



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria de l'Energia

**DISSENY D'UN SISTEMA PER A LA MONITORITZACIÓ D'UNA
MICRO-XARXA ELÈCTRICA HÍBRIDA**



Memòria i Annexos

Autor: Michael Joseph Keenan Òdena
Director: Francisco José Casellas Beneyto
Convocatòria: Setembre 2019



Resum

La societat està vivint una transició del model energètic actual degut als greus problemes mediambientals, l'augment de la demanda energètica i l'elevat cost de la seva producció. Aquesta transició tendeix cap a un sistema descentralitzat i totalment renovable per així millorar la eficiència i la fiabilitat del subministrament elèctric, tal com les micro-xarxes. Les micro-xarxes són sistemes que tenen com a font principal d'energia un o més recursos renovables, normalment acompanyades per una font convencional de suport, com la xarxa elèctrica o un generador dièsel, donant lloc a l'anomenada micro-xarxa híbrida.

En aquest projecte es monitoritza una micro-xarxa híbrida a partir del programa informàtic LabVIEW, focalitzant el centre de control en l'inversor Axpert del sistema. Aquesta micro-xarxa està composta per un mòdul fotovoltaic, un banc de bateries, l'inversor i les càrregues electròniques programables des d'on s'exporten els consums de la instal·lació. L'objectiu principal és comunicar l'inversor amb el programa de tal forma que l'usuari pugui enviar ordres i rebre els resultats a temps real sobre l'estat dels components. La realització d'aquest projecte s'ha dut a terme amb l'equipament del laboratori E3PACS de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE).

Resumen

La sociedad está viviendo una transición del modelo energético actual debido a los graves problemas medioambientales, el aumento de la demanda energética i el elevado costo de su producción. Esta transición tiende hacia un sistema descentralizado y totalmente renovable para mejorar la eficiencia y la fiabilidad del suministro eléctrico, tal como las microrredes. Las microrredes son sistemas que tienen como fuente principal de energía uno o más recursos renovables, normalmente acompañadas de una fuente convencional de soporte, como la red eléctrica o un generador diésel, dando lugar a la nombrada microrred híbrida.

En este proyecto se monitoriza una microrred híbrida a partir del programa informático LabVIEW, focalizando el centro de control en el inversor Axpert del sistema. Esta microrred está compuesta por un módulo fotovoltaico, un banco de baterías, el inversor i las cargas electrónicas programables. El principal objetivo es comunicar el inversor con el programa de tal forma que el usuario pueda enviar órdenes y recibir los resultados a tiempo real sobre el estado de los componentes. La realización de este proyecto se ha llevado a cabo con el equipamiento del laboratorio E3PACS de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este.

Abstract

Society is undergoing a transition from the current energy model due to serious environmental problems, the increase in energy demand and the high cost of its production. This transition aims at a decentralised and fully renewable system to improve the efficiency and reliability of electricity supply, such as micro grids. Micro-grids are systems that have one or more renewable resources as their main source of energy, usually accompanied by a conventional supporting source, such as the electricity grid or a diesel generator, giving rise to the so-called hybrid microgrid.

In this project, a hybrid microgrid is monitored from the Labview software, focusing the control on the Axpert inverter of the system. This microgrid consists of a photovoltaic module, a battery bank, inverter and programmable electronic charges. The main objective is to communicate the investor with the program in such a way that the user can send orders and receive real-time results on the condition of the components. The realization of this project has been carried out with the equipment of the laboratory E3PACS at the School of Engineering of Barcelona East.

Agraïments

Al professor i director del projecte Francisco Casellas, per la seva constant ajuda durant el desenvolupament de treball i per ajudar-me a solucionar els diversos problemes que han aparegut i que s'han resolt perfectament.

Al tècnic i cap del laboratori E3PACS Joan Puig per permetre'm gaudir de les instal·lacions durant la part pràctica i pels coneixements que m'ha ensenyat sobre l'equipament.

Al meu company d'estudi i grau Albert Andreu per compartir l'inici del projecte i ajudar-nos mútuament a tirar endavant el treball.

Als meus pares per donar-me el suport necessari per realitzar i finalitzar el grau universitari.

És un TFG que treballa una temàtica pròpia de dos projectes competitiu. Per una banda, el PECT LITORAL BESÒS TERRITORI SOSTENIBLE, Operació 4 TALENT ENERGÈTIC, Actuació 4.1 MICROXARXA INTEL·LIGENT, amb codi SIFECAT GO03-003364, projecte cofinançat per la Unió Europea. Per altra banda, el projecte nacional GESTIÓN DE ENERGÍA EN MICRO-REDES URBANAS COLABORATIVAS, finançat pel Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, amb referència PGC2018-098946-B-I00.

Glossari

EMS – *Energy Management System* o Sistema de Gestió Energètic

HES – *Hybrid Energy System* o Sistema Energètic Híbrid

ISO – *International Organization for Standardization* o Organització Internacional per a l'Estandarització

FV - Fotovoltaic

Backup – Suport, reserva

Genset – Grup Electrogen

Array - Matriu

AC – *Alternating Current* o Corrent Altern

DC – *Direct Current* o Corrent Continu

ASCII – *American Standard Code for Information Interchange* o Codi Estàndard Americà per l'Intercanvi d'Informació

CRC – *Cyclic Redundancy Check* o Control de Redundància Cíclica

CR – *Carriage Return* o Retorn de Carro



Índex

RESUM	
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
AGRAÏMENTS	IV
GLOSSARI	VI
1. INTRODUCCIÓ	11
1.1. Origen i motivació del treball	11
1.2. Objectius i abast del treball	12
2. ESTAT DE L'ART	15
2.1. Micro-xarxes	15
2.1.1. Definició	15
2.1.2. Generació distribuïda.....	18
2.1.3. Elements d'una micro-xarxa	19
2.1.4. Beneficis	24
2.2. Sistemes híbrids	24
3. EL SISTEMA HÍBRID	27
3.1. Pre-Disseny del sistema	27
3.1.1. Localització	27
3.1.2. Software de disseny del sistema.....	28
3.2. Estructura del sistema	31
3.2.1. Equip utilitzat	31
3.2.2. Software incorporat de l'inversor	41
4. MONITORITZACIÓ AMB LABVIEW	45
4.1. Exportació de consums.....	47
4.2. APS	49
4.3. Inversor Axpert	52
4.3.1. Protocol Modbus	53
4.3.2. Codi ASCII	55
4.3.3. Analitzador de paquets	56
4.3.4. Programació	59

5. ESTUDI DE CAMP	71
5.1. Estudi estàndard	71
5.2. SBU & Solar Only	73
6. IMPACTE AMBIENTAL	78
CONCLUSIONS	81
Conclusions generals	81
Conclusions personals	82
Treball Futur	83
PRESSUPOST	85
Desglossament de costos	85
Cost Total	86
BIBLIOGRAFIA	87
ANNEX A	91

1. Introducció

1.1. Origen i motivació del treball

La situació actual a nivell mundial ha canviat molt durant l'últim segle en tots els sectors, sent la globalització i el canvi climàtic els pilars fonamentals d'aquest nou entorn. La societat és conscient dels problemes energètics als que ens enfrontem, com l'augment de la demanda energètica derivada per l'augment proporcional de la població, les emissions contaminants de l'efecte hivernacle que empitjora anualment o l'elevat cost del sector elèctric.

L'objectiu principal és reduir l'impacte ambiental de tot el sector energètic i per això s'està treballant a contracorrent. L'any 2012 es va llançar la normativa Directiva 2012/27/UE des de la Unió Europea, coneguda també com "Objectiu 20/20/20", amb l'objectiu de reduir les emissions de gas en un 20%, generar un 20% del consum elèctric a partir de fonts renovables i reduir aquest consum energètic un 20%.

Amb la implantació d'aquestes normatives, el model energètic es veu obligat a renovar i actualitzar tot el seu sistema. Amb l'objectiu de millorar l'impacte ambiental a través de l'augment del pes d'energies renovables, la reducció del cost i millorant l'eficiència energètica, els sistemes de gestió d'energia com les micro-xarxes elèctriques són un dels mètodes més eficients.

El model energètic ha entrat en un període de transició i transformació fent que les centrals elèctriques evolucionin cap a un model de generació distribuït, descentralitzant així la producció i fomentant la participació de fonts d'energia renovable. Conceptes com l'autoconsum, distribució bidireccional o les xarxes elèctriques intel·ligents guanyen pes en el sector, a més dels nous conceptes innovadors com els vehicles elèctrics. El concepte de xarxa elèctrica intel·ligent o *Smart Grid*, es pot definir com una xarxa que integra el comportament de tots els usuaris connectats a ella, assegurant un sistema energètic sostenible i eficient, amb baixes pèrdues i alts nivells de qualitat i seguretat de subministrament. Per tant, una micro-xarxa es pot definir com una xarxa elèctrica a petita escala.

La motivació pel qual s'ha realitzat aquest treball és, principalment, per la obligatorietat a la que està sotmesa l'autor del present projecte per l'obtenció del títol de Grau en Enginyeria de l'Energia per la Universitat Politècnica de Catalunya. També s'ha decidit realitzar aquest tema per poder conèixer profundament els conceptes i funcionaments d'una micro-xarxa real i, possiblement, aplicar-los més endavant en futurs projectes per contribuir en la reducció de l'impacte ambiental i fomentar així l'ús d'energies renovables com a única font de generació.

1.2. Objectius i abast del treball

El principal objectiu d'aquest projecte és monitoritzar l'inversor híbrid d'una micro-xarxa elèctrica a partir d'un programa informàtic, de forma que, l'usuari que controla el sistema, pugui enviar ordres al controlador i visualitzar els paràmetres i resultats a temps real. L'inversor híbrid comercial objecte d'estudi està connectat a la xarxa principal de subministrament elèctric i s'utilitzen consums reals aplicats en l'àmbit domèstic.

Un dels propòsits de la micro-xarxa és la de prioritzar l'ús de les fonts d'origen renovable com a única font de generació d'energia. La majoria d'aquests recursos verds estan caracteritzats per la seva intermitència degut a fenòmens meteorològics o externs, que impedeixen cobrir la demanda en tot moment. Per això, tota micro-xarxa està equipada amb un sistema d'emmagatzematge d'energia, sent les bateries el sistema més comú i eficaç per aquest àmbit d'aplicació.

En la metodologia d'aquest projecte, es pot definir el concepte híbrid com un sistema que permet una configuració mixta, enllaçant connexions de bus AC i DC simultàniament. La micro-xarxa està composta per generadors, la xarxa elèctrica de subministrament i les càrregues consumidores, que operen en alterna (AC); i les fonts de generació renovables (com la fotovoltaica) i els sistemes d'emmagatzematge, que operen en continua (DC).

La dinàmica del concepte s'està redirigint per obtenir un sistema totalment renovable, tot i que actualment, la majoria de micro-xarxes tenen un sistema de generació de suport. Un dels sistemes de suport més coneguts són els grup electrògens, alimentats per combustibles fòssils com el dièsel o la gasolina.

En aquest projecte es dissenya i es verifica el comportament d'un model de micro-xarxa elèctrica composta per l'inversor híbrid objecte d'estudi, un banc de bateries, el mòdul fotovoltaic, el grup electrogen i les càrregues electròniques programables; centrant el punt de control i comandament en l'inversor híbrid. L'objectiu serà que l'inversor, a través del programa informàtic, controli la resta de components interconnectats. Es realitzarà un estudi teòric del sistema, s'exposarà el desenvolupament experimental, i es mostraran les conclusions conjuntament amb un anàlisi econòmic i ambiental. Aquest projecte es realitzarà en el laboratori E3PACS de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE).



2. Estat de l'art

2.1. Micro-xarxes

2.1.1. Definició

El concepte de micro-xarxa elèctrica s'entén com un sistema de generació elèctrica bidireccional que permet la distribució de la electricitat des dels proveïdors fins als consumidors e inversament, utilitzant elements de control i seguiment, i afavorint la integració de fonts de generació d'origen renovable, amb l'objectiu d'estalviar energia, reduir costos e incrementar la fiabilitat.

Taula 2.1. Classificació d'un sistema elèctric a partir de la seva potència nominal

Potència del sistema	Denominació	Generació
0,5 fins a 10 kW	Sistemes autònoms individuals	Fotovoltaica
10 fins a 100 kW	Micro-xarxes	Fotovoltaica Aerogeneradors
Més de 100 kW	Mini-xarxes	Les anteriors més altres fonts energètiques

Per poder denominar micro-xarxa a un sistema energètic, ha de tenir un rang de potència d'entre els 10 kW fins als 100 kW.

Una altra definició per una micro-xarxa és la que exposa el *Centro Nacional de Energías Renovables* (CENER), que diu:

“ La micro-xarxa es defineix com una agregació de càrregues i microgeneradors que operen com un sistema únic que proveeix tant energia elèctrica com energia tèrmica. Comprenen sistemes de distribució de baixa tensió, juntament amb fonts de generació distribuïda i dispositius d'emmagatzematge. “ (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions, CERTS)

Les característiques complexes d'una micro-xarxa fa que sigui imprescindible la incorporació d'elements de control per garantir el correcte funcionament del sistema, així com augmentar la seva fiabilitat, millorar el rendiment i qualitat del servei, i maximitzar l'aprofitament de la generació renovable. Amb la implementació d'aquests agents intel·ligents, apareix el nou concepte de micro-xarxa intel·ligent o *Smart Grid*.

Una *Smart Grid* es basa en combinar les tecnologies d'informació (TIC) amb l'automatització i el control des de la generació de la energia, el transport i distribució, l'emmagatzematge elèctric, fins el consum energètic. Cal remarcar que, el recurs renovable més emprat per a la generació d'energia és la font solar a partir de camps fotovoltaics. Aquesta font és molt neta i sostenible i, amb la incorporació de sistemes d'emmagatzematge, es tracta d'un recurs molt fiable i constant. [SmartGrid Info]

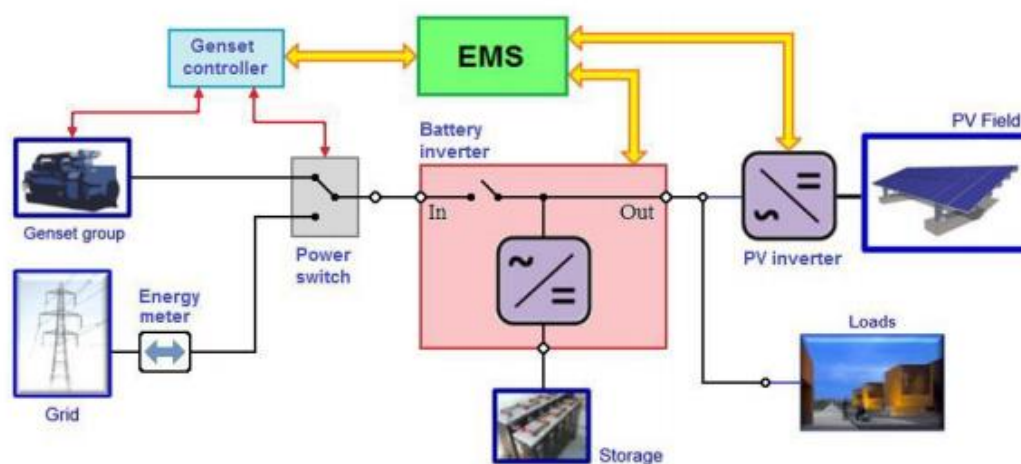


Figura 2.1. Disseny general bàsic d'una micro-xarxa. (Francisco Casellas 2019)

La Figura 2.1 mostra l'estructura general d'una micro-xarxa. En la imatge s'observen els diferents punts de generació d'energia; tant les fonts renovables com la solar a través de plaques fotovoltaïques, com la energia exportada directament de la xarxa elèctrica. També apareix l'inversor per transformar el corrent a alterna (AC), les càrregues que actuen com a punts consumidors, els sistemes d'emmagatzematge representats a través de bancs de bateries i el grup de generació de suport en forma de Genset. Per controlar la micro-xarxa des d'una posició centralitzada i que interconnecti tots el seus elements, s'utilitza un sistema de gestió d'energia EMS.

El conjunt d'elements intel·ligents encarregats de gestionar la micro-xarxa són els anomenats sistemes de gestió d'energia o *Energy Management Systems* (EMS). Aquests estan interconnectats entre sí, enviant i rebent informació a temps real de tots els elements que formen el sistema i tenen com a objectiu principal el de mantenir la estabilitat i la seguretat de la micro-xarxa, així com millorar la eficiència energètica.

Segons la norma ISO 50001:2018 “Un EMS com un conjunt d’elements interrelacionats o interactuats d’una organització per l’establiment de la política energètica juntament amb els seus objectius per tal d’assolir aquests objectius.” [ISO 50001:2018]

La norma ISO 50001:2018 de sistemes de gestió de la energia es va publicar l’agost de 2018 i estableix els requisits d’un procés basat en dades i centralitzat en la continua millora del rendiment energètic. A continuació, s’exposen alguns dels avantatges i beneficis de tenir implantat un sistema de gestió energètica tant per empreses com per a particulars:

1. Estalvi energètic i econòmic

Les millores de comportament energètic provoquen un estalvi econòmic a partir de procediments com; la detecció de consums innecessaris, protocols de control i prevenció en les màquines o l’adquisició d’equips més eficients.

2. Millora de la imatge corporativa

La certificació d’aquesta normativa demostra el compromís amb la responsabilitat mediambiental i el compliment de la legislació local a nivell energètic.

3. Integració d’un altre EMS

Si l’empresa disposa prèviament d’un sistema de gestió, és molt senzill integrar-hi un altre per poder continuar treballant amb l’objectiu de continuar millorant.

Per a que un EMS pugui gestionar eficientment la energia de la micro-xarxa, aquest ha de ser capaç de realitzar diverses tasques jeràrquiques, apareixent així tres nivells d’operació diferents: l’operacional, el tàctic i l’estratègic. (Robert Piqué 2018)

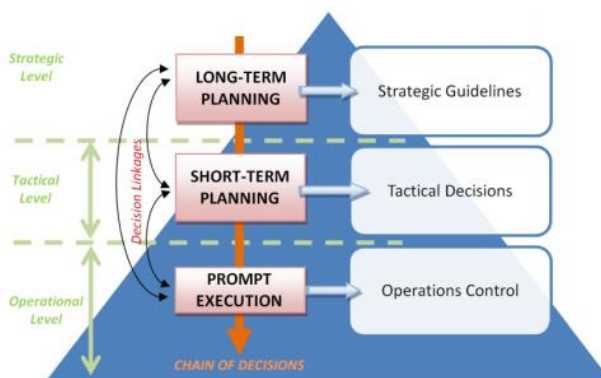


Figura 2.2. Estructura de les tasques jeràrquiques d’un EMS. (Robert Piqué 2018)

2.1.2. Generació distribuïda

El funcionament i la definició d'una micro-xarxa elèctrica no es pot explicar sense tenir en compte el concepte de generació distribuïda.

La generació distribuïda consisteix en la generació d'energia elèctrica mitjançant moltes i més petites fonts de generació, instal·lades prop del consumidor que es connecta a la xarxa de distribució d'energia elèctrica. Que la generació sigui distribuïda redueix les pèrdues en la xarxa i descarrega la xarxa de transport, i com hi ha petites fonts de generació (micro-generació) repartides pel territori, l'error d'una de les fonts no suposa un greu problema pel sistema elèctric, pel que millora la fiabilitat, qualitat i seguretat del sistema. La generació distribuïda té com a pilar bàsic les energies renovables i els sistemes avançats d'automatització i control, i s'estableix com a part fonamental en les micro-xarxes elèctriques, que integren la xarxa elèctrica de manera intel·ligent amb les accions dels usuaris que estan connectats a ella (generadors, consumidor i aquells que són ambdues coses a la vegada) amb la finalitat d'aconseguir un subministrament elèctric eficient, segur i sostenible. [B. Hamilton i M. Summy, "Benefits of the smart grid"].

Els sistemes utilitzats com a fonts d'energia distribuïda són planes de generació a petita escala utilitzades per proporcionar una alternativa o una ajuda a les centrals tradicionals. Les fonts més utilitzades són la energia solar fotovoltaica, mini-eòlica, bateries de combustibles, cogeneració i centrals de cycle combinat.

- Avantatges
 - Ajuda a la conservació del medi ambient a l'utilitzar fonts d'energia renovables
 - Descongestionen els sistemes de transport d'energia
 - Ajuda al subministrament d'energia en períodes de gran demanda
 - Millora la fiabilitat del sistema i la qualitat del servei elèctric
 - Evita costos d'inversió en transmissió i distribució
- Desavantatges
 - Existeixen aspectes relacionats amb les fluctuacions de voltatge que afecta als consumidors veïns
 - Requereix un sistema d'adquisició de dades més complex
 - Alt cost d'inversió inicial
 - La falta d'estàndards per la connexió de petits generadors impedeix el seu desenvolupament.

2.1.3. Elements d'una micro-xarxa

En aquest apartat, es detallen els elements principals dels quals està composta una micro-xarxa elèctrica. Tot i que cada una disposarà d'elements que la faran única, es pot generalitzar i proposar una composició i estructura bàsica d'una micro-xarxa a partir dels següents elements:

- Generació

La estructura de la micro-xarxa variarà en funció del tipus de font de generació que estigui implantada. Si la instal·lació és autònoma (aïllada) no hi haurà cap connexió amb la xarxa elèctrica i les fonts seran d'origen renovable; també hi ha l'opció de combinar ambdues casuístiques, e implementar una instal·lació amb renovables i el suport de la xarxa elèctrica.

Actualment, la font renovable més utilitzada en sistemes energètic és la solar. Si la localització i les condicions meteorològiques són adients, juntament amb un sistema d'emmagatzematge, es tracta d'un recurs molt fiable i constant.

La radiació solar es desplega per tot el planeta de forma desigual, tant en funció de la ubicació com de l'època de l'any. No obstant, la radiació en localitzacions on n'és constant, és habitual que el recurs solar sigui el més utilitzat. La tecnologia fotovoltaica actual disposa de dades fiables de radiació que permet calcular amb precisió les produccions d'energia.

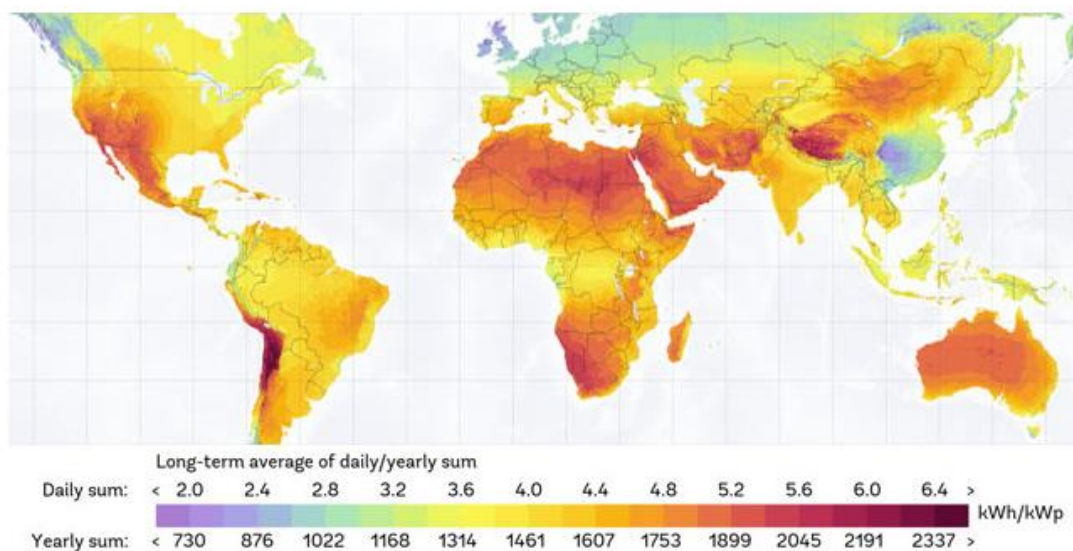


Figura 2.3. Cartografia de la radiació solar mundial. (<<Gis&Beers>> 2017)

Cal remarcar que, sobretot el l' àmbit domèstic, aquest recurs s' adapta molt bé a les necessitats de l'usuari i la correlació producció/demanda són molt similars per qualsevol estació de l'any.

A més de la fotovoltaica, cal destacar l'existència d'una gran varietat de fonts de generació:

- Mini generadors eòlics
 - Piles de combustible
 - Turbines de combustió
 - Motor de combustió interna
-
- Càrregues

Una de les funcionalitats de la micro-xarxa és la de proporcionar energia elèctrica suficient als diferents punts consumidors del sistema. Depenent del corrent, AC (alterna) o DC (continua), la electricitat es dirigirà cap a un grup específic d'elements; electrodomèstics i lluminària, respectivament. El consum d'aquests elements es poden diferenciar segons la seva tipologia i/o prioritat:

- **Càrregues desplaçables:** Es tracta de càrregues que funcionen ocasionalment ja que tenen un tipus de demanda flexible. Són càrregues que no s'ha de posar en marxa en el moment que l'usuari ho indica, sinó que es pot realitzar dins d'un interval determinat de temps.
Normalment, es tracta d'elements d'alt consum. Un exemple és la rentadora o rentaplats.

- **Càrregues no desplaçables:** Es tracta de càrregues que estan connectades contínuament degut a la seva importància, també anomenades càrregues crítiques. Un exemple és la nevera, electrodomèstic que sempre ha d'estar connectat.

- Sistemes d'emmagatzematge d'energia

Depenent de la tipologia, els sistemes d'emmagatzematge d'energia elèctrica es poden classificar segons la seva tecnologia: mecànica, electroquímica, química, elèctrica o tèrmica. En la Figura 2.4 es detallen aquestes tecnologies representades en sistemes d'emmagatzematge més específics.

ES technology	Power capacity	Energy capacity	Response time	Efficiency (%)	Lifetime	State of development
Pumped Hydro	30MW – 4000MW	500 – 8000MWh	Sec. to min.	70 – 85	Even 50 years	Commercial
Compressed Air	50MW – 300MW	500 – 2600MWh	Sec. to min.	64 – 75	Even 40 years	Commercial/prototypes for vessels
Flywheel	Up to 2MW	Up to 15 min	Milliseconds	90	20 years	Commercial/prototypes Depends on spin speed
Superconducting Magnetic	0.01 – 10MW	Up to 30 min	Immediately	95	30 years	Commercial/research Depends on range
Ultracapacitors	Up to 1MW	Up to 1 min	Immediately	85 – 98	10 years	Commercial
Lead Acid Battery	0.001 – 40MW	Up to 40MWh	Milliseconds	75 – 85	1000 cycles	Commercial
Nickel Cadmium Battery	0.001 – 40MW	Up to 10MWh	Milliseconds	60 – 70	1000 – 3500 cycles	Commercial
Sodium Sulfur Battery	0.05 – 50MW	Several 100MWh	Few seconds	75 – 89	2500 cycles Up to 15 years	Commercial
Lithium Ion Battery	0.001 – 0.5MW	Several MWh	Milliseconds	90 – 95	20000 cycles	Commercial/under development
Vanadium Redox Flow Battery	0.05 – 3MWs	Several MWh	Milliseconds	70 – 85	10000 cycles, 7 – 10 years	Improved prototypes in test/ Commercial
ZnBr Flow Battery	Up to 1MW	Less than 4h	Milliseconds	75	2000 cycles	Improved prototypes in test/ Commercial
PSB Flow Battery	Up to 15MW	Less than 20h	Milliseconds	60 – 75	2000 cycles	Improved prototypes in test/ Commercial
Air-metal Batteries	Limited to the moment	Limited only by anode's life	Milliseconds	60-70	50 cycles	Under primary research and development
Fuel Cells	Up to 250kW	Rechargeable with H ₂	Milliseconds	35 – 45	10 to 20 years	Improved prototypes in test/ Commercial
Thermoelectric systems	1MW – 100MW	2 – 800MWh	Sec. to min.	30-70	20 years	Commercial

Figura 2.4. Sistemes d'emmagatzematge energètic segons la seva tipologia (Universitat Jaume I, 2016)

Aquesta exposa cada un dels sistemes d'emmagatzematge actuals amb detallada informació, com la capacitat energètica i potencial, l'eficiència o el cicle de vida, entre d'altres. Depenent del sistema que es vulgui desenvolupar, les fonts de generació disponibles i la situació econòmica-ambiental de la que es disposi; aquests paràmetres són essencials per a la tria del sistema d'emmagatzematge.

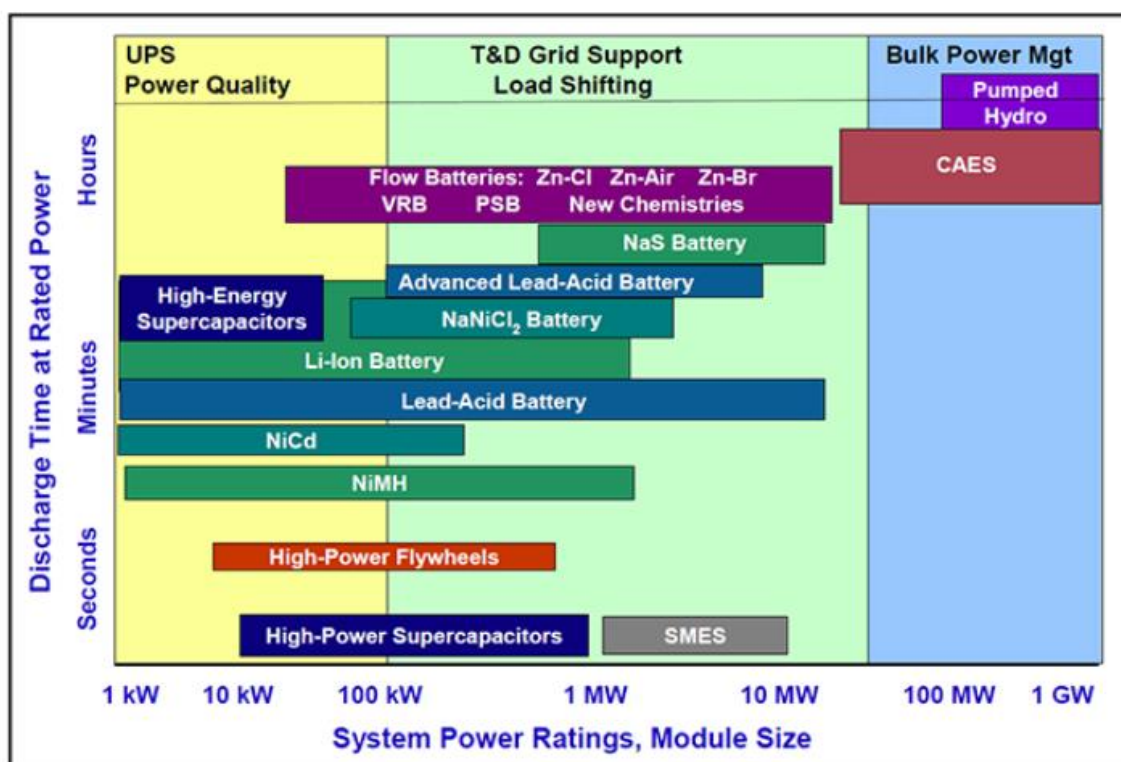


Figura 2.5. Comparació de sistemes d'emmagatzematge. (Sandia National Laboratories)

En la Figura 2.5 s'observa el "System Ratings" del sistemes exposats anteriorment, on mostra una relació entre la potència nominal (horitzontal) i el temps de descàrrega (vertical). Això també ajudarà a l'usuari a escollir quin és el millor sistema i model que més s'adapta al seu sistema en conjunt.

- Grup electrogen

Un grup electrogen és una màquina composta per un motor de combustió interna (normalment un motor dièsel) i un generador elèctric (normalment un alternador). L'objectiu és poder generar un corrent elèctric suficient per abastir la demanda d'una instal·lació o edifici.

Els grups electrògens es poden utilitzar per abastir d'electricitat localitzacions on no hi ha un subministrament regular, o quan hi ha un dèficit en la generació d'energia i els talls en el subministrament són freqüents.



Figura 2.6. Grup electrogen monofàsic amb motor de gasolina (Beltrame)

Les parts fonamentals d'un grup electrogen són: [Grupo Electrogeno]

- Motor: Proporciona la força mecànica que farà que el rotor del generador elèctric funcioni. Usualment són motor dièsel degut als seus avantatges mecànics i econòmics.
- Regulador de velocitat: La força mecànica del motor s'adequa amb l'alternador, i per assegurar que la velocitat sigui la correcta, és indispensable un sistema que reguli el motor. Es pot parlar de generadors síncrons, on la velocitat de rotació és la mateixa que la freqüència de la corrent de sortida, o generador asíncron, on la freqüència és diferent.
- Motor d'arrancada: Sistema que activa el motor, normalment sol operar amb bateries de 12 V o 24 V.
- Sistema de refrigeració: Compost per un radiador i un ventilador per reduir la temperatura del motor.
- Aïllador de vibració: Al ser una màquina de gran mida, solen generar molta vibració i soroll. Per això és indispensable tenir un sistema que redueixi aquest factors.
- Filtre d'aire: Garanteix que l'aire d'entrada no posseeix impureses que poden danyar l'equip.
- Panell de control: Administra el funcionament de la màquina.

2.1.4. Beneficis

La implantació d'una micro-xarxa elèctrica permet gaudir d'una sèrie de beneficis:

- Les micro-xarxes permeten una millor qualitat del subministrament, un major estalvi tant econòmic com energètic, i una menor dependència de la xarxa distribuïdora.
- Depenent del mode d'operació pot funcionar connectada a la xarxa pública o actuar com un sistema aïllat.
- El flux bidireccional de transport d'energia, permet que la xarxa pública es pugui beneficiar en casos de falla.
- Fomentar l'ús de fonts d'energia renovable amb la conseqüent reducció d'emissions del gasos d'efecte hivernacle.
- La ubicació de la micro-xarxa, normalment molt pròxima de les fonts de generació, permet que s'augmenti considerablement l'eficiència energètica de tot el conjunt.

Però les micro-xarxes també tenen alguns inconvenients:

- Al tractar-se d'una tecnologia que actualment encara està en fase de creixement, hi ha una falta de normativa específica que impedeix la seva generalització.
- Pel mateix motiu, no està implantada en els mercats, fent que aquests sistemes energètics siguin excessivament cars.

2.2. Sistemes híbrids

Els sistemes híbrids es poden definir com la associació de dos o més font d'energia amb l'objectiu de generar energia elèctrica. Aquests sistemes estan compostats per fonts de generació renovables i no renovables, sistemes d'emmagatzematge, càrregues consumidores, inversors i grups de generació de suport en algunes ocasions.

Actualment, les fonts d'energia renovables i els sistemes d'emmagatzematge, proporcionen un 80-90% de la necessitat energètica dels sistemes híbrids, deixant la opció del generador de suport únicament per funcions d'emergència.

Els sistemes híbrids neixen de la unió de dos o més sistemes de generació, un convencional i un que utilitzi fonts renovables, per garantir una base de continuïtat del servei elèctric. Tal i com s'aprecia en la Figura 2.7, es pot observar les fonts de generació renovable (fotovoltaica) i no renovable (xarxa elèctrica i generador de dièsel).

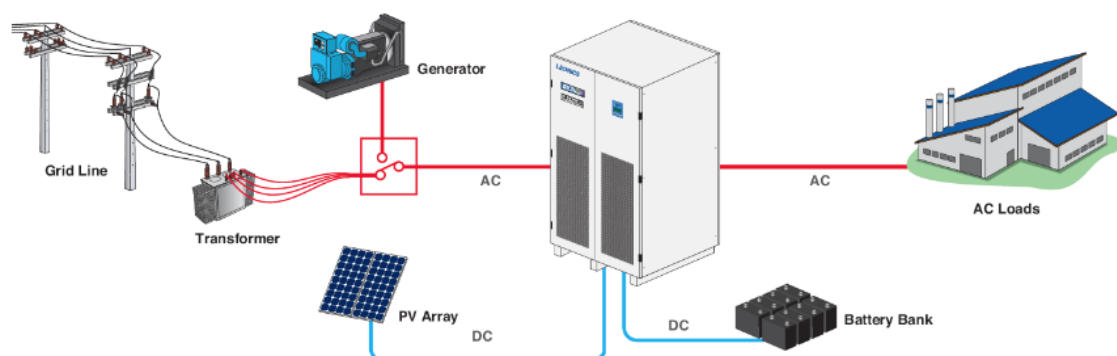


Figura 2.7. Disseny d'un sistema híbrid amb acoblament mixt AC + DC. (<<DocPlayer>> 2014)

Els últims anys s'han fet molt populars els anomenats *Hybrid Renewable Energy System* (HRE), Sistemes d'Energia Renovable Híbrids. Es tracta de sistemes autònoms de subministrament elèctric creades per obtenir energia a través de fonts únicament renovables. Aquests sistemes utilitzen dos o més fonts d'energia conjuntament; com la solar i la eòlica, o la eòlica i biomassa, per tal d'augmentar la eficiència del sistema i l'equilibri del subministrament d'energia. [Tecnologia-Facil]



3.1.2. Software de disseny del sistema

“El software de micro-xarxes HOMER Pro[®] de HOMER Energy és l'estàndard mundial per optimitzar el disseny de micro-xarxes en tots els sectors, des de central elèctriques fins a campus connectats a la xarxa i bases militars. Originalment desenvolupat en el National Renewable Energy Laboratory, i millorat i distribuït per HOMER Energy, HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) nidifica tres eines poderoses en un únic producte de software, de manera que l'enginyeria i la economia treballen conjuntament.”(«HOMER Pro - Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids»)

HOMER PRO és un programa informàtic enfocat en l'àmbit energètic que permet dimensionar i dissenyar qualsevol tipus d'instal·lació elèctrica a partir d'elements generadors com fotovoltàics, hidràulics o eòlics; agents de suport com grups electrògens o biomassa, i sistemes d'emmagatzematge com bateries, piles de combustible o electrolitzadors. Una vegada la instal·lació està dissenyada amb els seus components, el programa calcula tots els possible sistemes que poden existir combinant les fonts generadores amb els sistemes d'acumulació, i n'exposa els resultats. L'objectiu de l'usuari és optimitzar el seu disseny i seleccionar el sistema més econòmic i/o ecològic.

Aquest apartat del treball està enfocat ha donar una visió del que representa dissenyar una micro-xarxa híbrida i conèixer els seus costos i resultats tant de generació com de consum. Per això, totes les dades i paràmetres que s'han introduït en el programa són reals però merament representatives. Remarcar que aquestes dades sorgeixen del coneixement de l'autor del projecte, degut a la prèvia realització de treballs similars.

Per tant, els elements que formen la micro-xarxa són els següents: xarxa elèctrica, camp fotovoltaic, sistema d'emmagatzematge format per un banc de bateries, grup electrogen, inversor i càrregues consumidores.

Els paràmetres comuns que s'han introduït en el programa es mostren en la Taula 3.1 També s'han especificat dos conceptes més: el combustible del generador és dièsel i té un preu de 1,2€/l, i el sistema d'emmagatzematge està compostat per dues bateries.

Taula 3.1. Components de la micro-xarxa i els seus paràmetres introduïts.

	Nom	Capacitat	Inversió Inicial	Reemplaçament	Manteniment
Grup Electrogen	Generic Small Genset	2,2 kW	1100€	500€	0,1€/h
Fotovoltaica	Generic Flat Plate PV	3 kW	1200€	900€	200€/any
Bateries	Kinetic Battery Model	2,45 kWh*	300€	200€	10€/any
Inversor	System Converter	3 kW	1500€	300€	0€

*Capacitat nominal

Un dels elements més importants en aquesta micro-xarxa és el sistema d'emmagatzematge. Les característiques del model de bateria escollit s'especifiquen en la Taula 3.2:

Taula 3.2. Característiques tècniques de la bateria.

Voltatge Nominal	6 V
Màxima Capacitat	408 Ah
Capacitat de relació (rati)	0.373
Eficiència	90%
Màxima Corrent de Càrrega	67,4 A

Havent definit la localització, el programa permet la importació de consums per integrar-los al sistema energètic. En aquest cas, s'ha seleccionat un consum típic anual en l'àmbit residencial de l'any 2018. L'estructura d'aquestes càrregues s'observa en la Figura 3.2 següent.

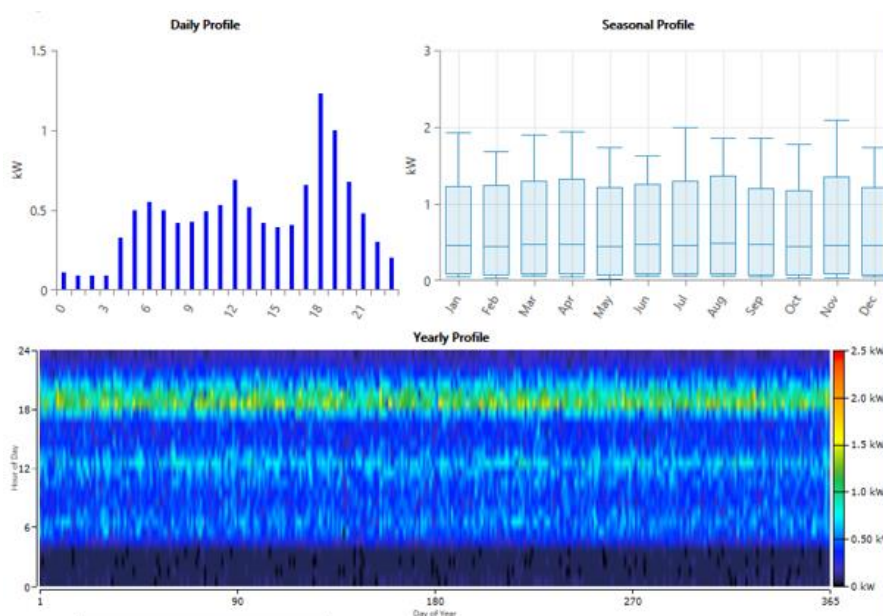


Figura 3.2. Representacions gràfiques de la corba de consums. Extret de la simulació amb HOMER.

Una vegada estan tots els paràmetres i condicions definits, s’inicia la simulació del sistema. El programa ha representat vuit escenaris diferents combinant els recursos escollits.

Architecture							Cost				System		Gen50	
PV (kW)	Gen50 (kW)	BAE PVV 420	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)
			999,999		CC	\$5,312	\$0.100	\$410.91	\$0.00	0	0			
1.00			999,999	0.542	CC	\$5,573	\$0.103	\$358.22	\$941.67	29.9	0			
1.00		1	999,999	0.417	LF	\$5,614	\$0.105	\$359.46	\$966.67	32.7	0			
		1	999,999	0.0833	LF	\$5,632	\$0.106	\$417.59	\$233.33	0.0429	0			
	50.0		999,999		CC	\$26,522	\$0.499	\$205.60	\$23,864	0	0	0	0	0
1.00	50.0		999,999	0.521	CC	\$26,781	\$0.494	\$154.44	\$24,784	29.4	0	0	0	0
1.00	50.0	1	999,999	0.417	LF	\$26,823	\$0.504	\$154.14	\$24,830	32.7	0	0	0	0
	50.0	1	999,999	0.0833	LF	\$26,841	\$0.505	\$212.28	\$24,097	0.0429	0	0	0	0

Figura 3.3. Resultats de la simulació realitzada amb HOMER.

Es pot observar en la Figura 3.3 com la opció més econòmica (columna NPC) és l’escenari on únicament s’utilitza la xarxa elèctrica com a font de generació i el sistema no compta amb el banc de bateries com a mètode d’emmagatzematge. L’escenari que té una inversió inicial més cara és l’escenari en que tots els elements interactuen, amb un cost de 24,830€.

La millor opció i la escollida és la tercera, on interactuen tots els elements menys el grup electrogen. Aquest escenari té un NPC molt assequible, amb un valor de 5614€ i el percentatge d’energies renovables més elevat, amb un 32,7% de generació verda, ja que s’estalvia la utilització del combustible dièsel i els seus efectes contaminants. Degut al reduït cost d’inversió dels components del sistema, aquesta simulació és relativament barata, ja que més del 60% del NPC total sorgeix del manteniment de la xarxa elèctrica.

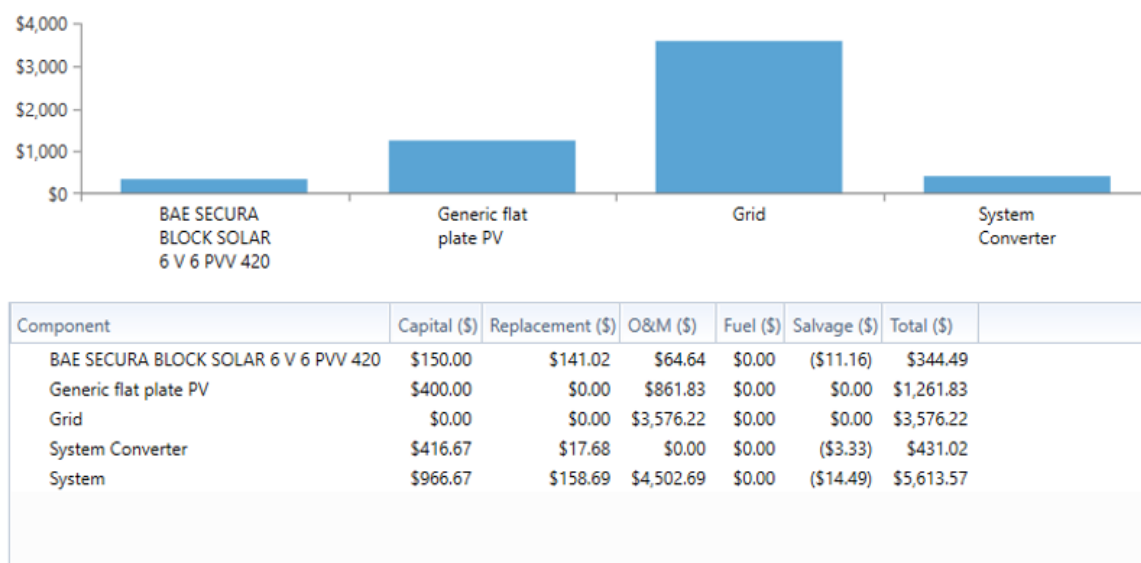


Figura 3.4. Cost total del sistema desglossat. Extret de la simulació realitzada en HOMER.

3.2. Estructura del sistema

Com s'ha esmentat en l'apartat anterior, el disseny de la micro-xarxa en el programa informàtic HOMER s'ha realitzat per tenir un punt de referència econòmic i energètic del que representaria crear un sistema real. A continuació, s'exposen i es detallen els equips i programes utilitzats per a la realització de la part experimental d'aquest projecte

3.2.1. Equip utilitzat

La realització del treball s'ha dut a terme en el laboratori d'Energia Elèctrica, Electrònica de Potència, Automatització i Control de Sistemes (E3PACS) de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE), una de les facultats de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Cal remarcar que, en el disseny pràctic per a monitoritzar el sistema, s'ha descartat la utilització del grup electrogen Genset. Degut a la falta de temps i amb l'objectiu de complir amb la finalitat principal del treball, la monitorització final del sistema s'ha basat en els elements que s'exposen a continuació.

- **Camp fotovoltaic**

Ubicats al terrat de la universitat, els mòduls instal·lats que formen el camp fotovoltaic són del model A320-M, de la marca ATERSA. Es tracta del model més utilitzat per a instal·lacions d'alt rendiment, independent del nivell d'irradiació, ja sigui un sistema aïllat o amb connexió directa a la xarxa a través d'un inversor.



Figura 3.5. Mòdul fotovoltaic ULTRA A320-M ATERSA. (ATERSA)

El panell ULTRA A320M de 320 W de potència està format per 72 cèl·lules de silici monocristal·lí, encapsulades entre un cristall i una capa de polièster modificat, unides per l'EVA (etil-vinilacetat), per tal d'augmentar el nivell de transmissió i aprofitar tota la llum. Aquesta placa, amb capacitat de generar fins a 8,99 A de corrent, ofereix una garantia de funcionament, durabilitat i eficiència excel·lents durant tota la seva vida útil. [ATERSA]

El Datasheet complet d'aquest producte està en els Annexos del projecte. Les seves característiques elèctriques més rellevants es presenten en la Taula 3.3:

Taula 3.3. Característiques elèctriques del mòdul fotovoltaic.

Característica elèctrica	Valor
Potència Nominal	302 W
Eficiència del mòdul	16,45%
Corrent Punt de Màx. Potència (I_{mp})	8,52 A
Tensió Punt de Màx. Potència (V_{mp})	37,56 A
Corrent de Curtcircuit (I_{sc})	8,99 A
Tensió de Circuit Obert (V_{oc})	46,08 V
Vida útil	25 anys

La disposició dels mòduls fotovoltaics a la terrassa de la universitat s'observa a la Figura 3.6.

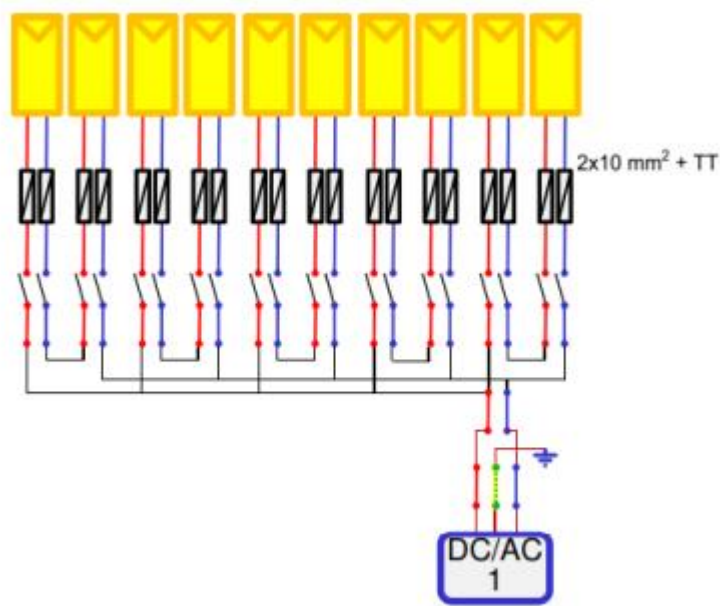


Figura 3.6. Esquema dels borns dels mòduls fotovoltaics. (Francisco Casellas)

I, en la següent imatge, es mostra la disposició dels interruptors de la marca Schneider Electric que controlen els parells de mòduls.



Figura 3.7. Interruptors que connecten amb els parells de panells ubicats a la terrassa de la EEBE. Fotografia de l'autor

- **Bateries**

El banc de bateries està connectat a l'inversor Axpert, el qual es comentarà a continuació. Es tracta d'unes bateries Sonnenschein SOLAR BLOCK SB6/330A, de la firma GNB Industrial Power. Aquest model de gel d'àcid-plom amb tecnologia "dryfit" està especialment dissenyada per aplicacions solar de mitjana i petita potència; ideal per sistemes solar industrials, petites centrals de generació eòlica, estacions de mesura i control, entre d'altres subministraments d'energia d'equips de seguretat. [Off-grid Europe]

Algunes de les seves característiques més rellevants són les següents:

Taula 3.4. Característiques tècniques de la bateria.

Concepte	Valor
Tensió	6 V
Corrent de descàrrega	3,30 A
Pes aprox.	47 kg
Capacitat nominal C ₁₀₀ (a 20°C)	330 Ah
Capacitat nominal C ₂₀	280 Ah
Profunditat de descàrrega C ₁₀ al 60%	1200 cicles

Els avantatges d'aquest model de bateria són:

- Excel·lent rendiment de cicles: 1200 cicles al 60% de profunditat de descàrrega C₁₀ (a 20°C).
- Tecnologia *Dryfit Gel*: Incorporació de vàlvules VRLA (*Valve-Regulated Lead-Acid Battery*) a prova de fuites.
- Nivell de consum energètic menor: estalvi econòmic.
- Disseny robust: Resistent en condicions extremes.
- Capacitat de suportar descàrregues profundes: Augmenta el subministrament d'energia a llarg termini.
- Material completament reciclable: Menor emissions de CO₂ (menor petjada ecològica).



Figura 3.8. Bateria Sonnenschein SOLAR BLOCK SB6/330A. (Sonnenschein)

- **Càrregues electròniques**

Pel que fa a les càrregues, el model del qual disposa el laboratori E3PACS és el 3B108-108 de la gamma *APS 3B Series AC loads*, de la firma Adaptive Power Systems. Aquesta gamma està dissenyada per testejar, avaluar i emmagatzemar fonts de generació AC o DC i bateries; i és ideal per provar fonts d'alimentació AC, convertidors de freqüència, inversors AC/DC i transformadors. A més, la capacitat de poder acceptar formes d'ona sinusoidals i no sinusoidals, permet que la sèrie APS 3B pugui suportar una gran varietat de requeriments de prova en AC.

L'APS es pot operar de forma manual, accedint al panell frontal de l'equip, o utilitzant una connexió de control remot RS232 o GPIB. A continuació, s'adjunta una imatge on es visualitza l'aspecte de les càrregues.



Figura 3.9. Càrregues electròniques programables APS 3B Series AC. Model 3B108-108 (Aleix Garcia, 2018)

Qualsevol model de la firma presenta els mateixos tres modes d'operació: (Adaptive Power Systems 2014)

- Corrent Constant (CC)
 - Corrent Constant Lineal (LIN)
 - Resistència Constant (CR)
- **Constant Current (CC) mode:** Quan es tracta de testejar una font de tensió com una font d'alimentació en AC, subministrament en DC o bateries; és el mode d'operació més utilitzat. En aquest mode, la càrrega assolirà un nivell contant de corrent predeterminat per l'usuari, independentment de qualsevol variació del voltatge. Un bucle realimentat a temps real assegura una corrent estable continua.

Es recomana aquest mode per a la realització de proves de regulació de càrrega, estabilitat de bucles, proves de descàrrega de les bateries i qualsevol prova de regulació de tensió.

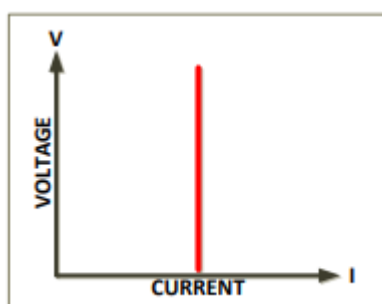


Figura 3.10. Mode d'operació Corrent Constant. (Adaptive Power Systems 2014)

- **Linear Constant Current (LIN) mode:** Treballat en aquest mode, la corrent d'entrada en la càrrega de la Serie 3B depèn de la configuració de la corrent, independentment de la tensió d'entrada. El corrent de càrrega seguirà la forma d'ona de tensió d'entrada a temps real.

El mode LIN s'implementa a través d'un circuit de control d'augment automàtic d'ample de banda (AGC: *Automatic Gain Control*). Aquest circuit produirà una senyal de sortida amb una amplitud constant, sempre que l'amplitud de la senyal d'entrada superi una tensió de referència ajustable.

El temps de resposta del circuit AGC és gairebé instantani, amb l'objectiu d'ajustar-se a un augment sobtat del voltatge d'entrada. Aquesta resposta especialment ràpida fa que el mode

LIN sigui adequat per tensions d'entrada en AC no-sinusoidal, formes d'ona quadrades i qualsevol tensió d'entrada en AC amb una forma d'ona altament distorsionada.

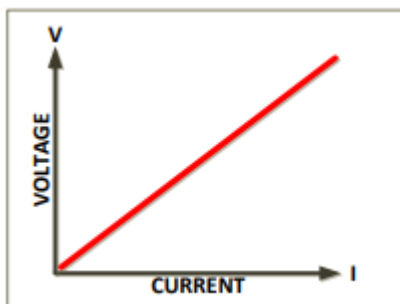


Figura 3.11. Mode d'operació Corrent Constant Lineal. (Adaptive Power Systems 2014)

- **Constant Resistance (CR) mode:** En aquest mode, la càrrega disminuirà el corrent directament proporcional a la tensió d'entrada detectada. Degut a la Llei d'Ohm, la relació entre tensió i corrent és lineal i pot ser fixada per l'usuari.

El mode CR és útil per a proves de descàrrega de bateries en sistemes dissenyats per alimentar càrregues d'impedància constant, ja que el voltatge disminuirà a mesura que la bateria es descarregui i, amb el temps resultant, s'observarà una petita disminució del corrent.

A continuació, s'exposen algunes característiques dels model de la Sèrie 3B:

- Càrregues electròniques programables amb configuració flexible i capacitat de rang dual.
- Control completament remot i mesurament tipus *read back*.
- Mesuradors duals de tensió i corrent d'altra precisió i resolució.
- Detecció interna o externa de tensió.
- Protecció total per sobretensió, sobretemperatura, sobrevoltatge i polaritat invertida.
- Punt d'entrada amb sincronització externa.

I els rangs d'operació del model del projecte 3B108-108:

Taula 3.5. Rangs d'operació del mode CR.

Rangs d'operació	Valors
Potència	0 VA a 1800 VA
Corrent	0 A a 9 ; 9 A a 18 A
Tensió	50 V en RMS a 300 V en RMS
Tensió d'entrada Min.	1 Vms
Freqüència	DC, 40 Hz a 400 Hz (CC) / DC, 400 Hz (LIN,CR)

Finalment, comentar que cada model presenta una gràfica amb la seva respectiva constant de potència operativa. A continuació, s'exposa la corba V-I del model estudiat en el projecte 3B108-108:

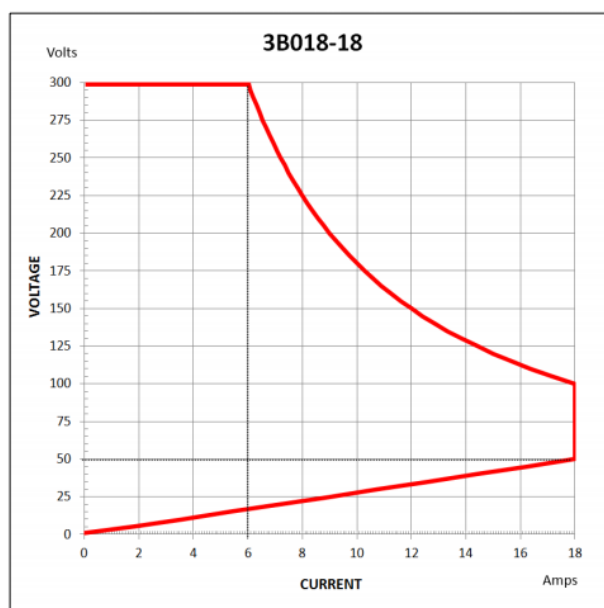


Figura 3.12. Corba VI del model 3B108-108. (Adaptive Power Systems 2014)

Les càrregues electròniques són un dels elements del sistema que s'ha controlat remotament. El programa utilitzat és LabVIEW. LabVIEW és un *software* d'enginyeria de sistemes que requereixen proves, mesures i control amb ràpid accés a *hardware* e informació de dades, distribuït per la firma National Instruments.

En el cas de les càrregues, LabVIEW disposa d'un programa donat pel fabricant (APS); programa que s'ha modificat lleugerament per satisfer les necessitats del present projecte. L'objectiu del programa és introduir uns valors de corrent a la càrrega amb una tensió constant de 230V. Aquests valors corresponen als consums d'un mes "tipus" de la micro-xarxa dissenyada. Per la tria de consums, s'ha analitzat quin rang de corrents ofereix tant la càrrega com les bateries, ja que tenen un paper important en la monitorització del sistema i s'ha d'evitar arribar a nivells pròxims de sobrecàrrega.

La connexió utilitzada per controlar la càrrega de forma remota ha estat la interfície RS232, connectant-se a l'ordinador amb una entrada USB. RS232 és una interfície de comunicació de dades digitals amb port sèrie que transmet la informació bit a bit cap al seu destinatari. S'ha escollit aquesta i no el connector GPIB degut al fàcil maneig del cablejat, l'accessibilitat als port d'entrada, la connexió en sèrie i, sobretot, per les connexions internes i les seves característiques operacionals. Aquestes últimes permeten l'intercanvi d'informació entre les càrregues i el programa LabVIEW, podent enviar i/o visualitzar les dades representades a temps real.

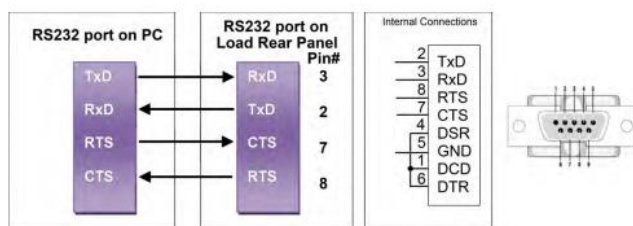


Figura 3.13. Connexions internes de la interfície serial RS232. (Adaptive Power Systems 2014)

- **Inversor Axpert**

Finalment, l'últim equip que completa el sistema, i el més important, és l'inversor Axpert MKS 5K. L'inversor/carregador Axpert és un inversor multi-funció, que combina les funcions d'inversor, carregador solar i carregador de bateria per oferir energia de forma ininterrompuda. La Figura 3.14 mostra el seu aspecte.



Figura 3.14. Inversor MKS 5K Axpert. Fotografia de l'autor

La seva pantalla LCD permet configurar i ajustar l'inversor depenent de les necessitats de l'usuari mitjançant botons de fàcil accés o el programa WatchPower, programa que es detallarà a continuació. A més, l'inversor està equipat amb un regulador de càrrega MPPT per aconseguir el màxim rendiments dels mòduls fotovoltaics.

Les característiques principals de l'inversor són:

- Inversor d'ona sinusoidal pura
- Rang de tensió d'entrada ajustable per a diferents aplicacions
- Corrent de càrrega ajustable fins 50Amp
- Prioritat d'entrada AC/Solar ajustable
- Compatible amb la tensió de la xarxa elèctrica o d'un generador
- Protecció contra sobrecàrrega i curtcircuit
- Disseny intel·ligent del carregador de bateries per optimitzar el rendiment de la bateria
- Funció d'arrencada en fred.

La Figura 3.15 mostra l'arquitectura bàsica d'aplicació de l'inversor entorn un sistema híbrid:

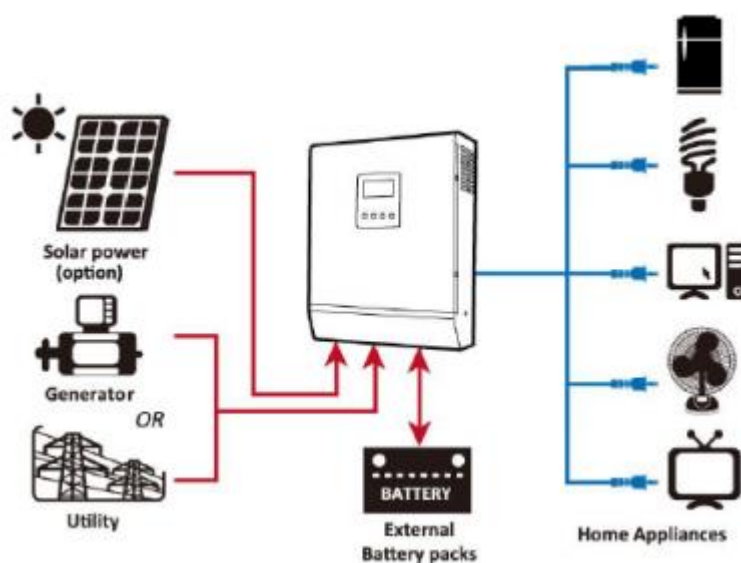


Figura 3.15. Aplicació bàsica de l'inversor Axpert. («1 kVA-5 kVA INVERTER/CHARGER» 2008)

Com s'observa en la imatge, aquest sistema s'adequa perfectament a l'escenari d'aquest projecte, sent l'inversor l'element principal i centre de control, ja que interconnecta a tots els equips i els pot connectar/desconnectar depenent de la necessitat de l'usuari o d'alguna situació externa.

La connexió utilitzada per comunicar l'inversor amb l'ordinador ha estat la mateixa que en el cas de les càrregues, la interfície RS232. S'ha elaborat manualment el cablejat que connecta els dos elements ja que aquest convertidor té un protocol de comunicacions Modbus perfecte pel disseny i correcte funcionament del sistema; protocol que s'exposa àmpliament en el següent punt del projecte.

3.2.2. Software incorporat de l'inversor

WatchPower és un *software* de monitorització d'inversors que pot monitoritzar múltiples dispositius a través d'un portal sèrie al mateix temps. Les principals funcions del programa inclouen registre de dades dels dispositius, missatges d'alarma i d'error i la configuració de paràmetres dels dispositius.

Les característiques principals del programa són:

- Adquisició automàtica i emmagatzematge segur del registre de dades a temps real.
- Visualització gràfica de les dades del dispositiu per una lectura ràpida i senzilla.
- Fàcil diagnòstic d'estadístiques de les diverses casuístiques.
- Actualització online i manual

Hi ha cinc seccions en la interfície GUI (interfície gràfica d'usuari) del programa. Aquestes seccions es presenten en la Figura 3.16, on es mostra l'aspecte de la pantalla principal del WatchPower.

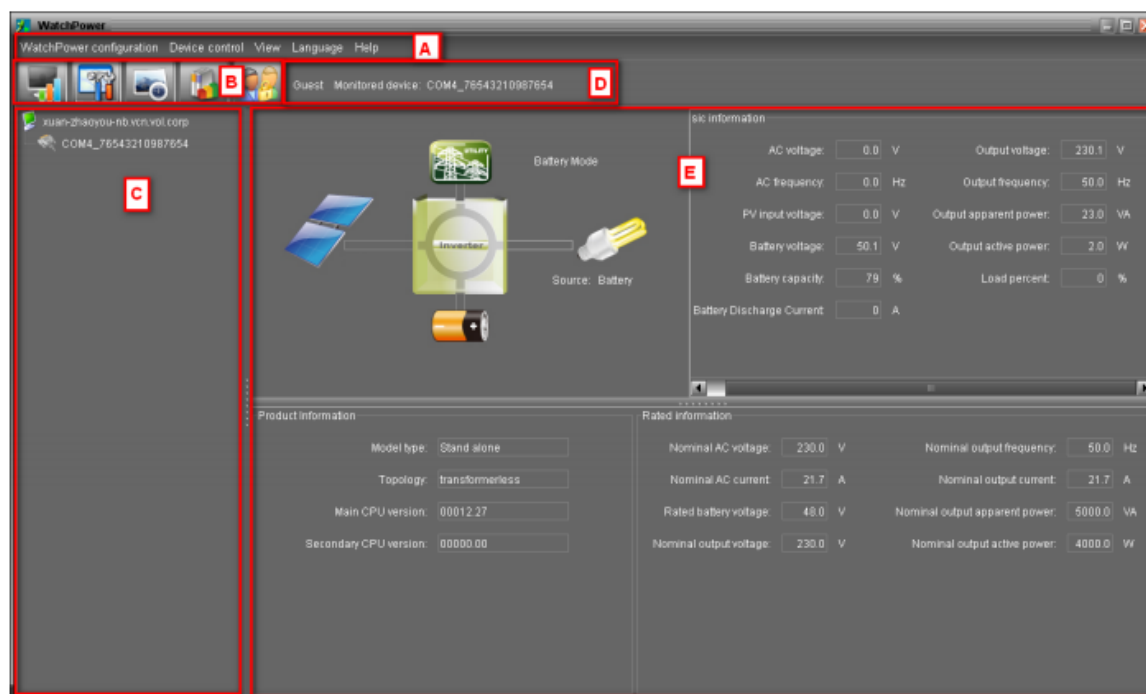


Figura 3.16. Pantalla principal del programa WatchPower. Manual d'ús WatchPower.

- A. Menú de funcions: Ofereix un conjunt d'eines per navegar i configurar la interfície.
- B. Menú Shortcut: Proporciona "dreceres" per accedir a les funcions més comuns.
- C. Navegació de l'inversor: Indica tots els dispositius connectats.
- D. Informació actual de la monitorització: Mostra el nom de l'usuari i de l'inversor monitoritzat.
- E. Finestra principal: Presenta el flux de potència, la informació operacional del sistema i la informació de l'inversor monitoritzat a temps real.

Aquesta última secció es tracta del centre visual del sistema, on es poden observar tots els paràmetres tant de l'inversor, com dels elements interconnectats dels quals disposa. Els blocs més importants d'aquesta finestra principal són els següents:

1- Power flow

El sistema està compost per cinc elements: el camp fotovoltaic, les bateries, l'inversor, les càrregues i la xarxa elèctrica. Mostra el flux d'energia dinàmic entre els elements. Per exemple, en la Figura 3.17, l'inversor alimenta les càrregues a través de la xarxa i les bateries poden ser carregades a través de la xarxa o de la font solar.

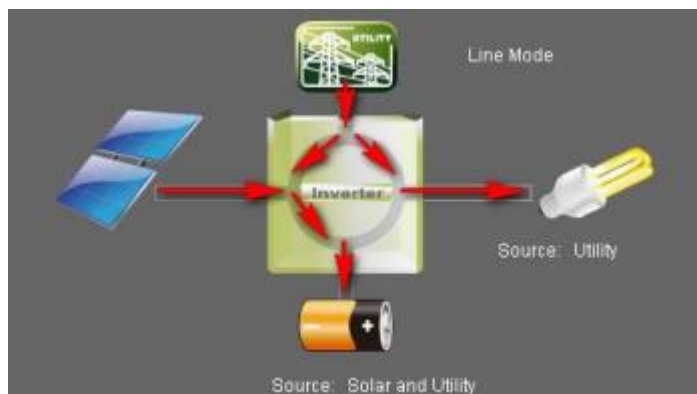


Figura 3.17. Flux de potència en mode lineal. Manual d'ús WatchPower.

2- Basic Information

Basic information			
AC voltage:	224.8 V	Battery discharge current:	0.0 A
AC frequency:	50.0 Hz	Output voltage:	230.0 V
PV input voltage:	76.9 V	Output frequency:	49.9 Hz
PV input power:	237 W	Output apparent power:	46.0 VA
Battery voltage:	53.9 V	Output active power:	6.0 W
Battery capacity:	100 %	Load percent:	0 %
Charging current:	4.0 A		

Figura 3.18. Informació bàsica en la pantalla frontal del WatchPower.

3- Rated Information

Rated information			
Nominal AC voltage:	230.0 V	Nominal output frequency:	50.0 Hz
Nominal AC current:	21.7 A	Nominal output current:	21.7 A
Rated battery voltage:	48.0 V	Nominal output apparent power:	5000.0 VA
Nominal output voltage:	230.0 V	Nominal output active power:	5000.0 W

Figura 3.19. Informació classificada en la pantalla principal del WatchPower.



4. Monitorització amb LabVIEW

En aquest apartat s'exposa detalladament el procés de monitorització de l'inversor Axpert, a partir del disseny creat en el programa informàtic LabVIEW. L'estructura del disseny està dividida en dos treballs més específics: l'exportació dels consums que s'envien a les càrregues electròniques programables APS, i l'inversor Axpert. El disseny de l'inversor també està estructurat en dos blocs diferents:

Bloc de lectura: En aquest bloc s'observen els paràmetres i resultats de l'inversor a temps real, amb el suport de gràfiques per representar els valors.

Bloc de control: En aquest bloc l'usuari pot enviar ordres a l'inversor. Aquest realitza l'ordre enviada, i retorna una resposta al programa confirmant la finalització de l'acció.

El procés previ a l'inici de l'assaig és connectar els ports COM de l'Axpert i l'APS al programa, i enllaçar el fitxer Excel corresponent als consums, ubicat al directori de l'ordinador. L'assaig comença amb l'exportació d'aquests consums, que s'envien a les càrregues electròniques programables per la seva posterior representació. De forma concurrent, s'inicia el procés de l'inversor. Els paràmetres de visualització de l'inversor com la tensió de sortida de la xarxa, l'estat de les bateries o el percentatge d'energia injectada pels mòduls solars, es representen constantment i a temps real, tal com l'APS.

En el bloc de control, l'usuari pot enviar comandes prèviament descrites a l'inversor. En aquest cas, l'inversor retorna una resposta al programa confirmant que l'acció s'ha realitzat. Paral·lelament, totes les accions i dades resultants del procés, s'emmagatzemen en un document pel seu posterior anàlisi.

A continuació, en la Figura 4.1, es mostra en diagrama de fluxos, representant el procés de monitorització de l'inversor a partir del LabVIEW.

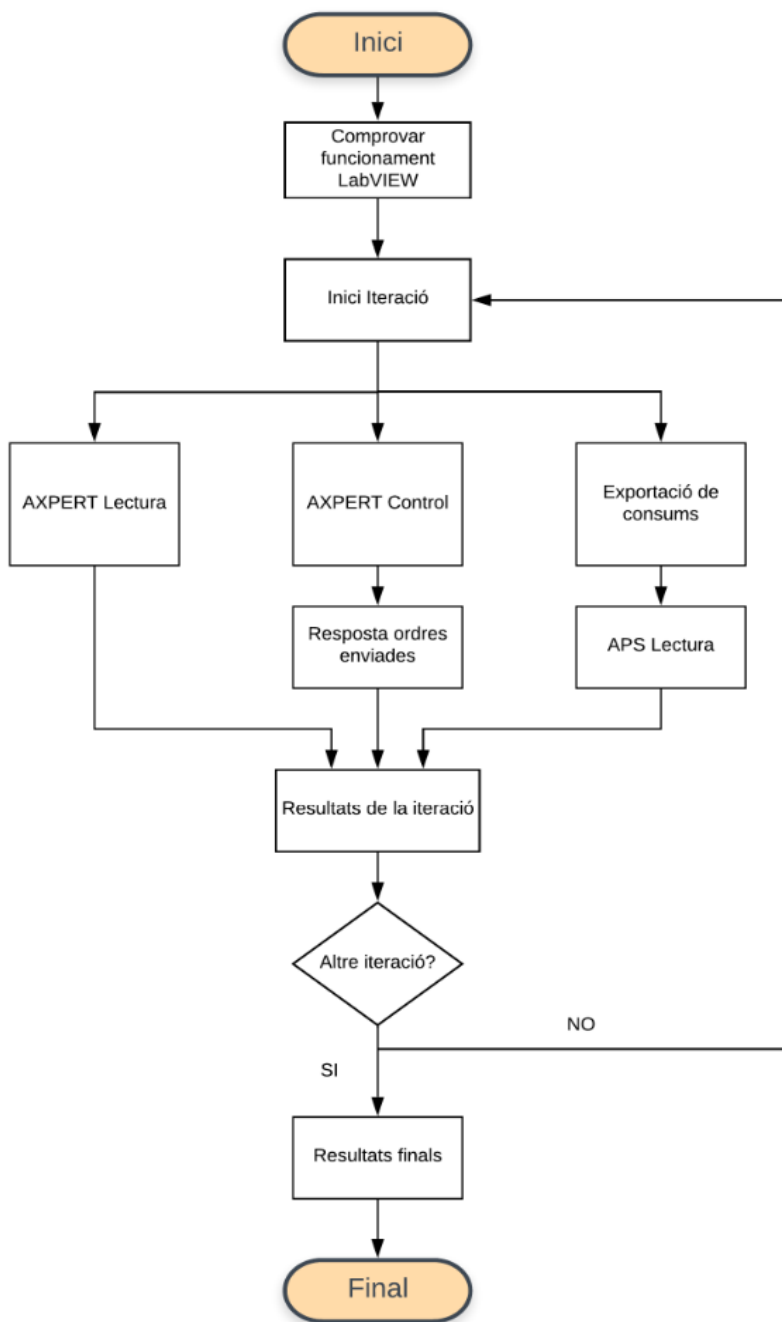


Figura 4.1. Diagrama de fluxos que descriu el procés de monitorització de l'inversor. Elaboració pròpia.

4.1. Exportació de consums

Per a qualsevol disseny o dimensionament d'una micro-xarxa elèctrica, el primer pas és conèixer els consums de la instal·lació. El dimensionament previ de la micro-xarxa s'ha realitzat en l'àmbit d'aplicació a nivell domèstic. Per tal de conèixer els consums, a través de l'Àrea Cliente de la qual disposa la companyia elèctrica Endesa, s'han recopilat els consums horaris, de cada dia, de l'any 2018.

La Figura 4.2 mostra el consum del dia 21 de febrer a través de la web oficial d'Endesa. La selecció de les dades es poden filtrar per poder visualitzar tot un període de temps o un dia concret com en aquest cas. La pàgina també dona l'opció de poder exportar aquestes dades a un fitxer xls.

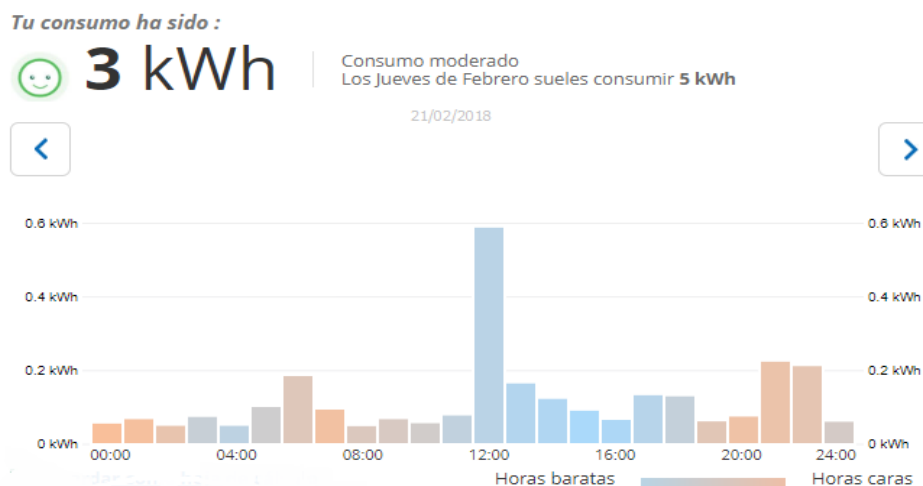


Figura 4.2. Consum de l'habitatge d'aplicació (<<Área Cliente,Endesa>>)

Comentar que, en el procés de recaptació de dades, hi va haver un contratemps ja que, a través de la pàgina web oficial de la companyia, solament t'ofereixen la possibilitat d'exportar les dades dels últims sis mesos; l'altre mitat de l'any ha estat recopilada manualment a través de l'aplicació del mòbil a un fitxer Excel.

Els fitxers mensuals proporcionen el consum horari de l'habitatge (en Wh) i el preu de la electricitat a temps real (en €/kWh). L'objectiu és extreure els corrents horaris d'aquests fitxers per, posteriorment, enviar-los a les càrregues electròniques; per això, s'ha dividit el consum entre els 230 V de tensió que connecta la micro-xarxa per obtenir els corrents resultants.

Les bateries de les quals disposa el laboratori E3PACS actualment han consumit gran part del seu cicle de vida i no funcionen ni tenen el mateix nivell de descàrrega que oferien inicialment. Per tal d'evitar

sobrecàrregues en les bateries o provocar majors desperfectes, s’ha decidit treballar en un rang d’entre els 5 A i els 18 A, amb la possibilitat d’injectar puntualment valors màxims de 20 A (curts instants de temps). Finalment, modificant algun valor, s’ha seleccionat el mes de febrer per l’exportació de corrent cap a l’APS. El fitxer Excel amb el valor de corrents es troba en els Annexes del treball.

En aquest punt s’exposa l’exportació de les dades de consum que s’envien a les càrregues electròniques APS.



Figura 4.3. Estructura d’on exporten els consums cap a l’APS.

El disseny d’aquest escenari s’inicia amb la implementació del bucle iteratiu *For Loop*, estructura que realitza tantes iteracions com proporciona el seu terminal numèric (símbol N). La Figura 4.3 mostra l’estructura que s’ha dissenyat per exportar els consums.

L’element verd de l’esquerra, anomenat “Corrents” és l’enllaç directe amb el fitxer Excel ubicat al directori de l’ordinador. Un cop està l’Excel seleccionat, les dades entren al Sub_VI (diagrama LabVIEW minimitzat). Aquests dos elements estan ubicats fora del *For Loop*, ja que solament serveixen per obtenir les dades i no depenen de cap altre condició ni restricció temporal.

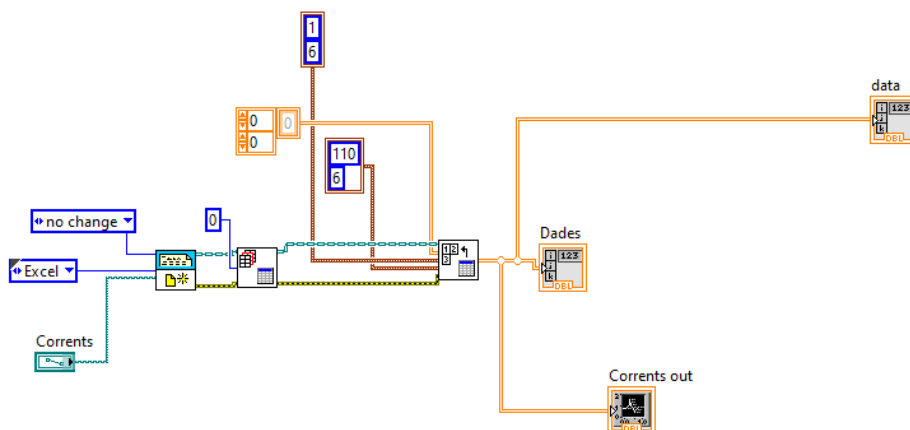


Figura 4.4. Sub_VI de l’exportació de consums. Selecció dels valors a enviar.

Aquest Sub_VI es mostra en la Figura 4.4. En aquest cas també s’observa l’element verd que comunica amb el fitxer Excel del directori. Aquest s’enllaça amb un “*Create Report*” que genera un informe (Excel) per a que l’usuari pugui treballar. Per poder seleccionar els valors que es desitgen dins del fitxer,

s'utilitza l'element LabVIEW "Toolkit". Toolkit permet determinar el punt inicial i final, a través d'un vector (fila, columna), dels elements a seleccionar. En el cas d'aquest projecte, els valors seleccionats estan ubicats en la 6à columna i ocupen 110 files.

Una vegada els valors de consum entren dins l'estructura *For Loop*, s'envien a la funció anomenada *Index Array*. Aquesta funció retorna l'element de la matriu de "n" dimensions en l'índex, és a dir, quan es connecta una matriu a aquesta funció, la seva mida canvia automàticament per mostrar les entrades d'índex (el primer valor) per a cada dimensió. Per tant, ja que l'exportació de consums es realitza a través d'una matriu, els valor de corrent s'envien individualment. Un cop dins l'estructura del l'APS, s'uneixen amb els altres valors de les càrregues electròniques per la seva posterior monitorització.

4.2. APS

En aquest punt s'exposa la connexió del consums exportats anteriorment amb l'APS i la representació dels paràmetres resultants de l'assaig.

Com ja s'ha mencionat anteriorment, es parteix d'un programa de LabVIEW proporcionat pel fabricant, pel que les modificacions del programa original han estat les necessàries per satisfer l'objectiu del projecte. Recordar també que, l'APS presenta tres modes de funcionament: Corrent Constant, Corrent Lineal i Resistència Constant. En l'escenari dissenyat, es focalitzen les modificacions i el control operacional en aquest tercer mode.

El programa donat pel fabricant és l'anomenat "APS ACDC Load 3Bxxx", de la firma National Instruments. Aquest, proporciona un fitxer amb elements LabVIEW de control, selecció de modes operacionals i configuració serial dels ports d'entrada de les càrregues electròniques. Aquests elements quadrats s'observen en la Figura 4.5, fàcilment diferenciables per la seva inscripció vermella amb el nom del producte (APS 3B).

El disseny d'aquest escenari s'inicia amb la implementació del bucle iteratiu *For Loop*; mateixa estructura que delimita l'exportació de consums anterior. En aquest cas, tot l'escenari està ubicat dins d'aquesta estructura exceptuant els blocs que permeten la connexió amb la càrrega APS i la regulació dels modes de funcionament.

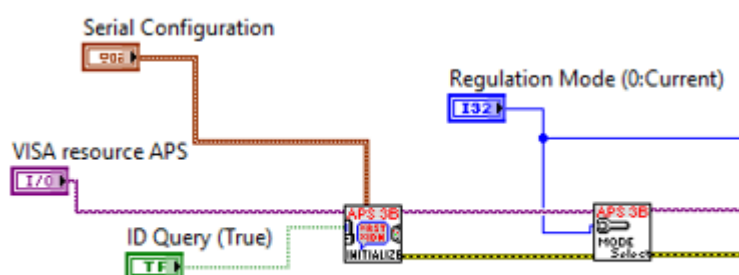


Figura 4.5. Paràmetres inicials per iniciar la comunicació amb l'APS mitjançant un port serial.

L'element *VISA Resource* mostra totes les fonts VISA que estan connectades al dispositiu; en el cas del projecte, la connexió és un port de comunicació serial COM3. Els modes de regulació es modifiquen a través de l'element blau *Regulation Mode*; en el cas del projecte, el mode seleccionat és sempre el CR.

Ja que el funcionament de l'inversor i l'APS són diferents i per un mateix assaig els períodes de temps poden variar (molt més ràpid l'APS), s'ha escalat el temps de les iteracions. Mitjançant l'eina de temps "Wait (ms)" situada a l'interior del bucle, s'estableix un temps d'espera entre les simulacions, en aquest cas de 10s.

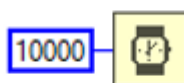


Figura 4.6. Element Wait (ms) per establir un temps d'espera entre iteracions.

El funcionament de l'APS 3B és molt senzill i autònom, és a dir, si l'usuari no introdueix o modifica cap paràmetre inicial al sistema, el programa rep el corrent de la xarxa elèctrica a temps real, amb els seus 230V de tensió corresponents, i mostra els valors de tensió, potència i corrent de sortida al finalitzar la simulació.

Ara bé, si alguns paràmetres canvien respecte els que estan per defecte; ja sigui la resistència (Ω), el factor de pic o el nivell de corrent, els valors finals varien. Com ja s'ha especificat, l'objectiu d'aquest escenari és enviar al sistema les dades de corrent creades per l'usuari; per això es treballa en el mode de funcionament CR. Aquest mode manté constants els paràmetres de tensió, resistència i freqüència, i permet introduir els valors de consum desitjats sense afectar l'estat del sistema.

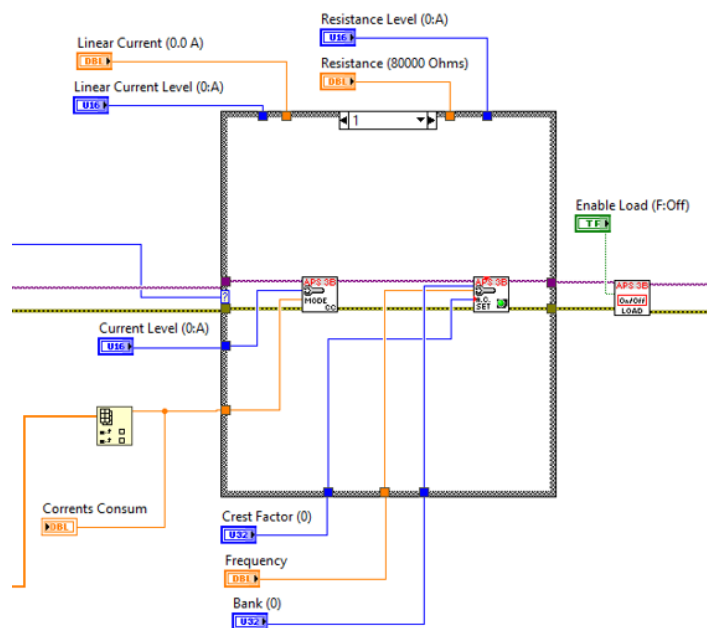


Figura 4.7. Estructura Case Structure per seleccionar el mode de funcionament de l'APS.

Amb el *Case Structure*, estructura molt utilitzada en LabVIEW i en el present projecte, es pot canviar el mode de funcionament de forma manual des del panell frontal. En la Figura 4.7 es pot apreciar aquesta estructura que, a través d'un controlador numèric, selecciona el mode a treballar (0: CC, 1: CR, 2: LIN).

També s'observa com l'*Index Array* que emmagatzema totes les dades de consum exportades anteriorment, comunica amb l'entrada referent als valors de corrent en el *Case Structure*.

Una vegada l'escenari de l'Adaptive Power Systems està dissenyat i funciona correctament, només cal posar les càrregues en marxa. L'usuari determina quin nombre d'iteracions a simular vol realitzar per aconseguir uns resultats continus i fiables. Per a que els resultats siguin visibles, s'han incorporat indicadors numèrics en els següents paràmetres: corrent de sortida, tensió de sortida i potència de sortida (en VA i en W). En la Figura 4.8 es pot apreciar com també s'ha implementat un element que serveix per representar gràficament, en aquest cas, els valors de potència i tensió de sortida en funció del temps. La gràfica XY està situada en el panell frontal i s'observa com varien les corbes de tensió i potència al llarg del temps.

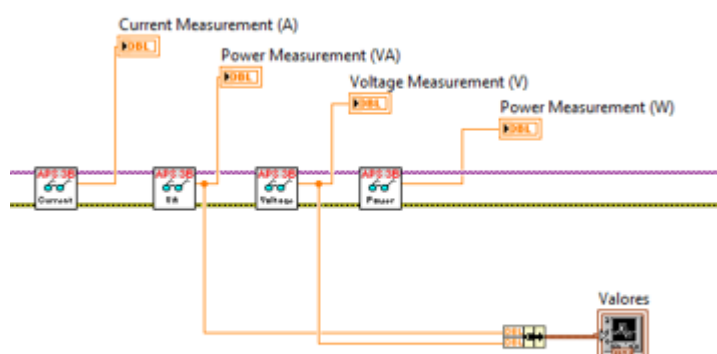


Figura 4.8. Mostra i gràfica els valors de potència, tensió i corrent de sortida de l'APS.

En aquest apartat doncs, s'ha modificat el mode operacional Constant Resistance (CR) de l'APS, canviant de valors de corrent d'entrada del sistema, pel consums exportats anteriorment. Amb el canvi realitzat, s'ha iniciat l'assaig i s'han recopilat les dades resultants de sortida.

4.3. Inversor Axpert

En aquest últim punt de s'exposa el procés de disseny i programació de l'escenari més important, el de l'inversor, ja que és el centre de comunicació de tots els elements del sistema i té la capacitat d'interconnectar-los en un únic conjunt.

Prèviament, abans d'explicar com s'ha creat l'escenari i quins elements han interactuat, cal contextualitzar alguns processos i conceptes que s'han hagut d'estudiar i aplicar per tal de succeir en la monitorització final del controlador Axpert.

Els conceptes són: Protocol Modbus, codi ASCII, i l'analitzador de paquets.

Aquests tres serveixen per comunicar l'inversor Axpert amb el programa LabVIEW en l'ordinador del laboratori. Llavors, fent un petit resum, Modbus és el protocol que permet poder efectuar les comunicacions necessàries entre el controlador i la computadora; el codi ASCII ha estat el llenguatge amb el qual s'han codificat les trames de xarxa i enviat ordres a l'inversor; i, degut a les limitacions del programa LabVIEW, s'ha necessitat l'ajuda d'un *Sniffer* per visualitzar i conèixer les dades que la computadora i l'inversor s'intercanvien.

4.3.1. Protocol Modbus

L'objectiu del sistema és interconnectar tots els elements de la micro-xarxa. Per aconseguir-ho, s'ha treballat amb les comunicacions internes de l'inversor a través d'un llenguatge de programació. Aquest llenguatge és el protocol Modbus, que s'ha utilitzat per comunicar el controlador de l'inversor amb LabVIEW.

Modbus és un protocol de comunicacions basat en l'arquitectura mestre/esclau (RTU: Unitat Terminal Remota) o client/servidor (TCP/IP: Protocol de Control de Transmissió/ Protocol d'Internet) que permet el control d'una xarxa de dispositius i comunicar els resultats a un ordinador. Aquest protocol també s'utilitza per la connexió d'un ordinador de supervisió amb una unitat remota (RTU) en sistemes de supervisió d'adquisició de dades o en versions per a ports sèrie i Ethernet (TCP).

En el present projecte, ja que es disposa d'una connexió serial RS232, s'ha emprat el protocol TCP. Es tracta d'una variant Modbus utilitzada per a connexions a través de xarxes TCP/IP, connectant-se a través del port 502.

Aquest protocol aplica el mètode mestre-esclau, sent el mestre qui controla en tot moment les comunicacions amb els esclaus (fins a 247), ja que aquests es limiten a retornar les dades sol·licitades o ha executar l'acció indicada pel mestre. La comunicació sempre es produeix en pars; un dispositiu, responsable d'iniciar cada iteració, ha d'enviar una sol·licitud i esperar una resposta. Generalment, el mestre és una interfície humà-màquina i l'esclau un sensor o controlador d'automatització programables. En el cas d'aquest projecte, el mestre és l'usuari que maneja el programa LabVIEW i l'esclau l'inversor Axpert.

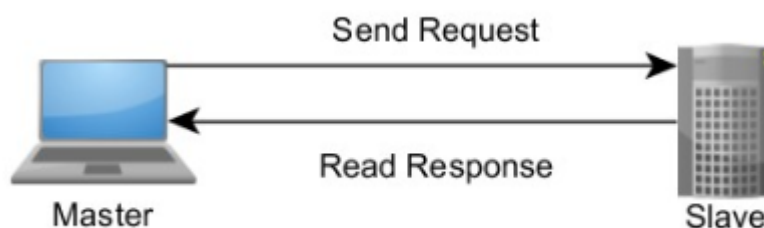


Figura 4.9. Relació Mestre-Esclau. (<<National Instruments>>)

La comunicació del mestre cap als esclaus és del tipus pregunta-resposta. La "Pregunta" representa un codi de funció que indica a l'esclau quina operació ha de realitzar i els Bytes necessaris per a la seva execució. La "Resposta" és la confirmació o dades resultants de la execució de la funció.

A més, les comunicacions Modbus es poden realitzar en mode ASCII, on els bytes s'envien codificats en codi ASCII, llenguatge que es tracta en el següent apartat del projecte. Aquesta codificació significa

que, per cada byte a transmetre, s'envien dos caràcters ASCII (2 bytes) amb la seva representació hexadecimal. Això permet llegir les trames amb un simple lector de textos "Sniffer".

Nombre	Longitud (Bytes)	Función
Inicio	1	Comienza con el carácter ':'
Dirección	2	Dirección del esclavo
Función	2	indica el código de la función
Datos	n x 2	Datos + La longitud se rellena dependiendo del tipo de mensaje
LRC	2	Verificación de redundancia longitudinal (LCR)
Fin	2	Retorno de Carro + Avance de línea(CR y LF)

Figura 4.10. Format de trama Modbus en codi ASCII.

La Figura 4.10 mostra el format d'una trama Modbus codificat en ASCII. Tot i que en la taula apareix com a LCR, el concepte a tenir en compte en aquest projecte és el CRC (*Cyclic redundancy check*). El CRC fa referència a la verificació de redundància cíclica. Es tracta d'una funció dissenyada per comprovar i detectar canvis accidentals en qualsevol flux de dades digitals d'una computadora.

Consisteix en la protecció de dades en les trames. Cada trama té assignada un segment de dades denominat codi de control. El codi CRC conté dades redundants (no agrega nova informació, representa el mateix bloc de dades) amb la trama, de manera que els errors són fàcilment detectables i es poden solucionar. Una de les seves característiques és que pot ser utilitzat com a verificador per detectar alteracions de dades durant la transmissió.

Pel que fa al funcionament, cada trama està formada per una seqüència fixa de números binaris coneguts com a codi CRC. Quan la trama és llegida o rebuda, la funció s'aplica novament a la trama; si el codi CRC generat no coincideix amb el codi CRC original, significa que la trama conté un error. Això farà que el dispositiu intenti solucionar l'error rellegant la trama o sol·licitant que s'envii de nou. Si ambdós codis CRC coincideixen, s'entén que la trama no conté errors.

També cal mencionar el concepte de *Carriage Return* (CR). Es tracta d'un dels caràcters de control i serveix per restablir la posició del cursor al començament d'una línia de text. Normalment, aquest caràcter s'utilitza conjuntament amb el "salt de línia" (LF), fent baixar el cursor a la següent. El concepte de CR es representa mitjançant el 13 en codi decimal i 0D en hexadecimal.

4.3.2. Codi ASCII

ASCII és l'acrònim que correspon a l'expressió anglesa *America Standard Code for Information Interchange*, i es tracta d'un codi de caràcters basat en l'alfabet llatí. Es tracta d'un patró de codificació emprat en l'àmbit informàtic i sorgeix de la necessitat dels ordinadors i dispositius de diversos fabricants per comunicar-se en un llenguatge comú.

ASCII serveix per convertir, a través d'una sèrie de regles, un caràcter que forma part d'un llenguatge natural en un símbol que pertany a una classe de sistema representatiu. És una representació numèrica d'un caràcter com 'a' o '@'.

ASCII és un codi de 8 bits que utilitza cadenes representables amb set dígit binaris (que van del 0 al 127 en base decimal) per representar informació de caràcters. El format dels missatges consisteix d'un caràcter d'inici, que és els dos punts ":", i el final del missatge que es defineix mitjançant un "retorn de carro" i un salt de línia.

Els bits estan dividits en caràcters de control (o no imprimibles) i caràcters imprimibles.

- Caràcters de control: ASCII reserva els primers 32 caràcters per representar informació d'ús intern de la computadora, per controlar els dispositius que utilitzen aquest llenguatge. Per exemple, el caràcter 10 representa la funció "nova línia".
- Caràcters imprimibles: Els 95 caràcters següents (del 32 al 126) representen lletres, dígitos, signes de puntuació i diversos símbols.

La Figura 4.11 representa la taula ASCII, on es mostra el caràcter i significat de cada codi ASCII des d'un llenguatge decimal, hexadecimal o octal. Per la motorització de l'inversor, s'ha treballat amb el llenguatge hexadecimal, que a través d'elements LabVIEW s'ha traduït a l'ASCII.

Caracteres ASCII de control			Caracteres ASCII imprimibles					
00	NULL	(caràcter nul)	32	espacio	64	@	96	`
01	SOH	(inicio encabezado)	33	!	65	A	97	a
02	STX	(inicio texto)	34	"	66	B	98	b
03	ETX	(fin de transmisión)	35	#	67	C	99	c
04	EOT	(fin transmisión)	36	\$	68	D	100	d
05	ENQ	(consulta)	37	%	69	E	101	e
06	ACK	(reconocimiento)	38	&	70	F	102	f
07	BEL	(timbre)	39	'	71	G	103	g
08	BS	(retroceso)	40	(	72	H	104	h
09	HT	(tab horizontal)	41	)	73	I	105	i
10	LF	(nueva línea)	42	*	74	J	106	j
11	VT	(tab vertical)	43	+	75	K	107	k
12	FF	(nueva página)	44	,	76	L	108	l
13	CR	(retorno de carro)	45	-	77	M	109	m
14	SO	(desplaza afuera)	46	.	78	N	110	n
15	SI	(desplaza adentro)	47	/	79	O	111	o
16	DLE	(esc.vínculo datos)	48	0	80	P	112	p
17	DC1	(control disp. 1)	49	1	81	Q	113	q
18	DC2	(control disp. 2)	50	2	82	R	114	r
19	DC3	(control disp. 3)	51	3	83	S	115	s
20	DC4	(control disp. 4)	52	4	84	T	116	t
21	NAK	(conf. negativa)	53	5	85	U	117	u
22	SYN	(inactividad sínc)	54	6	86	V	118	v
23	ETB	(fin bloque trans)	55	7	87	W	119	w
24	CAN	(cancelar)	56	8	88	X	120	x
25	EM	(fin del medio)	57	9	89	Y	121	y
26	SUB	(sustitución)	58	:	90	Z	122	z
27	ESC	(escape)	59	;	91	[	123	{
28	FS	(sep. archivos)	60	<	92	\	124	|
29	GS	(sep. grupos)	61	=	93	]	125	}
30	RS	(sep. registros)	62	>	94	^	126	~
31	US	(sep. unidades)	63	?	95	_		
127	DEL	(suprimir)						

Figura 4.11. Taula ASCII. (<<Codigo ASCII>>)

Llavors, el sistema hexadecimal és un mètode d'enumeració posicional que utilitza com a base el número 16 (Base-16), és a dir, que existeixen 16 símbols de dígitos possibles. Els números estan representats pels 10 primers dígitos de la numeració decimal i, l'interval del 10-15 es representen per les lletres de l'alfabet llatí: A, B, C, D, E i F. Aquest sistema és comunament aplicat en ordinadors i dispositius digitals, amb la finalitat de reduir grans cadenes de números binaris en conjunts de quatre dígitos, fent la comprensió més senzilla.

4.3.3. Analitzador de paquets

Un analitzador de paquets/protocols o *Sniffer* és un programa de captura de trames d'una xarxa de computadores. Una trama és una unitat d'enviament de dades; és una sèrie successiva de bits,

organitzats de forma cíclica, que transporten informació i permeten en la recepció extraure la informació.

Un *Sniffer* és un programa utilitzat per controlar i analitzar el tràfic de xarxa transmès d'una localització a una altre. Per aconseguir això, l'analitzador ordena a la computadora que deixi d'ignorar tot el tràfic no destinat a l'equip i li posi atenció, posant la targeta de xarxa NIC (*Network Interface Card*) en "mode promiscu", d'aquesta manera la computadora és capaç d'observar totes les dades transmeses i fer una lectura de tota la informació que entra al PC.

Amb aquest canvi de mode, l'analitzador aconsegueix observar l'equip d'origen, l'equip destinatari, els números de ports, etc.. Resumint, el programa té a l'abast tota la informació intercanviada entre les dues computadores, codificant-la i donant l'habilitat a l'usuari de poder veure tot el contingut.

Algunes de les seves aplicacions principals d'un analitzador de paquets són les següents:

- Captura automàtica de contrasenyes enviades en clar i noms d'usuari de la xarxa.
- Conversió del tràfic de xarxa en un forma intel·ligible pels humans.
- Anàlisis d'errors per descobrir problemes en la xarxa, tals com: Per què l'ordinador A no pot comunicar-se amb l'ordinador B?
- Mesura del tràfic, mitjançant el qual es poden descobrir "colls d'ampolla" (fenomen que afecta al rendiment o a la capacitat del sistema) en algun indret de a xarxa.
- Detecció d'intrusos, amb la finalitat de descobrir *hackers*.
- Creació de registres de xarxa.
- Per als desenvolupadors, en aplicacions client-servidor. Els permet analitzar la informació real que es transmet per la xarxa.

En aquest projecte s'ha utilitzat l'analitzador de paquets Serial Port Monitor, de la firma Eltima Software. Serial Port Monitor és un software que permet monitoritzar dispositius que es comuniquen utilitzant els protocols Modbus RTU i ASCII. L'ús d'aquest analitzador permet registrar i monitoritzar les dades transmeses a través dels ports sèrie RS232, RS422 i RS485 d'un sistema. COM monitor mostra, registre i analitza tota l'activitat de port sèrie d'un sistema. També ofereix filtrat i busca avançada, integració professional en el terminal, opcions d'exportació de dades i interfície fàcil d'utilitzar.

Algunes de les aplicacions que ofereix l'analitzador Modbus són les següents:

Analtzar dades de port sèrie: El software es pot connectar a qualsevol port COM en un sistema. Encara que aquest port estigui en funcionament per una altre aplicació, es pot monitoritzar i registrar la seva transmissió de dades sense problemes.

La monitorització a temps real comença quan l'analitzador es connecta al port, permetent a l'usuari solucionar els problemes del sistema de forma immediata. Les dades recopilades es poden representar en diversos modes de visualització i guardar les sessions.

Múltiples ports poden ser monitoritzats simultàniament: Utilitzant aquest analitzador de protocol Modbus RS485 es poden monitoritzar diversos ports en una sessió. Proporciona quatre opcions de visualització: *Terminal*, *Line*, *Table* i *Dump*, sent aquest últim el més adequat pel projecte, ja que permet visualitzar les dades captades tant en llenguatge hexadecimal com ASCII. En la Figura 4.12 es mostra una sessió d'exemple amb els quatre modes.

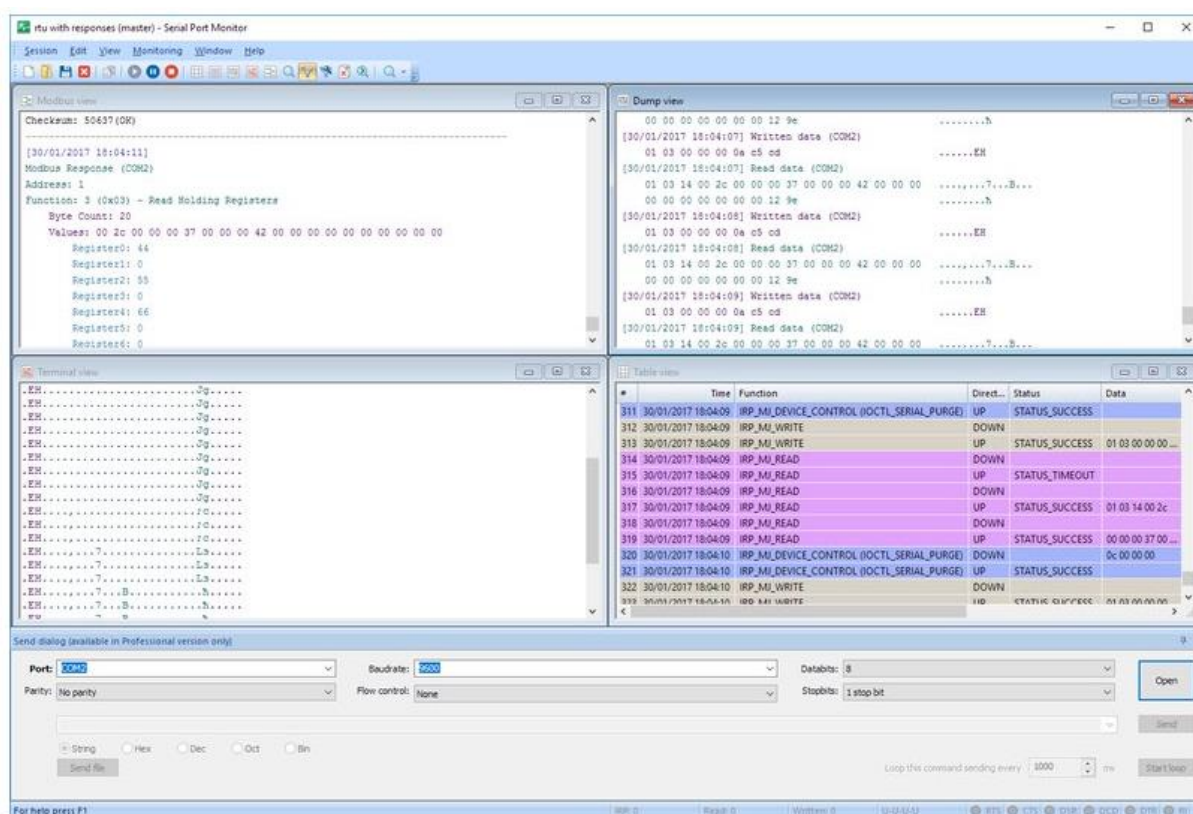


Figura 4.12. Exemple de la pantalla principal de l'analitzador de paquets Serial Port Monitor. (Eltima)

Emular la transmissió de dades a dispositius: El mode *Terminal* permet a l'usuari simular la transferència de dades entre un port sèrie que s'està monitoritzant i un dispositiu connectat en aquest port. Els formats de dades en cadena, binaris, octals, decimals, hexadecimals i mixtes són compatibles amb l'eina de software, permetent a l'usuari inspeccionar la resposta d'un dispositiu a través de diverses combinacions.

Totalment compatible amb protocols Modbus RTU i ASCII: El programa permet llegir i analitzar dades de Modbus amb els seus nous filtres més eficients. Amb el software es pot fàcilment establir connexió amb dispositius RS485, RS422 i RS232 i analitzar les seves dades.

4.3.4. Programació

Amb els conceptes ja definits, en aquest punt es mostra el disseny i monitorització de l'inversor Axpert a través del programa LabVIEW.

Aquest escenari s'ha dissenyat dins d'un *While Loop*, exceptuant els elements de comunicació de l'inversor, ubicats fora de l'estructura. Aquesta nova estructura repeteix constantment el codi que té dins el subdiagrama fins que es produeix una condició específica, en aquest cas, un botó *STOP* d'emergència. Quan es prem el botó, automàticament s'atura el programa.

A través dels elements de programació VISA, s'ha format el conjunt que mostra la Figura 4.13:

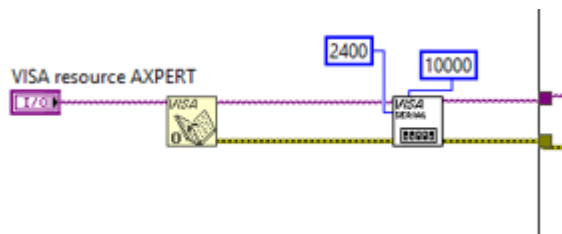


Figura 4.13. Paràmetres inicials per iniciar la comunicació amb l'inversor Axpert a través d'un port sèrie COM.

La VISA Resource permet seleccionar qualsevol port COM que estigui connectat a l'ordinador, en aquest cas, el port COM4 que connecta amb l'inversor; i l'element VISA Serial representa les característiques del port sèrie, una interfície RS232 a USB. Seguint les instruccions del *Inverter Communication Protocol*, s'ha canviat el *Baud Rate* (capacitat de transferir bits/sec d'un port sèrie) de 9600 a 2400 bits/segon.

Aquest protocol mostra les comandes en codi ASCII que es poden enviar al controlador, tan per visualitzar les dades com per ordenar accions que corresponen als paràmetres del programa

WatchPower. Quan s'envia la comanda, l'aparell retorna una resposta confirmant que la pregunta ha arribat al destinatari.

L'escenari creat s'ha dividit en dos blocs: visualització de paràmetres i ordres enviades a l'inversor. Aquests blocs, s'uneixen després d'haver realitzat la seva funció per finalitzar l'assaig. Comentar que en aquesta estructura, la funció *Wait* també s'ha utilitzat, però en aquest cas reduint el temps d'espera a 1s, ja que les simulacions de l'Axpert són més lentes que les de l'APS.

- Bloc de lectura

Aquest sistema està basat en el protocol Modbus, per tant s'ha d'enviar una comanda a l'inversor per poder rebre una resposta. En aquest cas, la resposta que es busca és un paràmetre numèric, una dada resultant del controlador.

Les dades que s'han decidit representar en l'escenari són els paràmetres que conformen el sector de "Basic Information" del panell principal de WatchPower. A través del manual de comunicació de l'inversor s'ha obtingut la comanda referent a la informació bàsica del programa, tal i com mostra la Figura 4.14.

2.9 QPIGS<cr>: Device general status parameters inquiry

Computer: QPIGS <CRC><cr>

Device: (N₁N₂N₃.N₅ N₇N₈.N₁₀ N₁₂N₁₃N₁₄.N₁₆ N₁₈N₁₉.N₂₁ N₂₃N₂₄N₂₅N₂₆ N₂₈N₂₉N₃₀N₃₁ N₃₃N₃₄N₃₅
N₃₇N₃₈N₃₉ N₄₁N₄₂.N₄₄N₄₅ N₄₇N₄₈N₄₉ N₅₁N₅₂N₅₃ N₅₅N₅₆N₅₇N₅₈ N₆₀N₆₁N₆₂N₆₃ N₆₅N₆₆N₆₇.N₆₉
N₇₁N₇₂.N₇₄N₇₅ N₇₇N₇₈N₇₉N₈₀N₈₁ b₈₃b₈₄b₈₅b₈₆b₈₇b₈₈b₈₉b₉₀ N₉₂N₉₃ N₉₅N₉₆ N₉₈N₉₉N₁₀₀N₁₀₁N₁₀₂
b₁₀₄b₁₀₅b₁₀₆ <CRC><cr>

Figura 4.14. Informació bàsica dels paràmetres WatchPower en codi ASCII (Inverter Communication Protocol)

El codi en ASCII que s'envia a l'inversor és "QPIGS", i la computadora retorna les quatre línies de caràcters en llenguatge hexadecimal, que fan referència a tota la *Basic Information* de la que disposa WacthPower.

En LabVIEW, s'han implementat funcions d'escriptura i lectura, acompanyant l'element VISA de l'inversor, per poder escriure i visualitzar les comandes que envia l'usuari. El primer problema a sorgit quan, a l'introduir el codi "QPIGS" en el control d'escriptura, la resposta que apareix és NAKs (*Negative Acknowledge*), caràcter de la Figura 4.11., significat que la comanda enviada no ha arribat al destinatari o s'ha escrit malament.

Degut a les limitacions del programa i la necessitat de conèixer tots els caràcters de la trama, s'utilitza l'analitzador de paquets Serial Port Monitor. A través d'aquest, s'observa tota la informació que

s’intercanvien l’inversor i la computadora a temps real, i se n’exporten les dades a un bloc de text, en aquest cas, com en la Figura 4.15:

```
[24/07/2019 11:31:09] Written data (COM7)
51 50 49 47 53 b7 a9 0d                                QPIGS·@.
[24/07/2019 11:31:09] Read data (COM7)
28 30 30 30 2e 30 20 30 30 2e 30 20 32 33 30 2e      (000.0 00.0 230.
31 20 35 30 2e 30 20 30 30 34 36 20 30 30 30 36      1 50.0 0046 0006
20 30 30 30 20 34 33 33 20 35 34 2e 31 30 20 30      000 433 54.10 0
30 32 20 31 30 30 20 30 30 33 33 20 30 30 30 32      02 100 0033 0002
20 30 38 33 2e 39 20 35 33 2e 39 39 20 30 30 30      083.9 53.99 000
30 30 20 30 30 30 31 30 31 31 30 20 30 30 20 30      00 00010110 00 0
30 20 30 30 31 35 31 20 31 31 30 9b fc 0d            0 00151 110>ü.
```

Figura 4.15. Comandes en ASCII i hexadecimal de la informació bàsica del WatchPower. Extret del Serial Port Monitor.

Es pot apreciar la comanda d’entrada (*written data*), tant en hexadecimal a la columna esquerra o en ASCII a la dreta, i la conseqüent resposta (*read data*). En l’apartat anterior s’exposa que, el *Carriage Return* (CR) es representa en hexadecimal amb el codi 0D al final d’una trama. Tal i com s’observa en la Figura 4.15, aquest codi **0D** representa el símbol ·@. en ASCII, que feia falta per completar la trama i poder enviar les comandes correctament.

Amb el caràcter ja definit, s’introdueix en el controlador d’escriptura el codi ASCII “QPIGS·@.” (51 49 47 53 b7 a9 0d, hexadecimal). Tot i que les dades resultants varien a temps real, el codi d’entrada ASCII es manté. És per això que s’observa en la Figura 4.16 com una variable constant amb el codi (element rosa) s’uneix al controlador d’escriptura.

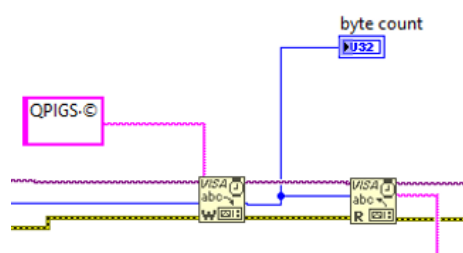


Figura 4.16. Variable constant amb el codi QPIGS enllaçada al controlador d’escriptura.

Una característica d’aquests elements, tan del controlador d’escriptura com de l’indicador de lectura, és la de poder canviar el llenguatge de visualització (ASCII, hexadecimal, codificat). En el present projecte s’ha optat per l’ASCII per visualitzar la resposta, per així obtenir les dades dels paràmetres de WatchPower amb els seus valors reals. En el panell frontal de LabVIEW s’ha organitzat aquest procés a través d’un indicador que mostra els valors esmentats, tal i com s’observa en la Figura 4.17:

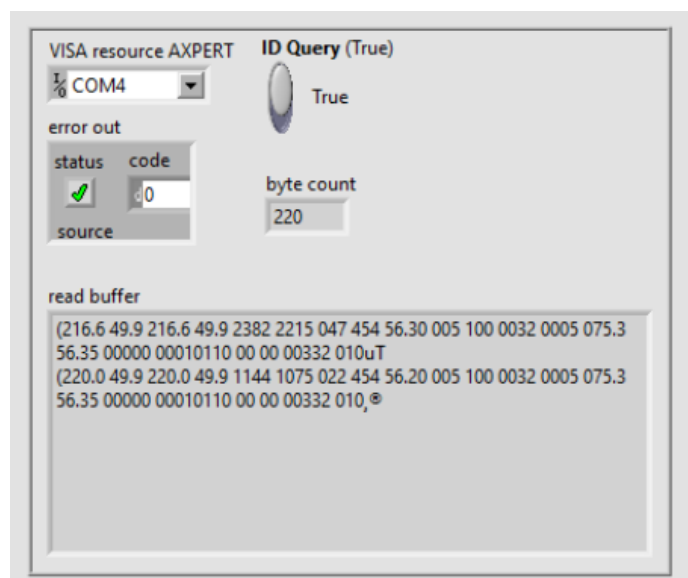


Figura 4.17. Indicador de lectura de l'inversor ubicat al panell frontal de LabVIEW.

Tots aquests números representen les dades a temps real dels paràmetres que formen el sector de *Basic Information* del programa WatchPower. La identificació i l'ordre de seqüència d'aquests valors es poden trobar en els Annexes del projecte.

Tot i que en la imatge s'observen dos grups de comandes (factor que es comenta més endavant), aquest sector està compost per 22 paràmetres diferents. Tot i la importància de conèixer els valors de cada un d'ells, s'han seleccionat 10 d'aquests per a la seva visualització i estudi per tal d'agilitzar el procés d'execució i treballar amb les dades més rellevants. Els paràmetres són els següent:

- Tensió de xarxa
- Freqüència de xarxa
- Tensió de sortida AC
- Potència aparent AC
- Càrrega de sortida (%)
- Tensió de bateria
- Corrent de càrrega de bateria
- Corrent de descàrrega de bateria
- Potència activa de sortida AC
- Descàrrega de bateria (%)

Per obtenir aquests valors s'ha filtrat tota la trama de l'indicador i seleccionat individualment el paràmetre. Per realitzar aquesta filtració i selecció s'ha utilitzat l'element LabVIEW "String Subset". Aquesta funció retorna una subcadena de la cadena d'entrada inicial, que comença en el desplaçament i conté un número de caràcters de longitud definit per l'usuari. [National Instruments]

En la Figura 4.18 s’observa amb més claredat. La trama ubicada en l’indicador de lectura comunica amb cada un dels paràmetres que es volen mostrar. En el cas de “AC aparent power” (potència aparent en AC), la trama sencera entra a la funció *String Subset* i s’especifica que, a partir de l’element 22 de la trama, seleccioni els 5 dígits següents i en representi el valor. El resultat es mostra en el panell frontal de LabVIEW.

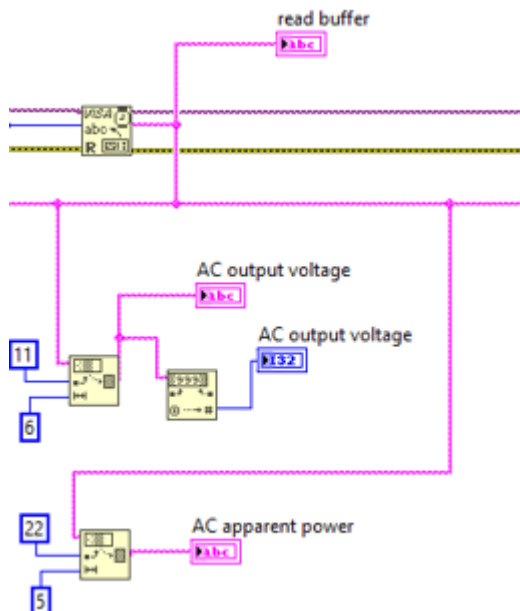


Figura 4.18. Filtrat i selecció dels paràmetres a visualitzar en el panell frontal de LabVIEW.

Pel que fa al “AC output voltatge” (tensió de sortida en AC) i altres paràmetres del sistema, s’ha decidit recopilar totes les dades i representar-les en una gràfica. Des del valor de sortida del *String Subset*, s’ha utilitzat la funció “Decimal string to number function” per transformar aquest valor a un número decimal enter i així representar la gràfica. Un exemple és el de la Figura 4.19:

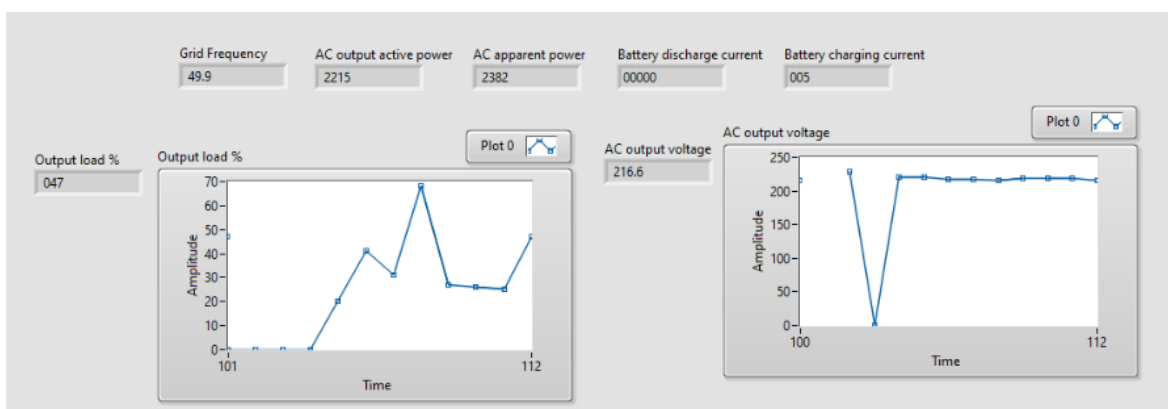


Figura 4.19. Resultats i gràfiques dels paràmetres filtrats. En aquest cas, el voltatge de sortida en AC i el percentatge de càrrega.

- Bloc de control

Amb la visualització constant dels paràmetres, l'objectiu ara és poder enviar ordres a l'inversor. Tant en el menú de configuració del WatchPower com en el manual de protocols de l'inversor, s'observa la gran quantitat d'operacions i canvis de mode operatius que es poden realitzar. Per això, s'han seleccionat dos paràmetres de configuració: Prioritat de càrrega i la prioritat de font de sortida.

Pel que fa a la prioritat de càrrega, existeixen quatre modes i la comanda a enviar s'observa en la Figura 4.20:

3.15 PPCP<MNN><cr>: Setting parallel device charger priority (For 4000/5000)

Computer: PCP<MNN><CRC><cr>

Device: (ACK<CRC><cr> if device accepts this command, otherwise, responds (NAK<CRC><cr>
00 for utility first, 01 for solar first, 02 for solar and utility, 03 for solar only

M is parallel machine num.

Figura 4.20. Prioritat de càrrega. (Inverter Communication Protocol)

El codi ASCII ha d'enviar és "PPCP<MNN>", on la M fa referència al nombre de màquines de les que es disposa. Per defecte es posa el número zero. Aquestes dues N's s'han d'omplir amb els números 00, 01, 02 o 03 per seleccionar el tipus de càrrega que es vol prioritzar, sent aquests tipus els següents:

00- Utility First: Xarxa primer (per defecte)

La xarxa elèctrica carregarà les bateries, la energia solar solament les carregarà quan no hi hagi xarxa.

01- Solar First: Solar primer

La energia solar carregarà les bateries, la xarxa les carregarà quan la energia solar no estigui disponible.

02- Solar and Utility: Solar i xarxa

La energia solar i la xarxa elèctrica carregaran les bateries conjuntament.

03- Only Solar: Només solar

La energia solar serà la única font que carregarà les bateries, no importa que la xarxa estigui disponible.

Pel que fa a la prioritat de font de sortida, existeixen tres modes i la comanda a enviar s'observa en la Figura 4.21:

3.8 POP<NN><cr>: Setting device output source priority

Computer: POP<NN><CRC><cr>

Device: (ACK<CRC><cr> if device accepts this command, otherwise, responds (NAK<CRC><cr>

Set output source priority, 00 for utility first, 01 for solar first, 02 for SBU priority

Figura 4.21. Prioritat de font de sortida. (Inverter Communication Protocol)

El codi ASCII ha d'enviar és "POP<NN>". Aquestes dues N's s'han d'omplir amb els números 00, 01 o 02 per seleccionar el tipus de font de sortida que es vol prioritzar, sent aquests tipus els següents:

00- Utility first: Xarxa primer (per defecte)

La xarxa elèctrica alimentarà les càrregues connectades com a prioritat. La energia solar i les bateries solament alimentaran les càrregues quan la xarxa no estigui disponible.

01- Solar first: Solar primer

La energia solar alimentarà les càrregues. Quan la energia solar no sigui suficient, les bateries alimentaran les càrregues conjuntament. La xarxa elèctrica alimentarà les càrregues si la energia solar no està disponible o la tensió de les bateries esta per sota del nivell d'emergència.

02- SBU (Solar-Bateria-Xarxa)

La energia solar alimentarà les càrregues com a prioritat. Si la energia solar no és suficient, les bateries alimentaran les càrregues al mateix temps. La xarxa elèctrica alimentarà les càrregues sempre que la tensió de bateria estigui per sota dels nivells d'emergència.

Abans de dissenyar l'estructura del bloc, es comprova si les comandes s'envien correctament. El procés a seguir ha estat el mateix que en el bloc de lectura: introduir la comanda PPCP<NN> o POP<NN> i esperar una resposta. Una vegada s'han provat les set comandes, el resultat és negatiu i la computadora no llegeix bé la trama, apareixent el codi NAKs com a resposta, i no s'aconsegueix la comunicació amb l'inversor.

Després d'estudiar i analitzar el problema, es detecta que l'error està en l'obtenció del codi CRC. El fet de tenir una comanda igual, però canviant el final de la trama (00, 01, 02 i 03), provoca que la trama sencera sigui única per a cada mode operacional.

Llavors, per obtenir els resultats òptims s'ha necessitat l'ajuda d'una calculadora CRC online, tal i com mostra la Figura 4.22. Aquestes calculadores ofereixen molts algorismes o estils de resultat depenent del protocol, llenguatge o programa que s'utilitzi.

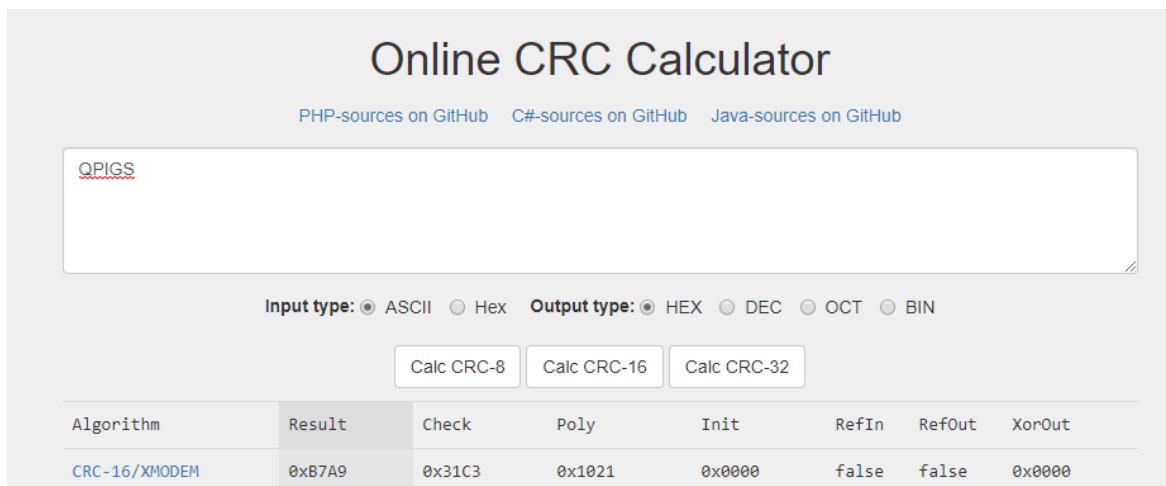


Figura 4.22. Calculadora CRC. (<<CRCCALC>>)

Per descobrir quin és el correcte, s’ha introduït el codi QPIGS en ASCII i, en un dels algoritmes, el resultat en hexadecimal ha estat “0xB7A9”, resultat que coincideix amb el final de la trama de la comanda en hexadecimal (51 50 49 47 53 b7 a9 0d) sense tenir en compte el codi CR, ja que per aquestes comandes d’enviament no és necessari. L’algoritme és l’anomenat “CRC-16/XMODEM”.

Amb l’algoritme seleccionat, es repeteix el mateix procediment amb la resta. S’introdueixen les set comandes en codi ASCII (POP00, POP01, etc) i s’obté el CRC corresponent. Prèviament, a través del controlador d’escriptura del LabVIEW, s’han traduït aquestes comandes a llenguatge hexadecimal, ja que el resultat del CRC ve donat amb aquest estil. Una vegada conegut el CRC, s’ajunta amb la resta de la trama en hexadecimal per la posterior traducció a l’ASCII. El resultat és el següent, sent els dígitos remarcats en vermell els valors del CRC:

Taula 4.1. Trames en ASCII i hexadecimal de les comandes a enviar a l’inversor.

Paràmetres	PPCP		POP	
	HEX	ASCII	HEX	ASCII
00	50 50 43 50 30 30 30 E6 E1	PPCP000æá	50 4F 50 30 30 C2 48	POP00ÂH
01	50 50 43 50 30 30 31 F6 C0	PPCP001öÀ	50 4F 50 30 31 D2 69	POP01Òi
02	50 50 43 50 30 30 32 C6 A3	PPCP002Æ£	50 4F 50 30 32 E2 0B	POP02â□
03	50 50 43 50 30 30 33 D6 82	PPCP003Ö,		

Es pot observar en la Taula 4.1, com la comanda en ASCII del paràmetre POP amb el CRC 02, té al final de la trama un símbol especial característic (un rectangle). Aquest símbol, a través de la calculadora

CRC és il·legible, fent que la comanda no es pugui enviar. Per solucionar el problema s’ha tornat a utilitzar el *sniffer*. Amb l’analitzador de paquets en marxa, s’ha canviat manualment el mode operacional de l’inversor al SBU, s’ha cercat aquest canvi i localitzat la trama correctament escrita. S’ha localitzat fàcilment a través de la comanda en ASCII “ACK9” (*Acknowledge*), que verifica que la trama s’ha enviat a l’inversor correctament. Amb la trama en hexadecimal, s’ha traduït a l’ASCII a través del LabVIEW ja que, tal i com s’observa en la Figura 4.23, el codi en ASCII no està complet.

```
[24/07/2019 11:31:35] Written data (COM7)
    50 4f 50 30 32 e2 0b 0d
[24/07/2019 11:31:35] Read data (COM7)
    28 41 43 4b 39 20 0d
```

POP02â..
(ACK9 .

Figura 4.23. Localització de la comanda SBU extreta del Serial Port Monitor.

Tenint totes les comandes correctament escrites i testejades, es pot finalment dissenyar l’estructura d’aquest bloc en LabVIEW.

Aquest escenari està ubicat en l’interior del mateix *While Loop*. Per poder seleccionar entre el paràmetre de “prioritat de càrrega” i “prioritat de font de sortida” s’ha generat un *Case Structure* a partir d’un controlador del tipus *String* anomenat “Control”, tal i com s’aprecia en la Figura 4.24:

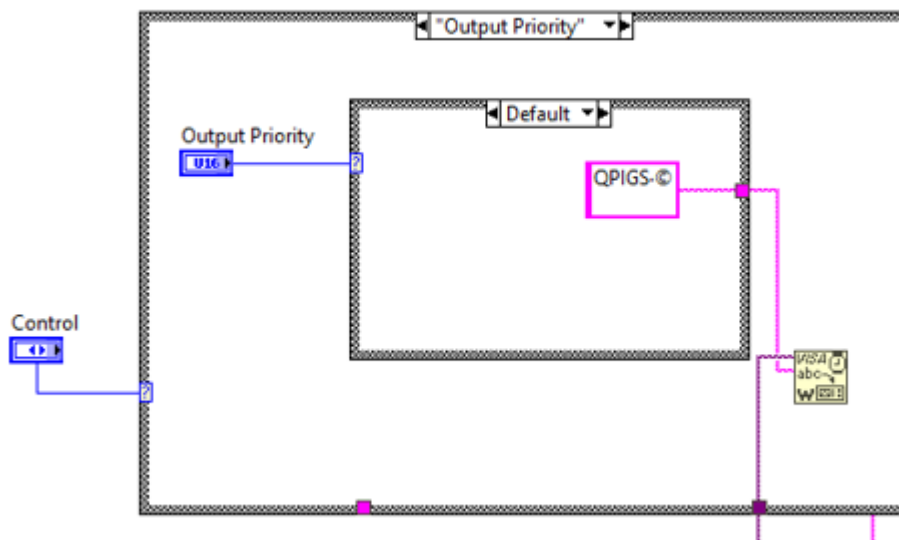


Figura 4.24. Estructura Case Structure per seleccionar el mode operacional i el seu respectiu cas.

En l’interior de l’estructura “Control” s’ha generat un segon *Case Structure* per poder seleccionar els modes operacionals de cada un dels paràmetres. En aquest cas, cada paràmetre està controlat per un menú desplegable per poder seleccionar el mode operacional més fàcilment.

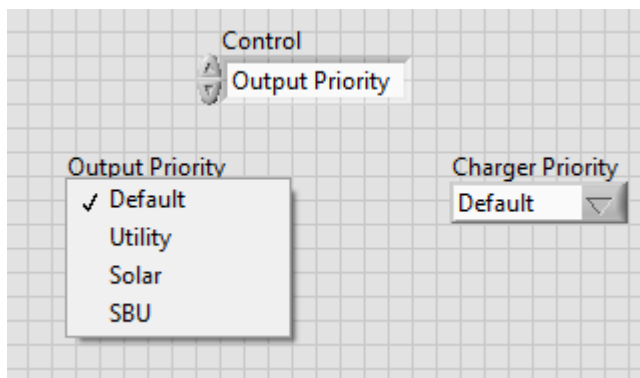


Figura 4.25. Menú desplegable dels dos modes operacionals ubicats al panell frontal de LabVIEW.

Ambdós paràmetres, tal i com es pot observar en la Figura 4.25 superior, tenen una casuística extra en el menú desplegable, el “Default”. Al seleccionar aquest mode, sent el que apareix inicialment per defecte, s’activa la variable constant “QPIGS” que comunica amb la resta del sistema. D’aquesta forma, tot i estar en el bloc de control, si no es selecciona un dels modes operacionals descrits anteriorment, es continuen visualitzant les dades del sector *Basic Information*.

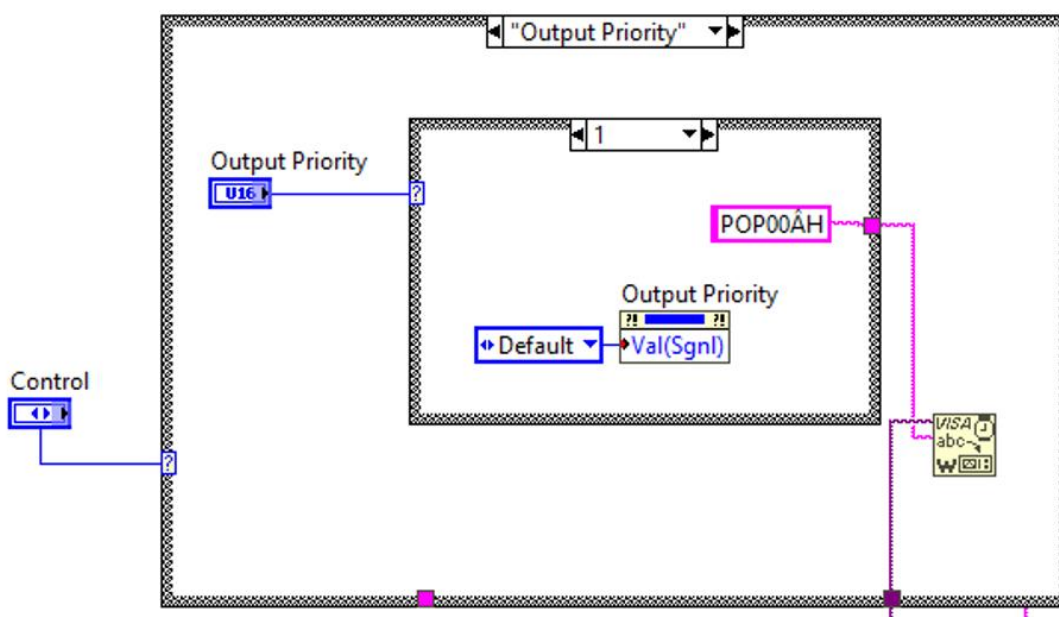


Figura 4.26. Exemple de canvi de mode operacional. En aquest cas, xarxa primer en prioritat de càrrega.

Tots els escenaris referents als modes operacionals, exceptuant el cas “Default”, estan dissenyats de la mateixa forma, tal i com s’observa en la Figura 4.26. En aquest cas, es tracta del paràmetre de “prioritat de font de sortida” i es vol seleccionar el mode *Utility First*.

L'estructura està composta per una variable constant amb el codi ASCII del mode que es vol seleccionar. Aquesta, comunica amb el controlador d'escriptura per tal d'enviar la comanda a l'inversor, esperar la resposta en l'indicador de lectura i observar si efectivament s'ha realitzar l'ordre.

Per tal d'evitar confusions i poder visualitzar de forma continua les dades del controlador, s'ha utilitzat l'element LabVIEW "Value (Signaling)" (Figura 4.27). Aquesta funció actualitza el valor d'un objecte similar a la propietat *Value*. En aquest cas, genera una situació com si l'usuari hagués canviat interactivament el valor de l'objecte en qüestió. [National Instruments]

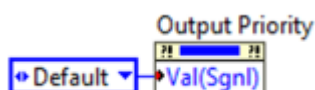


Figura 4.27. Element Value (Signaling) per retornar automàticament al mode Default.

La funció que realitza aquest element en el present treball és la següent: Quan es selecciona un dels set modes operacionals descrits, s'envia l'ordre a l'inversor. Un cop l'ordre s'ha efectuat correctament, l'estructura (en aquest cas *Utility First* del paràmetre *Output Priority*) torna automàticament al cas *Default*. Realitzant aquest retorn automàtic, s'evita la possibilitat de causar distraccions o mal interpretacions per part del controlador, ja que, si no s'efectua aquest canvi, podria estar forçant el canvi de mode operacional contínuament i provocar un error en el sistema.

En aquest apartat doncs, s'ha dissenyat un sistema a partir del LabVIEW per monitoritzar l'inversor Axpert. Mentre que l'usuari pot observar constantment els paràmetres del controlador des del panell frontal del programa, com l'estat de bateries o la tensió de sortida de la xarxa, aquest també pot enviar-li ordres a través de comandes en codi ASCII. Les ordres s'han restringit a canviar la prioritat de càrrega i les fonts de sortida del sistema.



5. Estudi de camp

Amb l'objectiu de comprovar el funcionament del programa LabVIEW i la monitorització de l'Axpert, en aquest punt s'exposen els diversos estudis de camp que s'han realitzat per tal d'observar els resultats que ofereix l'inversor depenent dels paràmetres inicials que s'introdueixen i els canvis que pateix durant el procés.

Cal remarcar que, per facilitar la compilació del programa i l'extracció de dades de les diverses simulacions, l'estructura total del LabVIEW ha patit dos canvis: la incorporació de dos elements *Array* i la reducció d'iteracions en el bucle *For Loop* de l'escenari APS.

Array, traduït al català, significa matriu. Per tal de mantenir un seguiment i poder guardar tots els resultats, s'han implantat dos elements *Array*; un que comunica directament amb l'indicador de lectura del bloc de visualització per observar els paràmetres que envia l'inversor (Lecturas), i un altre que comunica amb el *Case Structure* corresponent al bloc d'ordres per observar quines comandes s'envien a l'inversor (Ordenes).

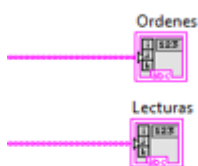


Figura 5.1. Elements Arrays encarregats d'emmagatzemar els resultats d'un assaig.

Com ja s'ha mencionat, l'estructura APS itera més ràpidament que l'estructura de l'Axpert. Degut a la dificultat de sincronitzar ambdós blocs perquè actuïn conjuntament i a temps real, s'ha decidit que el bucle *For Loop* corresponent a les càrregues electròniques realitzi entre 3 i 5 iteracions. Fent aquest canvi, el cicle de l'APS realitza primerament les iteracions designades i, un cop realitzades i amb les dades ja recopilades, comença a treballar el bucle de l'Axpert.

5.1. Estudi estàndard

En aquest apartat s'exposa el funcionament general del programa LabVIEW, mostrant els resultats que es registren, tant els paràmetres de visualització com les comandes que s'envien a l'inversor, i els canvis que experimenta el sistema depenent del mode operacional en el que actua.

A continuació es mostra un exemple on el sistema experimenta un canvi de mode operacional: de SBU a *Solar First* (prioritat de font de sortida).

Si sistema està en marxa, aquest sempre retorna al programa les dades de visualització de manera constant, fent així que la recaptació de resultats no s'aturi. El problema ha sorgit quan s'ha enviat una ordre a l'inversor Axpert.

Com ja s'ha observat en apartats anteriors, quan hi ha un problema en l'enviament de la trama al controlador, aquest retorna la comanda NAKs confirmant l'existència d'un error. En aquest cas, la trama que s'envia a l'inversor no és per visualitzar, sinó per ordenar a l'Axpert una acció; per tant, quan s'envia una ordre a l'inversor, aquest retornarà una comanda confirmant el correcte enviament de la trama o no. Aquesta comanda de confirmació es el codi ASCII "ACK9".

Tenint el sistema en mode SBU, s'ha decidit canviar el mode de font de sortida a *Solar First*. La Figura 5.2 mostra aquest canvi, on el codi ACK apareix en l'indicador de lectura. Això confirma que l'ordre que l'usuari ha enviat a l'inversor s'ha realitzat correctament, però també provoca un greu problema momentani.

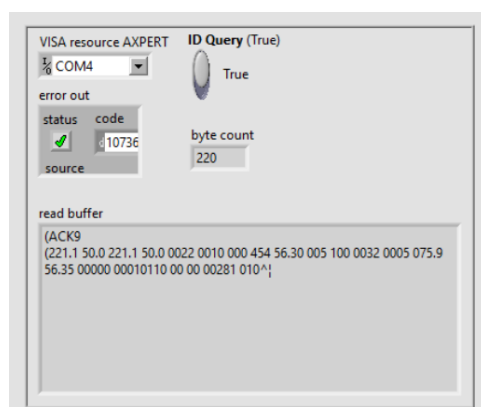


Figura 5.2. Codi ACK confirmant el canvi de mode operacional.

Aquest codi ocupa la part superior de l'indicador de lectura i, per defecte, els paràmetres de visualització llegeixen e interpreten aquest codi de forma errònia, ocasionant durant un curt període de temps valors falsos i gràfiques distorsionades. Aquest error es mostra el la Figura 5.3 següent. S'observa com els lectors de dades tenen els valors desplaçats i que les gràfiques arriben a l'eix d'abscisses (punt 0) degut a la mal interpretació dels resultats.

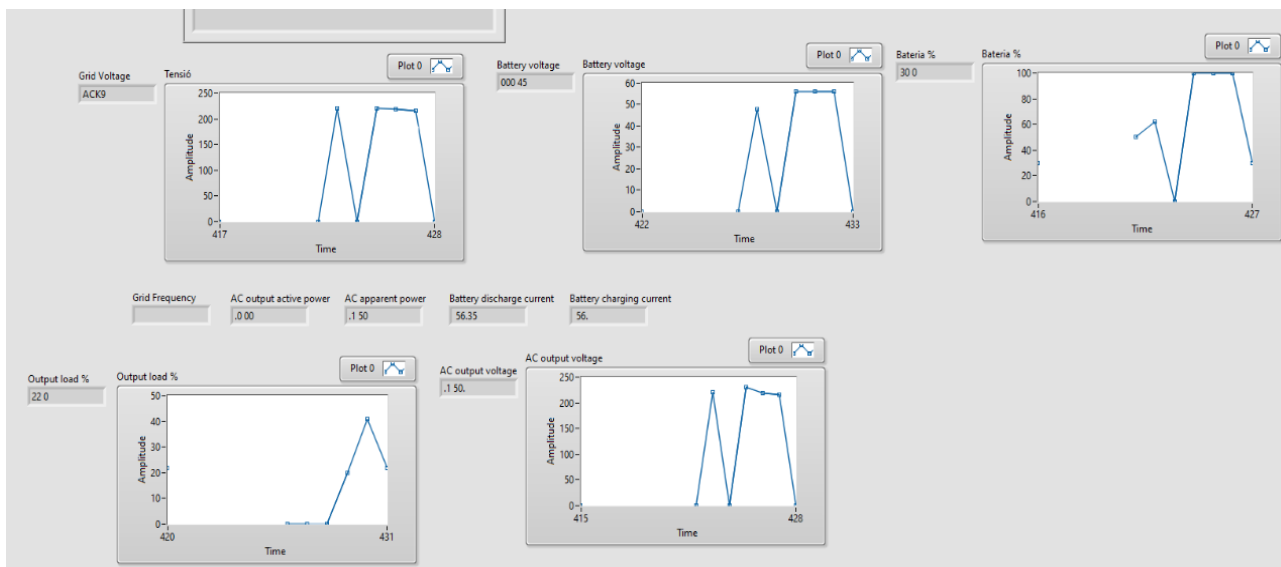


Figura 5.3. Desplaçament de les gràfiques i els indicadors degut a l'error de lectura.

Les gràfiques representen el mode operacional SBU inicial i, quan apareix l'error momentani que afecta als valors, s'inicia la recopilació de dades amb el nou mode.

5.2. SBU & Solar Only

De totes les combinacions possibles, en aquest punt s'exposa l'estudi més interessant a nivell visual i de resultats. Sense canviar de mode operacional en cap moment, el sistema treballa amb una prioritat de font de sortida SBU (solar-bateria-xarxa) i una prioritat de càrrega *Solar Only* (només solar).

L'objectiu de l'estudi és observar els canvis que pateix l'inversor a mesura que els panells fotovoltaics ubicats al terrat de la universitat es desconnecten del sistema.

En el punt anterior, s'ha observat com els canvis de control dels modes operacionals funcionen correctament, per tant, en aquest apartat, es designen directament les prioritats des del programa WatchPower per agilitzar el procés.

L'estudi s'ha estructurat en tres etapes cronometrades en intervals de 5 minuts. La primera s'ha dut a terme amb el 100% de les plaques connectades, la segona amb el 50% de les plaques, i la última sense cap placa connectada al sistema.

Cal mencionar que, després de realitzar aquest estudi en diverses ocasions, s'ha decidit obviar la segona etapa. Degut a la situació climatològica i l'època de l'any en que s'ha dut a terme l'experiment, la radiació solar ha estat sempre molt potent i els dies han estat majoritàriament solejats, pel que la diferència entre tenir totes les plaques connectades a tenir-ne la mitat ha estat insignificant.

Havent transcorregut 5 minuts, la Figura 5.4 mostra els resultats de la primera etapa.

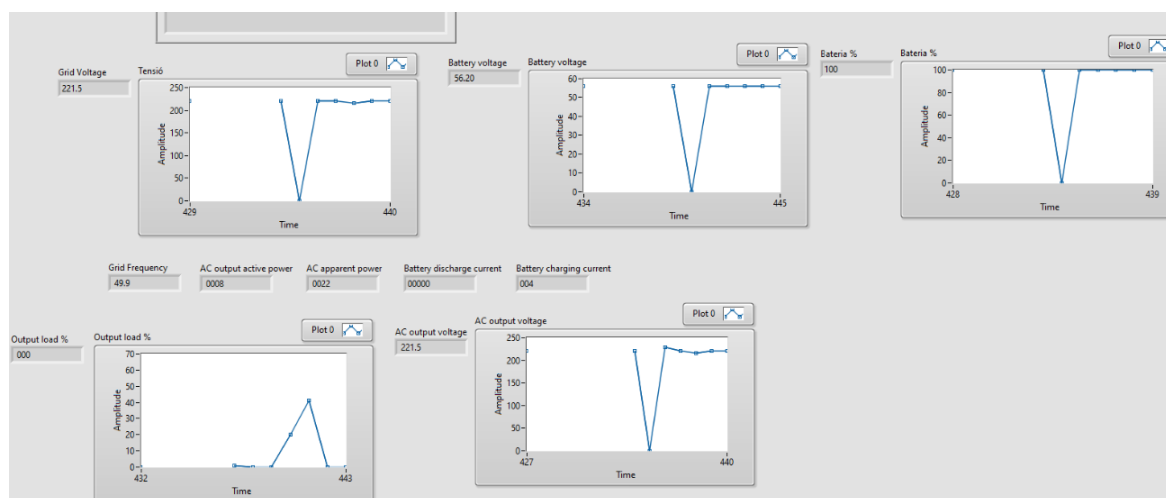


Figura 5.4. Gràfiques en SBU & Solar Only després de 5 minuts d’haver iniciat l’assaig.

Els paràmetres més rellevants d’aquest estudi són els que afecten a les bateries. En aquesta etapa, la capacitat de la bateria és encara del 100%, té una tensió de 56,20 V i, en aquest cas, un corrent de càrrega de 4 A, ja que la bateria s’havia descarregat en estudis previs.

El programa WatchPower té un paràmetre anomenat “*voltage point back to utility source*”, que especifica el valor de tensió al que el sistema, treballant en mode SBU, tornarà a actuar en mode xarxa. En aquest treball, el valor de *point back* està definit en 48 V per defecte; per tant, quan la tensió de la bateria sigui menor a 48 V, automàticament el sistema rebrà corrent de la xarxa.

Començant la següent etapa, es desconnecten totes les plaques fotovoltaïques del sistema, suprimint així la única font de generació. Dos minuts després de la desconexió, s’observa com la capacitat de les bateries disminueix directament del 100% al 65% de la seva capacitat. Això succeeix perquè el sistema d’emmagatzematge està en mal estat i provoca una descàrrega inicial molt agressiva, i és ara la font de sortida prioritària.

Continua la descàrrega de les bateries de forma més estable i lentament. Tres minuts després (5 minuts en total), l’indicador de lectura mostra la trama que s’observa en la Figura 5.5 En aquest punt, on la capacitat de la bateria i la seva tensió són del 57% i 47,90 V respectivament, apareix el codi en ASCII “NAKs”, que a diferència de l’apartat anterior, aquesta comanda no afecta als valors ni a les gràfiques, ja que apareix sota dels paràmetres reals de lectura.

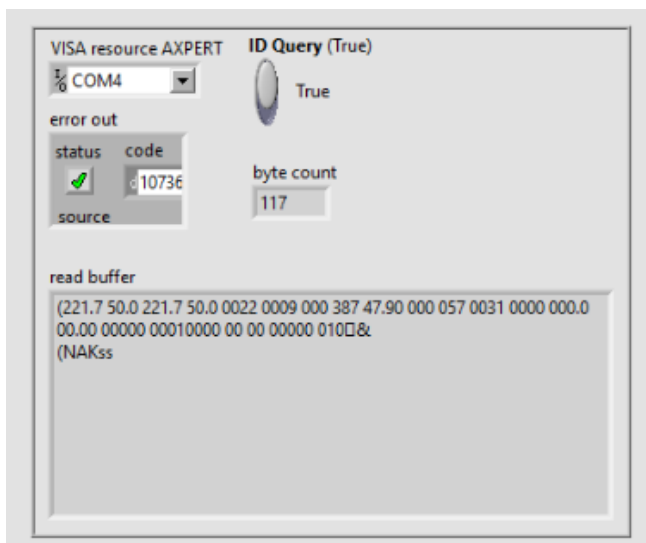


Figura 5.5. Codi NAKs en l'indicador de lectura.

El codi apareix per dos motius:

- 1- La capacitat de la bateria i la seva tensió estan arribant al seu límit i detecta la manca de la font de generació.
- 2- El valor de la tensió de la bateria (47,9 V) és menor que el *point back* (48 V) i el sistema reclama un canvi de mode.

Aquest últim canvi no es pot realitzar ja que el sistema monitoritzat en LabVIEW no permet retornar per defecte a un mode operacional específic; és per això que l'inversor té la capacitat d'avisar a l'usuari, però és aquest qui ha de realitzar el canvi manualment.

En altres estudis s'ha descarregat la bateria fins al 35% per la seva capacitat. En la Figura 5.6 següent, s'observen els resultats del procés després de 5 minuts (15 minuts en total) sense les plaques connectades.

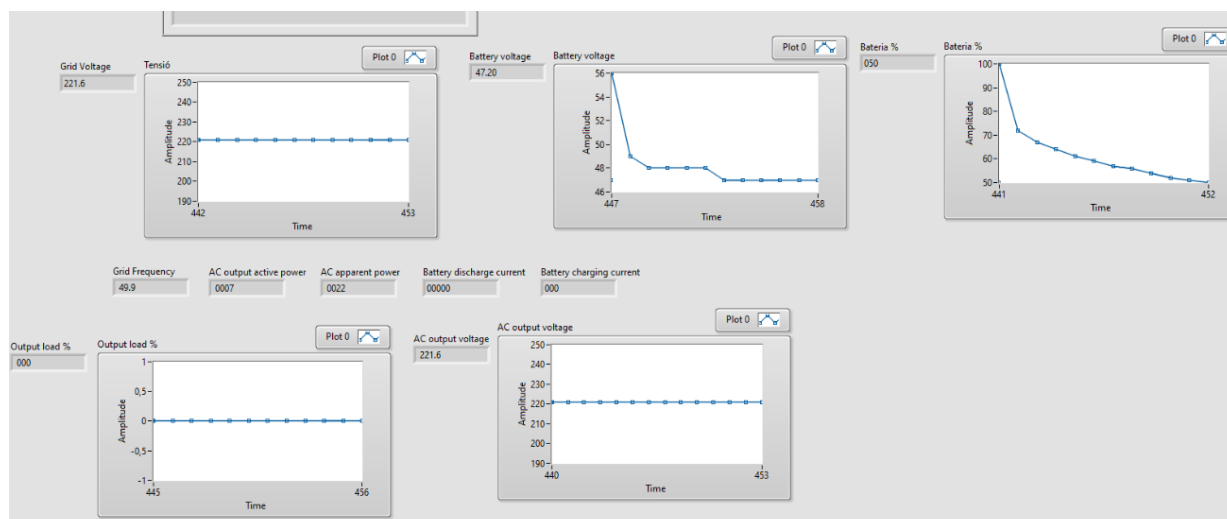


Figura 5.6. Gràfiques en SBU & Solar Only després de 15 minuts d'haver iniciat l'assaig.

Els valors referents a la tensió i potència de sortida de la xarxa es mantenen constants durant tot el procés; en canvi, la capacitat de la bateries és ara del 50%, té una tensió de 47,20 V i no hi ha cap corrent de descàrrega.

Taula 5.1. Paràmetres de l'assaig amb les plaques connectades i desconnectades.

Paràmetres / Plaques fotovoltaïques	Connectades	Desconnectades
Capacitat de la bateria	100%	50%
Tensió de la bateria	56,20 V	47,20 V
Corrent de descàrrega de la bateria	4 A	0 A



6. Impacte Ambiental

Per la realització d'aquest projecte, l'impacte ambiental ha estat mínim durant tot el seu desenvolupament. L'ús de paper ha estat escàs, simplement per prendre alguns apunts, i no s'ha generat cap altre consum en excés dins l'àmbit d'aplicació, és a dir, el laboratori.

Cal remarcar que, no s'ha pogut comptabilitzar la electricitat ni el consum energètic del projecte, ja que els equips utilitzats formen part del laboratori E3PACS de la universitat i s'utilitzen en altres projectes, classes per estudiants o per recerca.

Degut a la falta de temps, el dimensionat final de la micro-xarxa no ha comptat amb la utilització del grup electrogen Genset. Aquest element és el més contaminant del sistema, ja que utilitza combustibles fòssils per la seva generació.

En el cas que s'hagués incorporat aquest element al sistema, a través del programa de disseny HOMER Pro, es poden obtenir els seus valors. Aquests es recullen en la Taula 6.1 següent:

Taula 6.1. Emissions contaminants de la micro-xarxa.

Component contaminant	Emissions (kg/any)
Diòxid de carboni	1137
Diòxid de sofre	2,40
Monòxid de carboni	2,98
Òxids de nitrogen	26,8



Conclusions

A continuació s'exposen les conclusions del projecte extretes de la seva realització durant el quadrimestre de tardor del curs 2018-2019 en el Grau en Enginyeria de l'Energia, a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Es presenten les conclusions a nivells generals i personal i s'analitza un possible treball futur com a continuació del present projecte.

Conclusions generals

Un dels objectius que implica realitzar un treball final de grau és posar en pràctica i demostrar els coneixements adquirits al llarg dels quatre anys de carrera. Es pot afirmar que, durant el desenvolupament del treball, s'han aplicat molts d'aquests conceptes estudiats i se n'han après molts de nous per solucionar els diversos problemes que han sorgint.

L'objectiu principal del projecte ha estat monitoritzar l'inversor Axpert, amb la finalitat de poder enviar ordres i poder rebre els resultats constantment. El disseny de la instal·lació, que s'ha realitzar a partir del programa informàtic HOMER Pro, ha estat un treball específic complementari, i s'ha desenvolupat per tenir una visió general del que suposa dimensionar una micro-xarxa d'aquest estil. Com s'ha mencionat anteriorment, l'objectiu no ha estat en cap moment copiar aquest disseny i aplicar-lo al laboratori E3PACS de la universitat, sinó obtenir un punt de referència econòmic i ambiental de la instal·lació elèctrica i observar la gran diversitat d'escenaris a escollir. Per aquesta raó, els valors introduïts en el programa han estat aproximats i, a través del HOMER, s'ha obtingut la major informació per realitzar l'apartat d'impacte ambiental del present projecte.

L'objectiu principal del projecte s'ha complert, i el control i la monitorització de l'inversor híbrid s'han realitzat perfectament gràcies al diagrama de flux, desenvolupat durant el treball final de grau, verificant així el correcte funcionament de la micro-xarxa. Finalment, el disseny de la micro-xarxa s'ha compostat per les plaques fotovoltaïques ubicades al terrat de la universitat, el banc de bateries del qual disposa el laboratori, les càrregues electròniques APS des d'on s'han exportat els consums d'àmbit domèstic, i l'inversor híbrid Axpert. Degut a la falta de temps, no s'ha incorporat al sistema el grup electrogen Genset.

La monitorització s'ha realitzar mitjançant el programa informàtic LabVIEW, permetent la comunicació amb l'APS i l'inversor Axpert. A partir del programa, s'han pogut obtenir els paràmetres i valors a temps real dels diversos elements que componen la micro-xarxa, així com l'enviament de comandes en codi ASCII a l'inversor, per canviar alguns dels seus modes operacionals.

El programa que incorpora l'inversor, el WatchPower, incorpora molts paràmetres i comandaments que es poden visualitzar i modificar. Es per això que el disseny en LabVIEW ha filtrat tota aquesta informació per automatitzar la utilització de les comandes que permeten verificar els escenaris previstos. Pel que fa als paràmetres resultants, s'han obtingut els valors dels diferents components de la micro-xarxa; com la tensió o corrent de sortida de la xarxa, l'estat de la bateria o el percentatge de càrrega de sortida. En el cas de l'enviament d'ordres, s'han seleccionat únicament dos modes operacionals, la prioritat de càrrega i la prioritat de font de sortida, per tal de reduir la mida de l'escenari i agilitzar el procés d'execució i recaptació de resultats.

L'assaig de monitorització amb LabVIEW ha permès a l'autor del treball observar uns avantatges respecte el programa que incorpora l'inversor, com el fet de poder verificar l'escenari en el que es troba el sistema i poder representar gràficament tots els paràmetres filtrats simultàniament.

Finalment, s'ha verificat el correcte funcionament de la monitorització de l'inversor amb l'enviament de comandes ASCII i la seva conseqüent resposta, confirmant l'acció. A través dels diversos assajos i canvis de mode operacional que s'han enviat a l'inversor Axpert, s'ha pogut analitzar el comportament de la micro-xarxa i observar els resultats a través de la elaboració de gràfiques.

Conclusions personals

La conclusió més rellevant a nivell personal és el coneixement i la experiència adquirida al llarg del projecte, tant en la part teòrica com en l'experimental desenvolupada en el laboratori E3PACS. Durant el transcurs del grau es realitzen molt poques assignatures on la seva part experimental es realitzi en un laboratori, ja que amb un únic ordinador es pot desenvolupar o simular la teoria exposada a classe. Haver pogut realitzar el projecte en el laboratori E3PACS ha permès a l'autor treballar formar-se en l'àmbit de la enginyeria i ampliar els seus coneixements en el sector energètic, elèctric e informàtic.

Degut a la especialitat de l'autor (Energia), ha estat un gran repte personal haver de realitzar tants processos informàtics. Durant el transcurs del grau, solament s'ha realitzat una assignatura referent a la informàtica, i poques altres presenten conceptes relacionats amb comunicacions internes, sistemes elèctrics híbrids, o disseny mitjançant programes informàtics. Tot i això, al finalitzar el projecte, els conceptes informàtics com; el codi ASCII, protocols Modbus o els elements d'una trama CR o CRC, són conceptes que actualment l'autor reconeix, i que ha pogut aplicar de forma pràctica en el desenvolupament de monitoritzar informàticament una micro-xarxa.

Cal mencionar que l'habilitat prèvia de treballar amb els programes HOMER i LabVIEW era molt escassa, ja que solament s'havien utilitzat en un parell d'assignatures com a part pràctica. Actualment,

l'autor pot afirmar que els seus coneixements sobre el funcionament d'ambdós ha millorat de forma exponencial.

Treball Futur

A continuació es presenten algunes suggereixes de millora del present treball i possibles addicions futures:

- Adherir al present projecte, la part experimental d'un treball final de grau ja realitzat, on s'especifica la monitorització del grup electrogen Genset mitjançant el LabVIEW.
- La possibilitat d'afegir al programa algun mode operacional més.
- Degut a l'ambició de l'autor per potenciar les energies renovables, poder realitzar una monitorització del sistema, únicament amb fonts de generació d'origen renovable.

Pressupost

Desglossament de costos

En aquest punt es presenta el cost econòmic de la realització del present projecte. Es desglossen els costos incloent els costos d'enginyeria i els costos de material.

Costos d'enginyeria: Costos referents al personal que realitza el desenvolupament del projecte.

- Director del projecte: Encarregat de definir els objectius i abast del projecte. També s'ocupa de la organització i del seguiment d'aquest.
- Programador: Desenvolupa totes les tasques relacionades amb les eines informàtiques. Així com treballar en diversos programes i llenguatges de programació.
- Enginyer Junior: Encarregat de documentar el projecte.

Taula 0.1. Costos d'enginyeria.

Treballador	Cost (€/h)	Hores treballades (h)	Cost Total (€)
Director del projecte	40	100	4000
Programador	12	200	2400
Enginyer junior	20	400	8000
TOTAL			14250

Costos de material: Costos referents als equips i material utilitzat en la realització del projecte.

Taula 0.2. Costos de material.

Concepte	Cost Total (€)
Material laboratori (inclòs ordinador personal)	2030
Llicència LabVIEW (bàsic)	400
Llicència HOMER Pro	200
Llicència Microsoft Office	99
TOTAL	2729

Cost Total

Taula 0.3. Cost total del projecte.

Concepte	Cost (€)
Costos d'enginyeria	14250
Costos de material	2729
IVA (21%)	3565,59
TOTAL	20544,59

Bibliografia

1. ¿Qué son los sistemas de energía renovable híbridos? - Tecnología Fácil. A: [en línea]. [Consulta: 3 octubre 2019]. Disponible a: <https://tecnologia-facil.com/tecnologia-sustentable/que-son-los-sistemas-de-energia-renovable-hibridos/>.
2. Protocol, D. et al. Inverter Communication Protocol Communication format 1 Inquiry Command A: .
3. Adaptive Power Systems. 3B Series Programmable AC & DC load. A: . 2014,
4. Axpert MKS 1KVA / 2KVA / 3KVA Inversor : Especificaciones Potencia nominal Axpert MKS 1K-24 Axpert MKS 1K-48 Axpert MKS 2K-24 Axpert MKS 3K-24 Axpert MKS 3K-48 Axpert MKS 4K Axpert MKS 5K. A: . p. 230.
5. Alvarez. Módulo fotovoltaico A-320M / A-325M / A-330M (TYCO 3.2). A: [en línea]. 1979, p. 0-1. Disponible a: www.atersa.com.
6. Manual de usuario HUBBER I nversor / cargador / regulador. A: .
7. SOLAR, S. PbAc battery datasheet. A: .
8. Alaminos, J. de et al. Estudio sobre las microrredes y su aplicación a proyectos de electrificación de zonas rurales. A: . 2014, p. 124.
9. Manual, U. WatchPower. A: .
10. Sge, E. Centro Nacional de Información de la Calidad Los Sistemas de Gestión Energética (SGE). A: [en línea]. p. 1-7. Disponible a: https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=88f8ee2e-2656-4e02-aeaa-d081b96f59bd&groupId=10128.
11. Javier Alcojor Gallego. DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO-RED DE 5KVA CON CARGAS DINÁMICAS Y DESEQUILIBRIOS PROGRAMABLES. PARTE I: ESTRUCTURA DE MANIOBRA Y CONTROL DE CARGAS ACTIVAS REGULABLES. A: [en línea]. 2016, p. 250. Disponible a: http://oa.upm.es/43122/1/TFG_JAVIER_ALCOJOR_GALLEGO.pdf.
12. Pérez Fernández, P. Descripción e infraestructura de una microrred para un entorno residencial. A: . 2017, p. 1-105.
13. Software, W.C. Electronic load control software. A: .
14. Partes de un generador eléctrico - Grupos electrogénicos. A: [en línea]. [Consulta: 3 octubre 2019]. Disponible a: <http://grupos-electrogenos.net/partes-generador-electrico/>.
15. Software Modbus - Prueba de desarrollo y comunicación Modbus. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.eltima.com/es/article/modbus-tester-guide/>.
16. Tutorial Modbus ASCII. Probar y convertir protocolo Modbus ASCII. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.virtual-serial-port.org/es/articles/modbus-ascii-guide/>.

17. Qué es el código ASCII? Tabla de caracteres ASCII - Tecnología + Informática. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://tecnologia-informatica.com/que-es-codigo-ascii/>.
18. Protocolo MODBUS. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>.
19. Información Detallada sobre el Protocolo Modbus - National Instruments. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.ni.com/es-es/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>.
20. Sistemas híbridos :: Steca Elektronik GmbH, 87700 Memmingen. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: https://www.steca.com/index.php?Sistemas_hibridos.
21. Sistemas híbridos: eólico y fotovoltaico, ventajas y desventajas - Engimía. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://engimia.com/blog/sistemas-autonomos-hibridos-eolico-y-fotovoltaico-ventajas-y-desventajas>.
22. Grupo Electrogeno: ¿lo que es y para qué sirve? | Grupel Generadores. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://grupel.eu/es/grupel-es/grupo-electrogeno/>.
23. Sonnenschein Dryfit Solar Block SB6/330A. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.off-grid-europe.com/sonnenschein-dryfit-solar-block-sb6-330a>.
24. Placas Solares 320W 24V Monocristalinas A-320M ULTRA ATERSA. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://atersa.shop/panel-solar-a-320m-ultra/>.
25. Microrredes renovables: Caso de Estudio – NORVENTO. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.norvento.com/caso-estudio-microrredes/>.
26. Micro Redes eléctricas Inteligentes • ESMARTCITY. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <https://www.esmartcity.es/2011/03/08/micro-redes-electricas-inteligentes>.
27. Introducción a las Microrredes - CENER - Centro Nacional de Energías Renovables. A: [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2019]. Disponible a: <http://www.cener.com/introduccion-a-las-microrredes/>.



Annex A

- Datasheets

Características eléctricas (STC: 1kW/m ² , 25°C±2°C y AM 1,5)*			
	A-320M	A-325M	A-330M
Potencia Nominal (0/+5 W)	320 W	325 W	330 W
Eficiencia del módulo	16,45%	16,71%	16,96%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,52 A	8,60 A	8,67 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	37,56 V	37,82 V	38,07 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,99 A	9,06 A	9.12 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	46,08 V	46,43 V	46,78 V

Parámetros térmicos	
Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas	
Dimensiones (± 2 mm)	1965x990x40
Peso (± 0,5 kg)	22,5
Área (m ²)	1,95
Tipo de célula (± 1 mm)	Monocristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	72 (6x12)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2 mm
Marco	Aleación de aluminio anodizado o pintado en poliéster
Caja de conexiones	TYCO IP67
Cables	Cable Solar 4 mm ² 1200 mm
Conectores	TYCO PV4

Rango de funcionamiento	
Temperatura	-40°C a +85°C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento / Nieve	2400 Pa (130 km/h)
Máxima Corriente Inversa (IR)	15,1 A

*Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Curvas modelo A-320M

Axpert MKS 1KVA / 2KVA / 3KVA Inversor: Especificaciones							
MODELO	Axpert MKS 1K-24	Axpert MKS 1K-48	Axpert MKS 2K-24	Axpert MKS 2K-24	Axpert MKS 3K-48	Axpert MKS 4K	Axpert MKS 5K
Potencia nominal	1000VA/800W	1000VA/1000W	2000VA/1600W	3000VA/2400W	3000VA/2400W	4000VA/3200W	5000VA/4000W
ENTRADA							
Tensión	230 VAC						
Rango de Tensión Seleccionable	170-280 VAC (Para Ordenadores) 50-280 VAC (Para Electrodomésticos)						
Rango de frecuencia	50 Hz/60 Hz (detección automática)						
SALIDA							
Regulación de voltaje en AC (Modo Bat.)	230VAC ± 5%						
Potencia continua	2000VA		4000VA	6000VA	8000VA	10000VA	
Eficiencia (Máx.)	93%						
Tiempo de transferencia	10 ms (Para Ordenadores) 20 ms (Para Electrodomésticos)						
Forma de onda	Onda sinusoidal pura						
BATERIA							
Tensión Nominal Batería	24 VDC	48 VDC	24 VDC	24 VDC	48 VDC	48 VDC	48 VDC
Tensión de Carga en flotación	27 VDC	54 VDC	27 VDC	27 VDC	54 VDC	54 VDC	54 VDC
Protección de sobrecarga	31 VDC	62 VDC	31 VDC	31 VDC	62 VDC	62 VDC	62 VDC
CARGADOR SOLAR & CARGADOR AC RED							
Máxima potencia fotovoltaica	800 W	800 W	800 W	800 W	800 W	800 W	4000 W
Campo Solar: Rango MPPT @ Tensión de funcionamiento	30 VDC - 68 VDC	60 VDC - 88 VDC	30 VDC - 68 VDC	30 VDC - 68 VDC	60 VDC - 88 VDC	60 VDC - 115 VDC	60 VDC - 115 VDC
Campo Solar: Tensión Máxima en circuito abierto	75 VDC	102 VDC	75 VDC	75 VDC	102 VDC	102 VDC	145 VDC
Campo Solar: Corriente máxima de carga*	25A	18 A	25A	25A	18 A	18 A	80 A
Red Eléctrica: Corriente máxima de carga*	20 A	15 A	30 A	30 A	15 A	15 A	60 A
Corriente máxima de carga	25A	18 A	30 A	30 A	18 A		140A
Eficiencia máxima	98%						
Consumo de energía en modo Standby	2 W						
DIMENSIONES Y PESO							
Dimensiones, L x W x H (mm)	100 x 272 x 355						
Peso neto (kg)	6,8		7,0		7,4		11,0
ENTORNO OPERATIVO							
Humedad Relativa	5% hasta 95% Humedad Relativa (Sin condensación)						
Temperatura de funcionamiento	0°C hasta 55°C						
Temperatura de Almacenaje	-15°C hasta 60°C						

* La selección de la fuente de carga solo está disponible para sistemas a 230 VAC.

Technical characteristics and data

Type	Part number	Norm. voltage	Nominal capacity C_{200}	Discharge current	Length (l)	Width (b/w)	Height up to top of cover (h1)	Height including connectors (h2)	Weight	Terminal	Terminal position
		V	1.80 Vpc 20 °C Ah	I_{100} A							
SB 6/200 A	NGSB060200HS0CA	6	200	2.00	246	192	254	275	29.0	A-Terminal	4
SB 6/330 A	NGSB060330HS0CA	6	330	3.30	312	182	337	359	47.0	A-Terminal	4
SB12/60 A	NGSB120060HS0CA	12	60.0	0.60	278	175	-	190	19.0	A-Terminal	1
SB12/75 A	NGSB120075HS0CA	12	75.0	0.75	330	171	214	236	26.5	A-Terminal	2
SB12/100 A	NGSB120100HS0CA	12	100	1.00	513	189	195	223	36.5	A-Terminal	3
SB12/130 A	NGSB120130HS0CA	12	130	1.30	513	223	195	223	45.5	A-Terminal	3
SB12/185 A	NGSB120185HS0CA	12	185	1.85	518	274	216	238	62.5	A-Terminal	3

Capacities $C_1 - C_{100}$ (20 °C)

Type	C_1 1.70 Vpc	C_5 1.70 Vpc	C_{10} 1.70 Vpc	C_{20} 1.75 Vpc	C_{100} 1.80 Vpc
SB 6/200 A	104	153	162	180	200
SB 6/330 A	150	235	260	280	330
SB12/60 A	34.0	45.0	52.0	56.0	60.0
SB12/75 A	48.0	60.0	66.0	70.0	75.0
SB12/100 A	57.0	84.0	89.0	90.0	100
SB12/130 A	78.0	101	105	116	130
SB12/185 A	103	150	155	165	185

INVERTER MODEL	1KVA	2KVA	3KVA
Rated Output Power	1KVA/0.8KW	2KVA/1.6KW	3KVA/2.4KW
Output Voltage Waveform	Pure Sine Wave		
Output Voltage Regulation	230Vac±15%		
Output Frequency	50Hz		
Peak Efficiency	>90%		
Overload Protection	5s@≥150% load; 10s@110%~150% load		
Surge Capacity	2* rated power for 5 seconds		
Nominal DC Input Voltage	12Vdc	24Vdc	
Cold Start Voltage	11.5Vdc	23.0Vdc	
Low DC Warning Voltage			
@ load < 20%	11.0Vdc	22.0Vdc	
@ 20% ≤ load < 50%	10.7Vdc	21.4Vdc	
@ load ≥ 50%	10.1Vdc	20.2Vdc	
Low DC Warning Return Voltage			
@ load < 20%	12.5Vdc	23.0Vdc	
@ 20% ≤ load < 50%	11.2Vdc	22.4Vdc	
@ load ≥ 50%	10.6Vdc	21.2Vdc	
Low DC Cut-off Voltage			
@ load < 20%	10.5Vdc	21.0Vdc	
@ 20% ≤ load < 50%	10.2Vdc	20.4Vdc	
@ load ≥ 50%	9.6Vdc	19.2Vdc	
High DC Recovery Voltage	14Vdc	29Vdc	
High DC Cut-off Voltage	15Vdc	30Vdc	
No Load Power Consumption	<15W	<20W	
Saving Mode Power Consumption	<5W	<10W	



- Consums exportats

7,65217391
5,34782609
11
8
8,04347826
18
7,13043478
6,86956522
6,86956522
6,56521739
12,5217391
5,92753623
5,4057971
10,173913
11,4782609
9,73913043
9,2173913
6,7826087
7,04347826
6,43478261

5,2173913
6,04347826
5,95652174
3,17391304
2,95652174
8,43478261
6,66666667
15,7826087
17,7391304
12,6086957
19
6,23188406
14,7391304
8,65217391
8,04347826
7,53623188
8,60869565
13,6521739
10,0869565
6,56521739
8,43478261

6,26086957
7,47826087
7,30434783
5,65217391
7,39130435
6,60869565
5,39130435
6,95652174
19,826087
7,01449275
11,3913043
9,34782609
14,9565217
9
9,08695652
4,43478261
7,73913043
5,91304348

- Codis LabVIEW

