

Disseny d'un sistema off-grid basat en energies renovables per centres de salut en zones rurals.

Document:

Memòria

Autora:

Meritxell Casals Corbella

Director:

Álvaro Luna Alloza

Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Convocatòria:

Tardor, 2021

TREBALL DE FI D'ESTUDIS

Resum

Una incubadora o un respirador, de què serveixen si no hi ha llum? La xarxa elèctrica quasi inexistent i els continus talls de llum encara són una de les principals problemàtiques en els centres de salut que afecten en especial a les zones més remotes dels països en desenvolupament.

El present treball de fi d'estudis pretén donar una solució a aquesta problemàtica a partir del disseny d'un sistema fora de la xarxa elèctrica (off-grid), basat en energies renovables i enfocat a centres de salut de zones rurals. Aquest projecte es desenvoluparà concretament a la localitat de Maiduguri, Nigèria.

El disseny proposat consta de dues parts; la primera es du a terme el dimensionament elèctric d'una instal·lació fotovoltaica off-grid. Aquesta s'encarregarà de subministrar l'energia elèctrica necessària per als centres de salut conjuntament d'una segona font d'alimentació elèctrica, on la seva funció serà donar suport a la primera.

La segona està enfocada al subministrament tèrmic. Per aquesta part s'ha dut a terme el dimensionament d'una instal·lació geotèrmica, la qual proporcionarà aigua sanitària i temperatura de confort, tant per l'hivern com per l'estiu.

El dimensionament es realitza per un dels tipus de centre de salut que hi ha a Nigèria, però amb l'objectiu que aquest pugui ser implementat a altres centres de salut rurals adaptant-se a les necessitats. El dimensionament òptim de la instal·lació s'obté a partir d'una anàlisi horària de l'estimació del consum elèctric i tèrmic, i de tots els elements que componen el dimensionament, entre ells: l'inversor, els panells solar, les bateries, el generador extern i la bomba de calor geotèrmica. L'optimització i el dimensionament es porten a cap mitjançant diferents eines; Excel, Homer.Pro i SketchUp.

Per finalitzar el projecte, s'ha efectuat un estudi econòmic representatiu del cas estudiat.

Abstract

What good is an incubator or a respirator if there is no electricity? The almost non-existent electricity grid and the continuous power cuts are one of the main problems in health centres, especially in the most remote areas of developing countries.

This research project aims to provide a solution to this problem through the design of an off-grid system based on renewable energies and focused on health centres in rural areas. This project will be developed specifically in the town of Maiduguri, Nigeria.

The proposed design consists of two parts; the first is the electrical dimensioning of an off-grid photovoltaic installation. This will be responsible for supplying the electricity needed for the health centres together with a second power supply, whose function will be to support the first one.

The second is focused on the thermal supply. For this part, the dimensioning of a geothermal installation has been carried out, which will provide a sanitary environment and comfort temperature, both in winter and summer.

The dimensioning is carried out for one of the types of health centres in Nigeria, but with the aim that this project can be implemented in other rural health centres and adapted to the needs. The optimal sizing of the installation is obtained from an hourly analysis of the estimated electrical and thermal consumption, and of all the elements that make up the sizing, including: the inverter, the solar panels, the batteries, the external generator and the geothermal heat pump. The optimisation and dimensioning are carried out with different tools: Excel, Homer.Pro and SketchUp.

To finalise the project, a representative economic study of the case studied has been carried out.



Índex

RESUM	1
ABSTRACT	2
ÍNDEX	3
ÍNDEX DE TAULES	5
ÍNDEX DE FIGURES	6
INTRODUCCIÓ	7
1.1 OBJECTE	7
1.2 ABAST	8
1.3 JUSTIFICACIÓ	9
ANTECEDENTS	10
2.1 GENERACIÓ RENOVABLE	10
2.1.1 <i>Generació Solar Fotovoltaica</i>	11
2.1.2 <i>Energia Geotèrmica</i>	11
2.1.2.1 Bombes de calor geotèrmiques (PACg)	12
2.1.2.2 Avantatges i inconvenients:	14
2.2 OFF-GRID	15
2.3 SISTEMES D'EMMAGATZEMATGE	15
2.4 ELECTRÒNICA DE POTÈNCIA	16
2.5 CONTROLADOR	16
2.6 REGLAMENTACIÓ I NORMATIVA	17
METODOLOGIA	18
DIMENSIONAMENT D'UN SISTEMA OFF-GRID	20
4.1 CONDICIONS DE CONTORN – GEOGRAFIA I CLIMA	20
4.2 CENTRES DE SALUT	21
4.2.1 <i>Tractament de l'aigua</i>	24
4.2.2 <i>Refrigeració de vacunes</i>	24
4.3 NECESSITATS ENERGÈTIQUES	25
4.3.1 <i>Necessitats elèctriques</i>	25
4.3.2 <i>Necessitats tèrmiques</i>	27
4.3.2.1 Demanda màxima de calefacció	29
4.3.2.2 Demanda màxima de refrigeració	30
4.4 POTENCIAL ENERGIA SOLAR	30
4.5 POTENCIAL ENERGIA GEOTÈRMICA	32
4.6 DIMENSIONAMENT	35
4.6.1 <i>Dimensionament elèctric</i>	35
4.6.2 <i>Dimensionament tèrmic</i>	45
4.6.3 <i>Controlador</i>	49
4.6.4 <i>Distribució del dimensionament a l'espai – mitjançant SketchUp</i>	50
PRESSUPOST	54
5.1 PRESSUPOST INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA	54
5.2 PRESSUPOST INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA	54
5.3 PRESSUPOST SISTEMES DE CONTROL	55
5.4 PRESSUPOST PERSONAL	55
5.5 PRESSUPOST TOTAL DEL PROJECTE	55
VIABILITAT ECONÒMICA	57
6.1 VIABILITAT DEL SISTEMA FOTOVOLTAIC	57
6.2 VIABILITAT DEL SISTEMA GEOTÈRMIC	58

ANÀLISI I VALORACIÓ DE LES IMPLICACIONS AMBIENTALS I SOCIALS	61
CONCLUSIONS.....	63
TREBALL FUTUR	63
AGRAÏMENTS	64
REFERENCIES.....	65



Índex de taules

Taula 1. Clima anual, Maiduguri.....	20
Taula 2. Estimació del consum i equipament necessari diari per cada centre sanitari.....	23
Taula 3. Consum energètic Mensual (kWh/mes).....	25
Taula 4. Horari del consum energètic dels elements de l'Hospital Rural.....	26
Taula 5. Consum per hora amb factor correctiu 1,2.....	26
Taula 6. Consum energètic per hora – Mensual amb factor correctiu 1,2 i segons índex d'incidència sanitària.....	27
Taula 7. Característiques de mur - Hospital Rural.....	28
Taula 8. Característiques del mur exterior de l'Hospital rural.....	29
Taula 9. Càlcul coeficient Cmd - Hospital Rural.....	31
Taula 10. Estimació temperatura del terreny.....	34
Taula 11. Especificacions de l'inversor SPS100, Font: Riello.....	37
Taula 12. Especificacions panell solar 540W, Font: Alba Solar.....	37
Taula 13. Especificacions de la bateria escollida, Font: Cegasa.....	39
Taula 14. Dades de la localitat i instal·lació fotovoltaica, Font: PVGIS.....	40
Taula 15. Condicions i capacitat de les bateries.....	40
Taula 16. Anàlisi estat de les bateries i generador extern, segons generació i consum.....	41
Taula 17. Especificacions del generador extern, Font: Pramac.....	45
Taula 18. Dimensions i capacitat generador extern, Font: Pramac.....	45
Taula 19. Resultats n° pous i longituds.....	48
Taula 20. Pressupost instal·lació fotovoltaica.....	54
Taula 21. Pressupost sistema geotèrmic.....	54
Taula 22. Pressupost sistema de control - Schneider.....	55
Taula 23. Pressupost costs de personal necessari.....	55
Taula 24. Pressupost total del projecte.....	55
Taula 25. Consum energètic de les dues fonts.....	57
Taula 26. Cost energètic – Cas 1: fonts solar i generador extern.....	57
Taula 27. Cost energètic – Cas 2: font generador extern.....	58
Taula 28. Estalvi anual - Sistema fotovoltaic.....	58
Taula 29. Amortització - Sistema fotovoltaic.....	58
Taula 30. Temperatura desitjada a l'interior de l'Hospital Rural.....	59
Taula 31. Consum energètic - Cas 1: Sistema geotèrmic.....	59
Taula 32. Consum energètic - Cas2: Bomba de calor convencional.....	59
Taula 33. Estalvi anual - Sistema fotovoltaic.....	59
Taula 34. Amortització – Sistema geotèrmic.....	60

Índex de figures

Il·lustració 1. Accés a l'electricitat, 2000 - 2019 (urbà - rural), FONT:	10
Il·lustració 2. Indicadors accés a l'electricitat, Nigèria 2019, FONT:	11
Il·lustració 3. Evolució de les inversions en energies renovables, Font: REN21	11
Il·lustració 4. Fases de la generació de calor amb bomba de calor geotèrmica.....	13
Il·lustració 5. Diagrama de bloc d'un controlador de càrrega, Font: [2].....	17
Il·lustració 6. Model del circuit del bus de CC amb bateria, controlador de càrrega, generador i càrrega, Font: [2].....	17
Il·lustració 7. Plànol posta sanitària, Font: [11]	21
Il·lustració 8. Plànol 3D Posta Sanitària, Font: [11].....	21
Il·lustració 9. Plànol Clínica rural, Font: [11]	22
Il·lustració 10. Plànol 3D Clínica Rural, Font: [11].....	22
Il·lustració 11. Plànol Hospital Rural, Font:[11].....	22
Il·lustració 12. Plànol 3D Hospital Rural, Font: [11].....	23
Il·lustració 13. Procés de la Cadena Freda, Font: MSF	24
Il·lustració 14. Disseny 3D de l'Hospital Rural, SketchUp	28
Il·lustració 15. Dimensions de l'Hospital Rural 3D, SketchUp.	28
Il·lustració 16. Potencial solar a Nigèria, Font: Solargis.....	30
Il·lustració 17.. Hores Solar Pic i Radiació Solar dels mesos de l'any	31
Il·lustració 18. Imatges de fonts termals i guèisers a Nigèria, Font: [6]	32
Il·lustració 19. Entorn geotèrmic a Nigèria, Font: Kurowska i Schoeneich, 2010.....	32
Il·lustració 20. Mapa dels gradients geotèrmics (°C/100m) a la part de la conca del Chad (Borno), Font: Kurowska i Schoeneich, 2010.....	32
Il·lustració 21 Variació de la temperatura en funció de la profunditat, Font: Guia Tècnica de la Geotèrmia	33
Il·lustració 22. Evolució de la temperatura del terreny, corba embut	34
Il·lustració 23. Inversor 100Kva , Riello SIRIO K100, Font: Riello.	35
Il·lustració 24. Condició d'ús n°1 de l'inversor, Font: Riello	36
Il·lustració 25. Condició d'ús n°2 de l'inversor, Font: Riello.	36
Il·lustració 26. Condició d'ús n°3 de l'inversor, Font: Riello	36
Il·lustració 27. Panell solar 540W, Font: Alba Solar	37
Il·lustració 28. Estructura de suport pels panells fotovoltaics, Font: Sun Ballast	38
Il·lustració 29. Exemples de les magnituds h i d.	38
Il·lustració 30. Altura en funció de la inclinació.	38
Il·lustració 31. Bateria Ebick 280Pro, Font: Cegasa.....	39
Il·lustració 32. Generació i consum en kW per H – Agost	43
Il·lustració 33. Generació i consum en kW per H – Juny.....	43
Il·lustració 34. Generació i consum en kW per H - Gener	44
Il·lustració 35. Consum generador extern en les pitjors condicions climàtiques – Agost.....	44
Il·lustració 36. Generador extern dièsel - Pramac GTW30P, Font: Pramac.	45
Il·lustració 37. Característiques de la bomba de calor geotèrmica, Font: Ciat.....	46
Il·lustració 38 Bomba de Calor DYNANCIAT LG aigua-aigua, Font: Ciat.....	46
Il·lustració 39. Flux en sèrie/paral·lel en configuració vertical, Font: Guia Tècnica de la Geotèrmia.....	46
Il·lustració 40. Arquitectura del EcoStruxure Building, Font: Schneider	49
Il·lustració 41. SmartX IP Controller - RP-C, Font: Schneider	50
Il·lustració 42. SmartX Sensor, Font: Schneider.....	50
Il·lustració 43. Dimensionament plaques solars, SketchUp.	50
Il·lustració 44. Visió perifèrica de la instal·lació fotovoltaica, SketchUp.	51
Il·lustració 45 Contenedor de dimensions 10", Font: Zarca.....	51
Il·lustració 46 Distribució dels elements dins del contenidor, Font: BeePlanet.....	52
Il·lustració 47. Ubicació generador extern i contenidor, SketchUp.	52
Il·lustració 48. Zoom de la ubicació del contenidor i del generador extern, SketchUp	52
Il·lustració 49. Ubicació instal·lació geotèrmica, SketchUP.	53
Il·lustració 50. Cronograma del projecte	56

Capítol 1

Introducció

Als darrers anys Nigèria es presenta com un dels països en vies de desenvolupament amb major potencial de creixement econòmic. Fet causat per la gran quantitat de recursos naturals, entre ells el petroli. Els últims anys, l'auge del petroli ha provocat que moltes empreses de tot el món, focalitzin aquest país com un lloc ideal per invertir en multitud de negocis, cosa que ha impulsat el progrés de la indústria.

En conseqüència, el desenvolupament industrial ha implicat un consum d'energia elèctrica més gran, la qual no ha anat acompanyat de les respectives reformes a la infraestructura de la xarxa de transport. Això suposa una descompensació entre la capacitat energètica instal·lada i el consum actual d'electricitat. [1]

Aquesta mancança d'electricitat significa que té un major agreujament en aquelles zones rurals, on les xarxes de distribució són pràcticament inexistentes. Sent actualment únicament el 25% dels centres d'atenció primària que disposen d'electricitat, per tant, els serveis essencials com establiments mèdics i educatius es veuen completament afectats.

Aquests darrers anys, on la crisi sanitària provocada per la COVID-19 prevenia, s'ha pogut demostrar que les mini rets han demostrat ser molt valuoses per a instal·lacions sanitàries i altres serveis essencials en les comunitats rurals i remotes.

1.1 Objecte

L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar un sistema off-grid, integrat d'energies renovables, enfocat a la possibilitat d'adaptació per a diferents centres de salut en zones rurals. L'estudi es realitzarà en concret a la localitat de Maiduguri, un poble de Nigèria.

Els propòsits que s'estableixen en aquest treball són els següents:

- Aprenentatge d'energies renovables i la capacitat d'aquestes en la localitat.
- Analitzar i calcular les necessitats energètiques; elèctriques i tèrmiques, dels centres de salut.
- Abastir les necessitats energètiques mitjançant un sistema off-grid, basat en energies renovables.
- Dimensionar les possibles fonts renovables escollides del projecte, amb cada un dels elements que les componen.
- Incorporar dades de consum, irradiació i tèrmiques per garantir un resultat acurat a la zona geogràfica d'estudi.
- Desenvolupar el sistema de control.
- Plasmar un disseny en 3D del dimensionament per un dels centres de salut a partir del programari *SketchUp*.

- Efectuar un estudi econòmic del dimensionament.

1.2 Abast

Al llarg d'aquest projecte s'inclouran:

- Estudi de les energies renovables escollides; la solar i la geotèrmica. S'incidirà amb més profunditat a l'energia geotèrmica, ja que és una energia renovable més desconeguda.
- Estudi de les condicions de contorn, geològiques i climàtiques, de la localitat escollida.
- Estudi de les necessitats energètiques elèctriques i tèrmiques.
- Les limitacions del sistema. Avaluació del potencial de les fonts d'energia renovables en la zona i espai considerat.

Després de l'avaluació de la demanda, és necessari realitzar un estudi exhaustiu per avaluar els recursos energètics renovables escollits i la capacitat que poden tenir.

- Dimensionament del sistema fotovoltaic incloent: l'inversor, els panells fotovoltaics, les bateries i el grup d'electrògens.
- Dimensionament del sistema geotèrmic:

També es desenvoluparà el disseny d'una instal·lació geotèrmica amb objectiu de baixa entalpia, que abasteixi les necessitats de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària (ACS) dels centres sanitaris. Per això, es determinarà el model de bomba de calor geotèrmica més adequada en funció de les demandes de calefacció i refrigeració i el nombre de sondejos geotèrmics necessaris i la seva profunditat.

- Desenvolupament de la instal·lació de control del sistema.
- Disseny final de la instal·lació en uns dels centres de salut escollits.
- Estudi de la viabilitat econòmica de la instal·lació total.

En aquest projecte no s'inclourà:

- El subministrament únicament d'energia renovable, perquè s'utilitzarà un grup d'electrògens per donar suport.
- El disseny del sistema de control no inclourà les variables específiques a controlar, el càlcul de la mateixa instal·lació i tampoc el democase del sistema.

1.3 Justificació

El subministrament d'energia és un requisit necessari per millorar els serveis bàsics tant d'habitatge com d'assistència sanitària, d'educació i subministrament d'aigua, els quals són essencials per la humanitat. Però en molts dels països en vies de desenvolupament, la falta de fiabilitat del subministrament elèctric, ha estat assenyalada com una de les principals causes de l'escàs creixement socioeconòmic.

La manca de la xarxa elèctrica en aquestes zones, és la conseqüència del percentatge tan elevat de les morts infantils. Els serveis mèdics perden efectivitat a causa dels continus talls elèctrics i moltes d'aquestes comunitats es veuen afectades.

Per tant, amb aquest projecte el que es vol assolir és una proposta que cobreixi la demanda requerida d'energia, tant elèctrica com tèrmica en diversos centres de salut en zones rurals i que aquesta sigui fiable i sostenible, el que comportarà no estar connectat a la xarxa. Amb l'objectiu que aquesta proposta pugui ser adaptada o replicada en altres espais i circumstàncies, i el més important, trobar una solució a la manca energètica.

Capítol 2

Antecedents

En aquest capítol presentarem la situació actual en la qual es troben les energies renovables, en concret a les zones rurals de Nigèria, l'impacte social i ambiental poden tenir, juntament d'una introducció al concepte d'electrificació fora de la xarxa amb cada un dels elements que la componen.

2.1 Generació Renovable

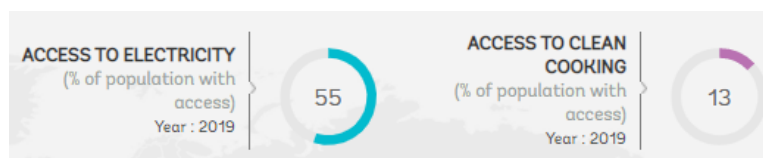
L'escalfament global, des de finals del segle XX, ha esdevingut una preocupació social majoritària. Així mateix, els jaciments de combustibles fòssils continuen minvant, el que provoca un augment en el preu dels mateixos. En conseqüència, la inversió en fonts de generació renovables ha crescut exponencialment els darrers anys, en especial l'últim any. [1]

En moltes comunitats rurals i remotes les mini rets estan demostrant ser molt valuoses per a instal·lacions sanitàries i altres serveis essencials, i en especial les de fora de la xarxa – off-grid.

Per això, és important que aquest desenvolupament avenci en la direcció dels Objectius de Desenvolupament Sostenible i assolir l'objectiu 7 'Garantir l'accés a una energia assequible, segura, sostenible i moderna'. [3] El 2019 es va fer un seguiment a escala mundial d'aquest objectiu i els resultats obtinguts de Nigèria van ser els següents:



Il·lustració 1. Accés a l'electricitat, 2000 - 2019 (urbà - rural), FONT:





Il·lustració 2. Indicadors accés a l'electricitat, Nigèria 2019, FONT: .

Per aquest projecte s'estudiarà dues fonts d'origen renovable, per el tipus de sistema off-grid, que més endavant explicarem en detall. Aquestes fonts són les següents:

- Solar Fotovoltaica (PV)
- Geotèrmica

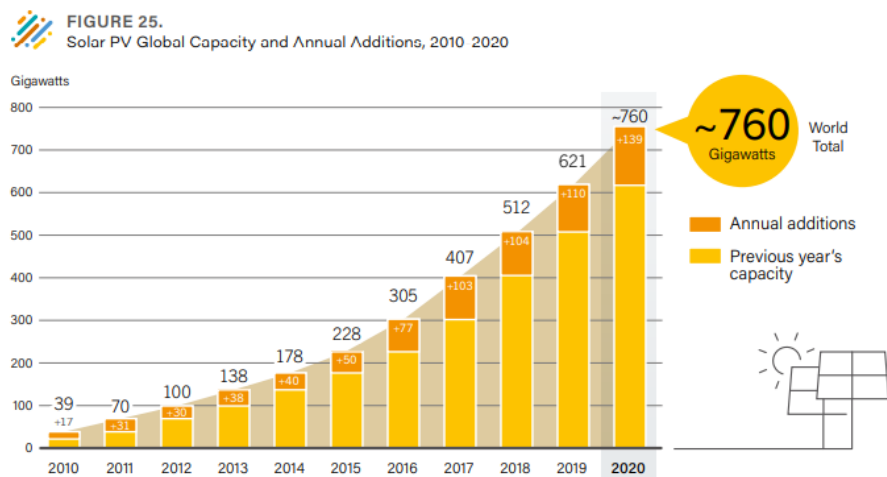
S'han descartat la resta d'opcions renovables degut a incompatibilitats geogràfiques i/o tècniques, i l'afegit que aquestes dues presenten un enorme potencial per la localitat escollida.

2.1.1 Generació Solar Fotovoltaica

La demanda d'energia solar fotovoltaica s'està estenent i ampliant a mesura que es converteix en l'opció més competitiva per la generació d'electricitat en un nombre creixent de localitats, tant per aplicacions residencials i comercials com, cada cop més, per projectes a escala de serveis públics.

L'energia solar fotovoltaica el 2020 va batre nou rècord amb noves instal·lacions, assolint la xifra estimada de 139 GW_{DC}; fet que ha augmentat el total global a 760 GW_{DC}, incloent-hi tant la capacitat connectada a la xarxa, on-grid, com la no connectada a la xarxa, off-grid. S'estima que 20 països van afegir almenys 1GW de nova capacitat solar fotovoltaica i a finals d'aquest any, almenys 42 països tenien una capacitat acumulada de 1 GW o més. [1]

Això no obstant, el sector ha passat per una muntanya russa aquest darrer any, impulsada en gran manera per les interrupcions relacionades amb la pandèmia de la COVID-19, així com pels accidents en les instal·lacions de polisilici a la Xina i l'escassetat de vidre solar. [10]



Il·lustració 3. Evolució de les inversions en energies renovables, Font: REN21

2.1.2 Energia Geotèrmica

Avui en dia el còmput total del consum d'energies renovables, entre elles l'ús de l'energia geotèrmica, és insignificant. Per això, arreu del món la geotèrmica es tracta d'una energia desconeguda i poc

aprofitada. Aquesta és una de les causes de la insuficiència en el subministrament d'energia i de la desigualtat en la distribució de la mateixa. [2]

L'energia geotèrmica implica la captació de quantitats termodinàmiques que equivalen a la capacitat d'un sistema físic per produir treball o calor de sota l'escorça terrestre. La calor geotèrmica existeix a les profunditats de l'interior de la terra i sol aparèixer a prop de la superfície terrestre a través dels mitjans de conducció i convecció.

La calor que emana l'escorça és el resultat de la desintegració d'isòtops radioactius d'urani, tori potassi i el nucli. Per obtenir aquesta calor és necessari excavar i enterrar unes sondes de captació; és a dir, unes canonades de polietilè amb un líquid caloportador que normalment està compost per aigua i glicol. La profunditat de les sondes depèn del tipus d'habitatge i terreny. [4,5]

Quan es parla d'aprofitament geotèrmic, és necessari diferenciar els diferents rangs de temperatura (o, més tècnicament, potencial entàlpic). [7] Hi ha establerts 4 categories:

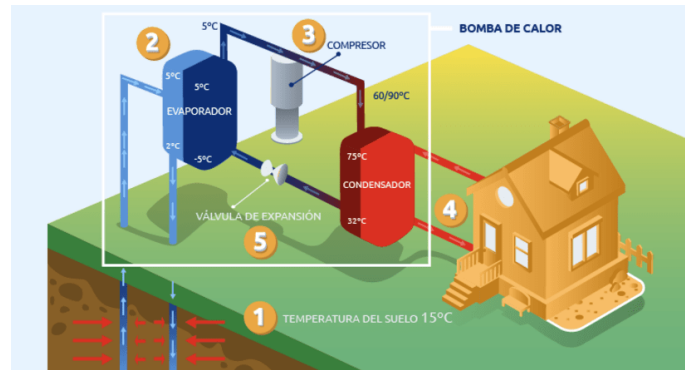
- *Alta temperatura: més de 150°C*; una temperatura major de 150°C permet transformar directament el vapor d'aigua en energia elèctrica.
- *Mitja temperatura: entre 90°C i 150°C*; permet produir energia elèctrica utilitzant un fluid d'intercanvi, que és el que alimenta les centrals.
- *Baixa temperatura: entre 30°C i 90°C*; el seu contingut en calor és insuficient per produir energia elèctrica, però és adequada per calefacció d'edificis i en determinats processos industrials i agrícoles.
- *Molt baixa temperatura: menys de 30°C*; pot ser utilitzada per calefacció i climatització, necessitant emprar bombes de calor geotèrmiques o PACg.

2.1.2.1 Bombes de calor geotèrmiques (PACg)

Les bombes de calor geotèrmiques (PACg) permeten transferir la calor captada al soterrani al medi a escalfar, i elevar la temperatura d'aquesta calor per fer-la compatible amb un circuit de calefacció o producció d'aigua calenta sanitària. Adaptades a l'energia geotèrmica, aquestes bombes de calor s'anomenen bombes de calor geotèrmiques per diferenciar-les de les anomenades bombes de calor aerotèrmiques (que capten la calor a l'aire i no al subsol). Com la majoria de bombes de calor, els models geotèrmics són generalment reversibles, és a dir, també poden agafar calor d'un espai – i, per tant, refredar-lo – per rebutjar-lo a l'entorn exterior (el subsol en aquest cas). PACg també pot funcionar en mode simultània per produir, per exemple aigua calenta sanitària i refrigeració de l'espai. [8]

Nosaltres utilitzarem el tipus de bomba ACS; la qual s'unifiquen les bombes inversores (que a demés de generar calor també produeixen refrigeració a l'estiu) amb l'acumulador d'aigua calenta sanitària.

A continuació s'explicaran les diferents fases de la generació de calor i fred, amb una bomba de calor geotèrmica, que es poden observar en la Il·lustració 4.



Il·lustració 4. Fases de la generació de calor amb bomba de calor geotèrmica

Fases de la generació de calor

1. *Extracció de la calor del terra amb líquid anticongelant:*

El líquid caloportador que circula per les canonades soterrades absorbeix la temperatura del terreny, normalment d'uns 15°C. La bomba geotèrmica fa que aquest líquid caloportador arribi a l'evaporador on hi ha un fluid refrigerant a una temperatura d'uns -5°C.

2. *Evaporador del fluid refrigerant:*

Com que el líquid de les ones de captació està més calent que el fluid refrigerant, es produeix un intercanvi de calor, fent que el fluid refrigerant s'escalfi i s'evapori. Els dos líquids mai no arriben a tocar-se, sinó que intercanvien la calor per la proximitat de les canonades.

3. *Augment de pressió del fluid:*

El fluid refrigerant, ara en estat gasós, passa per un compresor que accionat amb energia elèctrica, augmenta la pressió del vapor refrigerant i aconseguint així que incrementi la seva temperatura fins a 60-90°C.

4. *Traspàs de calor al condensador:*

A aquesta temperatura, el fluid en estat gasós entra al condensador, el qual també passa per la canonada del sistema de calefacció. La canonada de vapor cedeix calor a l'aigua, fent que l'aigua s'escalfi i proporcioni calefacció a l'habitatge. Si la bomba compta amb un acumulador ACS també dotarà d'aigua calenta sanitària a l'habitatge.

5. *Disminució de pressió i temperatura:*

Un cop ha escalfat l'aigua, el refrigerant torna al seu estat líquid i passa per una vàlvula d'expansió per reduir-ne la pressió i així baixar-ne la temperatura, per arribar de nou a l'evaporador i repetir-se el cicle.

Fases de la generació de fred:

A més de proporcionar calor a l'hivern, l'energia geotèrmica té la possibilitat d'utilitzar-se en sentit invers; és a dir, expulsar la calor de la llar a l'estiu cap al terra. Com s'ha esmentat abans, es manté normalment a una temperatura constant d'uns 15°C fins els 10 metres. Aquest procés es coneix com a fred passiu i funciona de la següent manera:

1. *Extracció del fred del terra amb líquid anticongelant:*

Com que a l'estiu la temperatura del sòl en profunditat és menor a la de l'ambient, el líquid caloportador en arribar a les sondes de captació soterrades es refreda i arriba al condensador de la bomba de calor.

2. *Traspàs de calor al condensador:*

Al condensador es troba el fluid refrigerant en forma gasosa a alta pressió i temperatura. Aquest cedeix la calor al líquid caloportador que circula per les sondes de captació i que acaba d'arribar del terra, aconseguint així condensar-se i refredar-se.

3. *Disminució de pressió i temperatura del fluid refrigerant:*

El fluid refrigerant, ja més fred, entra a la vàlvula d'expansió, on se li disminueix la pressió i la temperatura.

4. *Traspàs de fred a l'evaporador:*

El fluid refrigerant entra a l'evaporador, on absorbeix la calor dels circuits de calefacció i elimina la calor sobrant d'aquestes instal·lacions. Com que el fluid absorbeix calor de la instal·lació, augmenta la seva temperatura i s'evapora.

5. *Augment de temperatura del fluid:*

Un cop el fluid refrigerant ha refredat la instal·lació i, com a conseqüència s'ha evaporat, ha de passar pel compressor. Aquest augmenta la seva pressió i temperatura per tornar al condensador i començar de nou el circuit absorbint el fred del líquid de les sondes de captació.

2.1.2.2 Avantatges i inconvenients:

Avantatges:

- Energia neta i sense emissions in situ.
- Disponibilitat del recurs geotèrmic a tot el món.
- Energia segura en no existir caldera ni combustió.
- Recurs disponible tot l'any.
- La instal·lació no necessita elevades operacions de manteniment.
- El recurs emprat és d'origen local i no té dependència de tercers.
- És compatible la combinació amb altres alternatives renovables en climatització i ACS.
- El rendiment de la instal·lació no depèn del clima exterior.
- Compte amb un elevat nivell d'eficiència durant tot l'any, davant d'altres alternatives renovables tèrmiques com la solar.
- És aplicable tant per a tipus de construccions d'habitatges individuals o col·lectius.
- Segons el tipus d'instal·lació, els períodes d'amortització econòmica són entre 5 i 7 anys.
- Actualment es compten amb equips molt eficients i la investigació en tècniques de millor continua en actiu.

Inconvenients:

- Cal fer un estudi de viabilitat tant tècnica com econòmica prèviament a la instal·lació del projecte.
- Cal una inversió inicial elevada, sobretot en el cas de sistemes geotèrmics verticals amb sonda, a causa de la maquinària especial a emprar.

Nosaltres utilitzarem el tipus d'energia geotèrmica superficial, aquesta utilitza l'energia present al subsol a profunditats que varien des d'uns pocs metres fins als 200 metres. Aquest material energètic és gratuït i sostenible.

A aquestes profunditats, la temperatura del sòl és relativament constant durant tot l'any entre: 10 i 20°C. [7] Això no permet l'explotació directa d'aquesta energia. Per tant, s'utilitza una bomba de calor geotèrmica (PACg) per restaurar la calor, el fred o el fred al nivell de temperatura desitjat.

2.2 Off-grid

Les xarxes de distribució són pràcticament inexistentes a les zones rurals. Consegüentment, per aquest projecte i el seu desenvolupament enfocat a una zona rural, és important destacar la transcendència dels sistemes off-grid.

Un sistema off-grid; és a dir, un sistema fora de xarxa, es refereix al subministrament d'electricitat a una població per un mitjà diferent de la connexió a la xarxa elèctrica centralitzada existent. L'electrificació sense connexió a la xarxa s'associa a les zones rurals, perquè normalment, acostuma a ser econòmicament desfavorable per les empreses connectar a la xarxa comunitats remotes i poc poblades. [2]

Aquest sistema, essencialment, ha d'estar compost per: un generador d'energia elèctrica, un element capaç d'emmagatzemar aquesta energia, un inversor i un controlador.

2.3 Sistemes d'emmagatzematge

La generació elèctrica d'origen renovable acostuma a ser molt erràtica, aquests fets generen grans problemes d'operació i planificació a la xarxa. És important l'emmagatzematge d'aquesta energia especialment amb l'energia solar.

Un sistema d'emmagatzematge permet que la càrrega superi la generació durant algun temps. Altrament, en les zones on únicament subsisteixen amb sistemes fora de la xarxa, l'emmagatzematge passa a ser una de les parts més rellevants per tal de poder seguir abastint energia inclús quan no es produeix. [2]

Pel desenvolupament d'aquest projecte, s'ha modelat un sistema d'emmagatzematge centrat en les bateries. Les bateries són la tecnologia d'emmagatzematge més utilitzada actualment. L'energia s'emmagatzema electroquímicament en múltiples cel·les, connectades en paral·lel i/o en sèrie, per obtenir el voltatge i la capacitat desitjada.

Tot i que l'energia fotovoltaica és un sistema renovable, l'ús abusiu que s'està fent d'aquest element i amb components difícils de reciclar o amb poca vida útil, fa que les bateries no ho siguin. Per això, és un tret important escollir les nostres bateries segons el material del què estan fetes i la capacitat de vida útil.

Actualment, les bateries de fosfat de liti i ferro són una de les millors opcions, ja que aquestes poden suportar al voltant de 5000 cicles de càrrega, es recarreguen molt de pressa i la seva potència és

constant durant tota la seva descàrrega. És una tecnologia segura, ja que la bateria no s'incendiarà si se sobrecarrega. Finalment, la baixa toxicitat pel medi ambient fan que aquesta sigui cada cop la bateria en referència. [9]

2.4 Electrònica de Potència

L'electrònica de potència ha suposat un avenç per l'acoblament de sistemes de corrent continu i alterna, minimitzant les pèrdues; és a dir, permet transformar els sistemes elèctrics de potència clàssics en sistemes amb major controlabilitat dels fluxos de potència activa i reactiva.

En aquesta introspecció a través del mercat de les instal·lacions renovables per l'autoconsum, s'ha detectat una tendència a encabir-ho dins un sol dispositiu, el "Plug and Play".

Dins del mercat es distingeix diferents tipologies d'inversors en funció de les característiques de la instal·lació. Consultant diferents distribuïdors de productes s'ha extret el següent seguit de definicions:

- *Inversor de connexió a xarxa*: No permeten la incorporació de bateries, estan dissenyats per sincronitzar-se amb la tensió i la freqüència de la xarxa elèctrica.
- *Inversor aïllat*: Dispositiu dissenyat per transformar la corrent contínua a corrent alterna en un sistema sense accés a la xarxa externa. Preparats per gestionar la producció renovable com de les bateries.
- *Inversors híbrids*: Incorporen un gestor energètic capaç de controlar l'energia d'entrada de les bateries, dels panells solars (MPPT) i l'entrada de la xarxa. La diferència amb els inversors aïllats, és que aquests incorporen una entrada per la xarxa elèctrica, però prioritzen l'energia renovable o l'emmagatzemada a les bateries.
- *Inversor/carregador*: Aquest convertidor incorpora una entrada per un grup electrogen de suport o per la xarxa externa per tal de carregar les bateries.
- *Inversor 3 en 1*: Equips que incorporen el regulador solar (MPPT), l'inversor aïllat i el carregador de bateries, els anomenats "Plug and Play". [2]

2.5 Controlador

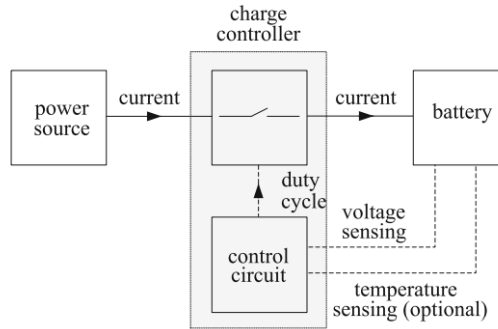
Els controladors afecten la manera que els elements de les mini xarxes funcionen i interactuen entre ells. Els controladors es poden utilitzar per:

- Gestionar la càrrega i descàrrega de les bateries regulant la seva tensió en borns per prolongar la seva vida útil.
- Regular la freqüència de la tensió el sistema i la velocitat de les revolucions mecàniques dels generadors.
- Regular la magnitud de la tensió alterna.
- Maximitzar la producció d'energia en els diferents possibles conjunts.
- Sincronitzar i gestionar l'assignació d'energies dels generadors i els inversors connectats en paral·lel.
- Coordinar la interacció dels diferents components.

Els controladors augmenten el cost de capital i la complexitat d'una minixarxa. Aquests costos inicials solen estar justificats, sobretot a mesura que augmenta la mida del sistema. Els controladors augmenten la vida útil dels components i la qualitat del servei elèctric. Per tant, el controlador passa a ser un dels elements més importants del nostre sistema per obtenir una correcta funcionalitat, ja

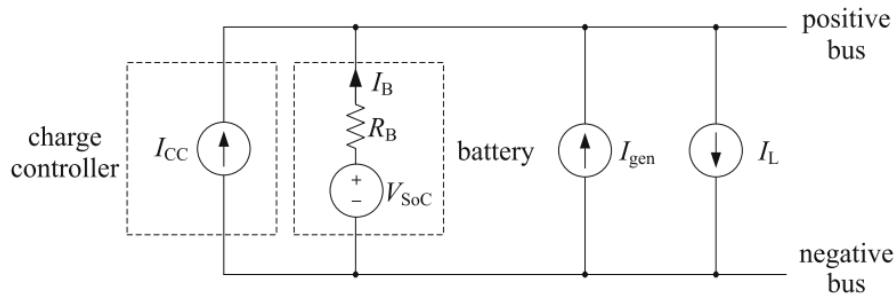
que per tal de poder assolir els objectius de desenvolupament sostenible, no només s'ha de garantir l'accés a l'energia, sinó també la gestió d'aquesta. [2]

Com ja s'ha comentat anteriorment, la gestió de tots els dispositius que consumeixen energia dels diferents centres, es gestionaran a partir del controlador. En l'exemple de la bateria, el controlador serveix per descarregar i carregar les bateries, per fer-ho, utilitza sensors per mesurar les tensions en els borns de les bateries. La tensió mesurada s'empra en un sistema de control de bucle tancat que ajusta automàticament el corrent de càrrega per evitar que la bateria se sobrecarregui, com es pot observar en la il·lustració 12.



Il·lustració 5. Diagrama de bloc d'un controlador de càrrega, Font: [2]

En la il·lustració 13, podem observar un diagrama d'un model de circuit amb el controlador i els elements corresponents, que satisfaria les nostres necessitats.



Il·lustració 6. Model del circuit del bus de CC amb bateria, controlador de càrrega, generador i càrrega, Font: [2]

2.6 Reglamentació i normativa

En aquest projecte, el disseny de la instal·lació fotovoltaica segueix les directrius del BT-ITC-40, del codi espanyol. Aquesta directriu satisfà la norma del REBT (Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió), enfocat a sistemes fotovoltaics autònoms, que no tenen connexió física amb la xarxa elèctrica i que poden estar equipats amb bateries o dedicar-se al bombeig solar directe. [12]

En relació amb la instal·lació d'energia geotèrmica en el seu conjunt, seguiran la norma més recent del Real-Decret 244/2019, en el que es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia.

Al llarg del projecte se segueixen les directrius espanyoles perquè en molts dels països de l'Àfrica no hi ha una normativa específica. Fet que s'evita perquè la major part de les fonts d'autoconsum actuals instal·lades difícilment seguiran una reglamentació.

Capítol 3

Metodologia

En el present treball es pretén desenvolupar un sistema off-grid, integrat d'energies renovables, capaç d'abastir la demanda d'energia elèctrica i tèrmica necessària per als centres de salut en zones rurals.

Per tal d'assolir l'objectiu es dimensionarà ambdues instal·lacions a partir dels passos descrits a continuació:

1. Estudi de les condicions de contorn

Es realitzarà un estudi de les condicions de contorn; climàtiques, geològiques, econòmiques i sanitàries de la localitat escollida de Nigèria. Aquest punt ens servirà per identificar les condicions i necessitats actuals dels centres de salut i ens permetrà personalitzar més l'estudi. Es consulten diversos articles per avaluar l'entorn geològic, econòmic i sanitari, i la meteorologia anual de la localitat.

2. Identificació dels tipus de centres de salut a la zona rural

A partir del document *Minimum Standards for Primary Health Care* [13], podrem especificar els tipus de centres de salut que existeixen i les necessitats energètiques, tant elèctriques com tèrmiques, per cada un d'aquests.

3. Necessitats energètiques

Per poder identificar les necessitats elèctriques s'especificaran els diferents elements de consum, aquestes variaran cada mes segons la incidència hospitalària que dependrà de les diferents malalties anuals de la localitat. Per fer-ho, es generaran diferents taules que recolliran el consum elèctric per hora, mes i any, segons l'índex d'incidència.

Pel dimensionament tèrmic es calcularan les demandes màximes de calefacció i refrigeració del tancament; és a dir, de l'edifici del centre de salut.

4. Anàlisi del potencial de l'energia solar a la localitat

Mitjançant el clima, les hores solar diàries de cada mes i el potencial de radiació solar es podrà demostrar si la localitat i la font d'energia són adequades pel dimensionament que es vol realitzar.

També, a partir d'aquests valors podrem dimensionar el nostre sistema trobant el mes de l'any on les condicions són més desfavorables. Per trobar-lo aplicarem el coeficient C_{md} , aquest relaciona el consum energètic del centre de salut amb la capacitat d'irradiació solar. Si la radiació que es genera no és suficient per abastir el consum, el coeficient tindrà un valor més elevat.

L'anàlisi es du a terme mitjançant la informació proporcionada pel programari *European Commission, PVGIS, Solargis, Excel* i del programari *Homer.Pro*.

5. Estudi i anàlisi del potencial de l'energia geotèrmica a la localitat.

Abans d'iniciar l'anàlisi del potencial de l'energia geotèrmica a la localitat, serà necessari realitzar un estudi d'aquesta energia i adquirir els coneixements necessaris que ens permetran dimensionar la instal·lació geotèrmica. Es consulten llibres i manuals de la geotèrmia.

Un cop adquirit els coneixements, passem a analitzar el potencia de la geotèrmia a Maiduguri a partir d'articles i del càlcul de la temperatura del terreny en funció de la profunditat i del mes.

6. Dimensionament de les instal·lacions.

Tot i que l'estudi es realitza per tres diferents centres de salut, el dimensionament només es realitzarà pel centre de salut que requereix més necessitats, amb l'objectiu que aquest pugui ser adaptable a qualsevol altre centre de salut.

Pel dimensionament final, serà necessari dividir-ho en dues parts. El dimensionament elèctric, que correspon a la font d'energia fotovoltaica i un altre de la instal·lació tèrmica, d'energia geotèrmica.

1. Dimensionament elèctric.

Gràcies als valors i anàlisis trobats en els apartats anteriors podrem definir els elements que formaran el sistema off-grid:

- Inversor.
- Panells fotovoltaics.
- Bateries.

Els elements anteriors es definiran a partir dels càlculs de les necessitats i a partir del programari *Homer.Pro*. Seguidament, es realitzarà un estudi del funcionament del conjunt de bateries instal·lades, segons l'hora i mes, per tal de saber quin generador extern serà el més adequat.

- Generador extern.
- Elements que compondran el controlador.
- Distribució del dimensionament a l'espai, mitjançant *SketchUp*.

2. Dimensionament tèrmic.

Mitjançant els valors obtinguts de les demandes de calefacció i refrigeració s'escollirà una bomba de calor geotèrmica. Altrament, a partir d'aquests valors i dels valors obtinguts de la temperatura del terreny en relació amb la profunditat, s'escollirà la configuració de l'intercanviador.

Pel dimensionament tèrmic, també serà necessari conèixer quins elements es necessitaran pel controlador, i finalment ubicar a l'espai el sistema geotèrmic.

Capítol 4

Dimensionament d'un sistema off-grid

Per poder fer un bon dimensionament ha estat necessari realitzar una recerca de les condicions climàtiques i geològiques de la localitat. Juntament d'una avaluació de les necessitats elèctriques i tèrmiques del centre de salut per poder obtenir els resultats finals.

En aquest apartat es desenvolupa en profunditat la resolució de la problemàtica per assolir l'objectiu mercat.

4.1 Condicions de contorn – Geografia i clima

Tal com s'ha comentat anteriorment, el projecte es basa a Nigèria, república federal subsahariana, localitzada al Golf de Guinea, banyada per l'oceà Atlàntic. En trobar-se per sota, però propera al Sàhara, la temperatura i la humitat es mantenen constants durant tot l'any al sud, mentre que al nord varien considerablement. A Maiduguri, la temperatura màxima mitjana mensual pot superar els 38°C durant els mesos d'abril i maig, mentre que a la mateixa temporada es poden produir glaçades a la nit. La humitat en general és elevada.

Nigèria és un país especialment vulnerable enfront del canvi climàtic a causa de la situació geogràfica del país, del seu clima i la situació de molts dels seus habitants, on menys del 40% té accés directe a aigua potable [14,15]. També és un país en vies de desenvolupament industrial i tot i que actualment l'emissió de CO₂ és baixa, s'espera que aquest augmenti en els pròxims anys.

Les temperatures màximes absolutes es donen entre els mesos d'abril, març i maig amb un valor al voltant de 40°C, tot i que poden arribar a un valor màxim de 45°C. Les temperatures mínimes es donen entre els mesos de gener i desembre amb un valor de 11°C, disminuint fins a un valor de 2°C a la nit.

A la taula 1, podem trobar un recull de la mitja de temperatures mensual – màximes i mínimes -, acompanyades de la mitja mensual de les precipitacions, hores de llum i irradiància global.

Taula 1. Clima anual, Maiduguri.

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
Temperatura mitja [°C]	23	26	30	33	33	31	28	27	27	28	26	24
Temperatura mitja màximes [°C]	33	36	39	41	39	37	34	32	33	35	35	33
Temperatura mitja mínimes [°C]	15	18	22	25	26	25	24	23	23	22	18	15
Precipitacions [mm]	0	0	1	9,3	26,8	62	129,4	151,5	85,2	19,5	0,6	0
Hores de llum	8,39	8,93	8,23	7,83	8,39	8,33	7,1	6,61	7,5	9,19	9,33	8,87
Irradiància globala	5,82	6,2	6,47	6,55	6,57	6,23	5,48	5,31	5,74	6,2	6,05	5,7

4.2 Centres de salut

“L’avenç cap a l’ampliació de l’accés a l’energia neta i sostenible és essencial per protegir la salut humana i per promoure millores de salut a la població, especialment a les àrees rurals i remotes. Massa persones, sovint les més vulnerables, com les dones, els nens i les nenes, encara no tenen accés a tecnologies i combustibles nets per cuinar, cosa que els exposa a nivells perillosos de contaminació atmosfèrica a la llar.” (Dra. María Neira, directora del Departament de Salut, Medi Ambient i Canvi Climàtic de l’Organització Mundial de la Salut, traduït de l’Anglès). Tal com es diu a la cita anterior, la salut i l’energia són factors interdependents i per tal de millorar la salut, és necessària l’accés a l’energia i que aquesta sigui sostenible. [16]

En aquest projecte, el que es vol aconseguir, és la millora de les necessitats energètiques dels centres de salut Nigèria enfocat a zones rurals, per tal de millorar l’assistència sanitària. Per fer-ho, haurem de diferenciar entre els tipus de centre de salut que existeixen i especificar les necessitats energètiques de cada un d’ells.

A partir del document *Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria* [13], podem especificar tres tipus de centres de salut, segons la seva grandària, amb els seus estàndards:

- *Posta sanitària:* Aquesta clínica és la més petita, on generalment no hi ha un/a doctor/a permanent o un/a infermer/a present, i funciona únicament 8 hores al dia, de les 9h a les 16h. L’atenció que s’ofereix inclouen el tractament de malalties menors i ferides menors, els pacients amb problemes més complicats són enviats a l’hospital local. Els elements que contenen normalment aquestes instal·lacions, són els més bàsics; llum, refrigerador de vacunes (ocasionalment) i equips de comunicació.
 - *Àrea on ofereix el servei:* Barri i/o poble.
 - *Cobertura de població:* 500 persones.
 - *Infraestructura:*
 - Color: Crema.
 - Superfície: 1200 m².
 - Dos habitacions, amb ventilació creuada, parets i sostre en bon estat, amb portes funcionals.
 - Instal·lacions sanitàries separades per homes i dones, amb subministra d’aigua.

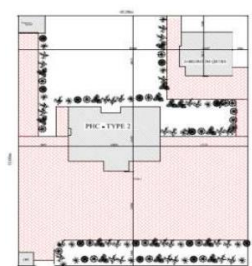


Il·lustració 7. Plànol posta sanitària, Font: [11]



Il·lustració 8. Plànol 3D Posta Sanitària, Font: [11]

- *Clinica de salut rural*: Les instal·lacions són més grans que a la posta sanitària i hi ha la possibilitat de mantenir un malalt les 24 hores. Els serveis que ofereixen són més amplis que l'anterior podent assistir a malalts o ferides més greus. L'equipament que contenen aquests tipus d'instal·lacions, també són més complets, com refrigerador de vacunes, equips de laboratori senzills, enllumenat i TV.
 - *Àrea on ofereix el servei*: Barri, poble i/o comunitat.
 - *Cobertura de població*: entre 2000 i 5000 persones.
 - *Infraestructura*:
 - Color: Blau.
 - Superfície: 2475 m².
 - Un edifici independent, amb 5 habitacions, parets i sostre en bon estat, amb portes funcionals i finestres encastades.
 - Instal·lacions sanitàries separades per homes i dones, amb subministrament d'aigua, almenys una font.



Il·lustració 9. Plànol Clínica rural, Font: [11]



Il·lustració 10. Plànol 3D Clínica Rural, Font: [11]

- *Hospital rural*: Els hospitals rurals ja poden assistir a una major quantitat de malalts i amb més complexitat que els anteriors. Poden oferir serveis com cirurgia, rehabilitació, laboratori i serveis de radiologia. L'equipament que tenen és més complet.
 - *Àrea on ofereix el servei*: Regió.
 - *Cobertura de població*: entre 10000 i 20000 persones.
 - *Infraestructura*:
 - Color: Verd.
 - Superfície: 4200 m².
 - Un edifici aïllat, d'almenys 13 habitacions, parets i sostre en bon estat, amb portes funcionals i finestres encastades.
 - Instal·lacions sanitàries separades per homes i dones, amb subministrament d'aigua, almenys una font.



Il·lustració 11. Plànol Hospital Rural, Font:[11]



Il·lustració 12. Plànol 3D Hospital Rural, Font: [11]

A continuació detallarem l'equipament, que s'ha considerat necessari i seguint les normatives del document [13], per trobar la potència requerida de cada un dels centres de salut. Posteriorment, farem incís en dues de les aplicacions necessàries més comunes a l'atenció mèdica rural, la qual requereix alguna font d'energia per tal de funcionar. Aquestes necessitats són; el tractament de l'aigua, aigua potable neta i accessible, i, la refrigeració de vacunes.

EQUIPAMENT	QUANITAT D'EQUIPAMENT (A)			POTÈNCIA CONSUMIDA [W] (B)	TEMPS D'UTILIT- ZACIÓ [h/dia] (C)	f = (A · B · C) / 1000 [kWh/dia]		
	HOSPITAL RURAL	CLÍNICA RURAL	POSTA SANI- TÀRIA			HOSPITAL RURAL	CLÍNICA RURAL	POSTA SANI- TÀRIA
REFRIGERADOR DE VACUNES	3	2	1	1500	24	108	72	36
CENTRÍFUGA	2	1	-	175	6	2,10	1,05	-
MICROSCOPI D'O- PERACIONS	2	1	1	150	6	1,80	0,90	0,90
INCUBADORA	3	2	1	480	24	34,56	23,04	11,52
AUTOCLAU	1	-	-	1.800	6	10,80	-	-
CONCENTRADOR D'OXIGEN	2	1	1	400	6	4,80	2,40	2,40
ORDINADOR D'ES- CRITORI	2	1	-	180	10	3,60	1,80	-
IMPRESSORA	1	-	-	30	2	0,06	-	-
MONITOR	2	1	-	65	10	1,30	0,65	-
TV (color)	1	1	-	60	10	0,60	0,60	-
VENTILADOR DE SOSTRE	13	9	3	24	6	1,87	1,30	0,43
VENTILADOR	5	2	1	40	6	1,20	0,48	0,24
LLUM COMPACTA	55	40	22	15	17	14,03	10,20	5,61
LLUM INCANDES- CENT	36	22	16	75	17	45,90	28,05	20,40
ELECTROCARDIO GRAMA	1	-	-	1.440	1	1,44	-	-
ESPECTRÒMETRE	1	-	-	575	6	3,45	-	-
MÀQUINA DE DIÀ- LISI	1	-	-	575	6	3,45	-	-
ULTRASONS	1	-	-	1.440	6	8,64	-	-
MÀQUINA DE RAIGS X	1	-	-	3.000	6	18	-	-
OXÍGEN	2	1	1	300	10	6	3	3
RENTADORA	1	1	0	2200	3	6,60	6,60	0
EQUIP DE CUINA	1	1	1	1200	3	3,60	3,60	3,60
ESTIMACIÓ TO- TAL D'ENERGIA UTILITZADA				15724		281,79	155,66	84,10

Taula 2. Estimació del consum i equipament necessari diari per cada centre sanitari.

4.2.1 Tractament de l'aigua

Avui en dia, segueix sent tot un repte l'accés a l'aigua potable, quasi quatre milions de persones no tenen accés. Una de les causes és l'abandonament de les instal·lacions i les xarxes de distribució que es troben entre les més deteriorades de tot el món, però la principal causa és el creixement urbà descontrolat que sobrepassa la capacitat d'urbanitzar de manera eficient. L'OMS estima que un 80% de les malalties a tot el món es transmeten per l'aigua contaminada i que és la responsable de 50.000 morts diàriament. [14] Aquest fet ha pogut quedar molt remarcant el darrer any a causa de la pandèmia viscuda, ha demostrat la importància crítica de la sanitat, higienització i l'adequat accés a l'aigua per prevenir les malalties.

L'objectiu número 6 [15], dels Objectius de Desenvolupament Sostenible, pretén garantir la disponibilitat i la gestió sostenible d'aigua i el sanejament per tots. En aquest treball es vol donar importància aquest punt estudiant en més en detall el sistema d'aquest tractament i al desenvolupament d'una opció renovable per aquest sistema.

Els processos actuals són els següents:

- *Desinfecció química*, inclou el clor i el iode, produeixen un gust i olor característics. Aquest no requereix electricitat per realitzar el procés.
- *Tractament d'ozó*, forma altament activada d'oxigen, normalment utilitzada amb carbó activat per desinfectar els subministraments d'aigua, però no ofereix desinfecció residual amb el temps. El procés requereix poca energia i, per tant, és adequat per energia generada amb el sol o el vent, només necessita 0.3Wh/L.
- *Carbó activat*, és un filtre que ha de ser reemplaçat periòdicament per prevenir la contaminació bacteriana.
- *Desinfecció per UV*, necessita únicament 0,2Wh/L d'energia per realitzar el procés i és efectiva amb els microorganismes.

4.2.2 Refrigeració de vacunes

Al llarg de la història ha estat clar la necessitat de les vacunes per erradicar certes malalties que han persistit, en especial a l'Àfrica. El fet que hagin perdurat ha estat pels pocs recursos dels quals disposen, entre ells la refrigeració d'aquestes vacunes. Un cop més, amb la COVID-19, s'ha comprovat que és un problema que continua existint, ja que, amb 1.300 milions de persones, el continent africà podria trigar quasi tres anys a aconseguir els objectius de vacunació establerts. Cal dir que, una de les principals causes juntament amb la ja anomenada, és l'abassegament de les vacunes en el nord global. [16]

Per tal d'intentar garantir el servei de refrigeració de vacunes a la temperatura adequada segons l'estipulada per cada vacuna, existeix el grup La Cadena Freda, és un grup de gent equipada que proporciona aquest servei. En els centres de salut rural i de difícil accés, les vacunes s'han d'emmagatzemar amb una estimació de temps mínim d'un mes i requereixen normalment una temperatura d'entre +2°C i 8°C.

Mantenir la temperatura adequada és un factor important per tal de mantenir l'efectivitat, és molt fàcil que les vacunes es quedin inservibles per l'exposició a la calor.

Tot i que la idea principal del treball, i la que s'ha implementat en el sistema final, és el subministrament d'energia elèctrica a un refrigerador de vacunes normal, s'ha volgut plantejar una segona opció amb un enfocament més

Cómo funciona la cadena de frío de la vacuna



Il·lustració 13. Procés de la Cadena Freda, Font: MSF

renovable anomenada; punt de recàrrega pels sistemes de refrigeració, que funcionin amb energia solar i bateries. Aquest el localitzarem en punt del dimensionament.

4.3 Necessitats energètiques

Per tal de poder seguir amb l'anàlisi del consum dels centres sanitaris, definirem dos subapartats; un primer pel consum elèctric i un segon pel consum tèrmic.

4.3.1 Necessitats elèctriques

A partir de les dades de consum i quantitat de temps de la Taula 3, calcularem el consum mensual per cada un dels centres de salut.

Taula 3. Consum energètic Mensual (kWh/mes).

MES	DIES	HOSPITAL RURAL [kWh]	CLÍNICA RURAL [kWh]	POSTA SANITÀRIA [kWh]
GENER	31	10788,00	6138,00	3534,00
FEBRER	28	9744,00	5544,00	3192,00
MARÇ	31	10482,85	5952,00	3534,00
ABRIL	30	10144,69	5580,00	3240,00
MAIG	31	10416,00	5580,00	3162,00
JUNY	30	9900,00	5400,00	2880,00
JULIOL	31	10230,00	5580,00	2976,00
AGOST	31	10230,00	5580,00	2976,00
SETEMBRE	30	9900,00	5580,00	2880,00
OCTUBRE	31	10044,00	5952,00	3162,00
NOVEMBRE	30	9720,00	5760,00	3240,00
DESEMBRE	31	10788,00	6138,00	3534,00

També generarem una taula dels horaris d'utilització de cada un dels elements assignats per l'hospital rural en la següent taula.

Taula 4. Horari del consum energètic dels elements de l'Hospital Rural.

EQUIPAMENT	HOSPITAL RURAL	kW
REFRIGERADOR DE VACUNES	24h	4,50
CENTRÍFUGA	8 - 14h	0,35
MICROSCOPI D'OPERACIONS	8 - 14h	0,30
INCUBADORA	24h	1,44
AUTOCLAU	8 - 14h	1,80
CONCENTRADOR D'OXIGEN	8 - 14h	0,80
ORDINADOR D'ESCRITORI	8 - 18h	0,36
IMPRESSORA	11 - 14h	0,03
MONITOR	8 - 18h	0,13
TV (color)	8 - 18h	0,06
VENTILADOR DE SOSTRE	11 - 17h	0,31
VENTILADOR	11 - 17h	0,20
LLUM COMPACTA	17 - 10h	0,83
LLUM INCANDESCENT	17 - 10h	2,70
ELECTROCARDIO GRAMA	9 - 10h	1,44
ESPECTRÒMETRE	8 - 14h	0,58
MÀQUINA DE DIÀLISI	8 - 14h	0,58
ULTRASONS	8 - 14h	1,44
MÀQUINA DE RAIGS X	8 - 14h	3
OXÍGEN	8 - 18h	0,60
RENTADORA	12 - 15h	2,20
EQUIP DE CUINA	12-15h	1,20

Organitzant la taula anterior per hores i aplicant un factor correctiu de valor 1,2 al consum, obtenim la Taula 5, que correspon al consum elèctric d'un dia. El factor s'aplicarà per tal de cobrir possibles pèrdues o recàrregues de les bateries.

Taula 5. Consum per hora amb factor correctiu 1,2.

HORA [h]	CONSUM [kW]	KW x factor [1,2]	HORA [h]	CONSUM [kW]	KW x factor [1,2]		
0:00:00	1:00:00	9,47	11,36	12:00:00	13:00:00	19,87	23,85
1:00:00	2:00:00	9,47	11,36	13:00:00	14:00:00	19,87	23,85
2:00:00	3:00:00	9,47	11,36	14:00:00	15:00:00	11,00	13,20
3:00:00	4:00:00	9,47	11,36	15:00:00	16:00:00	7,60	9,12
4:00:00	5:00:00	9,47	11,36	16:00:00	17:00:00	7,60	9,12
5:00:00	6:00:00	9,47	11,36	17:00:00	18:00:00	10,02	12,02
6:00:00	7:00:00	9,47	11,36	18:00:00	19:00:00	9,47	11,36
7:00:00	8:00:00	9,47	11,36	19:00:00	20:00:00	4,90	5,87
8:00:00	9:00:00	19,46	23,35	20:00:00	21:00:00	4,90	5,87
9:00:00	10:00:00	20,90	25,07	21:00:00	22:00:00	4,90	5,87
10:00:00	11:00:00	15,93	19,12	22:00:00	23:00:00	4,90	5,87
11:00:00	12:00:00	16,47	19,77	23:00:00	0:00:00	4,90	5,87

Històricament, els brots de malalties a l'Àfrica en especial els de la febre de Lassa, tenien lloc durant l'estació seca; de novembre a abril; tot i això, en el 2020 la febre Lassa es va declarar l'inici del brot

el 24 de gener i la van donar per finalitzada a finals d'abril on la taxa de letalitat rondava el 20%. [16]

Pel nostre cas d'estudi farem una anàlisi del consum diari per cada un dels mesos de l'any, aquests dependran de la incidència hospitalària que hi pugui haver. Els càlculs ens serviran per ajudar a definir els consums de cada mes, identificar el mes amb un consum superior al potencial solar i optimitzar al màxim el sistema. Ja que, trobant aquests valors, el nostre sistema estarà preparat per enfrontar-se a les condicions més extremes. Suposarem, doncs, amb la informació explicada en el paràgraf anterior, que els mesos on hi ha més incidència hospitalària serà entre els mesos de l'estació seca, maximitzant el nivell als mesos de desembre, gener i febrer. Obtenim la següent taula de valors.

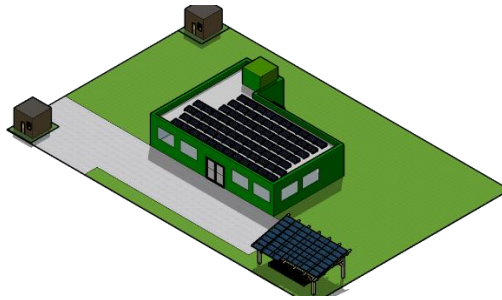
Taula 6. Consum energètic per hora – Mensual amb factor correctiu 1,2 i segons index d'incidència sanitària.

HORA	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE	
0:00:00	1:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
1:00:00	2:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
2:00:00	3:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
3:00:00	4:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
4:00:00	5:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
5:00:00	6:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
6:00:00	7:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
7:00:00	8:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
8:00:00	9:00:00	25,89	25,89	25,29	25,29	25,15	24,76	24,76	24,76	24,76	24,35	24,35	25,89
9:00:00	10:00:00	27,81	27,81	27,16	27,16	27,01	26,59	26,59	26,59	26,59	26,15	26,15	27,81
10:00:00	11:00:00	21,20	21,20	20,70	20,70	20,59	20,27	20,27	20,27	20,27	19,94	19,94	21,20
11:00:00	12:00:00	21,92	21,92	21,41	21,41	21,29	20,96	20,96	20,96	20,96	20,62	20,62	21,92
12:00:00	13:00:00	26,45	26,45	25,83	25,83	25,69	25,29	25,29	25,29	25,29	24,87	24,87	26,45
13:00:00	14:00:00	26,45	26,45	25,83	25,83	25,69	25,29	25,29	25,29	25,29	24,87	24,87	26,45
14:00:00	15:00:00	14,64	14,64	14,30	14,30	14,22	14,00	14,00	14,00	14,00	13,77	13,77	14,64
15:00:00	16:00:00	10,12	10,12	9,88	9,88	9,83	9,67	9,67	9,67	9,67	9,52	9,52	10,12
16:00:00	17:00:00	10,12	10,12	9,88	9,88	9,83	9,67	9,67	9,67	9,67	9,52	9,52	10,12
17:00:00	18:00:00	13,33	13,33	13,02	13,02	12,95	12,74	12,74	12,74	12,74	12,54	12,54	13,33
18:00:00	19:00:00	12,60	12,60	12,30	12,30	12,24	12,04	12,04	12,04	12,04	11,85	11,85	12,60
19:00:00	20:00:00	6,51	6,51	6,36	6,36	6,33	6,23	6,23	6,23	6,23	6,13	6,13	6,51
20:00:00	21:00:00	6,51	6,51	6,36	6,36	6,33	6,23	6,23	6,23	6,23	6,13	6,13	6,51
21:00:00	22:00:00	6,51	6,51	6,36	6,36	6,33	6,23	6,23	6,23	6,23	6,13	6,13	6,51
22:00:00	23:00:00	6,51	6,51	6,36	6,36	6,33	6,23	6,23	6,23	6,23	6,13	6,13	6,51
23:00:00	00:00:00	6,51	6,51	6,36	6,36	6,33	6,23	6,23	6,23	6,23	6,13	6,13	6,51

4.3.2 Necessitats tèrmiques

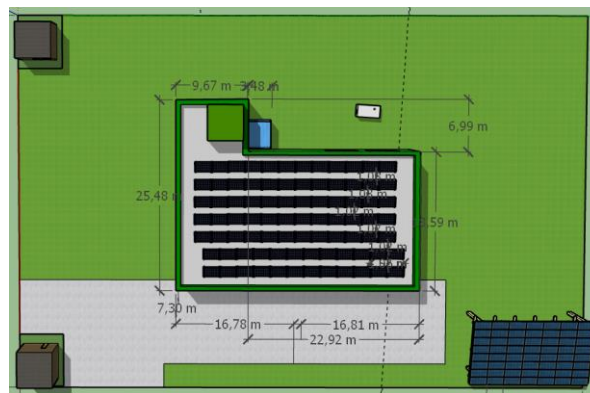
Per poder desenvolupar el dimensionament tèrmic, serà necessari calcular les demandes màximes de calefacció i refrigeració del tancament; és a dir de l'edifici del centre de salut, en el nostre cas de l'hospital rural.

Primer haurem de definir els metres quadrats, els buits de l'edifici, ja que en el document [13], només estava definit la superfície total del terreny. Per fer-ho s'ha decidit desenvolupar el disseny en 3D a partir de l'eina SketchUp, amb l'objectiu d'assolir el disseny mostrat a la següent il·lustració, que més endavant s'utilitzarà per dimensionar la resta dels elements del sistema fotovoltaic i tèrmic.



Il·lustració 14. Disseny 3D de l'Hospital Rural, SketchUp

S'ha decidit organitzar els metres quadrats disponibles del terreny com es pot observar a la següent il·lustració, amb les cotes marcades.



Il·lustració 15. Dimensions de l'Hospital Rural 3D, SketchUp.

Coefficient de transmissió de l'hospital a partir de les equacions de transferència de calor; U, depèn de la geometria de la configuració en què es produeix la transmissió de calor i de les característiques tèrmiques del material. [5] En el nostre cas, ens trobem en una construcció amb parets de més d'una capa de material, que es poden veure a la Taula 7.

Taula 7. Característiques de mur - Hospital Rural

Material	Espesor	Conductivitat
Pedra calcària (revestiment)	3,00	4,00
Càmera d'aire (a 15°C)	4,00	0,02
Escuma de poliuretà	13,00	0,03
Maó massís	11,50	0,87
Llana de roca	8,00	0,04
Placa de pladur	1,90	0,25

Per tant, el coeficient de transmissió es calcula de la següent manera:

$$U_{mur} = \frac{1}{\frac{e_{calcària}}{\lambda_{calcària}} + \frac{e_{aire}}{\lambda_{aire}} + \frac{e_{poliuretà}}{\lambda_{poliuretà}} + \frac{e_{maó}}{\lambda_{maó}} + \frac{e_{llana}}{\lambda_{llana}} + \frac{e_{pladur}}{\lambda_{pladur}}} \quad (\text{Equació 1.})$$

On:

Taula 8. Característiques del mur exterior de l'Hospital rural.

Material	Espesor	Conductivitat
Pedra calcària (revestiment)	3,00	4,00
Càmera d'aire (a 15°C)	4,00	0,02
Escuma de poliuretà	13,00	0,03
Maó massís	11,50	0,87
Llana de roca	8,00	0,04
Placa de pladur	1,90	0,25
Umur = 0,11 W/m ² ·K		

4.3.2.1 Demanda màxima de calefacció

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_t + \dot{Q}_v \quad (\text{Equació 2.})$$

On \dot{Q}_t , és la carga tèrmica per transmissió en [W];

$$\dot{Q}_t = C_o \cdot C_i \cdot U \cdot S \cdot \Delta T \quad (\text{Equació 3.})$$

Co: Coeficient d'orientació del tancament (Sud), habitualment s'utilitzen els següents valors; **1,00**

- Nord: 1,15
- Sud: 1,00
- Est: 1,10
- Oest: 1,05

Ci: Coeficient d'intermitència de la instal·lació, s'empra el valor de **1,1**.

U: Coeficient global de transmissió de calor de l'espai, **0,11** $\frac{W}{m^3 \cdot K}$.

S: Superfície del mur exposat a la diferència de temperatures, **750** m².

ΔT : Diferència de temperatures entre l'exterior i l'interior, [22-0°C]=**22** °C.

Donat que estem buscant la demanda màxima de calefacció, les temperatures anteriors escollides s'han decidit en relació amb la temperatura desitjada que s'espera a l'interior de l'edifici, en els mesos de fred, i la temperatura mínima exterior que es pot assolir.

$$\dot{Q}_t = 1996,50W$$

I \dot{Q}_v , carga tèrmica per ventilació o infiltració d'aire exterior en [W];

$$\dot{Q}_v = V \cdot N \cdot k \cdot \Delta T \quad (\text{Equació 4.})$$

On:

V: Volum de l'espai a calefatar, **5250**[m³]. Amb una altura de **7m**.

N: Número de renovacions horàries, **1**[h⁻¹].

Cp: Calor específic de l'aire, $\left[\frac{W \cdot h}{m^3 \cdot K}\right]$. **0,34**

ΔT : Diferència de temperatures entre l'exterior i l'interior, **22**[°C].

$$\dot{Q}_v = 9270,00W$$

La demanda màxima de calefacció és:

$$\dot{Q}_c = 41,27kW$$

4.3.2.2 Demanda màxima de refrigeració

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_t + \dot{Q}_v + \dot{Q}_s \quad (\text{Equació 5.})$$

On Qs: Càrrega tèrmica per radiació solar **81197,10W**:

S: Superfície transparent exposada a la radiació, **1995,50 m²**.

R: Radiació solar que incideix a la superfície, **5307 $\frac{W}{m^2}$** .

F: factor de correcció, dependrà del tipus de vidre, de l'efecte de les ombres, d'entre altres. El valor escollit és de **0,9**, perquè tot i que el vidre sigui de baixes emissions, el número d'hores exposades a la radiació és elevat i sense cap tipus d'ombra.

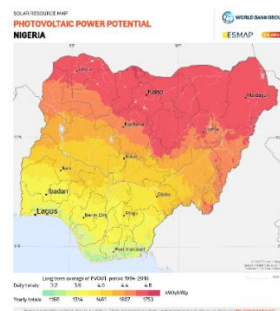
$$\dot{Q}_f = 122,46kW$$

4.4 Potencial energia solar

La generació d'energia a Nigèria és principalment tèrmica i hidroelèctrica, amb una capacitat instal·lada d'uns 12.522 MW. El país forma part de la Comunitat Econòmica d'Estats d'Àfrica Occidental i del West African Power Pool (WAPP), un organisme especialitzat de la CEDEAO que inclou 14 dels 15 països de la comunitat econòmica regional.

El 2011 es va posar en marxa el Renewable Energy Master Plan (REMP) com a objectiu d'augmentar la proporció d'energies renovables en la combinació energètica del país en almenys un 13% per 2015, un 23% pel 2025 i un 36% pel 2030. [8]

Com podem observar a la il·lustració 14 l'energia solar, gràcies a la localització de Nigèria, presenta un enorme potencial solar pel qual podria ser aprofitat per assolir els objectius mercats. Consta d'una mitjana mínima de 6 hores diàries de sol i un potencial d'entre 2040 i 62 GW en l'Àfrica meridional i 83 GW a l'Àfrica oriental. [18]



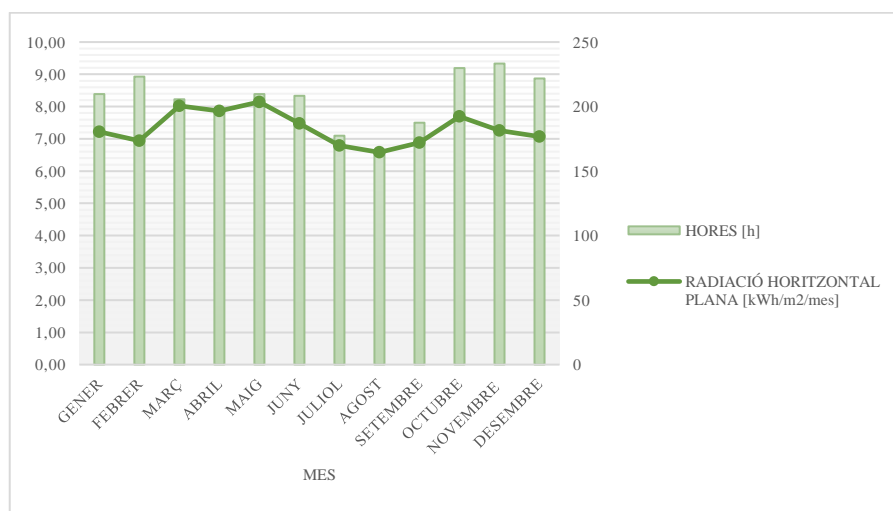
Agafarem la situació on la instal·lació s'enfrontarà al consum màxim amb el mínim d'hores solar pic. Per trobar el mes, es calcularà el coeficient C_{md} , que exactament fa la relació entre el consum estimat i les hores solars pic en el temps indicat. L'equació utilitzada és la següent:

$$\text{Coeficient } C_{md} = \frac{\text{Consum}}{\text{Radiació Solar}} \quad (\text{Equació 6.})$$

Com que la comparació que es realitza és entre valors mensuals amb mateixes dimensions, analitzarem aquests coeficients com si fossin adimensionals. El mes amb un coeficient més elevat ha estat el mes d'agost, amb un valor de *62,18*; aquest valor té sentit perquè coincideix en el mes on les hores solars pics són mínimes, com es pot observar en la Il·lustració 17:

Taula 9. Càlcul coeficient C_{md} - Hospital Rural

MES	DIES	RADIACIÓ HORITZONTAL PLANA [kWh/m2/mes]	CONSUM HOSPITAL RURAL [kWh/mes]	CONSUM H.R (Ah/mes)	COEFICIENT C_{md}
GENER	31,00	180,36	10788,00	224750,00	59,81
FEBRER	28,00	173,52	9744,00	203000,00	56,16
MARÇ	31,00	200,54	10482,85	218392,68	52,27
ABRIL	30,00	196,53	10144,69	211347,75	51,62
MAIG	31,00	203,61	10416,00	217000,00	51,16
JUNY	30,00	186,90	9900,00	206250,00	52,97
JULIOL	31,00	169,82	10230,00	213125,00	60,24
AGOST	31,00	164,52	10230,00	213125,00	62,18
SETEMBRE	30,00	172,05	9900,00	206250,00	57,54
OCTUBRE	31,00	192,32	10044,00	209250,00	52,22
NOVEMBRE	30,00	181,44	9720,00	202500,00	53,57
DESEMBRE	31,00	176,73	10788,00	224750,00	61,04



Il·lustració 17.. Hores Solar Pic i Radiació Solar dels mesos de l'any

En l'anterior gràfica també podem veure que el mes d'agost coincideix en el mes on la incidència d'irradiació solar és menor. Els valors per reproduir les gràfiques són obtinguts del programari *Homer.Pro*. Aquest simulador utilitza les entrades del recurs solar per calcular la potència del camp fotovoltaic per cada hora de l'any, a partir de la latitud introduïda i un índex mitjà de claredat per cada mes.

4.5 Potencial energia geotèrmica

L'entorn geològic de Nigèria mostra que els dipòsits geotèrmics estan associats a les roques volcàniques.

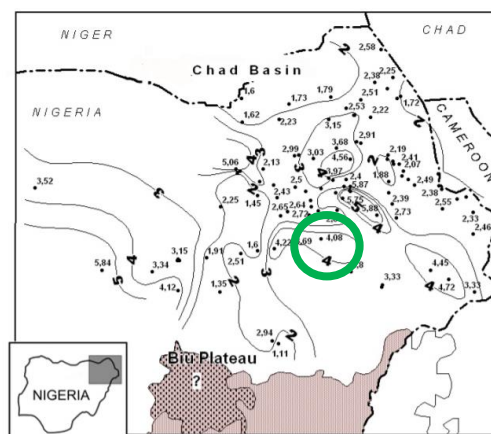


Il·lustració 18. Imatges de fonts termals i guèisers a Nigèria. Font: [6]

Els mapes de gradients geològics, que es poden observar a continuació, mostren que el rang de la conca de Born és d'1,1 – 5,9 °C/100m, el rang de la conca de Sokoto és de 0,9 – 7,6 oc/m amb la conca de Lullemmeden i la conca del Chad més alta són la manifestació física dels recursos d'energia geotèrmica de la qual disposa Nigèria. [6]



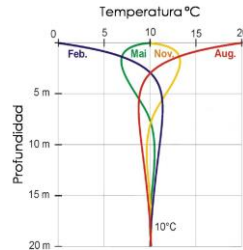
Il·lustració 19. Entorn geotèrmic a Nigèria, Font: Kurowska i Schoeneich, 2010



Il·lustració 20. Mapa dels gradients geotèrmics (°C/100m) a la part de la conca del Chad (Borno), Font: Kurowska i Schoeneich, 2010

Maiduguri la podem localitzar a la zona de la Conca del Chad, corresponent al mapa de la Il·lustració 20. En el mateix podem veure que el gradient geotèrmic de la localitat hauria de ser entre 1-4°C/100m. [6]

A una determinada profunditat el gradient de temperatura del terreny és constant i no es veu afectat per les variacions climàtiques. Aquest fet es pot apreciar observant l'exemple de la Il·lustració 21.



Il·lustració 21 Variació de la temperatura en funció de la profunditat, Font: Guia Tècnica de la Geotèrmia

Per calcular l'evolució de la temperatura del terreny en a la zona més superficial (fins a 20 m de profunditat) s'ha utilitzat el model proposat per Kusuda y Achenbech [17]. Amb aquest model es pot determinar la temperatura per un dia concret de l'any i per una determinada profunditat mitjançant la següent equació:

$$T(z, t) = T_m - A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_o - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right] \quad (\text{Equació 7.})$$

On:

T: Temperatura a la profunditat z el dia t, [°C].

z: Profunditat, [m].

t: Temps en dies.

t_o: Constant de desfasament expressada en dies.

T_m: Temperatura mitjana anual del terreny, que correspon amb la temperatura mitjana anual de l'aire ambient sobre la superfície del terreny [°C].

A_s: Màxima diferència de temperatures anual en la superfície del terreny, [°C].

α: Difusivitat tèrmica del terreny, $\left[\frac{m^2}{dia} \right]$.

La temperatura mitjana anual del terreny es pot assumir com la temperatura seca mitjana anual de Maiduguri.

El desfasament en dies (t_o) es refereix al desplaçament de la temperatura superficial amb la profunditat; un valor típic d'aquest paràmetre oscil·la entre els 35±10 dies.

Els valors de la difusivitat tèrmica del terreny (α) depenen del tipus de terreny i del contingut d'aigua. I es calcula de la següent manera:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot Cp} \quad (\text{Equació 8.})$$

En el nostre cas d'estudi, es considera que el terreny és granit:

λ: Conductivitat del material, 3,4 $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$.

ρ: Densitat del material, 2700 $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$.

C_p : Calor específic del material, $800 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$.

$C = C_p \cdot \rho = 2,16$: Capacitat tèrmica $\left[\frac{MJ}{m^3 \cdot K} \right]$.

Els valors corresponents són els següents:

t : 365 dies, 1 de gener com a valor 0.

t_0 : Constant de valor 30.

T_m : $27,75^\circ C$.

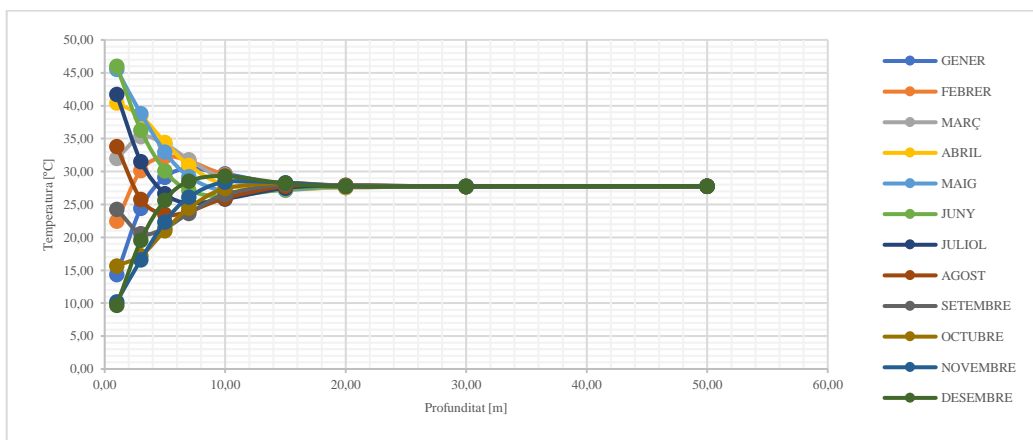
A_s : $23,99^\circ C$.

α : Difusivitat tèrmica del terreny, $0,136 \left[\frac{m^2}{dia} \right]$.

Amb tots aquests paràmetres podem calcular totes les temperatures en funció de la profunditat i mes, $T(z,t)$, fins a 50 metres. De tal manera que obtenim la següent taula i gràfic.

Taula 10. Estimació temperatura del terreny.

MES	PROFUNDITAT									
TEMPERATURA DEL TERRENY ($^\circ C$)	1,00	3,00	5,00	7,00	10,00	15,00	20,00	30,00	50,00	
GENER	14,33	24,42	29,13	30,43	29,68	27,98	27,63	27,75	27,75	
FEBRER	22,48	30,18	32,25	31,63	29,53	27,70	27,60	27,76	27,75	
MARÇ	32,00	35,30	34,19	31,81	28,92	27,43	27,60	27,76	27,75	
ABRIL	40,42	38,45	34,46	30,94	28,00	27,25	27,64	27,76	27,75	
MAIG	45,53	38,81	32,97	29,24	27,02	27,20	27,71	27,76	27,75	
JUNY	46,00	36,29	30,13	27,15	26,23	27,29	27,79	27,75	27,75	
JULIOL	41,71	31,54	26,66	25,21	25,83	27,50	27,86	27,75	27,75	
AGOST	33,78	25,80	23,48	23,94	25,94	27,78	27,90	27,74	27,75	
SETEMBRE	24,28	20,57	21,41	23,66	26,52	28,05	27,90	27,74	27,75	
OCTUBRE	15,68	17,21	21,00	24,45	27,41	28,24	27,86	27,74	27,75	
NOVEMBRE	10,23	16,60	22,34	26,10	28,40	28,30	27,79	27,74	27,75	
DESEMBRE	9,68	19,53	25,65	28,53	29,32	28,19	27,70	27,75	27,75	



Il·lustració 22. Evolució de la temperatura del terreny, corba embut.

La figura anterior mostra l'evolució de la temperatura amb la profunditat pels diferents mesos de l'any, fet que influeix directament en el funcionament de la bomba de calor geotèrmica. En la Taula 10 s'ha calculat cada pocs metres la temperatura del terreny ja que la variació de la temperatura és més elevada. En canvi, a partir dels 15 metres, aproximadament, la temperatura del terreny és manté a 27°C perquè no es veu afectada per les variacions estacionals. A partir d'aquesta profunditat la temperatura augmenta únicament per el gradient geotèrmic, en el nostre cas s'ha trobat que és de: $\frac{1,2^{\circ}\text{C}}{100}$.

Els resultats obtinguts a la gràfica de la Il·lustració 22, han estat els esperats. La gràfica segueix la corba embut esperada marcada pels valors calculats.

4.6 Dimensionament

Tot i que l'estudi es realitza per tres centres de salut diferents, el dimensionament només es realitzarà pel centre de salut que requereix més necessitats, amb l'objectiu que aquest pugui ser adaptable a qualsevol altre centre de salut.

Pel dimensionament final, serà necessari dividir-ho en dues parts. El dimensionament elèctric, que correspon a la font d'energia fotovoltaica i un altre de la instal·lació tèrmica, d'energia geotèrmica.

4.6.1 Dimensionament elèctric

Gràcies als valors i anàlisis trobats en els apartats anteriors podrem començar a definir els elements que formaran el sistema off-grid, començant per l'inversor.

- Inversor.

Coneixent que el consum energètic màxim es troba en els mesos de desembre i gener; com podem observar a la Taula 3, amb un valor de 10.788 kWh al mes i 348 kWh al dia, la potència necessària que necessitarem d'instal·lació tindrà un valor aproximat de 60kW. Per trobar aquest valor s'ha considerat a partir de la gràfica 18, que de mitja diària tenim 6 hores solar pic, per tant, el valor s'obté dividint 348kWh entre 6 hores.

Per escollir l'inversor partim del valor de 60kW, tot i això, l'inversor escollit es decideix que tingui una capacitat de 90kW per futures ampliacions de la instal·lació o per increments en el consum de l'hospital. En concret, s'ha escollit com a inversor el model *Inversor 100Kva Riello SIRIO K100*.

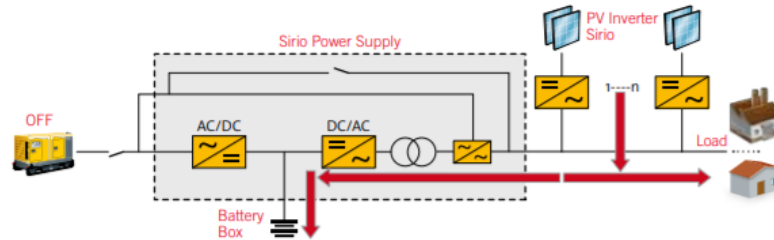


Il·lustració 23. Inversor 100Kva, Riello SIRIO K100, Font: Riello.

Aquest inversor és compatible amb sistemes fora de la xarxa elèctrica i gràcies a aquest sistema pot seguir les condicions d'ús amb les plaques fotovoltaïques, bateries i generador extern següents:

○ Condició n° 1:

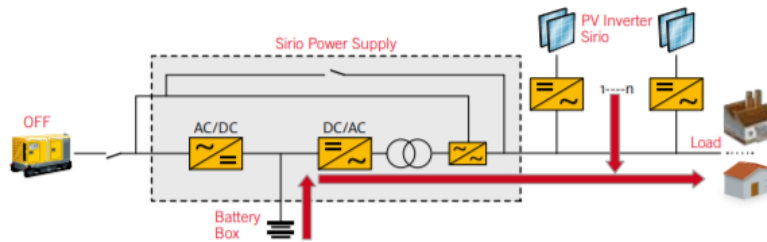
En cas d'existir suficient llum solar, els inversors FV subministren la càrrega i omplen la bateria des de la sortida SPS, podent així apagar-se els grups generadors.



Il·lustració 24. Condició d'ús n°1 de l'inversor, Font: Riello .

○ Condició n° 2:

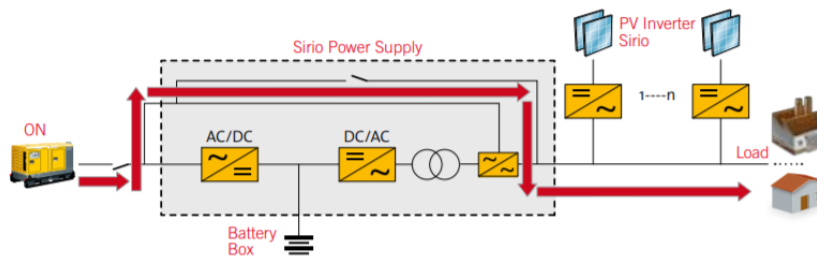
En cas que hi hagi insuficient llum solar, la càrrega és subministrada per l'inversor FV amb ajuda de la bateria. Per a una utilització òptima dels grups generadors, pot establir-se el nivell de descàrrega de la bateria.



Il·lustració 25. Condició d'ús n°2 de l'inversor, Font: Riello.

○ Condició n° 3:

En cas de manca de llum solar, s'apaguen els inversors FV i es descarrega la bateria, sent la càrrega subministrada pel grup generador.



Il·lustració 26. Condició d'ús n°3 de l'inversor, Font: Riello

El model d'inversor escollit és el SPS100, que té un únic regulador de càrrega MPPT, segons les sigles en anglès, que significa "Maximum Power Point Tracker". Els reguladors MPPT permeten obtenir la màxima potència dels panells solars ja que treballen sempre en aquell punt.

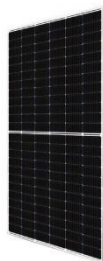
Taula 11. Especificacions de l'inversor SPS100, Font: Riello

Model inversor	SPS100
Regulador de càrrega MPPT	330V a 700V
Corrent màxima de càrrega	247A
Intensitat d'entrada màxima	260A
Tensió nominal	400Vca 3F
Freqüència	De 45 a 65Hz
Rated power (kVA)	100
Active power (KW)	90
Dimensions	800x800x1900 mm
Pes [Kg]	620

- Panells fotovoltaics.

Per escollir el panell fotovoltaic i el nombre d'aquests, haurem de partir de la potència necessària que requereix la instal·lació. Tot i que la potència mínima requerida calculada és de 60kW, partirem de 70kW, per possibles ampliacions futures a la instal·lació fotovoltaica, i sabent que el voltatge de la instal·lació és de 48V.

El panell escollit és de la marca *AlbaSolar* i el model és *Canadiana Solar 540W* i te les següents especificacions:



Il·lustració 27. Panell solar 540W, Font: Alba Solar

Taula 12. Especificacions panell solar 540W, Font: Alba Solar

Potència màxima [W]	540
tensió màxima potència [V]	48
Corrent màxima potència [A]	8,74
Tensió a circuit obert [V]	49,2
Corrent de curtcircuit [A]	13,9
Eficiència del mòdul	21,30%
Temperatura de funcionament [°C]	-40 a 85
Dimensions [mm]	2254x1135x35

Per tal de trobar el número de panells necessaris, dividirem la potència requerida amb la màxima del panell:

$$n^{\circ} \text{ panells} = \frac{70000W}{540W} = 130 \text{ panells fotovoltaics} \quad (\text{Equació 9.})$$

Un cop trobat el número de panells necessaris per assolir la potència requerida del centre de salut, haurem de distribuir aquests panells en sèrie i/o paral·lel. Per fer-ho partirem dels valors que ens defineixen l'inversor.

L'inversor al tenir un únic regulador de càrrega entre 330-700V, farem que la suma de panells en sèrie sumin un valor pròxim a 700V, però que no arribi a assolir-lo.

$$n^{\circ} \text{ panells en sèrie} = \frac{700V}{48V} = 14,58 \text{ panells} \quad (\text{Equació 10.})$$

El número de panells en sèrie màxim és de 14, per tant farem sèries de 13.

Per tal d'abastir la potència de 70kW i sabent que l'inversor només té 1MPPT i per tant cada fila en sèrie haurà de tenir el mateix voltatge i volem arribar als 130 panells fotovoltaics, farem **10 files en paral·lel de 13 panells cada una.**

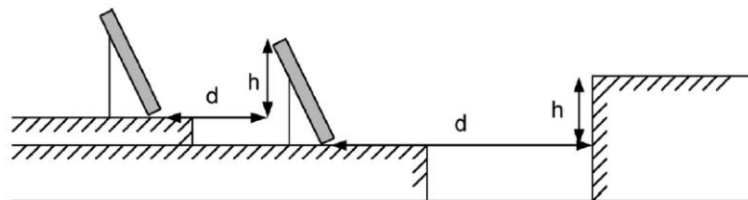
Aquests panells tindran una inclinació de 10° que ens ho proporcionarà la següent estructura.



Il·lustració 28. Estructura de suport pels panells fotovoltaics, Font: Sun Ballast

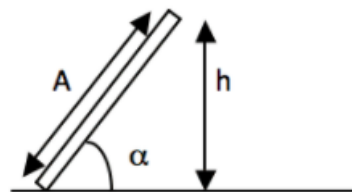
Per fer el dimensionament de les plaques solars, haurem de tenir en compte la distància entre plaques per evitar possibles ombres entre elles. Aplicarem la següent equació per trobar la distància d, on h és l'altura;

$$d = \frac{h}{\tan(61^{\circ} - \text{latitud})} \quad (\text{Equació 11.})$$



Il·lustració 29. Exemples de les magnituds h i d.

$$h = A \times \text{sen} \alpha = 1,135 \times \text{sen}(10^{\circ}) = 0,197m$$



Il·lustració 30. Altura en funció de la inclinació.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = \frac{0,197}{\tan(61^\circ - 11,837^\circ)} = 0,17m$$

La distància mínima que hauríem de tenir entre files de panells solar, segons l'altura, inclinació i localització, és de 0,17m. Aquesta és una distància molt petita i poc habitual a causa de la localitat de Maiduguri, ja que es troba molt pròxim a l'equador. Per tant la trajectòria del sol és menys obliqua i més recta en respecte el sol. Si mantinguéssim la distància mínima calculada, seria complicat realitzar la instal·lació i el manteniment per falta d'espai; així que es decideix mantenir una distància mínima d'un metre.

- Bateries.

La bateria escollida per aquest projecte ha estat *Ebick 280Pro* de la casa *CEGASA*, té un sistema modular d'emmagatzematge d'energia amb tecnologia Liti-LFP, la qual permet una vida útil de la instal·lació fins a 25 anys.



Il·lustració 31. Bateria Ebick 280Pro, Font: Cegasa

Les especificacions de la bateria són les següents:

Taula 13. Especificacions de la bateria escollida, Font: Cegasa

Dades generals	
Electroquímica	Liti-LFP
Tipus de cel·la	Prismàtica
Característiques elèctriques	
Voltatge nominal mòdul	48VDC
Capacitat nominal	280Ah
Característiques energètiques	
Cicles de vida (80% DoD)	>5000 cicles
Energia instal·lada	13,44 kWh
Característiques físiques	
Dimensions (Ample x Profunditat x Altura)	762 x 405 x 488 mm (±2 mm)
Pes	105 Kgs.
Condicions d'instal·lació	
Temperatura de treball recomanada	De 15°C a 30°C
Temperatura de treball en descàrrega	De -20°C a 55°C
Temperatura de treball en càrrega	De 0°C a 45°C

Pel nostre cas d'estudi el nombre de bateries el trobarem de la mateixa manera que el nombre de panells. Dividirem el voltatge nominal de l'inversor amb el de la bateria escollida, obtenint un nombre de 14,58 bateries. Tot i això, amb el mateix motiu que en els panells, s'ha decidit posar un número de 14 bateries en sèrie. Les bateries estaran distribuïdes en sèrie perquè volem que la configuració sigui d'alt voltatge, però mantenint la intensitat inicial de la instal·lació.

Com que el nombre màxim de bateries el limita l'inversor, s'ha decidit realitzar un estudi per veure la capacitat d'emmagatzematge que tindrien aquestes 14 bateries. D'aquesta manera veurem si aquest número de bateries és suficient per abastir les necessitats del centre de salut o serà necessari fer ús d'un generador extern.

Per fer l'anàlisi s'han agafat tres casos d'estudi; en condicions desfavorables – en el mes d'agost, condicions normals – el mes de juny i condicions més favorables – mes de maig. Les tres condicions han estat escollides a partir dels valors del coeficient *Cmd* de la Taula 9, que ens proporciona la relació de capacitat d'irradiació solar amb el consum. Com major sigui aquest coeficient menor és la capacitat i més desfavorables seran les condicions.

Abans d'iniciar l'estudi necessitem les dades mensuals de potència i irradiació de Maiduguri; per obtenir-les utilitzarem l'eina *PVGIS* de la *Comissió Europea* introduint les següents dades de la localitat i de la instal·lació fotovoltaica.

Taula 14. Dades de la localitat i instal·lació fotovoltaica, Font: *PVGIS*.

Latitude (decimal degrees):	11.837
Longitude (decimal degrees):	13.145
Elevation (m):	324
Radiation database:	PVGIS-SARAH
Slope:	10 deg.
Azimuth:	0 deg.
Nominal power of the PV system (c-Si) (kWp):	1.0
System losses (%):	21.0

L'estat inicial de la bateria ens el defineixen a la fitxa tècnica, mentre que el voltatge inicial del conjunt de bateries és la suma de cada una d'elles. La capacitat energètica per una bateria és el voltatge per la intensitat convertit a kWh; el resultat obtingut és de *13,44 kWh* i per tot el conjunt de les bateries és de *188,16 kWh*.

Taula 15. Condicions i capacitat de les bateries.

Capacitat nominal bat [Ah]:	280,00
Voltatge nominal bat [V]:	48,00
Voltatge total instal·lació [V]:	672,00
Nombre bat:	14,00
Capacitat ind bat[kWh]:	13,44
Capacitat total[kWh]:	188,16

Per començar amb l'anàlisi s'ha de decidir un punt de partida de les bateries; es decideix que les bateries comencin amb la capacitat total del conjunt; és a dir que inicialment les nostres bateries estaran completament carregades.

Estat inicial bat[kWh]:	188,16
-------------------------	--------

Taula 16. Anàlisi estat de les bateries i generador extern, segons generació i consum.

AGOST	Hora	P [kW]	Consum [kW]	Estat Bateria [kWh]	Estat bateria (%)	Consum generador ext.	Càrrega i descàrrega
20160802:0007	0,00	0,00	12,04	188,16	100,00%	0,00	-12,04
20160802:0107	1,00	0,00	12,04	176,12	93,60%	0,00	-12,04
20160802:0207	2,00	0,00	12,04	164,07	87,20%	0,00	-12,04
20160802:0307	3,00	0,00	12,04	152,03	80,80%	0,00	-12,04
20160802:0407	4,00	0,00	12,04	139,98	74,40%	0,00	-12,04
20160802:0507	5,00	0,00	12,04	127,94	67,99%	0,00	-12,04
20160802:0607	6,00	2,67	12,04	115,89	61,59%	0,00	-12,04
20160802:0707	7,00	14,00	12,04	117,85	62,63%	0,00	1,96
20160802:0807	8,00	12,64	24,76	93,10	49,48%	0,00	-24,76
20160802:0907	9,00	27,69	26,59	94,19	50,06%	0,00	1,10
20160802:1007	10,00	25,11	20,27	99,03	52,63%	0,00	4,83
20160802:1107	11,00	4,14	20,96	78,06	41,49%	0,00	-20,96
20160802:1207	12,00	30,06	25,29	82,83	44,02%	0,00	4,77
20160802:1307	13,00	23,69	25,29	57,55	30,58%	0,00	-25,29
20160802:1407	14,00	13,22	14,00	43,55	23,14%	0,00	-14,00
20160802:1507	15,00	8,04	9,67	33,87	18,00%	0,00	-9,67
20160802:1607	16,00	6,22	9,67	24,20	12,86%	0,00	-9,67
20160802:1707	17,00	0,68	12,74	11,45	6,09%	0,61	-12,74
20160802:1807	18,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	-11,45
20160802:1907	19,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160802:2007	20,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160802:2107	21,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160802:2207	22,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160802:2307	23,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160803:0007	0,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:0107	1,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:0207	2,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:0307	3,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:0407	4,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:0507	5,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:0607	6,00	6,12	12,04	0,00	0,00%	5,92	0,00
20160803:0707	7,00	14,05	12,04	2,01	1,07%	0,00	2,01
20160803:0807	8,00	9,35	24,76	0,00	0,00%	15,40	-2,01
20160803:0907	9,00	14,57	26,59	0,00	0,00%	12,02	0,00
20160803:1007	10,00	5,40	20,27	0,00	0,00%	14,87	0,00
20160803:1107	11,00	25,66	20,96	4,69	2,49%	0,00	4,69
20160803:1207	12,00	40,94	25,29	20,35	10,82%	0,00	15,66
20160803:1307	13,00	23,40	25,29	0,00	0,00%	1,88	-20,35
20160803:1407	14,00	19,46	14,00	5,46	2,90%	0,00	5,46
20160803:1507	15,00	19,33	9,67	15,11	8,03%	0,00	9,65
20160803:1607	16,00	8,94	9,67	5,44	2,89%	0,00	-9,67
20160803:1707	17,00	0,77	12,74	0,00	0,00%	11,97	-5,44
20160803:1807	18,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160803:1907	19,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160803:2007	20,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160803:2107	21,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160803:2207	22,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160803:2307	23,00	0,00	6,23	0,00	0,00%	6,23	0,00
20160804:0007	0,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160804:0107	1,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160804:0207	2,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160804:0307	3,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160804:0407	4,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160804:0507	5,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160804:0607	6,00	6,38	12,04	0,00	0,00%	5,66	0,00
20160804:0707	7,00	6,75	12,04	0,00	0,00%	5,30	0,00
20160804:0807	8,00	28,34	24,76	3,58	1,90%	0,00	3,58

20160804:0907	9,00	36,67	26,59	13,67	7,26%	0,00	10,08
20160804:1007	10,00	41,29	20,27	34,69	18,44%	0,00	21,02
20160804:1107	11,00	43,27	20,96	57,00	30,29%	0,00	22,31
20160804:1207	12,00	41,76	25,29	73,46	39,04%	0,00	16,47
20160804:1307	13,00	35,19	25,29	83,36	44,30%	0,00	9,90
20160804:1407	14,00	25,84	14,00	95,20	50,60%	0,00	11,84
20160804:1507	15,00	19,08	9,67	104,61	55,60%	0,00	9,41
20160804:1607	16,00	4,25	9,67	94,94	50,45%	0,00	-9,67
20160804:1707	17,00	0,05	12,74	82,19	43,68%	0,00	-12,74
20160804:1807	18,00	0,00	12,04	70,15	37,28%	0,00	-12,04
20160804:1907	19,00	0,00	6,23	63,92	33,97%	0,00	-6,23
20160804:2007	20,00	0,00	6,23	57,69	30,66%	0,00	-6,23
20160804:2107	21,00	0,00	6,23	51,46	27,35%	0,00	-6,23
20160804:2207	22,00	0,00	6,23	45,23	24,04%	0,00	-6,23
20160804:2307	23,00	0,00	6,23	39,00	20,73%	0,00	-6,23
20160805:0007	0,00	0,00	12,04	26,96	14,33%	0,00	-12,04
20160805:0107	1,00	0,00	12,04	14,91	7,93%	0,00	-12,04
20160805:0207	2,00	0,00	12,04	2,87	1,52%	9,18	-12,04
20160805:0307	3,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	-2,87
20160805:0407	4,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160805:0507	5,00	0,00	12,04	0,00	0,00%	12,04	0,00
20160805:0607	6,00	1,07	12,04	0,00	0,00%	10,98	0,00
20160805:0707	7,00	14,44	12,04	2,40	1,27%	0,00	2,40
20160805:0807	8,00	29,09	24,76	6,73	3,57%	0,00	4,33
20160805:0907	9,00	35,78	26,59	15,91	8,46%	0,00	9,19
20160805:1007	10,00	36,55	20,27	32,19	17,11%	0,00	16,28
20160805:1107	11,00	42,67	20,96	53,90	28,65%	0,00	21,71
20160805:1207	12,00	44,05	25,29	72,66	38,61%	0,00	18,76
20160805:1307	13,00	39,64	25,29	87,01	46,24%	0,00	14,35
20160805:1407	14,00	30,62	14,00	103,62	55,07%	0,00	16,61
20160805:1507	15,00	20,63	9,67	114,58	60,90%	0,00	10,96
20160805:1607	16,00	8,86	9,67	104,91	55,75%	0,00	-9,67
20160805:1707	17,00	0,73	12,74	92,16	48,98%	0,00	-12,74
20160805:1807	18,00	0,00	12,04	80,12	42,58%	0,00	-12,04
20160805:1907	19,00	0,00	6,23	73,89	39,27%	0,00	-6,23
20160805:2007	20,00	0,00	6,23	67,66	35,96%	0,00	-6,23
20160805:2107	21,00	0,00	6,23	61,43	32,65%	0,00	-6,23
20160805:2207	22,00	0,00	6,23	55,20	29,34%	0,00	-6,23
20160805:2307	23,00	0,00	6,23	48,97	26,03%	0,00	-6,23

La taula anterior és el recull i l'evolució de l'estat de la bateria durant quatre dies del mes d'agost. Els valors de la columna 'consum' corresponen al consum per hora en kWh del mes d'agost calculats a la

Taula 6. L'estat de la bateria s'inicia amb la màxima capacitat, tal com s'ha dit, i el seu valor varia segons el consum i la generació d'energia solar; l'estat de la bateria ha seguit la següent condició:

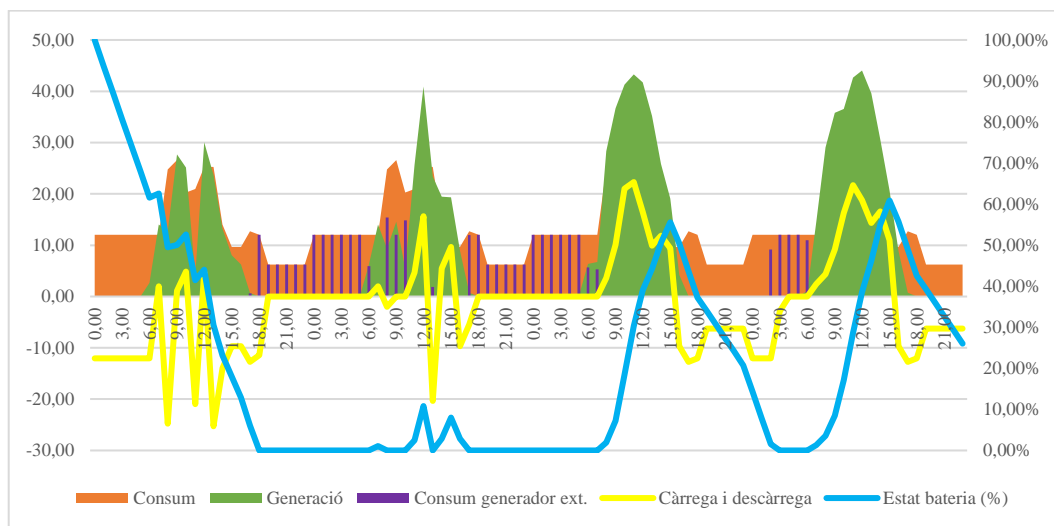
=SI(condició; valor de condició cert; valor de condició fals)

=SI(generació>consum;MIN(estat inicial bat;(estat bateria anterior + generació - consum);SI(consum>estat bateria;0;estat bateria - consum))

La càrrega i descàrrega de la bateria és la resta de l'estat de l'hora anterior de la bateria amb l'actual. I el consum del generador extern serà diferent de 0 quan la generació d'energia i l'estat de la bateria sigui igual o menor al consum; segueix la següent condició:

$$=SI((\text{generació} + \text{estat bateria}) > \text{consum}; 0; \text{consum} - (\text{generació} + \text{estat bateria}))$$

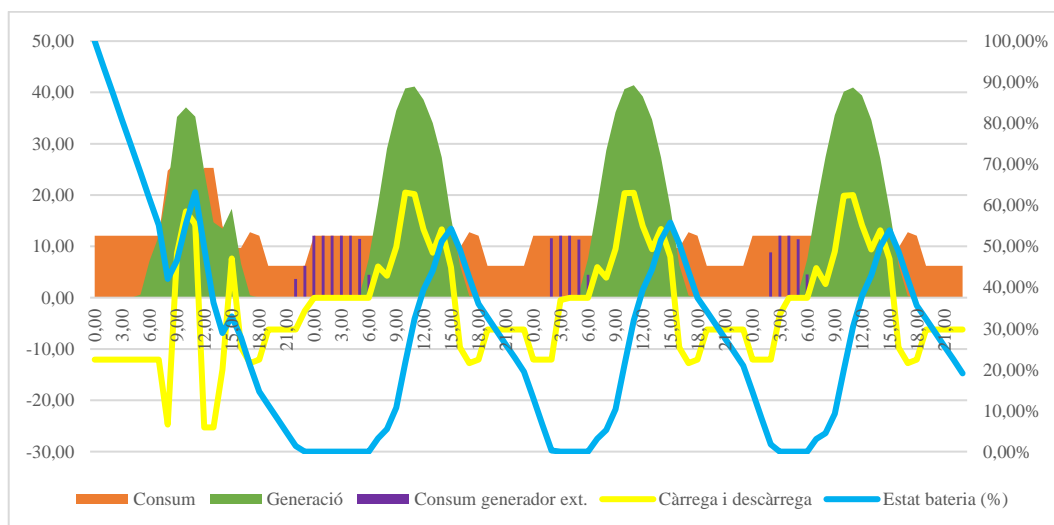
Les gràfiques obtingudes de l'evolució de l'estat de la bateria i del generador en relació al consum i a la generació, pel mes d'agost, juny i gener, són les següents:



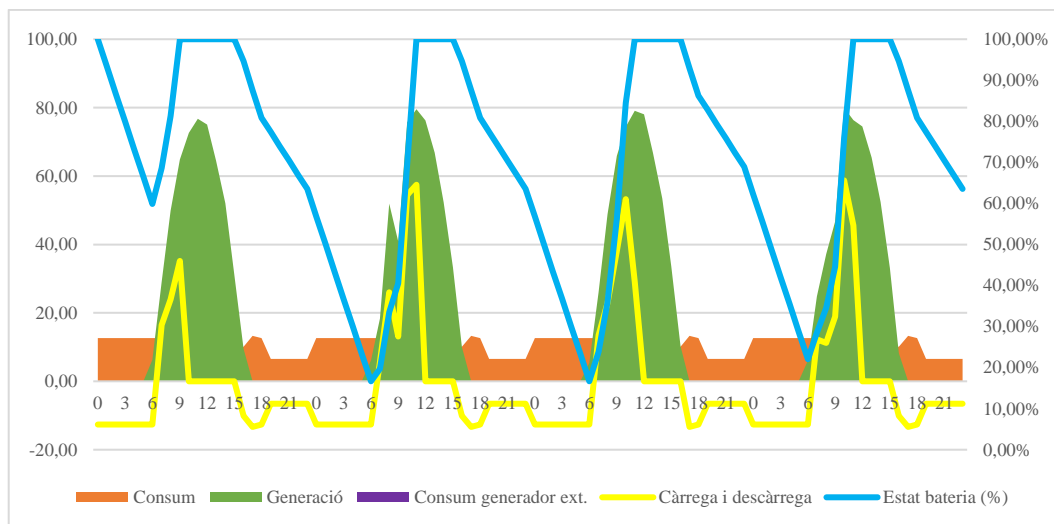
Il·lustració 32. Generació i consum en kW per H – Agost

En la gràfica de la Il·lustració 32 avaluem, durant quatre dies del mes d'agost, el consum energètic que es fa a l'hospital rural amb la capacitat de generació fotovoltaica. Si el consum és major a la generació, les bateries es comencen a descarregar, com es pot observar a l'inici de la gràfica; l'estat de la bateria inicia completament carregada i es va descarregant, amb petites càrregues degudes a la generació, fins a arribar al 0%. Un cop la bateria arriba al 0%, el generador extern comença a funcionar.

A continuació s'ha decidit fer el mateix estudi, seguint els mateixos passos per els mesos de juny i gener.



Il·lustració 33. Generació i consum en kW per H – Juny



Il·lustració 34. Generació i consum en kW per H - Gener

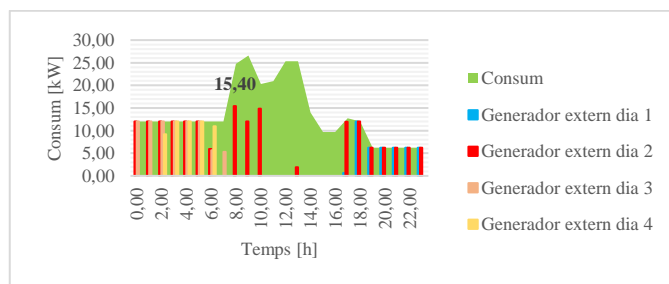
Les gràfiques anteriors ens proporcionen la informació necessària per poder validar el dimensionament realitzat. Observem que agost és el mes que més es necessitarà el generador extern, ja que la generació d'irradiació solar no és suficient per abastir el consum de l'hospital i alhora recarregar les bateries. El mes de juny té el mateix consum que el mes d'agost, però com la generació d'irradiació solar és major, podem veure com la generació del generador extern disminueix considerablement.

El mes de gener, tot i ser un dels mesos amb més consum energètic, en tenir una capacitat de generació de radiació solar tan elevada el consum del generador extern és inexistent. Per tant, podem afirmar a partir dels resultats del mes de juny i gener que la instal·lació fotovoltaica dimensionada és correcta i suficient per quasi abastir energèticament sense necessitat del generador extern.

- Grup d'electrògens.

Els grups d'electrògens s'utilitzen per produir, només, la potència necessària en un moment donat [2]. El grup només s'utilitza quan l'energia de la bateria i dels recursos renovables és insuficient per subministrar la càrrega. El funcionament és igual que el d'un vehicle híbrid.

Hem pogut veure amb l'anàlisi anterior de les bateries que serà necessari un grup d'electrògens que doni suport a la instal·lació fotovoltaica. Per poder escollir-lo partirem de la potència màxima que haurà d'enfrontar-se el generador extern, aquest valor el trobarem analitzant els resultats obtinguts del consum del generador extern en les condicions del mes d'agost.



Il·lustració 35. Consum generador extern en les pitjors condicions climàtiques - Agost

A partir del gràfic anterior extraïem la necessitat màxima de consum amb un valor de $15,40kW$. Tot i que aquesta seria la màxima potència de consum que caldria abastir en les condicions més desfavorables, s'ha volgut contemplar la possibilitat de tenir un dèficit solar durant diversos dies.

Per això es decideix agafar un generador extern capaç d'abastir la potència màxima que es pugui assolir a l'hospital considerant que no hi ha radiació, aquesta té un valor de $27,81 kW$.

S'ha escollit el model de generador dièsel *GTW30P* de l'empresa *Pramac*, que pot subministrar fins a $31,5kW$.



Il·lustració 36. Generador extern dièsel - Pramac GTW30P, Font: Pramac.

Especificacions tècniques del grup generador dièsel:

Taula 17. Especificacions del generador extern, Font: Pramac.

Energia de reserva d'emergència (ESP)	31,5kW
Potència principal	28,6kW
Voltatge	4400/254V
Freqüència	60Hz
Fases	3
Combustible	Diesel

En referència al dipòsit de dièsel, consta d'un bastidor amb un dipòsit de combustible metàl·lic integrat, per una capacitat de 120L.

Taula 18. Dimensions i capacitat generador extern, Font: Pramac

Longitud [mm]	2110
Ample [mm]	1135
Altura [mm]	1304
Pes [kg]	1079
Material del dipòsit	Metall
Capacitat del dipòsit [L]	120

4.6.2 Dimensionament tèrmic

Mitjançant els valors obtinguts de les demandes de calefacció i refrigeració s'escollirà una bomba de calor geotèrmica. Altrament, a partir d'aquests valors i dels valors obtinguts de la temperatura del terreny en relació a la profunditat, s'escollirà la configuració de l'intercanviador.

Després de calcular la demanda màxima de calefacció i la demanda màxima de refrigeració, s'ha escollit la bomba de calor *Dynanciat LG aigua-aigua*. Aquesta bomba de calor està dissenyada per

refredar i/o escalfar les instal·lacions d'edificis residencials, industrials i del sector terciari, així com centres sanitaris. Es poden connectar a emissors com sistemes de terra radiant/fred, unitats de confort i unitats de tractament de l'aire.

Il·lustració 37. Característiques de la bomba de calor geotèrmica, Font: Ciat

Modelos	Refrigeración ⁽¹⁾			Calefacción ⁽¹⁾				Nivel de potencia sonora		Dimensiones mm			Peso kg
	P _f ⁽²⁾ kW	EER ⁽²⁾ kW/kW	SEER kW/kW	P _c ⁽²⁾ kW	COP ⁽²⁾ kW/kW	SCOP ⁽²⁾ kW/kW	Clase energética	Lw d[B(A)]		Largo	Ancho	Alto	
								Standard	Low Noise				
260A	84	4,58	5,45	101	5,42	6,01	-	73	69	880	1474	901	413
300A	94	4,62	5,41	114	5,47	6,03	-	73	70	880	1474	901	441
360A	115	4,78	6,05	137	5,60	6,24	-	76	73	880	1583	1574	707

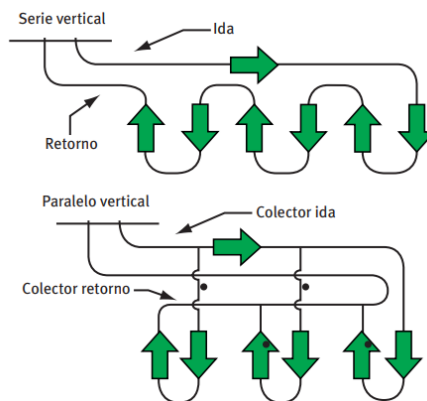
- Equip compacte, per tal que ocupi poca superfície.
- Disposa de dos circuits frigorífics independents.
- Fluid refrigerant: R410a.



Il·lustració 38 Bomba de Calor DYNANCIAT LG aigua-aigua, Font: Ciat

El refrigerant és el que ens permetrà transportar la calor i el fred, per tant, és important que aquest sigui respectuós amb el medi ambient. El refrigerant de la bomba de calor in situ, és el HFC R410A; aquest és respectuós amb la capa d'ozó, i compleix els requisits més exigents quant a protecció ambiental i d'alta eficiència energètica estacional (ESEER).

La configuració de sondejos escollida ha estat la vertical, ja que aquesta permet la execució de grans instal·lacions amb una perfecte integració a l'edificació. Les opcions de fluxos a escollir de la configuració vertical són; en sèrie o paral·lel, tal i com es poden veure a la següent il·lustració, l'escollida ha estat en sèrie.



Il·lustració 39. Flux en sèrie/paral·lel en configuració vertical, Font: Guia Tècnica de la Geotèrmia

La distància entre sondejos ha de respectar la distància mínima de l'edifici de 2 metres i una distància mínima entre els propis sondejos de 6 metres. Per trobar la longitud dels sondejos es pot determinar per calefacció i refrigeració mitjançant les següents expressions. Aquestes expressions són vàlides tant per intercanviadors verticals com horitzontals.

$$L_{calefacció} = \frac{Q_{calefacció} \cdot \frac{COP_{calefacció} - 1}{COP_{calefacció}} (R_p + R_s \cdot F_{calefacció})}{T_L - T_{MIN}} \quad (\text{Equació 11.})$$

$$L_{refrigeració} = \frac{Q_{refrigeració} \cdot \frac{COP_{refrigeració} + 1}{COP_{refrigeració}} (R_p + R_s \cdot F_{refrigeració})}{T_{MAX} - T_H} \quad (\text{Equació 12.})$$

On:

T_L : Temperatura mínima del terreny [°C], agafarem la profunditat de 15 metres:

$$T_L = T_m - A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} = 27,20^\circ C \quad (\text{Equació 13.})$$

T_H : Temperatura màxima del terreny [°C], agafarem la profunditat de 15 metres:

$$T_H = T_m + A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} = 28,30^\circ C \quad (\text{Equació 14.})$$

Un paràmetre clau que s'ha de tenir en compte és la temperatura del fluid que circula per l'intercanviador de calor enterrat. S'ha de trobar el compromís òptim entre dues consideracions:

- Com més baixa sigui la temperatura a l'hivern (més alta a l'estiu), més gran serà la diferència amb la temperatura del terra, i menor haurà de ser l'intercanviador enterrat per al mateix intercanvi de calor, de manera que els costos d'inversió seran menors.
- Com més alt sigui la temperatura a l'hivern (més baixa a l'estiu), més gran serà el COP del sistema, de manera que l'estalvi energètic serà més gran.

Per tant, és important fixar les temperatures màximes i mínimes de treball. A partir de les següents equacions;

$$T_{sortida,c} = T_{entrada,c} - \frac{P_c \cdot \frac{COP - 1}{COP}}{C_p \left(\frac{q}{3.600}\right)} \quad (\text{Equació 15.})$$

$$T_{sortida,f} = T_{entrada,f} + \frac{P_f \cdot \frac{EER + 1}{EER}}{C_p \left(\frac{q}{3.600}\right)} \quad (\text{Equació 16.})$$

On:

C_p : Calor específic de l'aigua a 15°C, 4,187(kJ/Kg·K)

$T_{entrada,f} = 30^\circ C$

$T_{entrada,c} = 12^\circ C$

P_f : Potència bomba calor refrigeració = 94kW

P_c : Potència bomba calor calefacció = 114kW

COP = 5,47

EER = 4,62

q: Caudal = 3.300 l/h

$$T_{sortida,c} = -12,23^{\circ}C$$

$$T_{sortida,f} = 49,19^{\circ}C$$

T_{MIN} : Temperatura mínima d'entrada del fluid a la bomba de calor [$^{\circ}C$]

$$T_{MIN} = \frac{1}{2}(12 - 12,23) = -0,12^{\circ}C$$

T_{MAX} : Temperatura màxima d'entrada del fluid a la bomba de calor [$^{\circ}C$]

$$T_{MAX} = \frac{1}{2}(30 + 49,19) = 39,6^{\circ}C$$

R_p : Resistència dels tubs del flux de calor, per aquest valor s'ha considerat la canonada de PE₁₀₀ PN₁₀ DN 1", el qual té un valor de 0,0645 K/(W/m).

R_s = 1,6K/(W/m) amb un factor d'utilització de 0,15

Ara ja podem passar a calcular les longituds. Com l'intercanviador funcionarà en els dos modes, prendrem la longitud més desfavorable:

$$L_{calefacció} = 94,45m$$

$$L_{refrigeració} = 122,47m$$

Les equacions utilitzades són una simplificació de Ingersoll, Kavanaugh i Rafferty (1997). No tenen en compte el possible desequilibri tèrmic a llarg termini que podria alterar la temperatura del sòl, si hi ha diferències significatives entre la calor injectada i extreta a terra durant un llarg període d'anys.

Aquesta simplificació, però, és acceptable en el cas d'un estat d'avaluació preliminar.

Amb el valor de la longitud necessària i dividint per 2, ja que els sondejos són de pujada i baixada i tenint en compte que el màxim que pot tenir cada pou és de 120 metres, trobem el número de pous necessaris i la seva longitud:

Taula 19. Resultats n° pous i longituds

RESULTATS			
	Longitud [m]	N° pous	Longitud pou[m]
Calefacció	94,45	1	47,23
Refrigeració	122,47	2	30,62

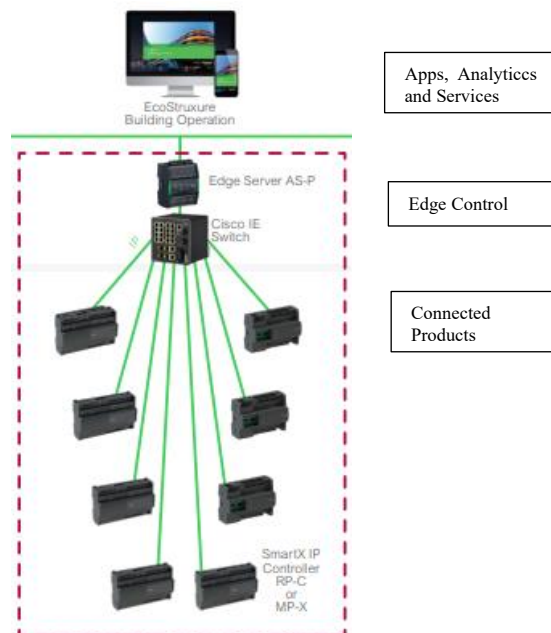
Per tant, necessitarem dos pous cada un de 30,62 metres de profunditat.

4.6.3 Controlador

Els Objectius de Desenvolupament Sostenible descrits anteriorment, [3], no només volen reduir les emissions d'efecte hivernacle i garantir l'accés a una energia estable a totes les comunitats rurals; sinó també, volen que aquesta energia sigui gestionada intel·ligentment per tal que sigui el màxim d'eficient possible.

La gestió que es vol garantir haurà de ser pel sistema dimensionat que consta de; l'inversor; grup d'electrògens, el conjunt fotovoltaic i les bateries, el conjunt geotèrmic; la bomba de calor geotèrmica, calefacció i l'ACS, i la il·luminació.

A partir del producte *EcoStruxure™ Building Operation software* de *Schneider*, podem definir què i com serà l'arquitectura del nostre sistema de control. L'escollida ha estat la següent [17]:



Il·lustració 40. Arquitectura del EcoStruxure Building. Font: Schneider

L'arquitectura estarà composta per:

- 1 – *EcoStruxure Building Operation*: el cor de control del sistema per supervisar, gestionar i controlar els sistemes de l'edifici. Amb una plataforma d'integració oberta, facilita de forma segura l'intercanvi de dades tant de *Schneider Electric* com de sistemes de gestió d'energia, il·luminació, HVAC, seguretat contra incendis i seguretat.
- 1 – *Enterprise Server*: és l'únic punt d'administració a través de WorkStation, WebStation i aplicacions mòbils. Enterprise Server recopila dades de tots els llocs i configura, controla i supervisa tot el sistema. L'escollit ha estat el model *Smart Edge Server AS-P* de *Schneider*.
- 3 – *SmartX IP Controllers – RP-C*: permet realitzar el control sobre una de les sales de l'hospital. Els 3 controladors estaran enfocats a gestionar les llums, el grup de la bomba de calor geotèrmica i el grup de l'inversor. Ja que l'inversor, com la bomba de calor geotèrmica tenen incorporats controladors per gestionar les parts adjacents. Per tant, els controladors que s'afegeiran seran per captar la informació i poder analitzar-la.



Il·lustració 41. SmartX IP Controller - RP-C, Font: Schneider

- 10 – SmartX Sensors: sensors distribuïts a les diverses zones de l'edifici que es connecten amb el controlador de zona (RP-C). Tant per temperatura, com per la monitorització de la qualitat de l'aire.

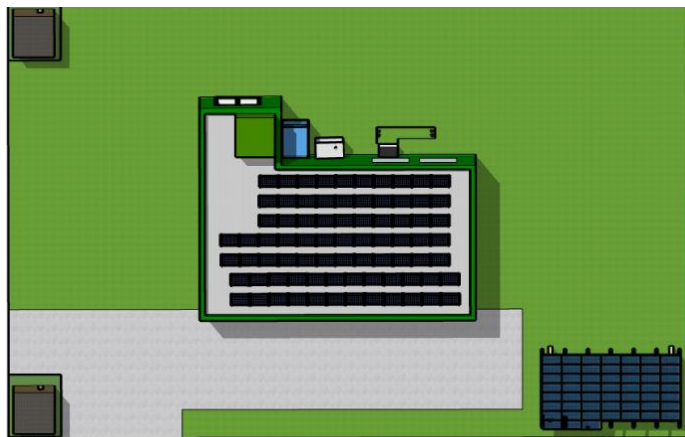


Il·lustració 42. SmartX Sensor, Font: Schneider

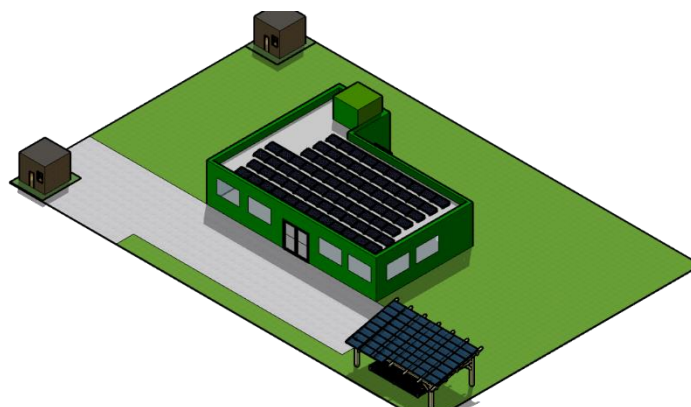
4.6.4 Distribució del dimensionament a l'espai – mitjançant SketchUp

Per poder organitzar en l'espai tots els elements del dimensionament off-grid, s'ha optat per fer un dimensionament en 3D, mitjançant el programari *SketchUp* seguint les normatives del document [13]. D'aquesta manera podrem visualitzar amb més claredat la capacitat d'espai del qual disposem.

Primer, com s'ha comentat anteriorment, s'ha distribuït l'espai del terreny de l'hospital amb els edificis centrals tal i com es pot veure a la Il·lustració 15. Seguidament, a la Il·lustració 43, podem observar la distribució de les plaques solars escollides. A l'edifici central hi trobem 78 panells solars que corresponen a 6 de les 10 files en paral·lel, amb 13 panells en sèrie cada una. Per capacitats dimensionals, es decideix afegir una pèrgola que compondrà les altres 4 files en paral·lel amb 13 panells cada una. Aquesta pèrgola, en el dimensionament en 3D, s'ha aprofitat per donar-li ús com a hort.



Il·lustració 43. Dimensionament plaques solars, SketchUp.



Il·lustració 44. Visió perifèrica de la instal·lació fotovoltaica, SketchUp.

Un cop definida la instal·lació fotovoltaica, haurem d'ubicar a l'espai l'inversor i les bateries. Per fer-ho primer haurem de saber en quines condicions de contorn han d'estar aquests elements, per tal que els seus rendiments no es vegin afectats.

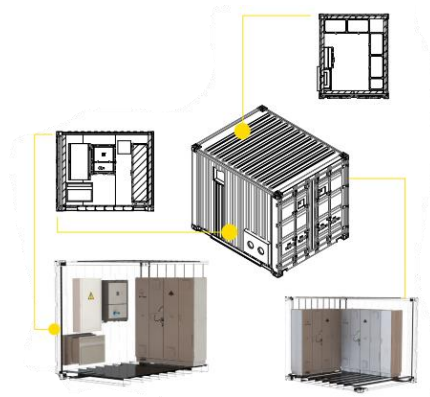
Tot i que les bateries escollides poden treballar en un major rang de temperatures, aquestes estaran exposades a canvis extrems i sobretot a altes temperatures. Per això, es decideix que aquests elements estiguin resguardats en un espai per mantenir la seva vida útil. L'espai escollit ha estat un contenidor marítim, el qual permet una bona mobilitat dels elements per ser transportats, ofereix durabilitat i robustesa i seguretat, ja que genera un entorn segur amb tots els elements de detecció/extinció d'incendis, prevé possibles robatoris i possibilita l'operació en qualsevol entorn. També garanteix un rendiment òptim de les condicions de temperatura i humitat de treball per les bateries i inversor. Idea pròpia de l'empresa *BeePlanet Factory*.

El contenidor escollit és el que observem a la següent il·lustració, de dimensions 10''.



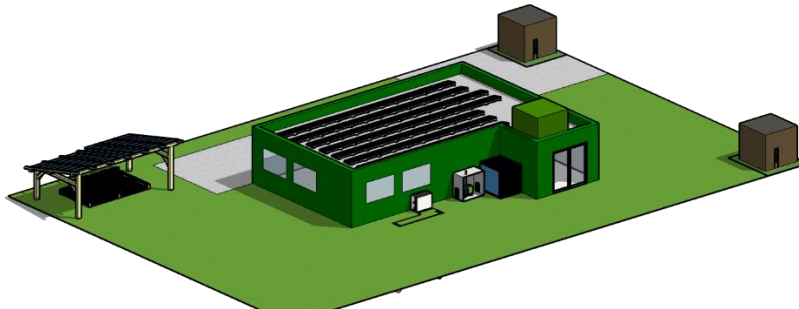
Il·lustració 45. Contenidor de dimensions 10'', Font: Zarca.

Contindrà els elements especificats anteriorment: l'inversor, les bateries, el controlador, les proteccions necessàries, climatització i detecció d'incendis amb extractor. L'organització escollida dels elements dins del contenidor seguirà la de la Il·lustració 46:

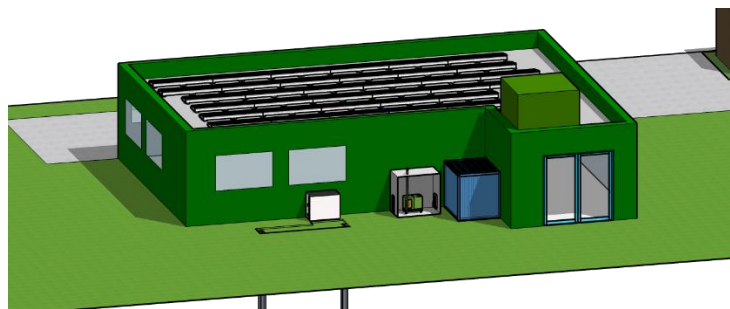


Il·lustració 46 Distribució dels elements dins del contenidor; Font: BeePlanet

Localitzarem el contenidor darrera de l'hospital, proper al generador extern, tal com es mostra a la següent il·lustració.

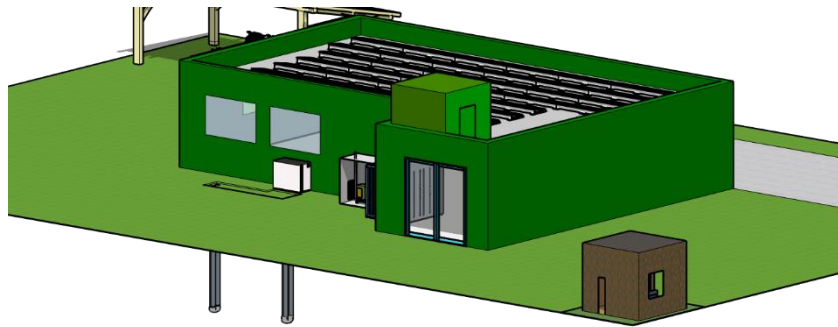


Il·lustració 47. Ubicació generador extern i contenidor, SketchUp.



Il·lustració 48. Zoom de la ubicació del contenidor i del generador extern, SketchUp

En relació a la ubicació de la instal·lació geotèrmica, la qual engloba la bomba de calor geotèrmica i les perforacions, estarà ubicada al costat del generador extern darrera de l'hospital rural. A la il·lustració podem veure com estan fetes les perforacions i que aquestes mantenen les distàncies recomanades anteriorment, a l'apartat del dimensionament tèrmic.



Il·lustració 49. Ubicació instal·lació geotèrmica, SketchUP.

Podem afirmar que el disseny del dimensionament en 3D, representa en precisió cada un dels elements descrits al llarg del projecte i del funcionament que tindran al centre de salut. També és un disseny representatiu perquè està dimensionat a escala real.

Capítol 5

Pressupost

El pressupost d'aquest treball comptabilitza la recerca i el desenvolupament del treball presentat; del dimensionament de l'hospital rural de la zona rural de Maiduguri, Nigèria, així com els recursos necessaris utilitzats.

Es considera que el projecte té una duració de 2 mesos i 3 setmanes, desglossat en dies i activitats tal com es pot veure al cronograma de la Il·lustració 50.

El pressupost del conjunt del treball s'ha dividit en quatre apartats, els quals la suma dels quatre, fan el pressupost total de la instal·lació. Cal tenir en compte que s'ha aplicat un descompte del 45% en tots els elements de la instal·lació sobre el valor de transacció, per distribuïdora.

5.1 Pressupost instal·lació fotovoltaica

Per desenvolupar el pressupost de la instal·lació fotovoltaica s'ha comptabilitzat el preu dels elements que componen la instal·lació de la mateixa i el grup d'electrògens:

Taula 20. Pressupost instal·lació fotovoltaica.

CONCEPTE	PREU UNITARI (€/u)	45% DESCOMPTE (€)	UNITATS (u)	COST (€)
INVERSOR	16.696,44 €	9.183,04 €	1	9.183,04 €
PANELLS	282,20 €	155,21 €	130	20.177,30 €
BATERIES	4.895,10 €	2.692,31 €	14	37.692,27 €
SUPORT PANELLS	84,00 €	46,20 €	78	3.603,60 €
CONTENIDOR	3.300,00 €	1.815,00 €	1	1.815,00 €
PÈRGOLA - HORT	3.160,00 €	1.738,00 €	1	1.738,00 €
GRUP D'ELECTROGENS	10.051,00 €	5.528,05 €	1	5.528,05 €
SUBTOTAL (€)				79.737,26 €

5.2 Pressupost instal·lació geotèrmica

Tot i que el dimensionament del sistema geotèrmic realitzat només engloba la bomba de calor i els sondejos necessaris, s'ha decidit incloure dins del pressupost, tots els elements necessari per un sistema tèrmic. Entre ells, el dipòsit d'ACS i el terra radiant, obtenim la següent taula:

Taula 21. Pressupost sistema geotèrmic.

CONCEPTE	PREU UNITARI (€/u)	45% DESCOMPTE (€)	UNITATS	COST (€)
BOMBA DE CALOR g	16.450,00 €	9.047,50 €	1	9.047,50 €
COLECTORS (CANONADES)	13,57 €	7,46 €	150	1.119,53 €
PERFORACIONS	50,00 €	27,50 €	123	3.382,50 €
FLUID CALOPORTADOR	6,00 €	3,30 €	180	594,00 €
TERRA RADIANT	2,12 €	1,17 €	1333,33	1.554,67 €
PANEL·L AÏLLANT	15,69 €	8,63 €	1333,33	11.506,00 €
DIPÒSIT ACS	1.600,00 €	880,00 €	1	880,00 €
SUBTOTAL (€)				28.084,19 €

5.3 Pressupost sistemes de control

Taula 22. Pressupost sistema de control - Schneider.

CONCEPTE	PREU UNITARI (€/u)	45% DESCOMPTE (€)	UNITATS	COST (€)
ECOSTRUXURE BUILDING OPERATION	2.156,00 €	1.185,80 €	1	1.185,80 €
SMART EDGE SERVER AS-P	2.120,00 €	1.166,00 €	1	1.166,00 €
SMARTX IP CONTROLLERS - RP-C	321,00 €	176,55 €	3	529,65 €
MÒDUL SMARTX SENSORS	184,00 €	212,30 €	10	1012,00 €
SUBTOTAL (€)				3.893,45 €

5.4 Pressupost personal

En aquest apartat es qualifiquen les hores dels professionals participants en l'execució del projecte, el transport del personal fins a la localitat, l'allotjament i les dietes. Tenint en compte que els dies treballats pel personal de mà d'obra es comptabilitzen a partir del transcurs d'un mes i una setmana i es requerirà 10 persones.

Taula 23. Pressupost costs de personal necessari.

CONCEPTE	PREU HORA (€/h)	HORES	COST (€)
ENGINYER 1	40,00 €	400	16.000,00 €
ENGINYER 2	30,00 €	320	9.600,00 €
AJUDANT TÈCNIC 1	20,00 €	175	3.500,00 €
MÀ D'OBRA	8,50 €	2400	20.400,00 €
SUBTOTAL (€)			49.500,00 €
TRANSPORT PERSONAL	325,00 €	4	1.300,00 €
ALLOTJAMENT	20,00 €	70	1.400,00 €
DIETES	20,00 €	140	2.800,00 €
SUBTOTAL (€)			5.500,00 €

5.5 Pressupost total del projecte

Finalment, el pressupost total d'execució del projecte, sumant cada una de les parts anteriors i el cost del transport de tot el material fins a la localitat, ascendeix fins a 167.714,90 €.

Taula 24. Pressupost total del projecte.

CONCEPTE	COST (€)
INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA	79.737,26 €
INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA	28.084,19 €
SISTEMES DE CONTROL	3.893,45 €
PERSONAL D'ENGINYERIA	55.000,00 €
TRANSPORT MATERIAL	1.000,00 €
SUBTOTAL (€)	167.714,90 €

Viabilitat Econòmica

La viabilitat econòmica del projecte s'ha decidit estudiar en dues parts; la primera s'estudia la del sistema fotovoltaica i el generador extern, i a la segona, la viabilitat de la instal·lació geotèrmic.

6.1 Viabilitat del sistema fotovoltaic

Per aquesta part s'ha començat calculant el consum estimat que es genera a l'hospital rural en un any sencer. Després s'han analitzat dos casos d'estudi de costos: primer s'ha calculat el cost que comportarà si l'energia és proporcionada per les fonts solar i el grup d'electrògens, el segon, el cost del mateix consum si només fos subministrat pel generador extern. En acabat es compararan els dos valors i podrem trobar l'estalvi anual.

Els valors del consum de l'hospital s'aconsegueixen a partir dels càlculs realitzats a la

Taula 6, utilitzant aquests per cada dia de l'any segons el mes.

Per diferenciar el consum que és subministrat per la font fotovoltaica i la del generador extern, se seguirà el procediment desenvolupat a la

Taula 16 per cada dia de l'any, i se sumaran tots els consums per trobar els totals. Els valors obtinguts són els següents:

Taula 25. Consum energètic de les dues fonts

FONT D'ALIMENTACIÓ	ENERGIA [kWh]
Sistema Fotovoltaic	106499,25
Generador Extern	15471,41
TOTAL:	121970,66

Entenent que el cost que comporta el subministra de la generació solar és nul, calcularem el cost del diesel, el qual serveix per alimentar el generador extern. Per fer-ho, primer haurem de convertir el kWh consumits del generador extern a grams de dièsel, a la fitxa tècnica del generador extern observem que ens indiquen que aquest consumeix 222,60 g/kWh. Multiplicarem aquesta relació amb el total de consum i el resultat el multiplicarem per 1000 per convertir-ho a litres.

Actualment, el preu del dièsel té un preu d'1,36 €/L. Finalment, per trobar el cost, multiplicarem el consum en litres pel preu. Aquest procediment el podem veure reflectit a la següent taula.

Taula 26. Cost energètic – Cas 1: fonts solar i generador extern.

FONT D'ALIMENTACIÓ	ENERGIA CONSUMIDA [kWh]	g DIESEL	L DIESEL	PREU CONSUM [€]	PREU DEL kWh [€/kWh]
Sistema Fotovoltaic	106499,25	0	0	0	0
Generador Extern	15471,41	3443936,05	3443,94	4.673,42	0,30
TOTAL:	121970,66			4.673,42	0,04

Si només tinguéssim la font del generador extern, aquesta consumiria el total de les dues anteriors i seguint els passos de la Taula 26, obtindrem el següent cost:

Taula 27. Cost energètic – Cas 2: font generador extern.

FONT D'ALIMENTACIÓ	Energia consumida [kWh]	g de diesel	L de diesel	Preu consum [€]	Preu del kWh [€/kWh]
Generador Extern	121970,66	27150668,20	27150,67	36.843,46	0,30

Amb els valors del cost del consum de cada un dels casos, restem els respectius valors i trobem l'estalvi anual.

Taula 28. Estalvi anual - Sistema fotovoltaic

CAS D'ESTUDI	COST [€]
CAS 1	4.673,42
CAS 2	36.843,46
ESTALVI ANUAL:	32.170,04

L'estalvi anual que representa la nostra instal·lació fotovoltaica té un cost de 32.170,04 € per any.

A continuació es calcularà l'amortització de la instal·lació fotovoltaica dividint el cost de la inversió inicial entre l'estalvi anual. Cal remarcar, que dins de la inversió inicial s'inclouen tots els costos excepte els de

Taula 21; és a dir, el cost de la instal·lació geotèrmica. Per tant, l'amortització augmentarà degut a que s'inclouen costos de personal, controladors i transport que correspondrien al sistema geotèrmic.

Taula 29. Amortització - Sistema fotovoltaic.

AMORTITZACIÓ	COST [€]
INVERSIÓ INICIAL	138.902,51
ESTALVI ANUAL	32.170,04
ANYS:	4,32

Amortitzarem la nostra instal·lació aproximadament amb 4 anys i 4 mesos. Tot i això podem estimar que aquesta amortització disminueixi a mesura que passen els anys, a causa del continu augment en el preu del dièsel. [18]

6.2 Viabilitat del sistema geotèrmic

El benefici econòmic que representa una bomba de calor geotèrmica s'obté en la forma d'estalvi energètic. Aquest estalvi energètic s'obté en el moment que es produeix una energia tèrmica a un preu inferior al que es pot obtenir amb tecnologies tradicionals.

Per la instal·lació tèrmica es calcularà un consum estimat de refrigeració i calefacció, per tot l'any, segons la Taula 1, que ens informa de la temperatura mensual, i suposant les hores de climatització que seran necessàries. La viabilitat es realitzarà comparant l'energia consumida amb la bomba de calor geotèrmica amb el consum d'una bomba de calor convencional.

Imposant que les condicions de temperatura desitjades a l'interior de l'hospital rural són les següents:

Taula 30. Temperatura desitjada a l'interior de l'Hospital Rural.

ESTACIÓ	TEMPERATURA OPERATIVA [°C]	HUMITAT RELATIVA [%]
HIVERN	21-23	45-60
ESTIU	23-25	40-50

I estimant un total d'hores anuals de calefacció de 514 hores i de refrigeració 680 hores, segons la temperatura mitjana mensual, calculem el consum energètic anual de calefacció i refrigeració amb el sistema geotèrmic, obtenim:

Taula 31. Consum energètic - Cas 1: Sistema geotèrmic.

CARACTERÍSTIQUES DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÈRMICA				
	CAPACITAT [kW]	EFICIÈNCIA	CONSUM [kW]	CONSUM ENERGÈTIC ANUAL [kWh]
CALEFACCIÓ	114,00	5,47	20,84	10712,25
REFRIGERACIÓ	94,00	4,62	20,35	13835,50
CONSUM TOTAL				24547,75

Ara calcularem el consum, amb les mateixes necessitats, en el cas que utilitzéssim una bomba de calor convencional. Per aquest cas s'ha agafat d'exemple una bomba amb les mateixes característiques que la nostre bomba de calor geotèrmica, de la marca *Daikin*

Taula 32. Consum energètic - Cas2: Bomba de calor convencional.

CARACTERÍSTIQUES DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÈRMICA				
	CAPACITAT [kW]	EFICIÈNCIA	CONSUM [kW]	CONSUM ENERGÈTIC ANUAL [kWh]
CALEFACCIÓ	114,00	2,80	40,71	20927,14
REFRIGERACIÓ	94,00	2,60	36,15	24584,62
CONSUM TOTAL				45511,76

Amb els valors del consum energètic anual per cada un dels casos, restem els respectius valors i trobem l'estalvi energètic anual. Juntament amb el cost d'aquest estalvi anual.

Taula 33. Estalvi anual - Sistema fotovoltaic

CAS D'ESTUDI	CONSUM ENERGÈTIC [kWh]
CAS 1	24547,75
CAS 2	45511,76
ESTALVI ENERGÈTIC ANUAL [kWh]	20964,01
COST ESTALVI ANUAL:	6.289,20 €

L'estalvi anual s'ha calculat multiplicant l'estalvi energètic pel preu del kWh de dièsel, trobat a la Taula 27. S'ha volgut multiplicar pel preu del dièsel per comptabilitzar visualment l'estalvi que suposaria anual i poder trobar una amortització aproximada.

Per trobar l'amortització dividim la inversió inicial del sistema geotèrmic entre l'estalvi anual.

Taula 34. Amortització – Sistema geotèrmic.

AMORTITZACIÓ	COST [€]
INVERSIÓ INICIAL	28.084,19
ESTALVI ANUAL	6.289,20
ANYS:	4,47

Obtenim que amortitzarem el nostre sistema en 4 anys i 6 mesos, aproximadament.

Capítol 6

Anàlisi i valoració de les implicacions Ambientals i Socials

El món d'avui en dia evoluciona ràpidament el qual depèn, en gran manera, dels avenços tecnològics i de la intel·ligència robòtica. Tot i això, les tendències de les avaluacions econòmiques mundials mostren que el procés d'avenç va acompanyat en la majoria dels casos de la degradació del medi ambient. [19] Per aquest motiu, és important fer un pas endavant i començar a fer ús de les energies renovables, ja que aquestes han demostrat que contribueixen a reduir el nivell de degradació mediambiental, reduint les emissions de CO₂. [20]

Una de les energies renovables, aplicades en el dimensionament del nostre sistema, de les quals podem dir que és perpètua i redueix el nivell de CO₂ és l'energia solar. Aquesta és inacabable, és renovable i està disponible en tot el món.

Aquesta, juntament amb l'eòlica són les energies renovables més barates, gràcies a les principals tecnologies que estan aconseguint reduir dràsticament els seus costos. Per tant, les economies d'escala i la innovació estan assolint que sigui una de les més sostenibles, no únicament ambiental, sinó també econòmicament per moure el món.

Cal dir que per tal que l'energia solar continuï sent el més sostenible possible, hem de tenir en consideració el material de què estan formats cada un dels elements que componen un sistema fotovoltaic. Ja que de què serveix que l'energia sigui sostenible si la manera que l'adquirim no ho és.

Els beneficis de l'energia solar són que és una energia autòctona, disponible a la pràctica totalitat del planeta, cosa que contribueix a reduir les importacions energètiques i a crear riquesa i treball de forma local. Altrament, és un gran factor d'aportació al creixement i als Objectius de Desenvolupament Sostenible. [21] Objectius que han estat presents al llarg del projecte i que han estat un punt clau per poder assolir els objectius propis.

Un dels principals obstacles de les energies renovables és el financer, ja que, d'una banda, moltes famílies rurals disposen de poc capital prescindible i no tenen accés al crèdit, i, de l'altra, els empresaris s'enfronten a dificultats per la mida petita i la naturalesa arriscada dels projectes, per la mida petita i la naturalesa arriscada dels projectes, derivades de la llunyania, la limitada demanda i l'escassa base de consumidors. Per tant, els plans de finançament de l'electrificació sense connexió a la xarxa, són tan importants i necessàries com les innovacions tecnològiques.

Gràcies al sistema off-grid i sistemes de control, com el dissenyat en aquest treball, enfocats a centres de salut, són una de les instal·lacions elèctriques que aporten molts beneficis socials. A part dels econòmics exposats anteriorment, aporten molts d'altres enfocats a la salut:

- Garantir electricitat sense talls.
- Major disponibilitat de recursos de refrigeració.
- Temperatura de confort i humitat, i per tant la qualitat de l'aire
- Accés a l'aigua potable.

Com bé deia la Dra. María Neira, en la cita de l'apartat 4.2, a les zones més remotes i rurals de països en desenvolupament, encara existeix exposició a nivells perillosos de contaminació atmosfèrica els quals són perjudicials per la salut, més sovint entre dones, nens i nenes. Ja que elles són les que passen més hores a les llars, s'encarreguen de cuidar a les nenes i nens, també són les que s'encarreguen d'anar a buscar el combustible pels generadors el qual serveix per cuinar. Aquestes

fonts són ineficients, afectant directament a la salut de les dones i suposant una pèrdua d'oportunitats i benestar.

I les mateixes condicions, es troben en els centres de salut d'aquestes zones, on encara hi ha més risc pels malalts.

S'ha demostrat que la renovació de l'aire i la climatització dels espais són aspectes importants per la salut. Amb el dimensionament tèrmic del treball, s'ha intentat abastir aquestes necessitats a partir de l'energia geotèrmica.

En relació amb l'energia geotèrmica, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), va afirmar que l'energia geotèrmica té “el potencial per proporcionar energia de càrrega base segura a llarg termini i reduir les emissions”. [22]

Els projectes geotèrmics superficials i de profunditat mitjana amb calefacció, com el cas del sistema geotèrmic que es presenta en el treball, poden contribuir en grans manera a descarbonitzar el sector de la calefacció del país.

Capítol 7

Conclusions

El present projecte tenia per objectiu dissenyar un sistema off-grid basat en energies renovables per centres de salut en zones rurals. Aquest propòsit s'ha complert satisfactòriament detallant l'anàlisi, procediments i resultats en aquesta memòria. Per desenvolupar aquest projecte s'han dut a terme les següents tasques:

- Estudi de les energies renovables escollides (solar i geotèrmica) i el potencial de cada una d'elles a la localitat escollida.
- Analitzar les necessitats energètiques: elèctriques i tèrmiques, dels diferents centres de salut.
- Dimensionar un sistema elèctric i tèrmic, off-grid, caracteritzant els principals elements que la componen, per un dels centres de salut.
- Incorporar dades de consum, irradiació i tèrmiques per garantir un resultat acurat a la zona geogràfica d'estudi.
- Analitzar l'impacte econòmic de la instal·lació i validar una possible inversió.

El dimensionament desenvolupat per un dels centres de salut a Maiduguri, Nigèria, és capaç d'abastir les necessitats elèctriques i tèrmiques del mateix. S'assoleix a partir d'un sistema fotovoltaic de potència 70 kW i un sistema geotèrmic, que proporciona calefacció, refrigeració i aigua sanitària al centre de salut. Altrament, s'ha pogut plasmar el centre de salut juntament de tots els elements en un disseny en 3D.

El disseny del sistema que s'ha realitzat és del centre de salut amb majors dimensions i necessitats energètiques, amb l'objectiu que l'adaptació del sistema a altres centres de salut sigui més senzilla i únicament s'hagi de reduir els elements.

Els resultats obtinguts dels costos demostren la viabilitat econòmica d'executar projectes de sistemes off-grid amb panells fotovoltaics i geotèrmics. L'amortització de la inversió per aquest tipus d'instal·lació se situa entorn els 4 anys.

Treball Futur

El treball realitzat en aquest projecte pot ser ampliat segons les següents línies d'acció:

- Definir en més profunditat les característiques del sistema off-grid.
- Desenvolupar el sistema de control per l'Hospital rural seguint el dimensionament dissenyat.
- Adequació del terreny – Obra civil necessària per la ubicació del generador extern.
- Estudiar un sistema que abasteixi totes les necessitats elèctriques sense l'ajuda del grup d'electrògens.

Agraïments

Primerament, vull agrair al Álvaro Luna Alloza, per guiar-me i ajudar-me a donar sentit al treball realitzat durant aquests mesos.

Donar les gràcies a la meva germana, mare, pare i amigues per la paciència i el suport incondicional al llarg d'aquests anys. I al Gerard, que tot i que no ha intervingut directament en el treball, sí que ho ha fet en el meu dia a dia, fet clau per seguir endavant.

Per últim, agrair al Miguel, que ha estat des del dia que el vaig conèixer un referent com enginyer i persona.

Aquest treball ha estat possible gràcies a cada una de vosaltres.

Referencies

- [1] Renewables Global Status Report 2021. REN21, 2021. 10, 11, 17
- [2] Off-Grid Electrical Systems in Developing Countries, Henry Louie, 2018. 10, 15, 15, 43
- [3] Tracking SDG 7: The Energy Progress Report, Nigeria 2019. 10, 49
- [4] International Journal of Earth Science and Geophysics, Volume 3, Issue 1, 2017. 12
- [5] Diseños de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado, 2012. 12, 27
- [6] Geothermal Exploration in Nigeria, Proceedings World Geothermal Congress, 2011. 12, 32
- [7] Guía de la Energía Geotérmica, Llopis G., Rodrigo V., 2008. 12, 15
- [8] IRENA, International Renewable Energy Agency. 11, 30
- [9] Journal of Energy Storage, Yan Gao, Yingling Cai, Chenglin Liu, January 2022. 15
- [10] Exploration and Application of Geothermal Energy in Nigeria, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 2, February-2015. 17
- [11] Exploration and Application of Geothermal Energy in Nigeria, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 2, February-2015. 17
- [12] Legislación Fotovoltaica en España, 2021. 17
- [13] Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria, National Primary Health Care Development Agency (NPHCDA). 18, 21, 24
- [14] Dret Humà a l'Aigua i Sanejament, Enginyers Sense Fronteres, 2020. 20, 24
- [15] SDG 6: Clean Water and Sanitation, Nigeria. 20, 24
- [16] World Health Organization, African Region, 2021. 21, 24, 25
- [18] International Trade Administration, 2021. 29
- [17] Product Selection Guide – EcoStuxure™ Building, Schneider Electric. 49
- [18] OECD Economic Outlook, Volume 2021 Issue 2
- [19] The role of Technology innovation and renewable energy in reducing environmental degradation in Malaysia, Norazah Mohd Suki, Norbayah Mohd Suki, Arshian Sharif, January 2022. 59
- [20] Solar energy, governance and CO₂ emissions, Taner Güney, January 2022. 59
- [21] Finance Mechanisms and Incentives for Off-Grid photovoltaic Technologies in the Solar Belt. 59
- [22] Geothermal energy: Affect as a revealing factor of the role of seismic risk, Julia Cousse, Evelina Trutnevyte. 60