



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

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

Document:

Memòria

Autor:

Toni Sánchez Poyato

Director /Co-director:

Alvaro Luna Alloza / Pedro Rodriguez Cortes

Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Convocatòria:

Pròrroga

TREBALL FINAL D'ESTUDIS



Abstract

[CAT] El subministrament d'electricitat de Nigèria es caracteritza principalment pel seu enorme dèficit. A prop del 50% de la població no té accés a la xarxa elèctrica, i els talls de corrent i caigudes de potència resulten extremadament perjudicials per l'economia del país. En aquest context, els centres de salut en zones rurals, tot éssent edificis crítics, pateixen constantment les conseqüències de la manca d'una xarxa elèctrica que arribi fins les zones més inaccessibles.

El present projecte pretén demostrar com, a través dels estàndards definits pel disseny de centres de salut a Nigèria, es pot arribar a definir una solució tipus d'instal·lació off-grid aplicable a qualsevol projecte de construcció de centre de salut del país, promovent d'aquesta forma els sistemes off-grid com a solució òptima per les zones rurals.

El projecte també proposarà la utilització de programes de modelització de xarxes elèctriques, així com "digital twins" per augmentar l'eficiència a les fases de disseny i construcció dels centres de salut.

Finalment, la integració de la instal·lació off-grid amb sistemes de gestió integral d'edificis, els coneguts "Building Management Systems" permetrà disposar d'informació sobre l'edifici a temps real i monitoritzar els consums, de forma que es podrà augmentar de forma substancial l'eficiència energètica del centre.

[EN] Nigeria's electricity supply is mainly characterized by its huge deficit. About 50% of the population does not have access to the electricity grid, and power outages and power outages are extremely detrimental to the country's economy. In this context, health centers in rural areas, despite being critical buildings, are constantly suffering the consequences of the lack of a power network that reaches even the most inaccessible areas.

The present project aims to demonstrate how, through the standards defined by the design of health centers in Nigeria, a standard off-grid installation solution applicable to any health center construction project in the country can be defined, thus promoting off-grid systems as an optimal solution for rural areas.

The project will also propose the use of electrical network modeling programs, as well as "digital twins" to increase efficiency in the design and construction phases of health centers.

Finally, the integration of the off-grid installation with comprehensive building management systems, the well-known "Building Management Systems" will provide information on the building in real time and monitor consumption, so that it can substantially increase the energy efficiency of the center.



Índex

| | |
|--|------------|
| ABSTRACT | I |
| ÍNDIX | III |
| ÍNDIX DE TAULES | V |
| ÍNDIX DE FIGURES | VI |
| 1. INTRODUCCIÓ | 1 |
| 1.1 CONTEXT | 1 |
| 1.2 PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.3 OBJECTE | 2 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓ | 2 |
| 2. ANTECEDENTS | 4 |
| 2.1. CAS 1: ENERGIA FOTOVOLTAICA PER A LA IMMUNITZACIÓ | 4 |
| 2.2. CAS 2: HOSPITAL GENERAL DE KIGULUBE | 5 |
| 2.3. CAS 3: PANELLS SOLARS PROPORCIONEN ELECTRICITAT A COMUNITATS RURALS A GHANA | 7 |
| 2.4. CAS 4: MICRO XARXES MILLOREN LA QUALITAT DE VIDA A MALI, NÍGER I LIBERIA | 8 |
| 3. FACTORS DE CONTORN | 9 |
| 3.1. GEOGRAFIA | 9 |
| 3.2. CLIMA | 10 |
| 3.3. DEMOGRAFIA | 10 |
| 3.4. PATRONS D'ASSENTAMENT | 12 |
| 3.5. TENDÈNCIES DEMOGRÀFIQUES | 12 |
| 3.6. ECONOMIA | 13 |
| 3.7. CANVI CLIMÀTIC | 13 |
| 3.8. OBJECTIUS DE DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE | 14 |
| 3.8.1. MITIGACIÓ | 14 |
| 3.8.2. ADAPTACIÓ | 15 |
| 3.9. GENERACIÓ ELÈCTRICA | 15 |
| 3.9.1. EÒLICA | 17 |
| 3.9.2. SOLAR | 18 |
| 3.9.3. HIDROELÈCTRICA | 18 |
| 3.9.4. NUCLEAR | 19 |
| 3.9.5. OFF-GRID | 19 |
| 4. ENERGIES RENOVABLES PER CENTRES DE SALUT RURALS | 20 |
| 4.1. QUÈ S'ENTÉN PER CLÍNICA DE SALUT? | 21 |
| 4.2. APLICACIONS MÈDIQUES A LES CLÍNiques DE SALUT | 22 |
| 5. DIGITAL TWINS I BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS: EFICIÈNCIA A TOTES LES ETAPES | 25 |
| 5.1. DIGITAL TWINS O BESSONS DIGITALS | 25 |
| 5.1.1. IMPACTE DELS DIGITAL TWINS A L'ARQUITECTURA, ENGINYERIA I CONSTRUCCIÓ | 25 |
| 5.1.2. IMPACTE DELS DIGITAL TWINS A L'ARQUITECTURA, ENGINYERIA I CONSTRUCCIÓ | 26 |
| 5.1.3. BIM I DIGITAL TWINS | 26 |
| 5.1.4. LA CIUTAT INTEL·LIGENT I ELS BESSONS DIGITALS: PARELLA NATURAL | 26 |
| 5.1.5. EL FUTUR DELS BESSONS DIGITALS | 27 |
| 5.2. SISTEMES DE GESTIÓ INTEGRAL D'EDIFICIS (BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS) | 28 |
| 5.2.1. ECOSTRUXURE BUILDING OPERATION | 28 |
| 6. METODOLOGIA PER LA PLANIFICACIÓ DE LA XARXA ELÈCTRICA D'UN CENTRE DE SALUT RURAL | 30 |
| 7. METODOLOGIA PEL DIMENSIONAMENT DEL SISTEMA DE GENERACIÓ OFF-GRID | 34 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 7.1. | ANÀLISI DE CONSUMS | 34 |
| 7.1.1. | POSTA SANITÀRIA | 34 |
| 7.1.2. | CLÍNICA DE SALUT RURAL | 36 |
| 7.1.3. | HOSPITAL RURAL | 38 |
| 7.2. | ESTUDI DEL POTENCIAL D'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA I EÒLICA A NIGÈRIA | 45 |
| 7.3. | LOCALITZACIÓ PEL DIMENSIONAMENT | 47 |
| 7.4. | DIMENSIONAMENT DEL SISTEMA OFF-GRID | 48 |
| 7.4.1. | BATERIES | 49 |
| 7.4.2. | PANELLS FOTOVOLTAICS | 54 |
| 7.4.3. | INVERSOR | 56 |
| 7.4.4. | GRUP ELECTRÒGEN GASSIFICADOR DE BIOMASSA | 59 |
| 8. | METODOLOGIA PER LA MODELITZACIÓ, OPERACIÓ I MANTENIMENT DEL SISTEMA OFF-GRID MITJANÇANT UN DIGITAL TWIN | 60 |
| 8.1. | POSSIBILITATS D'INTEGRACIÓ AMB ALTRES PLATAFORMES | 61 |
| 9. | METODOLOGIA PEL CONTROL DE LES INSTAL·LACIONS MITJANÇANT UN BMS | 62 |
| 9.1. | DEFINICIÓ DE LES VARIABLES A CONTROLAR | 62 |
| 9.2. | CÀLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE CONTROL | 66 |
| 9.3. | ARQUITECTURA DEL SISTEMA | 69 |
| 9.4. | DISSENY D'UNA DEMOCASE | 71 |
| 10. | RESULTATS I ANÀLISI DE RESULTATS | 79 |
| 10.1. | ESTANDARDITZACIÓ DEL DISSENY DE CENTRES DE SALUT EN ZONES RURALS | 79 |
| 10.2. | VALORACIÓ ECONÒMICA | 79 |
| 10.2.1. | PRESSUPOST D'IMPLANTACIÓ | 79 |
| 10.2.2. | PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL | 82 |
| 10.2.3. | PRESSUPOST TOTAL | 82 |
| 10.3. | BENEFICIS DE L'ELECTRIFICACIÓ AMB ENERGIES RENOVABLES A ZONES RURALS AÏLLADES | 82 |
| 10.3.1. | BENEFICIS EN LA SALUT | 83 |
| 10.3.2. | BENEFICIS EN LA L'EDUCACIÓ | 83 |
| 10.3.3. | BENEFICIS PRODUCTIUS | 84 |
| 10.3.4. | BENEFICIS MEDIAMBIENTALS | 84 |
| 10.3.5. | MILLORA DE LES COMUNICACIONS | 84 |
| 10.3.6. | ACCÉS AL SUBMINISTRE D'AIGUA POTABLE | 84 |
| 10.3.7. | L'ENERGIA COM A FONT D'EMPODERAMENT DE LA DONA | 85 |
| 11. | CONCLUSSIONS | 85 |
| 12. | ANNEXOS | 86 |
| | ANNEXE A. FUNCIONALITATS DEL BMS (BUILDING MANAGEMENT SYSTEM) | 86 |
| | EL SISTEMA DE CONTROL I GESTIÓ | 86 |
| | ELEMENTS DE CAMP | 87 |
| | ANNEXE B. ARQUITECTURES POSSIBLES | 87 |
| | TIPOLOGIA ESTRELLA | 87 |
| | TIPOLOGIA DAISY CHAIN | 88 |
| | TIPOLOGIA EN ANELLA | 89 |
| | ANNEXE C. ESPECIFICACIONS DELS DISPOSITIUS | 89 |
| | ECOSTRUXURE ENTERPRISE SERVER | 89 |
| | SMARTX AUTOMATION SERVER | 90 |
| | RP-C SMARTX IP CONTROLLER | 91 |
| | IP-IO SMARTX IP CONTROLLER | 92 |
| | SENSOR BUS PER LIVING SPACE SENSORS | 93 |
| 13. | REFERÈNCIES | 94 |



Índex de taules

| | |
|---|----|
| TAULA 1. NÚMERO DE REFRIGERADORS FV | 5 |
| TAULA 2. ESTIMACIÓ DEL CONSUM ENERGÈTIC DIARI PER EQUIPAMENT EN CADA TIPOLOGIA D'HOSPITAL | 24 |
| TAULA 3. DADES D'ENTRADA I SORTIDA DEL RNM | 33 |
| TAULA 4. ESTÀNDARDS POSTA SANITÀRIA..... | 35 |
| TAULA 5. ESTÀNDARDS CLÍNICA DE SALUT RURAL..... | 37 |
| TAULA 6. ESTÀNDARDS HOSPITAL RURAL | 39 |
| TAULA 7. CONSUMS ENERGÈTICS DIARIS A LES TRES TIPOLOGIES DE CENTRE DE SALUT | 42 |
| TAULA 8. HORARIS D'UTILITZACIÓ DELS DISPOSITIUS A CADA CENTRE DE SALUT..... | 43 |
| TAULA 9. CONSUMS MENSUALS ALS TRES TIPUS DE CENTRE DE SALUT | 45 |
| TAULA 10. DADES PEL CàLCUL DE LA POTÈNCIA NECESSÀRIA..... | 49 |
| TAULA 11. CàLCUL COEFICIENT CMD HOSPITAL RURAL | 50 |
| TAULA 12. CàLCUL COEFICIENT CMD CLÍNICA DE SALUT RURAL | 51 |
| TAULA 13. CàLCUL COEFICIENT CMD POSTA SANITÀRIA | 51 |
| TAULA 14. ESPECIFICACIONS BATERIA | 52 |
| TAULA 15. ESPECIFICACIONS MECÀNIQUES PANELLS SOLARS..... | 54 |
| TAULA 16. ESPECIFICACIONS ELÈCTRIQUES PANELLS SOLARS | 55 |
| TAULA 17. ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES INVERSOR HOSPITAL RURAL..... | 57 |
| TAULA 18. ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES INVERSOR CLÍNICA RURAL..... | 58 |
| TAULA 19. ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES INVERSOR POSTA SANITÀRIA..... | 58 |
| TAULA 20. ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES GRUP ELECTRÒGEN GASSIFICADOR DE BIOMASSA | 59 |
| TAULA 21. LLISTAT DE PUNTS | 65 |
| TAULA 22. DISPOSITIUS DE CONTROL | 69 |
| TAULA 23. COSTOS PERSONAL | 80 |
| TAULA 24. COSTOS PER VIATGES..... | 80 |
| TAULA 25. COSTOS D'ENGINYERIA | 80 |
| TAULA 26. COSTOS MATERIALS | 81 |
| TAULA 27. COSTOS D'INSTAL·LACIÓ..... | 81 |
| TAULA 28. PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL..... | 82 |
| TAULA 29. PRESSUPOST TOTAL..... | 82 |

Índex de figures

| | |
|--|----|
| IL·LUSTRACIÓ 1. CADENA FREDA..... | 4 |
| IL·LUSTRACIÓ 2. VIES DE TRANSPORT A L'HOSPITAL..... | 6 |
| IL·LUSTRACIÓ 3. INSTAL·LACIÓ DE PLAQUES SOLARS | 6 |
| IL·LUSTRACIÓ 4. PANELLS SOLARS PROPORCIONEN ELECTRICITAT A UNA CASA A WAYO ATINGAGORME, GHANA..... | 7 |
| IL·LUSTRACIÓ 5. HABITANTS DE AGLAKOPE VEUEN LA TELEVISIÓ GRÀCIES A L'ENERGIA SOLAR | 8 |
| IL·LUSTRACIÓ 6. ZONES CLIMÀTIQUES DE NIGÈRIA..... | 10 |
| IL·LUSTRACIÓ 7. PATRONS D'ASSENTAMENT A NIGÈRIA..... | 12 |
| IL·LUSTRACIÓ 8. EMISSIONS DE CO2 PER SECTOR A NIGÈRIA 2015 | 13 |
| IL·LUSTRACIÓ 9. PREVISIÓ MILIONS DE TONES DE DIÒXID DE CARBONI EQUIVALENT FINS 2030 | 14 |
| IL·LUSTRACIÓ 10. ENERGIA PRIMÀRIA CONSUMIDA A NIGÈRIA AL 2015 | 16 |
| IL·LUSTRACIÓ 11. GENERACIÓ ELÈCTRICA PER COMBUSTIBLE A NIGÈRIA..... | 16 |
| IL·LUSTRACIÓ 12. POTENCIAL EÒLIC A NIGÈRIA | 17 |
| IL·LUSTRACIÓ 13. POTENCIAL SOLAR A NIGÈRIA..... | 18 |
| IL·LUSTRACIÓ 14. TIPOLOGIES D'INSTAL·LACIONS PV | 19 |
| IL·LUSTRACIÓ 15. PERCENTATGE DE POBLACIÓ QUE UTILITZA UNA INSTAL·LACIÓ OFF-GRID | 20 |
| IL·LUSTRACIÓ 16. ESQUEMA DE CONCEPTE D'UN DIGITAL TWIN..... | 26 |
| IL·LUSTRACIÓ 17. DIGITAL TWIN D'UNA CIUTAT | 27 |
| IL·LUSTRACIÓ 18. ESQUEMA ECOSTRUXURE | 29 |
| IL·LUSTRACIÓ 19. METODOLOGIA PER L'AVALUACIÓ DE L'IMPACTE | 31 |
| IL·LUSTRACIÓ 20. EXEMPLE DE XARXA CONSTRUÏDA AMB EL MODEL D'ÀREES URBANES | 31 |
| IL·LUSTRACIÓ 21. EXEMPLE DE XARXA CONSTRUÏDA AMB EL MODEL D'ÀREES RURALS | 32 |
| IL·LUSTRACIÓ 22. PROCEDIMENT PEL DIMENSIONAMENT DE CENTRES DE SALUT RURALS | 33 |
| IL·LUSTRACIÓ 23. PLÀNOL POSTA SANITÀRIA | 35 |
| IL·LUSTRACIÓ 24. VISTA FRONTAL 3D POSTA SANITÀRIA..... | 35 |
| IL·LUSTRACIÓ 25. VISTA AÈRIA 3D POSTA SANITÀRIA..... | 36 |
| IL·LUSTRACIÓ 26. PLÀNOL CLÍNICA DE SALUT RURAL | 37 |
| IL·LUSTRACIÓ 27. VISTA FRONTAL 3D CLÍNICA DE SALUT RURAL..... | 37 |
| IL·LUSTRACIÓ 28. VISTA AÈRIA 3D CLÍNICA DE SALUT RURAL..... | 38 |
| IL·LUSTRACIÓ 29. PLÀNOL HOSPITAL RURAL | 39 |
| IL·LUSTRACIÓ 30. VISTA FRONTAL 3D HOSPITAL RURAL..... | 39 |
| IL·LUSTRACIÓ 31. VISTA AÈRIA 3D HOSPITAL RURAL..... | 40 |
| IL·LUSTRACIÓ 32. GRÀFIC AMB ELS CONSUMS DIARIS PER TIPUS DE CENTRE | 43 |
| IL·LUSTRACIÓ 33. GRÀFIC AMB CONSUMS MENSUALS | 45 |
| IL·LUSTRACIÓ 34. PRODUCCIÓ ELÈCTRICA D'UNA PLANTA SOLAR 1MW I D'UN SOL EIX A DIFERENTS LOCALITATS DE NIGÈRIA | 46 |
| IL·LUSTRACIÓ 35. PRODUCCIÓ ELÈCTRICA D'UNA PLANTA SOLAR 1MW I DE DOBLE EIX A DIFERENTS LOCALITATS DE NIGÈRIA | 46 |
| IL·LUSTRACIÓ 36. PRODUCCIÓ ANNUAL D'UNA PLANTA EÒLICA D'1MW A DIFERENTS LOCALITATS DE NIGÈRIA..... | 47 |
| IL·LUSTRACIÓ 37. RADIACIÓ A MAIDUGURI..... | 48 |
| IL·LUSTRACIÓ 38. HORES SOLAR PIC A MAIDUGURI | 48 |
| IL·LUSTRACIÓ 39. ESQUEMA BATERIA | 53 |
| IL·LUSTRACIÓ 40. ESQUEMA PANELLS SOLARS..... | 55 |
| IL·LUSTRACIÓ 41. INVERSOR DE LA MARCA HUAWAI..... | 57 |
| IL·LUSTRACIÓ 42. GRUP ELECTRÒGEN GASSIFICADOR DE BIOMASSA MARCA ALL POWER LABS..... | 59 |
| IL·LUSTRACIÓ 43. CARACTERÍSTIQUES ETAP DIGITAL TWIN..... | 60 |
| IL·LUSTRACIÓ 44. FUNCIONS ETAP DIGITAL TWIN | 61 |
| IL·LUSTRACIÓ 45. INTEGRACIÓ D'ETAP DIGITAL TWIN AMB ALTRES PLATAFORMES DE GESTIÓ D'INSTAL·LACIONS | 62 |
| IL·LUSTRACIÓ 46. PANTALLA D'ENTRADA A SISBA..... | 66 |
| IL·LUSTRACIÓ 47. PANTALLA PRINCIPAL SISBA | 67 |
| IL·LUSTRACIÓ 48. PANTALLA CONFIGURACIÓ DE QUADRE SISBA | 67 |
| IL·LUSTRACIÓ 49. MÒDUL D'IMPORTACIÓ EXCEL SISBA | 68 |
| IL·LUSTRACIÓ 50. CÀLCUL DEL QUADRE SISBA | 68 |
| IL·LUSTRACIÓ 51. ARQUITECTURA DEL SISTEMA | 69 |
| IL·LUSTRACIÓ 52. EXEMPLE DE DASHBOARD PRINCIPAL A ECOSTRUXURE BUILDING OPERATION | 70 |
| IL·LUSTRACIÓ 53. EXEMPLE DE DASHBOARD DE MONITORIZACIÓ DE CONSUMS A ECOSTRUXURE BUILDING OPERATION | 71 |
| IL·LUSTRACIÓ 54. PROPOSTA DE VALOR CONNECTED ROOM SOLUTION | 72 |
| IL·LUSTRACIÓ 55. ARQUITECTURA CONNECTED ROOM SOLUTION | 72 |



| | |
|--|----|
| IL·LUSTRACIÓ 56. ESQUEMA DEMOCASE | 73 |
| IL·LUSTRACIÓ 57. ESTÈTICA PART SUPERIOR DEMOCASE..... | 74 |
| IL·LUSTRACIÓ 58. ESQUEMA ELÈCTRIC PART SUPERIOR DEMOCASE..... | 74 |
| IL·LUSTRACIÓ 59. ESQUEMA ELÈCTRIC PART VISIBLE DEMOCASE | 74 |
| IL·LUSTRACIÓ 60. ESQUEMA ELÈCTRIC PART AMAGADA DEMOCASE..... | 75 |
| IL·LUSTRACIÓ 61. ESQUEMA ELÈCTRIC DE TOT EL CONJUNT DEMOCASE | 76 |
| IL·LUSTRACIÓ 62. PANTALLA INICIAL INTERFACE DEMOCASE..... | 77 |
| IL·LUSTRACIÓ 63. DIAGRAMA PANTALLES INTERFACE DEMOCASE | 77 |
| IL·LUSTRACIÓ 64. VISTA DEMOCASE 1..... | 78 |
| IL·LUSTRACIÓ 65. VISTA DEMOCASE 2..... | 78 |
| IL·LUSTRACIÓ 66. TIPOLOGIA ESTRELLA | 88 |
| IL·LUSTRACIÓ 67. TIPOLOGIA DAISY CHAIN..... | 88 |
| IL·LUSTRACIÓ 68. TIPOLOGIA EN ANELLA | 89 |
| IL·LUSTRACIÓ 69. ECOSTRUXURE ENTERPRISE SERVER | 90 |
| IL·LUSTRACIÓ 70. SMARTX AUTOMATION SERVER..... | 91 |
| IL·LUSTRACIÓ 71. RP-C SMARTX IP CONTROLLER..... | 92 |
| IL·LUSTRACIÓ 72. LIVING SPACE SENSORS..... | 93 |



1. Introducció

1.1 Context

L'energia és un element central pel desenvolupament. Sense ella, les comunitats viuen en plena obscuritat, els serveis essencials com establiments mèdics i educatius es veuen seriosament afectats i les empreses operen amb greus limitacions. L'energia és, al cap i a la fi, el motor de qualsevol economia, donat el seu caràcter catalitzador per la innovació.

L'accés universal a un nivell assequible, fiable i sostenible d'energia resulta essencial per tal d'acomplir amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) i constitueix l'eix dels esforços per fer front al canvi climàtic.

Avui dia, al voltant de 1000 milions de persones viuen encara sense electricitat. Al mateix temps, aproximadament 3000 milions de persones utilitzen combustibles contaminants com llenya o biomassa per cuinar o escalfar les seves llars, el que genera una contaminació que té impacte directe a la salut de totes les persones.

És gràcies a la ciència i la tecnologia aplicades a nous enfocaments a gran escala que combinen electrificació amb i sense connexió a la xarxa que s'estan generant avui dia resultats inèdits en l'accés a l'energia en diversos països. En altres, minixarxes estan demostrant ser prometedores per tal d'escurçar la bretxa en matèria d'accés.

En definitiva, l'energia és un pilar fonamental no només pel desenvolupament econòmic i social de cada regió del planeta, sinó també per la seva cultura i innovació.

1.2 Plantejament del problema

El subministrament d'electricitat de Nigèria es caracteritza principalment pel seu enorme dèficit. A prop del 50% de la població no té accés a la xarxa elèctrica, i els talls de corrent i caigudes de potència resulten extremadament perjudicials per l'economia del país.

Amb una població de 160 milions d'habitants, la capacitat actual de generació del país no arriba als 10.000MW diaris, encara que la producció efectiva d'electricitat, enormement fluctuant, no supera els 4000MW, el que suposa un 41% del potencial total instal·lat.

Aquesta mancança d'electricitat operativa, estable i de qualitat té un impacte més gran en aquelles zones rurals, on les xarxes de distribució són pràcticament inexistent. Aquestes regions subsisteixen sense pràcticament accés a l'energia i amb problemes greus sobretot en el sector sanitari, donat que els centres de salut compten amb una sèrie de càrregues crítiques que no poden funcionar sense electricitat, com bé poden ser refrigeradors per vacunes o incubadores per nens prematurs.

És precisament en aquest problema en concret que es basa el desenvolupament complet d'aquest document; en la cerca d'una solució econòmicament viable i sostenible per la manca d'energia estable i segura en centres de salut en zones rurals.

1.3 Objecte

L'objectiu general d'aquest treball de fi d'estudis és el disseny d'un sistema d'alimentació off-grid basat en energies renovables per centres de salut en zones rurals.

Com objectius específics a acomplir durant el desenvolupament del projecte s'han marcat els esmentats a continuació:

- Entendre les condicions de contorn que influeixen en l'aplicació d'energies renovables en països en desenvolupament i, en concret, la seva implicació en el sector sanitari.
- Determinació de tres models base de centre de salut en funció de la seva grandària i de les càrregues crítiques.
- Dimensionament de la instal·lació off-grid pels tres models de centre de salut.
- Disseny d'un sistema de gestió integral de l'edifici (BMS) pel centre de salut de grandària 3 basat en la plataforma EcoStruxure, de l'empresa Schneider Electric.
- Estudi de viabilitat econòmica de la implantació de la instal·lació off-grid + el Sistema de gestió integral de l'edifici (BMS) al centre de salut de grandària 3.

1.4 Justificació

Aquest projecte és fruit de la relació establerta entre l'autor i l'empresa Schneider Electric, gràcies a la participació en el concurs internacional Schneider Go Green. En aquest concurs, l'estudiant desenvolupa un prototip d'incubadora low cost alimentada a partir d'energia solar i el seu model econòmic que es tindrà en compte durant l'execució d'aquest mateix projecte.

Tal i com s'ha comentat en apartats anteriors, la necessitat d'un accés a la energia global i estable és clara; són centenars els projectes que s'estan desenvolupant a l'actualitat per tal d'impactar en països i regions amb xarxes elèctriques empobrides.

La manca d'una xarxa elèctrica que arribi fins les zones més rurals dels països en desenvolupament produeix, segons fonts de la Organització Mundial de la Salut (WHO) el 69% de les morts infantils. Degut als constants talls elèctrics, els serveis mèdics perden efectivitat i per tant, centenars de comunitats es veuen afectades.

Aquest projecte pretén trobar una solució a la manca d'electricitat en el sector sanitari, no només sostenible i viable econòmicament, sinó també escalable i replicable, per tal que, una vegada obtinguts els models base de centres de salut, aquests es puguin replicar allà on sigui necessari, tot adaptant el sistema a les necessitats de la comunitat.

Cal dir que aquest projecte es localitzarà a Nigèria donat que és un país amb una població que augmenta per moments i on les disparitats econòmiques i socials són cada vegada més accentuades entre les regions metropolitanes i aquelles més rurals. S'estudiaran factors de l'entorn com la societat, la cultura, l'economia, l'estat polític, el clima i d'altres, per tal d'entendre les condicions de contorn sobre les quals es desenvoluparà el projecte.



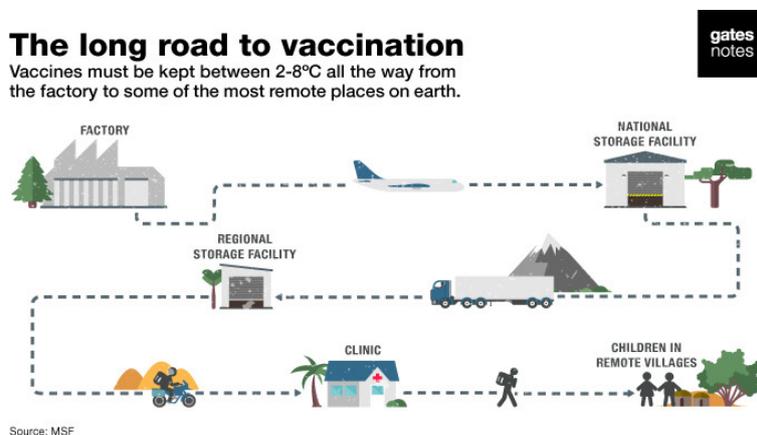
Finalment, en quant a les exigències tècniques del projecte, aquest es basarà en la determinació de 3 models de centre de salut que aniran des de centres sense pràcticament càrregues crítiques, fins centres més complexes on la gestió i el control de l'energia seran peces claus per un funcionament eficient de les instal·lacions de l'establiment.

2. Antecedents

Dins d'aquest capítol s'inclouran quatre casos d'estudi. Cada cas resalta diversos aspectes d'electrificació de les clíniques de salut en zones rurals. Amb la combinació de tots ells, els casos d'estudi proporcionen valuoses leccions que s'han utilitzat com a inspiració per aquest mateix projecte d'electrificació de centres de salut en zones rurals.

2.1. Cas 1: Energia fotovoltaica per a la immunització

La Cadena Freda és un equip de persones present en pràcticament tots els països, que intenten mantenir les vacunes a les temperatures adequades des que es comencen a distribuir des del fabricant fins que arriben a les localitats on s'administren. La missió, per tant, d'aquest equip és mantenir sempre les vacunes dins del rang de temperatures segur.



Il·lustració 1. Cadena Freda

La refrigeració per absorció que funciona amb propà o querosè ha sigut el mètode més comú per preservar vacunes a les clíniques de salut no electrificades. També ha sigut el punt més dèbil de la Cadena Freda en termes de confiabilitat.

Aquesta part del procés va ser evaluada per la OMS al novembre del 1991, qui va acabar recomanant la utilització d'energies renovables per aquest ús.

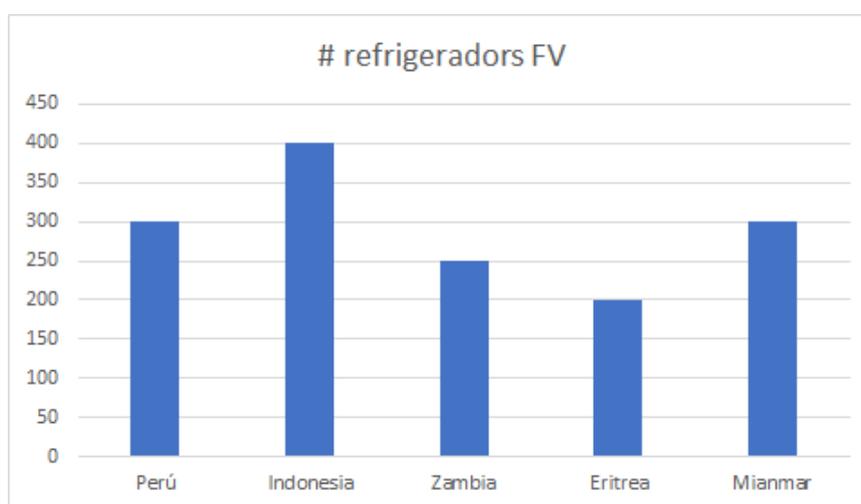
Les primeres experiències amb unitats d'alimentació FV mostraven una confiabilitat molt superior comparada a les unitats de gas. El temps mig de fallada en refrigeradors de vacunes va ser de 2,6 anys a Uganda i de 4 anys a Gambia, ambdues molt més baixes que el que es podria haver aconseguit amb gas.

L'avaluació econòmica va demostrar que els costos a llarg termini de les unitats a gas eren menors que les unitats FV. Els costos més alts per les unitats de fotovoltaica van ser causats per la necessitat de comptar amb tècnics amb experiència a les àrees remotes on s'havien de realitzar les instal·lacions.

Tot i així, la OMS va concloure que per clíniques de salut en zones rurals i amb dificultats d'accés, el major grau de confiabilitat de les unitats solars justificava la seva major inversió inicial.

Després de l'avaluació per part de la OMS, la refrigeració per energia solar va ser introduïda més agressivament a la Cadena Freda. Al 1993 ja hi havien 54 centres de salut a Gambia que havien realitzat aquesta transició; a Zaire i Uganda, el 38% i 17% respectivament dels refrigeradors de vacunes van començar a estar alimentats amb FV.

Des de llavors, molts països han augmentat l'ús de refrigeradors de vacunes FV, tal i com es mostra al següent gràfic:



Taula 1. Número de refrigeradors FV

2.2. Cas 2: Hospital General de Kigulube

L'Hospital General de Kigulube està situat a les muntanyes de Kivu Sud, a la República Democràtica del Congo. L'hospital sofria fins al moment talls d'electricitat constants per la falta de fiabilitat en la xarxa elèctrica. Aquí, la falta d'electricitat ha sigut un problema històric que s'ha estat solucionant fins ara amb generadors de gasoil.

Aquest tipus de generadors de dièsel són l'alternativa més habitual per garantir l'energia elèctrica a les zones més remotes i amb subministre irregular, encara que plantegen certes dificultats. Una d'elles és la enorme dificultat per transportar el combustible a llocs de molt difícil accés, sobre tot tenint en compte que les opcions via moto o aèria multipliquen els costos i les dificultats logístiques.

Encara que l'energia solar ja porta dècades en desenvolupament, dins fa poc, els sistemes d'alimentació i les bateries disponibles no eren viables, tant per preu, com capacitat i vida útil, per alimentar un hospital situat en mig de Kivu del Sud, dins la República Democràtica del Congo.



Il·lustració 2. Vies de transport a l'hospital

En un lloc com aquest, on la població viu en llogarets distribuïts entre les muntanyes, els habitants solen anar en moto quan es pot o caminant, donat que les principals vies de transport són camins asfaltats o senders plens de pedres. Això significa que en cas d'emergència, és pràcticament impossible arribar en un temps reduït a la ciutat més propera, on hi ha un hospital més equipat.

Per tant, amb l'objectiu de garantir un bon servei mèdic, era necessari que l'hospital disposés d'un quiròfan i unitat de cures intensives amb un subministre d'electricitat continu i fiable. Amb la instal·lació d'energia solar, totes les sales disposen d'energia elèctrica per assegurar el tractament mèdic adequat als malalts.



Il·lustració 3. Instal·lació de plaques solars

La solució en cadascun dels dos edificis que conformen l'hospital general consta de 100 panells solars i set bateries capaces d'acumular l'energia que necessita el centre durant dos dies sencers. Cadascuna d'aquestes unitats d'emmagatzematge té una vida útil d'almenys 5 anys. A més, la centralita reguladora pot detectar anomalies i ser controlada de forma remota gràcies a una petita connexió a internet, de forma que els tècnics poden monitoritzar el sistema des de qualsevol lloc del món.

Tot està preparat per garantir un subministre continu i autònom.

2.3. Cas 3: Panells solars proporcionen electricitat a comunitats rurals a Ghana

A les zones rurals de Ghana existeix una bretxa en l'accés als serveis d'electricitat degut a la llunyania geogràfica, l'alt cost de les connexions a la xarxa, la poca capacitat per pagar els serveis i el limitat accés als proveïdors de solucions d'energia renovable.

Per tal d'abordar aquests reptes, el Projecte de Foment i Accés a l'Energia, finançat pel Global Environment Facility (GEF), va avaluar l'ús de diverses tecnologies sostenibles i assequibles, entre elles minicentrals hidroelèctriques i eòliques que després van ser substituïdes per solucions d'energia solar per tal d'aprofitar les economies d'escala i la simplicitat de manteniment.



Il·lustració 4. Panells solars proporcionen electricitat a una casa a Wayo Atingagorme, Ghana

El projecte també va col·laborar posteriorment en la formulació del marc legal i regulatori per la energia renovable i va promoure el desenvolupament del mercat de proveïdors de serveis a nivell local, així com l'accés a finançament.

El projecte va incloure a més, cinc minixarxes pilot que utilitzen energia solar per subministrar electricitat a comunitats remotes a les illes al voltant del llac Volta. En aquest cas es va introduir un sistema de mesura d'energia propagada per abordar els problemes relacionats amb els pagaments.

Concretament, les cinc minixarxes proporcionen 24 hores, els set dies de la setmana per primera vegada al voltant de 10.000 beneficiaris, promovent d'aquesta forma el desenvolupament local de les comunitats.

Cal destacar el cas de Agatha Abotchie, una costurera de Aglakope (una de les illes del llac Volta); qui, gràcies a l'electricitat obtinguda a través d'una de les minixarxes, ara té l'oportunitat de treballar al vespre. Prèviament a l'execució del projecte, ella cosia a les fosques; ara pot fer-ho de nit i també utilitzar una planxa elèctrica, i així entregar als seus clients productes impecables i ben presentats.

Agatha té actualment la mirada posada en el futur; vol comprar un motor per transformar la seva màquina de cosir manual en una màquina elèctrica i d'aquesta forma accelerar el ritme del seu negoci.



Il·lustració 5. Habitants de Aglakope veuen la televisió gràcies a l'energia solar

2.4. Cas 4: Micro xarxes milloren la qualitat de vida a Mali, Níger i Liberia

L'accés a l'energia a través de microxarxes solars en comunitats rurals de Mali, Níger i Liberia milloren la qualitat de vida de la població i dels serveis educatius i sanitaris i promou el desenvolupament econòmic.

Les minixarxes són una solució fonamental per aconseguir l'accés universal a l'energia pel 2030, tal i com marquen els Objectius de Desenvolupament Sostenible. Pla Internacional promou l'accés a l'energia a través de sistemes d'energia renovable i sostenible pel desenvolupament econòmic, progrés social i reducció de la pobresa en països de l'Àfrica Occidental com Mali, Níger i Liberia, on es porten a terme projectes per l'electrificació de zones rurals a través de minixarxes fotovoltaïques.

En concret, un projecte de Pla Internacional Espanya cofinançat per la Unió Europea, proporcionarà serveis energètics de qualitat a 30 comunitats al cercle de Kita, al surest de Mali, on 20.000 persones, 24 escoles i cinc centres sanitaris tenen accés a l'electricitat per primera vegada a través de sistemes de generació fotovoltaica.

L'electricitat a les escoles ja està permetent establir diversos torns de classes i habilitat espais d'estudi a les aules, mentres que la il·luminació als centres de salut estan contribuint a salvar vides, especialment als parts.

D'altra banda, a la regió de Tillaberi, a l'extrem occidental de Níger, un dels països amb menor índex de desenvolupament humà del món i on només el 5,4% de la població rural té accés a l'electricitat, Pla Internacional Espanya ha desenvolupat un altre projecte per garantir l'accés a l'energia i millora de la qualitat de vida de la població.

Finalment, a Liberia, a cinc comunitats rurals aïllades sense accés a l'electricitat, s'han instal·lat cinc mini xarxes solars que promouen la millora dels serveis educatius i sanitaris, així com la productivitat en activitats ramaderes i comercials.

3. Factors de contorn

Tal i com es comenta en apartats anteriors, el projecte es basa a la República Federal de Nigèria. Nigèria és una república federal subsahariana, localitzada al Golf de Guinea, banyada per l'oceà Atlàntic. Al trobar-se per sota però propera al Sàhara, la zona nord té un clima desèrtic.

Té 190 milions d'habitants, població que la ONU espera que augmenti de manera estable fins aproximadament 260 milions en 2030 i 400 en 2050. És l'economia més forta de tota la costa occidental africana amb un PIB per càpita de 6351US\$, essent la segona més gran de tot el continent.

A continuació s'especifica informació sobre els factors que condicionen el desenvolupament del projecte i la seva ubicació:

3.1. Geografia

En general, la topografia de Nigèria consta de planes al nord i al sud interrompudes per altiplans i turons al centre del país. Les planes de Sokoto es troben a l'angle nord-oest del país, mentre que les planes de Borno a l'angle nord-est s'estenen fins a la conca del llac Txad. La conca del llac Txad i les zones costaneres, inclòs el delta del riu Níger i les parts occidentals de la regió de Sokoto, a l'extrem nord-oest, es troben sota roques sedimentàries suaus i joves geològicament. En aquestes zones es troben planes suaument ondulades, que s'enfonsen durant la temporada de pluges.

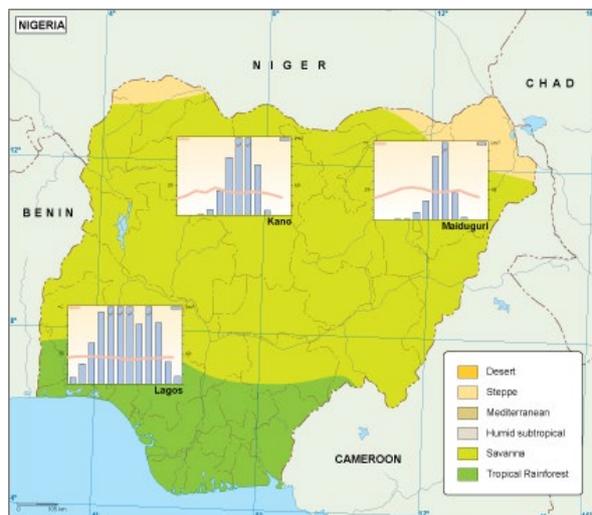
Les formes de relleu característiques dels altiplans són planes altes amb valls amples i poc profundes esquitxades de nombrosos turons o muntanyes aïllades, anomenades inselbergs; les roques subjacents són cristal·lines, tot i que apareixen gresos a les zones fluvials. L'altiplà de Jos s'aixeca gairebé al centre del país; consisteix en extenses superfícies de lava esquitxades de nombrosos volcans extingits.

Altres superfícies erosionades, com l'escarpa d'Udi-Nsukka (vegeu l'altiplà d'Udi-Nsukka), s'eleven bruscament sobre les planes a una elevació d'almenys 300 metres (1.000 peus). La zona més muntanyosa es troba al llarg de la frontera sud-est amb Camerun, on les terres altes del Camerun s'eleven fins als punts més alts del país, Chappal Waddi (2.419 metres) a les muntanyes Gotel i el mont Dimlang (2.042 metres) a les muntanyes Shebshi.

3.2. Clima

Nigèria té un clima tropical amb estacions de pluja i secs variables, segons el lloc. Fa calor i humitat la major part de l'any al sud-est, però sec al sud-oest i més a l'interior. Al nord i a l'oest preval un clima de sabana, amb estacions humides i seques marcades, mentre que a l'extrem nord es troba un clima d'estepa amb poques precipitacions.

En general, la durada de l'estació de pluges disminueix de sud a nord. Al sud, l'estació de pluges dura de març a novembre, mentre que a l'extrem nord només dura de mitjan maig a setembre. Durant el mes d'agost es produeix una marcada interrupció de les pluges al sud, que dona lloc a una estació seca curta que sovint es denomina "la pausa d'agost". Les precipitacions són més pesades al sud, especialment al sud-est, que rep més de 3.000 mm de pluja a l'any, en comparació amb 1.800 mm al sud-oest. Les precipitacions disminueixen progressivament lluny de la costa; l'extrem nord no rep més de 20 polzades (500 mm) a l'any.



Il·lustració 6. Zones climàtiques de Nigèria

La temperatura i la humitat es mantenen relativament constants durant tot l'any al sud, mentre que les estacions varien considerablement al nord; durant l'estació seca del nord, l'interval de temperatura diari també es fa gran. A la costa, les temperatures màximes mitjanes mensuals són estables durant tot l'any, mantenint-se a 32 ° C a Lagos i a 33 ° C a Port Harcourt; les temperatures mínimes mitjanes mensuals són aproximadament de 22 ° C a Lagos i de 20 ° C a Port Harcourt. En general, les temperatures màximes mitjanes són més altes al nord, mentre que les temperatures mínimes mitjanes són més baixes. A la ciutat nord-oriental de Maiduguri, per exemple, la temperatura màxima mitjana mensual pot superar els 38 ° C durant els calorosos mesos d'abril i maig, mentre que a la mateixa temporada es poden produir glaçades a la nit. La humitat en general és elevada al nord, però cau durant l'harmattan (vent alísic calent i sec del nord-est), que bufa durant més de tres mesos al nord, però poques vegades durant més de dues setmanes al llarg de la costa.

3.3. Demografia

Existeixen notables diferències entre el nord i el sud, no només en el paisatge físic, el clima i la vegetació, sinó també en l'organització social, la religió, l'alfabetització i les pràctiques agrícoles de la gent. Aquestes diferències constitueixen la base de la divisió de Nigèria en tres regions geogràfiques: el sud o les costes de Guinea; la regió central; i el nord, o el Sudan nigerià.

- **Sud:** El sud és la part més desenvolupada econòmicament de Nigèria. Els seus recursos forestals s'exploten intensament i els seus cultius d'arbres es recol·lecten a granges camperoles i plantacions comercials.

Tots els principals centres industrials i camps petrolífers del país, així com els seus ports marítims, es concentren a la regió. També es troben centres culturals importants al sud, com ara els iorubans a la part occidental de la regió, l'Edo a la secció mig oest de la regió i l'Igbo-Ibibio a l'est. Part de les zones habitades per Igbo i Ibibio del país són les zones més densament poblades de l'Àfrica subsahariana. Les zones habitades en ioruba, on es cultiva el cacau, també estan densament poblades i atrauen a molts migrants de les zones habitades per Igbo i Ibibio. La zona est de Cross River està pràcticament deshabitada a causa del sòl i el clima pobres.

- **Regió central:** La regió central és la part més assentada i menys desenvolupada de Nigèria, que comprèn aproximadament dues cinques parts de la superfície terrestre del país, però suporta menys d'una cinquena part de la població total. Hi ha petites bosses de població densa als camps de llauna de l'altiplà de Jos i a la zona habitada al sud de Tiv. La part restant, i amb diferència la més gran, d'aquesta regió està pràcticament deshabitada a causa del sòl i el clima pobres.

Abans del 1970, el desenvolupament a gran escala en aquesta regió, sovint anomenat cinturó mitjà, es limitava a alguns projectes recolzats pel govern, com ara la presa de Kainji i el projecte de sucre Bacita (tots dos a la part nord-oest de la regió) i algunes indústries a les ciutats de Jos i Kaduna (actualment les capitals dels estats de Plateau i Kaduna, respectivament). Després de la reorganització administrativa nacional del 1975, aquesta regió central va guanyar importància perquè 7 de les 19 capitals estatals de l'època (ara 36), i els territoris de la capital federal, aproximadament, de 2.800 quilòmetres quadrats (7,250). A més, durant els primers anys vuitanta es va construir un complex gegant de ferro i acer a Ajaokuta, prop de Lokoja.

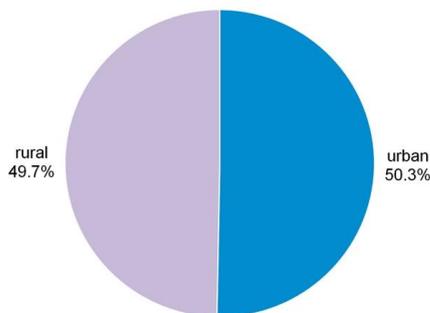
- **Nord:** El nord o el Sudan nigerià va experimentar un canvi significatiu a principis del segle XX, quan es va crear un nou patró econòmic mitjançant la construcció d'un ferrocarril que connectés la regió amb els ports costaners del país. Abans, el Sudan nigerià estava més orientat cap a l'exterior a través de contactes transsaharians regulars amb el nord d'Àfrica, la Mediterrània i l'Orient Mitjà. Excepte a la conca del llac Txad, on els kanuri van establir l'estat de Borno, el Sudan nigerià ha estat dominat per una barreja de cultures fulani i hausa. Els primers són pastors de bestiar tradicionalment nòmades, els segons cultivadors assentats; ambdós grups són predominantment musulmans.

Es troben dues regions de població densa a l'extrem nord: la zona de Sokoto i la zona de Kano-Katsina. La concentració de Kano es basa en l'agricultura intensiva en una zona de sòls relativament fèrtils, però les zones densament poblades al voltant de Katsina propera tenen sòls empobrits i no produeixen prou menjar per a la població local.

3.4. Patrons d'assentament

- **Rural:** Aproximadament la meitat de la gent viu a les zones rurals. Els assentaments densament poblats es produeixen al llarg de la costa, a la zona habitada per iorubes al sud-oest i a les zones habitades per Hausa i Kanuri de l'extrem nord. En zones de les zones habitades per Igbo i Anang-Ibibio al sud-est i les zones habitades per Tiv a la regió central, els assentaments consten de cases disperses anomenades compostos. Cada recinte alberga un home, la seva família més propera i alguns parents. Hi ha diversos compostos que formen el poble, normalment habitat per persones que reivindiquen un avantpassat comú, sovint el fundador del poble.

Nigèria urban-rural (2018)



© Encyclopædia Britannica, Inc.

Il·lustració 7. Patrons d'assentament a Nigèria

Als estats orientals, cada poble té un cap o cap, que, com un dels homes més vells i pròspers de la comunitat, governa amb el consentiment de la gent. A les zones habitades en ioruba i Edo i en la majoria de parts dels estats del nord, el cap és escollit pel governant tradicional de la regió o amb el consentiment d'aquest. Un tret característic de la vida del poble és el sistema d'edat, en què les persones s'agrupen amb altres d'edat similar. Aquest sistema era tradicionalment més important (servia per separar els homes en agrupacions de tres anys amb finalitats laborals i d'iniciació), però el seu ús ha disminuït.

- **Urbà:** Abans del segle XX, només els pobles ioruba, hausa, Edo, Kanuri i costaners eren habitants de les ciutats. Els iorubes han estat durant molt de temps les persones més urbanitzades de l'Àfrica tropical. Les seves ciutats, la majoria de diversos centenars d'anys, eren originàriament centres administratius i comercials, una funció que molts han mantingut. Actualment, aproximadament la meitat dels iorubes viuen a ciutats de més de 5.000, sobretot Ibadan, Ogbomosho, Abeokuta, Ile-Ife i Oyo. Benin City, com Ibadan i Oyo, és una capital política i cultural; la seva història es remunta a diversos segles fins a quan va ser el centre de l'estat històric de Benín.

3.5. Tendències demogràfiques

Nigèria, com altres països en desenvolupament, té taxes de natalitat i mortalitat superiors a la mitjana mundial. Tanmateix, des de mitjan segle XX, la mortalitat infantil ha disminuït dràsticament i l'esperança de vida ha augmentat; Com a conseqüència, el creixement de la població ha estat ràpid. Gairebé tres quartes parts de la població són menors de 30 anys.

Hi ha una migració considerable a Nigèria, especialment entre el nord i el sud. Un gran nombre de migrants del sud s'han establert a les ciutats del nord de Kano, Sokoto, Kaduna i Jos, mentre que els migrants estacionals sovint s'han traslladat de les zones del nord de Sokoto i Kano a les zones del sud on es cultiva el cacao. Un nombre més significatiu de persones ha emigrat des del sud-est cap als estats occidentals més industrialitzats i urbanitzats de Lagos, Oyo i Ogun o cap als estats occidentals agrícoles d'Ondo i Edo.

3.6. Economia

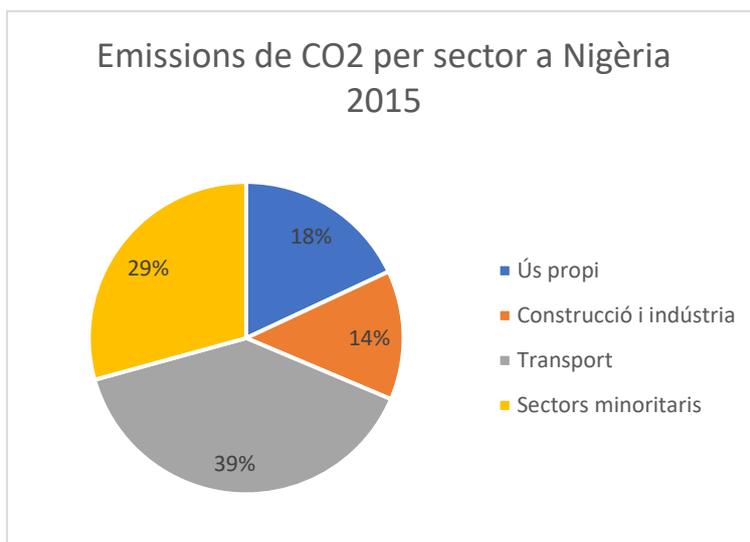
L'economia nigeriana és una de les més grans d'Àfrica. Des de finals dels anys seixanta es basa principalment en la indústria del petroli. Una sèrie d'augmentos mundials del preu del petroli a partir del 1973 van produir un ràpid creixement econòmic en el transport, la construcció, la fabricació i els serveis governamentals.

Com que això va provocar una gran aflluència de gent rural als centres urbans més grans, la producció agrícola es va estancar fins a tal punt que els cultius comercials com ara oli de palma, cacauet (cacauet) i cotó ja no eren productes bàsics d'exportació.

3.7. Canvi climàtic

Nigèria és un país especialment vulnerable en front al canvi climàtic degut a la situació geogràfica del país, el seu clima i la situació de molts dels seus habitants (menys del 40% té accés directe a l'aigua potable, segons la ONU). És susceptible de sequeres al nord i inundacions al sud, per exemple.

És un país amb una emissió molt baixa de CO₂ a l'atmosfera degut a l'escàs desenvolupament de la indústria. No obstant, no s'ha de menysprear degut a l'enorme creixement industrial i poblacional que s'espera que adquireixi als propers anys. Nigèria haurà d'enfrontar-se al repte d'un desenvolupament sostenible, adaptant-se a les noves tecnologies i amb l'ajuda de les potències desenvolupades.



Il·lustració 8. Emissions de CO₂ per sector a Nigèria 2015

A l'any 2015 Nigèria va emetre 64,4 Mtoe de CO₂ a l'atmosfera. El 54% d'aquestes emissions procedien directament del petroli i el 40,5% del gas natural. Si es realitza l'estudi per sectors, el 18% es va emetre degut a necessitats energètiques o ús propi, el 13,4% a la construcció i la indústria, el 39,3% en transport i el restant en altres sectors minoritaris en emissions.

Les emissions totals posen en evidència el gran ús de la biomassa com a font de calor i energia que es fa a les zones menys desenvolupades i amb un menor accés a la xarxa elèctrica del país.

3.8. Objectius de Desenvolupament Sostenible

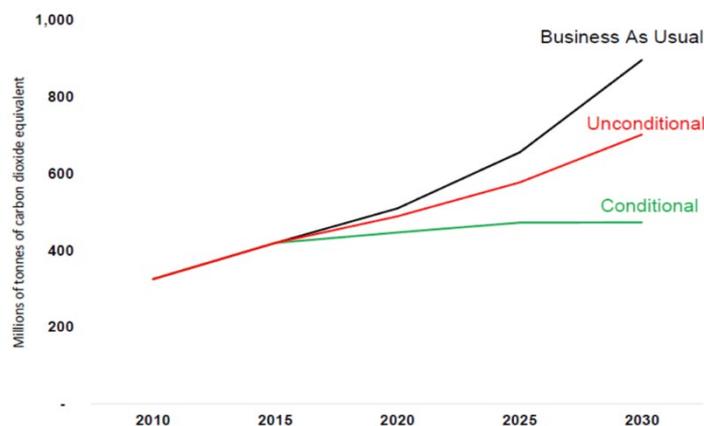
La contribució nacional (INDC) nigeriana presentada a la ONU planteja mesures molt específiques en diversos sectors: transport, indústria, energia, agricultura... L'objectiu final és reduir les emissions respecte a la hipòtesi d'escenari invariànt (BAU) entre 2015 i 2030, prenent com a base el període 2010-2014.

Es classifiquen les mesures en:

3.8.1. Mitigació

El principal objectiu de la mitigació és reduir les emissions en un 20% de manera incondicional respecte al BAU. Es contempla també una reducció del 45% de manera condicional, és a dir, comptant amb el suport econòmic de les potències més desenvolupades. Les principals mesures de mitigació són:

- Acabar amb el cremat de gas en antorxa per 2030
- Aconseguir 13GW de potència fotovoltaica instal·lada fóra de la xarxa
- Millorar l'eficiència energètica un 2% anualment
- Fomentar el transport públic en front del cotxe
- Augmentar la xarxa elèctrica (reduïnt així l'ús de la biomassa per obtenir energia i reduir emissions)
- Millores en agricultura i reforestació



Il·lustració 9. Previsió milions de tones de diòxid de carboni equivalent fins 2030

Per tal d'acomplir aquests objectius, Nigèria ha publicat el National Renewable Energy Action Plan (NREAP) i el National Energy Efficiency Plan (NEEAP). Ambdós plans van ser publicats el 2016 i estableixen els camins necessaris per assolir el 16% de generació mitjançant les energies renovables al 2030 i la millora anual del 2% que contempla la INDC, respectivament.

3.8.2. Adaptació

Com tots els països del món, Nigèria és molt susceptible al canvi climàtic, podent arribar a afectar de forma notable el creixement econòmic nacional si no es prenen mesures adequades.

L'agricultura, l'aigua, les inundacions a la zona sud, sequeres al nord i el creixement del nivell del mar es troben entre els riscos més directes als que s'enfronta el país. El National Adaptation Strategy and Plan of Action for Climate Change Nigeria (NASPA-CCN) és l'encarregat de recollir les mesures necessàries per aquesta adaptació. L'objectiu final de les mesures:

- Millorar la conscienciació i preparació pels reptes del canvi climàtic
- Movilitzar comunitats senceres perquè s'adaptin en front de les amenaces climàtiques.
- Reduir l'impacte del canvi climàtic als sectors crucials i les comunitats més vulnerables.
- Integrar l'adaptació al canvi climàtic a la legislació nacional, local i per sectors, a més de les empreses privades.

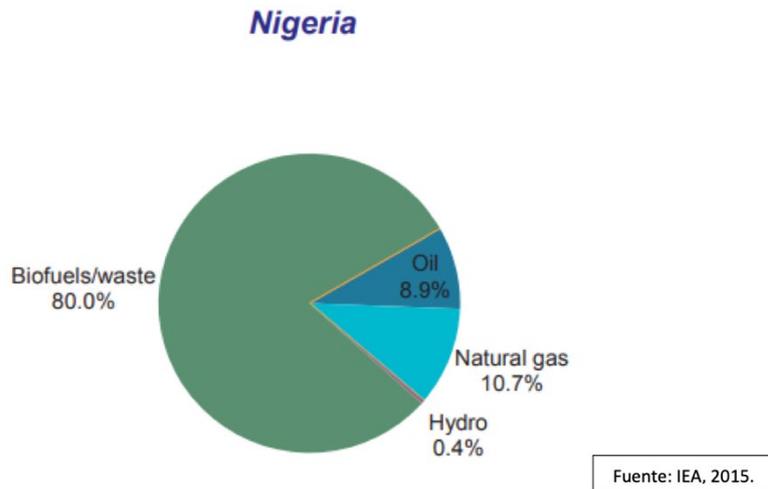
3.9. Generació elèctrica

Nigèria és el país africà més poblat i afronta un repte en curs en el sector de l'energia. Nigèria està dotada d'abundants recursos de combustibles fòssils (carbó, petroli, gas, etc.) i recursos d'energia renovable (solar, eòlica, hidràulica, biomassa, etc.). Tot i els recursos abundants, el país encara té greus reptes en el sector elèctric. Segons el Consell Mundial de l'Energia, al voltant del 40% dels nigerians no tenen accés a l'electricitat. Aquest i alguns altres factors situen Nigèria en la 106^a posició de l'índex mundial de energètic.

L'electricitat es va generar per primera vegada per a ús públic a Nigèria el 1896. La generació es va basar en recursos de combustibles fòssils i, des de llavors, Nigèria només ha estat capaç de generar electricitat comercial a partir de combustibles hidràulics i fòssils. Nigèria genera més del 80% de la seva electricitat a partir de centrals elèctriques de gas i un 14% a partir d'energia hidràulica. La pobresa energètica del país té la seva part en l'economia, ja que la majoria dels ciutadans tenen un nivell de vida d'uns 2\$ diaris. La xarxa actual de Nigèria també pot donar cabuda a la seva pròpia demanda d'energia.

Nigèria compta amb una gran varietat de recursos renovables i no renovables, alguns dels quals encara no s'han aprofitat amb eficàcia. És probable que l'energia solar, probablement la més extensa de les fonts renovables infrautilitzades, continuï sense explotar-se durant un temps.

L'energia primària produïda a Nigèria (TPES) és de 139,4 Mtoe, menor que la producció total degut a que aquest país exporta el 98,3% del seu petroli [IEA, 2015]. D'aquesta energia primària, el 8,9% és petroli, 80% biomassa, 10,7% gas natural i la resta fonts hidroelèctriques.



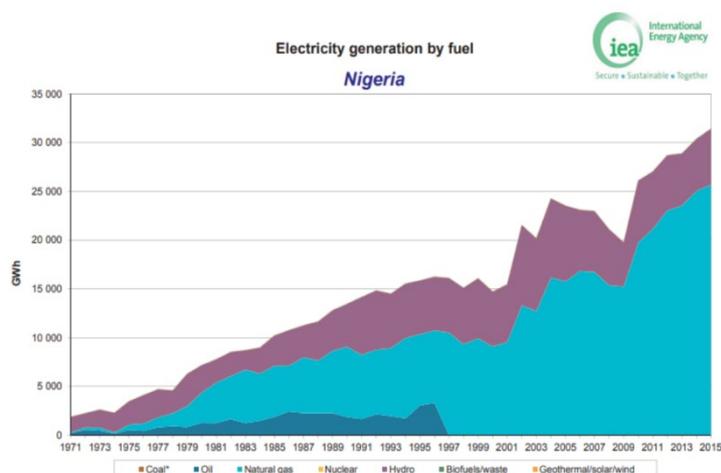
Il·lustració 10. Energia primària consumida a Nigèria al 2015

El consum final (TFC), al que se li han de restar les pèrdues, va ser de 120,6 Mtoe. El principal sector de consum engloba l'ús energètic comercial, residencial, agrari i de pesca, amb el 85,6%.

Actualment, la producció a Nigèria és de 31426 GWh (81,8% d'aquesta és gas natural i el 18,2% restant és generació hidroelèctrica). Tot i això, la demanda elèctrica a Nigèria és menor del que es podria esperar d'un país amb quasi 200 milions d'habitants. El motiu és l'escàs accés a l'electricitat d'un ampli sector de la població (més del 40% al 2016 segons el Banc Mundial).

Amb una potència instal·lada de 10500MW (ONU 2015), és perfectament capaç de suplir la demanda del país.

El previsible augment de l'accés a la generació elèctrica i el creixement demogràfic són els principals culpables de que s'espera una demanda creixent al 7,7% (IRENA, 2014) anual durant els pròxims anys.



Il·lustració 11. Generació elèctrica per combustible a Nigèria

S'espera que pel 2030 tots els nigerians i nigerianes tinguin accés a l'electricitat, amb un consum elèctric aproximat de 150TWh, i amb una indústria tres vegades més gran a l'actual.

El NREAP (National Renewable Energy Action Plan) estableix l'objectiu que el 29% del consum (43% de la potència instal·lada) ha de procedir de fonts d'energia renovables: hidroelèctrica de petita i gran escala, solar, biomassa i eòlica. A més, es contemplen les dues realitats existents al territori nacional nigerià: la zona rural i la urbana. La distinció entre aquestes dues realitats és de real importància degut a que gran part del consum rural serà de plantes de generació renovable independents no connectades a la xarxa nacional (off-grid).

Els principals protagonistes en la implantació, desenvolupament i suport d'aquest tipus de projectes són el Govern Federal de Nigèria a través del ministeri d'energia i la ECOWAS (Economic Community of West African States). Encara que Nigèria presenta potencial pel desenvolupament de les energies geotèrmica, mareomotriu o de les corrents marines, en el marc 2015-2030 les accions es centren més en la eòlica, solar (PV, CSP o termosolar) i hidràulica.

3.9.1. Eòlica

Nigèria té escàs potencial pel desenvolupament d'energia eòlica. Gran part del país no arriba a més de 6m/s a 30 metres d'altura, impossibilitant d'aquesta forma una bona explotació del vent com a recurs energètic. Tot i això, el NREAP estima en 800MW la potència instal·lada per l'horitzó 2030.

En 2018 es va finalitzar un projecte de 10MW a Katsina, portat a terme per l'empresa francesa Vergnet amb un pressupost de 21,5 milions de USD. Aquest va ser el primer parc eòlic del país.

També es troben en aquest pla diversos projectes d'un total de 300MW amb un pressupost de 477USD. Inicialment plantejat per aquest 2021, ha sigut endarrerit podent suposar un obstacle pel compliment dels 800MW finals per 2030.



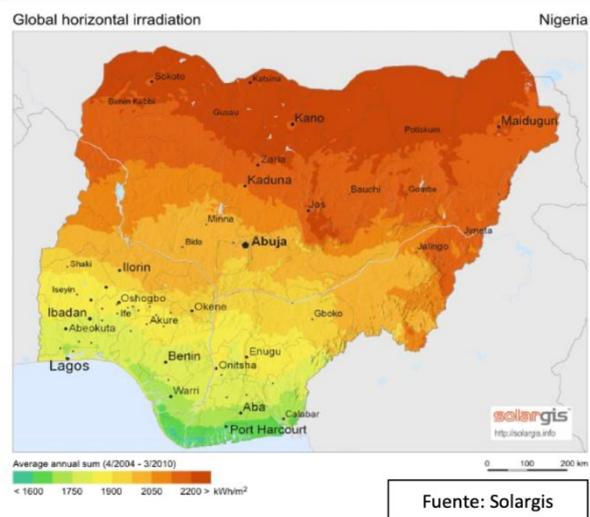
Il·lustració 12. Potencial eòlic a Nigèria

3.9.2. Solar

Encara que Nigèria es troba a l'oest del continent africà, el desert del Sàhara es troba suficientment a prop de les fronteres del país com per tenir un enorme potencial solar: amb 6 hores al dia de sol de mitjana, presenta un potencial de fins 427.000MW (RECP, 2018). El NREAP planteja la construcció de fins 6000MW pel 2030, 1000MW termosolar i el restant en PV.

Al juliol de 2016, el govern federal va firmar acords de venda d'energia per projectes PV amb una capacitat total de 1125MW. Aquest grup de projectes es coneix sota el nom de la iniciativa "greenfield".

Adicionalment, existeixen altres projectes com les plantes de PV de Nova Scotia (80MW) i Bauchi (100MW), finançats ambdós pel AFDB.



Il·lustració 13. Potencial solar a Nigèria

3.9.3. Hidroelèctrica

Com a la major part de països subsaharians, aquest tipus d'energia és la pedra angular de la generació lliure d'emissions a Nigèria. Actualment es compta amb 1,9GW de potència instal·lada dels 11,25GW potencialment disponibles. A més, són nou els projectes en desenvolupament amb un total de 4455MW. Els més importants són:

- Zungeru Project. Portat a terme per l'empresa xinesa EEC/SinoHydro, compta amb 700MW.
- Mambilla Project. Està destinada a ser un dels embassaments més grans d'Àfrica amb 3050MW instal·lats i un cost de 5,8 mil milions de USD. El govern espera la finalització d'aquest projecte pel 2024.
- Gurara I, desenvolupada per una empresa americana, amb 350MW.
- Gurara II, Itsi i Kashimdilla amb 30, 40 i 40MW respectivament.

El potencial de generació hidroelèctrica de Nigèria no acaba aquí, doncs existeixen 3500MW possibles a petites preses hidràuliques dels quals només s'han aprofitat fins avui dia 100MW.

En el NREAP, el govern planteja més de 5000MW instal·lats entre petites i grans hidroelèctriques pel 2030.

3.9.4. Nuclear

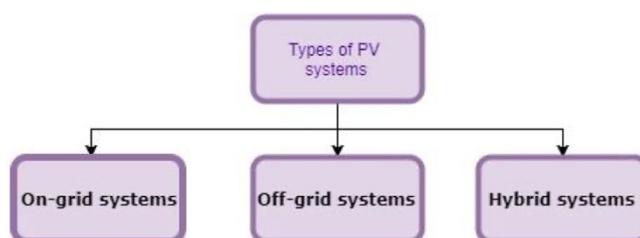
Nigèria ha estat involucrada a moltes activitats relacionades amb la tecnologia nuclear: compten amb un reactor experimental d'origen xinès a la Universitat Ahmadu Bello des del 2004 i existeixen autoritats i comissions relacionades amb l'energia nuclear.

Actualment, es manté un pla de construcció d'una planta tipus VVER de 1200MW en col·laboració amb el Rosatom que entraria en funcionament pel 2025.

3.9.5. Off-grid

Encara que un sistema off-grid per ell mateix no fonamenta cap font d'energia renovable, és important per aquest projecte destacar la seva transcendència en el desenvolupament de les zones rurals allunyades de les centrals de producció i on, per tant, la xarxa elèctrica és pràcticament inexistent.

Així com els sistemes fotovoltaics generen energia elèctrica directament a partir de la irradiació solar, podem distingir entre tres tipus de sistemes fotovoltaics: sistemes de xarxa, híbrids i fóra de xarxa o (off-grid); en aquest capítol es tractarà sobre l'últim dels tres tipus mencionats.



Il·lustració 14. Tipologies d'instal·lacions PV

Els sistemes fora de xarxa produeixen electricitat sense tenir cap connexió amb la xarxa elèctrica i s'utilitzen per subministrar al consumidor allà on es troben. Aquest tipus d'instal·lació té múltiples aplicacions.

El podem utilitzar amb finalitats tecnològiques com a alimentadors repetidors d'instal·lacions de telecomunicacions o dispositius de telemetria.

A més, ens permet subministrar sistemes a l'espai de l'ésser humà, com ara satèl·lits de telecomunicacions o l'Estació Espacial Internacional. Una altra aplicació es troba als semàfors, que tenen el seu propi panell solar i la seva bateria.

Una de les aplicacions més importants és proporcionar electricitat a zones rurals i aïllades. Normalment tenen un sistema d'emmagatzematge amb bateries. Es pot utilitzar per a subministrament elèctric en països en vies de desenvolupament o en zones on no hi ha cap xarxa elèctrica comercial. Les instal·lacions fora de xarxa també s'utilitzen per a l'enllumenat públic en zones quan és complicat portar la xarxa elèctrica convencional. Un altre ús d'aquest tipus de sistemes és per a estacions de bombament en llocs com granges o ranxos.

El NREAP contempla també expectatives off-grid que també apareixen a la INDC (1300MW de solar fotovoltaica a zones rurals). S'espera que cap al 2030, el 40% de la població rural es nutreixi de fonts renovables no connectades a xarxa.

| | 2010 | 2020 | 2030 |
|--|------|------|------|
| Share of rural population served with off-grid (mini-grids and stand-alone) renewable energy electricity services in % | 1.2% | 25% | 40% |

Il·lustració 15. Percentatge de població que utilitza una instal·lació off-grid

4. Energies renovables per centres de salut rurals

L'atenció mèdica als països en desenvolupament depèn en gran mesura de suport i administració de govern nacional, serveis humans de caritat, organitzacions no governamentals i organitzacions religioses. Aquests esforços estan complementats per l'ajuda internacional. A través dels esforços d'aquestes organitzacions, els sistemes de distribució de salut es realitzen amb la provisió de subministraments mèdics, serveis de salut i personal mèdic. Les necessitats són immenses i els esforços són sovint severament reduïts en subministraments mal equipats, particularment en àrees remotes i comunitats distants.

La relació entre salut i energia és urgent. L'Organització Mundial de la Salut (OMS) declara que "La salut i l'energia són factors interdependents que en gran mesura determinen el progrés del desenvolupament rural. Una estratègia d'energia per a les àrees rurals serà crítica en l'assoliment permanent de millores de la salut. L'OMS creu que l'energia solar pot jugar un paper important en el perfeccionament de l'energia per a la salut si s'integra amb un conjunt més ampli d'usos finals.

Els programes d'atenció mèdica bàsica són essencials per a l'avanç dels programes de supervivència infantil i la qualitat general de les condicions humanes. La distribució de l'energia mitjançant els sistemes convencionals ha fallat en la seva confiabilitat i accessibilitat, en la solució de les modestes necessitats dels centres de salut rurals en molts països subdesenvolupats.

Els subministraments de gas i querosè són sovint costosos i res fiables. Aquests combustibles proporcionen llum de mala qualitat. Els refrigeradors que funcionen amb propà proporcionen adequada preservació de les vacunes, però no els refrigeradors més difosos que acostumen usar querosè. Els combustibles, gasolina i dièsel poden moure motors generadors per a servei elèctric, però aquests generadors sovint, no són funcionals, sempre són cars i generalment reservats per a emergències quan es disposen d'ells. La majoria dels centres de salut rurals en regions subdesenvolupades estan sense energia elèctrica.

L'energia renovable del sol i el vent és un recurs abundant i disponible. Tot i que aquests recursos són capaços de proporcionar electricitat suficient i fiable, són mínimament explotats. L'electricitat produïda in situ ha provat ser capaç de proporcionar electricitat d'alta qualitat per a refrigeració de vacunes, enllumenat, comunicacions, aplicacions mèdiques, subministrament d'aigua neta i sanitaris. També pot perfeccionar l'administració, la logística, distribució i informació, educació i comunicació. En les localitats on és difícil mantenir un personal mèdic entrenat al camp, l'electricitat fiable pot proporcionar amenitats d'estil de vida altament valorables, com ara enllumenat, música i comunicacions radials.

La política internacional considerant la salut rural està girant cap a la descentralització dels serveis i estratègies més àmplies. L'Atenció Mèdica Primària (AMP) ha estat enfocada selectivament en els programes de supervivència infantil, com ara la immunització i la teràpia de rehidratació oral. Un enfocament més ampliat està progressant estenent fora de les parets de la Clínica de salut per abastar aspectes de salut més amplis de la comunitat. La AMP àmplia inclou tals ítems com la provisió de subministrament d'aigua neta i la promoció d'educació de la salut. La coordinació i associació amb altres sectors de servei humà incloent l'educació, la agricultura i el desenvolupament econòmic són desitjables, especialment quan els fons són limitats.

4.1. Què s'entén per Clínica de salut?

El terme "clínica de salut" es refereix a molts tipus d'instal·lacions mèdiques en un rang de mides variable: des de la instal·lació més senzilla, anomenada "posta sanitària", passant per una clínica de salut rural convencional fins arribar a petits "hospitals rurals":

- **Posta sanitària.** Això consta típicament d'una instal·lació d'una o dues peces que poden o no estar íntegrament dedicades a proporcionar serveis de salut. Generalment no hi ha un metge permanent o una infermera present. Un doctor o infermera poden visitar periòdicament. Addicionalment a la infermera o metge itinerants, la instal·lació pot tenir un treballador de salut primària a temps complet o parcial. Els serveis disponibles a les clíniques inclouen el tractament de malalties menors i l'atenció de ferides menors. Els pacients amb problemes més seriosos són remesos a l'hospital de districte local. En general aquestes instal·lacions tenen només els ítems més bàsics, equips de comunicació, llums i ocasionalment un refrigerador per vacunes.
- **Clínica de salut rural.** Una etapa superior a la posta sanitària és la "clínica de salut" amb algunes instal·lacions grans i amb major probabilitat de tenir un malalt simple a temps complet. Una clínica de salut ofereix un conjunt de serveis més ampli que la posta sanitària. Alguns centres de salut poden tenir un o dos llits per a les malalts o ferits més seriosos.

Aquestes instal·lacions tenen més probabilitats de tenir equips com refrigeradors per vacunes i poden tenir alguns equips de laboratori senzills com ara una centrifugadora o microscopi. Addicionalment les càrregues d'energia poden incloure enllumenat i un TV / VCR per al personal allotjat.

- **Hospital rural.** A l'extrem major de continuïtat de la clínica de salut hi ha els petits hospitals rurals amb una dotzena o diverses dotzenes de llits. En molts països subdesenvolupats, aquest és el menor nivell d'instal·lació amb personal permanent de doctors. Al costat dels doctors estan donant suport al personal com ara infermeres, auxiliars d'infermeres i treballadors de manteniment. Els hospitals normalment ofereixen serveis com ara cirurgia, rehabilitació, laboratori i serveis de radiologia.

4.2. Aplicacions mèdiques a les clíniques de salut

Una vegada definits els requeriments de cada tipus de centre de salut, serà necessari conèixer aquelles aplicacions necessàries més comuns a l'atenció mèdica rural, les quals requereixen alguna forma d'energia per tal de poder funcionar.

- **Refrigeració de vacunes i congelament de blocs de gel.** Els programes d'immunització depenen de la refrigeració segura per preservar vacunes per prevenir o eradicar malalties perilloses, incloent la Pòlio, Diftèria, Tètanus, Perutsis, Tuberculosi, Measlas, Febre groga i Hepatitis B. La Cadena Freda és un sistema de gent i equip present en gairebé tots els països que intenten mantenir vacunes a la temperatura adequada d'acord distribueixen els fabricants a les localitats on s'administren. La falla de seguretat dins de la franja especificada de temperatura, des del punt de fabricació fins al punt d'utilització, és crítica per a la missió de la Cadena Freda.

En els districtes i centres de salut rural les vacunes s'emmagatzemen per més d'un mes i requereixen una temperatura estable entre -6°C i 8°C . Una vegada que les vacunes han estat exposades a les temperatures fora d'aquest rang, la seva potència es perd per sempre. No és estrany per al treballador en salut que la vacuna s'hagi tornat inutilitzable a causa de l'exposició a la calor sense indicadors d'assegurances o proves completes de laboratori.

- **Enllumenat.** L'electricitat ofereix una qualitat de llum que no es compara amb el gas o el querosè. La llum elèctrica, a més, millora enormement els tractaments d'emergència, naixements, atenció de maternitat, cirurgia, tasques administratives i altres funcions mèdiques.
- **Comunicacions.** Les comunicacions de ràdio i ràdio telefonia poden millorar considerablement els serveis d'atenció mèdica en centres de salut rurals. El tractament mèdic d'emergència es facilita molt amb comunicacions fiables a altres centres de salut i instal·lacions a la regió. Els doctors i les infermeres sovint han de cobrir nombroses comunitats a la regió i tenen programades dies per visitar a cada comunitat. Els serveis d'atenció mèdica poden millorar considerablement mitjançant comunicacions amb personal mèdic ambulant o serveis regionals. Les comunicacions són també per a les operacions de rutina i les funcions

d'administració incloent la consecució de subministraments, vigilància i report de malalties i immunització i assistència amb diagnòstic de malaltia i procediments mèdics.

Les comunicacions dels centres de salut requereixen molt poca energia elèctrica. El consum de reserva d'energia pot ser tan petita com dos watts (W). El consum d'energia per a transmissió i recepció són majors, en l'ordre de 30 a 100 W, però generalment és per molt poc temps. Molts Centres de salut rurals tenen comunicacions regionals de dues maneres, via ràdio VHF amb electricitat proporcionada per un simple mòdul FV de 30-W.

- **Esterilització.** L'esterilització requereix temperatures una mica altes, aproximadament 120 ° C. Encara que els sistemes fotovoltaics són capaços d'alimentar autoclaus elèctrics amb l'ús d'un inversor, el consum d'energia és alt i econòmicament res pràctic. Generalment més apropiat és esterilitzar amb energia tèrmica en lloc d'elèctrica. Aquestes temperatures poden produir-se per sistemes col·lectors tèrmics solars a menor cost, especialment en àrees amb bona insolació.
- **Tractament de l'aigua.** Potser un dels problemes més comuns i seriosos de salut en els països menys desenvolupats és l'aigua potable neta accessible. L'OMS estima que la contaminació d'aigua potable és responsable de 50.000 morts diàriament. L'OMS també estima que el 80% de les malalties a tot el món es transmeten per l'aigua contaminada. La contaminació de l'aigua pot ser microbiològica, química o parasitària.

Els mitjans comuns de desinfecció química inclouen el clor i el iode, els que produeixen un gust i olor característics, encara que existeixen altres tractaments més sofisticats que generen grans volums d'aigua potable i són efectius per a una àmplia varietat de tipus de contaminació. Aquests processos requereixen electricitat que poden produir-se en el lloc amb energia solar i eòlica. Ells inclouen el tractament d'ozó, osmosi inversa, foto- química, també coneguda com ultraviolada o UV, desinfecció i filtres de carbó. Alguns processos utilitzen una combinació d'aquests tractaments. Hi ha també diverses tecnologies que proporcionen per a la producció en el lloc de desinfectants com ara hipoclorit de sodi d'una solució d'aigua i sal.

L'ozó és una forma altament activada d'oxigen, sovint usada en combinació amb carbó activat per desinfectar els subministres d'aigua. No afegeix cap gust ni olor de l'aigua i tampoc ofereix cap desinfecció residual amb el temps. El tractament amb ozó requereix poca energia elèctrica. El procés és molt adequat per a energia generada amb el sol o el vent ja que es requereix només 0.3 W-hora (Wh) per litre.

El carbó activat pot eliminar el cloroform, químics industrials i metalls pesats de l'aigua. El filtre ha de reemplaçar-se periòdicament per prevenir la contaminació bacterial.

Finalment, la desinfecció per UV requereix només una petita quantitat d'energia elèctrica (0.2 Wh per litre) i és efectiva per matar microorganismes.

- **Subministrament d'aigua.** L'aigua superficial de fonts com ara llacs i corrents són més propensa a la contaminació. Els pous poc profunds excavats manualment treballen millor si se'ls folra, cobreix o se'ls proporciona un drenatge adequat en el

lloc. Aquests pous poc profunds hauran equipar-se amb mitjans de bombament d'aigua per no introduir contaminants dels recipients per extreure l'aigua. Els pous profunds generalment proporcionen aigua de millor qualitat, però requereixen una font d'energia per a bombar volums significatius. Les necessitats d'energia augmenten amb el volum d'aigua requerit i la profunditat de la qual ha de bombar. L'energia solar o eòlica (o ambdues) generades al lloc poden satisfer econòmicament les àmplies necessitats entre bombes manuals i bombes mogudes per grans motors generadors.

Es mostra a la següent taula una estimació del consum elèctric diari per dispositiu a cada categoria de centre sanitari rural esmentat anteriorment:

Table 1 Estimation of daily energy consumption per equipment for each hospital category

| Equipment function | Qty of equipment (A) | | | | rating watts (B) | On-time hours /day (C) | $f = \left(\frac{a \times b \times c}{1000}\right)$ kWh/day (D) | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----|-----|------|------------------|------------------------|---|--------|--------|--------|
| | R | U | S | T | | | R | U | S | T |
| Vaccine refrigerator | 2 | 4 | 5 | 25 | 60 | 6 | 0.72 | 1.44 | 1.8 | 9.4 |
| Centrifuge | 2 | 4 | 5 | 6 | 575 | 6 | 6.9 | 13.4 | 17.25 | 20.7 |
| Microscope | 2 | 6 | 6 | 6 | 15 | 6 | 0.18 | .54 | .54 | .54 |
| Incubator | - | 3 | 1 | 3 | 400 | 6 | - | 7.2 | 2.4 | 7.2 |
| Autoclave | 1 | 2 | 2 | 3 | 1,564 | 6 | 9.4 | 18.77 | 18.77 | 28.15 |
| Oxygen concentrator | 1 | 2 | 1 | 3 | 300 | 6 | 1.8 | 3.6 | 1.8 | 9.0 |
| Computer desktop | 1 | 10 | 15 | 34 | 150 | 10 | 1.5 | 15 | 13.5 | 51.0 |
| Printer | 1 | 10 | 15 | 34 | 65 | 10 | 0.65 | 6.5 | 13.5 | 22.1 |
| Monitor | 1 | 10 | 15 | 34 | 65 | 10 | 0.65 | 6.5 | 13.5 | 22.1 |
| TV (color) | 1 | 8 | 15 | 20 | 60 | 10 | 0.6 | 4.8 | 9.0 | 12.0 |
| Ceiling fan | 13 | 20 | 120 | 450 | 40 | 6 | 5.2 | 4.8 | 28.8 | 180.0 |
| Kerosene stove | 2 | - | - | - | 9500 | 1 | 19.0 | - | - | - |
| Standing fan | 3 | 15 | 80 | 160 | 40 | 6 | 0.72 | 3.6 | 19.2 | 64.0 |
| Compact lamp | 25 | 135 | 250 | 1250 | 15 | 8 | 3.0 | 12.15 | 22.5 | 109.5 |
| Incandescent | 16 | 313 | 450 | 3450 | 60 | 8 | 7.68 | 112.68 | 162.0 | 1242.0 |
| Borehole-sumo pump | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 Hp | 6 | 8.95 | 17.90 | 8.95 | 13.43 |
| E.C. G | - | - | 2 | 3 | 1440 | 1.5 | - | - | 4.32 | 6.48 |
| Air conditioning spectrometer | - | 6 | 10 | 37 | 40 | 6 | - | 1.44 | 2.4 | 8.88 |
| Tissue culture | - | 1 | - | 3 | 575 | 6 | - | 3.45 | - | 10.35 |
| Dialysis machine | - | - | - | 3 | 475 | 6 | - | - | - | 8.55 |
| Ultra sound | - | - | - | 3 | 575 | 6 | - | - | - | 10.35 |
| X-Ray machine | - | 2 | 1 | 6 | 1440 | 6 | - | 17.3 | 8.64 | 51.8 |
| Oxygen machine | - | 2 | 3 | 3 | 3000 | 6 | - | 36.0 | 54 | 54.0 |
| Washing machine | 1 | 2 | 3 | 3 | 300 | 10 | 1.8 | 3.6 | 5.4 | 5.4 |
| Hematology mixer | - | - | - | 3 | 100 | 6 | - | - | - | 1.8 |
| Gross total of energy used | - | 4 | 4 | 3 | 28 | 6 | - | .67 | .67 | .54 |
| | | | | | | | 66.93 | 343.23 | 454.87 | 1944.4 |

Taula 2. Estimació del consum energètic diari per equipament en cada tipologia d'hospital

5. Digital twins i Building Management Systems: eficiència a totes les etapes

En aquest capítol del projecte es vol exposar tota la informació necessària per entendre dos sistemes que milloren substancialment l'eficiència dels edificis no només a nivell energètic, sinó també a nivell de disseny, construcció i operabilitat.

5.1. Digital twins o bessons digitals

Un digital twin o bessó digital en català, és una representació digital d'un actiu o un entorn físic com pot ser un automòbil, un pont o un edifici. Amb aquesta descripció, podríem pensar inicialment en el model 3D tradicional, on únicament es té en compte el disseny espacial i estructural de l'entorn.

A diferència del model 3D convencional, els digital twins integren dades generades durant l'etapa de planificació d'un projecte i que influeixen en totes les fases del cicle de vida de l'actiu; des del disseny fins la seva fabricació i construcció.

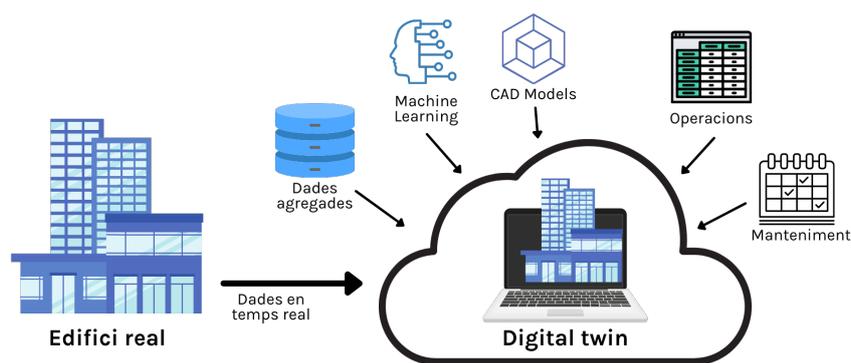
Els bessons digitals són entitats dinàmiques i "vives" que evolucionen al llarg del temps; aprenen, s'actualitzen i es comuniquen amb els seus bessons físics o "reals" mitjançant un intercanvi de dades al llarg del cicle de vida de l'actiu, per mitjà de tecnologies com l'intel·ligència artificial, l'aprenentatge automàtic i el conegut "Internet of things". Gràcies a aquests avenços tecnològics i dinàmics, els usuaris dels digital twins poden solucionar problemes de forma predictiva, explorar noves oportunitats i planificar el futur.

5.1.1. Impacte dels digital twins a l'arquitectura, enginyeria i construcció

A la indústria de l'arquitectura, la enginyeria i la construcció, un bessó digital és una rèplica al complet d'un actiu construït i els seus sistemes. La informació processada es basa en:

- Dades operatives pels sistemes HVAC, mecànics o elèctrics, entre d'altres.
- Dades de manteniment i peces.
- Dades ambientals recopilades a través de sensors IOT.
-

És per aquesta raó que, amb la utilització dels digital twins, a l'hora de crear una nova construcció, primerament es realitza la creació del bessó digital, mentre que els equips d'enginyeria treballen en la definició dels objectius i del resultats del projecte. A mesura que avança el projecte, les dades obtingudes es van recopilant i s'assignen contínuament al bessó digital. Quan l'actiu s'entrega al propietari, el bessó digital recopila dades operatives que es poden utilitzar per ajustar el rendiment i administrar el manteniment de forma predictiva a llarg termini.



Il·lustració 16. Esquema de concepte d'un digital twin

5.1.2. Impacte dels digital twins a l'arquitectura, enginyeria i construcció

Des del punt de vista de fluxe de treball, els bessons digitals unifiquen dos equips que tradicionalment han estat separats pels temps d'execució de les construccions; el disseny i la construcció. Com a resultat, els equips estan millor connectats durant el cicle de vida d'un projecte.

A més, gràcies a la integració de dades estàtiques, amb especificacions de components i programes de manteniment, i dades dinàmiques amb tasses d'ocupació, condicions ambientals i de qualitat de l'aire, els bessons digitals permeten a tots, des de dissenyadors fins als propietaris finals, prendre decisions més informades que maximitzen el rendiment i el cicle de vida de l'actiu.

5.1.3. BIM i digital twins

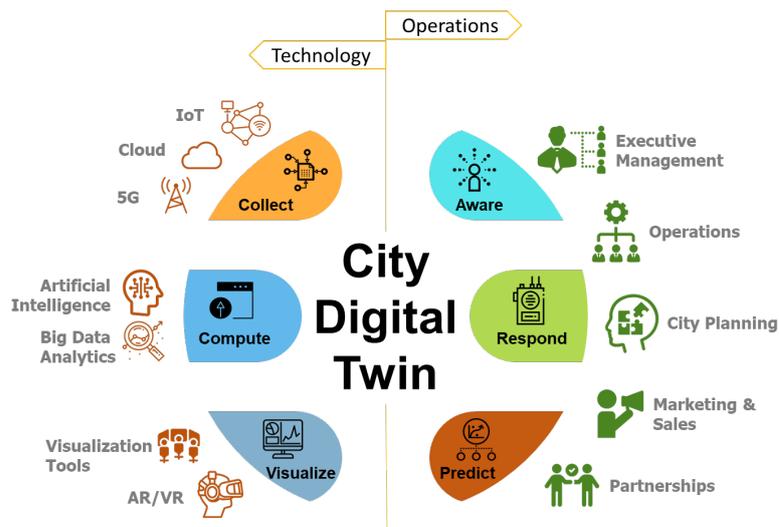
Els programes BIM (Building Information Modeling) estan impulsant la digitalització de la indústria de la construcció, utilitzant models multidisciplinaris i la col·laboració al cloud per informar sobre el disseny i la gestió d'actius construïts i dels sistemes que conviuen dins d'ells.

Els bessons digitals aprofiten tot el potencial de BIM, connectant dades i processos amb una gestió de la informació dinàmica, en temps real i bidireccional. Començar amb un BIM és una forma molt més eficient d'arribar a aconseguir aquests intercanvis d'informació entre l'edifici real i el seu bessó digital.

5.1.4. La ciutat intel·ligent i els bessons digitals: parella natural

El futur és ben clar: tots els edificis i entitats que conviuen dins d'una ciutat tindran un bessó digital. Al integrar diversos bessons digitals, els dissenyadors poden crear un ecosistema connectat i optimitzar el rendiment d'aquest sistema a llarg termini.

Quan es pensa més enllà de l'actiu individual, es pot començar a considerar el potencial dels bessons digitals en termes no només constructius i operacionals sinó també en econòmics, socials i mediambientals. Ens hem d'imaginar per tant, una ciutat intel·ligent que es pugui administrar utilitzant dades a temps real, analitzant i optimitzant el consum d'energia, les xarxes inalàmbriques, el transport públic, els sistemes de seguretat i el rendiment de la infraestructura municipal a través del modelat de geodades i de sensors IoT. Les ciutats intel·ligents podrien d'aquesta forma actuar com un conjunt; adaptar-se a les condicions de contorn canviant de forma àgil i simular per exemple, com actuaria la ciutat davant d'emergències com pandèmies i desastres naturals.



Il·lustració 17. Digital twin d'una ciutat

5.1.5. El futur dels bessons digitals

Cada vegada els bessons digitals estan incorporant més intel·ligència artificial i aprenentatge automàtic, de manera que aquestes eines passaran a ser més autònomes a mida que s'ampliïn les capacitats del software.

El mercat dels bessons digitals està creixent amb l'adopció de tecnologies IoT: segons MarketsandResearch, fins el 91% de les plataformes IoT oferiran capacitats de digital twin pel 2026 i aquest concepte es convertirà en un estàndard en les aplicacions IoT pel 2028.

Les ciutats més progressistes s'estan sumant al canvi; el mercat de solucions compatibles amb bessons digitals en ciutats intel·ligents arribarà fins els 3,77 mil milions € pel 2026.

Les dades ja existeixen; el repte actual és ser capaços d'integrar informació no estandarditzada d'una varietat de fonts en eines comuns i trobar formes d'aplicar aquestes dades per les necessitats creixents del sector de l'arquitectura, construcció i enginyeria.

5.2. Sistemes de gestió integral d'edificis (Building Management Systems)

Un sistema BMS o de gestió integral d'edificis permet l'automatització i el control centralitzat dels immobles per convertir-los en veritables "edificis intel·ligents".

Els Building Management Systems (BMS) o sistemes de gestió d'edificis cada cop són més usats en tota mena d'immobles públics i privats. La seva funció és millorar la gestió i el control, avançant cap al concepte d'edifici intel·ligent.

Des de la seva aparició a la dècada dels 70, els sistemes de gestió d'edificis han anat guanyant popularitat tant en els edificis públics (hospitals, universitats, aeroports, etc) com en els edificis privats (oficines, fàbriques, hotels, infraestructures, etc). També coneguts com a sistema d'automatització d'edificis, els BMS són sistemes informàtics que controlen i automatitzen els diferents elements mecànics, elèctrics i tecnològics dels immobles, com ara la climatització, il·luminació, els consums d'energia, aigua i gas, o els sistemes de vigilància.

A grans trets, un sistema BMS està format per dos elements, de la mateixa forma que qualsevol altre sistema informàtic:

- Hardware: per exemple, sensors, centrals de gestió, consoles de comandament, etc.
- Software: programes informàtics basats en protocols com Dali o Modbus.

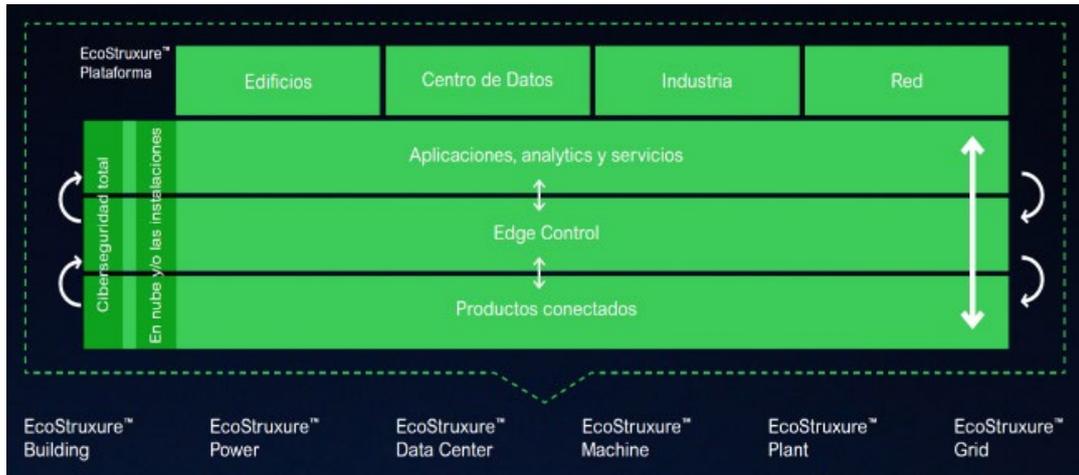
5.2.1. EcoStruxure Building Operation

Dins de la gran varietat de sistemes de gestió integral d'edificis (BMS) que hi ha al mercat, per la col·laboració entre l'autor del projecte i l'empresa Schneider Electric, s'ha decidit treballar en base al seu BMS; el EcoStruxure Building Operation.

L'EBO, o EcoStruxure Building Operation, es troba dins del sistema de plataforma i arquitectura compatible amb el IOT, d'ús immediat, obert i interoperatiu que és la família EcoStruxure. Està disponible per a llars, edificis, centres de dades, infraestructures i indústries i ofereix una innovació a tots els nivells, des dels Connected Products, a Edge Control i Apps, Analytics and Services.

L'oferta d'Schneider Electric destaca, tal i com s'ha comentat anteriorment, per les seves solucions integrals constituïdes per un seguit de productes i serveis que es complementen entre ells.

A la Il·lustració 18 es mostra un esquema clau per entendre l'ecosistema de l'empresa:



Il·lustració 18. Esquema EcoStruxure

Tal i com es pot veure, a la part inferior es troben els productes connectats; aquells productes capaços de captar informació sobre la instal·lació i transmetre-la utilitzant un dels protocols de comunicació en xarxa utilitzats al sector. Aquest seguit de productes connectats conformen la capa més visible del que avui en dia anomenem "Internet of Things".

Més enllà de la captació d'informació a la instal·lació, es troben les aplicacions de control "in situ" o a temps real; són aplicacions que monitoritzen el comportament de les instal·lacions i que són capaces d'augmentar l'eficiència d'aquestes per mitjà de l'automatització del manteniment i l'aplicació de certes regles de control, com bé pot ser el control de la temperatura en un hotel.

Finalment, gràcies a aquestes dues primeres capes de digitalització, sorgeix una última capa on resideixen tots els serveis d'anàlisi de les instal·lacions.

Aquests serveis, que en el cas d'Schneider Electric anomenem EcoStruxure, són aplicacions que utilitzen les dades captades pels productes connectats per obtenir analítiques de les instal·lacions, de manera que es dota als clients d'eines amb les quals poden controlar, automatitzar, optimitzar i predir el comportament de les seves instal·lacions.

Aquests serveis aglutinats sota el nom d'EcoStruxure estan dissenyats per donar solució a tots els problemes que es poden trobar a les instal·lacions de cadascun dels sectors clau de la societat: Buildings, Power, Data Centers, Machines, Plant i Grid són tots els serveis que s'ofereixen.

6. Metodologia per la planificació de la xarxa elèctrica d'un centre de salut rural

L'accés a una energia de qualitat, estable i segura és una font de desenvolupament econòmic i sociocultural. Però, tal i com s'ha exposat prèviament, aquest accés a l'energia no és sempre fàcil d'implementar, ja sigui bé per la localització de l'edifici a electrificar o bé pels costos d'instal·lació, moltes vegades relacionats.

És per aquesta raó que des de la Universidad Pontificia de Comillas, en col·laboració amb el MIT (Massachusetts Institute of Technology) han desenvolupat una eina de càlcul digital per modelitzar la distribució elèctrica d'una ubicació en concret per mitjà de la utilització de coordenades GPS.

El RNM (Reference Network Model), és una eina de planificació a gran escala que planifica la xarxa de distribució elèctrica mitjançant les coordenades GPS i la potència de cada client i recurs energètic distribuït (DER).

El Reference Network Model (RNM) és capaç de dissenyar les xarxes d'alta, mitjana i baixa tensió, planificant tant subestacions com alimentadors. Per planificar la xarxa, té en compte les limitacions tècniques, com ara els límits de voltatge, les limitacions de capacitat i la continuïtat dels objectius de subministrament. També considera restriccions geogràfiques com el plànol de carrers, la topografia i camins prohibits a través de reserves naturals o llacs. L'objectiu del RNM no és dissenyar la xarxa real, sinó construir una xarxa de referència, el cost del qual sigui indicatiu del cost real necessari per construir una xarxa en aquella ubicació. Inicialment, aquest tipus de models es van dissenyar per servir com a eina de regulació per avaluar els costos de la xarxa de distribució sota la regulació d'incentius. Més recentment, s'estan aplicant per avaluar l'impacte de la integració de recursos energètics distribuïts a les xarxes de distribució.

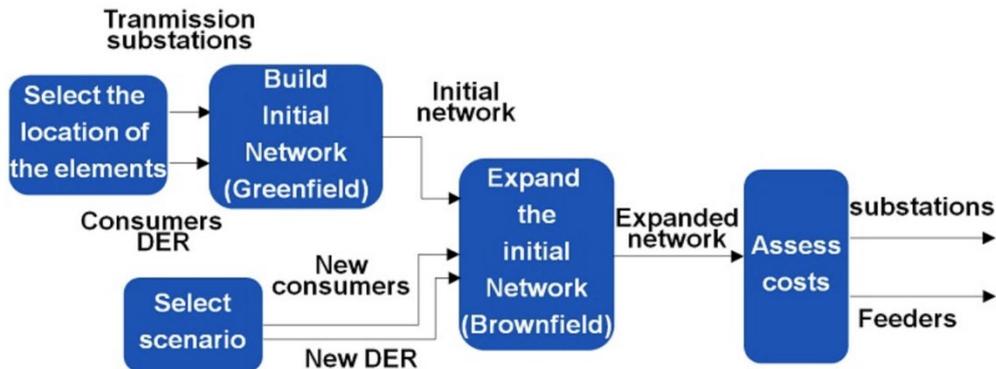
D'aquest programa de càlcul existeixen dues versions, segons la seva utilitat:

- **Greenfield.** Construeix la xarxa des de zero i s'utilitza per modelar la xarxa inicial.
- **Brownfield.** Amplia la xarxa ja existent per tal d'acollir la demanda addicional o els nous recursos energètics distribuïts. Aquesta versió s'utilitza per estimar quins són els reforços necessaris en escenaris futurs.

Pel que fa a la informació requerida per les RNM, les dades més importants són la ubicació i la potència de cada client i recurs energètic distribuït (DER). Si s'utilitzen perfils diaris, també s'ha d'especificar per a cada element, la potència activa i reactiva consumida o injectada a la xarxa cada hora. Amb aquesta informació, els models planifiquen la xarxa per connectar aquests clients i DER a les subestacions de transmissió.

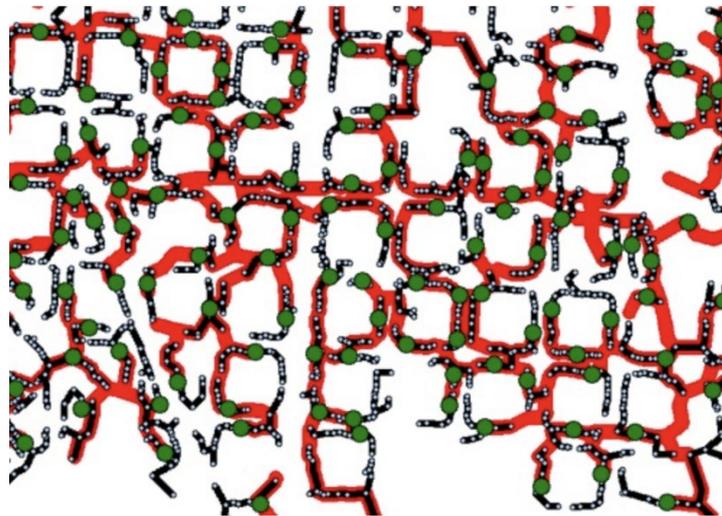
La metodologia típica es resumeix a la il·lustració 19. Per a cada xarxa de distribució, el primer pas és identificar la ubicació dels clients i els DER i utilitzar aquesta informació al Greenfield, la sortida del qual és un model de la xarxa inicial.

El següent pas és definir els escenaris a analitzar. A continuació, les xarxes inicials s'amplien per connectar els recursos addicionals a través del model Brownfield. Finalment, els costos s'avaluen mitjançant una biblioteca d'equips normalitzada.



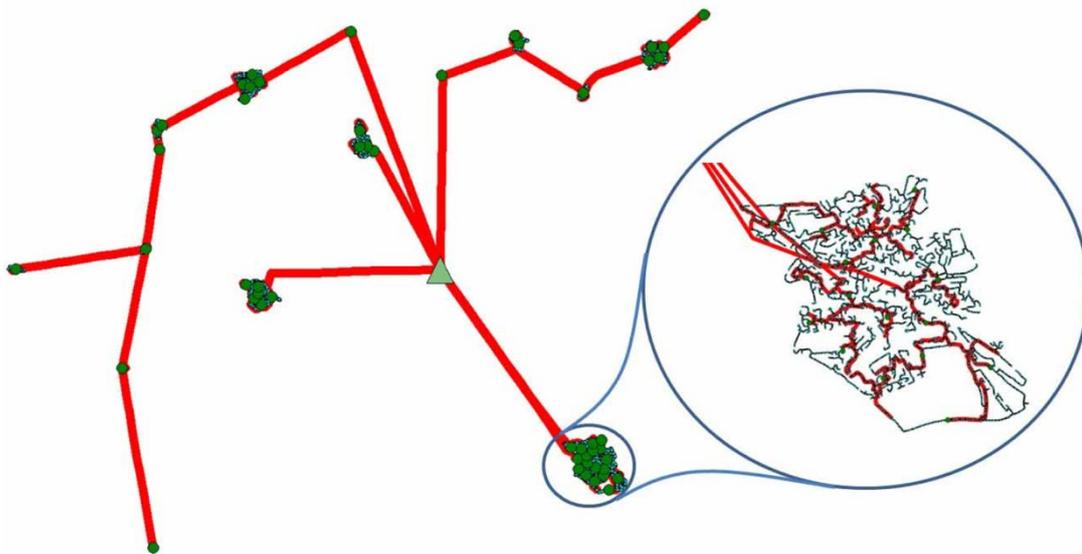
Il·lustració 19. Metodologia per l'avaluació de l'impacte

La il·lustració 20 mostra un exemple de xarxa construït amb el model en una zona urbana. Les línies vermelles gruixudes són alimentadors de mitja tensió (MT), les línies negres primes són alimentadors de baixa tensió (BT), els cercles verds són subestacions de transformadors MT / BT i els punts petits són clients de BT.



Il·lustració 20. Exemple de xarxa construïda amb el model d'àrees urbanes

La il·lustració 21 mostra un exemple de xarxa construït amb el model en una zona rural. Les línies vermelles gruixudes són alimentadors de mitja tensió (MT), les línies negres primes són alimentadors de baixa tensió (BT), el triangle verd és la subestació AT / MT, els cercles verds són subestacions de transformadors MT / BT i els punts petits són clients de BT.



Il·lustració 21. Exemple de xarxa construïda amb el model d'àrees rurals

Finalment, a la següent taula es classifiquen les principals entrades i sortides d'informació que necessita el programa per realitzar el càlcul i que aquest proveeix com a resultat, respectivament:

| Dades d'entrada | Dades de sortida |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Dades de georeferència de clients i subestacions de transmissió (coordenades x, y, z, potència contractada i perfils diaris) - Biblioteca d'equips normalitzats (subestacions, transformers, línies elèctriques, equips de protecció, ...) - Conjunt de paràmetres econòmics i tècnics (continuitat dels objectius d'oferta, taxa d'increment de la demanda, factor de pèrdua, coeficients de simultaneïtat, ...) - Dades geogràfiques i restriccions (orografia, llacs, reserves naturals, ...) | <ul style="list-style-type: none"> - Disseny de l'alimentador. - Ubicació de la subestació - Paràmetres tècnics i econòmics de cada equip: resistències, reactàncies, tensions, cabals, longituds, costos, ... - Clients i DG per nivell de tensió. - Longitud de les xarxes de baixa, mitjana i alta tensió que indiquen relacions aèries i subterrànies. - Costos totals de subestacions i alimentadors per nivell de tensió desglossat en cost d'inversió, cost de manteniment preventiu i correctiu, pèrdues d'energia i equips de protecció. - Estimació de rases, cables en façanes i pals. |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Continuitat dels índexs de subministrament (SAIDI, SAIFI) a cada àrea. - Subestacions, alimentadors i equips de protecció instal·lats per a cada nivell de tensió, indicant el nombre d'instal·lacions, els seus principals paràmetres tècnics i els seus costos. |
|--|--|

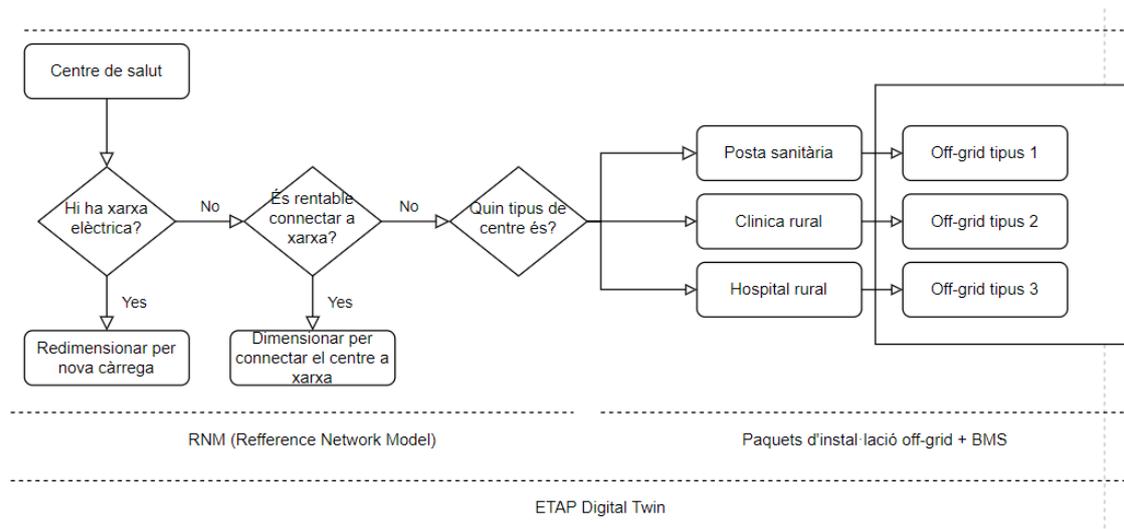
Taula 3. Dades d'entrada i sortida del RNM

Després d'haver realitzat una exposició de les capacitats i del funcionament del RNM (Reference Network Model), queda clar que el seu objectiu principal és la modelització de xarxes de distribució elèctrica tot obtenint un anàlisi dels costos d'instal·lació, de forma que permet decidir de forma quantitativa quin tipus de distribució és la idònia per a una ubicació en concret.

D'aquesta manera, el RNM ens permetrà definir un procediment estandaritzat de selecció del tipus d'instal·lació elèctrica (connectada o aïllada) necessària segons:

- La localització de l'edifici sanitari
- El tipus de centre sanitari (posta sanitària, clínica rural o hospital rural)
- La potència a alimentar

Es mostra aquest procediment a la següent il·lustració:



Il·lustració 22. Procediment pel dimensionament de centres de salut rurals

7. Metodologia pel dimensionament del sistema de generació off-grid

En aquest capítol es desenvolupa el cos principal del projecte en quant al càlcul del sistema de generació off-grid per les tres tipologies de centre de salut definides al document “Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria”.

7.1. Anàlisi de consums

Les instal·lacions sanitàries són estructures estàtiques o mòbils on es proporcionen diferents tipus de serveis sanitaris per diverses categories dels treballadors. Aquestes instal·lacions sanitàries són grups diferents i s'anomenen diferent segons l'estructura (edifici), la dotació de personal, l'equipament, els serveis prestats i la propietat.

Al llarg dels anys s'han utilitzat moltes terminologies, inclosos dispensaris, clíniques de salut, centres de salut, centres de salut primària, maternitats, llocs de salut i centres de salut integrals. No obstant això, basat en el sistema de salut Ward Health System, els tres tipus d'instal·lacions reconeguts a les zones rurals són, tal i com s'havia comentat en apartats anteriors: la posta sanitària, la clínica rural de salut i l'hospital rural.

El document “Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria” defineix un conjunt d'estàndards mínims en les àrees d'infraestructura sanitària, recursos humans i financers i subministrament de fàrmacs i productes bàsics per a institucions sanitàries primàries de Nigèria. A partir d'aquests estàndards es podrà obtenir el material elèctric necessari en els diferents tipus de centre sanitari i per tant, realitzar una estimació dels consums.

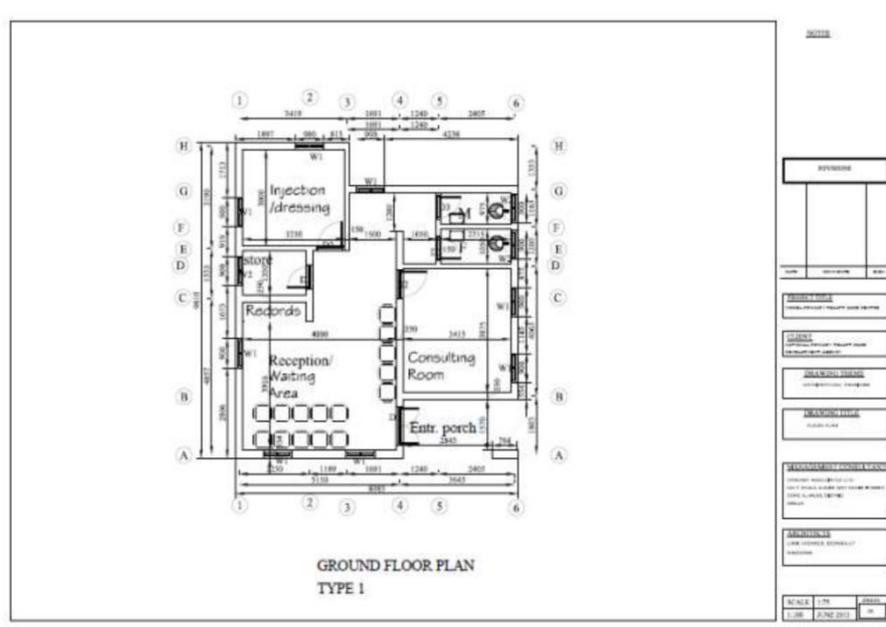
A continuació es mostren els estàndards per a cada tipologia de centre:

7.1.1. Posta sanitària

| | |
|---------------------------------------|---|
| Àrea de servei | Assentament, barri i / o nivell de poble |
| Cobertura de població estimada | 500 |
| Infraestructura estàndard | <ul style="list-style-type: none">- Color: crema- Superfície terrestre mínima: 1.200 metres quadrats- Dues habitacions amb ventilació creuada; les parets i el sostre han d'estar en bon estat, amb portes funcionals i finestres encastades- Instal·lacions de lavabos masculins i femenins independents amb subministrament d'aigua dins del recinte- Disponibilitat d'una font d'aigua neta: forat motoritzat- Està connectat a la xarxa nacional i a altres fonts d'energia alternativa regulars- Tenir un punt de recollida de residus sanitaris |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Tenir un lloc d'eliminació de residus - Estar clarament senyalitzat: visible des dels punts d'entrada i sortida - Està tancat amb cases de portes i generadors - Allotjament de personal proporcionat a la instal·lació: 2 unitats d'apartaments independents d'1 dormitori |
|--|--|

Taula 4. Estàndards posta sanitària



Il·lustració 23. Plànol posta sanitària



Il·lustració 24. Vista frontal 3D posta sanitària



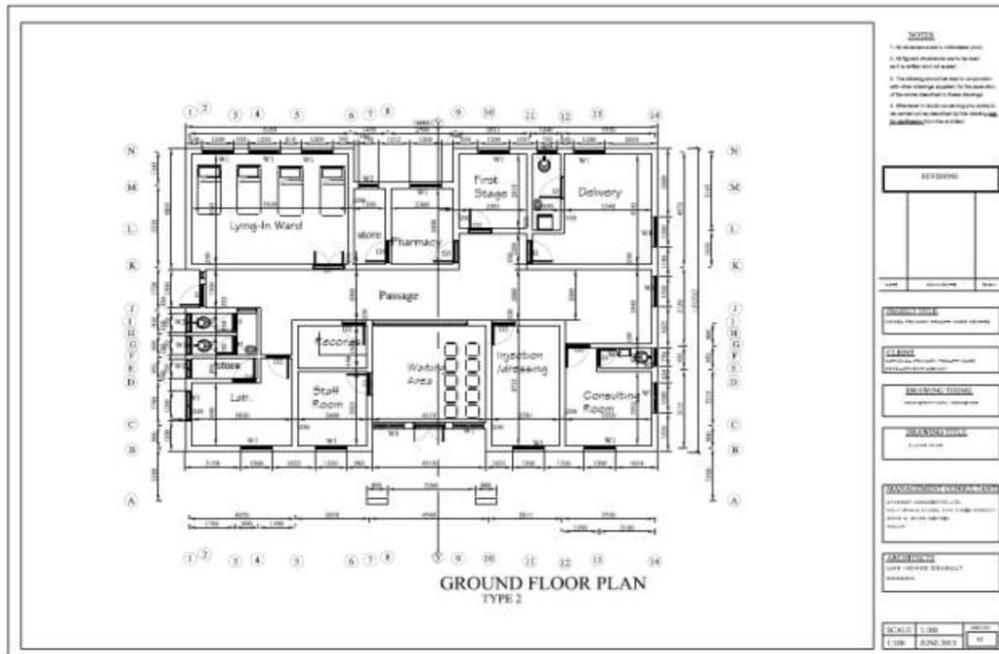
Il·lustració 25. Vista aèria 3D posta sanitària

7.1.2. Clínica de salut rural

| | |
|--|---|
| Àrea de servei | Grup d'assentaments / barri, pobles o comunitats |
| Cobertura de població estimada | 2000 5000 |
| Infraestructura estàndard | <ul style="list-style-type: none"> - Superfície mínima del sòl: 2.475 metres quadrats - Color: Blau (veure imatge següent) - Un edifici independent amb almenys 5 habitacions - Les parets i el sostre han d'estar en bon estat amb portes funcionals i finestres encastades - Instal·lacions independents masculines i femenines amb subministrament d'aigua dins del recinte - Disponibilitat d'una font d'aigua neta: almenys un forat motoritzat - Estar connectat a la xarxa nacional i a altres fonts d'energia alternativa regulars. - Tenir un punt de recollida de residus sanitaris - Tenir un lloc d'eliminació de residus - Estar clarament senyalitzat: visible des dels punts d'entrada i sortida - Està tancat amb cases de portes i generadors - Allotjament al personal proporcionat dins del local: apartaments de 2 habitacions |
| L'edifici ha de disposar d'espais i espais suficients per allotjar: | <ul style="list-style-type: none"> - Àrea d'observació del client o Àrea de consultoria - Sala de lliurament - Sala de la primera fase - Zona d'injecció i vestidor o Sala d'estar (4 llits) - Secció de farmàcia |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Secció de gravació - Estació de personal - Botiga - Instal·lacions sanitàries (o WC VIP) o Zona d'espera / recepció |
|--|--|

Taula 5. Estàndards clínica de salut rural



Il·lustració 26. Plànol clínica de salut rural



Il·lustració 27. Vista frontal 3D clínica de salut rural



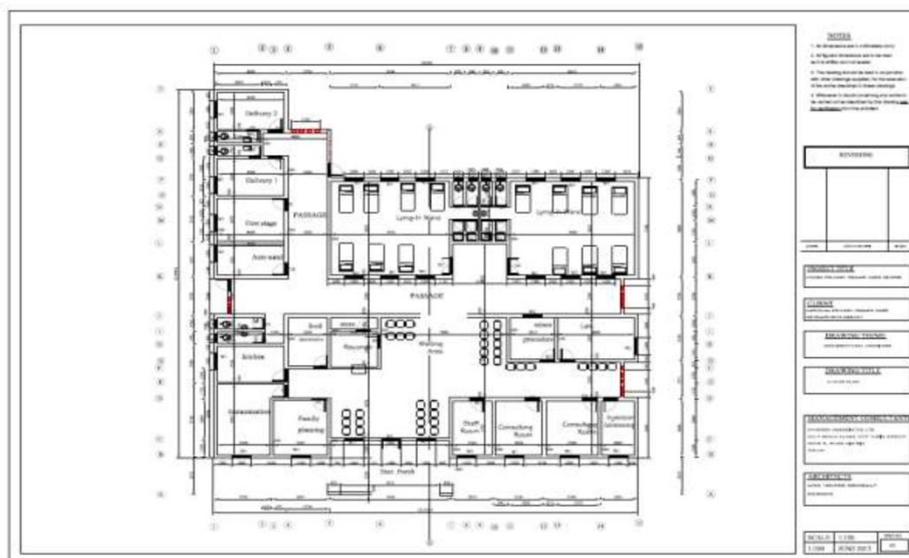
Il·lustració 28. Vista aèria 3D clínica de salut rural

7.1.3. Hospital rural

| | |
|---------------------------------------|--|
| Àrea de servei | Regió / departament |
| Cobertura de població estimada | 10000 a 20000 |
| Infraestructura estàndard | <ul style="list-style-type: none"> - Superfície mínima del terreny: 4.200 metres quadrats - Color: verd - Un edifici aïllat d'almenys 13 habitacions - Les parets i el sostre han d'estar en bon estat amb portes funcionals i finestres encastades - Instal·lacions independents masculines i femenines amb subministrament d'aigua dins del recinte - Una font d'aigua neta d'un forat motoritzat - Estar connectat a la xarxa nacional i a altres fonts d'energia alternativa regulars. Tenir un punt de recollida de residus sanitaris - Tenir un lloc d'eliminació de residus - Estar clarament senyalitzat: visible des dels punts d'entrada i sortida - Està tancat amb cases electròniques i portes - Allotjament de personal proporcionat dins del local: 2 unitats de pisos amb 1 habitació |
| L'edifici ha de disposar | <ul style="list-style-type: none"> - Espais d'espera / recepció per a Benestar Infantil - 2 sales de consulta |

| | |
|--|--|
| <p>d'espais i espais suficients per allotjar:</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Sala de serveis de salut per a adolescents - Unitat de farmàcia i dispensació - 2 sala de parts - Secció de maternitat / estirada - Secció de sala d'hospitalització - Laboratori - Àrea de registres mèdics - Zona d'injecció - Sala de procediments menors - Zona de cuina - Lavabo (masculí i femení) |
|--|--|

Taula 6. Estàndards hospital rural



Il·lustració 29. Plànol hospital rural



Il·lustració 30. Vista frontal 3D hospital rural



Il·lustració 31. Vista aèria 3D hospital rural

Gràcies als estàndards definits al document “Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria” per cadascun dels tipus de centre sanitari a zones rurals, es pot definir un consum total estimat, mostrat a la següent taula:

| Equipament | Quantitat d'equipament (A) | | | Potència consumida [W] (B) | Temps d'utilització [h/dia] (C) | f = (a · b · c) kWh/dia 1000 (D) | | |
|-------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------|
| | Hospital rural | Clínica rural | Posta sanitària | | | Hospital rural | Clínica rural | Posta sanitària |
| Refrigerador de vacunes | 2 | 1 | 1 | 60 | 24 | 2,88 | 1,44 | 1,44 |
| Centrífuga | 2 | 1 | - | 575 | 6 | 6,90 | 3,45 | |
| Microscopi | 2 | 1 | 1 | 15 | 6 | 0,18 | 0,09 | 0,09 |
| Incubadora | 2 | 1 | 1 | 400 | 24 | 19,20 | 9,60 | 9,60 |
| Autoclau | 1 | 0 | | 1.564 | 6 | 9,38 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|----|----|---|------|-----|-------|------|------|
| Concentrador d'oxigen | 1 | 1 | 1 | 300 | 6 | 1,80 | 1,80 | 1,80 |
| Ordinador d'escriptori | 2 | 1 | - | 150 | 10 | 3,00 | 1,50 | |
| Impressora | 1 | - | - | 65 | 10 | 0,65 | | |
| 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 | 40 | 6 | 3,12 | 2,16 | 0,72 |
| Stove | 2 | 1 | 1 | 9500 | 1 | 19,00 | 9,50 | 9,50 |
| Ventilador | 3 | 2 | - | 40 | 6 | 0,72 | 0,48 | |
| Llum compacta | 25 | 10 | 6 | 15 | 8 | 3,00 | 1,20 | 0,72 |
| Llum incandescent | 16 | 6 | 3 | 60 | 8 | 7,68 | 2,88 | 1,44 |
| Bomba | 1 | 1 | 1 | 1491 | 6 | 8,95 | 8,95 | 8,95 |
| Electrocardiograma | 1 | - | - | 1440 | 1,0 | 1,44 | | |
| Aire condicionat | 1 | 1 | - | 40 | 6 | 0,24 | 0,24 | |
| Espectròmetre | - | - | - | 575 | 6 | | | |
| Màquina de diàlisi | - | - | - | 575 | 6 | | | |
| Ultrasons | - | - | - | 1440 | 6 | | | |
| Màquina de raigs X | - | - | - | 3000 | 6 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|-----|----|--------------|--------------|--------------|
| Oxigen | 1 | 1 | 1 | 300 | 10 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Rentadora | 1 | 1 | 0 | 100 | 3 | 0,30 | 0,30 | 0,00 |
| Estimació total d'energia utilitzada | | | | | | 93,34 | 47,84 | 37,26 |

Taula 7. Consums energètics diaris a les tres tipologies de centre de salut

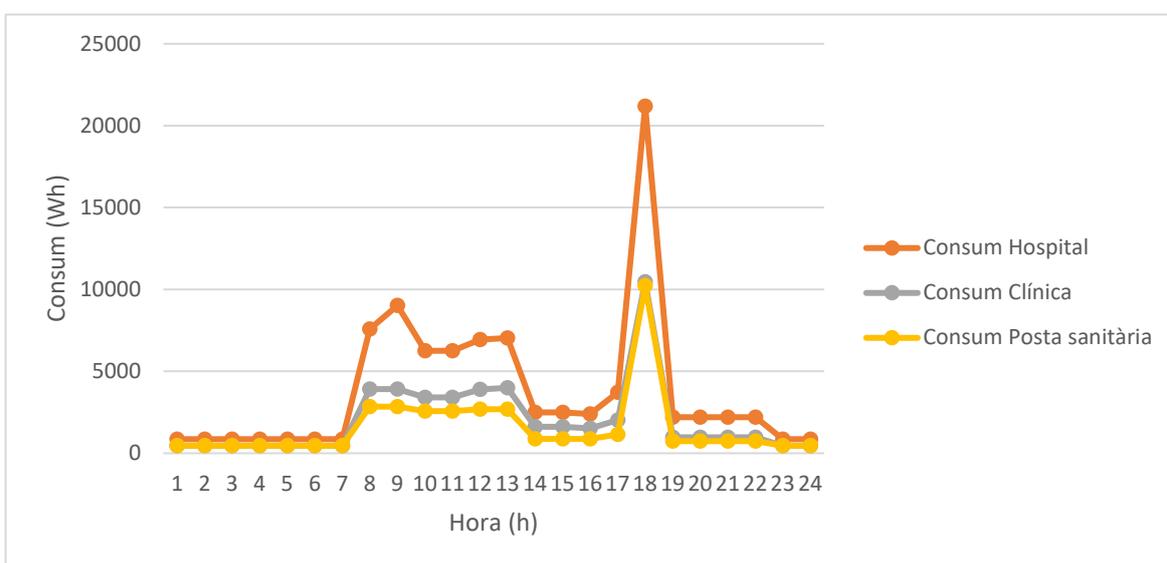
A continuació, amb les dades de quantitat de temps d'utilització de cadascun dels aparells definits a la taula anterior es procedeix a la designació dels horaris d'utilització de cada aparell a cadascun dels centres que es vol estudiar. D'aquesta forma, els horaris d'utilització s'han dissenyat en funció de l'ús normal dels dispositius a centres de salut. Es mostren a continuació:

| Dispositiu | HORARI | | |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| | Hospital rural | Clínica rural | Posta sanitària |
| Refrigerador de vacunes | 24h | 24h | 24h |
| Centrífuga | 8 – 13h | 8 – 13h | - |
| Microscopi | 8 – 13h | 8 – 13h | 8 – 13h |
| Incubadora | 24h | 24h | 24h |
| Autoclau | 8 – 13h | - | - |
| Concentrador d'oxigen | 8 – 13h | 8 – 13h | 8 – 13h |
| Ordinador d'escriptori | 8 – 17h | 8 – 17h | - |
| Impressora | 8 – 17h | - | - |
| Monitor | 8 – 17h | 8 – 17h | - |
| TV (color) | 8 – 17h | 8 – 17h | - |
| Ventilador de sostre | 12 – 17h | 12 – 17h | 12 – 17h |
| Estufa | 18h – 19h | 18h – 19h | 18h – 19h |
| Ventilador | 12 – 17h | 12 – 17h | - |
| Llum compacta | 8 – 10h, 17 – 22h | 8 – 10h, 17 – 22h | 8 – 10h, 17 – 22h |
| Llum incandescent | 8 – 10h, 17 – 22h | 8 – 10h, 17 – 22h | 8 – 10h, 17 – 22h |
| Bomba | 8 – 13h | 8 – 13h | 8 – 13h |
| Electrocardiograma | 8 – 9h | - | - |
| Aire condicionat | 12 – 17h | 12 – 17h | - |

| | | | |
|--------------------|----------|----------|---------|
| Espectròmetre | - | - | - |
| Màquina de diàlisi | - | - | - |
| Ultrasons | - | - | - |
| Màquina de raigs X | - | - | - |
| Oxígen | 8 – 17h | 8 – 17h | 8 – 17h |
| Rentadora | 13 – 15h | 13 – 15h | - |

Taula 8. Horaris d'utilització dels dispositius a cada centre de salut

D'acord amb aquests horaris, els consums per tipologia de centre de salut i per hores es mostren al següent gràfic:



Il·lustració 32. Gràfic amb els consums diaris per tipus de centre

Analizant el gràfic anterior s'observa com durant les hores en què els centres romanen tancats, el consum es manté constant i molt baix, donat que únicament es mantenen en funcionament aquells aparells crítics com el refrigerador de vacunes i les incubadores neonatals.

S'observa també un fort increment del consum elèctric al final de la tarda, quan s'ha suposat que es posa en funcionament durant un curt període de temps una estufa elèctrica, encara que moltes vegades aquesta es veu substituïda per una estufa de querosè.

Per definir el perfil de consums anual, s'ha tingut en compte la variabilitat de la incidència hospitalària provocada per la infecció més forta registrada a Nigèria; la febre de Lassa.

La febre de Lassa és endèmica a Nigèria i el major nombre de casos humans se sol observar cada any durant l'estació seca (de desembre a abril), un cop finalitzat el cicle de reproducció de les rates de gènere *Mastomys* en l'estació humida (maig a juny).

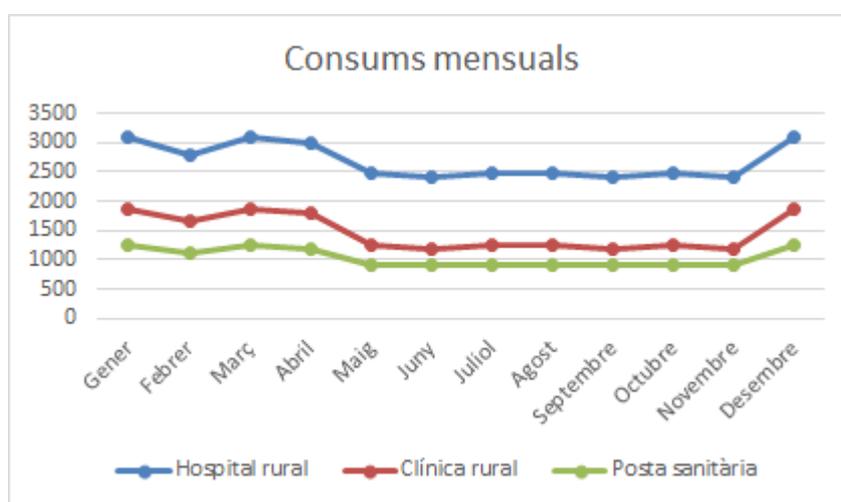
- Per l' hospital rural, amb un consum diari calculat de 93,34 kWh, s' ha suposat un consum aproximat de 100 kWh als mesos de més incidència (desembre a abril) i de 80 kWh als mesos de menor incidència.
- Pel que fa a la clínica rural, amb un consum diari calculat de 47,84 kWh, s' ha suposat un consum de 60 kWh en el cas de major incidència i de 40 kWh en el cas de menor incidència.
- Finalment, per la posta sanitària, amb un consum diari calculat de 37,26 kWh, s' han suposat 40 i 30 kWh en els casos de major i menor incidència respectivament.

La taula i el gràfic mostrats a continuació descriuen aquesta variabilitat:

| Consums mensuals (kWh/mes) | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| Mes | Dies | Hospital rural | Clínica rural | Posta sanitària |
| Gener | 31 | 3100 | 1860 | 1240 |
| Febrer | 28 | 2800 | 1680 | 1120 |
| Març | 31 | 3100 | 1860 | 1240 |
| Abril | 30 | 3000 | 1800 | 1200 |
| Maig | 31 | 2480 | 1240 | 930 |
| Juny | 30 | 2400 | 1200 | 900 |
| Juliol | 31 | 2480 | 1240 | 930 |
| Agost | 31 | 2480 | 1240 | 930 |
| Septembre | 30 | 2400 | 1200 | 900 |

| | | | | |
|----------|----|------|------|------|
| Octubre | 31 | 2480 | 1240 | 930 |
| Novembre | 30 | 2400 | 1200 | 900 |
| Desembre | 31 | 3100 | 1860 | 1240 |

Taula 9. Consums mensuals als tres tipus de centre de salut



Il·lustració 33. Gràfic amb consums mensuals

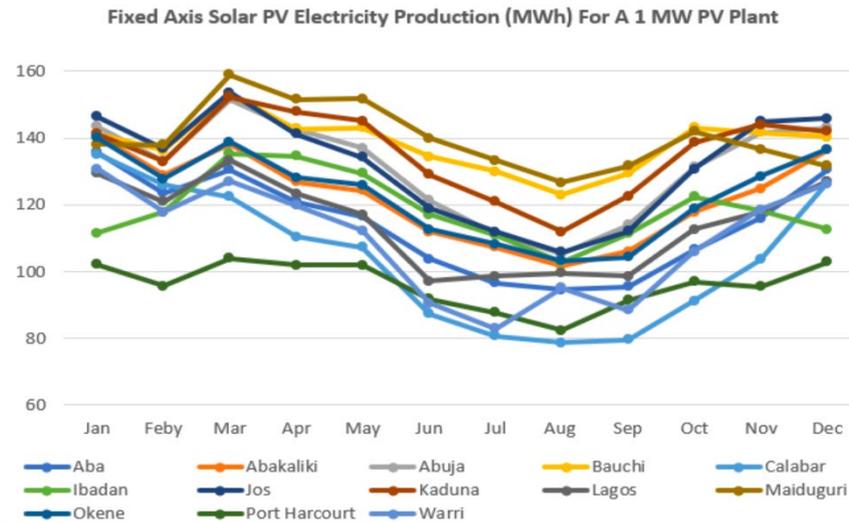
7.2. Estudi del potencial d'energia solar fotovoltaica i eòlica a Nigèria

L'energia solar fotovoltaica i l'energia eòlica són tecnologies madures per a la generació d'energia. En aquesta secció, s'explora la producció d'electricitat mitjançant una planta fotovoltaica d'1 MW i un aerogenerador. Les dades d'energia solar i eòlica per a diferents ubicacions de Nigèria a la base de dades de la NASA s'utilitzen en el programari RetScreen per determinar la producció d'electricitat.

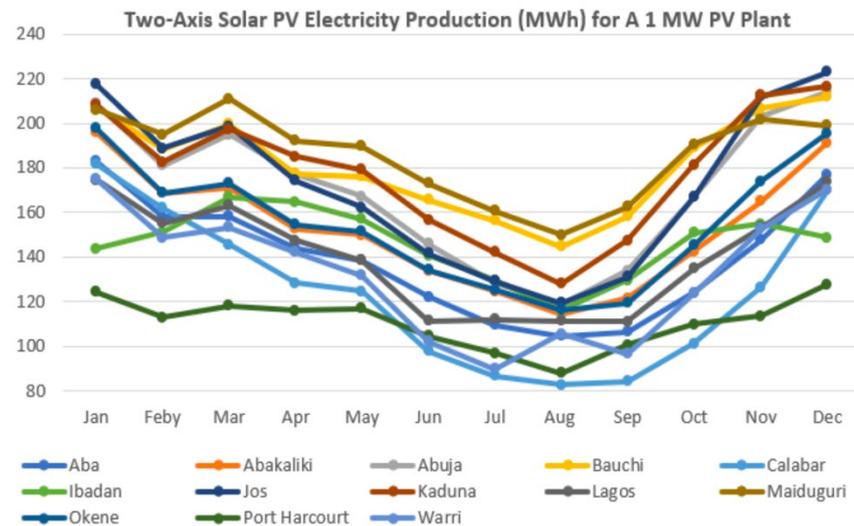
Es descriuen a continuació les condicions en què s'ha desenvolupat l'estudi:

- Per a aquest estudi s'han escollit dotze ubicacions a les sis zones geopolítiques de Nigèria.
- S'ha triat un panell fotovoltaic mono-Si fabricat per Sunpower (mono-Si-SPR-320E-WHT). L'eficiència del panell és del 19,6% i la temperatura nominal de la cèl·lula de funcionament és de 45°C. El coeficient de temperatura és del 0,40% / °C i s'assumeix un 3,2% de pèrdues diverses.
- La capacitat de l'inversor és d'1,3 MW amb una eficiència del 90% i pèrdues diverses de l'1,0%.
- S'utilitzen dos tipus de sistemes de plantes fotovoltaiques: sistema fix i sistema de seguiment de doble eix.

La producció d'electricitat per a 12 ubicacions diferents a Nigèria per a un sistema fix i un sistema de seguiment de doble eix es mostren a les il·lustracions 34 i 35 respectivament. La producció anual total d'electricitat per a aquestes ubicacions per a un sistema de seguiment fix (amb angle d'inclinació de 0 graus) i de doble eix es compara a la il·lustració 35.



Il·lustració 34. Producció elèctrica d'una planta solar 1MW i d'un sol eix a diferents localitats de Nigèria

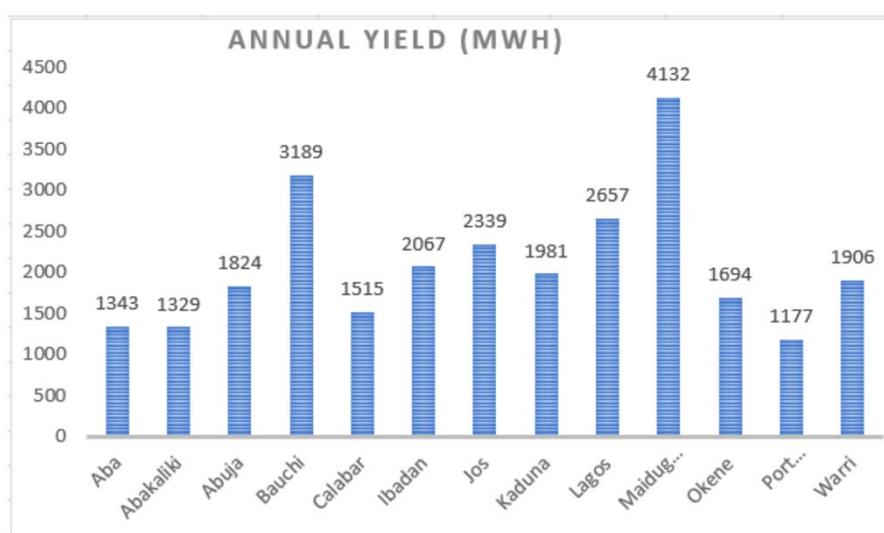


Il·lustració 35. Producció elèctrica d'una planta solar 1MW i de doble eix a diferents localitats de Nigèria

El resultat de l'anàlisi mostra que totes les ubicacions de Nigèria són bones per a la instal·lació solar fotovoltaica. Considerant el mes de març, un sistema fix pot produir 158,9 MWh a Maiduguri (nord de Nigèria) i 104,02 MWh a Port-Harcourt (sud de Nigèria). Tot i que la generació d'electricitat més alta es registra al març quan s'utilitza un sistema fix per a totes les ubicacions considerades, el desembre té el màxim rendiment elèctric quan s'utilitza un sistema de seguiment de dos eixos.

De totes les ubicacions considerades, Maiduguri té la major producció d'electricitat (1680 MWh / any per al sistema fix i 2230,4 MWh / any per al sistema de doble eix). Port-Harcourt té el rendiment anual més baix (1154,32 MWh / any per al sistema fix i 1329,15 MWh / any per al sistema de doble eix).

També s'explora el potencial eòlic per al mateix conjunt d'ubicacions. S'utilitzen dos aerogeneradors de 500 kW (PowerWind 500 - 44m). L'alçada del cub és de 44 m i el diàmetre del rotor de 56 m. L'anàlisi de la producció d'energia eòlica es fa sense tenir en compte les pèrdues i s'utilitza un exponent de la quota del vent de 0,475 per a totes les ubicacions. El rendiment anual d'un parc eòlic d'1 MW es mostra a la il·lustració 36. Per a la producció d'electricitat eòlica, Maiduguri és la més alta de totes les ubicacions considerades.



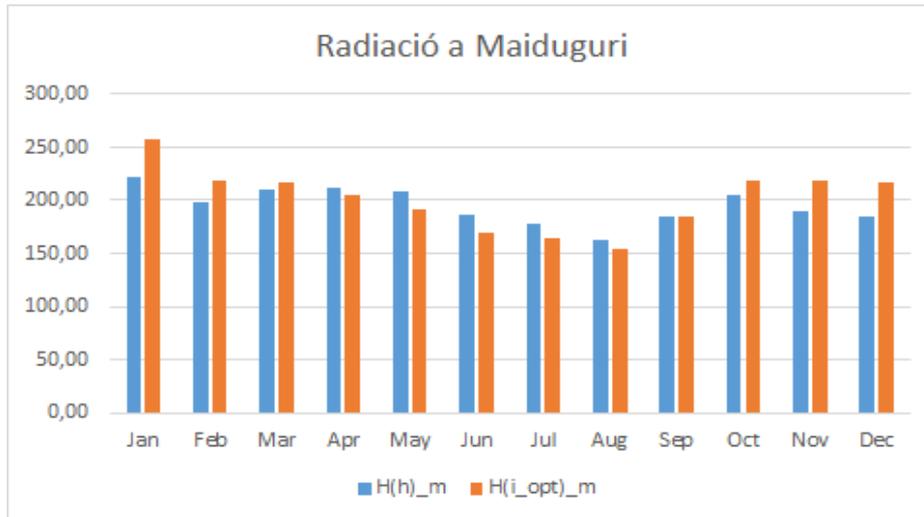
Il·lustració 36. Producció anual d'una planta eòlica d'1MW a diferents localitats de Nigèria

Finalment, gràcies a aquest estudi, es conclou que la configuració òptima pel disseny dels sistemes off-grid és la instal·lació de panells d'energia solar fotovoltaica i un conjunt de bateries.

7.3. Localització pel dimensionament

El sistema off-grid s'instal·larà a la localització de Maiduguri, la capital de l'estat de Borno, situat al nord-est de Nigèria. S'ha escollit aquesta localització perquè la ciutat representa les condicions climàtiques de la zona més rural i allunyada de la civilització del país.

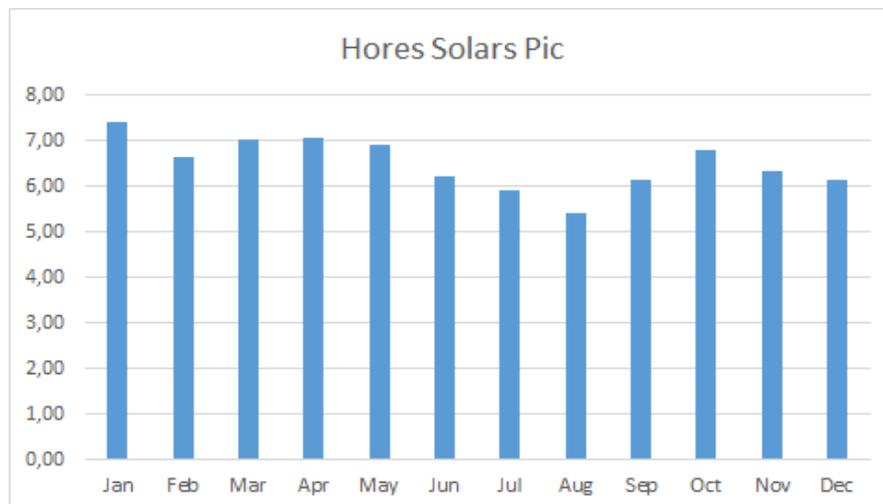
Es mostra al gràfic següent la radiació incident a la localització de Maiduguri. Les dades mostrades són de l'any 2016 i han sigut obtingudes a través del programari web PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), desenvolupat per la Comissió Europea:



Il·lustració 37. Radiació a Maiduguri

Les columnes en blau representen la radiació horitzontal plana i les de color taronja, la radiació amb angle horitzontal òptim.

Finalment es mostren també les hores solar pic (HSP) de la localització, que oscil·len entre les 6HSP i 7,40HSP:



Il·lustració 38. Hores solar pic a Maiduguri

7.4. Dimensionament del sistema off-grid

Per tal de dimensionar correctament la instal·lació, aquesta ha d'èsser capaç d'abastir les necessitats d'energia màximes dels centres de salut en les condicions més desfavorables. Aquestes necessitats han sigut establertes en els apartats anteriors.

Pel càlcul de la potència necessària de l'equip serà necessari conèixer tant el consum energètic diari (taula 7), com les hores efectives de sol sobre la localització (il·lustració 38). Agafarem la situació més desfavorable, és a dir, el consum màxim al que s'enfrontarà la instal·lació, amb el mínim d'hores solar pic. Cal dir que el consum es calcularà amb un factor x1,1 per tal de cobrir qualsevol pèrdua o recàrrega de les bateries.

| | | |
|---|------------------------|-----|
| Consum energètic diari (kWh/dia) | Hospital rural | 100 |
| | Clínica rural | 60 |
| | Posta sanitària | 40 |
| | Hores solar pic | 6 |

Taula 10. Dades pel càlcul de la potència necessària

$$P_{FV} = \frac{\text{Consum diari (kWh/dia)}}{HSP}$$

Per cadascun dels centres:

$$P_{FV,hospital} = \frac{100 \text{ kWh/dia}}{6 \text{ h/dia}} = 16,67 \text{ kW} \rightarrow 16,67 \text{ kW} * 1,1 = \mathbf{18,33 \text{ kW}}$$

$$P_{FV,clinica} = \frac{60 \text{ kWh/dia}}{6 \text{ h/dia}} = 10 \text{ kW} \rightarrow 10 \text{ kW} * 1,1 = \mathbf{11 \text{ kW}}$$

$$P_{FV,posta} = \frac{40 \text{ kWh/dia}}{6 \text{ h/dia}} = 6,67 \text{ kW} \rightarrow 6,67 \text{ kW} * 1,1 = \mathbf{7,33 \text{ kW}}$$

Aquesta seria la potència fotovoltaica obtinguda que idealment cobriria les necessitats energètiques de la comunitat.

7.4.1. Bateries

Pel dimensionament de bateries, és necessari centrar-se en el mes més desfavorable de l'any. Per això, hem de comparar prèviament la radiació incident en els mòduls solars amb el consum de forma mensual.

El paràmetre que relaciona aquestes dues dades és el coeficient C_{md} :

$$C_{md} = \frac{\text{Consum}}{\text{Radiació}}$$

A més, es realitza el càlcul del consum en Ah/mes, suposant un voltatge de la instal·lació de 48V. Les taules següents mostren de forma clara els càlculs realitzats:

| Mes | Dies | Radiació horitzontal plana (kWh/m2/mes) | Consum (kWh/dia) | Consum (Ah/mes) | Coefficient (Cmd) |
|------------------|------|---|------------------|-----------------|-------------------|
| Gener | 31 | 258,21 | 100 | 64583,3 | 250,1 |
| Febrer | 28 | 219,36 | 100 | 58333,3 | 265,9 |
| Març | 31 | 217,04 | 100 | 64583,3 | 297,6 |
| Abril | 30 | 205,21 | 100 | 62500,0 | 304,6 |
| Maig | 31 | 192,14 | 80 | 51666,7 | 268,9 |
| Juny | 30 | 170,18 | 80 | 50000,0 | 293,8 |
| Juliol | 31 | 164,07 | 80 | 51666,7 | 314,9 |
| Agost | 31 | 154,86 | 80 | 51666,7 | 333,6 |
| Septembre | 30 | 185,01 | 80 | 50000,0 | 270,3 |
| Octubre | 31 | 219,27 | 80 | 51666,7 | 235,6 |
| Novembre | 30 | 218,05 | 80 | 50000,0 | 229,3 |
| Desembre | 31 | 217,72 | 100 | 64583,3 | 296,6 |

Taula 11. Càlcul coeficient Cmd hospital rural

| Mes | Dies | Radiació horitzontal plana (kWh/m2/mes) | Consum (kWh/dia) | Consum (Ah/mes) | Coefficient (Cmd) |
|---------------|------|---|------------------|-----------------|-------------------|
| Gener | 31 | 258,21 | 60 | 38750,0 | 150,1 |
| Febrer | 28 | 219,36 | 60 | 35000,0 | 159,6 |
| Març | 31 | 217,04 | 60 | 38750,0 | 178,5 |
| Abril | 30 | 205,21 | 60 | 37500,0 | 182,7 |
| Maig | 31 | 192,14 | 40 | 25833,3 | 134,5 |
| Juny | 30 | 170,18 | 40 | 25000,0 | 146,9 |
| Juliol | 31 | 164,07 | 40 | 25833,3 | 157,5 |
| Agost | 31 | 154,86 | 40 | 25833,3 | 166,8 |

| | | | | | |
|------------------|----|--------|----|---------|-------|
| Septembre | 30 | 185,01 | 40 | 25000,0 | 135,1 |
| Octubre | 31 | 219,27 | 40 | 25833,3 | 117,8 |
| Novembre | 30 | 218,05 | 40 | 25000,0 | 114,7 |
| Desembre | 31 | 217,72 | 60 | 38750,0 | 178,0 |

Taula 12. Càlcul coeficient C_{md} clínica de salut rural

| Mes | Dies | Radiació horitzontal plana (kWh/m ² /mes) | Consum (kWh/dia) | Consum (Ah/mes) | Coeficient (C_{md}) |
|------------------|------|--|------------------|-----------------|-------------------------|
| Gener | 31 | 258,21 | 40 | 25833,3 | 100,0 |
| Febrer | 28 | 219,36 | 40 | 23333,3 | 106,4 |
| Març | 31 | 217,04 | 40 | 25833,3 | 119,0 |
| Abril | 30 | 205,21 | 40 | 25000,0 | 121,8 |
| Maig | 31 | 192,14 | 30 | 19375,0 | 100,8 |
| Juny | 30 | 170,18 | 30 | 18750,0 | 110,2 |
| Juliol | 31 | 164,07 | 30 | 19375,0 | 118,1 |
| Agost | 31 | 154,86 | 30 | 19375,0 | 125,1 |
| Septembre | 30 | 185,01 | 30 | 18750,0 | 101,3 |
| Octubre | 31 | 219,27 | 30 | 19375,0 | 88,4 |
| Novembre | 30 | 218,05 | 30 | 18750,0 | 86,0 |
| Desembre | 31 | 217,72 | 40 | 25833,3 | 118,7 |

Taula 13. Càlcul coeficient C_{md} posta sanitària

El mes més desfavorable s'identifica per tenir un coeficient C_{md} major. Fent ús de les taules anteriors, s'obté novembre com el mes en què s'ha de realitzar el dimensionament de la instal·lació. Mitjançant aquest criteri, s'assegura el subministrament d'energia ininterrompudament, donat que a la resta dels mesos de l'any, la instal·lació quedarà sobredimensionada.

Amb els resultats obtinguts es calcula la capacitat de les bateries de la següent forma:

$$C_n = N_{da} * \frac{C_d}{P_d} \text{ (Ah)}$$

Èssent n el número d'hores de descàrrega previstes, N el número de dies d'autonomia, C_d el consum mitjà diari del mes de novembre i P_d la profunditat de descàrrega que es considerarà del 70% com a màxim. Amb tot això:

$$n = 24 * 2 = 48h$$

Per cadascun dels centres:

$$C_{d,hospital} = \frac{50000Ah/mes}{30 dies} = \mathbf{1666,7 Ah}$$

$$C_{d,clínica} = \frac{25000Ah/mes}{30 dies} = \mathbf{833,3 Ah}$$

$$C_{d,posta} = \frac{18750Ah/mes}{30 dies} = \mathbf{625 Ah}$$

El consum que es registrarà als centres durant les 48h de descàrrega previstes serà per tant:

$$C_{48,hospital} = 2 dies * \frac{1666,7 Ah}{0,7} = \mathbf{4764,9 Ah}$$

$$C_{48,clínica} = 2 dies * \frac{833,3 Ah}{0,7} = \mathbf{2380,9 Ah}$$

$$C_{48,posta} = 2 dies * \frac{625 Ah}{0,7} = \mathbf{1785,7 Ah}$$

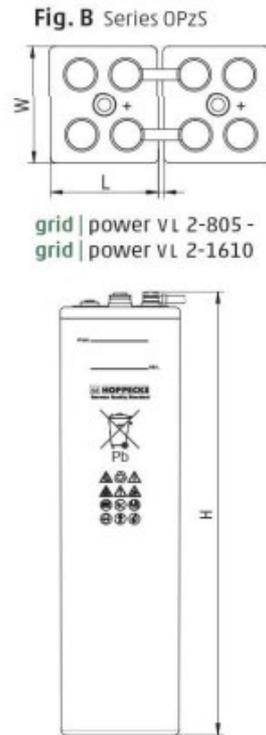
Aquest serà el valor de capacitat de les bateries per 48h de descàrrega, que és el que s'utilitzarà per buscar les bateries al catàleg. La bateria escollida per la instal·lació, model Hoppecke Power VL 2-1610, disposa de les següents especificacions tècniques:

| Especificacions tècniques | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Tensió per cel·la | 2V |
| Capacitat C_{50} | 2010 Ah |
| Acumul·lació | 2000-3000 Ah |
| Tecnologia | Pb-Àcid |
| Temperatura de funcionament | 10 a 30°C |
| Dimensions (mm) | L=215; W=277; H=855 |

Taula 14. Especificacions bateria

Pel que respecta als cicles, el fabricant assegura que amb una utilització òptima, es podria arribar fins els 20 anys de vida útil. A més, proporciona la següent informació:

- 8000 cicles amb profunditats de descàrrega de 20%; uns 21,9 anys de vida útil.
- 3000 cicles amb profunditat de descàrrega de 50%; uns 8,2 anys de vida útil
- 1500 cicles amb profunditat de descàrrega de més del 50%; uns 4,1 anys de vida útil



*Il·lustració 39. Esquema
bateria*

Amb aquestes dades es dimensionen les bateries. Per totes les tipologies de centre de salut rural:

$$N_{B \text{ serie}} = \frac{V_{\text{instal}}}{V_{\text{bateria}}} = \frac{48}{2} = 24$$

- **Hospital rural**

$$N_{B \text{ paral·lel}} = \frac{C_{48}}{C_{\text{bateria}}} = \frac{4764,9}{2010} = 2,37 \rightarrow 3$$

$$N_{B \text{ total}} = N_{B \text{ serie}} * N_{B \text{ paral·lel}} = 24 * 3 = \mathbf{72 \text{ bateries}}$$

Es conclou per tant, que per la tipologia d'hospital rural seran necessàries un total de 72 bateries, les quals es distribuiran en 3 grups de 24 cel·les.

- **Clínica rural**

$$N_{B \text{ paral·lel}} = \frac{C_{48}}{C_{bateria}} = \frac{2380,9}{2010} = 1,18 \rightarrow 2$$

$$N_{B \text{ total}} = N_{B \text{ serie}} * N_{B \text{ paral·lel}} = 24 * 2 = \mathbf{48 \text{ bateries}}$$

Es conclou per tant, que per la tipologia de clínica rural seran necessàries un total de 48 bateries, les quals es distribuiran en 2 grups de 24 cel·les.

- **Posta sanitària**

$$N_{B \text{ paral·lel}} = \frac{C_{48}}{C_{bateria}} = \frac{1785,7}{2010} = 0,89 \rightarrow 1$$

$$N_{B \text{ total}} = N_{B \text{ serie}} * N_{B \text{ paral·lel}} = 24 * 1 = \mathbf{24 \text{ bateries}}$$

Es conclou per tant, que per la tipologia de clínica rural seran necessàries un total de 24 bateries connectades en sèrie.

7.4.2. Panells fotovoltaics

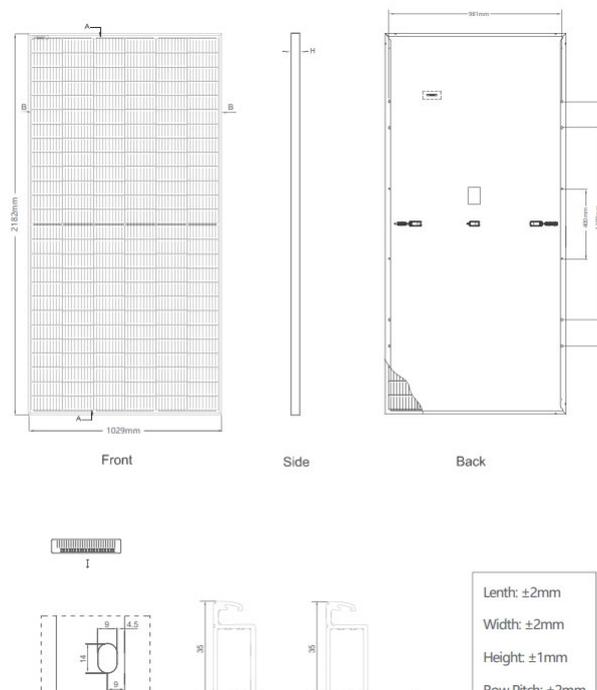
Per obtenir el número i disposició dels panells fotovoltaics es farà ús també del coeficient C_{md} al mes més desfavorable; en aquest cas, novembre. Tal i com ja s'ha comentat en apartats anteriors, no s'aplicarà cap coeficient de sobredimensionament donat que es comptarà amb un grup electrògen de suport. Els panells seleccionats corresponen al model Jinko Tiger HC+TR mono PERC. S'exposen les especificacions tècniques a continuació:

| Especificacions mecàniques | |
|-----------------------------------|---|
| Dimensions | 2182 x 1029 x 35 mm |
| Pes | 25 kg |
| Cèl·lules | 156 |
| Estructura | Aleació d'alumini anoditzat |
| Vidre frontal | 3,2mm anti-reflexió, alta transmissió, baix contingut en ferro, vidre templat |

Taula 15. Especificacions mecàniques panells solars

| Especificacions elèctriques | |
|-------------------------------|--------------|
| Potència màxima (Pmax) | 470 Wp |
| Tensió màxima potència (Vmp) | 43,28V |
| Corrent màxima potència (Imp) | 10,86A |
| Tensió a circuit obert (Voc) | 52,14V |
| Corrent de curtcircuit (Isc) | 11,68A |
| Eficiència del mòdul | 20,93% |
| Temperatura de funcionament | -40°C a 85°C |

Taula 16. Especificacions elèctriques panells solars



Il·lustració 40. Esquema panells solars

Amb aquestes dades, es pot realitzar el dimensionament de les instal·lacions:

$$N_{P \text{ serie}} = \frac{V_{\text{instal·lació}}}{V_{MP}} = \frac{48}{43,28} = 1,11 \rightarrow 2$$

Per cadascun dels centres de salut rural:

- Hospital rural

$$N_{P \text{ paral·lel}} = \frac{C_{md}}{I_{MP}} = \frac{229,3}{10,86} = 21,11 \rightarrow 22$$

$$N_{P \text{ total}} = N_{P \text{ serie}} * N_{P \text{ paral·lel}} = 2 * 22 = \mathbf{44 \text{ panells}}$$

Seran necessaris per tant, 44 panells solars en 22 mòduls de 2 panells en sèrie. És necessari comprobar que la potència instal·lada compleix amb els requeriments energètics del centre:

$$P_{\text{instal·lada}} = N_{P \text{ total}} * P_{\text{max}} = 44 * 470 = 20,68kW > P_{FV \text{ hospital}}$$

- **Clínica rural**

$$N_{P \text{ paral·lel}} = \frac{C_{md}}{I_{MP}} = \frac{114,7}{10,86} = 10,56 \rightarrow 11$$

$$N_{P \text{ total}} = N_{P \text{ serie}} * N_{P \text{ paral·lel}} = 2 * 11 = \mathbf{22 \text{ panells}}$$

Seran necessaris per tant, 22 panells solars en 11 mòduls de 2 panells en sèrie. És necessari comprobar que la potència instal·lada compleix amb els requeriments energètics del centre:

$$P_{\text{instal·lada}} = N_{P \text{ total}} * P_{\text{max}} = 22 * 470 = 10,34kW > P_{FV \text{ hospital}}$$

- **Posta sanitària**

$$N_{P \text{ paral·lel}} = \frac{C_{md}}{I_{MP}} = \frac{86}{10,86} = 7,92 \rightarrow 8$$

$$N_{P \text{ total}} = N_{P \text{ serie}} * N_{P \text{ paral·lel}} = 2 * 8 = \mathbf{16 \text{ panells}}$$

Seran necessaris per tant, 16 panells solars en 8 mòduls de 2 panells en sèrie. És necessari comprobar que la potència instal·lada compleix amb els requeriments energètics del centre:

$$P_{\text{instal·lada}} = N_{P \text{ total}} * P_{\text{max}} = 16 * 470 = 7,52kW > P_{FV \text{ hospital}}$$

7.4.3. Inversor

L'inversor és el dispositiu que transforma la electricitat en corrent continua provinent de la instal·lació en corrent alterna. Així mateix, adapta la tensió per cadascun dels elements de la instal·lació. Per la selecció de l'inversor s'utilitza com a base el valor de la potència instal·lada a cadascun dels centres de salut. Cal dir que tots els inversors escollits són de la marca Huawei:



Il·lustració 41. Inversor de la marca Huawei

- **Hospital rural**

Per una potència instal·lada de 20kW, s'ha escollit l'inversor Huawei SUN2000-20KTL-M2, amb les següents especificacions tècniques:

| Especificacions tècniques | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Potència nominal activa de CA | 20000W |
| Màxima potència aparent de CA | 22000VA |
| Màxima tensió d'entrada | 1080V |
| Màxima intensitat per MPPT | 22A |
| Màxima intensitat de curtcircuit | 30A |
| Tensió d'entrada mínima | 200V |
| Rang de voltatge | 160V-950V |
| Voltatge nominal de màxima potència | 600V |
| Màxima eficiència | 98,65% |
| Dimensions | 525 x 470 x 262 mm |
| Pes | 25kg |

Taula 17. Especificacions tècniques inversor hospital rural

- **Clínica rural**

Per una potència instal·lada de 17kW, s'ha escollit l'inversor Huawei SUN2000-17KTL-M2, amb les següents especificacions tècniques:

| Especificacions tècniques | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Potència nominal activa de CA | 17000W |
| Màxima potència aparent de CA | 18700VA |
| Màxima tensió d'entrada | 1080V |
| Màxima intensitat per MPPT | 22A |
| Màxima intensitat de curtcircuit | 30A |
| Tensió d'entrada mínima | 200V |
| Rang de voltatge | 160V-950V |
| Voltatge nominal de màxima potència | 600V |
| Màxima eficiència | 98,65% |
| Dimensions | 525 x 470 x 262 mm |
| Pes | 25kg |

Taula 18. Especificacions tècniques inversor clínica rural

- **Posta sanitària**

Per una potència instal·lada de 8kW, s'ha escollit l'inversor Huawei SUN2000-8KTL-M1, amb les següents especificacions tècniques:

| Especificacions tècniques | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Potència nominal activa de CA | 8000W |
| Màxima potència aparent de CA | 8800VA |
| Màxima tensió d'entrada | 1100V |
| Màxima intensitat per MPPT | 11A |
| Màxima intensitat de curtcircuit | 15A |
| Tensió d'entrada mínima | 200V |
| Voltatge nominal de màxima potència | 600V |
| Màxima eficiència | 98,6% |
| Dimensions | 525 x 470 x 262 mm |
| Pes | 25kg |

Taula 19. Especificacions tècniques inversor posta sanitària

7.4.4. Grup electrògen gassificador de biomassa

Com a grup de suport, s'ha escollit un grup electrògen accionat per gas de síntesi a partir d'un gassificador de biomassa. El sistema de bateries i panells solars ha sigut dimensionat per només fer ús d'aquest grup en el cas que es detecti una fallada al sistema d'aïllada o si les condicions climatològiques no proveeixen suficient energia al conjunt.

Per la instal·lació d'hospital rural s'ha considerat el model PP30 de l'empresa All PowerLabs. Està alimentat per una línia trifàsica i posseeix una potència reactiva de 25kVA. Les característiques tècniques es detallen a la següent taula:

| Especificacions tècniques | |
|---------------------------|---------------------|
| Fases | 3 |
| Tensió nominal | 240-480V |
| Potència màxima | 25kW |
| Consum de biomassa | 0,9-1,2kg/kWh |
| Humitat de la biomassa | 5-30% |
| Capacitat de la tolva | 333 L |
| Dimensions | 1,83 x 1,47 x 1,4 m |
| Pes | 1441kg |

Taula 20. Especificacions tècniques grup electrògen gassificador de biomassa

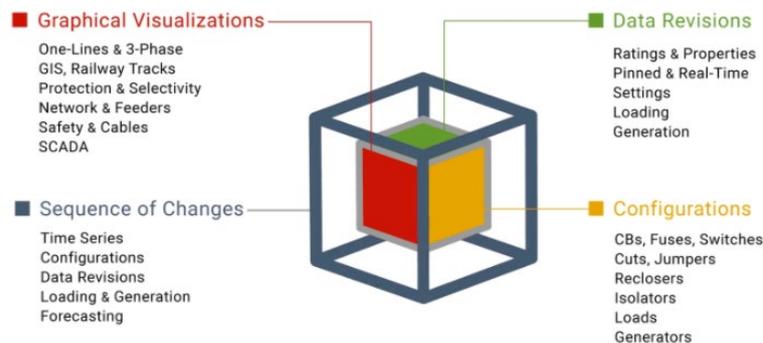


Il·lustració 42. Grup electrògen gassificador de biomassa marca All Power Labs

8. Metodologia per la modelització, operació i manteniment del sistema off-grid mitjançant un digital twin

Un dels avantatges presentats en aquest projecte és la possibilitat d'utilitzar un digital twin per modelitzar, operar i mantenir els sistemes i instal·lacions incloses dins d'un edifici. Cal recordar que un digital twin és una representació digital d'un o diversos actius que integra dades generades durant l'etapa de planificació d'un projecte i que influeixen en totes les fases del cicle de vida de l'actiu; des del disseny fins la seva fabricació i construcció.

Un dels digital twins existents al mercat amb possibilitat de generar models elèctrics de sistemes off-grid és ETAP Digital Twin. ETAP ofereix una plataforma elèctrica Digital Twin integrada i enriquida amb solucions intel·ligents. ETAP Electrical Digital Twin es basa en una base multidimensional, que permet el disseny, anàlisi, gestió d'operacions i una transformació digital completa de projectes alhora que s'adapta als canvis del sistema en evolució.



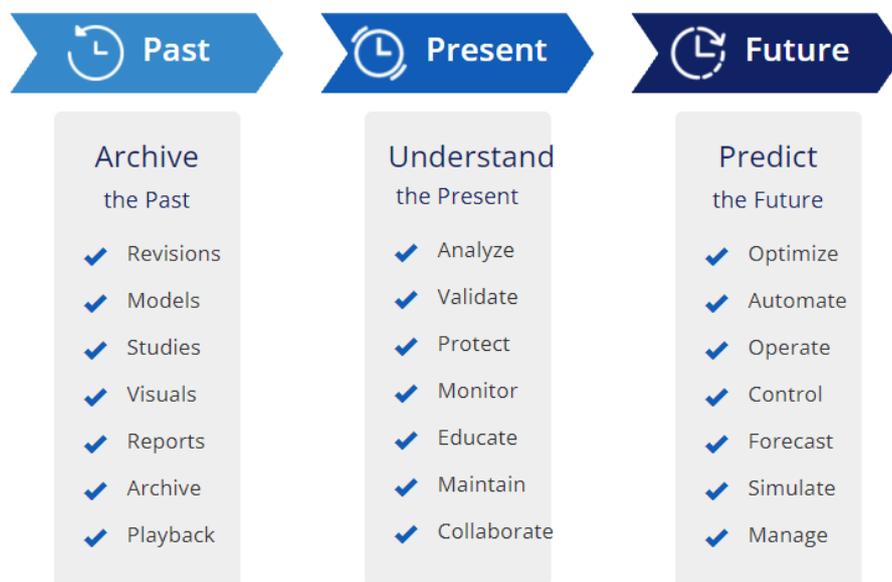
Il·lustració 43. Característiques ETAP Digital Twin

L'aprofitament del poder d'ETAP Digital Twin durant tot el procés de transformació digital ajuda els enginyers, operadors i gestors a augmentar la seva consciència i comprensió dels sistemes, en un entorn rendible i repetible, oferint:

- Suport a la presa de decisions primerenques
- Millora de la productivitat
- Temps de disseny reduït
- Major seguretat
- Optimització i supervisió del rendiment dels actius
- Reducció del cost de les operacions
- Determinació del nivell d' utilització dels recursos del sistema
- Identificació de la causa dels problemes de funcionament
- Eliminació de les interrupcions involuntàries causades per un error humà
- Acceleració en la formació d' enginyers i operadors
- Prova virtual de les accions de l'operador
- Validació de la configuració del sistema
-

En connectar la plataforma digital twin d'ETAP a un ecosistema més ampli de solucions complementàries, s'habilita un paper transformador per a l'usuari per dissenyar, operar i connectar-se a escala multidisciplinària.

ETAP Digital Twin serveix com a model actiu del sistema elèctric, basat en una plataforma intel·ligent contínua des del concepte original a través d'especificacions, disseny, integració, proves, comissions i suport en servei i que servirà tant per analitzar l'estat present del sistema modelitzat com per predir el seu estat futur.



Il·lustració 44. Funcions ETAP Digital Twin

8.1. Possibilitats d'integració amb altres plataformes

Tal i com s'ha comentat anteriorment, un dels majors potencials d'utilitzar un digital twin com és ETAP, és la possibilitat d'integració amb altres plataformes. Una via interessant a incorporar dins la gestió dels centres de salut en zones rurals és la integració amb la plataforma oberta d'Schneider Electric, EcoStruxure Building Operation i EcoStruxure MicroGrid Operation.

D'una banda, EcoStruxure Building Operation té la capacitat de recollir dades dels sistemes de climatització, il·luminació i gestió de l'edifici i crear lògiques de control per augmentar l'eficiència de l'actiu.

EcoStruxure MicroGrid Operation és l'encarregat de la gestió del sistema off-grid; analitza i monitoritza els patrons de consum i producció de l'edifici.

Per tant, la integració entre aquestes tres plataformes permet una transmissió de dades analitzades per ETAP per entendre el funcionament global de l'edifici i predir possibles fallades als diversos sistemes inclosos, tal i com es mostra a la següent il·lustració:



Il·lustració 45. Integració d'ETAP Digital Twin amb altres plataformes de gestió d'instal·lacions

9. Metodologia pel control de les instal·lacions mitjançant un BMS

Tal i com s'ha descrit en apartats anteriors, per tal d'assolir els Objectius de Desenvolupament Sostenibles i per tant, reduir les emissions de gasos d'efectes hivernacle i donar accés a una energia estable en comunitats rurals, no només s'haurà de garantir aquest accés a l'energia, sinó també la seva gestió intel·ligent i eficient.

Aquesta gestió es realitzarà de forma integrada per tots els dispositius que consumeixen energia dels centres hospitalaris, tot introduint un Sistema de Gestió Integral de l'edifici o BMS (Building Management System).

9.1. Definició de les variables a controlar

En apartats anteriors s'ha exposat un anàlisi dels consums per cadascun dels centres sanitaris tot tenint en compte tots els dispositius que demanden energia. Per tal de controlar aquests dispositius, s'hauran de definir una sèrie de variables o senyals a computar dins del sistema de gestió. Aquestes són:

- **Entrades digitals:** les conformen tot el conjunt d'alarmes, estats i avisos que el sistema rep com una entrada d'informació digital (el registre pot prendre dos estats únicament). Un exemple molt comú pot ser l'estat d'un climatitzador o una màquina en general, que només pot estar apagada o encesa, o en actiu o inactiu.

- **Entrades analògiques:** de la mateixa forma que les entrades digitals, són conformades per tot el conjunt d'alarmes, estats i avisos que el sistema rep com una entrada d'informació, però en aquest cas analògica (pot prendre més de dos valors). Són exemples clars les lectures de temperatura d'un dipòsit o el nivell del dipòsit mesurat per una sonda.
- **Sortides digitals:** accions que el sistema provoca a partir d'actuadors, vàlvules o altres dispositius de camp. Poden ser exemples l'encesa o apagada d'una calefactor o l'acció d'obrir o tancar una vàlvula.
- **Sortides analògiques:** accions que el sistema provoca amb un control proporcional o analògic; és a dir, són accions que poden prendre múltiples valors, com per exemple obrir una vàlvula proporcional o activar una llum regulable.
- **Entrades de temperatura:** tal i com s'ha comentat al marc teòric del treball, els sistemes de gestió d'edificis van néixer per la necessitat de realitzar un control exhaustiu de la climatització de l'edifici; és per aquesta raó que usualment s'inclouen les lectures de temperatura com senyals especials, donat que aquestes entrades implicaran l'inclusió d'uns dispositius o sondes concrets.

S'exposa a la següent taula el conjunt de senyals a controlar dins de l'hospital rural, el que en llenguatge de control s'anomena "l'listat de punts":

| | SD | SA | ED | EA | ET |
|--------------------------|----|----|----|----|----|
| 1. LLUM | | | | | |
| Laboratoris | 16 | | 16 | | |
| Assistencial | 18 | | 18 | | |
| Incubadores | 9 | | 9 | | |
| Habitacions | 16 | | 16 | | |
| Banys | 5 | | 5 | | |
| Passadissos | 5 | | 5 | | |
| Staff | 11 | | 11 | | |
| 2. BOMBA DE CALOR | | | | | |
| Marxa/Aturada i Estat | 1 | | 1 | | |

| | | | | | |
|-------------------------------------|---|--|----|--|---|
| màquina | | | | | |
| Alarma general | | | 1 | | |
| Alarma interruptor de fluxe | | | 1 | | |
| Canvi Hivern/estiu | 1 | | | | |
| Estat hivern/estiu | | | 1 | | |
| Temperatura de impulsió | | | | | 1 |
| Temperatura de retorn | | | | | 1 |
| 3. BOMBA (distribució aigua) | | | | | |
| Marxa/Aturada i Estat màquina | 1 | | 1 | | |
| Alarma general | | | 1 | | |
| Alarma interruptor de fluxe | | | 1 | | |
| 4. QUALITAT DE L'AIRE | | | | | |
| Display ambient (1 per cada zona) | | | 21 | | 7 |
| 5. GRUP ELECTRÒGEN | | | | | |
| Conmutació Xarxa/Grup | | | 1 | | |
| Estat Conmutació Xarxa/Grup | | | 1 | | |
| Grup en Marxa | | | 1 | | |
| Defecte General (Alarma) | | | 1 | | |
| Baix Nivell combustible depòsit | | | 1 | | |

| | | | | | |
|--------------------------------------|---|--|---|--|--|
| Defecte General (Alarma) | | | 1 | | |
| Alarma nivell combustible dipòsit | | | 1 | | |
| 6. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | | | | | |
| P/M PV | 1 | | | | |
| Alarma PV | | | 1 | | |
| Estat PV | | | 1 | | |
| Lectura potència produïda | | | 1 | | |
| 7. BATERIES | | | | | |
| P/M Bateria | 1 | | | | |
| Alarma Bateria | | | 1 | | |
| Estat Bateria | | | 1 | | |
| Lectura nivell de càrrega | | | 1 | | |

Taula 21. Llistat de punts

Es comenta a continuació cadascun dels conjunts de senyals a controlar:

- **Llum:** es té en compte tota la il·luminació necessària per l'hospital rural (contemplada a l'anàlisi de consums energètics). L'encesa i apagada de totes les posicions de llum es controla a través de sortides i entrades digitals, per tal de poder realitzar l'acció de control (sortides) i el control dels estats (entrades).
- **Bomba de calor:** la climatització d'un hospital a l'Àfrica es pot realitzar a partir d'una bomba de calor capaç de subministrar calor o fred en funció de l'època de l'any. Per tal de realitzar el seu control es necessitaran senyals d'entrada per conèixer l'estat de la màquina (si és encesa o apagada), l'alarma d'interruptor del fluxe, per conèixer si hi està circulant flux, una alarma general i finalment si el mode activat és d'estiu (fred) o hivern (calor).
- **Bomba (distribució d'aigua):** una de les condicions obligatòries que imposa el document "Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria" pels hospitals rurals és disposar, com a mínim d'una bomba d'impulsió per realitzar la distribució d'aigua a les instal·lacions.

Per tal de realitzar el control sobre aquesta bomba, seran necessàries alarmes d'estat de la màquina (marxa/aturada), alarmes generals, i alarmes d'interruptor de fluxe, així com un senyal de sortida per realitzar la seva posada en marxa o aturada.

- **Qualitat de l'aire:** tot i no ser una condició obligatòria, una de les majors preocupacions actualment als edificis, la qual s'ha vist agreujada degut a la pandèmia del coronavirus és la qualitat de l'aire interior. Gràcies a una sèrie de sensors capaços de mesurar paràmetres com la temperatura, humitat, les conegudes com partícules volàtils (VOC) i el nivell de CO₂, és possible monitoritzar i controlar la qualitat de l'aire dins dels edificis, quelcom crític en una instal·lació com és un hospital. Per realitzar aquest control, seran necessàries entrades digitals (informació dels sensors) i entrades de temperatura.
- **Grup electrògen:** per donar suport a les energies renovables s'ha inclòs un grup electrògen que necessitarà de diverses alarmes i senyals d'actualització d'estat per ser controlat.
- **Energia solar fotovoltaica:** un dels beneficis dels sistemes de gestió integral d'edificis és que es pot realitzar el control integrat de totes les instal·lacions de l'edifici, fins i tot d'aquelles més crítiques com pot ser la instal·lació d'energia solar fotovoltaica.
- **Bateries:** tal i com comentàvem anteriorment amb l'energia solar fotovoltaica, al BMS d'inclouen les senyals d'entrada i sortida provinents de la instal·lació off-grid.

9.2. Càlcul de la instal·lació de control

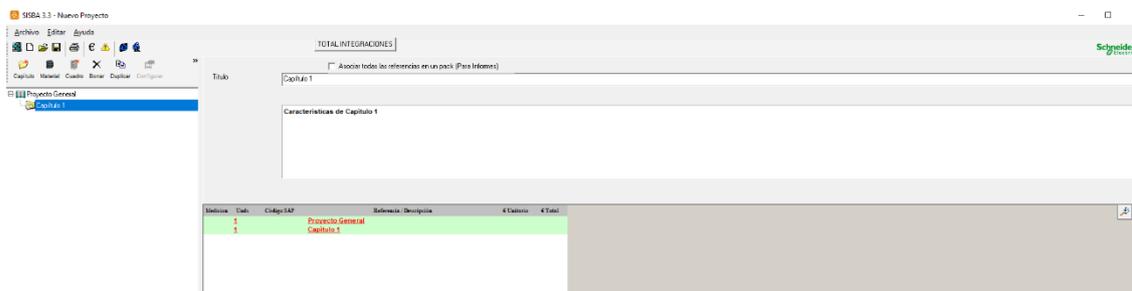
Una vegada obtingut el llistat de punts amb totes les senyals a controlar de l'edifici (il·luminació, climatització, qualitat de l'aire, maquinària de la instal·lació off-grid, etc) es pot determinar l'arquitectura del sistema, és a dir, el conjunt de dispositius (controladors, mòduls d'entrades i sortides, sondes, etc) que existiran dins el sistema de control i com es comuniquen entre ells.

Per realitzar aquesta tasca, des de Schneider Electric s'ha desenvolupat una eina amb Visual Basics que ajuda tant a comercials com al personal tècnic i de pre-venta a realitzar el disseny de les arquitectures en base a un llistat de punts. Aquesta eina s'anomena SISBA i té el següent aspecte:



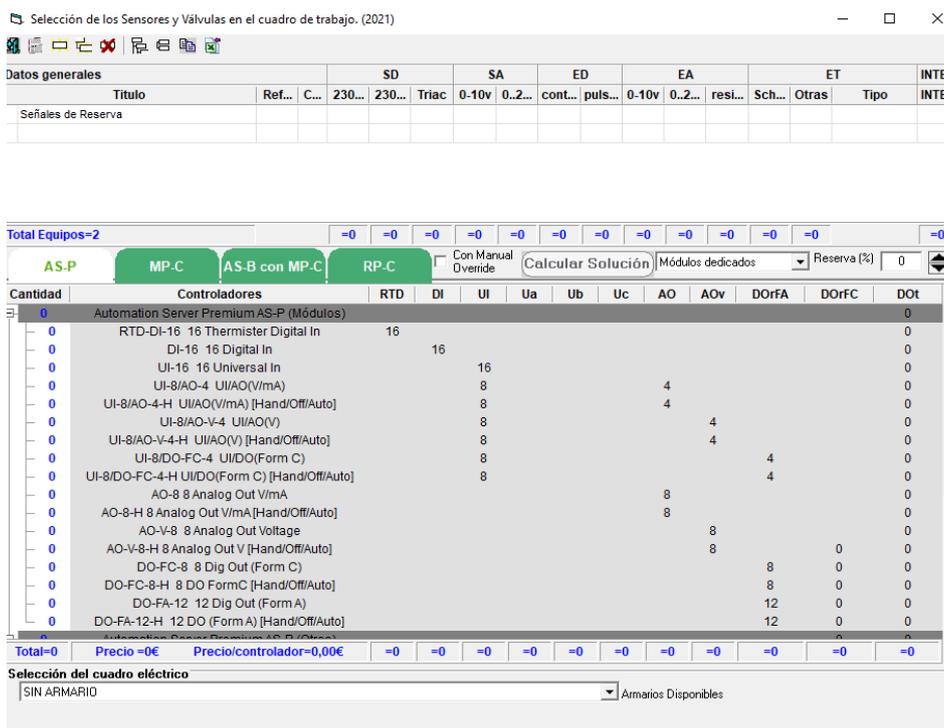
Il·lustració 46. Pantalla d'entrada a SISBA

En aquesta primera pantalla es pot escollir si es vol obrir un projecte ja existent o realitzar un de nou. Una vegada seleccionada la opció desitjada s'introdueix a l'usuari a la pantalla principal:



Il·lustració 47. Pantalla principal SISBA

A la pantalla principal serà on l'usuari podrà configurar els quadres on s'allotjaran els dispositius de control del sistema de gestió. Tot afegint un quadre, el programa redirigeix a l'usuari a la pantalla de configuració de quadre:



Il·lustració 48. Pantalla configuració de quadre SISBA

A la part superior de la pantalla de configuració del quadre es pot trobar el que anomenem "l·listat de punts"; el l·listat de senyals que s'havia comentat anteriorment. El programa deixa a l'usuari escollir si vol realitzar el l·listat dins el programa introduint els senyals manualment o si, per una altra banda, vol importar un fitxer Excel amb el l·listat de punts. Seleccionant la importació a partir d'un fitxer Excel, el programa carrega i identifica totes les senyals tal i com es pot veure a la següent il·lustració:

Módulo de importación Excel (ASP, MPC, ASB)

Selección del fichero Excel a importar

Nombre del Fichero: C:\Users\sesa593175\Box\TFG\l·listat punts HOSPITAL.xlsx
 Nombre de la Hoja: Sheet1

Asignación de las Columnas de importación

Listado de puntos: A *Obligatorio EA3-resistiva Sin
 D ET1-Schneider H
 Sin ET-Otras Sin
 Sin ET-Tipo Sin
 E Cantidad Q
 Sin Referencia Sin
 Sin INTEGRACIONES Sin

Fila Inicial importación: 2
 Fila Final importación: 51

Vista Preliminar Hoja Excel

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|-------------------------------|----|--------------------|----|----|----|----|----|---|---|
| 1 | | | nº puntos de campo | SD | SA | ED | EA | ET | Q | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | LLUM | | | | | | | | | |
| 4 | Laboratoria | 16 | | 16 | | 16 | | | | |
| 5 | Asistencial | 18 | | 18 | | 18 | | | | |
| 6 | Incubadores | 9 | | 9 | | 9 | | | | |
| 7 | Habitaciones | 16 | | 16 | | 16 | | | | |
| 8 | Banys | 5 | | 5 | | 5 | | | | |
| 9 | Passadissos | 5 | | 5 | | 5 | | | | |
| 10 | Staff | 11 | | 11 | | 11 | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | BOMBA DE CALOR | | | | | | | | | |
| 13 | Manxa/Aturada i Estat màquina | | | | 1 | | 1 | | | |
| 14 | Alarma general | | | | | | 1 | | | |
| 15 | Alarma interruptor de fluxe | | | | | | 1 | | | |
| 16 | Canvi Hivern/estiu | | | | 1 | | | | | |
| 17 | Estat hivern/estiu | | | | | | | | 1 | |

Importar Fichero Cancelar

Il·lustració 49. Mòdul d'importació Excel SISBA

Una vegada identificades les columnes amb les dades dels tipus de senyals d'entrada i sortida del sistema, es pot procedir a la importació del document. El programa carrega el l·listat i dona la possibilitat de realitzar el càlcul amb tres controladors diferents (descrits ALS annexos), tal i com es pot veure a continuació:

Selección de los Sensores y Válvulas en el cuadro de trabajo. (2021)

| Datos generales | | SD | | | SA | | ED | | EA | | ET | | INTEG... | | | |
|-------------------------|-----------|--------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------|-----------|
| Título | Refere... | Can... | 230v FA | 230v FC | Triac | 0-10v | 0..20mA | contacto | pulsos | 0-10v | 0..20mA | resistiva | Schnei... | Otras | Tipo | INTEG... |
| LLUM | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Laboratoria | | 1 | 16 | | | | | 16 | | | | | | | | |
| Asistencial | | 1 | 18 | | | | | 18 | | | | | | | | |
| Incubadores | | 1 | 9 | | | | | 9 | | | | | | | | |
| Habitaciones | | 1 | 16 | | | | | 16 | | | | | | | | |
| Total Equipos=42 | | | =85 | =0 | =0 | =0 | =0 | =-121 | =0 | =0 | =0 | =0 | =-9 | =0 | | =0 |

AS.P. MP.C. AS.B con MP.C. RP.C. Forzar versión 230v Calcular Solución Reserva (%) 0

| Cantidad | Controladores | RTD | DI | UI | Ua | Ub | Uc | AO | AOv | DorFA | DorFC | DorT |
|-----------------|---|-----------|--------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|
| 0 | Automation Server Premium AS-P (Módulos) | | | | | | | | | | | 0 |
| 0 | Automation Server Premium AS-P (Otros) | | | | | | | | | | | 0 |
| 0 | Automation Server Bundle AS-B (Módulos) | | | | | | | | | | | 0 |
| 0 | Automation Server Bundle AS-B (Otros) | | | | | | | | | | | 0 |
| 0 | Multi-Purpose MP | | | | | | | | | | | 0 |
| 0 | RP-C y Controladores IP40 | | | | | | | | | | | 0 |
| 0 | Controlador de zona 12IO tipo A 24V RP-C-12A | | | | | 8 | | | | | 4 | 0 |
| 0 | Controlador de zona 12IO tipo B 24V RP-C-12B | | | | | 8 | | | | 4 | | 0 |
| 0 | Controlador de zona 12IO tipo C 24V RP-C-12C | | | | | 4 | | | | 4 | | 0 |
| 1 | Controlador de zona 16IO tipo A 230V RP-C-16A | | | | | 8 | | | | 4 | 4 | 0 |
| 1 | Módulo SmartX IP-IO con 10 DI | | | | 10 | | | | | | | 0 |
| 1 | Módulo SmartX IP-IO con 10 Uba | | | | | | 10 | | | | | 0 |
| 1 | Módulo SmartX IP-IO con 5 Uba y 4 DO | | | | 5 | | | | | 4 | | 0 |
| Total=24 | Precio =9278,7€ Precio/controlador=386,61€ | =0 | =-115 | =0 | =0 | =18 | =0 | =0 | =0 | =-88 | =-4 | =0 |

Selección del cuadro eléctrico

CUADROS CONTROL TIPO 8 (33 módulos)

CUADROS CONTROL TIPO 8 (Precio estimado Armario = 2156 €

CUADRO DE CONTROL TIPO 8, dimensiones 1400x1000x300, con capacidad para albergar 1 controlador Smart Automation Server y 32 módulo entrada / salida. Incluye equipos suficientes para albergar los puntos de control que dependen de esta subestación. Cuadro con bornas de conexión, totalmente cableado internamente a elementos de protección y equipos de control. Elementos montados y con cableado interno del bus de comunicaciones y de alimentación eléctrica de elementos interiores al cuadro. Incluye: - Armario Schneider CRN1210/300 - Placa de montaje Schneider MH 1210 Excluye: - Conexión cableado a bornero.

Il·lustració 50. Càlcul del quadre SISBA

Cal dir que el càlcul de la solució adient per la configuració de punts introduïda es realitza per mitjà d'una base de dades de solucions que emmagatzema el programa, de tal manera que cada vegada que es vol realitzar un càlcul, el programa itera la solució fins trobar la més adequada.

Finalment, la solució obtinguda és la que s'especifica a continuació:

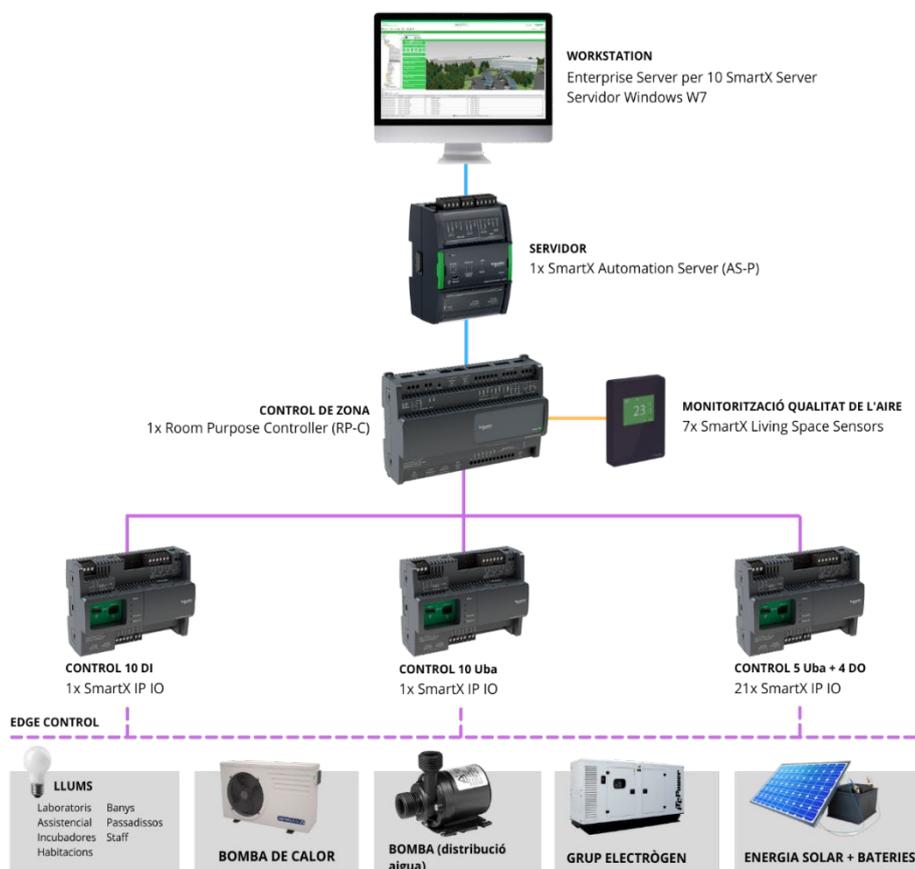
| Quantitat | Controlador | Descripció |
|-----------|----------------|---|
| 1 | SXWRCF16A10002 | Controlador de zona 16IO tipo A 230V RP-C-16A |
| 1 | SXWIPIOAA10001 | Mòdul SmartX IP-IO con 10DI |
| 1 | SXWIPIOBA10001 | Mòdul SmartX IP-IO con 10Uba |
| 21 | SXWIPIOCA10001 | Mòdul SmartX IP-IO con 5Uba y 4DO |

Taula 22. Dispositius de control

Les especificacions dels dispositius escollits per al disseny de l'arquitectura del sistema es poden trobar als annexos.

9.3. Arquitectura del sistema

Finalment, una vegada definides les variables a controlar i obtinguts els dispositius controladors, es pot definir l'arquitectura del sistema de control, mostrada a la següent il·lustració:



Il·lustració 51. Arquitectura del sistema

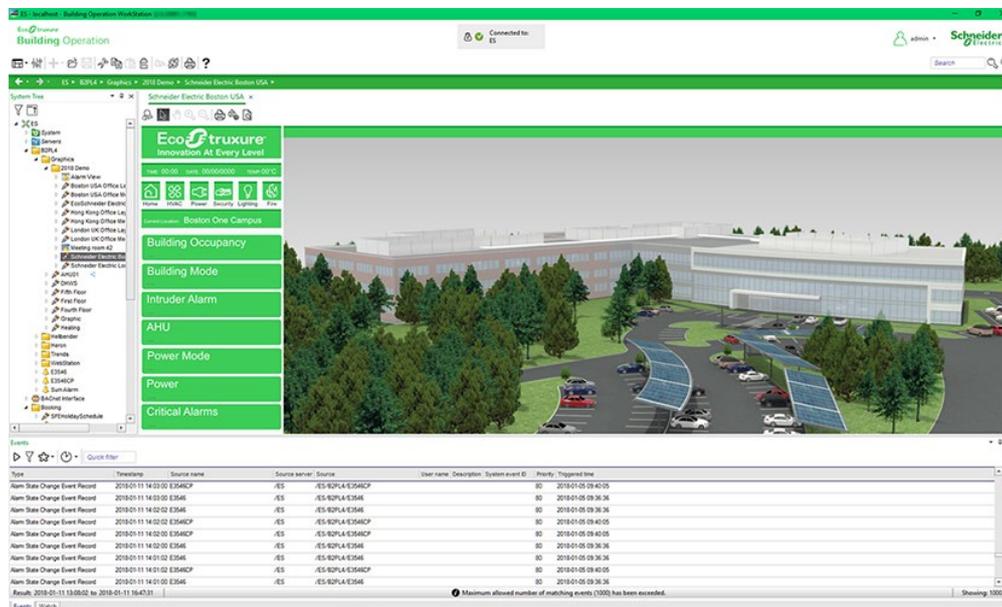
Tal i com es mostra a la figura anterior, es realitza un control de zona sobre la totalitat de l'hospital rural dividint el control de les diverses variables entre 23 controladors IP IO, els quals realitzaran un control directe sobre els equips contemplats al llistat de punts (il·luminació, bomba de calor, bomba de distribució d'aigua, grup electrogen i energia solar fotovoltaica i bateries).

A més, per tal de realitzar una monitorització en temps real sobre la qualitat de l'aire i temperatura de l'hospital, s'afegeixen 7 sensors distribuïts a les diverses zones de l'edifici que es connecten directament mitjançant el protocol de comunicació Modbus amb el controlador de zona (RP-C).

Finalment, un dels objectius d'aquest sistema de gestió integral de l'edifici és el d'habilitar un control i manteniment preventiu; per tant, serà necessari afegir una pantalla a través de la qual es puguin visualitzar tendències i històrics de dades de forma gràfica i entenedora.

Això només es podrà realitzar gràcies al servidor "Automation Server" que afegeix la capa software necessària per comunicar el controlador de zona o "Room Purpose Controller" amb l'ordinador de visualització.

A continuació s'exposen una sèrie d'exemples de gràfiques de monitorització i control o "dashboards" de control realitzades mitjançant el sistema de gestió integral de l'edifici EcoStruxure Building Operation:



Il·lustració 52. Exemple de dashboard principal a EcoStruxure Building Operation



Il·lustració 53. Exemple de dashboard de monitorització de consums a EcoStruxure Building Operation

9.4. Disseny d'una democase

Per tal de mostrar de forma simplificada com funcionaria aquest sistema de gestió integral de l'edifici s'ha construït una maqueta funcional capaç de demostrar a través de dispositius reals, com es realitza el control a temps real d'una sala d'hospital.

La maqueta funcional o "democase" es basa en la solució d'habitació connectada o "Connected Room Solution" d'Schneider Electric, que utilitza la tecnologia d'Internet Of Things per transformar els edificis en edificis eficients, receptius i atractius per als seus usuaris.

Aquestes solucions modulares creen un ecosistema que integra fàcilment tots els sistemes i dispositius de l'IOT de l'edifici. S'inicia amb el control de la sala que s'estén fàcilment des del sistema de HVAC fins a la il·luminació i les persianes, a més d'incloure sensors de sala moderns, tecnologies sense fils integrades, una aplicació mòbil per ocupants d'oficines i una varietat de noves eines per simplificar la instal·lació i la posada en marxa.

A la següent figura es pot entendre fàcilment la proposta de valor de la solució, així com els segments del mercat als quals va dirigida:

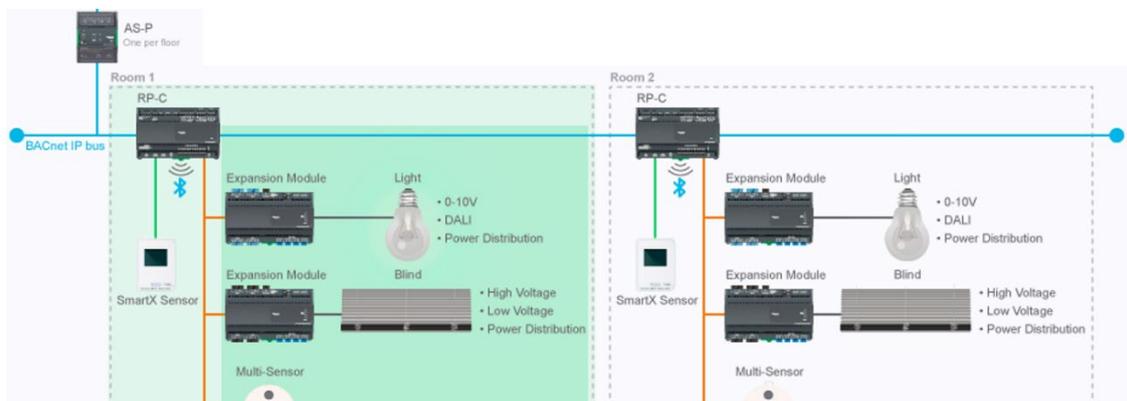


Il·lustració 54. Proposta de valor Connected Room Solution

L'arquitectura mostrada a la següent il·lustració exposa el funcionament de la solució. Com es pot observar, aquesta arquitectura és molt semblant a la obtinguda en l'apartat 5.4.3. per la realització del control de l'hospital rural, cosa que ens permet validar la seva funcionalitat.

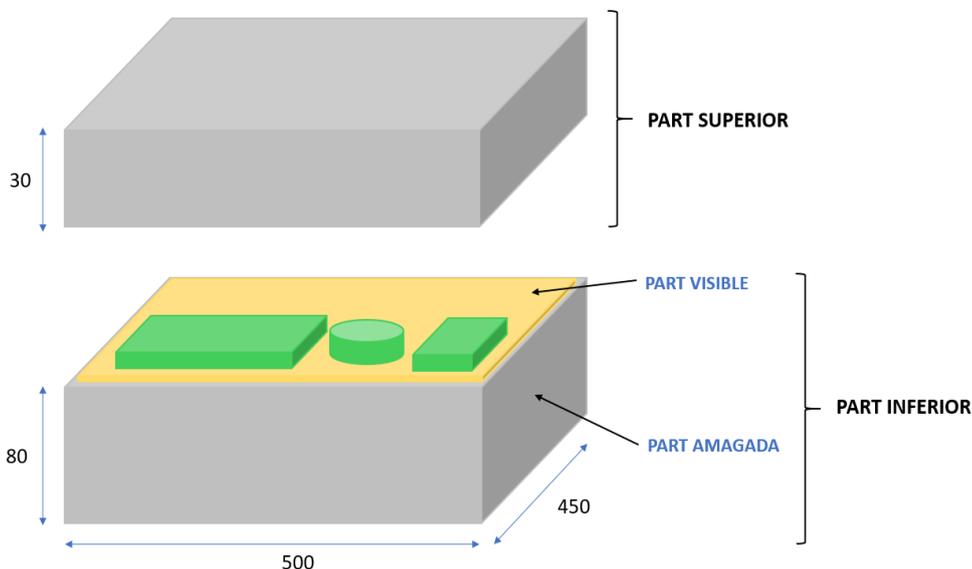
La democase integrarà per tant:

- Un servidor Automation Server Premium, que aportarà la capa software per habilitar la comunicació entre tots els controladors i l'ordinador de supervisió i control.
- Un controlador de zona RP-C (Room Purpose Controller), el qual està dissenyat per realitzar el control sobre una sala d'un hospital (encara que a la solució proposada per hospital rural exerceix el control sobre tot l'hospital, donada la seva reduïda superfície).
- Mòduls d'expansió pel control de la il·luminació i persianes.
- Termostats SmartX Sensor, que permeten modificar les condicions de les diverses instal·lacions.
- Un multisensor per la detecció d'ocupació i nivell de llum.



Il·lustració 55. Arquitectura Connected Room Solution

Seguint aquesta arquitectura, es procedeix a la conceptualització de la democase, començant per la disposició dels dispositius dins d'una maleta fabricada exclusivament pel transport de la maqueta, tal i com es pot veure a les figures que segueixen:



Il·lustració 56. Esquema democase

A la part superior es localitzarà únicament una pantalla Advanced Display per poder visualitzar les actuacions de control, connectada a la font d'alimentació i al AS-P de la part inferior de la democase per mitjà d'un cable USB-C en Y. A més, en aquesta part s'incorpora un fons a mode de decoració.

La part visible, ubicada per sobre de l'anomenada "part amagada" és on es troben els sensors a través dels quals l'usuari de la maqueta podrà interactuar amb els controladors i el software integrat. Per tant, l'usuari ha de poder veure i tocar aquests dispositius.

Finalment, la part amagada és on s'ubiquen la font d'alimentació, els controladors i els mòduls extensors, que es podran veure a través del metacrilat (a la figura anterior, de color groc).

Es mostra a continuació el primer esbós de la part superior (estèticament i amb les instruccions de cablejat):



Il·lustració 57. Estètica part superior democase

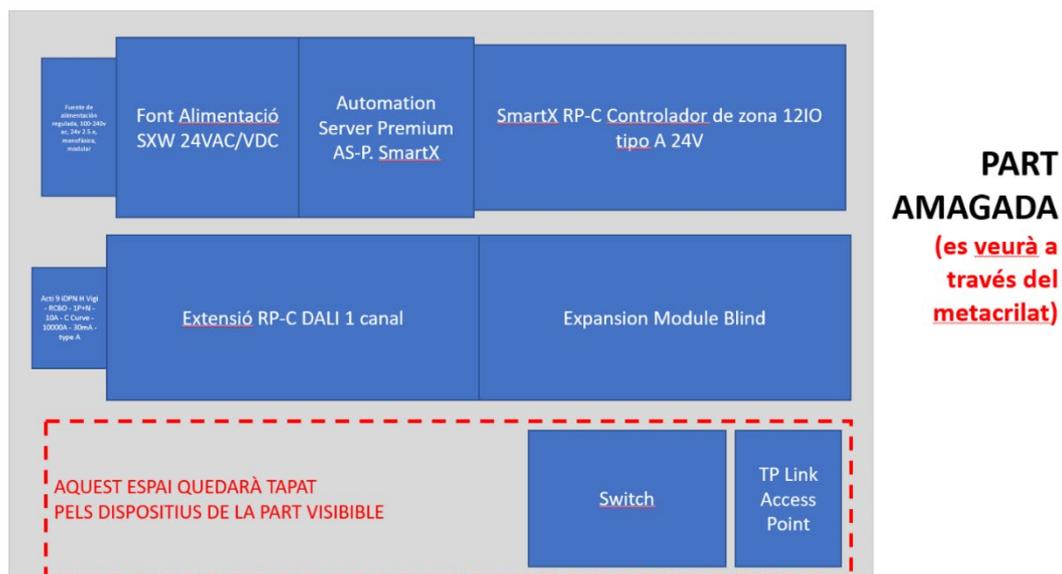


Il·lustració 58. Esquema elèctric part superior democase

La part inferior, tal i com s'ha comentat anteriorment, es divideix en dues parts:

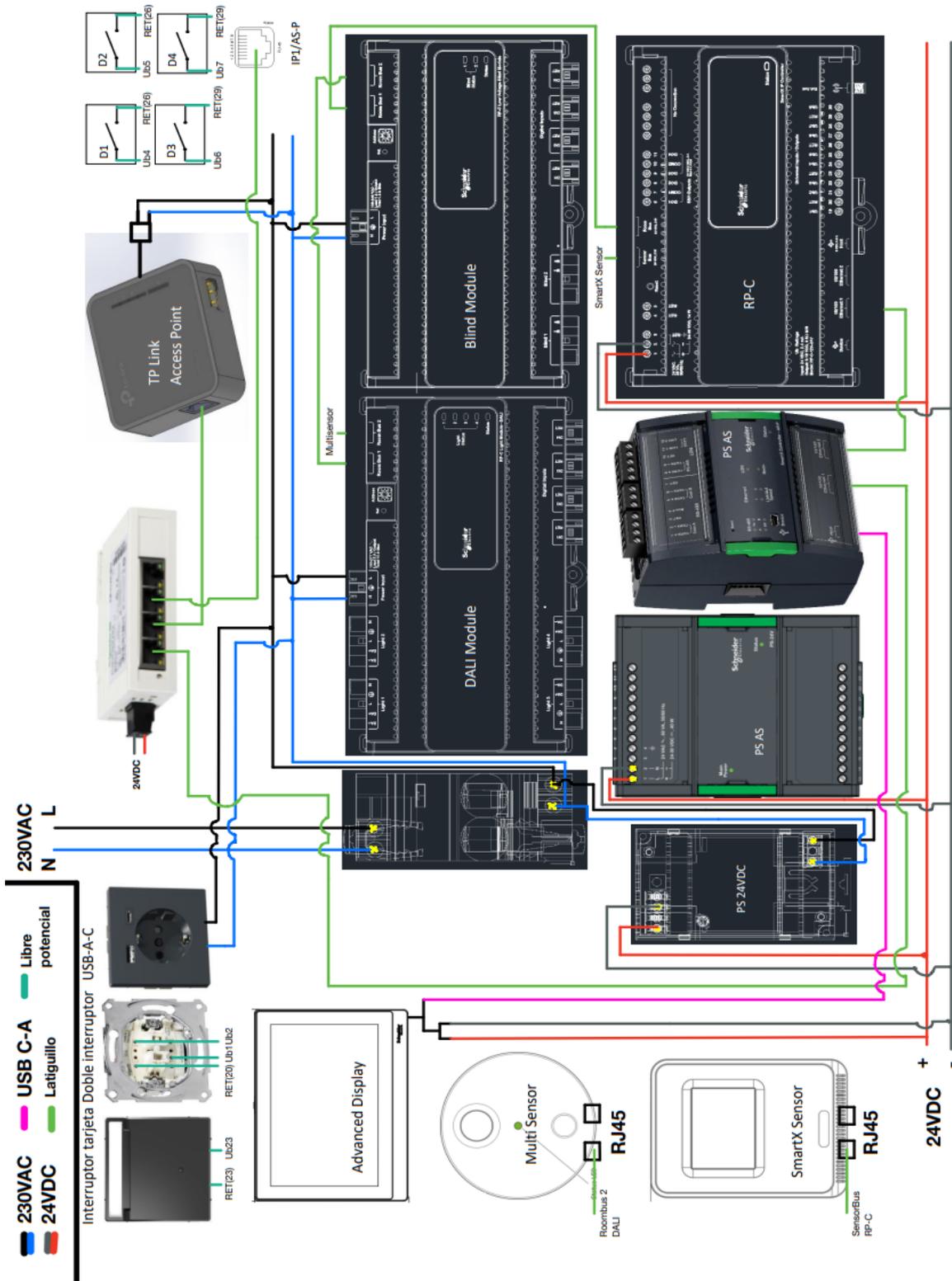


Il·lustració 59. Esquema elèctric part visible democase



Il·lustració 60. Esquema elèctric part amagada democase

Una vegada decidida la disposició dels dispositius dins de la maleta serà necessari definir l'esquema elèctric de tot el conjunt:



Il·lustració 61. Esquema elèctric de tot el conjunt democase

En aquest esquema elèctric es pot veure com s'alimenten els diversos controladors; els mòduls extensors (d'il·luminació i persianes) estan alimentats a 230VAC, mentre que la resta a 24VDC.

A més, es poden visualitzar les diverses línies de comunicació, entre les quals és necessari destacar la comunicació entre RP-C (el controlador de zona) i els mòduls extensors via Room Bus. D'una altra banda cal decidir la capa software que s'utilitzarà per simular les accions de control. Es descriu a continuació el primer esbós d'aquest programa:

Una vegada encesa la maqueta, l'usuari ha de poder seleccionar el segment que vol simular, és a dir, la tipologia de sala que es simularà (oficina, hospital o hotel).



Il·lustració 62. Pantalla inicial interface democase

Mitjançant aquesta pantalla inicial, l'usuari accedeix a un dels tres entorns, tal i com s'exposa al següent diagrama:



Il·lustració 63. Diagrama pantalles interface democase

En cadascun d'aquests entorns, l'usuari ha de poder interactuar amb l'escena per realitzar el control de la il·luminació, climatització i persianes per mitjà dels sensors i termostats inclosos a la maqueta.

A més, gràcies a la flexibilitat de la solució, es poden crear escenes personalitzades com per exemple, en el cas de l'habitació d'hospital:

- **Escena de dia/nit:** s'ajusta la il·luminació de forma automàtica a mida que la llum natural que incideix a l'habitació va canviant.
- **Escena de lectura:** manté solament algunes de les llums enceses per crear un ambient relaxat, idoni per la recuperació del pacient.
- **Escena TV:** apaga tots els llums i ajusta les persianes i la climatització per augmentar el confort dels usuaris de l'habitació.
- **Mode ECO:** minimitza el consum energètic quan es detecta que l'habitació està buida.



Il·lustració 64. Vista democase 1



Il·lustració 65. Vista democase 2

10. Resultats i anàlisi de resultats

10.1. Estandardització del disseny de centres de salut en zones rurals

Una vegada finalitzat el càlcul de les diverses instal·lacions off-grid per les tres tipologies de centre rural definides dins del document "Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria" i després de definir els processos i programes a utilitzar per augmentar tant l'eficiència energètica dels edificis com l'eficiència en el seu disseny i construcció, es presenta a continuació el procés estandarditzat pel disseny de centres de salut en zones rurals:

- i. Utilització del programa RNM (Reference Network Model) per determinar si la instal·lació ha de ser off-grid o connectada a xarxa.
- ii. Determinació de la tipologia de centre de salut en funció dels estàndards mínims desitjats.
- iii. Utilització d'ETAP Digital Twin per les fases de disseny i construcció del centre amb l'objectiu d'augmentar l'eficiència del projecte.
- iv. Instal·lació del sistema off-grid i el Building Management System segons les tres paquetitzacions definides.

10.2. Valoració econòmica

Tal i com s'ha especificat als Objectius específics del projecte, es realitzarà la valoració econòmica únicament pel centre de salut de grandària 3, és a dir, l'hospital rural.

10.2.1. Pressupost d'implantació

Amb tota la informació recollida i generada a aquest projecte, es pot elaborar el pressupost d'implantació; el cost en termes globals de portar a terme totes les actuacions necessàries per realitzar la instal·lació del sistema off-grid i del sistema de gestió integral de l'edifici (BMS) a un hospital rural que compleix amb els estàndards descrits al document "Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria".

Els costos d'implantació es poden dividir en tres capítols, els quals es descriuran a continuació:

- **Costos d'enginyeria**

Els costos d'enginyeria qualifiquen les hores dels professionals que han treballat a l'execució del projecte, juntament amb els desplaçaments i dietes que es poguessin realitzar per portar a terme estudis preliminars.

El cost total s'obté del producte de les hores treballades i els honoraris per hora dedicada, dividint-se a la seva vegada en honoraris d'oficina i els generats per desplaçaments i dietes.

Es condiderarà el viatge a Nigèria d'un equip format per 4 persones per 4 dies.

| Personal | Hores | Honoraris (€/h) | Cost (€) |
|---------------------|-------|-----------------|--------------|
| Enginyer 1 | 80 | 40 | 3200 |
| Enginyer 2 | 15 | 40 | 600 |
| Enginyer 3 | 100 | 30 | 3000 |
| Enginyer 4 | 70 | 30 | 2100 |
| Ajudant tècnic | 90 | 20 | 1800 |
| Personal d'oficina | 100 | 20 | 2000 |
| SUBTOTAL (€) | | | 12700 |

Taula 23. Costos personal

Es mostra a continuació el desglossament dels costos per viatge:

| Concepte | Número | Cost unitari (€) | Cost (€) |
|---------------------|--------|------------------|--------------|
| Desplaçament | 8 | 1500 | 12000 |
| Allotjament | 11 | 80 | 320 |
| Dieta | 132 | 20 | 2640 |
| SUBTOTAL (€) | | | 19960 |

Taula 24. Costos per viatges

Per tant, els costos d'enginyeria són:

| | |
|---------------------------|--------------|
| Costos de personal | 12700 |
| Viatjes | 19960 |
| SUBTOTAL (€) | 32660 |

Taula 25. Costos d'enginyeria

D'aquesta forma, els costos d'enginyeria ascendeixen fins 32.660€.

- **Costos materials**

Els costos materials són, sense cap mena de dubte, els que requereixen d'una inversió més alta pel projecte. Cal dir que tot el material aquí especificat és orientatiu, de forma que serien vàlids altres amb característiques similars. Així, per tal d'estalviar en logística, es recomanaria comptar amb proveïdors locals de material.

El pressupost es divideix en subcapítols per tal de facilitar la visió general:

| Equip | Unitats | Preu unitari (€) | Cost (€) |
|--|---------|------------------|-----------------|
| I. BATERIES | | | |
| HOPPECKE Power VL 2-1610 | 72 | 750,0 | 54000,0 |
| II. PANELLS FOTOVOLTAICS | | | |
| Jinko Tiger HC+TR mono PERC | 44 | 185,0 | 8140,0 |
| III. INVERSOR | | | |
| Huawei SUN2000-20KTL-M2 | 1 | 2192,9 | 2192,9 |
| IV. ESTRUCTURA DE SUPORT | | | |
| Estructura Inclorada 30° 2 panells | 22 | 166,2 | 3657,1 |
| V. GRUP ELECTRÒGEN BIOMASSA | | | |
| All Power Labs PP30 25kW | 1 | 48200,0 | 48200,0 |
| VI. CABLEJAT | | | |
| Cablejat general (m) | 1000 | 2,2 | 2150,0 |
| VII. BMS | | | |
| Quadre de control AM-TIPO8 | 1 | 2156,0 | 2156,0 |
| Automation Server Premium AS-P. SmartX | 1 | 2120,0 | 2120,0 |
| Controlador de zona 16IO 230V lliure | 1 | 321,0 | 321,0 |
| Mòdul SmartX IP-IO amb 10DI | 1 | 364,6 | 364,6 |
| Mòdul SmartX IP-IO amb 10Uba | 1 | 482,0 | 482,0 |
| Mòdul SmartX IP-IO amb 5 Uba i 4DO | 21 | 386,0 | 8106,0 |
| SUBTOTAL (€) | | | 131889,5 |

Taula 26. Costos materials

- **Costos d'instal·lació**

Es consideren finalment els costos d'instal·lació com aquells relacionats amb la instal·lació i programació dels equips nomenats anteriorment. Es condicionarà aquest cost com el 10% del cost material. Per tant:

| Concepte | Cost (€) |
|---|----------|
| Costos d'instal·lació (10% dels costos materials) | 13188,95 |

Taula 27. Costos d'instal·lació

10.2.2. Pressupost d'Execució Material

Es calcula com la suma dels capítols anteriors:

| Concepte | Cost |
|-----------------------|------------------|
| Costos d'enginyeria | 32660 |
| Costos materials | 131889,5 |
| Costos d'instal·lació | 13188,95 |
| TOTAL PEM (€) | 177738,45 |

Taula 28. Pressupost d'Execució Material

10.2.3. Pressupost total

Finalment, al pressupost d'execució material se li han d'afegir els costos indirectes i el benefici industrial per obtenir finalment el pressupost total de la instal·lació:

| Concepte | Cost (€) |
|--------------------------|------------------|
| PEM | 177738,45 |
| Costos indirectes (5%) | 8886,92 |
| Benefici industrial (6%) | 10664,31 |
| TOTAL | 197289,68 |

Taula 29. Pressupost total

10.3. Beneficis de l'electrificació amb energies renovables a zones rurals aïllades

Gràcies a la instal·lació del sistema off-grid i el BMS als centres de salut rurals és clar que existeixen beneficis per la salut dels usuaris dels centres, però la disponibilitat d'electricitat en un centre neuràlgic com pot ser una clínica de salut, té repercussions sobre tots els habitants de les comunitats, tan a nivell social, productiu, com mediambiental, entre d'altres.

10.3.1. Beneficis en la salut

Els beneficis més importants per la salut que resulten de l'accés a l'electricitat als centres de salut rurals s'enuncien a continuació:

- Millora substancial de les instal·lacions sanitàries
- Millora de la salut dels edificis degut a la millora en la qualitat de l'aire derivada de l'absència de combustibles contaminants.
- Promoció del desenvolupament del coneixement gràcies a la disponibilitat d'ordinadors i laboratoris amb fiabilitat elèctrica.
- Millora de la condició física generalitzada en la comunitat, derivada del major coneixement així com el fet de poder refrigerar medicaments i disposar d'una atenció mèdica de qualitat.

Cal destacar que l'ús de combustibles sòlids tradicionals posa a les comunitats i sobretot, als usuaris dels centres de salut en exposició d'aire contaminat, amb els conseqüents riscos per la salut.

A més, la disponibilitat d'electricitat per la il·luminació provoca que es deixen d'utilitzar les làmpades de querosè; un combustible líquid provinent del petroli, la utilització del qual és una de les principals causes de mortalitat infantil i de malalties pulmonars per la inhalació d'anhídrid carbònic.

10.3.2. Beneficis en la l'educació

Tal i com s'ha comentat en altres parts del projecte, els centres de salut són, molt sovint, els centres neuràlgics de les comunitats rurals. La disponibilitat d'una electricitat fiable, eficient i segura garanteix el desenvolupament educatiu, donat que els centres de salut poden tenir la capacitat per allotjar petites aules d'aprenentatge.

Addicionalment, la instal·lació de sistemes aïllats als centres de salut, pot ser l'inici de l'electrificació de la comunitat sencera, convertint-se el projecte d'aquesta forma en una prova pilot ampliable a tots els edificis de la zona gràcies al coneixement adquirit pels seus habitants en el procés de construcció del centre.

Finalment, cal destacar que els sistemes off-grid precisen, encara que en menor mesura que d'altres sistemes, d'un manteniment i comprovacions periòdics, de forma que aquesta és una bona oportunitat per promoure el coneixement sobre tecnologies d'energies renovables dins la comunitat.

10.3.3. Beneficis productius

El subministre elèctric pot afavorir molt als negocis i petites empreses o familiars. El principal avantatge és que permet la utilització de maquinària o equipament que necessiti de la electricitat per funcionar, i en segon lloc, augmenta considerablement les hores de treball i per tant, la productivitat.

A més, gràcies a la disponibilitat d'electricitat fiable, tots els utensilis mèdics que necessiten d'aquest subministre poden funcionar correctament, de forma que es potencia també l'atenció mèdica de qualitat i la investigació en els hospitals rurals.

10.3.4. Beneficis mediambientals

La electrificació rural, tal i com està plantejada en aquest projecte, es porta a terme mitjançant energies renovables i sense impactar directament a la xarxa elèctrica del país. Per tant, un dels beneficis més importants d'aquesta electrificació és precisament el mediambiental; gràcies a la substitució d'altres formes de producció d'energia com el querosè o els grups electrògens de dièsel per models més nets, amb la conseqüent reducció d'emissions de CO2 i impacte positiu en el medi ambient.

10.3.5. Millora de les comunicacions

L'electricitat permet a més, operar de forma ininterrompuda equips de ràdio i telefonia i, fins i tot, proporciona accés a Internet, facilitant d'aquesta manera la comunicació amb altres comunitats i amb els centres de salut regionals. Aquesta possibilitat de comunicar-se amb el món exterior (probablement desconegut per molts dels habitants de la comunitat) és altament apreciada per les persones que viuen a les zones rurals aïllades i que avui dia romanen incomunicades.

10.3.6. Accés al subministre d'aigua potable

Una de les condicions per la construcció de clíniques de salut a zones rurals que s'han extret del document "Minimum Standards for Primary Health Care in Nigeria" és que aquestes han de disposar d'una bomba de bombeig d'aigua, per tal de comptar al centre amb aigua potable i aigua corrent pels banys i per la desinfecció.

Per tant, queda clar que un dels avantatges més interessants del subministre elèctric és el bombeig d'aigua i la seva depuració, en aquelles comunitats amb dificultat d'accés a altres fonts d'energia.

10.3.7. L'energia com a font d'empoderament de la dona

La pobresa en general, i sobretot en zones rurals, afecta de forma diferent a dones i homes.

A les comunitats, les dones (i a partir d'una edat, els seus fills) son responsables d'importants feines relacionades amb l'accés a l'energia, com pot ser recollir el combustible necessari pels grups electrògens. Són elles qui dedicant hores cada dia preparant el dinar amb fonts d'energia ineficients, estan exposades a una combustió nociva per la seva salut. Per tant, l'absència d'accés a formes modernes d'energia té un impacte directe en la vida de les dones, passant per la pèrdua d'oportunitats de millora o de benestar familiar degut a la quantitat de temps invertit que no seria necessari amb fonts d'energia renovables.

És clau llavors que en el procés d'electrificació de zones rurals aïllades, s'atorgui un paper actiu a la dona, tant en l'expressió de les necessitats com en el procés de disseny i concepció de la instal·lació, incloent-les als consells d'energia que les comunitats han de crear necessàriament per garantir la sostenibilitat i correcte manteniment dels projectes.

11. Conclusions

Durant el transcurs d'aquest projecte, s'ha comprovat com l'energia és un element central pel desenvolupament. Sense ella, les comunitats viuen en plena obscuritat, els serveis essencials com establiments mèdics i educatius es veuen seriosament afectats i les empreses operen amb greus limitacions. L'energia és, al cap i a la fi, el motor de qualsevol economia, donat el seu caràcter catalitzador per la innovació.

El nostre deure com a societat actualment és reduir el nostre impacte en el planeta, tot fent un ús òptim dels recursos disponibles i és aquí on intervé l'accés universal a l'energia; a una energia no només segura, sino també fiable i sobretot eficient. És per això que en aquest projecte s'han explorat totes les vies possibles per augmentar l'eficiència dels centres de salut rurals, tant en la seva etapa d'utilització com a les etapes prèvies de construcció i disseny.

D'aquesta forma, gràcies a la utilització del RNM (Reference Network Model), s'agilitzaria de forma dràstica la presa de decisions a l'hora d'escollir el tipus de sistema d'alimentació d'un edifici, sobretot quan aquest es troba a una zona de difícil accés o estudi.

A més, s'ha exposat com la incorporació dels "digital twins" en les fases de disseny, construcció i operació d'un edifici ajudaran a optimitzar el temps invertit en cada fase i disminuir despeses, així com a disposar sempre de dades reals sobre els edificis construïts provinents de sistemes de gestió integral d'edificis, els coneguts "Building Management Systems".

Finalment, es demostra com, gràcies a la estandardització dels requeriments de les diverses tipologies de centre de salut a cada país, es pot arribar a definir una solució tipus d'instal·lació aplicable a qualsevol projecte de construcció de centre de salut del país en concret.

12. Annexos

ANNEXE A. Funcionalitats del BMS (Building Management System)

El sistema de control i gestió

El Sistema de Control i gestió s'encarregarà de realitzar el control i la supervisió, en temps real, del conjunt d'instal·lacions electromecàniques, permetent conèixer l'estat de funcionament de les instal·lacions, reflectint les alarmes i incidències o els canvis en el funcionament normal preassignat, així com permet donar les ordres oportunes per modificar l'estat de funcionament.

Les instal·lacions sobre les que es realitzaran les activitats de telecontrol seran:

- Instal·lació de climatització.
- Instal·lació baixa tensió (Quadres), grups electrògens, enllumenat, fotovoltaica.
- Mitja tensió (Senyals d'estat, alarmes per tret, sondes de temperatura, etc ...)
- Protecció contra incendis (alarmes, estats, etc ..)
- Ascensors / portes automàtiques
- Fontaneria (bombes, sistema de cloració (mesuraments))

El Sistema de Telecontrol estarà basat en l'ús de programari SCADA EcoStruxure Building Operation. S'utilitzaran sistemes oberts i interconnectables que utilitzin estàndards de mercat (programació C ++, POSIX, ANSI, TCP / IP, etc.). Així com protocols estàndards per a l'intercanvi de dades amb els elements de camp.

El sistema s'organitzarà en tres nivells, més un d'opcional:

Conected products: Aquest nivell s'encarrega de captar informació i actuar sobre les instal·lacions a nivell de centre. Està compost pel conjunt de sensors, actuadors i mòduls I / S de sistema, així com altres elements de comunicació amb el nivell de control.

El sistema d'automatització i control d'edificis haurà de disposar d'un disseny modular que permeti abastar unes funcions d'operació, monitoratge i control virtualment il·limitades.

Haurà de disposar de funcionalitat per abastar no només els típics sistemes HVAC, com calefacció, ventilació, aire condicionat i aigua calenta sanitària, sinó també per a altres serveis dels edificis, com electricitat i enllumenat, o incendis i seguretat, etc ...

Ha de disposar d'arquitectura oberta permetent la integració d'equips de tercers en els tres nivells de sistema. Fins i tot per a l'intercanvi d'informació entre els components de sistema, utilitzés protocols estandarditzats.

El sistema haurà de tenir la capacitat d'emmagatzematge de dades per històrics i tendències d'un any. El sistema ha de ser capaç de manejar grans volums d'informació, derivats d'un sistema que abasti tots els centres, en el cas que hi hagi més d'un, amb totes les instal·lacions monitoritzades i controlades.

Elements de camp

Es definiran per complet els diferents dispositius de control necessaris per al maneig de les instal·lacions que componen cada actuació a nivell de camp. S'inclouen en aquest apartat per tant actuadors, sensors, passarel·les de comunicació etc. Al costat dels dispositius s'haurà de tenir en compte tot tipus de cablejat, programació, entrades i sortides, connexionat físic o wireless etc. necessari per a la completa definició de sistema a nivell de camp i la seva comunicació amb el nivell de control.

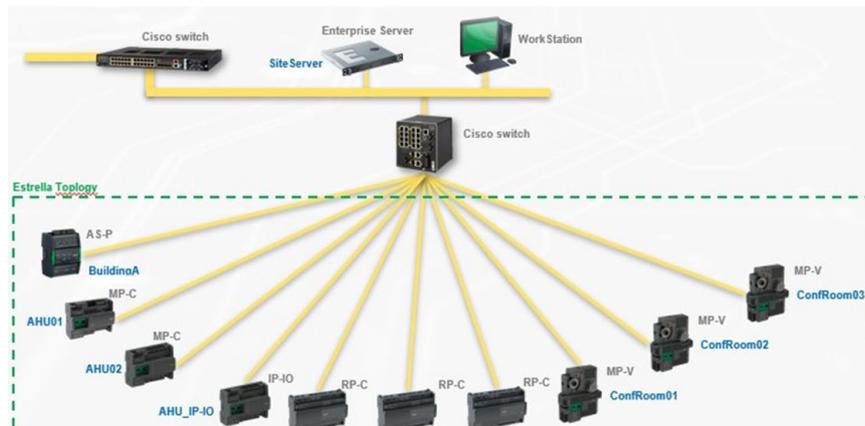
Tots els dispositius a instal·lar estaran basats en protocols de comunicació oberts i siguin estàndards de mercat i, sempre que sigui possible, han de ser de tipus modular per permetre una major integració en el sistema d'altres dispositius.

ANNEXE B. Arquitectures possibles

Les tipologies d'arquitectura que permeten els controladors són les detallades a continuació:

Tipologia estrella

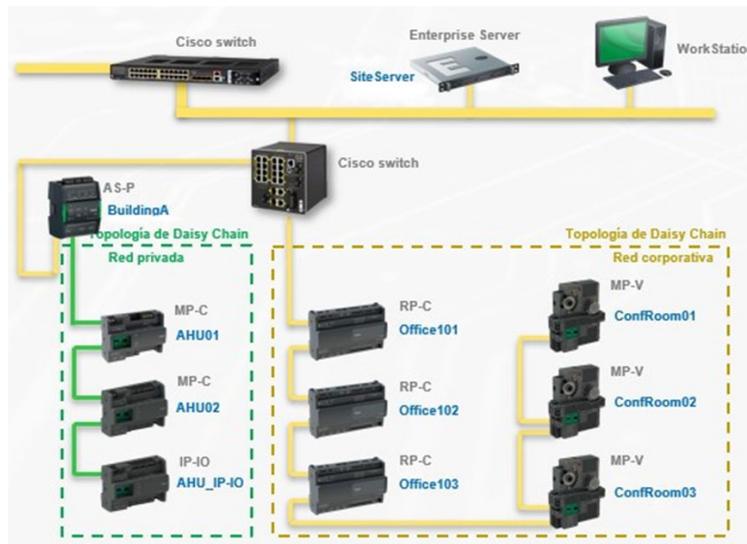
Amb aquesta topologia, tots els elements van connectats directament a la xarxa ethernet de manera puntual a un Switch de comunicacions (o xarxa de la propietat). Des d'un únic controlador Automation Server (AS-P) és possible gestionar 200 controladors IP tipus MPC, RPC i / o IP-IOs.



Il·lustració 66. Tipologia estrella

Tipologia Daisy Chain

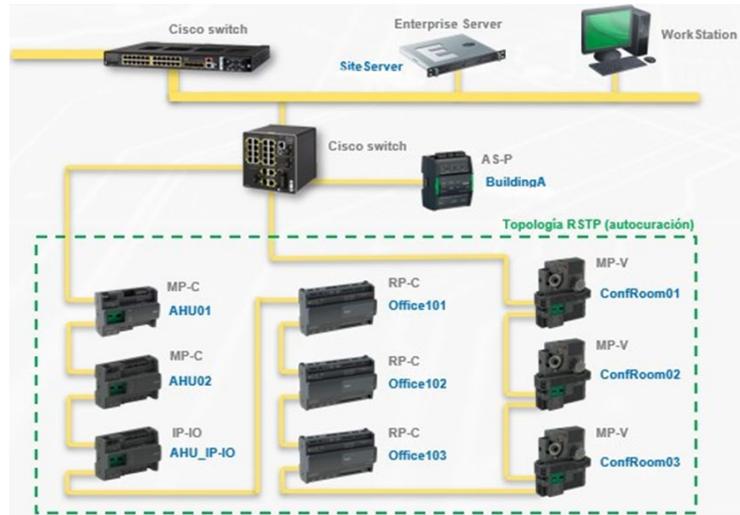
Amb aquesta topologia, tots els elements van connectats usant la funcionalitat entrada-sortida de la doble connexió de xarxa ethernet que incorporen. Des d'un únic controlador Automation Server és possible gestionar 50 controladors IP tipus MPC, RPC i / o IP-IOs connectats en topologia Daisy Chain.



Il·lustració 67. Tipologia Daisy Chain

Tipologia en anella

Per al cas en què es requereixi donar a l'arquitectura de comunicacions redundància (seguretat en cas d'un únic error de xarxa), és possible fer servir l'arquitectura en anell mitjançant protocol RSTP. En aquesta topologia, tots els elements van connectats en anell usant la funcionalitat entrada-sortida de la doble connexió de xarxa ethernet que incorporen. Des d'un únic controlador Automation Server és possible gestionar 39 controladors IP tipus MPC, RPC i / o IP-IO connectats en topologia en anell.



Il·lustració 68. Tipologia en anella

ANNEXE C. Especificacions dels dispositius

EcoStruxure Enterprise Server

El servidor EcoStruxure Enterprise Server és el punt central en l'arquitectura de EcoStruxure BMS, des del qual els usuaris poden configurar, controlar i supervisar tot el sistema.

El servidor Enterprise Server recopila dades de tota la instal·lació afegir, gestionar-los i arxivar-los. A través del WorkStation o WebStation, el servidor Enterprise Server també serveix com a punt únic d'administració de EcoStruxure.

El programari de les estacions de treball de programació i configuració permet que qualsevol usuari amb els permisos adequats crei o modifiqui parcialment o totalment la base de dades de controlador o de servidor central.

Totes les estacions de treball de configuració són ordinadors personals equipats amb el sistema operatiu Microsoft Windows 10. El programari d'aplicació és capaç de comunicar-se amb tots els controladors EcoStruxure Automation Server de la xarxa i ofereix gràfics en color d'alta resolució, alarmes i gràfics de tendències. Pot ser configurat per l'usuari per a totes les funcions de recollida i presentació de dades.



Il·lustració 69. EcoStruxure Enterprise Server

SmartX Automation Server

Al cor de l'EcoStruxure BMS hi ha un Servidor SmartX, com el servidor Automation Server. El servidor Automation Server realitza les funcions clau, com la lògica de control, el registre de tendències i la supervisió de les alarmes i dóna suport a la comunicació i la connectivitat als busos de camp i mòduls d'E/ S. La intel·ligència distribuïda de la EcoStruxure BMS garanteix que el sistema sigui a prova de fallades i proporciona una interfície d'usuari completament destacada mitjançant WorkStation i WebStation.

El servidor Automation Server és un dispositiu potent que pot actuar com a servidor autònom, controlar mòduls d'E/ S i supervisar i gestionar dispositius de bus de camp. En una instal·lació petita, Automation Server actua com a servidor autònom integrat, complementat amb mòduls d'I / S en un dispositiu compacte. En instal·lacions de mida mitjana a gran, la funcionalitat es distribueix entre diversos servidors SmartX que es comuniquen per TCP / IP.

El servidor Automation Server pot coordinar el trànsit dins i fora de la instal·lació i enviar les dades directament a l'usuari o altres servidors de la instal·lació. Automation Server pot executar diversos programes de control, gestionar I / S locals, alarmes i usuaris, a més de tramitar planificacions i registres i comunicar-se usant diversos protocols. Per això, la majoria de components de sistema funcionen de forma autònoma i segueixen executant-se en conjunt fins i tot si hi ha un error de comunicació o si els dispositius o servidors SmartStruxure BMS individuals es desconnecten. Diverses opcions de connectivitat El servidor Automation Server té nombrosos ports, de manera que es pot comunicar amb un tot un seguit de protocols, dispositius i servidors.

El servidor Automation Server té els següents ports:

- Un port de 10/100 Ethernet
- Dos ports RS-485
- Un port LonWorks TP / FT

- Un port de bus d'E / S integrat
- Dos ports host USB
- Un port per dispositiu USB

El port per dispositiu USB permet actualitzar i interactuar amb el servidor Automation Server utilitzant el Device Administrator. El port host USB es pot utilitzar per a la comunicació amb la pantalla tàctil d'AD.



Il·lustració 70. SmartX Automation Server

RP-C SmartX IP Controller

SmartX IP Controller - RP-C és un controlador de camp per a ús en sales, basant-IP, completament programable i que s'adapta a una àmplia gamma d'aplicacions HVAC. El RP-C pot usar-se com un controlador de camp BACnet / IP autònom o com a part d'un servidor EcoStruxure BMS amb un SmartX ServerAS-P, AS-B o Enterprise Server. El RP-C compta amb un xip sense fils que permet que l'aplicació mòbil de posada en marxa es connecti directament a el controlador.

El RP-C té les següents característiques:

- IP activada amb switch Ethernet, port dual
- Gamma completa de models de controladors
- Una versàtil combinació de punts E / S
- Cobertes opcionals
- Connexió sense fil
- Alta disponibilitat
- Sensor Bus per SmartX Living Sensors

Room bus per la connexió de les solucions de control de zona (Dali, 0-10, persianes, detectors de lluminositat i `resencia)

Aplicació mòbil de posada en marxa

Suport per al programari de EcoStruxure Building Operation, que proporciona eines d'enginyeria eficients.

Els controladors SmartX IP es basen en protocols oberts que simplifiquen la interoperabilitat, la configuració IP i la gestió de dispositius:

- Adreça IP
- Comunicacions BACnet / IP

Els controladors SmartX IP tenen un port d'Ethernet doble que permet topologies de xarxa flexibles:

- Estrella
- Daisy Chain
- Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)



Il·lustració 71. RP-C SmartX IP Controller

IP-IO SmartX IP Controller

El mòdul SmartX IP Controller IP-IO proporciona l'expansió I / O a l'aplicació HVAC sobre BACnet / IP. El mòdul pot compartir els seus recursos I / O amb les aplicacions que s'estiguin executant en els servidors SmartX, els controladors SmartX IP o sistemes de tercers. A l'admetre alarmes locals i registre de tendències locals, el mòdul IP-IO evita el trànsit innecessari a la xarxa mentre pot registrar informació important de forma local. Es pot instal·lar el mòdul IP-IO prop de les instal·lacions sobre el terreny, lluny de servidor de SmartX o el controlador SmartX IP. Tots els models IP-IO inclouen una pantalla opcional per poder veure i controlar les entrades i sortides.

- El mòdul IP-IO té les següents característiques:
- IP activada amb un port dual amb port d'Ethernet
- Una versàtil combinació de punts E / S
- Molt segur
- Aplicació mòbil de posada en marxa
- Suport per al programari de EcoStruxure Building Operation, que proporciona eines d'enginyeria eficients.

El mòdul IP-IO es basa en protocols oberts que simplifiquen la interoperabilitat, la configuració IP i la gestió de dispositius:

- Adreça IP
- Comunicacions BACnet / IP
- Fàcil configuració de xarxa amb DHCP

El mòdul IP-IO té un port d'Ethernet doble que permet topologies de xarxa flexibles:

- Estrella
- Connexió en cadena
- Anell Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)

El mòdul IP-IO s'oferta en tres models amb diferents punts d'E / S i una variada combinació de tipus de punts E / S per satisfer una gran varietat d'aplicacions. Les entrades o sortides universals són molt flexibles i es poden configurar tant com entrades o sortides.

Sensor bus per Living Space Sensors

Els controladors MP Sèries i RP Sèries proporcionen una interfície dissenyada per als SmartX Sensor. Els SmartX Sensor ofereixen una forma eficient de mesurar la temperatura, humitat, CO2 i ocupació d'una habitació.

Els SmartX Sensor estan disponibles amb diferents combinacions de tipus de sensors i amb diverses frontals i opcions d'interfícies d'usuari, com a pantalla tàctil o botons de control manual.

El Sensor Bus proporciona potència i comunicacions fins a quatre sensors que estiguin connectats en sèrie utilitzant cables estàndard Cat 5 (o superior). El nombre màxim de sensors que es poden connectar a un controlador varia depenent del model de sensor i la combinació de frontal i del tipus de base de sensor:

- Frontal cec: Fins a quatre sensors amb qualsevol combinació de tipus de bases de sensors.
- 3 botons i frontal tàctil:
- Fins a dos bases de sensors amb opció de CO2
- Fins a quatre bases de sensors amb opció de CO2
- Sensors SmartX LCD de temperatura: suporta fins a quatre sensors
- La longitud màxima de Sensor Bus és de 61 m.



Il·lustració 72. Living Space Sensors

13. Referències

- All Power Labs.* (20 / 09 / 2021). Recollit de Gasificador: <https://www.allpowerlabs.com/products/product-overview>
- Autosolar.* (22 / 09 / 2021). Recollit de Estructura: <https://autosolar.es/estructuras-cubierta-teja/estructura-cubierta-tejas-2-paneles-solares-con-varilla-01v>
- Bamisile, O.* (22 / 05 / 2021). *Smart Micro-Grid: An Immediate Solution to Nigeria's Power Sector Crisis.* Recollit de https://www.researchgate.net/publication/336786596_Smart_Micro-Grid_An_Immediate_Solution_to_Nigeria%27s_Power_Sector_Crisis
- Banco mundial.* (01 / 08 / 2021). Recollit de Improving access to power through off-grid solar energy and mini grids: <https://www.bancomundial.org/es/results/2018/03/16/improving-access-to-power-through-off-grid-solar-energy-and-mini-grids>
- Banco Mundial.* (20 / 03 / 2021). Recollit de Energy access: <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#1>
- Britannica.* (02 / 04 / 2021). Recollit de Britannica - Nigeria: <https://www.britannica.com/place/Nigeria/Resources-and-power>
- Castell, A. P.* (20 / 09 / 2021). *Universitat Politècnica de València.* Recollit de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/125626/21013220Y_TFM_15634860271103932503221819616025.pdf?sequence=1
- EcoStruxure Building Operation.* (01 / 06 / 2021). Recollit de [https://www.se.com/ww/en/product-range/62111-ecostruxure™-building-operation/?parent-subcategory-id=1210&subNodeld=12661191306en_WW#overview](https://www.se.com/ww/en/product-range/62111-ecostruxure-™-building-operation/?parent-subcategory-id=1210&subNodeld=12661191306en_WW#overview)
- ETAP Solutions.* (15 / 05 / 2021). Recollit de Digital Twin: <https://etap.com/solutions/eots>
- European Comission.* (19 / 08 / 2021). Recollit de PVGIS: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- ICEX.* (24 / 03 / 2021). Recollit de Energy of Nigeria: <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/noticias/NEW2014355538.html?idPais=NG>
- Konstruedu.* (10 / 07 / 2021). Recollit de Digital twins en el sector de arquitectura, ingeniería y construcción: <https://konstruedu.com/es/blog/digital-twins-en-el-sector-arquitectura-ingenieria-y-construccion-aec>
- Médicos Sin Fronteras.* (20 / 07 / 2021). Recollit de República Democrática del Congo: <https://www.msf.es/actualidad/república-democrática-del-congo/nuestro-hospital-corazon-la-jungla-funciona-energía-solar>
- Monsolar Bateria Estacionaria.* (10 / 09 / 2021). Recollit de <https://www.monsolar.com/bateria-estacionaria-hoppecke-power-vl-2-1610.html>
- Monsolar Inversor.* (11 / 09 / 2021). Recollit de <https://www.monsolar.com/huawei-sun2000-20ktl-m2.html>
- Monsolar Placas Solares.* (11 / 09 / 2021). Recollit de <https://www.monsolar.com/placa-solar-jinko-tiger.html>
- National Primary Health Care Development Agency.* (01 / 04 / 2021). Recollit de NPHCDA: <https://nphcda.gov.ng>



- National Renewable Energy Action Plan 2015-2030.* (26 / 05 / 2021). Recollit de https://www.se4all-africa.org/fileadmin/uploads/se4all/Documents/Country_PANER/Nigeria_National_Renewable_Energy_Action_Plans_.pdf
- Plan Internacional España.* (09 / 08 / 2021). Recollit de Plan internacional promueve la energía solar para el desarrollo sostenible en Africa: <https://plan-international.es/news/2017-05-29-plan-international-promueve-la-energia-solar-para-el-desarrollo-sostenible-en-africa>
- RTVE.* (10 / 04 / 2021). Recollit de RTVE A la Carta - Energía para todo el continente africano: <https://www.rtve.es/alacarta/audios/africa-hoy/africa-hoy-energia-para-todo-continente-africano-29-07-19/5375190/>
- Universidad Pontificia de Comillas.* (16 / 04 / 2021). Recollit de ¿Cómo llevar electricidad a países en desarrollo?: <https://www.comillas.edu/es/becas-master-universitario-finanzas/643-noticias-comunicado/ica/19126-como-llevar-la-electricidad-a-paises-en-desarrollo>
- Universidad Pontificia de Comillas.* (27 / 05 / 2021). Recollit de Reference Network Model: <https://www.iit.comillas.edu/technology-offer/rnm>
- Urquiola, G. C.* (20 / 05 / 2021). *Recursos energéticos sostenibles en África.* Recollit de http://oa.upm.es/53594/1/TFG_GUILLERMO_CANALES_URQUIOLA.pdf
- World Health Organisation.* (11 / 08 / 2021). Recollit de Fiebre Lassa: <https://www.who.int/es/emergencias/disease-outbreak-news/item/2020-DON245>