà l'expressió

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

On:

$E_b$  és el poder emissiu del cos negre, que és el màxim possible d'un cos.

$\sigma$  és la constant de Boltzmann, que és igual a  $5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ .

Per tant, la temperatura màxima que pot arribar a assolir el receptor ve determinada per l'expressió (1).

### 2.2.3. El motor Stirling

El motor d'un sistema Stirling és l'encarregat de convertir la calor transferida a un receptor en energia mecànica mitjançant la compressió i expansió d'un fluid de treball, que depèn de l'aportació de calor extern rebuda, que en el cas del dish Stirling prové de la radiació solar. És a dir, aquest tipus de motors necessiten sempre un focus calent, provinent d'una font externa, i un focus fred per poder funcionar. Pel que fa al fluid de treball, sovint és un gas tal com l'heli que mai surt del motor i té la virtut de no produir explosions durant el cicle, per tant el motor Stirling es pot considerar un motor silenciós. A la *Figura 2.5* es troba il·lustrat amb més detall el seu funcionament.

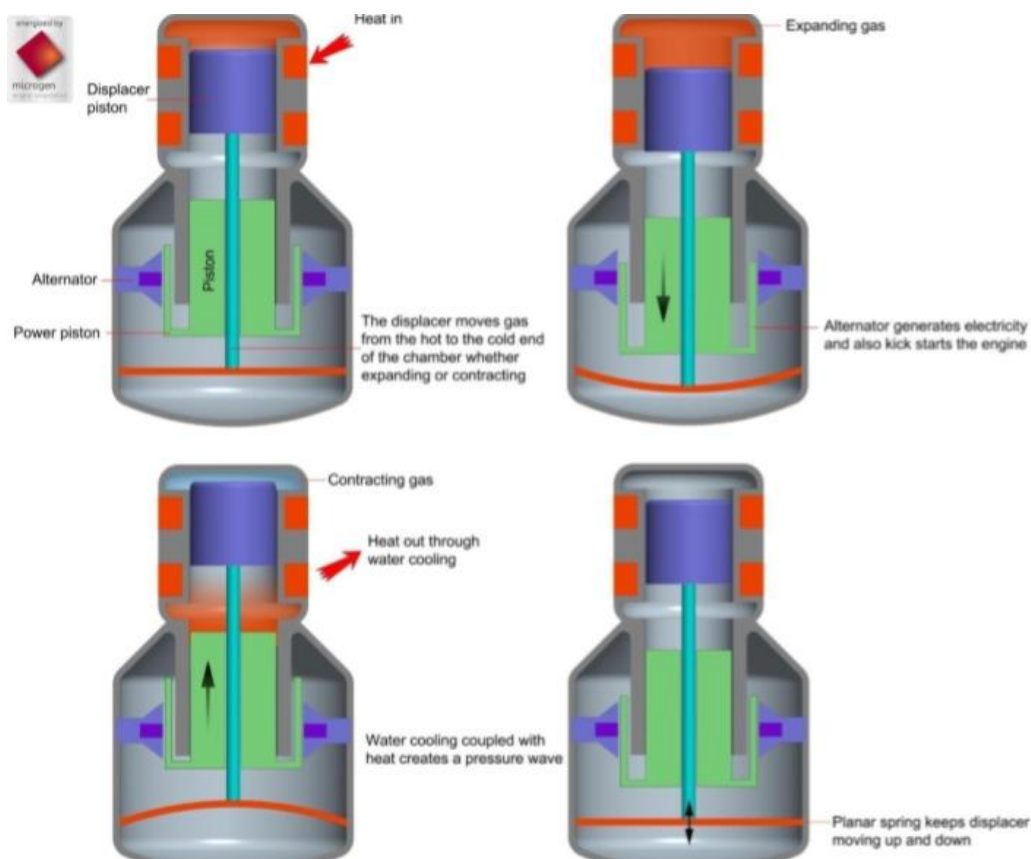


Figura 2.5. Esquema del principi de funcionament d'un motor Stirling [7]

D'entre les avantatges del motor Stirling els més significatius són: [8]

- Versatilitat de fonts d'energia utilitzables per al seu funcionament.
- Versatilitat pel que fa als seus usos.
- Alt rendiment. És l'únic capaç d'aproximar-se al rendiment màxim teòric de Carnot.
- Sostenibilitat. Energia renovable.
- Mecanisme senzill i durador.
- Seguretat, ja que molt difícilment patirà explosions.
- Bona resposta enfront baixes temperatures. Tot i que arranca de forma lenta, ho fa sense problemes i fàcilment.

Contràriament, d'entre els desavantatges d'aquest tipus de motor hi ha: [8]

- Cost elevat
- Encesa lenta
- Muntatge molt precís per aconseguir la resposta desitjada

Hi ha diferents tipus de motors Stirling dividits segons les seves configuracions mecàniques. Els més comuns són l'Alfa, el Beta i el Gamma [9].

Per poder generar energia elèctrica a partir del treball del pistó, s'instal·la un alternador que serà l'encarregat de realitzar aquesta transformació.

Ara bé, per comprendre adequadament el funcionament del motor, és necessari entendre el cicle termodinàmic en què es basa: el cicle de Stirling.

### Cicle termodinàmic

En aquest cicle termodinàmic el fluid evoluciona realitzant dues transformacions isotèrmiques i dues d'isocòriques, tal i com es mostra a la *Figura 2.6*. El cicle teòric té el rendiment de Carnot, que és el màxim que pot tenir un motor tèrmic i té la característica de ser reversible [10] [11].

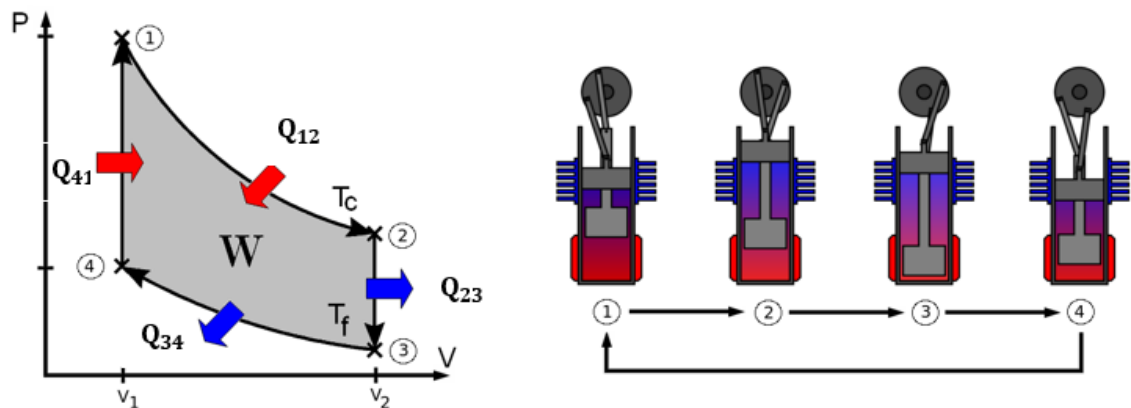


Figura 2.6. Cicle termodinàmic Stirling [10]

- **1-2.** Expansió isotèrmica del gas a T<sub>c</sub>. Durant aquest procés s'absorbeix calor Q<sub>12</sub> de la font calenta, és a dir la radiació solar rebuda al receptor. Conseqüentment, el gas s'escalfa i s'expandeix, obtenint així un treball d'expansió definit amb la següent expressió:

$$W_{\text{expansió}} = W_{1-2} = \int_1^2 PdV = n \cdot R \cdot T_c \cdot \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \quad (2)$$

- **2-3.** Es cedeix una quantitat de calor Q<sub>23</sub> al regenerador a volum constant V<sub>2</sub>. Disminueix T del gas.

$$Q_{2-3} = n \cdot C_v \cdot (T_f - T_c) \quad (3)$$

- **3-4.** Compressió isotèrmica del gas a T<sub>f</sub>. Durant aquest procés es cedeix una calor Q<sub>34</sub>. El sistema de refrigeració és l'encarregat de transferir l'energia tèrmica del focus fred del motor a l'acumulador.

$$W_{\text{compressió}} = W_{3-4} = \int_3^4 PdV = n \cdot R \cdot T_c \cdot \ln \left( \frac{V_4}{V_3} \right) \quad (4)$$

- **4-1.** Absorció d'una calor  $Q_{41}$  del regenerador a volum constant  $V_1$  que aconseguix millorar l'eficiència del sistema. Augmenta la temperatura fins a  $T_c$  i com a conseqüència augmenta la pressió del gas.

$$Q_{4-1} = n \cdot C_v \cdot (T_c - T_f) \quad (5)$$

Pel que fa al rendiment d'aquest cicle termodinàmic, es parteix del Segon Principi de la Termodinàmica segons el qual aquest rendiment serà

$$\eta = 1 - \frac{Q_{ced}}{Q_{abs}} = 1 - \frac{Q_{23}}{Q_{41}} \quad (6)$$

Combinant l'equació (6) amb les equacions (3)(5) de cada procés del cicle s'acaba obtenint l'expressió (7)

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad (7)$$

que es tracta del mateix rendiment que el de Carnot, considerat com el rendiment termodinàmic ideal.

## Regenerador

Un regenerador com el mostrat a la *Figura 2.7* tracta d'un sistema d'emmagatzematge d'energia en cada cicle. La calor es diposita al regenerador al procés 2-3, i quan el gas passa pel procés 4-1 el regenerador subministra l'energia que ha acumulat, ajudant a augmentar la temperatura del fluid, tal i com s'ha vist a l'hora d'explicar el cicle termodinàmic. [10] [11]

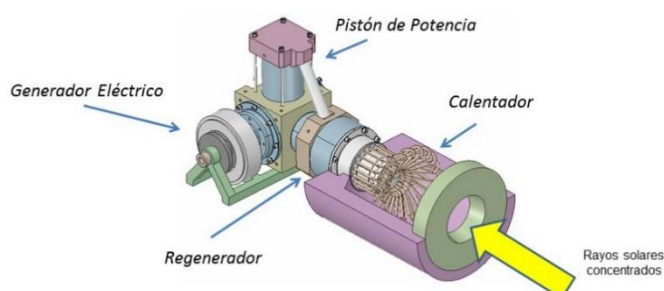


Figura 2.7. Parts principals d'un motor amb regenerador [10]

El regenerador és un tipus d'intercanviador de calor que funciona degut al gradient de temperatures que apareix entre els seus extrems: un costat estarà a  $T_c$  i l'altre a  $T_f$ . D'aquesta manera, existirà una distribució de temperatures que fa que la calor passi de la temperatura alta a la baixa.

## Fluid de treball

L'elecció del fluid de treball és una part important a considerar a l'hora de fabricar aquest tipus de motors, ja que determinarà alguns dels paràmetres del cicle termodinàmic.

Durant el segle XIX el fluid de treball que s'utilitzava era l'aire a pressió atmosfèrica. No obstant, l'aire no permet que els motors treballin a un bon rendiment termodinàmic, per tant va aparèixer la necessitat de trobar un altre tipus de fluid. No va ser fins el segle XX que es van provar altres fluids, tals com l'hidrogen i l'heli, que és actualment el fluid de treball més utilitzat en motors Stirling d'ús comercial. Per altra banda, cal tenir en compte que hi ha moltes més possibilitats que pot ser que millorin encara més el rendiment d'aquest tipus de motors. Els criteris que s'han de tenir en compte a l'hora de l'elecció del fluid de treball són els següents:

- **Capacitat calorífica:** interessen fluids amb aquest paràmetre elevat de manera que es produeixi un intercanvi de calor més ràpid entre els focus fred i calent. A més, com s'ha vist anteriorment, determinarà la forma del cicle termodinàmic i algunes de les seves propietats.
- **Reactivitat química:** és molt important que el fluid de treball no reaccioni amb els materials del sistema ja que podria en podria afectar greument el funcionament.
- **Seguretat:** si el fluid de treball és un gas (com n'és el cas) és important vigilar quin s'escull, ja que alguns gasos exploten si es barregen amb l'aire en unes certes condicions. També és important evitar qualsevol fuga de gas del sistema.
- **Cost:** sempre s'ha d'intentar que sigui econòmicament viable i que suposi la mínima despesa possible amb una bona qualitat.

Dels dos fluids comentats anteriorment (hidrogen i heli) el que compleix amb aquests requeriments amb èxit és l'heli, tot i que presenta una capacitat calorífica inferior a la de l'hidrogen. L'opció hidrogen, però, no és viable ja que aquest resulta explosiu quan entra en contacte amb l'oxigen.

### 2.2.4. Sistema de refrigeració

És important que la calor del motor sigui dissipada per tal d'assegurar el seu bon funcionament. Això s'aconsegueix mitjançant el fluid refrigerant, que normalment és aigua amb algun anticongelant adientment escollit. A més, si es tracta d'un sistema amb cogeneració, aquest permetrà emmagatzemar la calor intercanviada entre el motor i el fluid refrigerant com a energia tèrmica per aprofitar-la quan l'usuari ho desitgi. És un element molt important del sistema, ja que si falla podria causar-hi greus problemes.

### 3. Dish Stirling TRINUM

Un cop vist el funcionament bàsic d'un dish Stirling i tots els seus components, es pot realitzar l'estudi del dish instal·lat a l'Escola. Concretament, està localitzat al terrat del pavelló C de l'ETSEIB. El dish Stirling TRINUM és un producte de la ja inexistente empresa italiana Innova Solar. Com ja s'ha esmentat a l'inici, el dish està inactiu i aquest projecte va sorgir de la necessitat de buscar els possibles problemes que l'inutilitzaven i solucionar-los en cas possible.

En aquest punt, es pretén explicar les parts que conformen el sistema, així com el seu funcionament. No obstant, abans d'això és necessària la introducció als diferents possibles estats que pot presentar.

#### 3.1. Estat del sistema

Per estat del sistema s'entén posició i funcionalitat del dish Stirling en funció de les capacitats que aquest presenta per treballar adequadament. Es discerneix entre tres tipus de modes.

- M** MODE MANUAL      El sistema pot ser manipulat lliurement per l'usuari. Important no deixar mai el sistema desatès sota aquesta modalitat.
- A** MODE AUTOMÀTIC      El sistema opera de forma completament automàtica.
- S** MODE SEGUR      El sistema queda en repòs i no produeix cap tipus d'energia.

Aquests estats poden ser modificats per l'usuari manualment o bé de forma automàtica quan el sistema detecta algun error, per tal d'evitar el desencadenament de situacions perilloses.

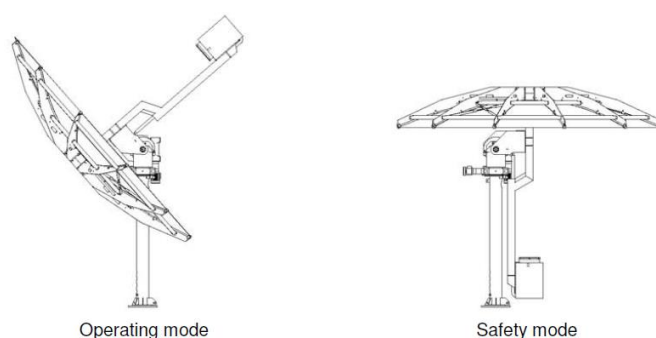
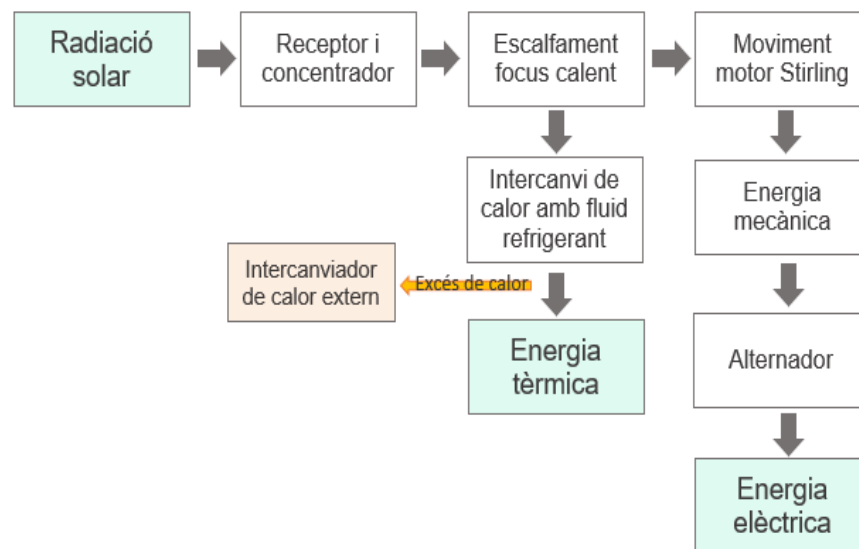


Figura 3.1. Posició del dish Stirling segons el mode [12]

La posició del dish Stirling corresponent a cada mode s'aclareix a la *Figura 3.1*, on els modes *Manual* i *Automàtic* corresponen a la primera imatge i el mode *Segur* a la segona.

### 3.2. Descripció del sistema

El sistema produeix energia elèctrica que pot ser utilitzada de manera immediata i, a més, energia tèrmica que pot ser emmagatzemada a un acumulador de calor de manera que se'n pugui disposar sempre que sigui requerida. Aquesta energia tèrmica serà emprada per donar suport al sistema d'aigua calenta sanitària (ACS), concretament ajudarà a escalfar l'aigua del gimnàs de l'Escola. A continuació es mostra un esquema resumit dels processos que segueix el sistema a l'hora de generar l'energia.



Per poder generar aquesta energia, el sistema ha de tenir unes característiques concretes que es troben detallades a la seva fitxa tècnica, de la qual s'ha extret la *Taula 3.1* resum.

Taula 3.1. Resum de les característiques tècniques principals del sistema [12]

General	
Àrea del col·lector	9,58 m <sup>2</sup>
Seguiment solar	Mitjançant eixos azimut i elevació
Eficiència òptica	89,00%
Elèctric	
Generació elèctrica	1 kW
Aportació de potència	230 V / 50 Hz
Energia elèctrica mitjana anual	2100 kWh
Tèrmic	
Generació tèrmica	3 kW
Energia tèrmica mitjana anual	6400 kWh
Cabdal del fluid refrigerant	Entre 7 i 19 l/min
Producció d'aigua calenta (45°C)	80 l/h
Temperatura del fluid a l'entrada del motor	Entre 6 i 60 °C
Pressió màxima fluid refrigerant dins del motor	7 bar



L'eficiència teòrica del sistema és d'un 55,2%, composta per un 13,8% d'eficiència elèctrica i un 41,4% tèrmica [5].

El sistema descrit consta d'un concentrador que segueix el sol mitjançant els dos eixos azimut i elevació, controlats per dos motors, i enfoca els rajos cap al receptor. L'energia generada pot ser entregada a la xarxa sense necessitat d'un inversor, ja que el motor treballa a una freqüència de 50 Hz.



Figura 3.2. Sistema dish Stirling del terrat del pavelló C de l'ETSEIB [font pròpia]

Segons es mostra a la *Figura 3.3* es poden diferenciar les tres parts del sistema: el circuit primari marcat en blau, corresponent a *Electric System* i a *Solar Circuit*, el circuit secundari marcat de color lila; i el circuit terciari marcat en verd correspon al circuit del gimnàs, que es troba a la planta baixa de l'Escola.

En aquest últim circuit no s'entrarà en més detall ja que no aporta cap informació útil per a l'elaboració d'aquest projecte.



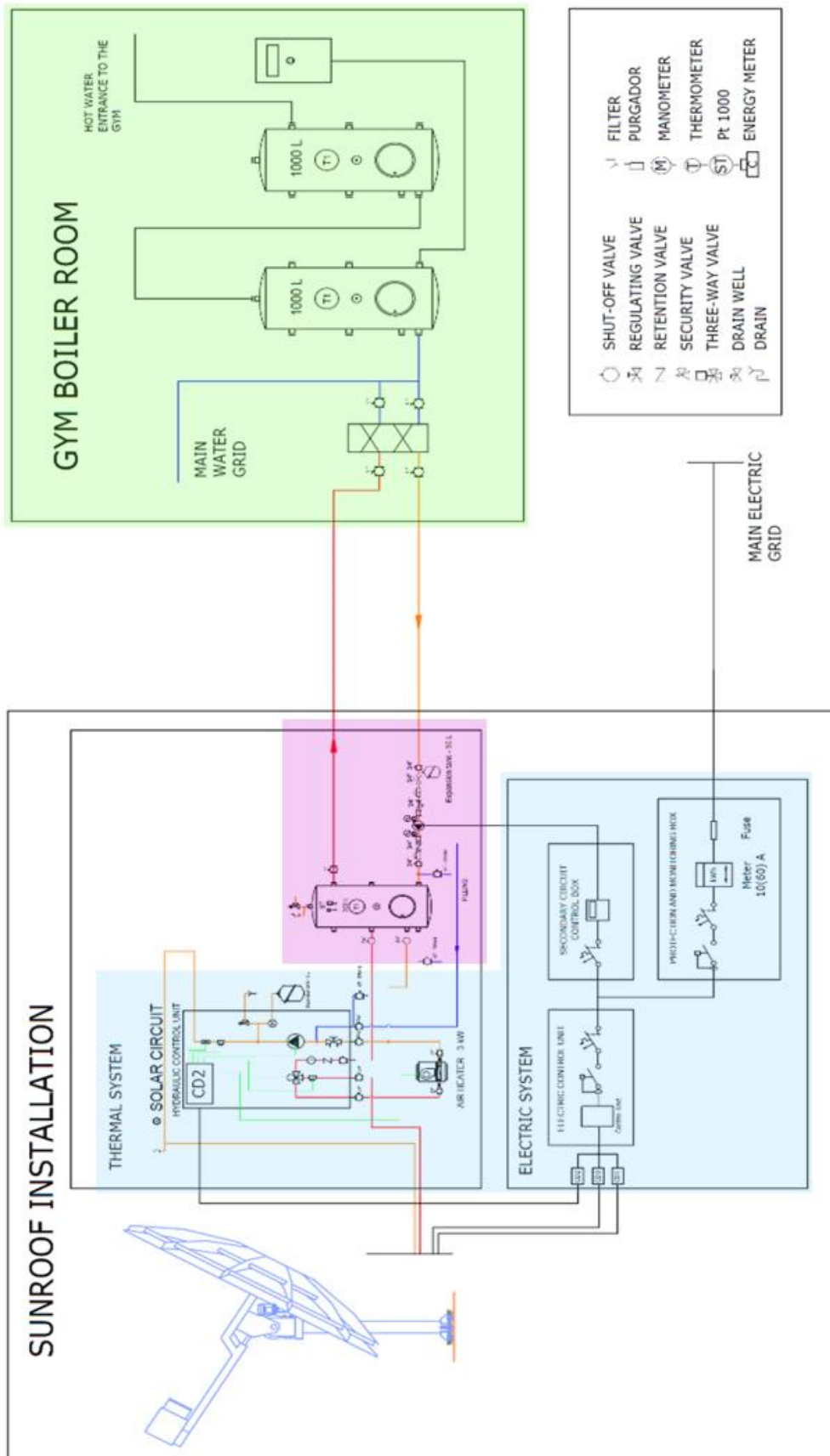


Figura 3.3. Esquema del sistema complet [6]

### 3.2.1. Circuit primari

#### Concentrador

El diàmetre total del concentrador és de 3,75 m i la seva àrea d'11 m<sup>2</sup>, està format per onze làmines d'alumini amb un 90% d'aquesta àrea reflectant, de manera que l'àrea reflectant és de 9,58 m<sup>2</sup>. Com s'ha analitzat anteriorment, l'alumini és un dels materials més adients per a la fabricació de concentradors solars.

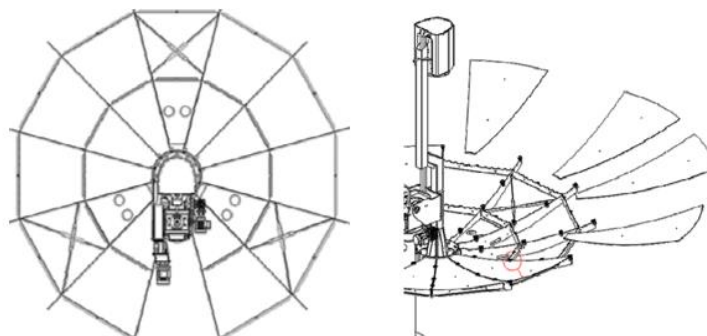


Figura 3.4. Esquema del concentrador parabòlic [13]

#### Seguiment solar

El seguiment solar es realitza mitjançant les coordenades GPS i els dos eixos esmentats anteriorment, l'azimut i elevació, que estan controlats per dos motors tal i com s'observa a la Figura 3.5 extreta dels esquemes elèctrics del sistema. L'azimut va des de -110° a 110° i l'elevació de -90° a 90°. Es troben a l'extrem més elevat de la columna de suport.

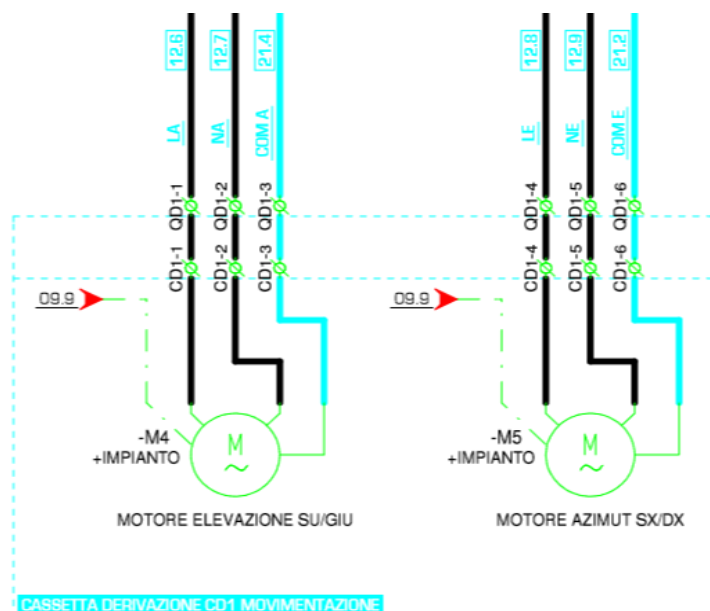


Figura 3.5: Motors de control dels eixos de posició azimut i elevació [14]

## Motor Stirling

El sistema consta d'un motor de pistó lliure lineal LFPEG (Linear Free Piston Engine Generator) del fabricant *Microgen Engine Corporation*. A la *Taula 3.2* es visualitzen les seves principals característiques.

Taula 3.2. Paràmetres principals del motor [5]

Fluid de treball: HELI				
T mitjana	T màx	Pressió	Engogada	Assoleix potència nominal
500°C	585°C	< 28 bar	T focus calent = 190°C	T motor = 400°C

Cal destacar que la temperatura mitja (T mitja) i la temperatura màxima (T màx) fan referència al focus calent, és a dir al receptor.

## Sistema de refrigeració

El sistema de refrigeració d'aquest dish Stirling consta de l'aigua com a fluid refrigerant juntament amb propilenglicol, un compost orgànic anticongelant.

La proporció d'aquest anticongelant ve definida per la *Taula 3.3* i es triarà la solució segons les necessitats de la zona geogràfica on se situï el sistema.

Taula 3.3. Punt de congelació i punt d'ebullició segons la proporció de propilenglicol [6]

Propilenglicol en solució [%]	Temperatura al punt de congelació [°C]	Temperatura al punt d'ebullició [°C]
0	0	100
10	-3	100
20	-8	101
30	-14	102
40	-22	104
50	-34	106
60	-48	108

Així doncs, el sistema de refrigeració té la funció de mantenir la temperatura del motor dins de l'interval de temperatures de treball adequat. És a dir, ha d'evitar que s'assoleixin temperatures massa elevades que puguin crear problemes en el sistema. Com es troba instal·lat a Barcelona i la seva mínima històrica se situa al voltant dels -10 °C l'any 1956 [15], seria necessària una solució de poc menys del 30% per assegurar que el fluid refrigerant no s'arribés a congelar.

Per tal de que el fluid refrigerant circuli s'empra una bomba hidràulica que es troba a la Unitat de Control Hidràulica que es detalla més endavant a l'apartat *Unitat de control de distribució hidràulic*.

## Sensors

És important rebre dades sobre alguns factors que podrien alterar el funcionament normal del sistema i, fins i tot, arribar a danyar-lo. Això s'aconsegueix mitjançant una sèrie de sensors.

En primer lloc, per determinar si les condicions ambientals són les òptimes, s'empren dos sensors ambientals: un de pluja i un de vent. En cas que plugui i/o la velocitat del vent superi els 50 km/h, el sistema es posarà en mode *Segur*.



Figura 3.6. Sensor de pluja [font pròpia]



Figura 3.7. Anemòmetre [font pròpia]

En segon lloc, per assegurar que el sistema no està funcionant sense fluid refrigerant o amb un cabal inferior al necessari, es disposa d'un sensor de cabal que es troba a la Unitat de Control Hidràulica. El cabal ha de trobar-se entre 7 i 19 l/min, de manera contrària el sistema passarà a mode *Segur*.



Figura 3.8. Cabalímetre fluid refrigerant [font pròpia]

El cabalímetre de la *Figura 3.8* es tracta d'un sensor OEM tipus 200 de la marca Huba Control capaç de mesurar en un rang de 0,5 a 150 l/min d'un fluid d'entre -40 i 125 °C [16].

En tercer lloc, és molt important controlar la temperatura del fluid refrigerant tant a l'entrada com a la sortida del motor Stirling. Aquesta informació és útil principalment per dos motius: protegir el motor enfront de possibles danys causats per un excés de temperatura o una temperatura massa baixa del fluid; i obtenir dades de cara a l'estudi de la generació tèrmica i el rendiment del sistema. La mesura s'obté de sensors tipus NTC 10 k $\Omega$  on el valor de la temperatura mesurada correspon a un canvi en la resistència i es converteix en una senyal analògica elèctrica.

En quart lloc, també és essencial portar un control de la temperatura del receptor. És un component delicat, ja que degut a que és l'element que rep tota la radiació solar assoleix temperatures molt elevades. S'utilitzen dos sensors per a dur a terme aquest control:

- Termoparell tipus K per mesurar la temperatura del receptor.
- Termoparell tipus K per mesurar la temperatura límit màxima de seguretat del receptor, que és 585 °C. En cas que se superi el sistema passarà a l'estat *Segur*. No obstant, la temperatura màxima de funcionament del receptor és de 525 °C, de manera que encara queda un marge de 40 °C fins que el sistema passi a *Segur*.

En cinquè lloc, un sensor del tipus NTC 10 k $\Omega$  situat al circuit hidràulic que controli la temperatura que assoleix el fluid refrigerant. És important que no superi els 70 °C ja que podria no fer la seva funció de refrigeració i danyar el motor, motiu pel qual es posa en *Segur* si es dóna aquest fet.

En sisè lloc, el sensor que detecta l'error *Dynamic absorber over-travel*<sup>2</sup> (DA/OT), que es tracta d'un problema de sobrecarrera del motor. És un cable tipus ITC/Belden.

Finalment, un altre NTC 10 k $\Omega$  per detectar la temperatura ambient. Aquest sensor és purament informatiu, ja que no activa cap alarma en cas de temperatures extremes. A més, trobant-se a Barcelona és difícil que això succeeixi.

És necessari destacar la importància de que aquests sensors funcionin correctament per poder detectar si hi ha algun error en el sistema i evitar danyar altres components, d'entre els quals se'n troben d'importants com el motor.

---

<sup>2</sup> Error 303 de la taula d'errors de l'apartat 4.2 *Llistat d'errors comuns*

## Unitat de control electrònica

Inclou tota l'electrònica del sistema, que consta de les següents parts:

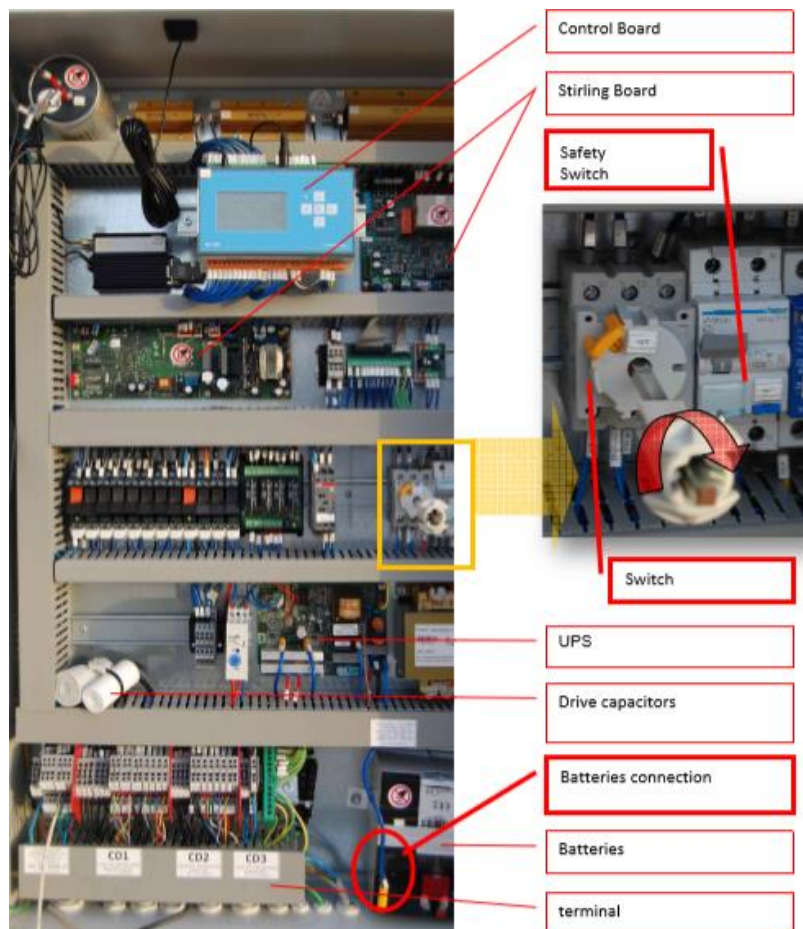


Figura 3.9. Unitat de Control Electrònic [13]

- Pantalla "Control Board" que es mostra a la *Figura 3.9* permet llegir les dades sobre la producció i l'estat general del sistema.
- ECU – *Electronic Control Unit* és la unitat on es troba tota l'electrònica del sistema, el control i la interfície d'usuari.
- Placa mare per a la connexió de tots els components capaç de recopilar dades de l'entorn mitjançant els sensors ambientals esmentats anteriorment així com del generador de control electrònic Stirling. També s'encarrega de controlar el seguiment solar mitjançant coordenades GPS. És important saber que aquesta placa es pot controlar de forma remota.
- Sistema d'alimentació ininterrompuda (SAI) que consta de dues bateries que s'encarreguen de mantenir el sistema en funcionament en cas de que el subministrament de la xarxa falli.



## Unitat de control de distribució hidràulic

La unitat de control de distribució hidràulic (HDCU) consta de les següents parts:

- HCU – *Hydraulic Control Unit* que té com a funció gestionar l'energia tèrmica produïda i activar el mode de seguretat quan sigui necessari (Figura 3.10).



Figura 3.10. Unitat de Control Hidràulic (HCU) [font pròpia]

- Bomba circuit primari que s'encarrega de fer circular el fluid refrigerant per tot el circuit de refrigeració, per tant és un element indispensable del sistema. Es tracta d'una bomba Standard de la marca Wilo de diàmetre nominal de connexió 25 mm i d'altura d'impulsió nominal 6 m [16]. Es pot veure també a la Figura 3.10, ja que es troba al HCU.



Figura 3.11. Bomba del circuit primari [font pròpia]

- Cabalímetre i sensors de temperatura que permeten obtenir dades i protegir el sistema, explicats anteriorment.

- Vàlvula de 3 vies que s'utilitza per evacuar l'excés de calor mitjançant el dissipador de calor extern en cas que sigui necessari.
- Vas d'expansió que té la funció d'absorbir l'augment de volum del fluid degut a l'increment de temperatura que aquest ha patit. Té una capacitat de 5l i suporta una temperatura i pressió màximes de 99 °C i 8 bar, respectivament.
- Dissipador que permet evacuar l'excés de calor del circuit hidràulic. A la *Figura 3.13* es pot observar que el sistema del ventilador (que és l'intercanviador) només s'accionarà quan K6 estigui tancat, cosa que succeirà quan el sistema detecti aquest excés de calor.



Figura 3.12. Intercanviador de calor extern  
[font pròpia]

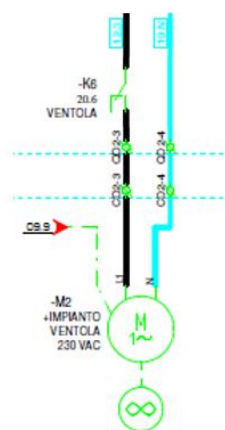


Figura 3.13. Esquema elèctric  
intercanviador de calor extern [14]

## Acumulador

L'acumulador s'encarrega d'emmagatzemar l'energia tèrmica generada de manera que pugui ser lliurada quan sigui requerida mitjançant un intercanviador d'un sol tub al seu interior de  $1,05 \text{ m}^2$  de superfície d'intercanvi. El model que s'empra en aquest sistema és el BSV300. Pel que fa al material aïllant que el conforma, es tracta de poliuretà expandit amb un gruix de 50 mm, així es minimitzen les pèrdues en l'acumulador.

És important tenir en compte els requeriments tant de l'acumulador com de l'intercanviador. L'acumulador, suporta una pressió màxima de 10 bar i una temperatura màxima de 95 °C, mentre que l'intercanviador és capaç de suportar 12 bar de pressió màxima i 110 °C de temperatura.



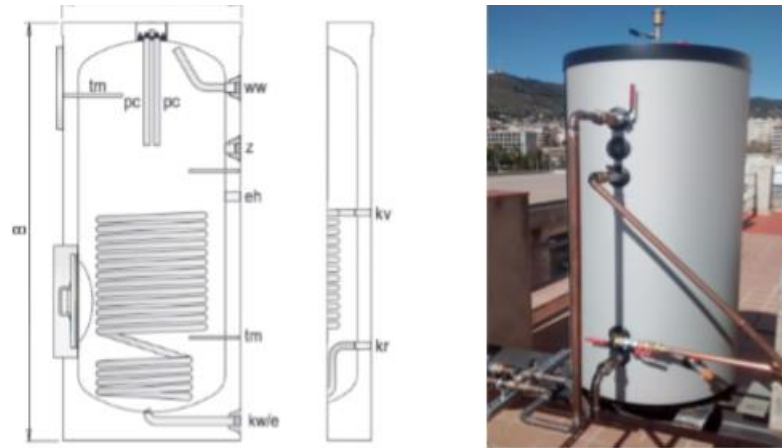


Figura 3.14. Acumulador [6]

### 3.2.2. Circuit secundari

#### Bomba circuit secundari

La bomba ajuda a l'aigua del circuit secundari a fluir i és important que s'instal·li a la canonada d'aigua freda. La bomba és del grup comercial Grundfos i correspon al model MAGNA1 32-80 que es pot observar a la *Figura 3.15*, té un consum d'energia baix, és poc sorollosa i té una vida útil molt llarga sense necessitat de manteniment.



Figura 3.15. Bomba del circuit secundari [font pròpia]

La temperatura del fluid que hi circula pot anar de -10 fins a 110°C i la temperatura ambient entre 0 i 40°C. A més, la pressió màxima és de 10 bar i la potència màxima de 150 W.

És útil instal·lar dues vàlvules abans i després de la bomba de manera que es pugui realitzar qualsevol tipus de manteniment o canvi de bomba sense haver de desmuntar més elements del circuit.

#### Intercanviador de calor extern

És necessari instal·lar un intercanviador de calor que permeti extreure la calor sobrant abans del circuit secundari fins al gimnàs.

## Vas d'expansió

De la mateixa manera que el circuit primari disposa d'un vas d'expansió, el secundari també en necessita un. Té la funció d'absorbir l'augment de volum del fluid degut a l'increment de temperatura que aquest ha patit. Es recomana instal·lar-lo abans de la bomba del circuit secundari de manera que es puguin realitzar diferents accions al circuit sense haver de desconnectar el vas.



Figura 3.16. Vas d'expansió circuit secundari [font pròpia]

A la *Figura 3.16* es pot veure el model emprat, que té una capacitat de 35l.

### 3.3. Estructura de suport

L'estructura del suport del dish Stirling està formada per acer galvanitzat i conforma l'esquelet del dish i una unitat de connexió per facilitar-ne el manteniment. Ha de suportar, com a mínim, les següents condicions:

Taula 3.4. Condicions mínimes que ha de suportar l'estructura de suport [6]

Càrregues	Moments flectors	$M_y = 5.000 \text{ N}\cdot\text{m}$
		$M_z = 300 \text{ N}\cdot\text{m}$
	Força normal	$N = 6.000 \text{ N}$
Ambientals	Velocitat del vent	150 km/h

És important que l'estructura del suport garanteixi que el tronc del dish Stirling quedi completament vertical. Per tal de complir els requeriments presentats a la *Taula 3.4*, s'empra un suport amb perfils HEB 160 per les connexions principals i HEB 140 pel dish.

## 4. Posta en marxa

Un cop realitzat l'estudi del funcionament dels sistemes dish Stirling, i amb més detall el de l'Escola, juntament amb el seu sistema de monitorització, es procedeix a definir i desenvolupar les accions dutes a terme per tal d'aconseguir tornar a posar en marxa el generador.

### 4.1. Panell de control

Abans d'analitzar els errors trobats, és important entendre el significat de cadascun dels elements que apareixen al panell de control "Control Board" vist a l'apartat *Unitat de control electrònica*, que és on es troba. No obstant, aquesta explicació només se centrarà en la pantalla principal de l'aparell, ja que és la indispensable per poder entendre el contingut posterior.

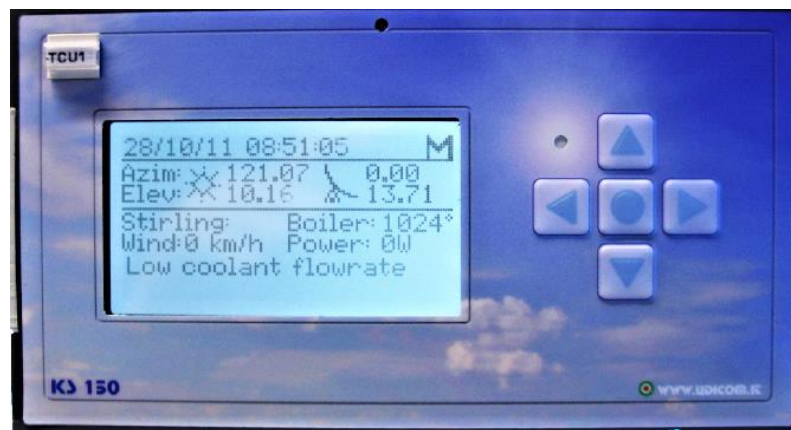


Figura 4.1. Taula de control [13]

A la *Figura 4.2* s'especifica amb més detall cadascuna de les parts de la pantalla principal de la taula de control de la *Figura 4.1*.

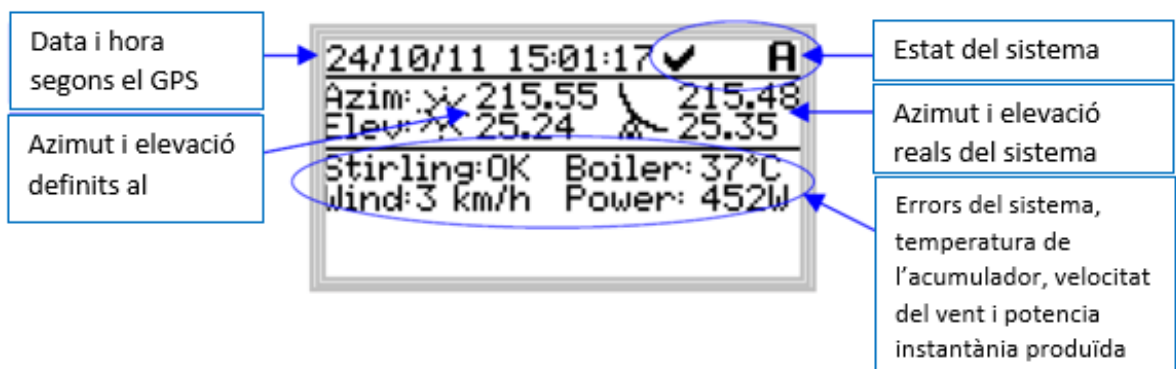








Figura 4.2. Pantalla principal de la taula de control [13]

Pel que fa a l'estat del sistema (extrem superior dret), s'observen dos símbols que canviaran en funció de les condicions del sistema.

El **primer símbol** indica si les condicions són òptimes per al funcionament del sistema i, en cas negatiu, quin és el factor que no ho permet.

-  Totes les condicions necessàries són òptimes, sistema preparat
-  El sistema es troba en mode *Segur* degut a la pluja
-  El sistema es troba en mode *Segur* degut a l'excés de velocitat del vent
-  No es rep corrent de la xarxa, operació via UPS
-  Descentrament temporal del concentrador degut al sobreescalfament del motor o del fluid de refrigeració
-  El GPS rep menys de 4 senyals, la informació no és completament fiable.

El **segon símbol** mostra el mode del sistema configurat per l'usuari. No obstant, per evitar possibles problemes més greus, el sistema es posarà per sí sol en mode *Segur* quan alguna de les condicions requerides no es compleixi.

A més, el primer dels quatre elements inferiors de la pantalla principal que s'observen a la *Figura 4.2* mostra l'estat del motor Stirling i, en cas que aquest no sigui acceptable, indica el número de l'error de què es tracta segons el llistat presentat al següent apartat *4.2 Llistat d'errors comuns*. A més, aquest sovint va acompanyat del nom de l'error a la part inferior de la pantalla de control.

## 4.2. Llistat d'errors comuns

Taula 4.1. Llistat d'errors comuns del sistema [13]

Errors in positioning and drive	
<b>Err. Pos. Azimuth</b>	Timeout Azimuth positioning
<b>Err. Pos. Elevation</b>	Timeout Elevation positioning
<b>Err. Enc. Azimuth</b>	Drive on but no encoder feedback
<b>Err. Enc. Elevation</b>	Drive on but no encoder feedback
<b>Err. FC Azimuth</b>	Security switch FCMax or FCMin
<b>Err. FC Elevation</b>	Security switch FCMax or FCMin
Errors from Stirling engine	
Error code	
<b>10</b>	Coolant inlet temperature sensor short-circuit
<b>11</b>	Coolant inlet temperature sensor open-circuit
<b>12</b>	Coolant outlet temperature sensor short-circuit

13	Coolant outlet temperature sensor open-circuit
14	Back end temperature sensor short-circuit
15	Back end temperature sensor open-circuit
16	Ambient temperature sensor short-circuit
17	Ambient temperature sensor open-circuit
301	Inner iron over-temperature
303	Dynamic absorber over-travel
304	Grid protection (G83/ENS)
306	Alternator overload
309	VI protection trip
310	Head over-temperature HW
311	Head under-temperature HW
312	Remote emergency stop
404	Head under-temperature SW
405	Head over-temperature SW
406	Head temperature measurement discrepancy
407	Control thermocouple failure
408	Limit thermocouple failure
411	Under-current
414	Resistor integrity check failure
415	24 Vdc power supply failure
420	Control thermocouple open-circuit
421	Limit thermocouple open-circuit
424	Coolant over-temperature
425	Coolant under-temperature
501	Power meter communications checksum failure
502	Power meter communications timeout
504	VI protection reset
505, 506, 507	VI protection under-voltage trip
508, 509, 510	VI protection over-voltage trip
511	VI protection under-frequency trip
512	VI protection over-frequency trip
513	VI protection short-circuit trip
514	VI protection trip
603	Low coolant flow rate
604	Ambient over-temperature

### 4.3. Falles detectades

El primer pas dut a terme va ser verificar les dades que apareixien al panell “Control Board” explicat a l’apartat anterior. La primera imatge que es va trobar va ser la que es pot observar a la *Figura 4.3*, on es poden trobar diversos errors analitzant-ne el contingut.



Figura 4.3. Pantalla principal de la taula de control [font pròpia]

En primer lloc, apareix l'error 603 que, tal i com es pot llegir a la part inferior de la pantalla, correspon a una quantitat de flux refrigerant més petita de la necessària. Cal recordar que el cabal del fluid refrigerant ha d'estar entre 7 i 19 l/min per tal que el sistema funcioni correctament.

Per altra banda, s'observa que la mesura de la temperatura de l'acumulador és molt elevada. Està clar que és un error ja que l'acumulador no assoleix temperatures tan elevades com la de 1024°C.

L'últim error que s'extreu d'aquesta primera lectura de la taula de control es tracta del mal posicionament del dish Stirling, ja que els valors de l'azimut i l'elevació configurats no coincideixen amb els reals.

Així doncs, degut a aquests tres factors el sistema és incapaç de produir cap mena de potència, tal i com es pot observar també a la pantalla principal (Power: 0W).

Per solucionar aquests errors es van dur a terme diverses mesures.

### **Error al circuit primari de refrigeració**

L'error de cabal de fluid refrigerant baix no permetia que cap tipus d'energia fos generada, ni tan sols que el motor es poses en funcionament, ja que si aquest no es refrigera adequadament podria arribar a assolir temperatures molt elevades i perilloses.

Al principi de la posta en marxa del sistema, tant el cabalímetre com el manòmetre donaven un valor de 0, així que es va optar per actuar com si el circuit estigués buit i es va omplir. A més, es va descobrir que la bomba del circuit primari (corresponent a la *Figura 3.11*) estava



encallada i no permetia que el fluid circulés. Es va aconseguir desencallar-la, però cal tenir en compte que es troba en força mal estat degut al pas del temps i al desús, i probablement s'hagi de canviar en un futur proper.

Malgrat que es va aconseguir que els dos aparells de mesura donessin valors diferents de 0, el sistema seguia sense funcionar degut a que el cabal era inferior a 7 l/min, és a dir estava per sota dels requeriments.

Com en teoria el circuit ja estava ple, es va pensar que podria ser un error del sensor de cabal. Si aquest no funciona correctament dona un valor fals i no permet que el sistema operi tot i estar capacitat per fer-ho.

El sensor corresponent a la *Figura 4.4* i la *Figura 4.5* s'ha explicat a l'apartat *Sensors* del circuit primari. El seu número de referència és 200.915101 [16]. S'observa a les imatges esmentades que els cables corresponents al sensor són el 16.13 (vermell), el 16.14 (groc) i 16.21 (negre), dels quals se'n va comprovar l'estat i les connexions, que eren correctes. Al assegurar-se de que pel sensor hi passava corrent i donava resposta, es va descartar la seva possible averia.



Figura 4.4. Sensor [font pròpia]

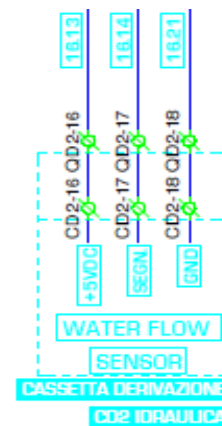


Figura 4.5. Cables sensor [14]

Un cop comprovat que l'error no provenia del sensor, es va seguir investigant i es va trobar que a la documentació del sistema es recomana, en cas de tenir aquest error 603, buidar d'aire el circuit, ja que pot falsificar les dades del sensor. Com ja s'havia reomplert el circuit d'aigua i seguien havent problemes es va arribar a la conclusió de que el circuit perdia en algun punt, que va resultar ser per l'únic purgador existent. A més, tenia bombolles a l'interior així que efectivament era necessari treure-li l'aire. Així doncs, es va buidar el circuit, es va canviar el purgador i se'n va instal·lar un de nou en un punt alt del circuit, quedant un a l'entrada del motor Stirling i l'altre a la sortida de l'HCU, tal i com es mostra a la *Figura 4.6* i *Figura 4.7* respectivament.



Figura 4.6. Purgador entrada motor [font pròpia]



Figura 4.7. Purgador sortida HCU [font pròpia]

Es va tornar a omplir el circuit i, gràcies als purgadors, ara l'aire que es troba en excés es va expulsant. Un cop realitzada aquesta operació, es va aconseguir solucionar l'error 603. Com afegit, per tal de facilitar l'ompliment del circuit hidràulic sempre que sigui necessari, es va instal·lar, juntament amb els purgadors, el muntatge de la *Figura 4.8*, que deixa entrar aigua al circuit quan l'usuari ho desitgi. Tota la instal·lació va suposar un cost total de 265,75 €.



Figura 4.8. Muntatge d'ompliment del circuit hidràulic [font pròpia]

Gràcies a totes aquestes modificacions es va aconseguir solucionar l'error del cabal del fluid refrigerant.



### Error de la temperatura boiler

Per trobar d'on prové l'error de l'acumulador, cal analitzar quines connexions i parts del sistema estan relacionades amb ell. Al investigar, es va trobar a sota de l'acumulador una capsa de connexions, marcada amb un requadre vermell a la *Figura 4.9*. Al obrir la caixa es va trobar plena d'aigua i amb alguns dels cables del seu interior malmesos, tal i com es mostra a la *Figura 4.10*. Es van tornar a col·locar els cables que estaven mal posats i es va aprofitar per canviar un dels cables que semblava que estava trencat.

Aquest cable es tractava d'un sensor del tipus termoparell K i va costar 26,72€ amb IVA inclòs.



Figura 4.9. Acumulador [font pròpia]




Figura 4.10. Caixa de cables de l'acumulador [font pròpia]

A part de canviar el cable, també es va aprofitar per tornar a posicionar el cable que porta a la capsa orientat cap al terra, de manera que no pugui entrar-hi més aigua.

Gràcies a aquestes modificacions es va aconseguir solucionar l'error de l'acumulador i es va tornar a obtenir la temperatura real d'aquest en comptes dels 1024 °C que apareixien inicialment.

### Error de les bateries UPS

Malgrat haver solucionat aquests errors, el dish seguia sense funcionar. El motiu va ser l'aparició d'un nou error: la icona  a la taula de control que, tal i com s'ha explicat al punt 4.1 *Panell de control*, significa que no es rep corrent de la xarxa i s'opera via UPS.

Es va procedir a anar resseguint els cables de l'ECU amb un tester per tal de comprovar que el voltatge fos de 230 V, tal i com hauria de ser.

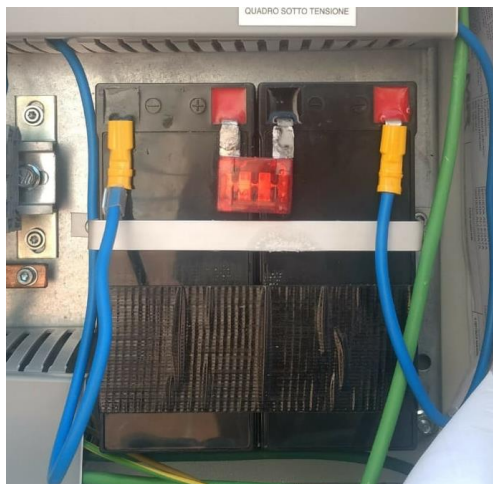


Figura 4.11. Bateries noves UPS [font pròpia]

Finalment, en comprovar l'estat de les bateries, es va observar que no estaven carregades amb el que els corresponia. Es va concloure que el problema es trobava allà, de manera que se'n van encarregar unes, les de la *Figura 4.11*. Les dues bateries van costar un total de 30,78€ i són d'àcid de plom, de 12 V, lliures de manteniment i adequades per utilitzar com a fonts d'alimentació d'emergència. Cadascuna té un pes de 2340 g i unes mides de 150 x 95 x 65 mm.

### **Error *Dynamic absorber over-travel (DA/OT)***

Després d'haver solucionat tots els problemes anteriors, es va aconseguir l'objectiu principal d'aquest projecte: posar en funcionament el sistema dish Stirling. No obstant, després d'haver estat funcionant un dia sencer, es va aturar sobtadament degut a l'error 303 *Dynamic absorber over-travel*.

Es va trobar el sensor DA/OT i en primera opció es va pensar que l'error podia venir d'allà, ja que una de les connexions del seu cablejat estava malmesa. Però després de corregir-ho, seguia donant el mateix error. Així doncs, com es tracta d'un error del motor (observar *Taula 4.1*) es va optar per contactar amb el fabricant d'aquest, l'empresa *Microgen Engine Corporation*, qui va facilitar un diagrama de flux dels possibles motius i solucions de l'error on es proposava fer un reset al sistema. Es va provar com primera opció i gràcies a aquest reset, es va aconseguir solucionar l'error i el sistema va tornar a funcionar correctament, sense cap més explicació.

## 5. Sistema de monitorització

Per tal de poder realitzar un seguiment de l'estat del sistema i garantir el funcionament correcte de les operacions, es va instal·lar un sistema de monitorització que ho permet mitjançant la gestió de les variables recopilades pels sensors i les variables generades pel propi sistema de control, com per exemple errors, estats o càlculs de potència i energia.

El sistema pretén extreure les dades de Trinum mitjançant el software Power Studio, però aquest no disposa dels drivers necessaris per integrar-lo, de manera que es necessita un tercer element: el dispositiu EDS. Tanmateix, el Trinum no es pot connectar directament a l'EDS així que són necessaris dos dispositius addicionals, que han d'estar connectats segons s'indica a la *Figura 5.1*. Això és degut a que l'EDS disposa d'un port TCP i d'un RS-485, mentre que el Trinum només té un port RS-323, per tant no és possible que s'entenguin sense la resta d'elements. A més, ni l'EDS ni el Trinum són directament integrables al port RS-485, ja que el Trinum fa servir el protocol modbus i l'EDS fa servir un protocol propi pel port RS-485. No obstant, l'EDS sí que utilitza el modbus pel port TCP i gràcies a això i als dispositius TCP1RS+ i RS2RS s'aconsegueix establir la comunicació.

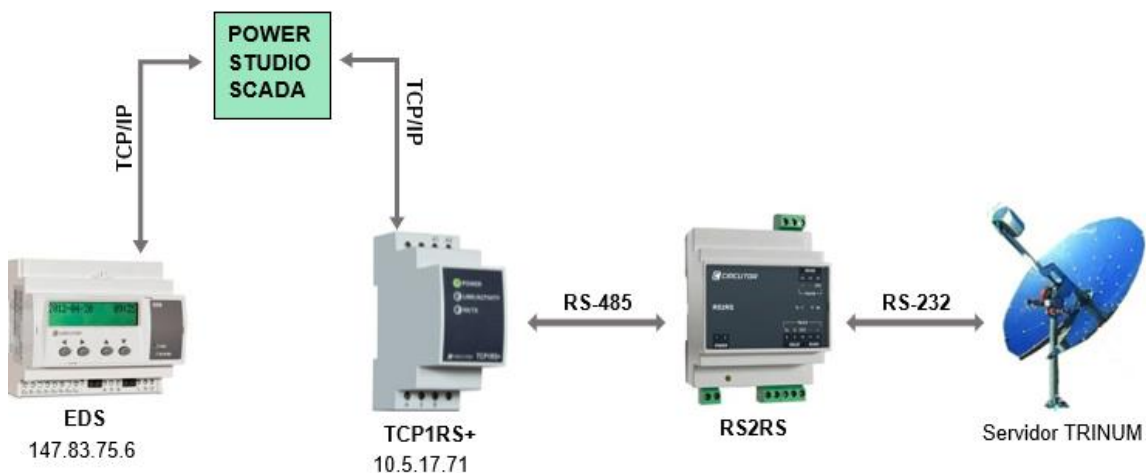


Figura 5.1. Arquitectura del sistema de monitorització [font pròpia]

En conclusió, el sistema de gestió està basat en un equip EDS que permet la integració amb el sistema Scada Power Studio de Circutor. Consta de tres dispositius que permeten treballar amb les dades que rep el servidor de Trinum: un EDS, un TCP1RS+ i un RS2RS [17].

- **EDS:** és un gestor energètic dotat del software Power Studio i amb servidor web i XML que permet a l'usuari la consulta de qualsevol variable elèctrica ja que es connecta a diferents sensors i equips de mesura via un bus RS-485. Disposava de 8 entrades digitals lliures de tensió i 6 sortides digitals. Al present sistema se li va adjudicar la IP pública 147.83.75.6 amb el port per defecte 80.

- **TCP1RS+**: és una passarel·la orientada a la conversió del medi físic Ethernet a RS-485 i viceversa amb protocol Modbus/TCP. L'equip és totalment parametrizable mitjançant el software de Power Studio. Té una IP de 10.5.17.71 i port 502.
- **RS2RS**: és un conversor que permet connectar equips amb protocol de comunicacions RS-232 a una xarxa RS-485. També permet realitzar funcions de repetidor o d'amplificador de xarxa RS-485. Disposa d'aïllament galvànic.

Com ja s'ha comentat, les dades es visualitzen a través del software Power Studio Scada, que té un cost per llicència de 6.985,20 €, tot i que disposa d'una versió de prova gratuïta que és la que s'ha emprat en aquest projecte.

## 5.1. Interfície online

El PowerStudio és un software de gestió energètica les característiques del qual són, principalment, la configuració, comunicació i monitorització de dispositius, així com la creació de pantalles i informes que permeten la visualització clara i senzilla de les variables i la seva evolució. Està dividit en tres mòduls fonamentals: l'Editor, el Motor i el Client. [18] [19] [20] [21]

- **Editor**: és el mòdul que s'encarrega de la gestió d'aplicacions i permet crear-ne de noves, modificar les existents, importar-ne del motor o exportar-ne cap al motor.
- **Motor**: és el mòdul d'execució de l'aplicació que rep de l'Editor i de comunicació amb els diferents dispositius. També emmagatzema les dades descarregades i atén les diferents peticions provinents tant de l'Editor com del Client.
- **Client**: és el mòdul que permet connectar amb el Motor i accedir a les pantalles i informes i visualitzar els valors registrats pels dispositius i l'estat d'aquests dispositius. A més, pot realitzar gràfiques i llistats dels valors obtinguts de les variables.

Gràcies a aquests elements, és possible obtenir i treballar amb els valors instantanis de les variables desitjades així com els valor al llarg del temps.

La versió emprada en el present projecte és la 4.03. Les variables de les quals s'obté informació són les que s'ajunten a *Taula 5.1*.

Taula 5.1. Llistat de variables parametritzades a Scada [font pròpia]

Variable	Identificador Scada
Temperatura ambient [°C]	AMB_T
Temperatura acumulador [°C]	BOILER_T
Cabal fluid refrigerant [l/min]	COOL_FLOW
Temperatura entrada motor [°C]	COOL_T_IN
Temperatura sortida motor [°C]	COOL_T_OUT
Corrent [A]	CURRENT
Energia elèctrica generada [kWh]	E_ENERGY
Potència elèctrica generada [W]	E_POWER
Temperatura màxima de funcionament del receptor [°C]	HEAD_T_SET
Temperatura receptor [°C]	HEAT_T_CON
Temperatura límit receptor de seguretat [°C]	HEAT_T_LIM
Voltatge [V]	VOLTAGE

Una de les opcions que ofereix l'Scada és la de fer combinacions entre variables per tal d'aconseguir-ne de noves i visualitzar la informació que l'usuari desitgi. Aquestes variables queden resumides a la *Taula 5.2*.

Taula 5.2. Llistat de variables calculades introduïdes a l'Scada [font pròpia]

Variables	Identificador
Potència tèrmica generada [W]	P_TERM
% Potència elèctrica sobre la nominal	PERC_ELEC
% Potència tèrmica sobre la nominal	PERC_TERM

Per obtenir la potència tèrmica en cada moment, s'ha emprat l'equació

$$P_t = \Delta T \cdot C_w \cdot Q \quad (8)$$

i per tal de poder realitzar el càlcul directament amb les dades extretes de l'Scada, es fan els canvis d'unitats necessaris a l'equació (8), obtenint la següent equació

$$P_t = \frac{T_c - T_f}{60} \cdot C_w \cdot Q \quad (9)$$

on:

**P<sub>t</sub>** és la potència tèrmica generada. A l'Scada se li ha donat el codi P\_TERM. [W]

**T<sub>c</sub>** és la temperatura calenta del fluid refrigerant, a la sortida del motor. A l'Scada té el codi COOL\_T\_OUT. [°C]

**T<sub>f</sub>** és la temperatura freda del fluid refrigerant, a l'entrada del motor. Codi COOL\_T\_IN. [°C]

**C<sub>w</sub>** és la capacitat calorífica del fluid refrigerant. Com es tracta d'aigua, el seu valor és 4175,4228 [J/(kg·K)]

**Q** és el cabal del fluid refrigerant. Té el codi COOL\_FLOW a l'Scada. [l/min]

Pel que fa als % de potència elèctrica i tèrmica sobre la nominal, representen el que esta generant el sistema respecte el que se suposa que hauria de generar, és a dir, 1 kW elèctric i 3 kW tèrmics.

S'han emprat les variables de potència elèctrica generada i potència tèrmica generada (calculada amb anterioritat), obtenint l'expressió

$$\%_{e/t} = \frac{P_{e/t}}{P_{\text{nominal}_{e/t}}} \cdot 100 \quad (10)$$

on:

**P<sub>e/t</sub>** és la potència elèctrica (subíndex e) o bé la tèrmica (subíndex t)

**P<sub>nominal<sub>e/t</sub></sub>** és la potència nominal elèctrica (subíndex e) o bé la tèrmica (subíndex t).

Un cop definides les variables es pot procedir a utilitzar i desenvolupar les eines i aplicacions que presta el software, principalment se n'han emprat tres: les pantalles, els informes i els successos.

### **Pantalles de visualització**

Les pantalles de l'Scada són cadascuna de les finestres que incorporen controls de visualització i que funcionen de forma autònoma en la instal·lació definida. Per al sistema de monitorització actual s'ha establert una sola pantalla, la pantalla principal, que reuneix la informació més rellevant del sistema.

Com es pot observar a la *Figura 5.2* s'obtenen valors instantanis de les temperatures del receptor, ambient i de l'acumulador, així com les temperatures de sortida i entrada del motor, mitjançant les quals es calcula la potència tèrmica generada. També s'obté informació de la tensió i la corrent i, les més importants, les potències generades elèctrica i tèrmica.



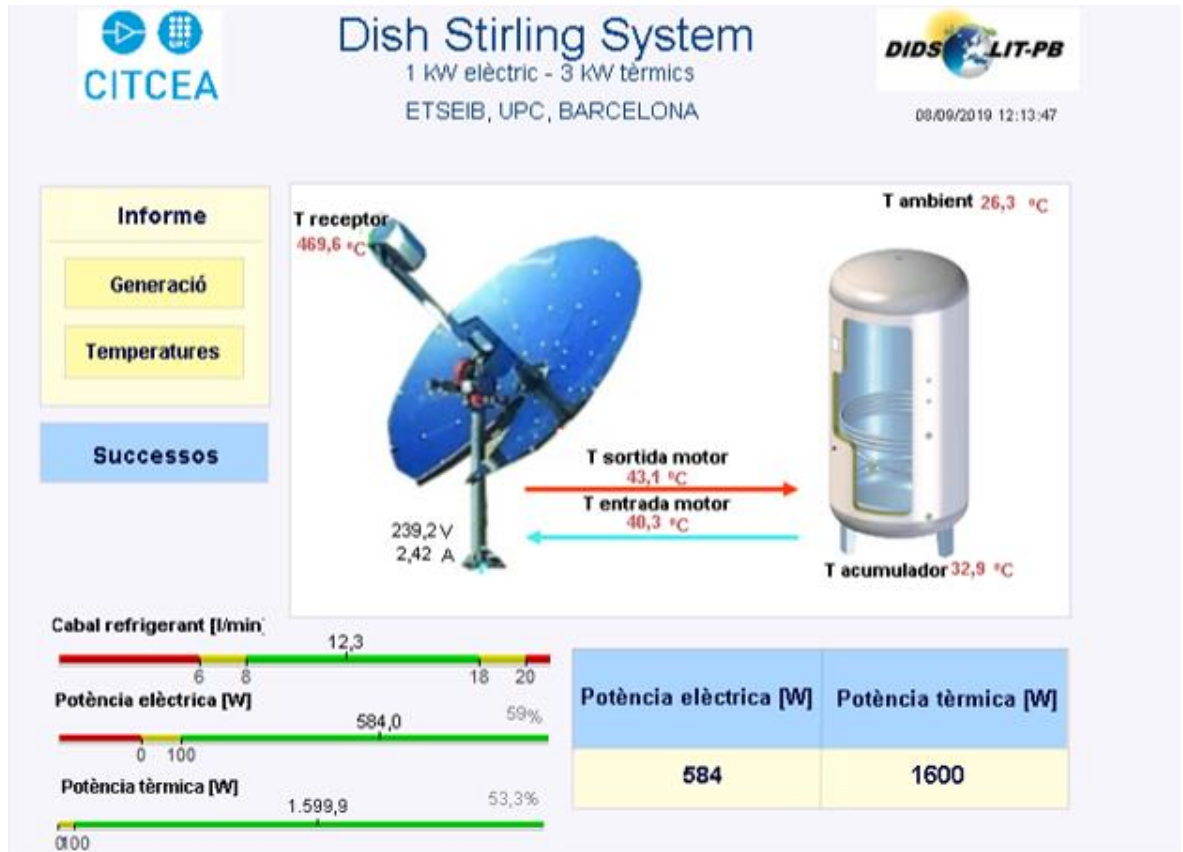


Figura 5.2. Pantalla principal Scada 08/09/2019 12:13:47 [font pròpia]

A l'extrem inferior esquerre de la pantalla s'hi poden observar tres barres analògiques que corresponen als valors del cabal de fluid refrigerant i a les potències generades, en aquest ordre. S'ha trobat útil donar aquesta informació ja que són tres valors que és important tenir controlats i d'aquesta manera és molt fàcil i visual:

- **Cabal:** ha de trobar-se entre 7 i 19 l/min. Se li ha donat un marge d'1 l/min en cada extrem, ja que el sistema no s'atura immediatament al rebre una dada fora d'aquest interval i pot ser que sigui només puntual.
- **Potència elèctrica:** només es començarà a generar quan superi els 0 W i com a molt assolirà l'1 kW nominal. La barra va acompanyada del % *potència elèctrica sobre la nominal* introduït com a variable calculada.
- **Potència tèrmica:** Com a molt assolirà els 3 kW nominals. La barra va acompanyada del % *potència tèrmica sobre la nominal* introduït com a variable calculada.

A més, al clicar sobre cadascuna de les variables s'obté una gràfica que per defecte serà setmanal. Aquests paràmetres es poden canviar, tal i com es mostra a la part inferior de la *Figura 5.3*, i també es pot obtenir una taula amb els valors d'aquesta variable agrupats en intervals de 30 minuts, que poden ser descarregats en format Excel.

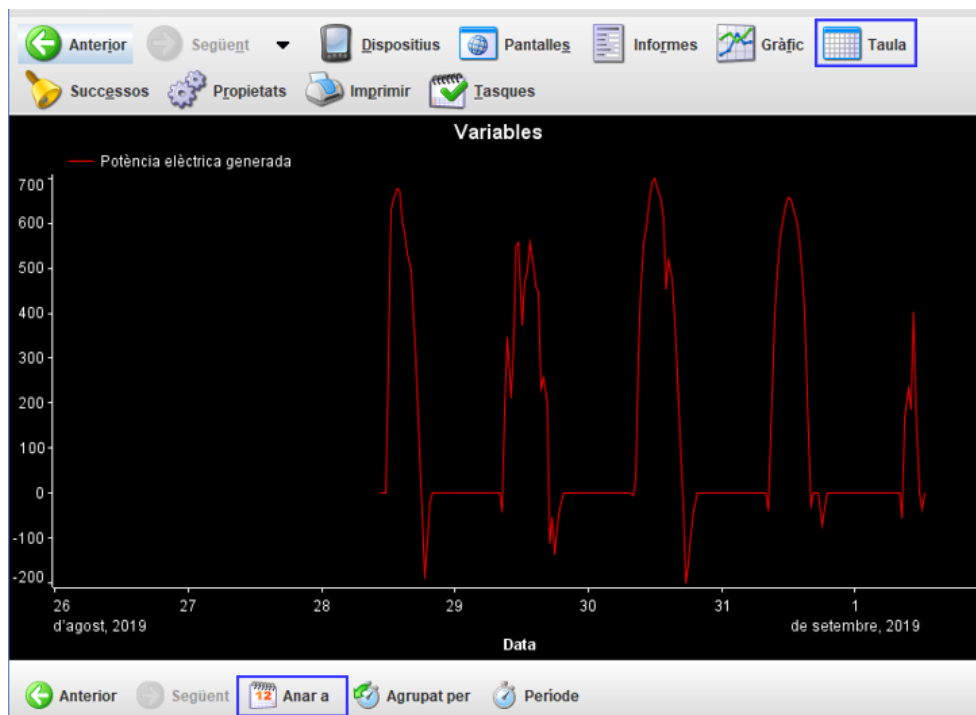


Figura 5.3. Potència elèctrica generada del 26/08/2019 al 01/09/2019 [font pròpia]

Tornant a la *Figura 5.2*, a la part esquerra de la pantalla s'hi poden trobar els requadres *Informes* i *Successos*.

## Successos

Els successos són avisos sobre un tipus d'esdeveniment que ha estat programat anteriorment. S'estableixen les condicions per les quals es vol que aparegui un succés, cosa que permet detectar possibles estats del sistema que poden resultar perillosos o ser excepcionals. Existeix la possibilitat de definir un horari d'inhabilitació d'un determinat succés, és a dir aquells intervals de temps en què no es tindrà en compte en el software.

En el present sistema s'han definit dos tipus de successos:

- **Cabal fora de l'interval òptim:** es rebrà un avís quan el cabal es trobi fora del rang que li pertoca. Per aquest succés s'ha definit un horari d'inhabilitació de 19h a 6h, ja que al ser de nit el sistema estarà aturat i el cabal serà correctament de 0 l/min.
- **Temperatura receptor supera el límit:** quan la temperatura del receptor superi els 585 °C que té establerts com a límit. És una situació perillosa així que important de tenir controlada. No es considera necessari establir un horari d'inhabilitació per aquest succés.

A través de la pantalla creada *Figura 5.2* es pot accedir al llistat de successos que han ocorregut durant el dia. Per anar bé, ha de ser una llista en blanc.



## Informes

La possibilitat de crear informes automàticament és una eina que facilita la lectura de les dades. A través de la pantalla principal es pot accedir a dos informes diferents, denominats *Informe de generació* i *Informe de temperatures*. De la mateixa manera que en les gràfiques, per defecte es crea un informe setmanal, però es pot triar el període desitjat.

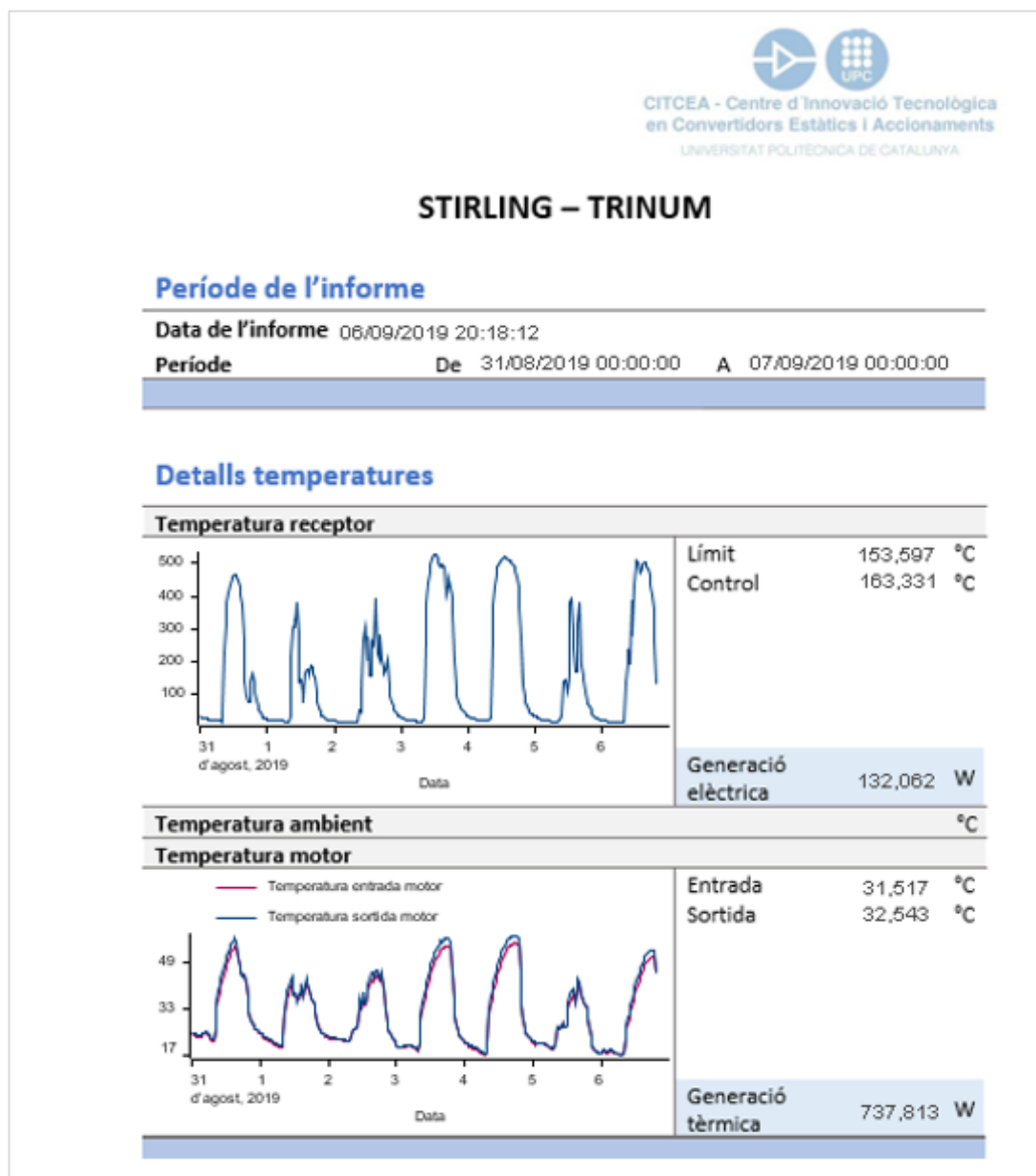


Figura 5.4. Informe de Temperatures del 31/08/2019 al 06/09/2019 [font pròpia]

La *Figura 5.4* mostra un exemple de l'Informe de Temperatures entre les dates 31/08/2019 i 06/09/2019. S'observa una baixa generació elèctrica degut a l'hora en què s'ha sol·licitat l'informe (ja no hi havia sol). Les temperatures del receptor també són baixes pel mateix motiu.

## 5.2. Anàlisi de dades

Un cop implementat el sistema de monitorització es poden extreure les dades necessàries per tal de comprovar que el sistema efectivament està funcionant com toca. No obstant, degut a que el projecte se centrava principalment a trobar i solucionar els problemes que no permetien al dish Stirling funcionar, no s’ha pogut realitzar un estudi energètic molt complex ni de massa dies. Concretament, s’analitzaran dades de quatre dies, del 29 de juliol a l’1 d’agost, cosa que permet corroborar el bon funcionament del sistema però no aprofundir en altres detalls.

Cal afegir que el generador no es deixava encès durant tots els dies en què s’ha realitzat l’estudi, sinó que s’apagava i encenia cada dia al arribar a l’Escola. Això és degut a que el sistema encara estava en període de prova i era massa arriscat deixar-lo en funcionament si no hi havia ningú a l’Escola que n’estigués pendent. L’última setmana del projecte sí que es va deixar encès permanentment, i va tot va funcionar correcte.

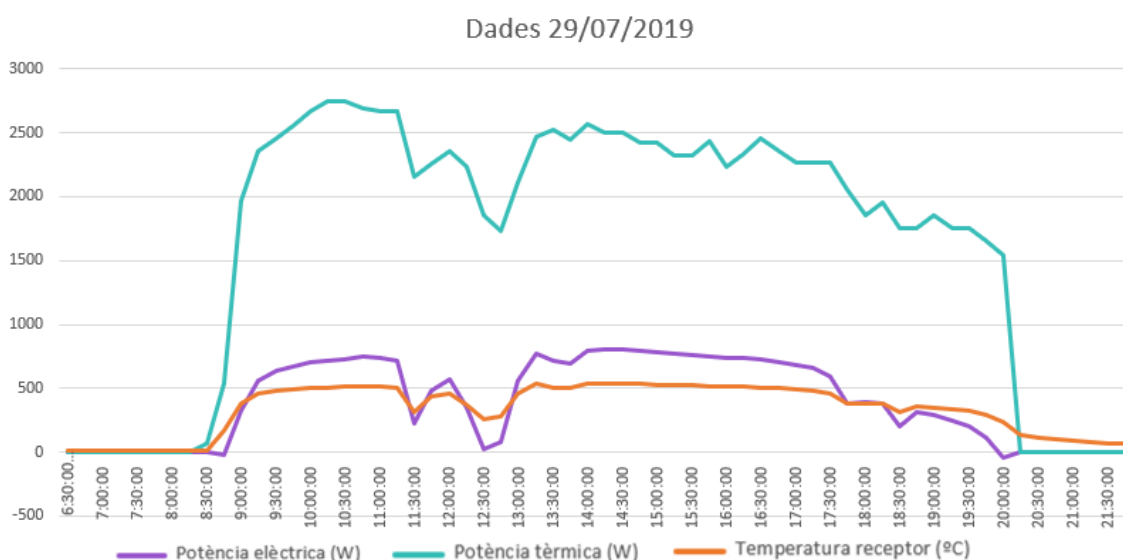


Figura 5.5. Gràfic de la generació i la temperatura del receptor 29/07/2019 [font pròpia]

Gràcies a la interfície online Power Studio Scada, s’han pogut extreure les dades necessàries per a l’estudi energètic. S’han analitzat en un mateix gràfic les potències elèctrica i tèrmica, així com la temperatura del focus calent, és a dir la del receptor. Prenent el dia 29 de juliol de 2019, s’han obtingut els resultats de la *Figura 5.5* on es pot observar una clara dependència entre les potències generades i la temperatura del receptor. La potència tèrmica arriba gairebé als 3.000 W teòrics i l’elèctrica als 1.000 W, per tant en principi el sistema està funcionant correctament.

Les dades de potència elèctrica i temperatura del receptor s'extreuen directament de les variables de l'Scada, mentre que la potència tèrmica s'ha hagut de calcular mitjançant la temperatura d'entrada i la de sortida del motor Stirling. Estan relacionades a través de l'equació (8) presentada anteriorment a l'apartat 5 *Sistema de monitorització*.

$$P_t = \Delta T \cdot C_w \cdot Q \quad (8)$$

A continuació es mostra també l'evolució de l'energia elèctrica generada durant els quatre dies de la realització de l'estudi. S'observa que en el primer dia hi ha una forta caiguda que, probablement, fos alguna de les condicions que fan que el sistema es posi en estat Segur, com pot ser fort vent, pluja, etc, o simplement que passés algun núvol.

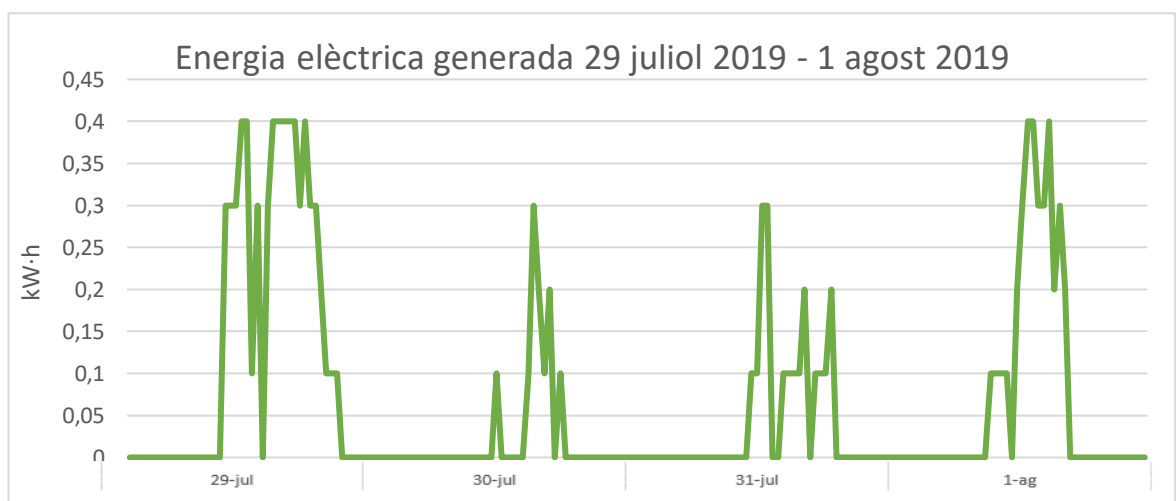


Figura 5.6. Energia elèctrica generada en el període d'estudi [font pròpia]

## 6. Planificació

El present projecte es va iniciar a mitjans de febrer de 2019 i va tenir una durada aproximada de set mesos. En aquest període de temps es va seguir una planificació en el treball pràctic i teòric que es pot agrupar en diferents punts:

- Reunió tutor i definició d'objectius: per tal d'aclarir fins on s'arribaria en el projecte, aproximadament, i posar sobre la taula diferents eines de treball així com el context.
- Aprenentatge sobre la part teòrica: cerca i lectura de documentació.
- Avaluació i solució dels problemes: buscar i analitzar els errors per tal de trobar-ne solució i posar-la en pràctica.
- Estudi i millora de la monitorització: aprenentatge del software i intentar millorar-ne algunes aplicacions.
- Tractament de dades: filtrar les dades obtingudes, analitzar-les per extreure'n conclusions.
- Redacció de la memòria.

Moltes d'aquestes activitats han estat realitzades paral·lelament, tot i que algunes requerien de la realització prèvia d'altres. Per tal d'aclarir aquest fet, s'ha realitzat el diagrama de Gantt de la *Figura 6.1*.

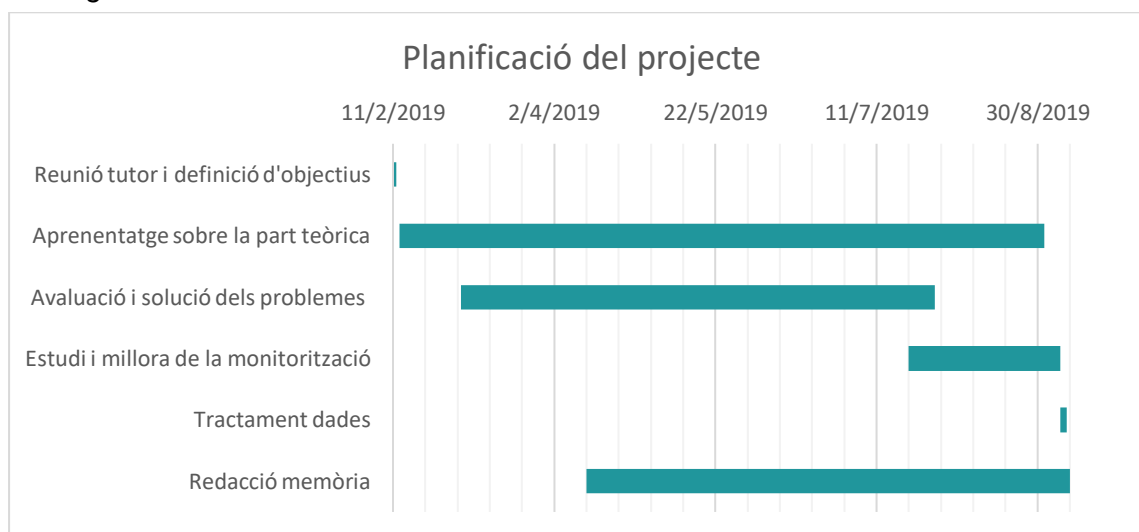


Figura 6.1. Diagrama de Gantt de la planificació de les activitats del projecte [font pròpia]

Per últim, esmentar que la diferència tan gran de dies entre l'inici de *l'Aprenentatge sobre la part teòrica* i l'inici de *l'Avaluació i solució dels problemes* és degut a la necessitat del permís de l'Escola per poder accedir al terrat on es troba el dish Stirling, que va trigar uns dies rebre's.

## 7. Pressupost

En aquest apartat es realitza un pressupost aproximat de l'elaboració de tot el projecte tenint en compte la mà d'obra i els recursos materials. Per realitzar l'estudi econòmic, és necessari dividir els costos en dos tipus: directes i indirectes [22].

### 7.1. Costos directes

Els costos directes són aquells que poden ser assignats específicament a un servei i tenen una relació directa amb aquests. En aquest projecte es distingeixen els humans i els materials.

#### Costos humans

El grup està format per una enginyera júnior, acompanyada de dos enginyers i un tècnic. Per tal de decidir el cost per hora de cada membre de l'equip, s'estableix el seu sou anual net. A continuació se li afegeix el 33% de la Seguretat Social i es divideix entre el total d'hores que es treballen en un any, que s'han concretat a 1760h per persona. D'aquesta manera s'obté el cost per hora del personal en funció del seu rol. Aquest càlcul es mostra a la *Taula 7.1*. Cal aclarir que els valors que s'indiquen a la taula han estat arrodonits.

Taula 7.1. Càlcul del cost per treballador [font pròpia]

Treballador	Sou anual [€/any]	Sou anual + SS [€/any]	Cost per hora [€/h]
Enginyera júnior	30000	40000	23
Enginyer	45000	60000	34
Tècnic	24000	32000	18

Un cop establert el cost per hora de cada membre de l'equip, es multiplica per les hores invertides en la realització del projecte.

Taula 7.2. Desglossament del cost dels recursos humans per activitat i rol [font pròpia]

Fase del projecte	Treballador	Hores	Cost activitat [€]
Reunió tutor i definició d'objectius	Enginyera júnior i 1 Enginyer	25	1.425
Aprenentatge part teòrica	Enginyera júnior	150	3.450
Avaluació dels problemes	Enginyera júnior i 2 Enginyer	90	8.190
Tractament dades	Enginyera júnior	5	115
Estudi i millora monitorització	Enginyera júnior	90	2.070
Redacció memòria	Enginyera júnior	100	2.300
Accions de manteniment i canvi d'elements	Tècnic	10	180
<b>Total</b>			<b>17.730 €</b>

## Costos d'equipament

Els costos d'equipament es calculen a partir del preu unitari de cadascun d'ells i el nombre d'unitats que s'han utilitzat al llarg del projecte. El càlcul es mostra a la *Taula 7.3*.

Taula 7.3. Desglossament dels costos materials [font pròpia]

Material	Cost per unitat [€/unitat]	Nombre d'unitats	Cost d'equipament [€]
Ordinador portàtil	150	1	150
Full din A4	0,015	20	0,3
Tornavís	5	2	10
Multímetre	17	1	17
Cable termoparell	26,72	1	26,72
Bateries UPS	16,20	2	30,78*
Instal·lació ompliment circuit	--	--	265,75
<b>Total</b>			<b>500,5 €</b>

\*Nota: consta d'un 5% de descompte

El total dels costos directes és de 18.230,5 €.

## 7.2. Costos indirectes

Els costos indirectes són aquells necessaris per al funcionament de l'organització però que no es poden assignar de forma fàcil o unívoca a un servei específic.

Entre els costos indirectes es troben el cost energètic de la utilització d'aparells com l'ordinador portàtil, així com les llicències dels programes emprats en el projecte. Per facilitar els càlculs, es fa la suposició de que els costos indirectes suposen un 13% dels costos directes.

Així doncs, els costos indirectes suposaran aproximadament  $18.230,5 \times 0,13 = 2.370\text{€}$ .

## 7.3. Cost total

Un cop analitzats els diferents costos que tindrà el projecte es troba el cost total fent la suma de costos directes i indirectes. Si es volgués vendre el projecte caldria afegir-li els beneficis i posteriorment el 21% d'IVA.

Taula 7.4. Cost total del projecte [font pròpia]

Costos directes [€]	Costos indirectes [€]	Cost total [€]
18.230,5	2.370	<b>20.600,5</b>

Així doncs, el cost total de l'elaboració del projecte és de 20.600,5 €.

## 8. Impacte ambiental

Es pot considerar que l'impacte ambiental de l'elaboració d'aquest projecte és molt poc significatiu, ja que no s'han emprat massa recursos. És més, es podria considerar com gairebé positiu, ja que s'ha aconseguit posar en marxa un generador d'energia renovable, sense residus. Tanmateix, és necessari estudiar com afecten els aspectes negatius al medi ambient per tal de poder minimitzar-los o eliminar-los. Es consideren tres tipus de recursos emprats: material canviat, paper i electricitat.

### Impacte del material canviat

Són aquells elements que han estat substituïts degut a que estaven espatllats i no permetien que el sistema funcionés: les bateries UPS i el cable termoparell. És difícil saber quin ha estat l'impacte d'aquests, però sí que se sap que s'han llençat cadascun al contenidor corresponent per tal d'assegurar que aquest impacte és el mínim possible.

### Impacte del paper

L'impacte de paper es podria comptabilitzar amb el nombre d'arbres necessaris per produir el paper utilitzat per realitzar el projecte. Per elaborar el projecte s'han utilitzat prop de 20 folis de paper, més el que es consumirà per a la impressió de la memòria que serà de prop de 60 folis dividit entre dos perquè s'imprimirà a doble cara, es consumiran aproximadament 50 folis de paper en total. Un arbre serveix per produir uns 12.000 fulls de paper DIN A4, de manera que fent la conversió s'obté l'impacte del paper consumit [23].

$$50 \text{ fulls} \cdot \frac{1 \text{ arbre}}{12.000 \text{ fulls}} = 0,00416 \text{ arbres} \quad (11)$$

### Impacte de l'electricitat

Dins de l'impacte de l'electricitat s'hi troben el consum per il·luminació durant la realització del projecte i el consum de l'ordinador portàtil. A partir d'aquests es poden calcular el g de CO<sub>2</sub> que es necessiten de mitjana per produir l'energia. L'equivalent entre els kWh i els g de CO<sub>2</sub>, anomenat *mix elèctric*, és de 321 g CO<sub>2</sub>/kWh des de l'any 2018 [24].

Tanmateix, es descomptarà del consum els kWh generats des que el sistema ha tornat a funcionar fins a l'últim dia d'aquest projecte. El promig de generació de potència d'aquests dies ha estat d'uns 600 W elèctrics i uns 2.000 W tèrmics, i ha estat en funcionament 10 hores diàries durant 24 dies.

Així doncs, fent el producte de la potència i el temps s'obté el consum energètic (12), que mitjançant el *mix elèctric* determinarà les emissions de CO<sub>2</sub> en kg (13).

$$E = P \cdot t \quad (12)$$

$$\text{Emissions} = \text{Mix elèctric} \cdot E \quad (13)$$

Realitzant els respectius canvis d'unitats, s'obtenen els resultats de l'aplicació de les equacions (12) i (13) per cada element de consum considerat, detallats a la *Taula 8.1*.

Taula 8.1. Emissions de CO<sub>2</sub> emeses a partir de l'energia consumida [font pròpia]

Element de consum	Potència [W]	Temps de consum [h]	Consum /generació energètic [kWh]	<i>Mix elèctric</i> [g CO <sub>2</sub> /kWh]	Emissions [kg CO <sub>2</sub> ]
Portàtil	250	412	103	321	33,1
Il·luminació	70	412	28,8	321	9,3
Generació dish Stirling	2.600	240	104	321	33,4
<b>Total consumit</b>					<b>9</b>

Així doncs, l'impacte ambiental d'aquest projecte resulta ser de 0,00416 arbres, 9 kg de CO<sub>2</sub>, dues bateries UPS i un cable termoparell reciclats.



## Conclusions

La intenció d'aquest projecte ha estat aconseguir que el dish Stirling que es troba instal·lat a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona tornés a entrar en funcionament, generant 1 kW de potència elèctrica i 3 kW de potència tèrmica. Després d'haver realitzat diversos canvis en el sistema, es conclou que l'error no es trobava només en un lloc sinó en diferents elements que havien estat malmesos, ja sigui per la pluja o pel pas del temps, entre d'altres. No obstant, cal destacar que existeixen vàries discrepàncies entre la documentació del sistema i el sistema real, fet que ha dificultat una mica l'execució del projecte.

### Tasques realitzades

Un cop el dish Stirling va tornar a entrar en funcionament, es va realitzar una anàlisi de les dades obtingudes a través de la interfície PowerStudio Scada corroborant així que s'ha aconseguit un bon funcionament del generador Stirling i que les generacions s'aproximen a la teòrica. Per aconseguir posar en marxa el sistema es van instal·lar els purgadors adients al circuit de refrigeració primari, havent reomplert prèviament el circuit; es van col·locar correctament els cables de la capsa del boiler que estaven mal posats, canviant un termoparell que estava malmès, es van canviar les bateries del sistema d'alimentació ininterrompuda i finalment se li va realitzar un reset al sistema.

Per altra banda, també s'ha observat que es podrien produir millores a la interfície per poder treure-li més profit. És per això que es va decidir investigar sobre aquesta eina, duent a terme els pertinents canvis i propostes i, un cop implementat, es van analitzar les dades obtingudes per tal de comprovar que el sistema funciona com se suposa que ho ha de fer.

### Futures línies de treball

Finalment, hi ha algunes accions futures que es recomanarien prendre per tal de treure una major utilitat del generador. La primera i més senzilla de dur a terme és netejar el concentrador per tal que la radiació reflectida sigui major i d'aquesta manera incrementi el rendiment del sistema. En segon lloc, probablement serà necessari canviar la bomba de l'HCU, ja que està força malmesa i podria deixar de funcionar en qualsevol moment.

Per altra banda, es podria investigar sobre com aconseguir disminuir les pèrdues de l'energia tèrmica produïda en arribar al gimnàs i buscar-li més aplicacions al dish Stirling per poder treure'n profit.

Una altra possible línia de treball seria la creació d'una interfície pròpia que permeti comunicar

amb el servidor Trinum sense la necessitat del Scada ni la corresponent llicència, que permeti obtenir dades del sistema en tot moment i controlar si el seu estat és el correcte. Aquesta millora seria molt útil per al sistema de monitorització, ja que el proposat en el present treball té la limitació temporal d'ús d'una hora seguida, degut a que s'ha utilitzat la versió de mostra de l'Scada sense llicència.

## Agraïments

L'elaboració d'aquest Treball Final de Grau no hagués estat possible sense l'ajuda de determinades persones, a les quals m'agradaria agrair-los el seu recolzament. En primer lloc, al meu tutor Daniel Montesinos, per estar en tot moment disposat a ajudar-me i orientar-me. També m'agradaria donar les gràcies al Quim de Feo, per haver-se prestat voluntàriament a ajudar-me i fer-ho sempre que ha estat a les seves mans. Al Pau Lloret i el Francesc Girbau, per haver-me proporcionat tota la informació necessària per al desenvolupament del projecte, i per haver-me guiat en el tema del sistema de monitorització, i a l'Albert Gili per haver-me acompanyat en algunes de les operacions i pel seu suport incondicional.

Un agraïment general a CITCEA-UPC per haver-me donat l'oportunitat de realitzar aquest projecte i per haver-me prestat la seva ajuda sempre que ha estat necessari, i també al servei de manteniment de l'Escola, per haver-nos ajudat a dur a terme els canvis pertinents sempre que ho hem necessitat.

Finalment m'agradaria donar un agraïment especial a aquelles persones externes al projecte, persones molt importants que, tot i no participar-hi, el seu recolzament ha estat essencial per a mi: els meus pares, el meu germà, la meva família i els amics. Gràcies de tot cor.

## Bibliografia

- [1] Universitat Autònoma de Barcelona, «INCERS: Research group in INnovation and Competitiveness of Energy from Renewable Sources,» 2016. [En línia]. Available: <http://grupsderecerca.uab.cat/incers/ca/content/didsolit-projecte>. [Últim accés: agost 2019].
- [2] A. Hafez, «Solar parabolic dish Stirling engine system design, simulation and thermal analysis,» *ScienceDirect*, 2016.
- [3] L. A. B. Muntada, *Transferència de calor*, Barcelona: Edicions de la UPC, 2018.
- [4] «Radiación y ozono. Radiación global, directa y difusa,» AEMET, [En línia]. Available: <http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/radiacion?l=barcelona>. [Últim accés: agosto 2019].
- [5] Innova Solar, *Trinum Technical Report*.
- [6] CITCEA, «DISH STIRLING SYSTEM. Installation Manual,» Barcelona, 2015.
- [7] Microgen Engine Corporation, «Microgen Engine Corporation website,» [En línia]. Available: <https://www.microgen-engine.com/>. [Últim accés: maig 2019].
- [8] E. S. A. SEAS, «Ventajas y Desventajas de un Motor Stirling,» enero 2014. [En línia]. Available: [https://www.seas.es/blog/disenio\\_mecanico/ventajas-y-desventajas-de-un-motor-stirling/](https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/ventajas-y-desventajas-de-un-motor-stirling/). [Últim accés: maig 2019].
- [9] S. shop, «Stirling Types,» [En línia]. Available: [http://www.stirlingshop.com/html/stirlingengines\\_types.html](http://www.stirlingshop.com/html/stirlingengines_types.html).
- [10] M. Bahrami, «Stirling Cycle,» [En línia]. Available: <http://www.sfu.ca/~mbahrami/ENSC%20461/Notes/Stirling%20Cycle.pdf>.

- [11] Universidad de Chile, «El motor Stirling,» 1998. [En línia]. Available: [https://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap\\_10/strlng1.htm](https://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_10/strlng1.htm). [Últim accés: mayo 2019].
- [12] Innova Solar, «Datasheet TRINUM Thermodynamic Solar Cogenerating System,» 2011.
- [13] Innova Solar, «TRINUM Solar Dish System. Technical Manual for Installation and Use,» Pescara.
- [14] Innova Solar, «TRINUM Solar Dish System. Electrical connection,» Pescara.
- [15] Emiliópolis, «Temperaturas mínimas históricas de España,» [En línia]. Available: <http://www.emiliopolis.net/es/int/cli/esp-minimas.htm>. [Últim accés: juliol 2019].
- [16] Huba Control, «Datasheet OEM Flow sensor type 200 for liquid media,» [En línia]. Available: [https://www.hubacontrol.com/fileadmin/user\\_upload/domain1/Produkte/EN/Datenblatt/200\\_Flow\\_sensor.pdf](https://www.hubacontrol.com/fileadmin/user_upload/domain1/Produkte/EN/Datenblatt/200_Flow_sensor.pdf).
- [17] Circutor, SA, [En línia]. Available: <http://circutor.es/es>. [Últim accés: setembre 2019].
- [18] Circutor SA, «SOFTWARE DE GESTIÓN ENERGÉTICA, Manual de Instrucciones 1/4,» 2018.
- [19] Circutor SA, «SOFTWARE DE GESTIÓN ENERGÉTICA, Manual de Instrucciones 2/4,» 2018.
- [20] Circutor SA, «SOFTWARE DE GESTIÓN ENERGÉTICA, Manual de Instrucciones 3/4,» 2018.
- [21] Circutor SA, «SOFTWARE DE GESTIÓN ENERGÉTICA, Manual de Instrucciones 4/4,» 2018.
- [22] Diputació de Barcelona, «Tipologies de costos,» [En línia]. Available: <http://media.diba.cat/diba/educacio/ebm-unitat2/003.html>. [Últim accés: agost 2019].

- [23] Aprender.org, «Aprender.org,» [En línia]. Available: <https://www.aprender.org/cuantos-arboles-se-necesitan-para-hacer-una-hoja/>. [Últim accés: setembre 2019].
- [24] Oficina catalana del canvi climàtic, «GUIA PRÀCTICA PER AL CÀLCUL D'EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE (GEH),» [En línia]. Available: [https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/04\\_ACTUA/Com\\_calcular\\_emissions\\_GEH/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/190301\\_Guia-practica-calcul-emissions\\_CA.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/04_ACTUA/Com_calcular_emissions_GEH/guia_de_calcul_demissions_de_co2/190301_Guia-practica-calcul-emissions_CA.pdf). [Últim accés: setembre 2019].
- [25] Wilo, «Datasheet Star-Z 25/6-3,» [En línia]. Available: [https://wilo.com/es/es/Productos-y-campos-de-aplicaci%C3%B3n/B%C3%BAsqueda-de-series/Star-Z-25-6-3\\_3552.html](https://wilo.com/es/es/Productos-y-campos-de-aplicaci%C3%B3n/B%C3%BAsqueda-de-series/Star-Z-25-6-3_3552.html).
- [26] S. Global, «SAI Global,» [En línia]. Available: <https://infostore.saiglobal.com/>. [Últim accés: agost 2019].
- [27] CEN, «The Solar Keymark,» [En línia]. Available: <http://www.estif.org/solarkeymarknew/press-room/news/157-what-is-the-solar-keymark>. [Últim accés: agost 2019].