

BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO

GRADU AMAIERAKO LANA

**INSTALAKUNTZA FOTOVOLTAIKOAK
EMULATZEKO SISTEMA ITURRI
PROGRAMAGARRIEN BIDEZ**

Ikaslea	<i>Brao Casado, Julen</i>
Data	<i>Bilbao, 2018-06-18</i>
Zuzendaria	<i>Mazón Sainz-Maza, Javier</i> <i>Planas Fullaondo, Estefanía</i>
Ikasturtea	<i>2017 / 2018</i>

GRADU AMAIERAKO LANAREN OINARRIZKO DATUAK

- Ikaslea: Julen Brao Casado
- Irakaslea: Javier Mazón Sáinz-Maza, Estefanía Planas Fullaondo
- Saila: Ingeniaritza Elektrikoa
- Lanaren Izenburua: Instalakuntza fotovoltaikoak emulatzeko sistema iturri programagarrien bidez.
- Laburpena: Dokumentu honetan, lehenbizi, azken urteetan energia berriztagarrien inguruan egon den eboluzioa aztertzen da, bereziki, eguzki energia fotovoltaikoan zentratuz. Gainera, energia mota horri buruz gehiago ikasi eta ikertu nahiaz, tentsio-iturri programagarri baten erabilera egingo da. Honekin, instalakuntza fotovoltaikoen sistema eta egoera ezberdinak programatu eta emulatuko dira.

- Título: Sistema de emulación de instalaciones fotovoltaicas mediante fuentes programables.
- Resumen: En este documento, para empezar, se analiza la evolución de las energías renovables en los últimos años, especialmente de la energía solar fotovoltaica. Además, con la intención de aprender más sobre este tipo de energía, se hará uso de una fuente de tensión programable. Ésta se usará para programar y emular diferentes tipos de instalaciones fotovoltaicas.

- Title: Emulation system of photovoltaic installation using programmable power sources.
- Abstract: This text, first of all, shows the evolution of renewable energies during the last years, especially about solar photovoltaic energy. Besides, with the aim of learning more about this type of energy, a programmable power source will be used. This will be used to program and emulate different types of photovoltaic installations.

Aurkibidea

GRADU AMAIERAKO LANA	1
GRADU AMAIERAKO LANAREN OINARRIZKO DATUAK	3
Aurkibidea.....	4
AKRONIMOEN ZERRENDA.....	6
IRUDIEN ZERRENDA.....	7
TAULEN ZERRENDA.....	9
1 Sarrera	10
2 Testuingurua	11
2.1 Energia berriztagarrien bilakaera	11
2.2 Eguzki energia fotovoltaikoa	14
2.3 Merkatuaren analisisa	16
2.4 Energia-iturriak	17
3. Helburuak eta irispena	19
3.1 Helburuak.....	19
3.2 Irispena	19
4. Proiektuaren onurak.....	20
4.1 Onura teknikoak	20
4.2 Gizarte-onurak	20
4.3 Onura ekonomikoak	21
5. Alternatiben analisisa	22
5.1 Alternatibak	22
5.1.1 Software bidezko entsegua	22
5.1.2 Software eta hardware bidezko entsegua.....	24
5.1.3 Hardware bidezko entsegua (Test cells).....	26
5.2 Irizpideak.....	27
5.2.1 Mota.....	27
5.2.3 Etapa	28
5.2.4 Abantailak eta desabantailak.....	28
5.3 Soluzioa	30
6. Soluzioaren azalpena	31
6.1 Tentsio-iturri programagarria.....	31
6.1.1 APS DCP 150-8 ezaugarriak	32

6.1.2	Operazio-moduak	33
6.2	Inbertsorea	34
6.2.1	StecaGrid 300 ezaugarriak	35
6.3	Erregulagailua	36
6.3.1	Steca Solsum 6.6F-ren ezaugarriak	37
6.4	Bateria.....	38
6.4.1	Kaise KB1270s ezaugarriak	38
7.	Metodologia	39
7.1	Prozedura.....	39
7.1.1	Komunikazioa ordenagailu eta iturriaren artean	39
7.1.2	Programazioa	40
7.2	Saiakuntzak.....	41
7.2.1	Xafla bakarraren emulazioa	41
7.2.2	Instalazio baten emulazioa	43
7.2.3	Sistema isolatuaren emulazioa	46
8.	Lanen deskribapena. GANTT.....	47
9.	Gastuen zuriketa.....	49
9.1	Barne-orduak	49
9.2	Amortizazioak.....	49
9.3	Gastuak.....	49
10.	Ondorioak.....	51
11.	Bibliografia.....	53
12.	Eranskinak	54

AKRONIMOEN ZERRENDA

AC *Alternating Current*

DC *Direct Current*

HIL *Hardware-In-The-Loop*

IRENA *International Renewable Energy Agency*

LED *Light-Emitting Diode*

MPPT *Maximum Power Point Tracking*

RCP *Rapid-Control-Prototyping*

SD *Secure Digital*

IRUDIEN ZERRENDA

2.1. Irudia – Energia berriztagarrien gorakada 2005-2016 urte bitartean	11
2.2. Irudia – Erabilitako teknologia berriztagarrien portzentai aldakuntza 2005 eta 2017 urteen artean	11
2.3. Irudia – Energia berriztagarri/konbentzionalen eboluzioa eta sorkuntza elektrikoari lotutako CO2 emisioak	12
2.4. Irudia – Zentral fotovoltaiko baten instalakuntza	13
2.5. Irudia – Zelula fotovoltaiko baten osaera	14
2.6. Irudia - Zelula fotovoltaikoen prezioen aldakuntza	15
2.7. Irudia – Eguzki energia fotovoltaikoaren potentziak munduan	16
5.1. Irudia – MIL testaren prozesu diagrama	22
5.2. Irudia – Rapid-Contol-Prototyping (RCP) saiakuntzaren prozedura	24
5.3. Irudia – Hardware-in-the-loop (HIL) saiakuntzaren prozedura	25
5.4. Irudia – Alternatiba guztien prozesu orokorra	26
6.1. Irudia – APD DCP 150-8 iturri programagarria	31
6.2. Irudia - StecaGrid 300 inbertsorea	34
6.3. Irudia - Steca Solsum 6.6F erregulagailua	36
6.4. Irudia – Kaise KB1270s bateria	37
7.1. Irudia - APS DC Power Supply Gui softwarea	38
7.2. Irudia - STP175s I-V kurbak	41
7.3. Irudia - STP175s P-V kurbak	41
7.4. Irudia - STP175s T aldaketaren eragina	41
7.5. Irudia - ISF145 kurba karakteristikak (4 serie, 500 W/m ²)	43
7.6. Irudia – ISF145 MPPT-ren jarraipena (4 serie, 500 W/m ²)	43
7.7. Irudia – STP175 kurba karakteristikak (2 serie, 800 W/m ²)	44
7.8. Irudia – STP175 MPPT-ren jarraipena (2 serie, 800 W/m ²)	44
7.9. Irudia – ISF145 kurba karakteristikak (3 serie, 700 W/m ²)	44

7.10. Irudia – STP175 kurba karakteristikak (2 serie, 1000 W/m ²)	44
8.1. Irudia – GANTT diagrama	47

TAULEN ZERRENDA

5.1. Taula – Alternatiben konparaketa	28
6.1. Taula – Iturri programagarriaren sarrera espezifikazioak	31
6.2. Taula – Iturri programagarriaren irteera espezifikazioak	32
6.3. Taula – Inbertsorearen sarrera espezifikazioak	35
6.4. Taula – Inbertsorearen irteera espezifikazioak	35
6.5. Taula – Erregulagailuaren ezaugarriak	36
6.6. Taula – Bateriaren ezaugarriak	37
9.1. Taula – Barne orduak	49
9.2. Taula – Amortizazioak	49
9.3. Taula – Gastuak	49
9.4. Taula – Kostua osotasunean	49

1 Sarrera

Dokumentu honetan *Instalakuntza fotovoltaikoak emulatzeko sistema iturri programagarrien bidez* Gradu Amaierako Lana (GRAL) aurkezten da, non tentsio-iturri programagarrien funtzionamendua aztertuko den xafla fotovoltaikoen emulazioaren kasurako. Horrez gain, energia fotovoltaikoaren inguruan ere sakonduko da, gaur egungo egoera analizatuz, prozesua eta funtzionamendua aztertuz eta emulazioan lortutako emaitzak ikusiz.

Azalpena egokia izan dadin, aurkibidean adierazitako puntu guztiak azalduko dira, lehenik eta behin energia fotovoltaikoa eta energia-iturriak analizatuko dira testuinguruan. Proiektuaren helburuekin eta irispenarekin jarraituz, lan honekin lortuko diren onurak adieraziko dira.

Behin alternatiba guztien analisia eginda, hautatutako soluzioaren azalpena egingo da. Horrekin, informazioa nahikoa izango da metodologia puntuan proiektu honetan burututako lana azaltzeko.

Proiektua hasten denetik, dokumentu hau garatu eta entregatu egiten den arteko prozesu guztia GANTT diagrama baten azalduko da, pausu guztiak adieraziko direlarik. Gainera, denbora tarte horretan behar izaneko gastuen zuri-keta ere egingo da.

Azkenik, aurkeztutako informazio guztia laburtuko da eta ateratako ondorioak zerrendatuko dira lanaren ideia labur eta zehatzagoa izateko asmoz. Horrekin batera, informazio-iturriak eta erabili diren tresnen espezifikazio-orriak erantsiko dira.

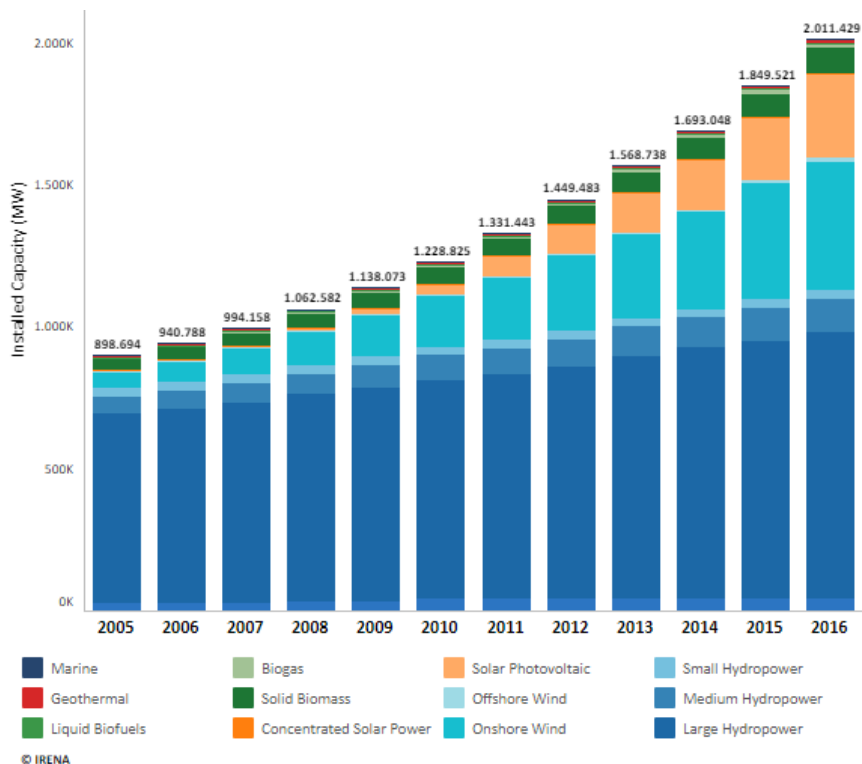
2 Testuingurua

2.1 Energia berriztagarrien bilakaera

Azken urteetan munduko biztanleria asko hazi da eta ondorioz, kontsumitu beharreko energia edota instalatutako potentzia igotzea ekarri du. Hori dela eta, sorkuntza elektrikoa ahalbidetuko duten sistemak garatzen ari dira. Ez hori bakarrik, gizartearen ikuspuntua ere aldatu egin da, eta hortaz, ez da soilik sistema efiziente bat lortu behar, baizik eta ingurumen inpaktu txikia izango duena baita ere. Azken hamarkada honetan indarra hartu duten teknologiak, eta esandako baldintzak betetzen dituztenak, energia berriztagarriak dira. Honako hauek, iturri naturaletatik lortzen direla eta birsorkuntza amaigabea dutela oinarritzat daukate. Aipatutako iturri nagusi horiek lau izango lirateke:

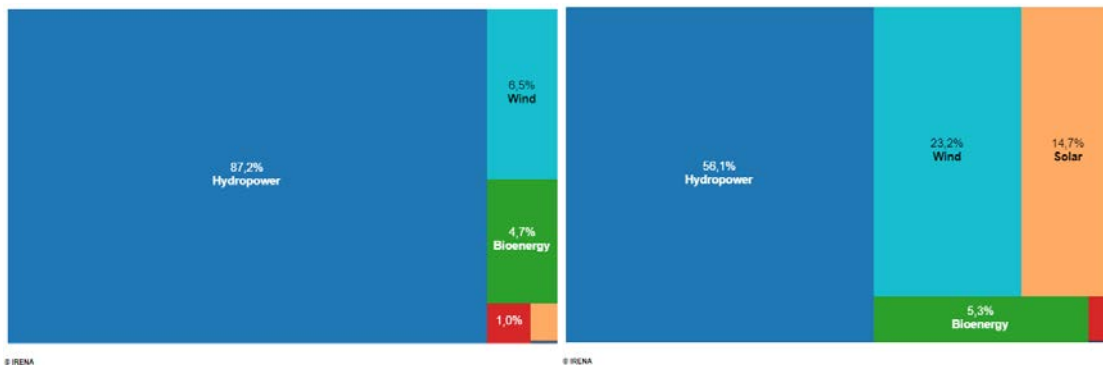
- **Ura.** Batez ere zentral hidroelektrikoen bitartez lortzen da energia, nahiz eta azkenaldian aurrera pausuak eman diren olatu eta itsasaldi teknologietan.
- **Haizea.** Honen energia zinetikoa energia elektrikoa bihurtzen da aerosorgailuen bidez, ezagutzen den energia eolikoa da. Garatuena, Onshore (lurralde barruan) egin izan da baina gaur egun Offshore (lurraldetik kanpo) ere instalatzen ari da.
- **Eguzkia.** Bi teknologia bereizi daitezke batez ere, fotovoltaikoa eta termosolarra. Biak latitude kokapenarekiko eta klimarekiko menpe egongo da.
- **Biomasa.** Jatorri biologikoa duten osagaien errektuntzan oinarritzen da.

Hurrengo 2.1 irudian, International Renewable Energy Agency-k (IRENA) emandakoa, isladatu egiten da aipatu den energia berriztagarrien gorakada mundu mailan.



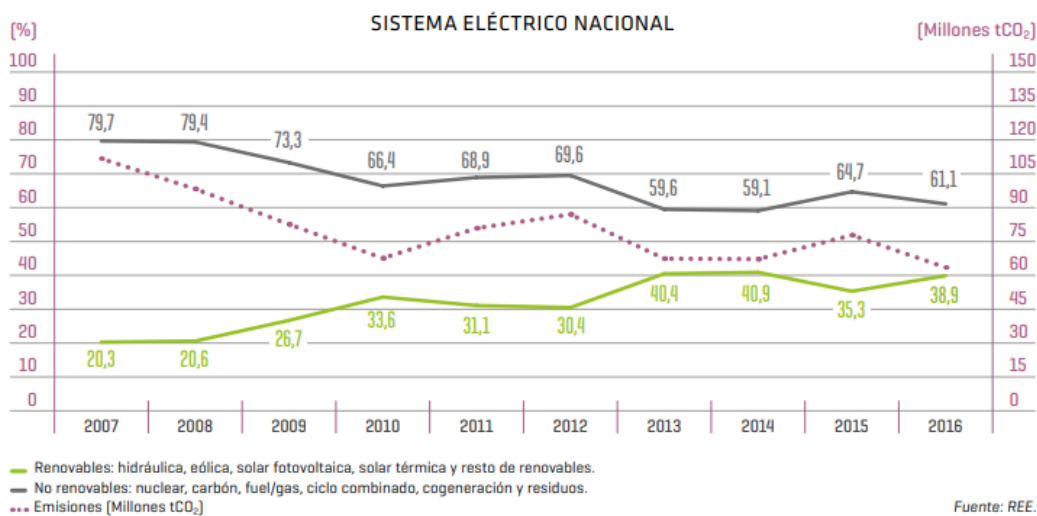
2.1. Irudia – Energia berriztagarrien gorakada 2005-2016 urte bitartean.

Grafika aztertuz, sorkuntza hidroelektrikoa eta biomasa betiko balioetan mantentzen direla esan daiteke. Berriz, instalatutako potentzia aztertuz, gehien handitu diren teknologiak, eolikoa eta eguzki energia fotovoltaikoak izan dira, hain zuzen ere, eolikoak 2005ean zuen instalatutako potentzia 58.712 MW-koa zen eta 2016an 467.165 MW-etara heldu zen; fotovoltaikoaren kasuan, 4.977 MW-etatik 295.953 MW-etara handitu egin da. Nola aldatu den erabilitako teknologia berriztagarri bakoitzaren portzentaia 2005 eta 2017 urteetan ere interesgarria da. Kasu honetan nabarmentzen da bi sorkuntza sistema horiek hartu duten indarra mundu mailan; energia eolikoa %6,5 etik %23,2 -ra igoz; eguzki energia fotovoltaikoa %0,6 tik %14,7 -ra. Esandakoa hurrengo 2.2 irudian ikus daiteke:



2.2. Irudia – Erabilitako teknologia berriztagarrien portzentai aldakuntza 2005 eta 2017 urteen artean.

Espania mailan 2007 eta 2016 urteen arteko datuak kontutan hartuz, CO₂-ari dagozkion emisioak eta energia berriztagarriei esker saihestutako kantitateak adieraziko dira. Berriztagarrien hazkuntza progresiboak, erregai fosilen zentral elektrikoen ordezkapena ahalbidetu du, emititutako gas kutsakorren balioak jaitsiz. 2016. urtean CO₂ emisioak 63,5 milioi tonatan kokatu zen, aurreko hamarkadarekin konparatuz inoiz lorturiko kantitate txikiena izanik. Hain zuzen ere, 2015. urteko balioekin alderatuta %18,3-ko beherapena ekarriz, eta %43,1-ekoa 2007an emititu ziren 100 Mt CO₂-arekin konparatuz. Datu hauek indar gehiago ematen die energia berriztagarriei, kontutan hartzen bada industria, kotxe, biztanleria gehiago egon arren, emisioak murrizteko gai direla.



2.3. Irudia – Energia berriztagarri/konbentzionalen eboluzioa eta sorkuntza elektrikoari lotutako CO₂ emisioak.

Azken urteotan energia berriztagarrien egoera aztertuta, ondoriozta daiteke energia eolikoa eta fotovoltaikoa gailentzen direla beste guztien artean. Gainera, energia fotovoltaikoak abantailen artean hauek azpimarratzen dira:

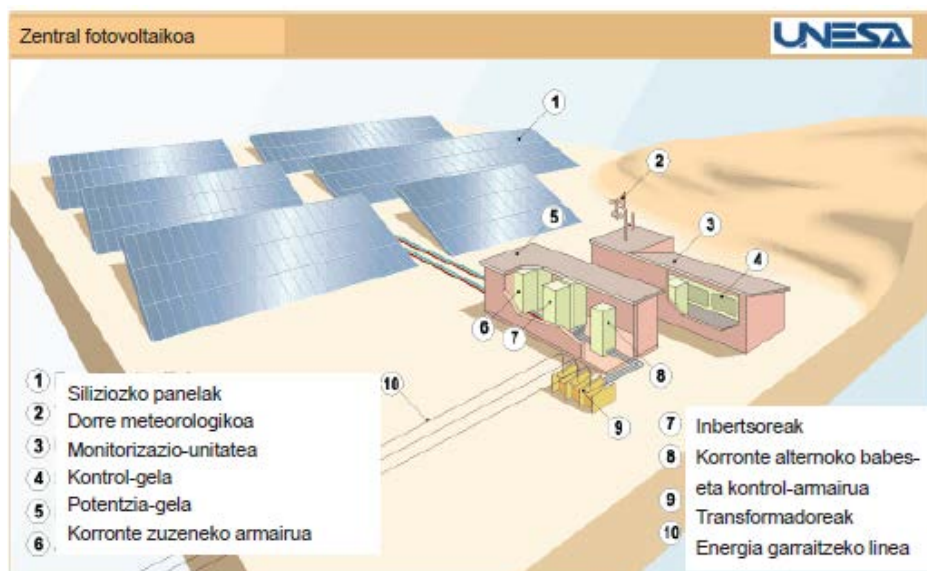
- Lehengiaia eguzkia denez, energia-iturri amaigabea da.
- Energiaren sorkuntza ez du ingurumena kutsatzen, ez baitu inolako emisiorik.
- Operazio- eta mantenu-kostuak oso baxuak dira.
- 20 urte inguruko bizitza erabilgarria dute.
- Sare-elektrikoa heltzen ez den lekuetan instalatzeko aproposa da.
- Eraikuntzetan integra daitezke.

- Mugimendu mekanikorik ez dagoenez, ez dute zarata ez-desiragarririk sortzen.
- Teknologiaren garapenari esker, kostuak behera joateko joera dute.

Beraz, lan hau energia fotovoltaikoetan oinarrituko da eta bere erabilera garatzeko eta ikasteko tresna bat proposatuko da.

2.2 Eguzki energia fotovoltaikoa

Eguzki energia fotovoltaikoa eguzki-erradiazioa elektrizitatea sortzeko aprobetxatzen duen teknologia da zelula fotovoltaikoen bitartez. Sortutako korrante elektrikoa zuzena da, beraz, alderanzgailu baten edo alderanzgailu-talde baten beharra izango da korrante alternora bihurtzeko, bai autokontsumorako, baita sare elektrikora sartzeko erabili nahi bada ere.



2.4. Irudia – Zentral fotovoltaiko baten instalakuntza.

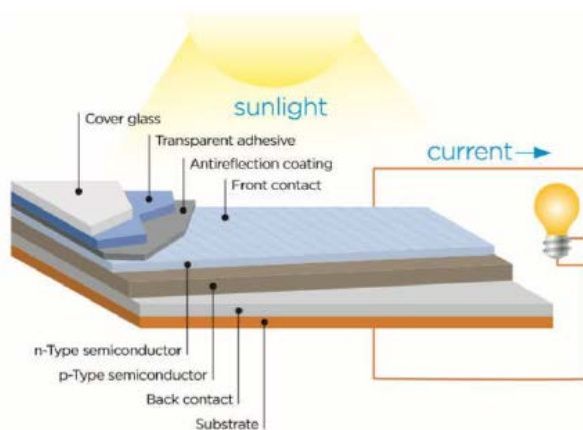
Instalakuntza fotovoltaiko baten funtzionamendurako kontutan hartu beharreko 5 osagai garrantzitsuenak, hurrengoak dira:

- **Xaflen eremua.** Modulu fotovoltaikoen taldekatzea izango da, zeinek seriean edo paraleloan konektatuz, nahi den potentzia gailurra lortuko den.
- **Kable-sarea.** Modulu, xafla ezberdinen, alderanzgailuen eta sarerako konexiorako bitartean beharrezkoak diren kableak osatzen dute.

- **Alderanzgailua.** Moduluek sortutako korrante zuzena altxatzen dute sarera konexioa ahalbidetzeko.
- **Transformadoreak.** Sortutako tentsioaren aldaketa ahalbidetzen dute, sare elektrikoan garraiatu nahi bada beharrezko balioetara moldatuz.
- **Monitorizazioa.** Instalakuntza fotovoltaikoan beharrezko diren elementuen funtzionamenduaren erregistroa gauzatzen da, akatsak, errendimenduaren jarraipena egiteko, etab.

Ondoren, era sinplean, zelula fotovoltaikoen funtzionamenduaren azalpena egingo da. Ereku elektrikoa sortzeko PN lotura erdieroale bat eraikitzen da eta argi-fluxuaren fotoien eraginez elektroiak mugiaraziko dira, korrante zuzen bat lortuz. Zelula hauen tentsioa 0,4-0,5 V bitartekoa izango da, horregatik serieko konexioa erabiltzen da modulu fotovoltaikoak sortuz, 6-24 V artean edukiko dutenak. Materialari dagokionez, nahiz eta aniztasun ugaria egon, gehien erabiltzen direnak zilizio kristalinokoak dira. Honako hauek prezio-errendimenduagatik mota ezberdinetan aurki daitezke:

- **Silizio amorfoa.** Errendimendu gutxien (%2-7 bitartekoa) eta ondorioz merkeenak dira. Merkaturatu ziren lehen mota izan zen.
- **Silizio polikristalinoa.** Errendimendu hobea lortzen dute (%14 ingurukoa) eta instalakuntza arruntetan gehien erabilitakoak dira.
- **Silizio monokristalinoa.** Errendimendu altuenak ematen dute (%16-18) garestienak izatera bihurtuz.



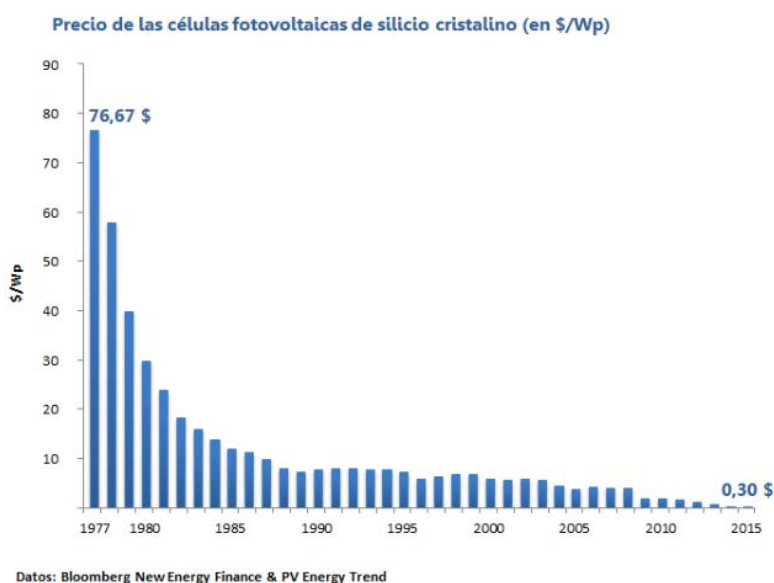
2.5. Irudia – Zelula fotovoltaiko baten osaketa.

Behin energia berriztagarrien eta eguzki energia fotovoltaikoaren funtzionamendurako azalpena eginda, honen merkatuaren analisia egiten da.

2.3 Merkatuaren analisia

Analisi hau hasteko, ezinbestekoa da berriz ere gogoratzea gizarteak jaso duen aurrerapena teknologiar dagokionez azken urteetan. Hori kontutan hartuz, eta energia berriztagarrien sustatzearen nahiagatik, instalakuntza fotovoltaiko baten ekoizpen kostuak izugarri behera egin dute.

Aurreko atalean aipatu den bezala, gehien erabiltzen diren zelula fotovoltaikoak silizio kristalino motakoak dira. Hauen kostua %99 -ko beherapena izan dute 1977. urtetik aurrera, hau da, 1977an 76,67 \$/Wp inguruan zegoen batzbestekoa, gaur egungo 0,3 \$/Wp kostuarekin konparatuz. Swanson legearen arabera, modulu fotovoltaikoen prezioa %20 ko beherakada izango dute industria fotovoltaikoaren ahalmena bikoiztu ezker.

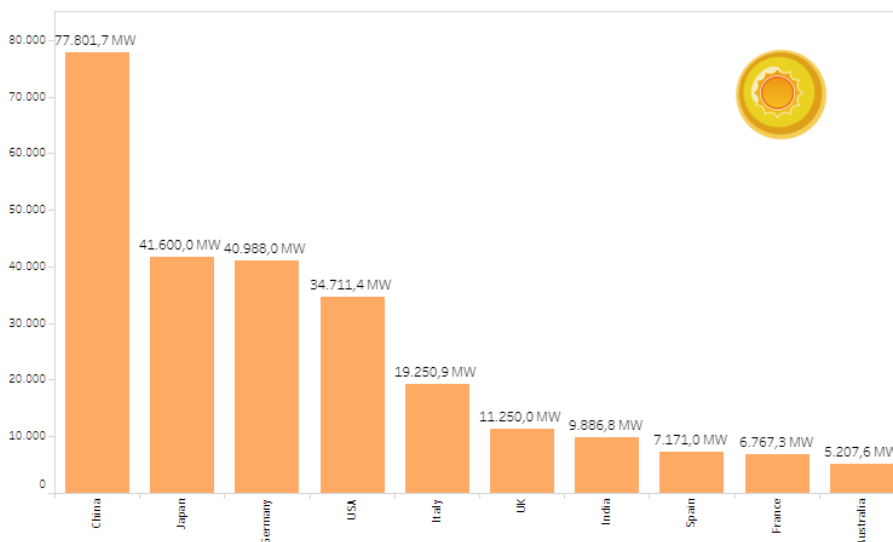


2.6. Irudia - Zelula fotovoltaikoen prezioen aldakuntza.

2014. urtea aipatzeko data bat izan zen, urte honetatik aurrera hainbat zonalde eguzkitsutan eguzki energia fotovoltaikoa, elektrizitateagatik ordaindutakoarekin abantailatsuago izan baitzen. Hori dela eta, herrialde askotan energia mota honen sorkuntza aurretik izandako ohiko sorkuntza teknologiek lehiakorra izango da, bereziki energia fotovoltaikoa sortzeko orduetan, elektrizitatearen kostua ordu horietan garestiagoa baita. Horrez gain, produkzio lerroan geroz eta enpresa gehiago sartu direnez lehiatzen, Fraunhofer (Alemaniako ikerkuntza institutu bat) esaten duen arabera sarera konektatutako instalakuntza fotovoltaikoen prezioa epe luzera 0,02-0,04 €/kWh inguruan kokatuko dira.

Merkatu honetan aitzindari eta 1996 urtera arte liderra Estatu Batuak izan ziren, hurrengo urteetan Japonek lidergoa hartuko zuelarik 2005 era arte. Urte honetatik aurrera, herrialde gehienak bezala urtero instalatutako potentzia

handituz, Japonia buruan mantendu zen, Txinatarren eskura heldu arte 2016an. Txinak gorakada handiena izan duen herrialdea izan da, zeinek 2012. urtetik aurrera, energia fotovoltaikoan etorkizuna zegoela ikusita, ikaragarri gora egin zuen merkatuan urtero Alemaniari lidergoa kendu arte. Gaur egun, Txinatarrak segitzen dute buruan diferentzia handiarekin eta datorren urteetara begira, oraindik gehiago hazteko asmoarekin. Horietaz gain, aipaturiko 4 herrialdeak ere zerrendako goiko aldean jarraitzen dute, hurrengo irudian antzeman daitekeen bezala.



2.7. Irudia – Eguzki energia fotovoltaikoaren potentziak munduan.

2.4 Energia-iturriak

Energia-iturriak, potentzia elektrikoa lortzeko erabiltzen diren gailuak dira, normalean karga bateri konektatuta egongo direnak. Funtzionamendurako, potentzia sarrera konexio bat izango dute beste iturri batetik (sare elektrikoa, xafla fotovoltaikoa, bateriak, sorgailu elektrikoak, etab) energia jasoko dutelarik. Energia-iturrien funtzio nagusia, jasotako energia normalean korrante elektriko modura izango dena, dagokion tentsio, korrante eta frekuentziara karga hornitzea izango da.

Mota ezberdin askotako energia-iturri aurki daitezke, horien artean 5 garrantzitsu aipatu beharko litezke, hurrengoak direnak:

- **DC energia iturriak.** Mota honetako iturriak korrante zuzeneko tentsioarekin hornituko dute karga. Horien artean era ezberdinak aurki daitezke; alde batetik, sarrera AC iturri bat izanda, transformadore bat tentsioa igo edo jaisteko eta ondoren artezgailu batekin DC -ra bihurtzeko daude; bestetik, AC sarrera batetik zuzenean artezgailu batetik pasaraziz eta frekuentzia balio oso altuetara igoz, beharrezkoa izango den

transformadorearen tamaina txikiagoa izanik nahi den tentsiora pasatuz; azkenik, sarrera aldakorra duen DC tentsio bat konstantea den batera bihurtzea.

- **AC energia iturriak.** Aurrekoarekin konparatuz, hauek normalean saretik sarrera izanda korrante alternoko tentsioa emango dute. Transformadore bat erabiliz tentsioa nahi den baliora moldatuko da.
- **Energia-iturri programagarriak.** Analogikoki edo digitalki urruneko kontrola ahalbidetzen duten iturriak izango dira. Kontrolatutako parametroak, tentsioa, korrantea eta AC iturrien kasuan frekuentzia ere izango dira. Mota honetako iturriak gehienetan kontrolerako mikrokonputagailu bat eta monitore batekin datoz. Baita programazioa erraztuko duen software batekin ere.
- **Etengabeko energia iturriak.** Mota honetakoak, energia bi iturritik hartuko ditu, bata sarea izango dena eta bateriak kargatzen dituen bitartean. Sareko arazo bat dagoenean bateriatik hartuko du energia, horrela karga beti ondo hornituta mantenduko da.
- **Tentsio altuko energia iturriak.** Tentsio oso altuak emango dituen energia iturria izango da. Askotan x-izpi sorgailuetan edota elektroien mikroskopioetan erabiliak izango dira.

Tentsio-iturriak aplikazio ugari dituzte hainbat gailu ezberdinetan, esaterako, ordenagailu baten tentsio-iturrian edo baita mugikorren kargadoretan. Baina horietaz gain, segurtasun-funtzioak ere izan ditzakete. Hala nola, korrantearen mugaketa balio seguru batzuetara, akats elektriko bat dagoenean, zarata elektrikoak edo gaintentsioak saihestu, potentzia faktorearen zuzenketa edota aipaturiko etengabeko energia iturrietan, bateriatik energia hartzeko ahalmena izatea.

Lan hau programagarriak diren energia iturrietan zentratuko da, bereziki haien funtzionamendu eta programazioan instalakuntza fotovoltaiko baten emulaziorako.

3. Helburuak eta irispena

3.1 Helburuak

Proiektu honen helburuak azaltzeko bi taldetan sailkatzea komenigarria da: helburu nagusia eta helburu sekundarioa edo bitartekoa.

- **Helburu nagusia**, iturri programagarri baten bidez instalakuntza fotovoltaiko ezberdinak eta egoera meteorologiko desberdinetan izango duten portaera aztertzea izango da.

Helburu nagusia argi geratu delarik, aipatutako beste bitarteko helburua ere azaldu behar da.

- **Helburu sekundarioa**, erabiliko den tresneriaren, hau da, energia-iturri programagarrien funtzionamendua ulertzea eta ezagutzea izango da. Horien artean, makinaren operazio moduak, aplikazio ezberdinak eta simulaziorako aukera berri baten ezagutza garatzea izango dira.

3.2 Irispena

Proiektuaren irispena deskribatzeko, lehendabizi abiapuntua zein izan den azaldu behar da. Hasteko, Bilboko Ingeniaritza Eskolan instalatuta dauden xafla fotovoltaikoen azterketa bat egin nahi zen, Urtarrilean hasiz eta Maiatzean bukatuz. Epe horretan egiteak, Bilboko eguraldi txarra dela eta, arazoak sortzen zituen xaflen portaera ezberdinak era egokian aztertzeko. Hori dela eta, eskolako Ingeniaritza Elektrikoa saileko laborategian dagoen energia iturri programagarri bat erabiltzea erabaki zen.

Behin tresna hautatuta, xafla fotovoltaikoen azterketa egitera ekin zitzaien. Horretarako hainbat saiakuntza burutu ziren, xafla mota ezberdin eta egoera meteorologiko ezberdinetan emulazioa egin zelarik. Ondoren, datu guztiak ordenadore batean jaso ziren, aurrerago ikusiko den 7. puntuan (Metodologia) grafiko desberdinetan bateratzen dira behar den analisia egiteko. Horrekin proiektu honen nondik norainokoa definituta geratzen da. Orain, helburuak zeintzuk diren azalduko dira.

4. Proiektuaren onurak

Atal honetan, lan hau burutzeagatik lortzen diren abantailak azalduko dira puntu ezberdinetan. Proiektu honen onurak azaltzeko beharrezko puntuak alde teknikoa, alde ekonomikoa eta gizarte onurak izango dira.

4.1 Onura teknikoak

Eguzki energia fotovoltaikoaren ikerkuntza inguruan lortutako eta ikasketa edo unibertsitatean eman daitezkeen onurak azpimarratuko dira batez ere:

- **Ikerkuntza.** Proiektuaren helburuan (3. atalean) aipatu den bezala, iturri programagarri bat erabiliko da instalakuntza fotovoltaiko baten azterketa egiteko. Iturri mota honen erabilerak, karakteristika ezberdinak dituzten xaflak, egoera meteorologiko ezberdinetan eta konexio mota aldatzeko aukera ematen du, hau da, instalazio fotovoltaiko desberdinak emulatu daitezke.
- **Saiakuntza ugari.** Datu asko lortuko dira, eguzki-energiaren hobekuntzari eta garapenari laguntzen dio. Horietatik, grafika eta taula egokiak eraikiz analisi sakonago bat egiten.
- **Saiakuntza ezberdinen konparaketa.** Dokumentu honetan, saiakuntzak burutzeko dauden alternatiba desberdinak konparatuko dira. Eta aurkezten den kasurako, instalakuntza fotovoltaikoen emulaziorako, egokiena zein den azalduko da.

4.2 Gizarte-onurak

Azken honetan, aspektu sozial baten eta ikasketa edota unibertsitatean lortuko diren onurak azalduko dira:

- **Ikasketa.** Arlo honetan ere onurak aurkituko dira. Unibertsitateen ikuspuntutik, xafla fotovoltaikoen funtzionamendua irakasteko, metodo honek erraztasunak emango dio instalakuntza fotovoltaiko erreal baten beharra eskatzen ez duelako. Hortaz, teknologia berriztagarri hau instalatuta ez daukaten unibertsitateek ere aukera praktiko bat izango dute horien irakasketa gauzatzeko, ikasle guztien onurarako.
- **Interesa areagotu.** Hau da, ikasketa prozesuak hobetzen badira, ikasle gehiago interesatuta egongo dira eguzki energia fotovoltaikoaren funtzionamendua ulertzeko. Ondorioz, ikerkuntzan laguntzeko prest pertsona gehiago egongo dira, gizarteari alternatiba on bat dela erakutsiz eta datozen belaunaldiei energia berriztagarrietan gogoeta jarrera bat bultzaraziz.

4.3 Onura ekonomikoak

Proiektu hau ikasketa tekniko bat denez, garapenean eta hobekuntzan zentratuz, ikuspuntu ekonomikotik lortu nahi den onura hurrengoak izango da:

- **Teknologiaren prezio murrizketa.** Onura teknikoak eta gizarte onurak azalduta, energia fotovoltaikoaren inguruan prezioak gehiago murriztea lagunduko dute, nahiz eta merkatuaren analisisian (2.3 atalean) ikusi den bezala, joera behera asko egin duen azken urteotan.
- **Xafla fotovoltaikoen diseinua sinplifikatzea.** Ildo berdinetik jarraituz, xafla fotovoltaikoen prezioen merkatzeak, eta batez ere, teknologia horren inguruan aurki daitezkeen aurrerakuntzak kontutan izanik, diseinua errazago eta sinpleago batzuk garatzea ahalbidetuko ditu.
- **Diseinuaren denbora murriztea.** Diseinua sinplifikatzearekin batera, xafla fotovoltaiko bat egiteko behar izango diren baliabideak eta egin beharreko pausuak gutxiago izango dira, diseinu denbora behera egingo duelarik.

5. Alternatiben analisia

Oro har, produktu berri bat garatzen denean, instalatu edo merkaturatu aurretik, horren funtzionamendua egokia dela jakin behar da. Horretarako, produktuaren garapenaren fase ezberdin bakoitzean hobeto egokituko den testa aplikatuko delarik.

Duela urte batzuk, azterketa metodo gehienak hardwarearen menpe egon ziren, baina batzuetan, eta batez ere hasierako etapetan, hardwarearen menpe egoteak metodo ezegokia egiten zuen. Hau da, produktuaren lehen testa egiteko, produktu horren garapena aurreratuta izatea behartzen zuen. Behin saiakuntza eginda, lehen faseetako arazoak konpontzeko, produktuaren diseinu berri bat egitea ekartzen zuen. Hortaz, problema horrek ekiditeko asmoz, metodo ezberdinak garatzen eta erabiltzen hasi ziren. Hori dela eta, gaur egun, simulazioak indar handia hartu du software bidezko azterketak egiteko, produktuaren ekoizpenaren lehen faseetan batez ere. Baita hardware eta software nahasketa bat egiten dituzten metodoek ere.

Test hauek, garapenaren zati handi bat hartzen dute, horregatik, balioztatze esfortzu horien murrizketa, betiere kalitatea mantenduz, saiakuntzen efizientzia hobetzen ez bada, ez da produktuaren kostu lehiakor bat lortuko.

Analisia burutzeko, lehendabizi, alternatiba guztiak azalduko dira, ondoren, aukeraketa irizpideak eta soluzioa azalduko dira beste puntu batean.

5.1 Alternatibak

Atal honetan, existitzen diren simulazio edota modelizazio metodo ezberdinak azalduko dira, eta instalazio fotovoltaiko baten garapenaren kasurako noiz aplikatuko diren. Bereizi daitezkeen entsegu mota desberdinak honako hauek izanik:

5.1.1 Software bidezko entsegua

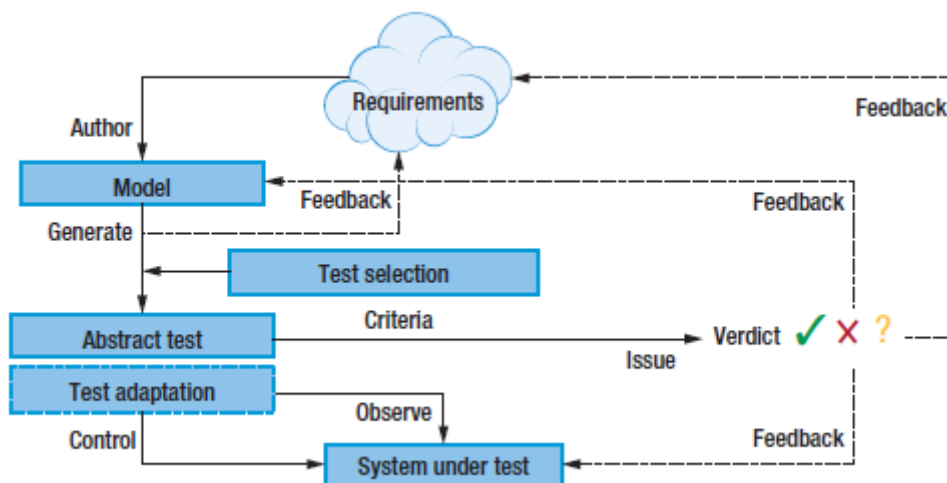
Entsegu mota hau, esan den bezala, produktuaren hasierako faseetan erabiliko da batez ere. Hori dela eta, simulazioan oinarrituko da eta azalduko den teknika, Model-in-the-loop izango da.

- **Model-in-the-loop (MIL)**

Modeloan oinarritutako diseinua deiturikoa da. Diseinu prozesuaren lehenbiziko faseetan, simulaziorako modelo maila altuko garapena ahalbidetzen du. MIL-ak pentsatutako algoritmoen artean, aztertu behar den sistemaren egoera eta ingurune baldintza ezberdineko entseguak automatikoki sortzen ditu. Hortaz MIL test mota honek, eskuzko saiakuntza diseinuak, saiakuntza diseinu automatikoen sorpenarekin ordezkatzeko ditu.

5.1 irudiak, MIL-aren ohiko prozedura diagrama adierazten du, hurrengo hiru eginkizunetan oinarritzen dena:

1. **Test modelo baliagarria diseinatzea.** Test modeloak sistematik espero den operazio funtzionamendua adieraziko du. Produktuan eskatzen diren betebeharrak eta modeloak sortuko dituen testak eta bere emaitzek lotura bat izan beharko dute, ondoren diseinu egokia gauzatu ahal izateko.
2. **Test sorreren irizpidea definitu.** Bigarren pausua izango da, non modeloak infinitu test sor dezake, beraz, irizpide bat definituko da testen kantitatea mugatzeko. Normalean, sistemari eskatzen zaizkion betekizunak baino kriterio zorrotzagoak bete arte.
3. **Testaren sorrera.** Azken eginkizuna da, behin test modeloak guztiz diseinatuta daudela, sarrera parametroak emango zaizkio sistemari, irteera balioak jasoz eta automatikoki berriz ere hainbat saiakuntza egingo delarik.



5.1. Irudia – MIL testaren prozesu diagrama.

Metodo honek abantaila ugari ditu, hala nola: sistemaren portaera eta errore posibleak berehala ezagutu; test ezberdinak gauzatzeak dakarren malgutasuna; komunikazioa hobetu sistema garatu dutenen eta saiakuntzak egiten dutenen artean; eta amaierako kostu orokorren murrizketa.

Instalakuntza fotovoltaiko baten garapenaren kasurako, esan den bezala, hasierako fase batetan gauzatu da saiakuntza mota hau, hain zuzen ere, instalakuntza bera Matlab programan diseinatu eta behar bezain beste froga egingo direlarik.

5.1.2 Software eta hardware bidezko entsegua

Bigarren entsegu mota hau, azaldu den software simulazioaren eta hardware bidezko entseguaren nahasketa bat izango da. Bi alternatiba aztertuko dira; lehenengoa, Rapid-Control-Prototyping (RCP) izeneko, planta edo sistema bat software bidez simulatuko da kontrolagailu errealean frogak egiten diren bitartean; bigarrena, Hardware-in-the-loop (HIL) kontrakoan oinarrituko da, hau da, planta edo sistema erreala dagoelarik kontrolagailuaren diseinua simulazio bidez egingo da.

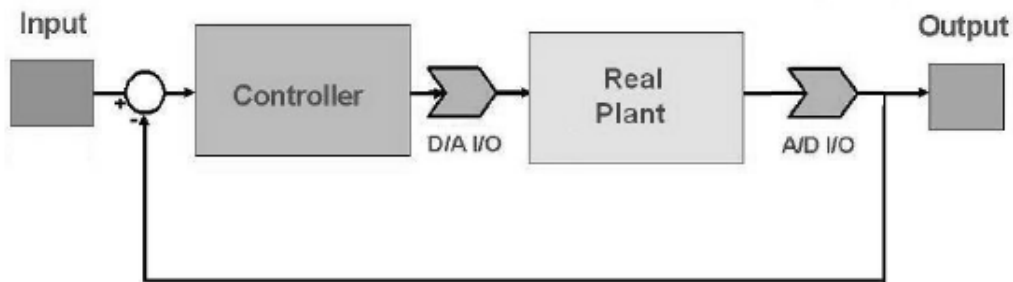
Alternatiba biak aztertzeko, bakoitzaren oinarria zein den, entsegua gauzatzeko jarraitu beharreko prozedura eta abantailak aipatuko dira.

- **Rapid-Control-Prototyping (RCP)**

Teknika honetan, ordenagailu batek edo denbora errealean lan egiten duen gailu batek sistemaren kontrolagailua ordezkatzen du, planta errealarari konektatuta dagoen bitartean. Produktu askoren garapenean gauzatzen diren testen algoritmoak arin aldatzeko aukerak ematen ditu, hau da, kontrol algoritmoan arazoren bat aurkitzen bada, era azkar batean diseinatzaileak haien kodigoa aldatu eta beste saiakuntza bat gauzatzeko aukera dute.

Saiakuntzaren prozedurari dagokionez, hurrengo 4 pausuetan azalduko da:

1. Kontrolagailua erabiliko den instalakuntzaren simulazio modelo bat eraikitzea da.
2. Ondoren, kontrolagailuaren modeloa egiten da eta simulazioan probatu egiten da lortu nahi diren emaitzak zuzenak direla baieztatuz. Guzti hau, gaur egun hainbat gauzetarako erabiltzen den Matlab/Simulink programarekin egiten da.
3. Behin, modeloa algoritmoak eta laginketa periodoak egokituta daudela, diseinatzaileek softwarea RCP plakari transferitzen diote algoritmoak denbora errealean probatu ahal izateko.
4. Amaitzeko, kontrolagailua sistema erreal batera konektatzen da konbertsore bi erabiliz, digital analogikora D/A eta analogiko digitalera A/D.
5. Azkenik, irteera aldagaiak irakurriko dira eta begizta itxi bat erabiliz, sarrera aldagaiekin konparazio bat egingo da. Saiakuntza errealean lortutako datu guztiak gorde ahal izango dira eta ondoren, grafika eta taula ezberdinak eraikiz era egokian aztertuko diren.



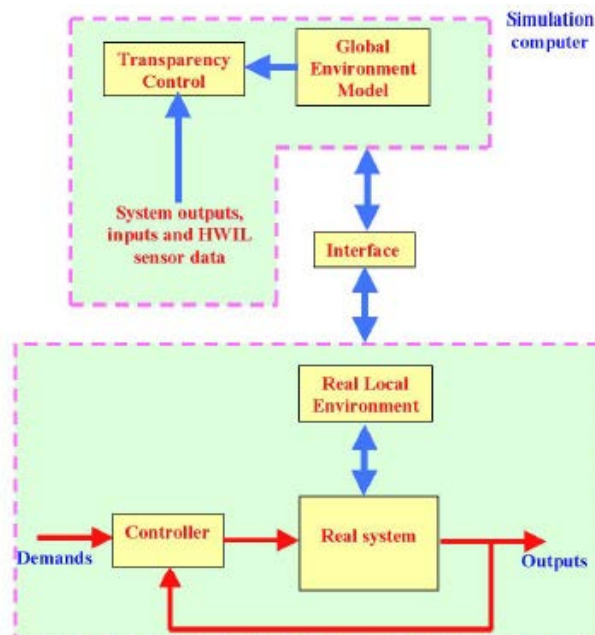
5.2. Irudia – Rapid-Control-Prototyping (RCP) saiakuntzaren prozedura.

RCP saiakuntza metodoak, kontrol sistemak sortzeko bide arin bat ematen du. Gainera, diseinatzaileei hasieratik kontrolagailua ebaluatzeko aukera ematen die, behar diren aldaketak egin eta espezifikazioak betearaziz. Horrek, kostu lehiakortasuna era ekartzen du, garapen denbora eta esfortzuak murriztuz nahi diren aldaketak egiteko software errez batekin.

- **Hardware-in-the-loop (HIL)**

Software eta hardware arteko nahasketaren bigarren teknika hau, Rapid-Control-Prototyping entsegu metodoaren oinarri bera dauka, baina kasu honetan, planta edo sistema software bidez modelizatuko da eta kontrolagailu fisikoa edukiko da ingurune erreal batean. Horrekin kontrol sistema benetako ingurune eta baldintza meteorologikoetan probatzea lortzen da.

Prozedurari dagokionez, RCP teknikaren berdina izango da. Lehendabizi, modelo matematiko bat eraikiko da eta software bidez, berriz ere gaur egun Matlab/Simulink erabili ohi dena, simulazioa burutuko da. Ondoren, dena ondo dagoela baieztatu eta gero, modelizatutako planta kontrolagailu errealerara konektatuko da. Azkenik, kontrolagailua aipatutako ingurune baldintza errealean aztertuko da eta behar diren zuzenketa eta aldaketak egingo dira.



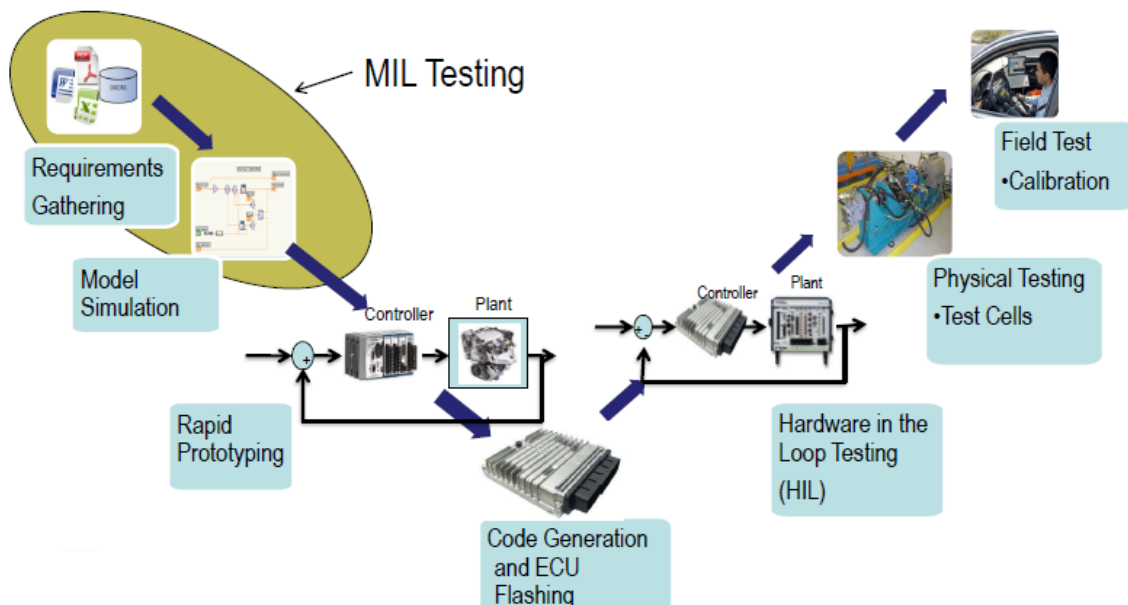
5.3. Irudia – Hardware-in-the-loop (HIL) saiakuntzaren prozedura.

Saiakuntza mota honek dituen abantailen artean hiru faktore nabarmentzen dira batez ere, kostuen murrizketa, denbora aurreztu eta segurtasuna areagotu. Hirurak arrazoi berdina dute amankomunean, instalakuntza errealean simulazioa egiten dela. Diseinu fasean egiten den saiakuntza bat izanik, nahiz eta denbora gehiago eramango duen, ondorengo faseetan behar izaneko denborak behera egingo du. Diseinu kostuak beti merkeagoak izango dira diseinuan ondoren datozen garapen eta produkzio kostuak baino. Segurtasunari dagokionez, saiakuntza planta errealean ez egiteak igoaraziko du, adibidez, garabi handi baten kontrola egin nahi bada, arriskutsua izango da saiakuntzak bertan egitea.

Bigarren puntu honetan azaldu diren bi saiakuntza moten aplikazio instalakuntza fotovoltaikoan, inbertsorearen diseinuan sartuko da. Sistema, potentzia maximoko puntua (MPPT) momentu oro jarraitzeko kontrola egin beharko da.

5.1.3 Hardware bidezko entsegua (Test cells)

Azalduko den azken alternatiba da, aurrekoekin konparatuz, bietan software simulazio bat egon ohi da, baina hardware bidezko entsegua ('Test cells' izenez ezagutzen dena), bai sistema, bai aztertu nahi den kontrolagailua, era fisiko batean egingo da. Azken fasea izango da, ezer merkaturatu aurretik, inplementatu den sistema guztia frogatuko da dena era egokian funtzionatzen duela baieztatzeko.



5.4. Irudia – Alternatiba guztien prozesu orokorra.

Aurreko 5.4 irudian, aipatu diren saiakuntza guztien prozesu orokor bat azaltzen da, bakoitza noiz aplikatuko den adieraziz. Ikusten denez, lehen fasea simulazioan oinarrituta dago, MIL saiakuntzetan hain zuzen ere. Bigarren fasean, hardware eta software bidezko entseguak egingo dira, RCP edota HIL alternatibak aukeratuz. Eta azkenengo fasea, ordea, saiakuntza fisiko bat izango da, Test Cells hardware saiakuntza konkretuki non kalibrazioa egiteko aukera ere egongo den.

5.2 Irizpideak

Bigarren puntu honetan, azaldu diren bost alternatibetatik aukeratu beharreko egokiena zein den azaltzeko, irizpide batzuk jarraituko dira. Honako hauek aurkeztu eta 5.1 taulan bateratuko dira konparaketa errez bat emateko.

Hiru izango dira aztertu beharreko irizpideak; erabilera, etapa eta abantailak eta desabantailak.

5.2.1 Mota

Saiakuntza aurrera zelan eramango den adierazten du, hau da, erabilera zelakoa izango den.

- **Simulazio totala**, saiakuntza software bidez egingo da bakarrik, normalean ordenagailu bat erabiliko da bai kontrolagailua, baita planta ere simulatzeko.
- **Software eta hardware**, bien nahasketa bat izango da, hau da, kontrolagailua edo planta simulatuko da, bestea prototipo erreala izango den bitartean.

- **Hardware bakarrik**, edo saiakuntza erreal. Bai kontrolagailua bai planta errealak izango dira saiakuntzan.

5.2.3 Etapa

Produktuaren diseinuaren zein fasetan egiten den saiakuntza, aukerak hurrengoak izanik:

- **Lehen fasea**, diseinua pentsatu eta lehen frogak egingo dira.
- **Hobekuntza fasea**, aurretik pentsatutakoa ingurune erreal batetan gauzatuko zaio saiakuntza, errealitatearekin duen joera ikusteko eta diseinu hobeari eta zehatzago bat lortu nahian.
- **Azken fasea**, diseinuaren amaierako emaitza emango duena izango da, non merkaturatuko den produktuarekin alderatuta oso antzekoak izango den.

5.2.4 Abantailak eta desabantailak

Saiakuntza alternatiba bakoitzak izango dituen abantaila eta desabantailak azalduko dira.

- **Kostua**, alternatiba bakoitzak azken produktuaren kostuan izango duen eragina positiboa ala negatiboa den.
- **Baliabideak**, behar izango diren material edo teknologia.
- **Segurtasuna**, langileengan bermatzen duten segurtasuna, hau da, saiakuntza egiteak pertsona arriskuan jar dezakeen ala ingurune seguru batean egongo den.
- **Diseinuan aldaketak egiteko erraztasuna**, saiakuntza egiten denean espero diren emaitzan okerrak izatekotan, diseinuan aldaketak errez gauzatu daitezkeen ala ez.

ALTERNATIBAK	MOTA	ETAPA	ABANTAILAK ETA DESABANTAILAK
SIL	<ul style="list-style-type: none"> • Simulazio totala. 	Diseinurako lehen fasea.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Saiakuntza asko. ✓ Baliabide urriak. ✓ Kostu txikiak. ✓ Segurtasuna bermatu. ✓ Irakaskuntzarako aproposa. × Errealitatearekin interakziorik ez.
RCP	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolagailuaren diseinua simulazioz. • Planta errealarekin. 	Hobekuntza fasea.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planta errealarekin kontaktua. ✓ Kontrolean aldaketaz errez. ✓ Kostu lehiakorrak produktuari. ✓ Irakaskuntzarako aproposa. × Segurtasuna ez du guztiz bermatzen.
HIL	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolagailu errealarekin. • Plantaren simulazioa. 	Hobekuntza fasea.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kontrol erreal. ✓ Kostuen murrizketa. ✓ Denbora aurreztu produktuaren garapenean. ✓ Segurtasuna bermatu. ✓ Irakaskuntzarako aproposa. × Planta errealarekin kontaktu eza.
TEST CELLS	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolagailu eta planta errealekin. 	Azken fasea.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseinua egoera errealean probatu × Aldaketak egiteko zailtasuna.

5.2. Taula – Alternatiben konparaketa.

5.3 Soluzioa

Behin alternatiba guztiak azalduta eta irizpideak adierazita geratu direlarik, proiektu honetan aukerarik egokiena zein den esango da.

Helburu nagusia zein sekundarioa gogoratu, alde batetik, instalakuntza fotovoltaikoen egoera ezberdinetan portaera aztertzea, eta bestetik, iturri programagarrien ezagutza handitzea izango dira.

Hori kontutan izanda, alternatibetatik hoberen egokitzen dena software eta hardware bidezko entsegu mota izango da. Gainera, xafla fotovoltaiko errealak aztertu beharrian, hauek iturri programagarri baten emulatuko dira. Iturri programagarri hau sarera konektatu egongo denez, iturri berari konektatu egongo den kontrolagailuaren portaera ere ikusiko da, hain zuzen ere, MPPT puntua bilatzen duen inbertsore bat izango dena.

Beraz, hautatutako soluzioa, HIL saiakuntza burutzea izango da, hurrengo elementuekin baliatuta:

- APS DCP 150-8 tentsio-iturri programagarri bat, non xafla fotovoltaikoak emulatuko diren.
- StecaGrid 300 inbertsore bat, iturria sare elektrikoarekin konektatuta dagoenean MPPT puntuaren jarraipena egiteko.
- Steca Solsum 6.6F erregulagailu bat, iturri programagarrian emulatu diren xafla fotovoltaikoen, baterien eta konektaturiko kargen arteko kontrola burutzeko.
- Kaise KB1270s bateria bat, xafletatik lortutako energia gordetzeko erabiliko da.
- Ordenadore bat, iturriaren programazioa burutzeko eta datuak jasotzeko erabiliko dena.

6. Soluzioaren azalpena

Puntu honetan, behin proiektua aurrera eramateko HIL saiakuntza bat burutzea aukerarik hoberena erabaki dela, soluzioaren atal garrantzitsuenak azalduko dira.

Aipatuenez, ordenagailuaz aparte, lau erraminta behar izango dira: tentsio-iturri programagarria, inbertsorea, erregulagailua eta bateria. Horiek, ordea, bi talde ezberdinetan sailkatuko dira. Alde batetik, emulazioa sarera konektatuta egiten denean, eta bestetik, sistema isolatu bat emulatzeko.

Aipatzekoa da, tresna nagusia tentsio-iturri programagarria izango dela, horrek nahi diren xafra fotovoltaikoen edo instalazio fotovoltaikoren emulazioa egitea ahalbidetuko baitu.

Lehenengo egoeraren kasuan, sarera konektatutako sistemaren emulazioan, tentsio-iturriaz gain, inbertsorea izango da garrantzia izango duen tresna. Korrante zuzena alternora bihurtu eta potentzia maximoko puntua jarraitzen lagunduko du.

Bigarren egoeran, sistema isolatuaren emulazioan, iturriaz aparte, erregulagailua eta bateria bana behar izango dira. Erregulagailuak, emulatutako xafren, bateriaren eta konektatutako kargaren arteko kontrolaz arduratuko da. Bateria, ordea, emulatutako xafren energia gordetzea izango du bere funtsa.

Azalpena era egoki eta antolatu batean egiteko, esandako tresna bakoitzaren aurkezpen bat, funtzionamendua edo erabiltzeko modu ezberdinak eta bere ezaugarriak azalduko dira.

6.1 Tentsio-iturri programagarria

Proiektu honetan funtsezko tresna edo erraminta nagusia izango da. HIL saiakuntza motan, simulazioa burutuko duen tresna izanik. Izenak erakusten duen moduan, tentsio-iturri bat da baina berezitasun nagusi batekin, beste tentsio-iturrietatik ezberdinduko duena, hau da, erabiliko den iturria programagarria izango da.

Gaur egun, programatu ahal izateak, aldakortasun handia ekartzen du, testuinguruan azaldu den bezala, populazioak gora egin du eta pertsona guztiak ideia ezberdin berri askoz beteta daude. Hortaz, bururatutako edozer gauza egiteko ahalmena edukiko da, beti ere, tentsio-iturri programagarriak jartzen dizkion mugak errespetatuz.

Lan honetan, 'Adaptive Power Systems' enpresak garatutako tentsio-iturri programagarria erabiliko da, APS DCP 150-8 modeloa hain zuzen ere (6.1 irudia).



6.1. Irudia – APD DCP 150-8 iturri programagarria.

6.1.1 APS DCP 150-8 ezaugarriak

Proiektua egiterako orduan, iturri programagarriaren ezaugarriak kontutan hartzea garrantzitsua da, batez ere iturriaren sarrera eta irteerako espezifikazioak. Horiek, emulatuko diren instalazio fotovoltaiko ezberdinetan mugak jarriko dituztelako.

Sarrera eta irteera espezifikazio horiek hurrengo 6.1 eta 6.2 tauletan adieraziko dira, era argiago batean ikusi ahal izateko.

Sarrera aldagaiak	
AC Tentsioa	90-264 Vac
Hautazko 3 Fase sarrera	208V, 400V, 440V, 480V \pm %10
Frekuentzia	47-63 Hz estandar, 400 Hz hautazkoa
Potentzia faktorearen zuzenketa	Aktibatuta
DC tentsioa	250 Vdc – 750 Vdc hautazkoa
Efizientzia	Gehienez %94

6.1. Taula – Iturri programagarriaren sarrera espezifikazioak.

Irteera aldagaiak	
Potentzia	1200 W
Tentsioa	0-150 V
Korrontea	0-8 A
Operazio moduak	Tentsio/korronte konstantea, potentzia konstantea, Barne erresistentzia, Taula modua, PV simulazioa

6.2. Taula – Iturri programagarriaren irteera espezifikazioak.

6.1.2 Operazio-moduak

APS DCP 150-8 tentsio-iturri programagarriak, funtzionatzeko hainbat operazio modu ezberdin ditu. Horrek, bai egoera bai programazio ezberdinak egitea lagunduko du, iturriak izango duen portaera hautatzeko aukera emango duelarik.

Aurreko taulan (6.2 taula) adierazi den bezala, funtzionamendu modu ezberdinak hurrengo bostak izango dira:

- **Tentsio/korronte konstantea (UI).** Tentsio-iturria modu honetan lanean dagoenean, adierazi zaion tentsioa konstante mantentzen saiatuko da, nahiz eta kargak eskatzen duen korrontea aldatu. Behin korronte hori, iturriak mugatzen duen I_{max} balioa hartzen duenean, operazio modua aldatuko da korronte konstante modura. Korronte maximo horretatik behera egiten duenean, berriz ere tentsio konstante modura lan egingo du.

Korronte konstantean dagoenean, tentsio konstante moduaren jokabide berbera izango du. Kasu honetan, erabiltzaileak korronte zehatz batean lan egiteko adieraziko du eta iturriak korronte hori denboran zehar konstante mantenduko du.

- **Potentzia konstantea (UIP).** Tentsio eta korronte konstante moduen antzeko funtzionamendua izango du. Orain, erabiltzaileak, mantendu nahi den potentzia finkatuko du. Iturri programagarriak, irteerako tentsioa erregulatuko du kargak galdutako potentzia adierazitako potentzia gainditzen ez duen bitartean. Ondoren, kargak eskatzen duen potentzia, finkatu egin den baliora heltzen denean, hori mantentzeko asmoz korrontea aldatuko da I_{max} gainditu barik.

Tentsioa aldatu ahal denean, baina potentzia balio zehatz bat konstante egon behar deneko egoeratan, modu hau aproposa izango da, adibidez, baterien kargatzea simulatzeko.

- **Barne erresistentzia modua (UIR).** Funtzionamendu modu honetan, tentsio-iturria, inpedantzia zehatz baten simulazioa egiteko balio du. Horrela izanik, irteerako tentsioa, kargaren korrontearen menpeko funtzio bat izango da.

Modu hau oso erabilgarria izango da inbertsoreen azterketarako edo baterien deskargatzea simulatzeko.

- **Taula modua (Table).** Tentsio-iturriaren memorian tentsio eta korronte puntuak gorde ahal izango dira modu honetan, ondoren, denbora funtzioan irteerako aldagaiak aldatzen joango direlarik.

3 metodo desberdin egongo dira taula modua programatzeko; lehenbizikoa, ondoren azalduko den PVsim moduan. Bigarrena, SD memoria bat erabilia non programazioa testu artxibo baten egongo den. Eta, azkenekoa, interfaze digitalaren bidez dagozkion komandoak bidaliko zaizkio iturri programagarriari.

- **Simulazio fotovoltaiko modua (PVsim).** Lan honetan garrantzitsuena izango den funtzionamendu modua da. Iturri programagarriak, xafla fotovoltaikoaren I-V kurba simulatuko du, horretarako, aurretik azaldu den taula modua (Table mode) erabiliz. Beraz, erabiltzaileak bakarrik xaflaren datuak sartu behar izango ditu eta iturriak, puntu bakoitzean izango duen korronte eta tentsioa kalkulatz, I-V kurba eraikiko du. Iturriari adierazi beharreko parametroak, hurrengoak izango dira:

- **U_0 :** Zirkuitu irekiko tentsioa.
- **I_{z1} :** Zirkuitu laburreko korrontea.
- **U_{mmp} :** Xafla fotovoltaikoaren potentzia maximoko puntuaren tentsioa.
- **I_{mmp} :** Xafla fotovoltaikoaren potentzia maximoko puntuaren korrontea.

Proiektu hau instalazio fotovoltaikoetan oinarrituko denez, azalduko operazio moduetatik, 'PVsim' modua erabiliko da. Modu horretan xafla fotovoltaikoen programazioa egitea oso erreza izango da, erabili egingo diren komandoak '7. Metodologia' puntuan azalduko dira.

6.2 Inbertsorea

Instalakuntza fotovoltaiko batean izango den beste elementu garrantzitsuenetako bat da inbertsorea. Honek bi funtzio nagusi izango ditu, alde batetik xaflatik lortzen den DC tentsioa alternora bihurtuko du sarera konektatu ahal izateko.

Bestetik, xaflak funtzionamendu puntu optimoan, hau da, potentzia maximoko puntuan, lan egin dezaten kontrolatuko du.

Proiektu honetan, aipatu den bezala, StecaGrid 300 inbertsore modeloa (6.2 irudia) erabiliko da. Honek, tentsio-iturrira konektatzeko aukera izango du eta sare elektrikora ere konektatuta egongo da, korrante moduan. Tentsioak, edo maiztasunak inbertsorearen muga balioren bat gainditzen badu, inbertsorea berehala saretik deskonektatuko da.



6.2. Irudia - StecaGrid 300 inbertsorea.

6.2.1 StecaGrid 300 ezaugarriak

Iturri programagarriarekin egin den bezala, inbertsorearen kasuan ere garrantzitsua izango da bere ezaugarriak kontutan hartzea, horiek xaflen emulazioan mugaketa ugari jarriko baitituzte.

Berriz ere, era argiago batean ikusteko 6.3 eta 6.4 taulen bidez adieraziko dira inbertsorearen sarreraren eta irteeraren mugak.

Sarreraren aldagaiak	
Tentsioa	45 - 135 V _{dc}
MPPT	45 – 100 V _{dc}
FV-ren gomendatutako potentzia maximoa	375 Wp
Potentzia maximoa	320 W
Korronte maximoa	5 A

6.3. Taula – Inbertsorearen sarrera espezifikazioak.

Irteeraren aldagaiak	
Potentzia nominala	300 W
Tentsio nominala	230 V
Maiztasuna nominala	50 Hz
Errendimendu maximoa	% 94.8
Potentzia-faktorea	> 0.95

6.4. Taula – Inbertsorearen irteera espezifikazioak.

6.3 Erregulagailua

Orain arte, instalakuntza fotovoltaikoa sarera konektaturik dagoela kontuan hartu da. Ondoren, sistema isolatu baten kasua emulatzeko erabili den beste tresna garrantzitsu bat azalduko da, erregulagailua.

Erregulagailuaren funtzioa, xafla fotovoltaikoen, baterien eta kargaren arteko konexioak egitea izango da. Hau da, xafla fotovoltaikoen bitartez bateria kargatuko da, eta bateriatik jarri zaion karga elikatuko da. Behin bateriak guztiz kargatuta daudela, xaflek emandako potentzia kargari zuzenean pasatuko zaio.

Funtzionamenduaren egoera adierazteko, erregulagailuak, LED argi bat izango du, zeinek kolore berdearekin, horiarekin eta gorriarekin egoera desberdinak adieraziko ditu, hurrengoak izanik:

- **Berdea**, bateria kargatuta egongo da eta funtzionamendu egokia izango du.

- **Horia**, bateria karga gutxirekin dago eta potentzia kontsumitzen duen karga oraindik konektatuta dago.
- **Gorria**, bateria deskargatuta egongo da, azpitentsioa dela eta deskonexioa gertatutako da.

Soluzioaren puntuan (5.3 atala) esan den bezala, lan honetan erabiliko den erregulagailua, inbertsorearen familia berdinetik aukeratu den Steca Solsum 6.6F (6.3 irudia) modeloa izango da.



6.3. Irudia - Steca Solsum 6.6F erregulagailua.

6.3.1 Steca Solsum 6.6F-ren ezaugarriak

6.5 taulan adieraziko dira kontutan hartu beharreko ezaugarri garrantzitsuenak:

Ezaugarri orokorrak	
Sistemaren tentsioa	12 V
Berezko kontsumoa	< 4 mA
Sarreraren aldagaiak	
Xaflaren zirkuitu irekiko tentsioa (U _o)	< 47 V
Moduluaren korrontea	6 A
Irteeraren aldagaiak	
Kontsumo-korrontea	6 A
Karga-tentsio finala	13.9 V

6.5. Taula – Erregulagailuaren ezaugarriak.

6.4 Bateria

Erregulagailua erabiliko den sistema isolatuaren kasurako, bateria baten beharra ere egongo da. Hau, xafla fotovoltaikoetatik lortutako potentzia pilatzeaz arduratuko da eta, karga bat konektatzen denean potentzia hori emango dio.

Proiektu honetarako behar den bateria txikia izango da, tentsio-iturri programagarriak inposatzen dituen mugapenengatik, emulatu daitezkeen xafla fotovoltaikoak edota instalazio fotovoltaikoak ez dira potentzia oso handikoak izango. Hori dela eta, aukeratu den bateria, 'Kaise' enpresako KB1270s modeloa izan da (6.4 irudia).



6.4. Irudia – Kaise KB1270s bateria.

6.4.1 Kaise KB1270s ezaugarriak

Ezaugarri orokorrak	
Tentsio nominala	12 V
Zelda kopurua	6
Bizitza erabilgarria	3-5 urte
Kapazitate nominala 25°C (20 orduko ratioan, 0.35A 10.5V)	7 Ah
Berezko deskarga	Kapazitatearen %3a hileko

6.6. Taula – Bateriaren ezaugarriak.

7. Metodologia

Puntu honetan, aurreko atalean adierazi den soluzioaren lana nola burutu den azalduko da.

Metodologia azaltzeko, bi puntu ezberdin azalduko dira. Batetik saiakuntza guztiak egiteko jarraitu behar izan den prozedura aurkeztuko da. Eta bestetik, egin diren saiakuntzak azalduko dira, horietan lortutako emaitzak eta grafikak adieraziz.

7.1 Prozedura

Lana aurrera eramateko prozedurari dagokionez, nahiz eta saiakuntza ezberdinak egin diren, guztietan lehen bi pausu berdinak jarraitu dira.

7.1.1 Komunikazioa ordenagailu eta iturriaren artean

Lehendabizi, tentsio-iturri programagarriaren konfigurazioa burutu da, hau da, iturriaren eta ordenagailuaren arteko komunikazioa ahalbidetzea. Horrela, xafla fotovoltaikoen programazioa eta datu jasotzea pausu sinple eta errez batean bihurtzen du.

Komunikazioa tentsio-iturriarekin USB bidez egingo da, gainera, funtzionamendua egokia izan dadin, iturriari dagozkion driver-ak instalatu behar izango dira ordenagailuan. Konexioa eginda dagoenean, tentsio-iturriaren ekoizleak eskaintzen duen software programa (APS DC Power Supply Gui) erabiliko da, xaflen programazioarentzako eta datu jasotzearentzako.



7.1. Irudia - APS DC Power Supply Gui softwarea.

7.1 irudian ikus daitekeen moduan, plataforma oso sinplea da. Ezkerraldean, konexioa egiteko hainbat aukera eta konfigurazio egongo dira, kasu honetan USB bidez egingo dela azaldu da. Eskumaldean, ordea, tentsio-iturriaren konfigurazioa egiteko aukera desberdinak daude, eta goiko aldean, iturriaren irteera balioak adieraziko dituen panela.

Aipatzekoa da programaziorako eta datuen biltzerako beste aukera bat ere dagoela. Honako hau, SD txartel batekin izango da, horretan testu dokumentuetan script-ak (programazio kodeak) idatziko dira eta txartela iturrian txertatuz irakurri ahal izango dira. Ondoren, datuak, sortutako beste 'Lablog' izeneko testu dokumentuan ikusi ahal izango dira.

7.1.2 Programazioa

Bigarren pausu eta garrantzirik handiena duena izango da programazioa. Hemen, emulatu nahi izango den xafla fotovoltaiko edo instalazio fotovoltaikoa (xaflen multzoa seriean edo paraleloan konektaturik) programatuko da. Horretarako bi aukera egongo dira:

- **APS DC Power Supply Gui softwarearen bidez**, zuzenean xafla fotovoltaikoak definitzen duten parametroak (...) sartuko dira eta ordenagailua tentsio-iturriarekin konektatuta dagoenez, emulazioa zuzenean egingo litzateke ondoren nahi diren saiakuntzak gauzatzeko asmoz.
- **Script batean programatuz**, esan den bezala, SD txartel bat erabili nahi denean xaflen programazioa egiteko, kodea testu dokumentu batetan idatzi egingo da. Jarraian, kode hori eraikitzeke erabili diren komandorik garrantzitsuenak azalduko dira:
 - **PV.** Tentsio-iturriak dituen operazio-modu ezberdinetatik PVsim modua aktibatzen du.
 - **IMMP.** Xafla fotovoltaikoaren potentzia maximoko puntuaren korronea finkatzen du (A).
 - **I.** Xafla fotovoltaikoaren zirkuitu laburreko puntua definitzen du (A).
 - **UMMP.** Xafla fotovoltaikoaren potentzia maximoko puntuaren tentsioa finkatzen du (V).
 - **U.** Xafla fotovoltaikoaren zirkuitu irekiko puntua definitzen du (V).
 - **RUN.** Output-a aktibatzeke agindua da, tentsio-iturria funtzionatzen hasiko da aurretik adierazi zaizkion balioekin.

- **DELAY.** Itxaronaldi denbora bat adierazten du, hau da, tentsio-iturriak aurretik jasotako aginduak denbora tarte batean mantenduko ditu (ms).
- **STANDBY.** Output-a desaktibatzeko komandoa da, tentsio-iturria geldiarazteko erabiliko da.

Behin funtsezkoak izango diren bi pausu horiek azalduta geratu direlarik, hurrengoak, lan honetan burututako saiakuntza ezberdinak azaldu behar dira.

7.2 Saiakuntzak

Metodologiaren bigarren puntu honetan, dokumentu hau idazteko eta proiektuaren helburuekin bat egiteko burutu diren saiakuntza desberdinak adieraziko dira, hiru taldeetan banatzen direlarik: xafla fotovoltaiko bakarraren emulazioa, instalazio fotovoltaiko baten emulazioa eta sistema isolatu baten emulazioa.

Saiakuntza bakoitza egiteko, 7.1 prozedura puntuan azaldu diren lehen bi pausuak nahitaezkoak izan dira. Ondoren, tentsio-iturriaren, kargaren, inbertsorearen, erregulagailuaren eta bateriaren arteko beharrezko konexioak kableatu dira, kasu bakoitzaren azalpenean gehiago sakonduko da.

Emulatuko diren xafla fotovoltaikoak, bai bakarra aztertzen deneko saiakuntzan, bai instalazioaren emulazioko saiakuntzan, eranskinetan esleitzen diren bi modelo hauek izango dira: ISF145 eta STP175s-24/AC modeloak.

Ondoren, saiakuntza bakoitza indibidualki azalduko da. Horretarako, azalpena era argi eta antolatu batean egiteko, saiakuntza bakoitzaren programazioaren kodea idatzi eta lortutako datuak hainbat grafikoetan irudikatu egingo dira.

7.2.1 Xafla bakarraren emulazioa

Lehen saiakuntza honetan, aipatu den Suntech enpresako STP175s-24/AC xafla fotovoltaiko modeloarekin bakarrik egin da lan. Hiru irradiantzia ezberdinetan emulatu da, bakoitzean izango duen I-V kurba eta P-V kurba atera direlarik: 1000 W/m², 800 W/m² eta 600 W/m².

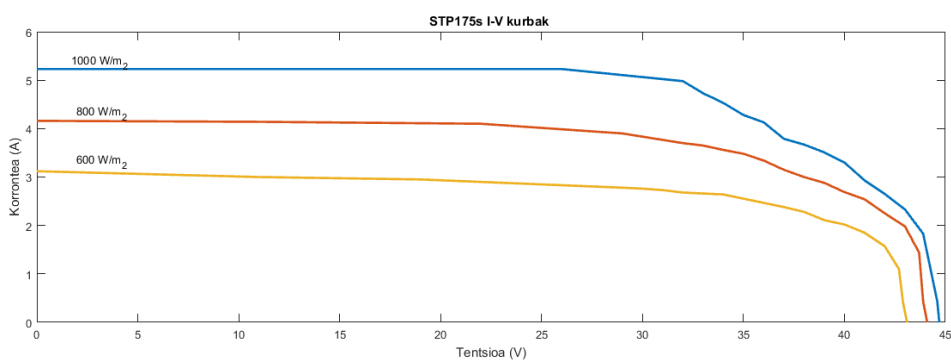
I-V kurba lortzeko, tentsio-iturri programagarria karga erresistibo aldakor batera konektatu da, kargaren balioak aldatzen joan den heinean, emulatutako xaflaren korrante eta tentsioak apuntatu egin dira. Horrela, irradiantzia bakoitzaren datuak pilatu eta Matlab programaren bitartez grafikak eraiki dira (7.2 eta 7.3 irudiak).

Gainera, ezaugarri karakteristikoetan tenperaturak izango duen eragina ere ikusi da. Horretarako, espezifikazio orrian ematen diren aldakuntza balioak erabili eta 7.4 irudian esleitu da.

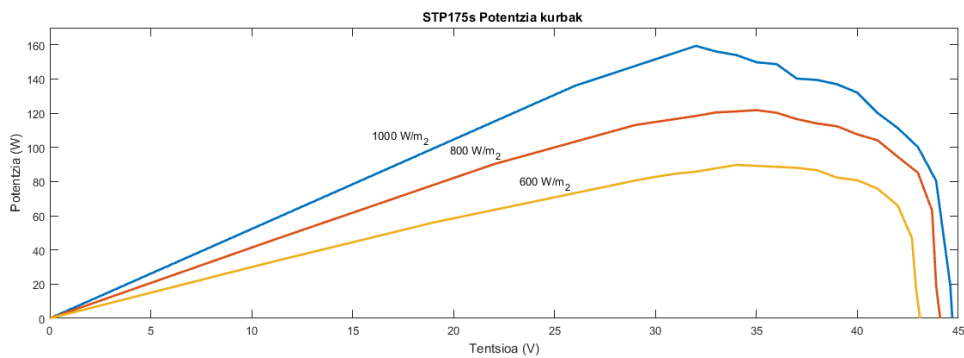
• Programazioaren kodea

# 1000 W/m ²	# 800 W/m ²	# 600 W/m ²
PV	PV	PV
IMPP 4.9	IMPP 3.78	IMPP 2.8
I 5.23	I 4.16	I 3.12
UMPP 35.8	UMPP 36.1	UMPP 36.2
U 44.7	U 44.1	U 43.1
RUN	RUN	RUN

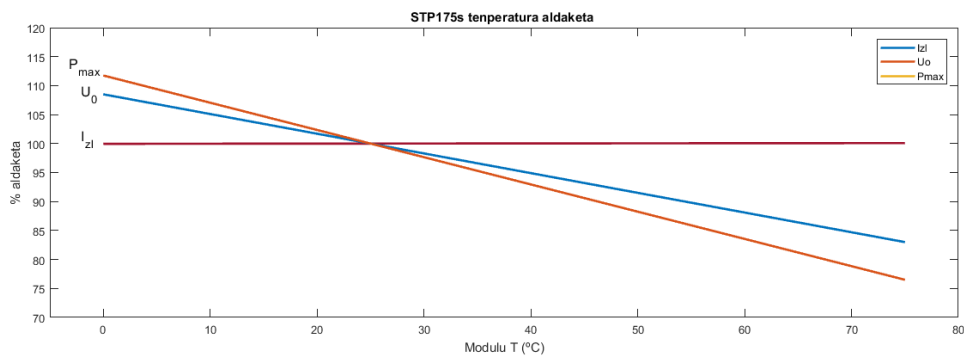
• Grafikak



7.2. Irudia - STP175s I-V kurbak.



7.3. Irudia - STP175s P-V kurbak.



7.4. Irudia - STP175s T aldaketaren eragina.

7.2.2 Instalazio baten emulazioa

Bigarren saiakuntza mota honetan, xafla fotovoltaiko bakarrarekin lan egin beharrean, aipatu diren ISF145 eta STP175s modeloak era desberdinetara konektaturik erabili dira. Kasu honetan, hurrengo 5 konexioak saiatu dira bere ezaugarri karakteristikoekin:

1. ISF145 modeloaren 4 xafla seriean 500 W/m²-ko irradiantziarekin.
 - IMPP 4.03
 - I 4.28
 - UMPP 73.2
 - U 87.2

2. STP175s modeloaren 2 xafla seriean 800 W/m²-ko irradiantziarekin.
 - IMPP 2.8
 - I 3.12
 - UMPP 72.2
 - U 88.2

3. ISF145 modeloaren 3 xafla seriean 700 W/m²-ko irradiantziarekin.
 - IMPP 5.64
 - I 5.98
 - UMPP 54.63
 - U 66.32

4. STP175s modeloaren 2 xafla seriean 1000 W/m²-ko irradiantziarekin.
 - IMPP 4.9
 - I 5.23
 - UMPP 71.6
 - U 89.4

5. ISF145 modeloaren 3 xafla serie eta 2 paraleloan 700 W/m²-ko irradiantziarekin.
 - IMPP 11.28
 - I 11.97
 - UMPP 54.63
 - U 66.32

Xafla bakarraren emulazioan bezala, kasu bakoitzaren kurba karakteristikoak (I-V eta P-V kurbak) kalkulatu dira karga aldakorraren metodoa erabiliz (7.5, 7.7, 7.9 eta 7.10 irudiak). Horrez gain, sarera konexioa burutu da, 6.2 puntuan azaldutako inbertsorearen bitartez. Horrela, inbertsoreak MPPT puntuaren jarraipena nola egiten duen aztertu da, honen tentsio eta korronteen balioak grafikaturaz (7.6 eta 7.8 irudiak).

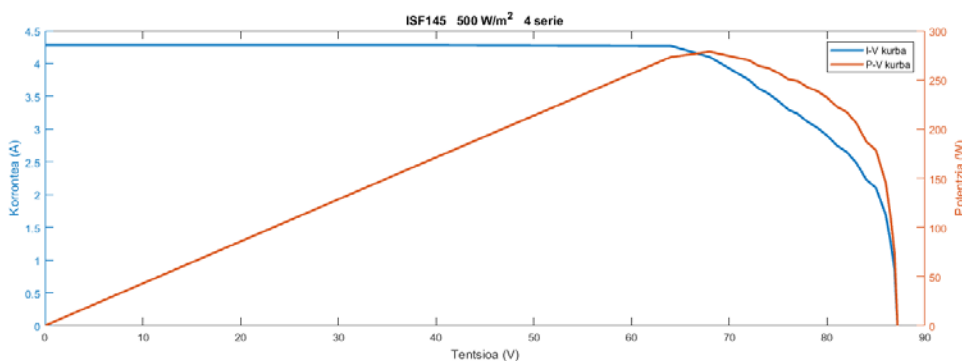
Aipatzekoa da saiakuntza honetan arazoak sortu direla, beti ere, bai tentsio-iturri programagarriaren bai inbertsorearen mugekin lotuta egon direnak.

Adierazitako hirugarren eta laugarren kasuetan, ez da inolako arazorik egon tentsio-iturriarekin, horregatik kurba karakteristikoak eraikitzea posible izan da. Aldiz, horietan lortutako potentzia maximoak inbertsoreak jazarritakoaren muga gainditzen zuen, eta ondorioz, ezinezkoa izan da MPPT puntuaren jarraipena egitea.

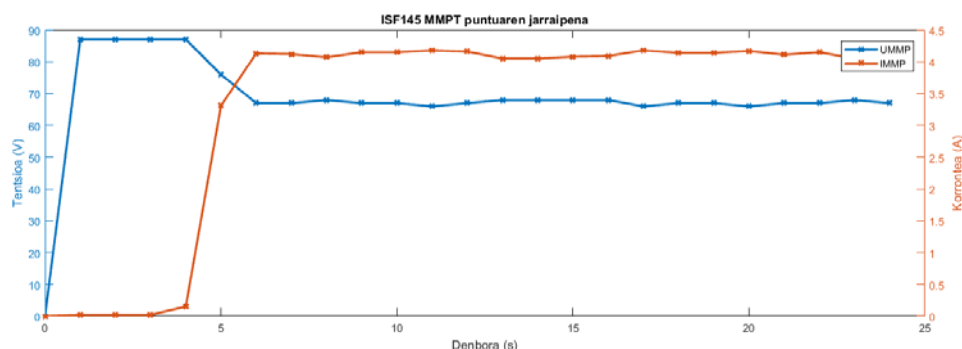
Bostgarren kasuan ordea, arazoa tentsio-iturriaren mugekin izan da. Ikus daitekeen bezala, iturria ez da gai izango zirkuitu laburreko korronea ($I=11.97\text{ A}$) jarraitzeko, bere muga 8 A direlako. Arazo hau dela eta, ezinezkoa izan da emulatzeko hautatu diren xaflak paraleloko konexioan emulatzeko, kasu guztietan muga hori gainditzen baita.

Programazio kodeari dagokionez, lehen saiakuntzako kode berdina erabiliko da, lehenbizi, tentsio-iturriaren operazio modua aukeratzen da eta ondoren, emulatu nahi den xafla-talde bakoitzaren karakteristika definitzen dira. Aurrekoarekin diferentziarik ez dagoenez ez da berriz ere horretan sakonduko.

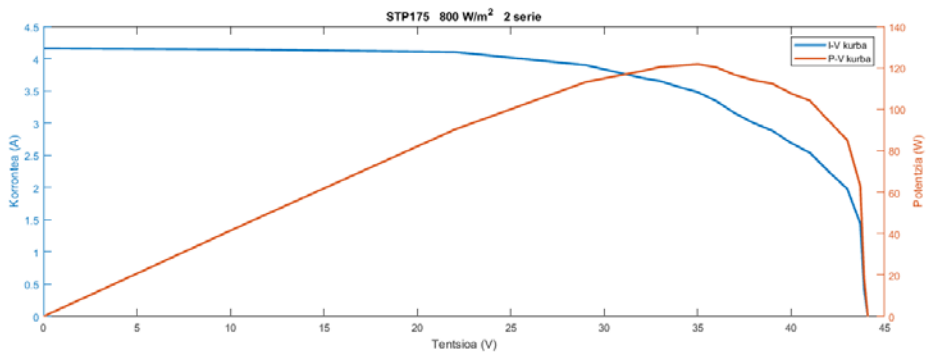
- **Grafikak**



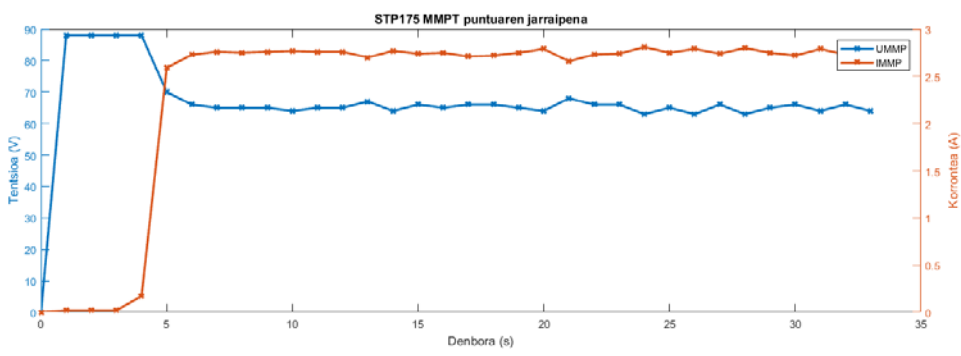
7.5. Irudia - ISF145 kurba karakteristika (4 serie, 500 W/m^2).



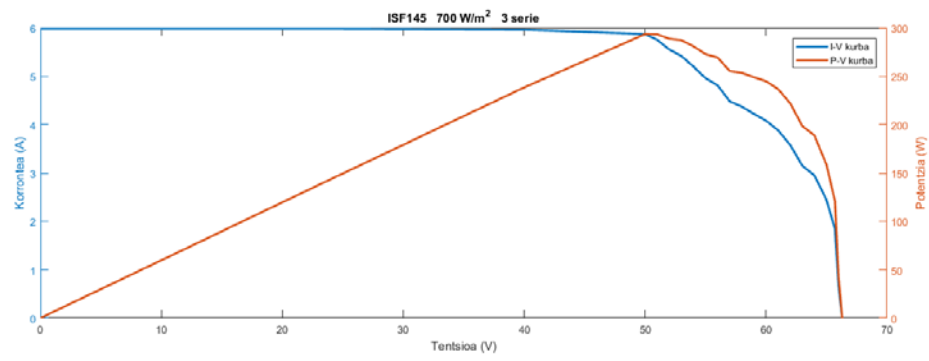
7.6. Irudia – ISF145 MPPT-ren jarraipena (4 serie, 500 W/m^2).



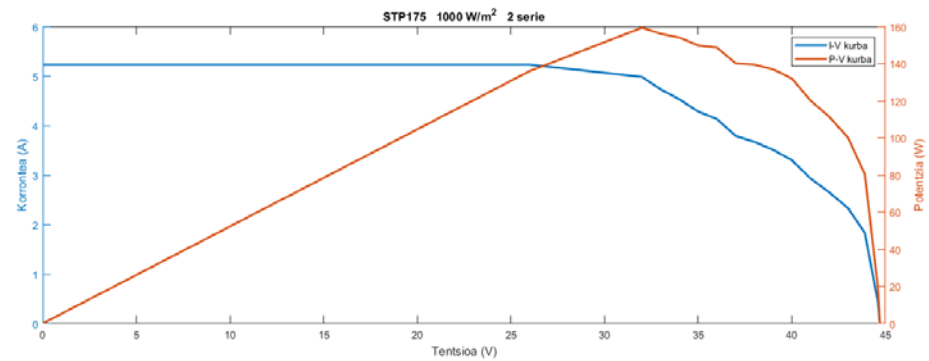
7.7. Irudia – STP175 kurba karakteristikak (2 serie, 800 W/m²).



7.8. Irudia – STP175 MPPT-ren jarraipena (2 serie, 800 W/m²).



7.9. Irudia – ISF145 kurba karakteristikak (3 serie, 700 W/m²).



7.10. Irudia – STP175 kurba karakteristikak (2 serie, 1000 W/m²).

7.2.3 Sistema isolatuaren emulazioa

Proiektu honetan egin den azken saiakuntza izan da, horretarako, sarera konektatuta dagoen instalakuntza bat izan beharrian, instalakuntza fotovoltaiko autonomo batekin elikaturiko sistema isolatu bat emulatu da.

Emulazio hau egiteko, 7.2.1 puntuko (xafla bakarraren emulazioa) xafla fotovoltaiko modelo berdina erabili da, hau da, STP175s modeloa. Kasu honetan, ordea, egun batean egon ahal diren klimatologia aldakuntzak ere kontutan hartzeko, programa berean aldiro irradianzia aldatzen joateko egin da. Horrela, egun eguzkitsu batean etor daitezkeen hodeien eragina ikus daiteke.

Saiakuntza honetan, tentsio-iturri programagarria 6. puntuan azaldutako erregulagailura (Steca Solsum 6.6F) konektatu da. Honako hau, puntu berdinean azaldu den Kaise KB1270s bateria eta sistemari konektatu zaion karga bat elikatzen du. Karga bezala, laborategian dagoen lanpara txiki bat erabili da, hain zuzen ere, 35 W kontsumitzen duen Philips markako lanpara bat.

Aukeratutako xafla fotovoltaikoarekin eta emulazioa egingo den 3 irradianzia desberdinekin (1000 W/m², 800 W/m² eta 600 W/m²), teoriarik espero diren potentzia maximoak hurrenez hurren, 175.42 W, 136.46 W eta 101.36 W dira. Horiekin, karga arazorik gabe elikatzeko gai izango da sistema.

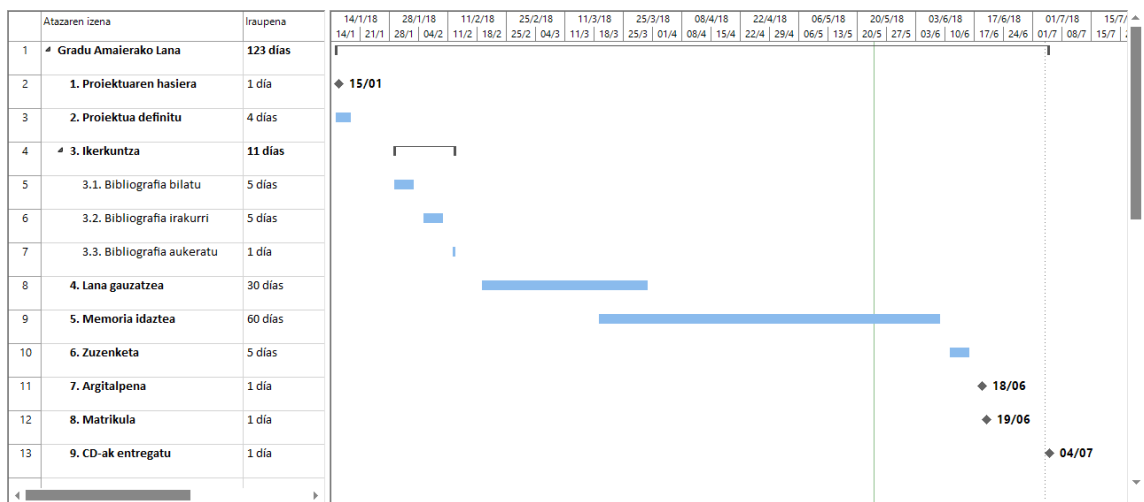
- **Programazio kodea**

# 1000 W/m ²	... # 800 W/m ²	... # 600 W/m ²
PV	PV	PV
IMPP 4.9	IMMP 3.78	IMMP 2.8
I 5.23	I 4.16	I 3.12
UMPP 35.8	UMPP 36.1	UMMP 36.2
U 44.7	U 44.1	U 43.1
RUN	RUN	RUN
DELAY 30000	DELAY 30000	DELAY 30000
...	...	STANDBY

8. Lanen deskribapena. GANTT

Proiektu hau aurrera eramateko jarraitu diren pausuak azalduko dira puntu honetan. Horretarako, GANTT diagrama (8.1 Irudia) baten irudikatu dira pausu guztiak eta horiek egiteko behar izaneko denbora.

- **1. Mugarría, proiektuaren hasiera.** Proiektuaren zuzendariarekin izango dena kontaktuan jartzea proiektuari hasiera emateko.
- **2. Ataza, proiektua definitu.** Zuzendariarekin bilera bat egiten da, non egingo den lana erabakiko den.
- **3. Ataza, ikerkuntza.** Egingo den proiektuari buruzko informazio eta bibliografia guztia bilatuko da, irakurritz eta beharrezkoa dena aukeratuz.
- **4. Ataza, lana gauzatzea.** Zuzendariarekin erabakitako lanari ekingo zaio, laborategian behar diren saiakuntzak burutuz.
- **5. Ataza, memoria idaztea.** Behin ikerkuntza bukatuta eta saiakuntzak egiten amaitzen daudela, memoria antolatu eta idazteari ekingo zaio.
- **6. Ataza, zuzenketa.** Zuzendariak gomendatutako zuzenketak egingo dira.
- **7. Mugarría, argitalpena.** Adierazitako datan lanaren azala sinatuta idazkaritzan entregatu.
- **8. Mugarría, matrikula.** Adierazitako datan GRAL-aren matrikula egitea.
- **9. Mugarría, lana entregatu.**



8.1. Irudia – GANTT diagrama.

9. Gastuen zuriketa

Egin den proiektua ikasketa tekniko bat izan dela kontutan hartuz, bereziki iturri programagarri batena, aurrekontuaren ordean, gastuen ikasketa bat egin behar da. Honetan, lana zenbat kostatu duen adieraziko da, barne-orduak, amortizazioak eta gastuak kontutan izango direlarik.

9.1 Barne-orduak

Lan hau egiteko behar izan diren orduak eta horiei dagokien kostua azaltzen dira 9.1 taulan. Kostu totalen zatirik handiena suposatuko dute.

9.2 Amortizazioak

Puntu honetan proiektuaren garapenerako erabili diren tresnak aipatzen dira, baina amortizazioaren ikuspuntutik. Hau da, tresna horiek ez dira espezifikoki lan honetarako erosi, baizik eta beste lan batzuetarako ere aprobetxatu ahal izango dira. Iturri programagarria, inbertsorea, ordenagailua eta Matlab lizentziak kontutan hartu behar izan dira.

Erabili den tresneriaren prezio nahiko baxua dela medio eta haien bizitza erabilgarri altuagatik, hauei esleiturako kostuak txikiak izango dira, 9.2 taulan ikus daitekeen bezala.

9.3 Gastuak

Amortizazioekin ez bezala, lan honetarako bereziki erosi diren materialak edo tresnak hartuko dira kontuan. Kasu honetan, bulegoko materiala bakarrik behar izan da, hala nola, papera, boligrafoak, etab. Azken hau 9.3 taulan aztertzen da.

Barne orduak			
	Orduak	Tasa	Prezioa
Ingeniaria	150 h	30 €/h	4500 €
TOTALA			4500 €

9.1. Taula – Barne orduak.

Amortizazioak				
	Hasierako balioa	Bizitza erabilgarria	Proiektuan erabiltze denbora	Prezioa
Iturri programagarria	500 €	10 urte	6 hilabete	25 €
Inbertsorea	400 €	25 urte	6 hilabete	8 €
Erregulagailua	30 €	5 urte	6 hilabete	3 €
Bateria	12 €	4 urte	6 hilabete	1.5 €
Matlab lizentzia	70 €	1 urte	6 hilabete	3.5 €
Ordenagailua	700 €	10 urte	6 hilabete	35 €
TOTALA				76 €

9.2. Taula – Amortizazioak.

Gastuak	
	Prezioa
Bulegoko materiala	10 €
TOTALA	10 €

9.3. Taula – Gastuak.

Kostua osotasunean	4586 €
---------------------------	---------------

9.4. Taula – Kostua osotasunean.

10. Ondorioak

Dokumentu osoan zehar, nagusiki bi kontzeptu jorratu dira. Alde batetik, eguzki energia fotovoltaikoaren inguruan aritu da. Bestetik, tentsio-iturri programagarrien nondik norakoak, eta batez ere, instalakuntza fotovoltaikoen emulazioaren aplikazioa aztertu egin da.

Lehenengo kontzeptuak, eguzki energia fotovoltaikoak, garrantzitsua izango da gaur egun, eta bereziki etorkizunean, gizarteak bizimodu garbiago bat izaten lagunduz, hau da, kutsadura ekiditeko ahalmena teknologia berriztagarri honi esker izugarri handia izango da. Gainera, honen inplementaziorako behar diren baliabideen kostuen murrizketengatik eta arlo horren inguruko ezagutzaren areagotzeagatik dela eta, eguzkiz aberats diren lurraldeak energia honengatik hornitzeaz lortzea izan behar da mugarrira edo erronka.

Bigarren kontzeptuari dagokionez, tentsio-iturri programagarriak lehen kontzeptuaren garapena laguntzen dute. Horiei esker, instalakuntza fotovoltaiko baten emulazio burutu daiteke eta saiakuntza ezberdinak eginez, datu ugari lortuko dira, bai ikasketetan bai ikerkuntzan laguntzeko.

Proiektu honetan, metodologia puntuan azaldutako lanetik, tentsio-iturri programagarrien instalakuntza fotovoltaikoaren emulaziorako hurrengo ondorioak ateratzen dira:

- **Erabilera erreza**, ikusi den bezala xafla fotovoltaikoen programazioa era errez batean egin daiteke.
- **Aldakortasun handia**, xafla fotovoltaiko bat, instalakuntza bat, sarera konektatutako sistema edota sistema isolatu baten emulazioa egin daitezke.
- **Irakaskuntzarako aproposa**, aurreko bi puntuak kontutan hartuz, unibertsitatean xafla fotovoltaikoen ikasketarako metodo aproposa da.
- **Zehaztasun falta**, metodologia puntuan azaldu diren saiakuntzen grafikak aztertuz, ikus daiteke nola I-V kurbak ez dira oso zehatzak. Arrazoiak, tentsio-iturri programagarriak tentsioa zenbaki osoetan ematen baitu, eta horri esleitutako korronea dezimal birekin.
- **Tresneriaren mugak**, lana garatzerako ikusi den beste arazo bat, inbertsoreak edo tentsio-iturri berak inposatutako mugek, ez dute ahalbidetzen nahi diren xafla fotovoltaiko edo sistema emulatzeko.
- **Ikerkuntzarako modelo hobek**, azken bi puntuen ondorioz, esan daiteke metodo hau ikerkuntzarako erabili nahi izanez gero, erabiliko den

tresneriaren modelo hobeak erosi beharko direla. Eraitza hobeak lortuko dira, baina prezioa ere altuagoa izango dela kontutan hartu behar da.

Azkenik, garatutako proiektuaren lanaren kostuak analizatu behar dira. Proiektu honen iraupena 123 egunetako izanik, kostuaren osotasuna 4586 € izan direlarik. Horien kantitate handi bat, hain zuzen ere, 4500 € ingeniari baten barne-orduak ordaintzeko erabiliko dira. Erabilitako tresneriaren bizi-iraupen luzea dela eta, tresneriaren amortizazioaren prezioak oso baxuak izango dira, baita bulegoko materiala erosteko behar diren gastuak ere.

Lan honen garapenaren ondorioz, laburbilduz, ondoriozta daiteke tentsio-iturri programagarrien erabilera xafla fotovoltaikoen ikerkuntza sakon baterako ez direla guztiz egokiak izango. Aldiz, irakaskuntza erabilpen bat egin nahi ezker, aukera oso ona dela esan daiteke.

11. Bibliografia

- [1] Energiaren Euskal Erakundea (EEE). (2016). 2016 urteko txostena. Eskuragarri: <http://www.eve.eus/Publicaciones/Informe-Anual/Informe-anual-2016>
- [2] Red Eléctrica Española (REE). (2016). Las energías renovables en el sistema eléctrico español. Eskuragarri: <http://www.ree.es/es/>
- [3] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). Eskuragarri: <http://www.irena.org/solar>
- [4] Ina Schieferdecker. (Abendu 2011). Model-Based Testing. *IEEE Software*, 29(1), 14-18. Eskuragarri: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6111361/>
- [5] C. Lăpușan, V. Mătieș, R. Bălan, O. Hancu, S. Stan, R. Lateș. (Urria 2016). Rapid Control Prototyping using Matlab and dSpace. Application for a Planar Parallel Robot. *IEEE International Conference on Control Applications*. Eskuragarri: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4588855/>
- [6] Rajasekar Selvamuthukumar, Rajesh Gupta. (Iraila 2014). Rapid prototyping of power electronics converters for photovoltaic system application using Xilinx System Generator. *IET Power Electronics*, 7(9), 2269-2278. Eskuragarri: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6900851/>
- [7] Octavian Crăciun, Adrian Florescu, Seddik Bacha, Iulian Munteanu and Antoneta Iuliana Bratcu. (Iraila 2010). Hardware-in-the-loop testing of PV control systems using RT-Lab simulator. *IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference*. Eskuragarri: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5606595/>
- [8] Miloud Rezkallah, Abdelhamid Hamadi, Ambrish Chandra, and Bhim Singh. (Urria 2015). Real-Time HIL Implementation of Sliding Mode Control for Standalone System Based on PV Array Without Using Dumpload. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(4), 1389-1398. Eskuragarri: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7132778/>
- [9] Adaptive Power Systems. DCP Series Programmable DC Power Supply. Eskuragarri: <https://adaptivepower.com/>
- [10] Steca Elektronik. StecaGrid 300. Eskuragarri: <https://www.steca.com/index.php?StecaGrid-300---StecaGrid-500-es>
- [11] Steca Elektronik. Steca Solsum 6.6F. Eskuragarri: <https://www.steca.com/index.php?Steca-Solsum-F-es>
- [12] Grupo Multitech Soluciones Energéticas. Baterías Kaise. Eskuragarri: <http://www.grupomultitech.com.ar/baterias-kaise/>

12. Eranskinak

I. eranskina: arautegi aplikagarria

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión RBT, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-BT.
- Real decreto de autoconsumo 900/2015.

II. eranskina: erabilitako xaflen modeloak

- 13.1. Irudia – Isofoton ISF145 xafla fotovoltaikoa.
- 13.2. Irudia – Suntech STP175s-24/AC xafla fotovoltaikoa.



MÓDULO MONOCRISTALINO ISF-145/150

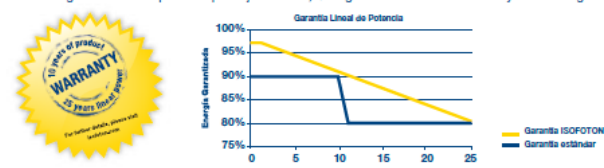
Disfrute de las ventajas de ISO FOTON

- Experiencia de más de 30 años en la fabricación de células y módulos fotovoltaicos
- Experiencia internacional en el desarrollo de proyectos: más de 300 en todo el mundo
- Asistencia técnica
- Tecnología punta y calidad certificada
- Compromiso con el medio ambiente

Disfrute de las ventajas de la gama ISF

- Vidrio microestructurado con mayor capacidad de absorción de luz difusa, que mejora el rendimiento energético
- Caja de conexión exclusiva, diseñada para minimizar las pérdidas eléctricas
- El módulo más ligero de su categoría, lo que facilita su manejo

La garantía ISO FOTON
25 años de garantía lineal de potencia que mejora en un 7,5% la garantía estándar de mercado y 10 años de garantía de producto.



Homologaciones y Certificados de Producto

CE, TÜV, UL LISTED

Certificados de Empresa

ISO 9001 Desde 1990, ISO 14001 Desde 2001, EMAS Desde 2008, PV CYCLE Desde 2007 (ISO FOTON es socio fundador)



MÓDULO MONOCRISTALINO ISF-145/150

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Comportamiento en STC: Irradiancia 1.000 W/m², temperatura de célula 25°C, AM 1,5

	ISF-145	ISF-150
Potencia nominal (P _{max})	145 W	150 W
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	22,4 V	22,6 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8,55 A	8,70 A
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{mp})	18,1 V	18,5 V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{mp})	8,00 A	8,12 A
Eficiencia	14,5%	15,0%
Tolerancia de potencia (% P _{max})	+/- 3%	+/- 3%

Comportamiento a irradiación 800 W/m², T₀NC, temperatura ambiente 20°C, AM 1,5; velocidad del viento 1m/s

	ISF-145	ISF-150
Potencia máxima (P _{max})	103 W	107 W
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	20,1 V	20,3 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8,88 A	7,01 A
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{mp})	16,1 V	16,4 V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{mp})	6,44 A	6,54 A

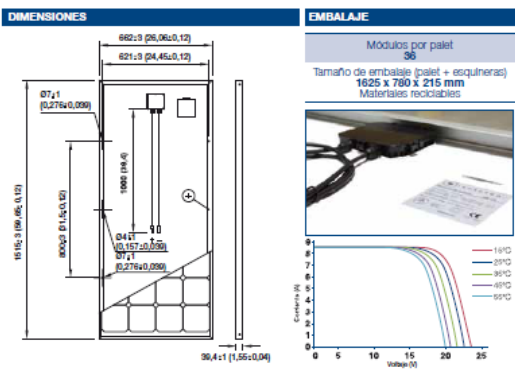
Reducción de eficiencia desde 1.000 W/m² a 200 W/m²: 5% (+/- 3%)

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Tensión máxima del sistema	1.000 V
Límite de corriente inversa	20 A
Temperatura de Operación Nominal de la Célula (T ₀ NC)	45 +/- 2° C
Coefficiente de temperatura de P _{max}	-0,464%/K
Coefficiente de temperatura de V _{oc}	-0,323%/K
Coefficiente de temperatura de I _{sc}	0,042%/K

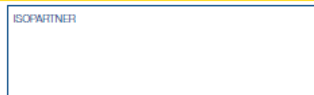
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Célula solar	Silicio Monocristalino - 156 mm x 156 mm (6 pulgadas)
Número de células	36 células en configuración 4 x 9
Dimensiones	1515 x 662 x 39,5 mm
Peso	13,5 Kg
Vidrio	Alta transparencia, microestructurado y templado de 3,2 mm (EN-12150)
Marco	Aluminio anodizado y toma de tierra
Máxima carga admisible	2400 Pa
Caja de conexión	IP 65 con 3 diodos de bypass
Cables y Conector	Cable solar de 1 m y sección 4 mm ² . Conector MC4 o compatible




DATOS DE CONTACTO

FÁBRICA	Parque Tecnológico de Andalucía (PTA) C/ Severo Ochoa, 50 E-29650 Málaga Tel: +34 95 1233500 isofoton.mil@isofoton.com	OFICINA COMERCIAL	Torre de Cristal Paseo de la Castellana, 259 C (planta 10) E-28046 Madrid Tel: +34 91 4147800 isofoton@isofoton.com
----------------	--	--------------------------	---



OBSERVACIONES: ISO FOTON, S.A., en reserva el derecho de modificar las presentes especificaciones sin previo aviso. Esta hoja técnica comercial responde a la norma EN 62039, Julio 2011

13.1. Irudia – Isofoton ISF145 xafla fotovoltaikoa.



STP175S-24/AC


STP165S-24/AC STP170S-24/AC
STP180S-24/AC

Suntech's STPAC is designed and built to deliver highest efficiency and reliable power for on-grid residential and commercial systems worldwide. Relying on Suntech's well-known stringent manufacturing standards and latest PV technology, the module provides the highest possible energy output per Watt with total module efficiency of 14.1%. Superior conversion rate and exceptional low-light performance enable it to deal with the most challenging conditions of military, utility, residential and commercial installations. The module is the perfect choice for those who demand outstanding performance and exceptional uniform appearance.

Features and benefits

- High efficiency
- Nominal 24 V DC for standard output
- Outstanding low-light performance
- High transparent backsheet, tempered glass
- Unique techniques give the panel following features: aesthetic appearance, with stands high wind-pressure and snow load, and easy installation
- Unique technology ensure that problems of water freezing and warping do not occur
- Design to meet unique demand of customer
- 25 year module output warranty

High Efficiency, High Quality PV Module



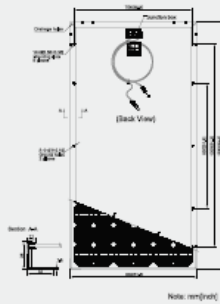
Electrical Characteristics

Model	STP165S-24/AC	STP170S-24/AC	STP175S-24/AC	STP180S-24/AC
Open-circuit voltage (Voc)	44.5V	44.7V	44.4V	44V
Optimum operating voltage (Vmp)	33V	32.5V	32.6V	32.4V
Short-circuit current (Isc)	5.25A	5.23A	5.15A	5.05A
Optimum operating current (Imp)	5A	4.8A	4.8A	4.66A
Maximum power at STC (Pmax)	165Wp	175Wp	170Wp	165Wp
Operating temperature	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Maximum system voltage	1000V DC	1000V DC	1000V DC	1000V DC

STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, Air-M 1.5



Module Diagram



Specifications

Cell	Monocrystalline silicon solar cells 156mm×156mm
No. of cells and connectors	72(6×12)
Dimension of module	1580mm×850mm×30mm
Weight	15.5kg

Temperature Coefficients

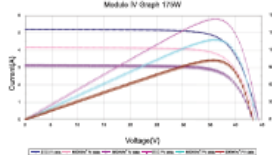
NOCT	46.7±2°C
Short-circuit current temperature coefficient	0.017 %/K
Open-circuit voltage temperature coefficient	-0.34 %/K
Peak power temperature coefficient	-0.46 %/K
Power tolerance	±3%

NOCT: Nominal Operating Cell Temperature (40% relative to STP165S)

Output

Cable	LAPPV(Lover)
Asymmetrical Lengths	1250mm(-) and 820mm(+)
Connection	MC Plug Type IV

Characteristics



Normalized Isc, Voc, Pmax vs. module temperature characteristics

