



Titulació:

GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA I AUTOMÀTICA

Alumne:

MÍRIAM GARCÉS ORTEU

Títol del Projecte de Final de Grau:

**CONTROL I MONITORITZACIÓ DE L'ENERGIA EN UNA
PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

Director:

JORDI ZARAGOZA BERTOMEU

Convocatòria d'entrega del PFG:

10 de Gener de 2015

Contingut d'aquest volum:

Memòria

ÍNDEX

0. INTRODUCCIÓ AL PROJECTE	9
0.1. Finalitat.....	9
0.2. Objectius.....	9
0.3. Abast.....	10
1. INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA SOLAR	11
2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	12
2.1. Conceptes bàsics.....	12
2.2. Avantatges i inconvenients de l'energia solar fotovoltaica.....	14
2.3. Funcionament.....	15
2.4. Aplicacions.....	16
2.5. L'energia solar fotovoltaica a Europa.....	17
2.6. L'energia solar fotovoltaica a Espanya.....	19
3. SISTEMA D'ADQUISICIÓ DE SENYALS	24
3.1. Introducció.....	24
3.2. Circuit de tensió.....	26
3.3. Circuit de corrent.....	33
3.4. Test i validació.....	40
3.4.1. Circuit de tensió.....	41
3.4.2. Circuit de corrent.....	44
4. PLATAFORMA EXPERIMENTAL	47
4.1. Seguidor solar.....	47
4.2. Targeta d'adquisició.....	48
4.3. Sensor d'irradiació.....	49
4.4. Sensor de temperatura.....	50
5. INTRODUCCIÓ A LABVIEW	53
5.1. Estructura de LabVIEW.....	54
5.2. Creació d'un VI.....	54
5.2.1. Panell de Control (Front Panel).....	54
5.2.2. Diagrama de blocs (Block Diagram).....	56
5.3. Programació en LabVIEW.....	59
5.4. Execució d'un VI.....	60
5.5. Estructures.....	61

6. PROGRAMA REALITZAT	62
6.1. Finalitat.....	62
6.2. Interfície d'usuari	62
6.3. Codi.....	65
7. CONCLUSIONS	75
8. PRESSUPOST	76
9. TREBALL FUTUR	77
10. BIBLIOGRAFIA	78
Annex I: Circuit acondicionador de tensió i corrent.....	80
Annex II: Codi LabVIEW.....	81
Annex III: Fulles de característiques principals	83

LLISTA DE FIGURES

Figura 1: Esquema de l'estructura del projecte.....	10
Figura 2: Esquema dels tipus de radiació solar. [8].....	14
Figura 3: D'esquerra a dreta: Cèl·lula monocristal·lina, cèl·lula policristal·lina, cèl·lula amorfa. [10].....	16
Figura 4: Evolució de les instal·lacions fotovoltaïques al món [13]......	17
Figura 5: Taula que mostra les dades d'energia fotovoltaïca obtingudes al 2014 [13]......	18
Figura 6: Capacitat fotovoltaïca instal·lada acumulada connectada a la xarxa a diversos països europeus a finals de 2008 [15]......	20
Figura 7: Esquema del circuit de tensió en alterna.....	24
Figura 8: Esquema del circuit de tensió en contínua.....	24
Figura 9: Esquema del circuit de corrent en alterna.....	25
Figura 10: Esquema del circuit de corrent en contínua.....	25
Figura 11: Circuit generador de corrent.....	26
Figura 12: Transductor de tensió LV 25-P.....	26
Figura 13: Esquema de connexió del transductor LV 25-P.....	27
Figura 14: Esquema de l'Etapa 0 del circuit de tensió.....	29
Figura 15: Filtre RC.....	29
Figura 16: Amplificador operacional seguidor.....	30
Figura 17: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.....	30
Figura 18: Amplificador inversor.....	30
Figura 19: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.....	31
Figura 20: Amplificador inversor i sumador.....	32
Figura 21: Forma d'ona final resultant del circuit de tensió.....	33
Figura 22: Transductor de tensió LA 25-NP.....	33
Figura 23: Esquema de connexió del transductor LA 25-NP.....	35
Figura 24: Etapa 0 del circuit de corrent.....	35
Figura 25: Filtre RC.....	36
Figura 26: Amplificador operacional seguidor.....	36
Figura 27: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.....	37
Figura 28: Amplificador inversor.....	37
Figura 29: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.....	38

Figura 30: Amplificador sumador.....	39
Figura 31: Forma d'ona final resultant del circuit de tensió.....	40
Figura 32: Circuit previ dut a terme.....	41
Figura 33: Esquema circuit total.....	41
Figura 34: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.....	42
Figura 35: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.....	43
Figura 36: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 2.....	43
Figura 37: Esquema del procés d'acondicionament de tensió.....	43
Figura 38: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.....	44
Figura 39: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.....	45
Figura 40: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 2.....	45
Figura 41. Esquema del procés d'acondicionament del corrent.....	46
Figura 42: Seguidor solar de dos eixos.....	47
Figura 43: Pins de la NI USB-6008.....	48
Figura 44: Borns de connexió en el sensor d'irradiació.....	50
Figura 45: Aspecte del sensor de irradiació Spektron 300.....	50
Figura 46: Esquema del TPM36.....	51
Figura 47: Pins del TPM36 (vista des de baix).....	51
Figura 48: Voltatge de sortida respecte la temperatura.....	51
Figura 49: Connexions del circuit de temperatura.....	52
Figura 50: Panell Frontal i Diagrama de Blocs.....	54
Figura 51: Paleta de controls.....	55
Figura 52: Menú all controls.....	55
Figura 53: Paleta de funcions.....	57
Figura 54: Paleta d'eines.....	58
Figura 55: Barra d'eines del Panell Frontal.....	60
Figura 56: Aparença del botó de Run amb mode d'execució.....	60
Figura 57: Barra d'eines del Panell Frontal.....	60
Figura 58: Botó d'aturada i de pausa.....	61
Figura 59: Estructures.....	61
Figura 60: Panell Frontal (Front Panel).....	62
Figura 61: Pestanya Graphs del Front Panel.....	63
Figura 62: Pestanya Load data del Front Panel.....	64
Figura 63: Pestanya Config del Front Panel.....	64
Figura 64: Seqüència d'adquisició de dades.....	66

Figura 65: Mètode d'aturada del programa.....	67
Figura 66: Continuació de la seqüència d'adquisició de dades.....	68
Figura 67: Cas True.....	70
Figura 68: Cas False.....	70
Figura 69: Seqüència de sincronització.....	70
Figura 70: Seqüència que calcula el temps del programa.....	71
Figura 71: Seqüència Run.....	71
Figura 72: Seqüència que retorna el nombre d'iteracions del While.....	71
Figura 73: Event Timeout.....	72
Figura 74: Event Load Data.....	73
Figura 75: Event Stop.....	73
Figura 76: Seqüència que retorna el nombre d'iteracions de l'Event.....	74
Figura 77: Seqüència que retorna la data i l'hora.....	74

LLISTA DE TAULES

Taula 1. Resum de les condicions establertes pel RD 661/2007 per a instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa [14].....	20
Taula 2. Resum de les condicions establertes pel RD 1578/2008 per a instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa.	21
Taula 3. Principals dades elèctriques transductor LV 25-P.....	27
Taula 4. Dades elèctriques del transductor LA 25-NP.	34
Taula 5. Taula de característiques.	34
Taula 6. Classificacions elèctriques en condicions de prova estàndards.	47
Taula 7. Principals característiques de la NI USB-6008.	48
Taula 8. Connexió de les senyals a la targeta d'adquisició de dades.	49

0. INTRODUCCIÓ AL PROJECTE

0.1. Finalitat

Aquest projecte consisteix en la monitorització i control d'un panell fotovoltaic. Aquest panell està situada dins del laboratori d'Electrònica de la segona planta del TR2, a l'Escola d'Enginyeria de Terrassa. El panell solar utilitzat, serà el de la marca BP Solar, model BP350U el qual està compost per 72 cel·les policristal·lines.

Es durà a terme el disseny d'una placa acondicionadora que convertirà les magnituds de tensió i corrent rebudes pel panell solar fotovoltaic, així com la realització de les connexions oportunes per a les mesures d'irradiació i temperatura.

Es realitzarà una interfície d'usuari i el codi pertinent per tal d'adquirir dades, tractar-les, interpretar-les i emmagatzemar-les. Es programarà amb LabVIEW, software amb el qual es realitzarà el codi mitjançant una programació gràfica. S'ha decidit emprar aquest software per les múltiples avantatges que es detallen a l'apartat 5 (*Introducció a LabVIEW*) d'aquest projecte.

D'altra banda, es profunditzarà en el concepte d'energia solar fotovoltaica i es detallarà com ha evolucionat tant a nivell Europeu com a nivell Espanyol.

0.2. Objectius

El nostre planeta pateix cada dia els efectes adversos de la pol·lució i escalfament global i cada cop amb major concentració. Per tant, és de vital importància fer una cerca i aplicació de noves fonts d'energia que respectin el medi ambient. L'energia solar fotovoltaica és una de les millors opcions per a complir aquest objectiu. Per tant, els objectius que es plantegen en aquest projecte són els següents:

- Involucrar-me en la cura del medi ambient.
- Conèixer el context profunditzant en l'energia solar fotovoltaica.
- Comprendre l'estructura d'una estació fotovoltaica.
- Participar en la realització tant de software com de hardware.
- Desenvolupar una interfície d'usuari mitjançant LabVIEW per a monitoritzar l'estació solar fotovoltaica.

0.3. Abast

Aquest projecte s'inicia amb la presa de dades a partir dels sensors del panell solar fotovoltaic. Aquestes dades són adquirides per una targeta d'adquisició de dades i, seguidament, són tractades amb LabVIEW, amb el qual es podran visualitzar les dades rebudes, interpretar-les i emmagatzemar-les un cop realitzat el codi del programa i la interfície d'usuari. Com a consideracions prèvies cal esmentar que el disseny dels circuits acondicionadors de tensió i corrent va ser realitzat prèviament pel tutor del projecte, no obstant, restava la soldadura i la posterior comprovació del funcionament.

A la Figura 1 es pot observar un petit esquema del procés mencionat anteriorment.

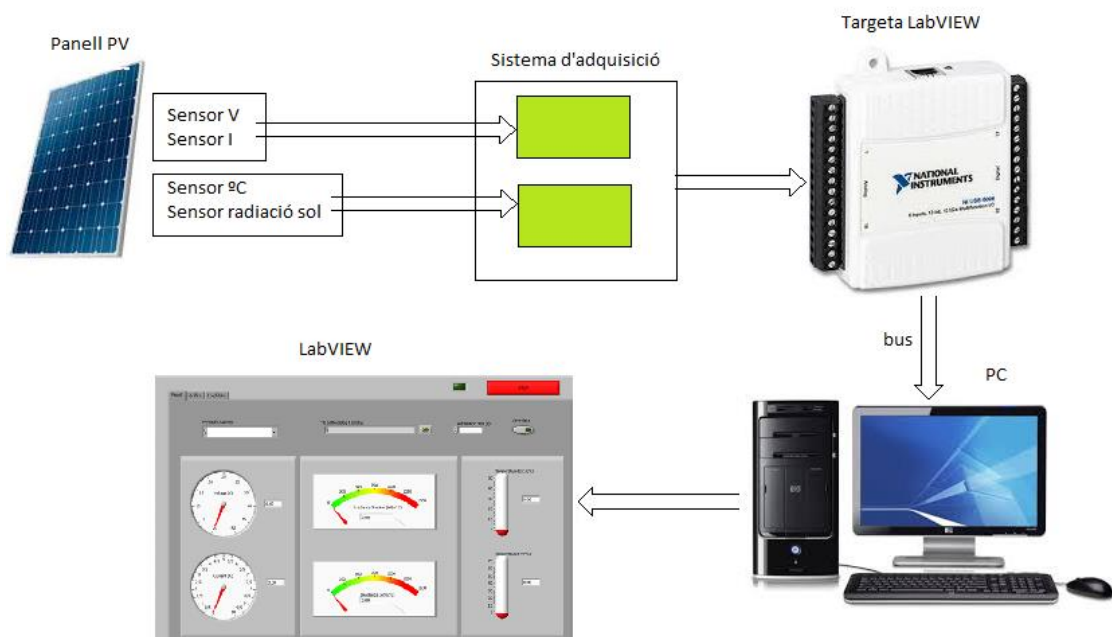


Figura 1: Esquema de l'estructura del projecte.

1. INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA SOLAR

L'energia solar [1] és l'energia generada pel sol que es transforma en energia útil gràcies a l'ésser humà. És un tipus d'energia alternativa, renovable i neta.

Pel que fa a la potència de la radiació solar, aquesta canvia segons el moment del dia, les condicions atmosfèriques i la latitud. En condicions òptimes el valor acostuma a superar els $1000 \frac{W}{m^2}$ a la superfície terrestre.

La radiació s'aprofita en els seus components directa i difusa, o en la suma d'ambdues. La radiació directa és aquella radiació que arriba directament del focus solar, sense reflexions ni refraccions intermèdies. La radiació difusa, en canvi, és la que s'emet de la volta celeste diürna gràcies als múltiples fenòmens de reflexió i refracció solar a l'atmosfera, als núvols, i a la resta d'elements atmosfèrics i terrestres. La radiació directa pot reflectir-se i concentrar-se per al seu ús i, no obstant això, no és possible concentrar la llum difusa que prové de totes direccions. Segons la tecnologia d'aprofitament i utilització, l'energia solar presenta la següent classificació:

- **Energia solar passiva:** Aprofita la calor que desprèn el sol sense necessitat de mecanismes o sistemes mecànics.
- **Energia solar tèrmica:** Energia que genera aigua calenta de baixa temperatura per a ús domèstic sanitari i calefacció.
- **Energia solar fotovoltaica:** Energia que produeix electricitat mitjançant plaques de semiconductors que s'exciten a l'incidir sobre elles la radiació solar.
- **Energia solat termoelèctrica:** Energia que produeix electricitat mitjançant un cicle termodinàmic convencional a partir d'un fluid escalfat a alta temperatura.
- **Energia solar híbrida:** Energia que combina la solar amb la combustió de biomassa, combustibles fòssils, energia eòlica o qualsevol altre energia alternativa.
- **Energia eòlica solar:** Energia que s'abasteix de l'aire escalfat pel sol que ascendeix per una xemeneia on es troben els generadors d'energia.

Exemples més pràctics de les seves aplicacions i usos alternatius de l'energia solar són els parcs solars, centrals tèrmiques solars, cuines solars, destil·lació, evaporació, fotosíntesis, assecat, arquitectura sostenible, coberta solar i condicionament i estalvi en edificacions com pot ser l'escalfament d'aigua, la calefacció domèstica, la il·luminació, la refrigeració, l'aire condicionat, l'energia per a petits electrodomèstics.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1. Conceptes bàsics

A continuació s'exposaran una sèrie de conceptes bàsics que són necessaris per a entendre l'energia solar fotovoltaica i el context que l'envolta.

- **Energia [2]:**

És una propietat de tot el cos o sistema material en virtut de la qual aquest pot transformar-se, modificant el seu estat o posició, així com actuar sobre altres produint en ells processos de transformació. L'energia és el motor de múltiples processos que proporcionen a l'home grans beneficis.

- **Cèl·lula solar fotovoltaica [3]:**

Dispositiu que es basa en l'efecte fotoelèctric i que converteix la radiació solar directament en electricitat. En la seva forma més simple es compon d'un ànode i d'un càtode recobert d'un material fotosensible. La llum que incideix sobre el càtode allibera electrons que són atrets cap a l'ànode, de càrrega positiva, originant un flux de corrent proporcional a la intensitat de la radiació.

- **Panell solar fotovoltaic [4]:**

Conjunt de cel·les fotovoltaïques capaces de produir electricitat emprant com a font l'energia solar.

- **Seguidor solar [5]:**

Element encarregat de fer girar l'estructura del panell solar fotovoltaic de tal manera que incideixi en ell la major quantitat de radiació solar. Existeixen dos tipus en funció del moviment que realitzin: de un eix, gir d'Est a Oest, i de dos eixos, on a més a més del moviment descrit també varia la inclinació.

- **Inversor solar fotovoltaic [6]:**

Un inversor, també anomenat ondulador, és un circuit de corrent contínua que s'utilitza per a convertir corrent continu en corrent altern. La funció d'un inversor es canviar un voltatge d'entrada de corrent directa a un voltatge simètric de sortida de corrent altern, amb la magnitud i freqüència desitjada per l'usuari o el dissenyador.

- **Node:**

Cadascun dels elements físics que formen part del sistema.

- **Producció energètica:**

Energia processada al llarg d'un interval de temps.

- **Radiació solar [W/m²] [7]:**

Flux d'energia que rebem del Sol en forma d'ones electromagnètiques de diferents freqüències (llum visible, infrarojos i ultravioleta). Es mesura en [W/m²].

La radiació solar es mesura en diverses unitats físiques concretes:

- **Irradiació:**

Energia que incideix per unitat de superfície en una quantitat de temps.

Irradiació = Irradiància · temps; per tant, la seva unitat serà [J/m²], o bé [kW·h] on 1kW·h equival a 3,6MJ.

- **Irradiància:**

Potència de la radiació solar per unitat de superfície. La seva unitat és [W/m²].

- **Irradiància espectral:**

Potència per unitat d'àrea i de longitud d'ona. La seva unitat és [W/m²· μm].

- **Irradiància directa:**

Radiació que arriba a un determinat lloc procedent del disc solar. La seva unitat és [W/m²].

- **Irradiància difusa:**

Radiació procedent de la volta celeste excepte la procedent del disc solar i la unitat de mesura de la qual és [W/m²].

- **Irradiància reflectida:**

Radiació reflectida pel terra (albedo). Es mesura en $[W/m^2]$.

- **Irradiància global:**

És la suma de la irradiància directa, difusa i reflectida. És el total de la radiació que arriba a un cert lloc i la unitat de la qual és $[W/m^2]$.

A la següent figura (Figura 2) es mostra una interpretació de les diverses radiacions solars.

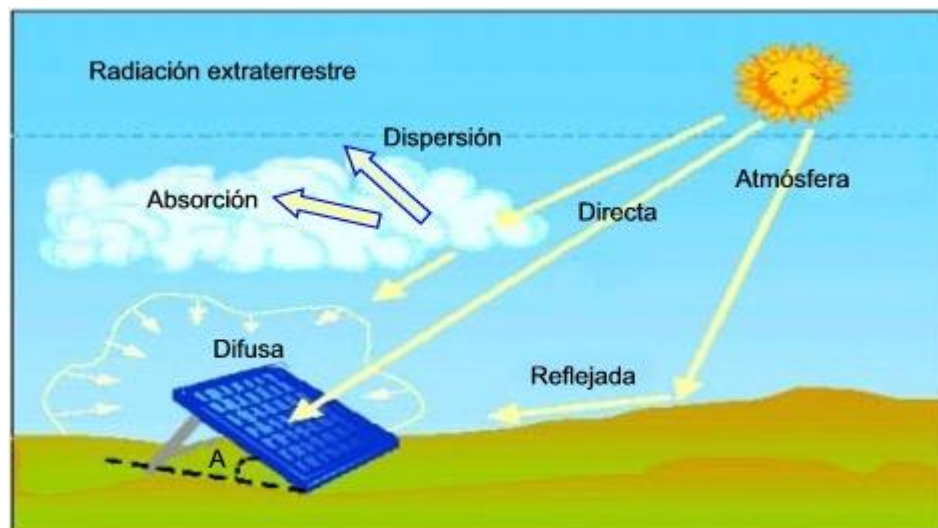


Figura 2: Esquema dels tipus de radiació solar. [8]

2.2. Avantatges i inconvenients de l'energia solar fotovoltaica

Els sistemes fotovoltaics no requereixen abastiment de combustible, són silenciosos, necessiten poc manteniment i tenen una vida útil llarga. Els avantatges de l'energia solar fotovoltaica són molt diversos i alguns d'ells es detallen a continuació:

- Pràcticament, l'únic manteniment que es requereix és controlar el nivell de l'electròlit a la bateria i afegir-li aigua destil·lada cada cert temps.

- La duració d'una bateria de tipus estacionari oscil·la entre 10 i 15 anys. Els panells solars tenen una duració molt superior (els fabricants ofereixen garanties de fins a 25 anys).
- L'electricitat es produeix al mateix lloc on es consumeix, eliminant la necessitat d'instal·lar esteses elèctriques. A més a més, els panells fotovoltaics, pel seu aspecte i constitució, resulten fàcils d'integrar i adaptar a les edificacions rurals.
- Utilitzen una font d'energia renovable (la radiació solar), el que significa que a escala temporal humana és inesgotable.
- Produeixen electricitat sense necessitat de cap tipus de reacció o combustió, evitant d'aquesta manera l'emissió a l'atmosfera de CO₂ o altres agents contaminants.
- La seva instal·lació resulta simple.
- Resisteix a condicions climàtiques extremes: granissada, vent, temperatura, humitat.
- No existeix cap dependència dels països productors de combustibles.
- Tolera augmentar la potència mitjançant la incorporació de nous mòduls fotovoltaics.

Pel que fa als inconvenients, el principal problema que implica l'ús dels panells solars fotovoltaics és el cost de la inversió necessària. Es requereixen més de deu anys, d'una vida útil de quaranta anys o més, per a recuperar la inversió inicial i generar guanys. D'altra banda, les instal·lacions fotovoltaïques tenen unes limitacions que impliquen als usuaris moderar el consum i ús d'aparells de consum amb elevats rendiments. Així mateix, el preu i la gran mida dels panells solars frenen la seva expansió, ja que la tecnologia disponible actualment requereix d'una gran superfície de captació.

A més a més, el Govern Espanyol va posar en vigor el 9 d'Octubre el Reial Decret 900/2015 anomenat "REAL DECRETO POR EL QUE SE ESTABLECE LA REGULACIÓN DE LAS CONDICIONES ADMINISTRATIVAS, TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE LAS MODALIDADES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON AUTOCONSUMO Y DE PRODUCCIÓN CON AUTOCONSUMO", que ha desincentivat l'autoconsum de l'energia solar fotovoltaica. A l'apartat 3.7., *L'energia fotovoltaica a Espanya*, es profunditzarà en aquest decret.

2.3. Funcionament

L'energia solar fotovoltaica [9] s'obté convertint l'energia lumínica provinent del sol en energia elèctrica. Aquest procés es du a terme amb dispositius semiconductors

de tipus díode, anomenats cèl·lules solars fotovoltaïques que, al rebre radiació solar s'exciten i provoquen salts electrònics, generant així una petita diferència de potencial als seus extrems. El material més comú que s'empra en les cèl·lules fotovoltaïques és el silici. L'acoblament en sèrie o en paral·lel d'aquests díodes donen lloc a plaques solars fotovoltaïques que, en conjunt, formen panells solars fotovoltaïcs permetent d'aquesta manera l'obtenció de voltatges majors. Les plaques solars fotovoltaïques es divideixen en 3 grups.

- **Monocrystal·lines:** Plaques compostes per seccions d'un únic cristall de silici, recognoscibles per la seva forma circular o hexagonal.
- **Policristal·lines:** Plaques formades per petites partícules cristal·litzades.
- **Amorfes:** Plaques compostes per silici no cristal·litzat.

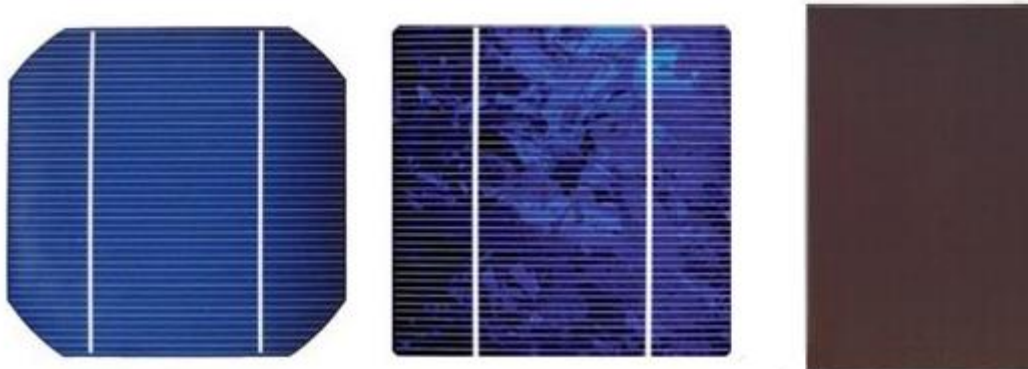


Figura 3: D'esquerra a dreta: Cèl·lula monocrystal·lina, cèl·lula policristal·lina, cèl·lula amorfa.
[10]

Com es pot veure a la Figura 3, cadascun dels tipus de cel·les té un aspecte diferent. Com més grans siguin els cristalls major és la seva efectivitat, però també el seu gruix, pes i cost. El rendiment de les plaques monocrystal·lines pot arribar al 20%, mentre que les amorfes pot no arribar a l'1%. No obstant, el seu cost i pes és molt inferior.

2.4. Aplicacions

Les instal·lacions fotovoltaïques es poden diferenciar en dos grups tenint en compte la seva aplicació [11]: instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica i instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica.

- **Instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica**

L'energia que es produeix és utilitzada per a cobrir baixos consums elèctrics al mateix lloc on es genera la demanda. Es troben en el cas d'aplicacions

com la electrificació d'habitatges allunyats de la xarxa elèctrica convencional, aplicacions relacionades amb l'agricultura i el bestiar, serveis i enllumenat públic, i senyalització i comunicacions.

- Instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica

Novament, podem agrupar-les en dos casos. Centrals fotovoltaïques en les que l'energia elèctrica generada s'entrega directament a la xarxa elèctrica, com en una altra central convencional de generació elèctrica, i sistemes fotovoltaïcs en edificis o indústries, connectats a la xarxa elèctrica, en els que una part de l'energia generada s'inverteix en el mateix autoconsum de l'edifici, mentre que l'energia excedent s'entrega a la xarxa elèctrica. També és possible entregar tota l'energia a la xarxa. L'usuari rebrà llavors l'energia elèctrica de la xarxa, de la mateixa manera que qualsevol altre abonat al subministrament.

2.5. L'energia solar fotovoltaica a Europa

La demanda d'energia solar [12] està experimentant un fort augment a tot el món, especialment a la Unió Europea. L'energia fotovoltaica és ara, després de la hidroelèctrica i la eòlia, la tercera font d'energia renovable més important pel que fa a capacitat instal·lada en termes totals.

Així com a l'inici del projecte s'exposava que a Espanya s'està desincentivant el desenvolupament d'instal·lacions fotovoltaïques degut a les legislacions implantades. Tot el contrari està succeint a Europa, on a la majoria de països hi ha un fort impuls de la potència fotovoltaica instal·lada.

La Figura 4 mostra l'evolució de la potència instal·lada al món, on s'hi pot observar un creixement exponencial en el nombre d'instal·lacions fotovoltaïques.

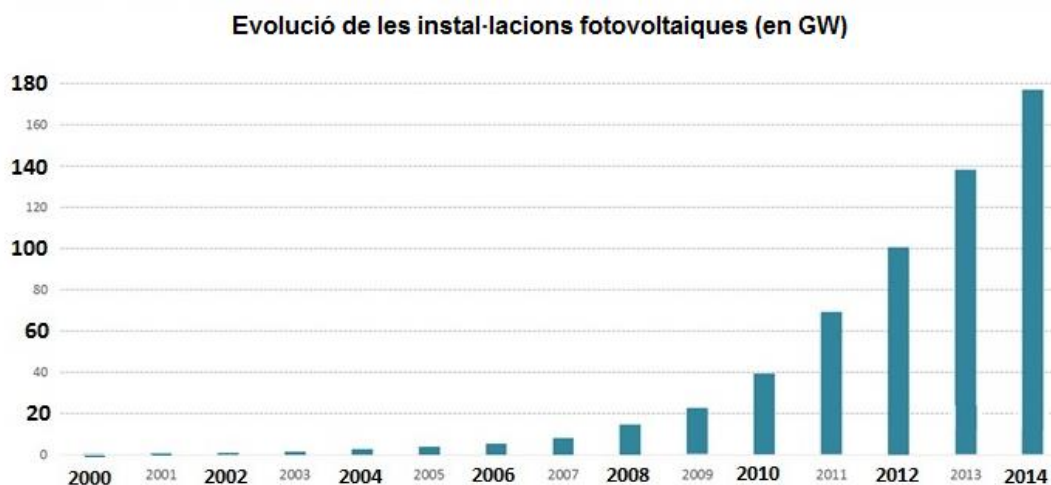


Figura 4: Evolució de les instal·lacions fotovoltaïques al món [13].

Al 2013 es van instal·lar un total de 37.000MW, que van suposar un augment del 35% respecte l'any anterior. La tecnologia fotovoltaica deixa de ser una aposta pròpiament europea per convertir-se en una alternativa competitiva en les principals potències econòmiques. Així, durant el 2013 la regió Àsia-Pacífic, Xina i Japó van liderar el rànquing de nova potència fotovoltaica instal·lada.

Els resultats de l'estudi de la AIE (Agència Internacional de l'Energia) [13] mostren que el mercat fotovoltaic va tornar a créixer al 2014, setè any de la crisi financera. Segons aquest estudi, el sector solar fotovoltaic global va instal·lar al 2014 al voltant de 38,7 GW de potència arreu del món, recordem que la potència instal·lada al 2013 va ser de 37,6GW, una xifra una mica menor. La addició de potència al 2014 va elevar la capacitat fotovoltaica instal·lada al món fins als 177GW. La regió d'Àsia-Pacífic va ser, per segon any consecutiu, el més important del mercat mundial 2014, amb un 59% del global. Europa, pel contrari, va veure com minvava fins al 18%, quan al 2012 amb prou feines es movia al voltant del 59% del mercat global. Segons la AIE, la caiguda del pes europeu al mercat fotovoltaic mundial es deu a dos factors: la reducció objectiva del mercat domèstic europeu i el creixement del mercat global, que ha relativitzat el pes del continent.

El mercat americà també ha crescut, amb Estats Units, Canadà i Xile al cap. L'Orient Mitjà roman latent, mentre que Àfrica està creixent – mil megawatts al 2014 – gràcies a la locomotora sud-africana. Però el més important, segons la AIE al seu informe, és que la Xina, que va haver de revisar les seves previsions de creixement a la baixa al 2013 (aquell any va créixer únicament 10,95GW), l'any següent va tornar a enregistrar una lleugera caiguda, fins els 10,6 GW. A Àsia, la segona major potència del 2014 va ser el Japó, que va sumar al seu parc solar fotovoltaic 9,7GW. Seguidament la van seguir, a la resta del món, els Estats Units (6,2GW) i tres mercats europeus: Regne Unit (2,3GW), Alemanya (1,9GW) i França, amb al voltant d'1GW instal·lat al llarg del 2014. Les dades exposades es mostren a la Figura 5.

Top 10 Nacions						
	Potència instal·lada al 2014			Potència acumulada fins al 2014		
1 st		China	10,6 GW		Germany	38,2 GW
2 nd		Japan	9,7 GW		China	28,1 GW
3 rd		USA	6,2 GW		Japan	23,3 GW
4 th		UK	2,3 GW		Italy	18,5 GW
5 th		Germany	1,9 GW		USA	18,3 GW
6 th		France	0,9 GW		France	5,7 GW
7 th		Australia	0,9 GW		Spain	5,4 GW
8 th		Korea	0,9 GW		UK	5,1 GW
9 th		South Africa	0,8 GW		Australia	4,1 GW
10 th		India	0,6 GW		Belgium	3,1 GW

Figura 5: Taula que mostra les dades d'energia fotovoltaica obtingudes al 2014 [13].

Segons la consultora IHS, el 2015 serà, sense cap dubte, el millor any per a la indústria fotovoltaica, excepte pel mercat Espanyol. Es preveu que es tancarà el 2015 amb una pujada de la demanda del sector fotovoltaic que rondarà el 25%. Amb aquestes xifres es creu que, al llarg del 2015, s'haurà instal·lat uns 55GW arreu del món.

Geogràficament, els mercats més grans seran, un cop més, la Xina, Japó i Estats Units, mentre que els majors contribuïdors en termes de creixement absolut serà la Xina, Estats Units i la Índia. Però el més significatiu, en quant a mercat, serà el canvi de lideratge mundial en quant a penetració en la indústria fotovoltaica. Alemanya perdrà el primer lloc al rànquing de producció d'energia a favor de Califòrnia, que s'haurà convertit en la regió que més electricitat generi al 2015 gràcies a la font solar. Es preveu que la fotovoltaica aporti un 10% de l'electricitat generada en aquest estat, un percentatge que supera àmpliament les xifres d'Alemanya o Itàlia.

2.6. L'energia solar fotovoltaica a Espanya

Les característiques del mercat energètic espanyol al principi del present segle estaven determinades bàsicament per una forta dependència respecte del petroli, el gas, el carbó i l'energia nuclear (les renovables representaven menys del 5% del consum energètic global). Aquesta combinació tradicional de fonts d'energia suposava importants inconvenients, incloent l'emissió de grans quantitats de diòxid de carboni.

Els factors positius eren la disponibilitat de fonts d'energia renovables a gran escala, l'existència d'una indústria de renovables a alt nivell tecnològic fort creixement i la presència d'una comunitat investigadora experta.

El desenvolupament del mercat fotovoltaic havia estat molt limitat fins al maig de 2007, quan el Ministeri d'Indústria, Comerç i Turisme va fer públic el Reial Decret RD 661/2007 per a la regulació de la producció d'energia en el règim especial [14]. EL RD 661/2007 va establir una tarifa d'injecció a la xarxa (TIR) de l'ordre de 0,40€/kWh, depenent de la potència nominal de la instal·lació, revisable anualment segons la inflació durant els primers 25 anys, més una reducció escalonada posteriorment. La següent taula (Taula 1) resumeix les condicions establertes per l'esmentat text legal.

Potència (MW)	Període (anys)	TIR (€ c/kWh)
0 - 0,1	≤ 25	44,0381
	>25	35,2305
0,1 - 10	≤ 25	41,7500
	>25	33,4000
10 - 50	≤ 25	22,9764
	>25	18,3811

Taula 1. Resum de les condicions establertes pel RD 661/2007 per a instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa [14].

El RD 661/2007 va establir un marc legal que tenia: TIR ben establertes, una regla clara d'actuació i una garantia a llarg termini. Aquestes condicions es van afegir als factors positius citats a la secció anterior, de manera que el sector fotovoltaic experimentà un desenvolupament molt important. El marc era vàlid fins a 371MW de potència nominal instal·lada en total. Tant aviat com s'aconseguís el 85% d'aquest límit un nou reial decret hauria de substituir a l'antic en un període no inferior a un any. Ja al juny de 2007, la frenètica activitat desencadenada mesos enrere havia donat lloc a una potència acumulada de 326 MW, així que al setembre de 2007 s'aprovà un període de validesa d'un any per al RD 661/2007. Tothom tenia present que les instal·lacions fotovoltaïques que estiguessin funcionant abans de setembre de 2008 es beneficiaria de tarifes d'injecció a xarxa garantides més elevades que les que poguessin correspondre a qualsevol altra instal·lada posteriorment. S'havien generat les condicions per a una febre de l'or fotovoltaica. El ritme de posada en marxa d'instal·lacions fotovoltaïques es va disparar fins a 500MW/mes, de manera que al setembre de 2008 la potència instal·lada acumulada havia arribat als 3116MW (Figura 6).

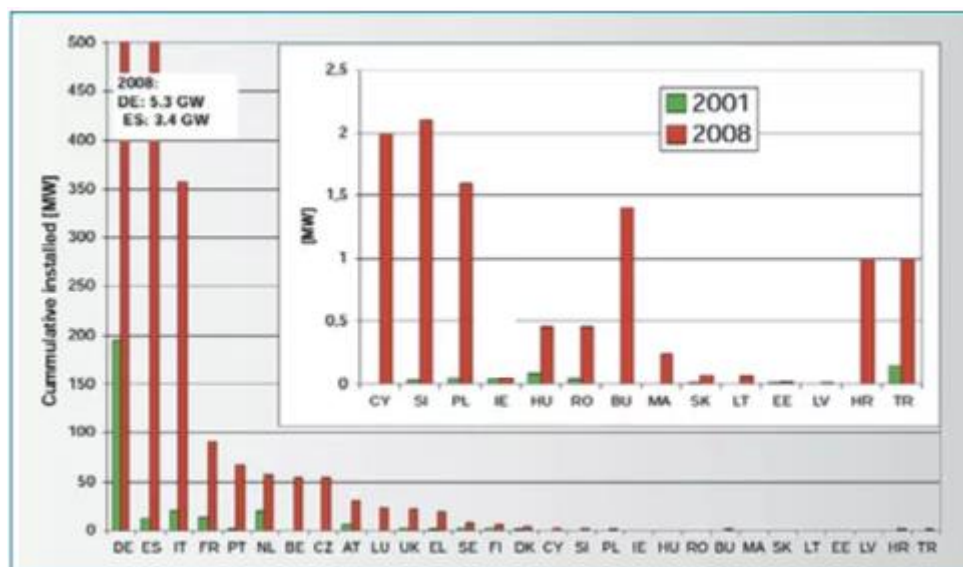


Figura 6: Capacitat fotovoltaica instal·lada acumulada connectada a la xarxa a diversos països europeus a finals de 2008 [15].

S'havia produït un creixement del 500% en tant sols un any. Diversos factors variaven afavorir aquesta explosiva evolució [16]: (a) ja havien aparegut els primers símptomes de la crisi financera, així que molts inversors estaven buscant productes financers alternatius; (b) el crèdit era barat i fàcil d'aconseguir; (c) el marc legal permetia construir grans instal·lacions compartides per molts petits propietaris que compartien serveis (granges solars); (d) l'evidència de que les condicions empitjorarien després de la data límit; € la disponibilitat de moltes hores de sol i terrenys; (f) el canvi de l'euro respecte el dòlar afavoria la importació de mòduls fotovoltaics.

Quan al setembre de 2008 es va arribar a la data límit, es publicà un nou Reial Decret, el RD 1578/2008. Per primera vegada es tractava a les instal·lacions sobre coberta i a les de camp de forma diferent. Es van reduir les tarifes d'injecció a la xarxa, però el major impacte el causà la limitació de la potència instal·lada (Taula 2).

Tipus d'instal·lació		Coberta	Camp
Límit (total 400MW/any)		267MW/any	133MW/any
Quota	≤ 20kW	10%	100%
	≤ 20kW	90%	
TIR	≤ 20kW	0,34 €	0,32 €

Taula 2. Resum de les condicions establertes pel RD 1578/2008 per a instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa.

El nou decret devastà el mercat interior, que va créixer lleugerament fins a arribar a la capacitat instal·lada acumulada de 4711MW al 2009 [17].

El marc legal no fou l'únic factor que va afavorir el col·lapse del mercat fotovoltaic intern. Per afegiment a la contracció de la demanda forçada per decret, els preus de venda internacionals es van reduir dràsticament per simple *dumping*. Per desgràcia, la Comissió Europea i el Parlament Europeu van ser molt ineficients per a legislar a favor de la protecció de la indústria europea en tals circumstàncies.

La Comissió Nacional d'Energia va ser, des del novembre de 2009, la encarregada de gestionar el pagament de les instal·lacions fotovoltaïques, i qui volgués cobrar pel seus kilowatts havia d'estar registrat als arxius de l'òrgan regulador.

Al 2010 es va promulgar el Reial Decret 14/2010 per a l'energia solar fotovoltaica, l'anomenada "llei anti-fotovoltaica". En general, aquesta llei va originar una sobtada reducció de tarifa del 45% per a les plantes fotovoltaïques en sol, el que va impedir una rendibilitat d'aquestes instal·lacions. Com a conseqüència, el volum total del mercat solar es va reduir a gairebé un 50%, que en termes d'energia van ser poc més de 250MW.

Respecte les dades dels anys anteriors, la Comissió Nacional d'Energia reflexa que al 2009 es varen instal·lar a Espanya 17MW fotovoltaics, a diferència del 2010, que es varen instal·lar 392MW. Aquest percentatge tan desorbitat reflexa més aviat l'enfonsament durant el 2009, no una evolució extraordinària del mercat al 2010. La realitat és que entre el 2009 i el 2010 el Govern va adjudicar 979MW dels quals no es varen instal·lar ni la meitat.

Degut a la desconfiança generada per les normes retroactives aprovades al 2010 i la mala situació financera, gran part de la potencia assignada al 2010 no es va instal·lar al 2011.

Per tant, davant d'aquesta situació, el que van fer les empreses del Sector Fotovoltaic nacional va ser intensificar la sortida cap a altres mercats exteriors per a desenvolupar la seva activitat, ja que la situació a Espanya no es corresponia amb el que succeïa més allà de les nostres fronteres.

A l'any 2011 es va aprovar el Reial Decret 1699/2011, pel que es va regular la connexió a xarxa d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència (inferiors a 10kW).

Al 2012 es va aprovar el RD 1/2012, que eliminava les primes a totes les instal·lacions projectades en aquell any i als següents, frenant així la progressió creada entorn a aquesta energia.

Els citats decrets no van ser les úniques mesures legals aplicades per a frenar el desenvolupament de l'energia solar fotovoltaica a Espanya. Un cop el cost de l'energia fotovoltaica va disminuir suficientment com per ser competitiva, el lobby de les companyies elèctriques locals va pressionar el Govern per a que aplicés la reducció o eliminació retroactiva de les TIR, limités el nombre d'hores de funcionament e imposés importants peatges a l'ús de la xarxa elèctrica, tot amb l'objectiu de frenar el desenvolupament d'una font d'energia que no només és "massa" competitiva sinó que és massa fàcil d'adoptar per part dels usuaris finals, fent-los menys dependents de les grans companyies que exploten encara el negoci energètic tradicional.

Mentre que al 2011 el sector fotovoltaic espanyol superava els 12.000 llocs de treball, a mitjans del 2013 aquest volum es va reduir a uns 4.500 llocs.

El 9 d'Octubre de 2015 es va aprovar el Reial Decret 900/2015 [18] pel que es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum, la qual és normativa vigent. Aquest decret afecta a tothom que produeixi energia elèctrica per a l'autoconsum, distingint dues modalitats ben diferenciades: la tipus A, aquell que produeix energia per consum propi i que no està donat d'alta com a productor (la gran majoria de les instal·lacions) i la tipus B, la instal·lació del qual està inscrita al registre de producció d'energia elèctrica. Els punts més importants d'aquest Reial Decret són els següents:

- Article 6.1: exposa l'obligatorietat de notificació de les instal·lacions d'autoconsum. No afecta a les instal·lacions aïllades, és a dir, de les no connectades a la xarxa elèctrica.

- Article 9.3: És necessari tenir dos comptadors, un que mesuri l'energia que prenem de la xarxa, i un altre que mesuri l'energia produïda per la instal·lació d'autoconsum. A més a més, no podrem tenir quelcom que consumeixi energia entre la instal·lació i el comptador.
- Article 10.1: Indica que l'energia que no consumim procedent de la nostra instal·lació, i que abocarem a la xarxa, l'estarem "regalant".
- Article 10.3: Aquest article ens avisa que haurèm de pagar un peatge extra per l'energia que produïm i consumim.

En conclusió, degut a aquest decret no es rebrà compensació per l'energia que s'aboqui a la xarxa i s'haurà de pagar per la que consumim de la nostra instal·lació d'autoconsum.

3. SISTEMA D'ADQUISICIÓ DE SENYALS

3.1. Introducció

Esquema circuit de tensió:

L'objectiu d'aquest circuit és acondicionar la tensió, és a dir, es vol que aquesta passi de $\pm 400\text{V}$ a $0\text{-}5\text{V}$ en alterna i de 400V a $2,5\text{-}5\text{V}$ en senyal contínua.

Com es pot observar a la Figura 7, a l'entrada del sensor s'hi ha connectat una tensió de $\pm 400\text{V}$ en alterna que correspondria al cas genèric. A la Figura 8, a l'entrada del sensor s'hi ha connectat una tensió que s'ha decidit que sigui de 400V en contínua ja que s'ha considerat aquesta tensió màxima en els panells fotovoltaics. Aquesta tensió és convertida a $\pm 5\text{V}$ (en el cas de la Figura 7) i a 5V (en el cas de la Figura 8) mitjançant el transductor LV 25-P. Seguidament aquest valor es divideix a la meitat gràcies al circuit atenuador, d'aquesta manera el senyal passarà a ser de $\pm 2,5\text{V}$ en alterna i $2,5\text{V}$ en contínua. Finalment la tensió passa per un circuit inversor i sumador que afegirà un offset de $2,5\text{V}$, per tant, el valor del rang de la tensió final serà de $0\text{-}5\text{V}$ en alterna i 5V en contínua.

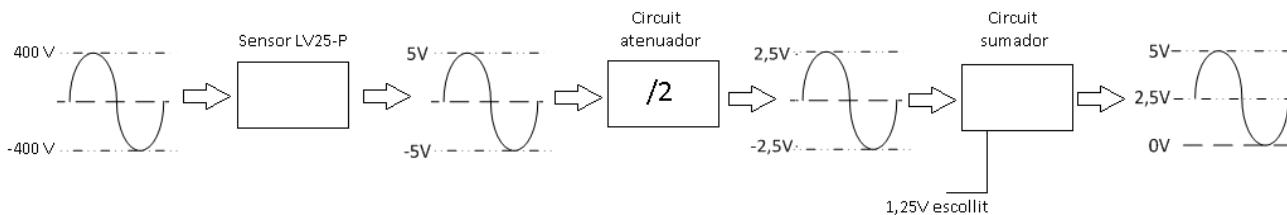


Figura 7: Esquema del circuit de tensió en alterna.

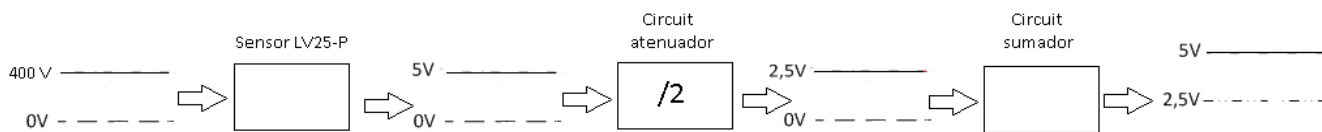


Figura 8: Esquema del circuit de tensió en contínua.

Esquema circuit de corrent:

De la mateixa manera que al circuit de tensió l'objectiu del de corrent és acondicionar la senyal, és a dir, es vol que aquesta passi de $\pm 8\text{A}$ a $0\text{-}5\text{V}$ en alterna i de $0\text{-}8\text{A}$ a $2,5\text{-}5\text{V}$ en senyal contínua. Els càlculs estan realitzats tenint en compte el cas genèric, és a dir, que la tensió d'entrada seran 400V .

Com es pot observar a la Figura 9 i Figura 10, a l'entrada del sensor s'hi ha considerat connectar un corrent de $\pm 8\text{A}$ en alterna i de 8A en contínua, que correspon amb el corrent màxim d'entrada. Aquest valor és convertit a $\pm 5\text{V}$ en alterna i 5V en contínua i mitjançant el transductor LA 25-NP. Seguidament aquest valor es divideix a la meitat gràcies al circuit atenuador, d'aquesta manera el senyal passarà a ser de $\pm 2,5\text{V}$ en alterna i $2,5\text{V}$ en contínua. Finalment la tensió passa per un circuit inversor i sumador que afegirà un offset de $2,5\text{V}$, per tant, el valor del rang de la tensió final serà de 5V en alterna i $2,5\text{-}5\text{V}$ en contínua.

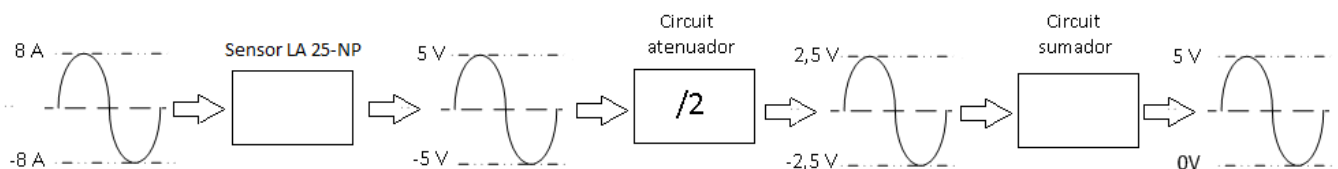


Figura 9: Esquema del circuit de corrent en alterna.

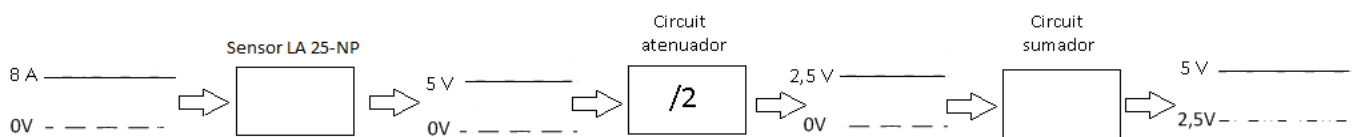


Figura 10: Esquema del circuit de corrent en contínua.

Circuit de prova:

Per a dur a terme la comprovació experimental del funcionament dels circuits acondicionadors es realitzaran les connexions que es mostren a la Figura 11. S'hi connectarà una font de 30V en comptes de 400V per realitzar més còmodament el test i dues resistències de 75Ω en paral·lel generaran el corrent pertinent.

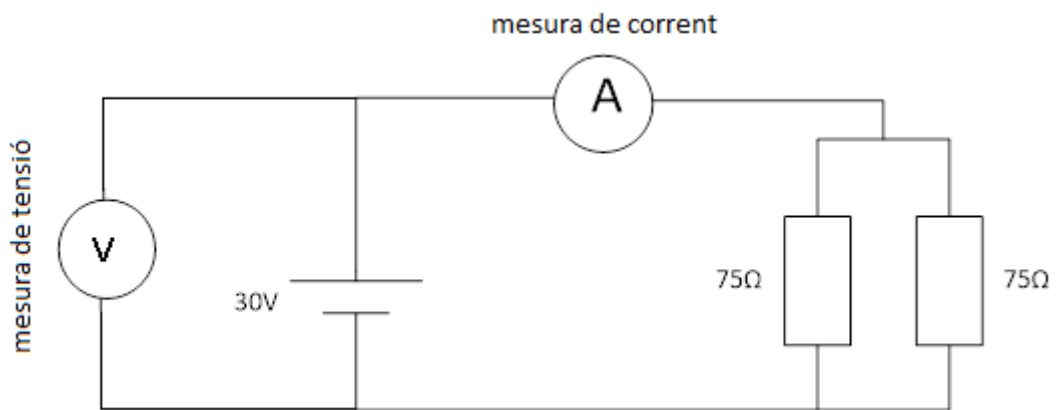


Figura 11: Circuit generador de corrent.

3.2. Circuit de tensió

El transductor de tensió LV 25-P s'empra en el mesurament electrònic de tensions. Té una separació galvànica entre el circuit primari i el secundari. El seu aspecte es pot observar a la Figura 12.



Figura 12: Transductor de tensió LV 25-P.

- **Característiques:**

Transductor de tensió de llaç tancat que usa l'efecte Hall.

Té un recobriment de plàstic aïllant que compleix la UL 94-V0, la qual és la norma de seguretat d'inflamabilitat de materials plàstics per a les peces de dispositius i electrodomèstics.

- **Principi de funcionament:**

Per a mesures de tensió, un corrent proporcional a la tensió mesurada passa a través d'una resistència externa R1, la qual és seleccionada per l'usuari i instal·lada en sèrie amb el circuit primari del transductor.

- **Principals dades elèctriques:**

La Taula 3 mostra les dades elèctriques més rellevants.

I_{PN}	Corrent eficaç nominal primari	10 mA
I_{SN}	Corrent eficaç nominal secundari	25mA
V_{PN}	Tensió nominal primària	10...500V

Taula 3. Principals dades elèctriques transductor LV 25-P.

L'esquema de connexió del transductor de voltatge model LV 25-P és mostra a la Figura 13.

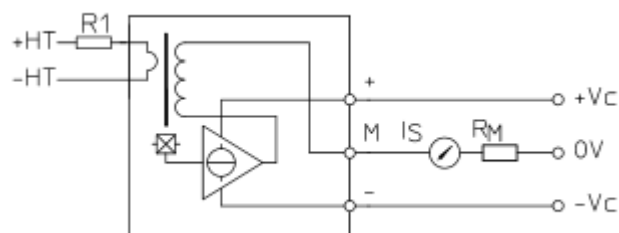


Figura 13: Esquema de connexió del transductor LV 25-P.

S'ha establert que la tensió primària nominal sigui 400V i la tensió secundària nominal sigui 5V.

Calculem la resistència R1:

$$R_1 = \frac{V_{PM}}{I_{PM}} = \frac{400 \text{ V}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = \mathbf{40k\Omega}$$

Calculem la potència del primari:

$$P = R_1 \cdot I_{PM}^2 = 40k\Omega \cdot 10mA^2 = 40.000\Omega \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2 A = \mathbf{4W}$$

Calculem la resistència de mesurament, R_M (establim que la tensió de sortida V del transductor sigui 5V):

$$R_M = \frac{V}{I_{SN}} = \frac{5V}{25mA} = \frac{5V}{25 \cdot 10^{-3}A} = \mathbf{200\Omega}$$

Calculem novament la potència però aquest cop del secundari:

$$P = R_M \cdot I_{SN}^2 = 200\Omega \cdot 25mA^2 = 200\Omega \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 A = \mathbf{0,125W}$$

Ara ja podem calcular el consum:

$$\text{Consum} = 10 + I_{SN} = 10 + 25mA = \mathbf{35mA}$$

L'esquema del circuit de tensió està dividit en tres etapes:

- **Etapa 0 (E0):** Comprèn un filtre RC i un amplificador seguidor (Figura 14).

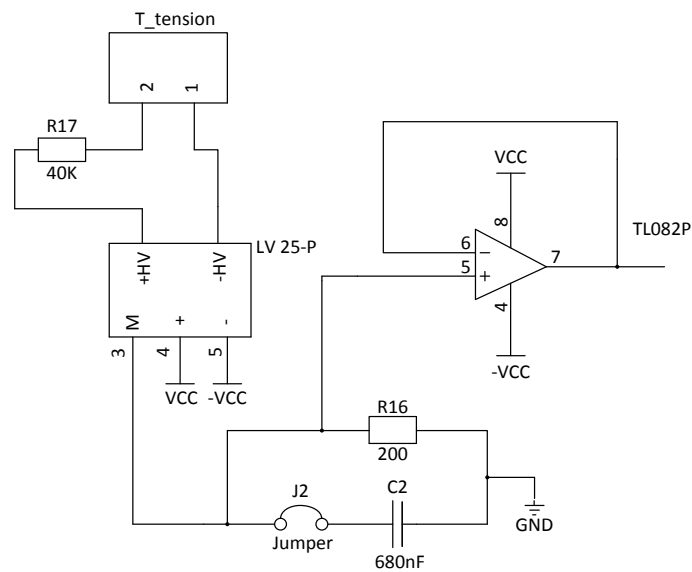


Figura 14: Esquema de l'Etapa 0 del circuit de tensió.

En aquest cas, el valor de la resistència R1 calculada anteriorment es correspondria amb el de la nova resistència R17, de la mateixa manera passa amb la resistència R_M anterior, que correspondria a l'actual R16.

A continuació es mostra un esquema (Figura 15) del filtre RC del qual es compon aquesta etapa:

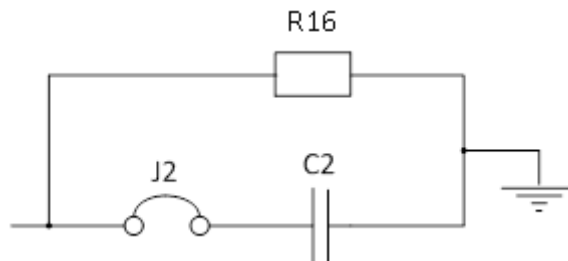


Figura 15: Filtre RC.

Càlcul de la freqüència de tall del filtre RC:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 200\Omega \cdot 680\text{nF}} = \mathbf{1170\text{Hz}}$$

A continuació hi ha un amplificador operacional seguidor per separar ambdós circuits (Figura 16).

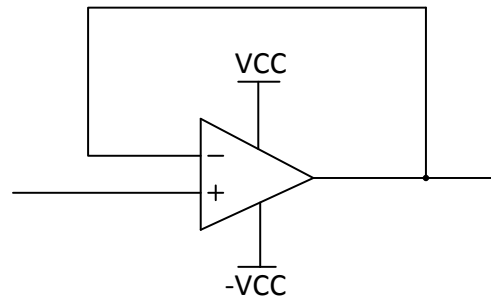


Figura 16: Amplificador operacional seguidor.

L'amplificador seguidor no altera la tensió, per tant, a la sortida de R16 continuem tenint **5V**. A la Figura 17 es mostra la forma d'ona que en resulta d'aquesta etapa del circuit.

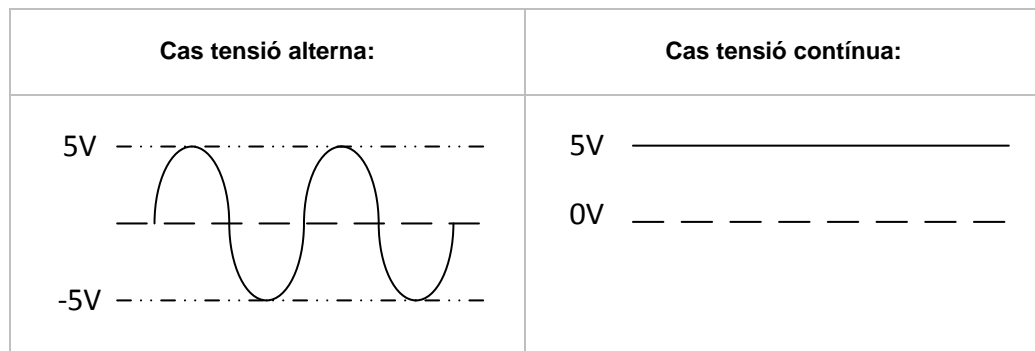


Figura 17: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.

- **Etapa 1 (E1):** Comprèn l'amplificador inversor (Figura 18). Divideix a la meitat la tensió provinent de l'etapa anterior.

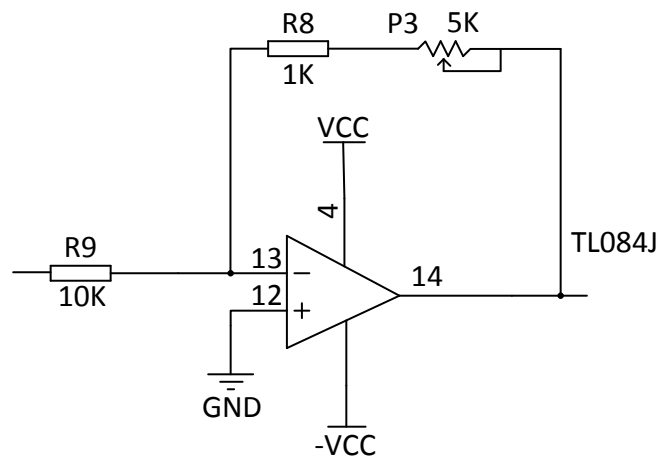


Figura 18: Amplificador inversor.

Amb el potenciòmetre se li entrarà $4\text{K}\Omega$, d'aquesta manera a la part superior de l'OPAM obtindrem una resistència de $5\text{K}\Omega$.

$$R_p = R_{\text{entrada pel potenciòmetre}}$$

$$R = R_8 + R_p = 1\text{k}\Omega + 4\text{k}\Omega = \mathbf{5\text{k}\Omega}$$

Analitzem l'amplificador:

$$i_1 = \frac{V_{\text{in}} - V_-}{R_9} \quad ; \quad i_2 = \frac{V_- - V_{\text{out}}}{R}$$

$$\text{Si } V_- = V_+ = 0 \quad \rightarrow \quad i_1 = \frac{5\text{V}}{10\text{k}\Omega} \quad ; \quad i_2 = \frac{-V_{\text{out}}}{5\text{k}\Omega}$$

$$i_1 = i_2$$

$$\frac{5\text{V}}{10\text{k}\Omega} = \frac{-V_{\text{out}}}{5\text{k}\Omega} \quad \rightarrow \quad V_{\text{out}} = 5\text{V} \cdot \frac{5\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} = 5\text{V} \cdot 0.5 = \frac{5}{2} \quad \rightarrow \quad V_{\text{out}} = 2.5\text{V}$$

Per tant, a la sortida de l'etapa 1 tenim **2,5V**. A la Figura 19 es mostra la forma d'ona que en resulta d'aquesta etapa del circuit.

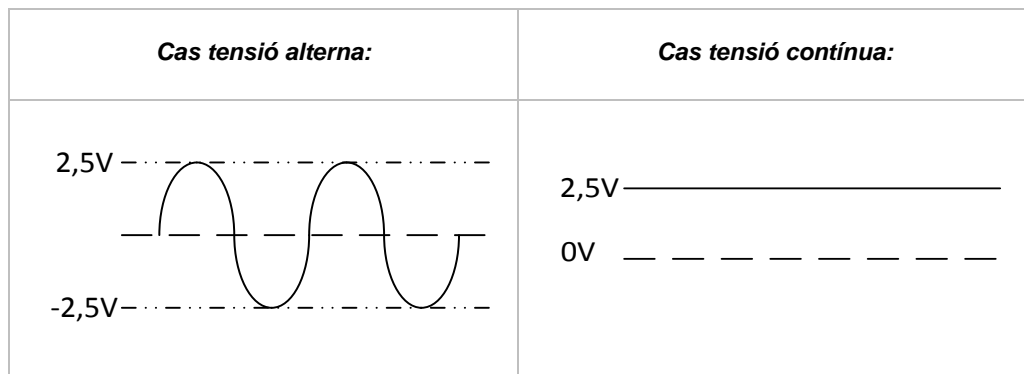


Figura 19: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.

- **Etapa 2 (E2):** Comprèn l'amplificador sumador (Figura 20). El que es vol és que el rang de la tensió sigui 0-5V en alterna, i per tant, s'haurà de sumar un offset de 2,5V a la tensió resultant de l'etapa anterior. Per a que això sigui possible, V_+ haurà de ser 1,25V. Novament, per a que es compleixi l'anterior premissa, R_{12} hauria de ser 110k Ω i R_x de 10k Ω . La comprovació de la validesa dels valors esmentats es mostrarà a continuació, quan es resolgui el divisor de tensió.

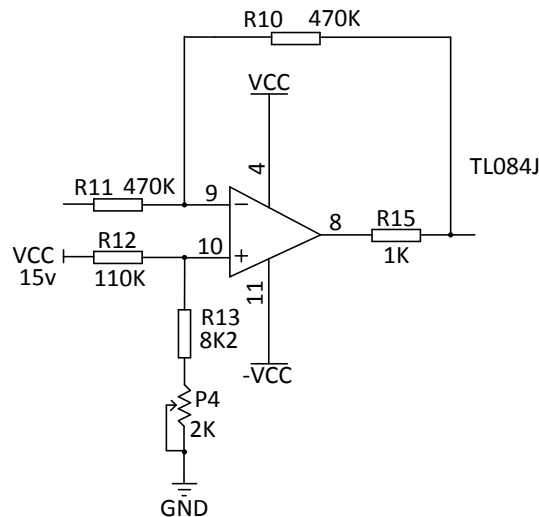


Figura 20: Amplificador inversor i sumador.

Amb el potenciòmetre se li entrarà $1,8\text{k}\Omega$, d'aquesta manera a la part inferior de l'OPAM obtindrem una resistència de $10\text{k}\Omega$.

$$R_p = R_{\text{entrada pel potenciòmetre}}$$

$$R_x = R_{13} + R_p = 8,2\text{k}\Omega + 1,8\text{k}\Omega = \mathbf{10\text{k}\Omega}$$

El valor de les resistències R_{10} i R_{11} ha de ser el mateix, de tal manera que, quan analitzem l'operacional, marxïn les dues. S'ha establert que $R_{10}=R_{11}=\mathbf{470\text{k}\Omega}$.

Ara ja podem resoldre el divisor de tensió:

$$V_+ = 15\text{V} \cdot \frac{10\text{k}\Omega}{110\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} = \frac{5}{2} = \mathbf{1.25\text{V}}$$

$$i_1 = \frac{V_{\text{in}} - V_-}{R_{11}} \quad ; \quad i_2 = \frac{V_- - V_{\text{out}}}{R_{10}}$$

$$\text{Si} \quad i_1 = i_2 \quad \text{i} \quad V_- = V_+ = 1.25\text{V}$$

$$\rightarrow \frac{V_{\text{in}} - 1.25}{470\text{k}\Omega} = \frac{1.25 - V_{\text{out}}}{470\text{k}\Omega}$$

$$V_{\text{in}} - 1.25 = 1.25 - V_{\text{out}} \rightarrow V_{\text{out}} = -V_{\text{in}} + 1.25 + 1.25$$

V_{in} correspon a l' V_{out} anterior que tenia valor $\pm 2.5\text{V}$, per tant:

$$\text{Si } V_{\text{sortida } E1} = V_{\text{in}} = 2.5\text{V} : \quad V_{\text{out}} = -2.5 + 1.25 + 1.25 = \mathbf{0V}$$

$$\text{Si } V_{\text{sortida } E1} = V_{\text{in}} = -2.5\text{V} : \quad V_{\text{out}} = 2.5 + 1.25 + 1.25 = \mathbf{5V}$$

D'aquesta manera, a la sortida de E2 tenim 5V. A la Figura 21 es mostra la forma d'ona final que en resulta del circuit de tensió.

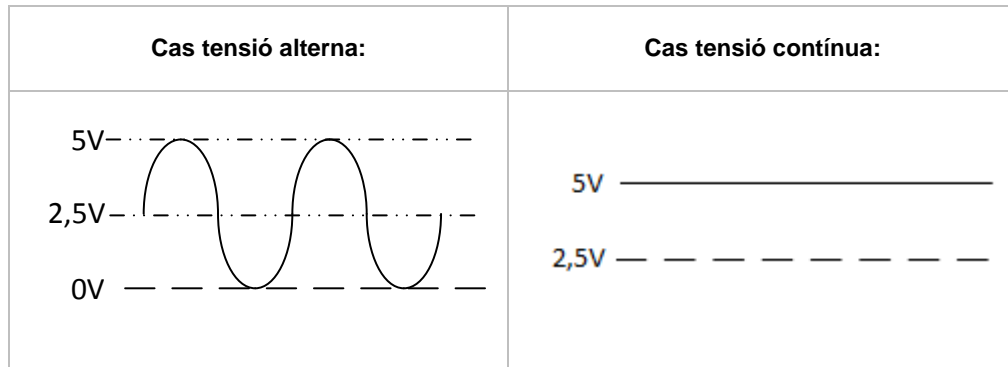


Figura 21: Forma d'ona final resultant del circuit de tensió.

3.3. Circuit de corrent

El transductor de tensió LA 25-NP s'empra en el mesurament electrònic de corrents. Té un aïllament galvànic entre el circuit primari i el secundari. El seu aspecte es pot observar a la Figura 22.



Figura 22: Transductor de tensió LA 25-NP.

- **Característiques:**

Transductor de corrent de llaç tancat que usa l'efecte Hall.

De la mateixa manera que s'ha vist al transductor LV 25-P, té un recobriments de plàstic aïllant que compleix la UL 94-V0, la qual és la norma de seguretat d'inflamabilitat de materials plàstics per a les peces de dispositius i electrodomèstics.

- **Principals dades elèctriques:**

A continuació es mostra una taula (Taula 4) amb les dades elèctriques més rellevants del transductor de corrent LA 25-NP.

I_{PN}	Corrent eficaç nominal primari	25 At
I_{SN}	Corrent eficaç nominal secundari	25mA
V_C	Tensió d'alimentació	±15V
I_C	Consum de corrent	10+ I _S [mA]

Taula 4. Dades elèctriques del transductor LA 25-NP.

Com que s'ha decidit que se li connectaran 8A, el qual serà el valor màxim d'entrada, la connexió recomanada per aquest transductor és la següent:

Number of primary turns	Primary current		Nominal output current I _{SN} [mA]	Turns ratio K _N	Primary resistance R _p [mΩ]	Primary insertion inductance L _p [μH]	Recommended connections
	nominal I _{PN} [A]	maximum I _P [A]					
3	8	12	24	3 / 1000	2.5	0.21	

Taula 5. Taula de característiques.

Com es pot observar a la Taula 5, el rati de voltes (*Turns ratio*) és:

$$K_N = \frac{3}{1000} = 0.003$$

Per tant,

$$I_{SN} = K_N \cdot I_{PN} = 0.003 \cdot 8 = 24\text{mA} \sim 25\text{mA}$$

A continuació es calcularà el consum però, per a obtenir nombres “rodons”, suposarem que el corrent nominal de sortida (I_{SN}) és de 25mA.

$$\text{Consum} = 10 + I_{SN} = 10 + 25\text{mA} = \mathbf{35\text{mA}}$$

L'esquema del transductor de corrent model LA 25-NP és mostra a la Figura 23.

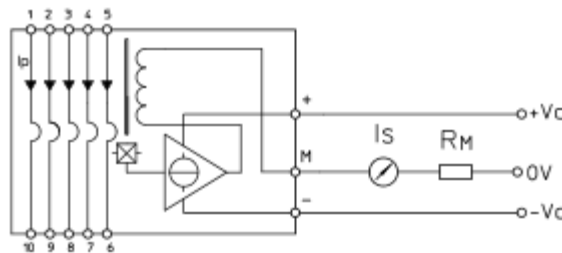


Figura 23: Esquema de connexió del transductor LA 25-NP.

Establím que el valor de corrent que alimentarà l'entrada del circuit del LA 25-NP sigui 8A.

L'esquema del circuit de corrent està dividit en tres etapes:

- **Etapa 0 (E0):** Comprèn tant el filtre RC com l'amplificador seguidor (Figura 24).

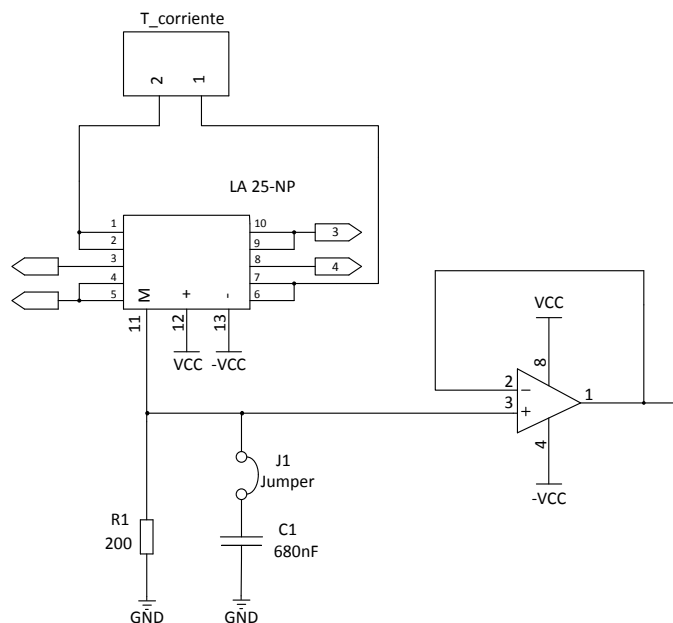


Figura 24: Etapa 0 del circuit de corrent.

Calculem la resistència de mesura (R1), que correspon a la resistència R_M esmentada anteriorment.

$$R1 = \frac{V}{I_{SN}} = \frac{5 \text{ V}}{25 \text{ mA}} = \frac{5 \text{ V}}{25 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = \mathbf{200\Omega}$$

A continuació es mostra un esquema (Figura 25) del filtre RC del qual es compon aquesta etapa:

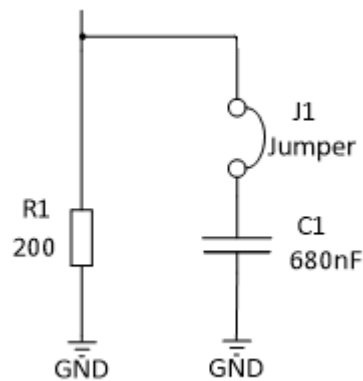


Figura 25: Filtre RC.

Càlcul de la freqüència de tall del filtre RC:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 200\Omega \cdot 680\text{nF}} = \mathbf{1170\text{Hz}}$$

De la mateixa manera que al circuit de tensió, hi ha un amplificador operacional seguidor per separar ambdós circuits (Figura 26).

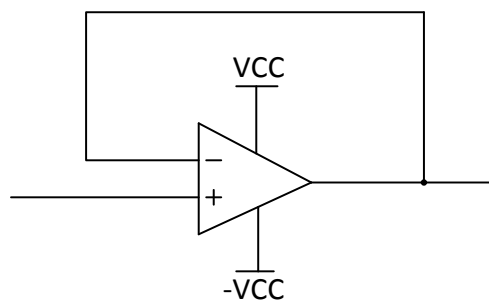


Figura 26: Amplificador operacional seguidor.

Per tant, a la sortida d'aquesta etapa la tensió és de **5V**. A la Figura 27 es mostra la forma d'ona que en resulta d'aquesta etapa del circuit.

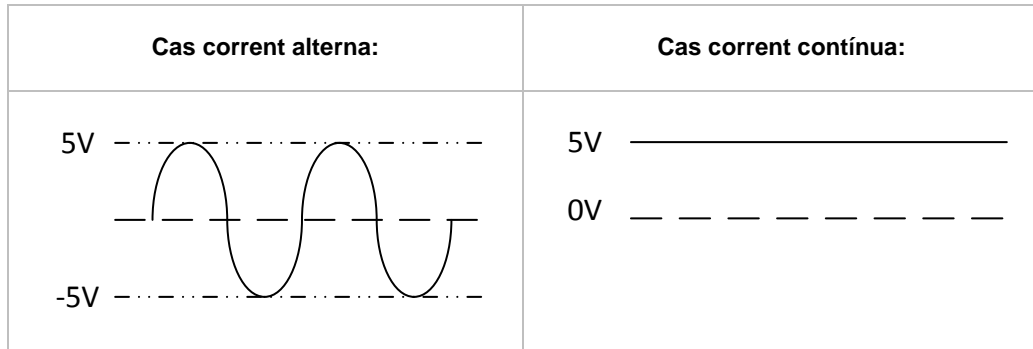


Figura 27: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.

- **Etapa 1 (E1):** Aquesta etapa comprèn l'amplificador inversor (Figura 28), que divideix a la meitat la tensió, atenua.

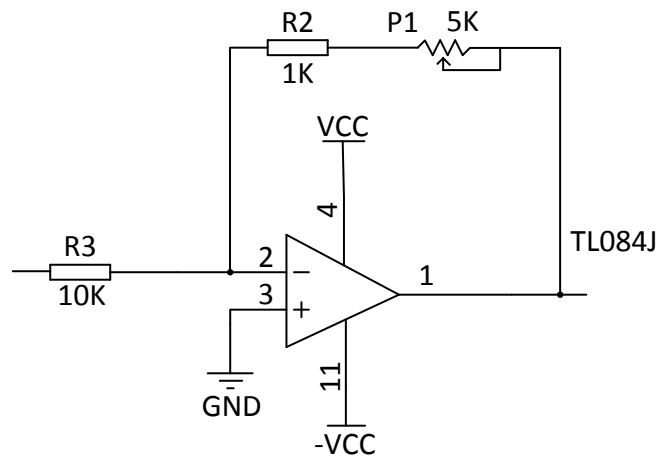


Figura 28: Amplificador inversor.

Amb el potenciòmetre se li entrarà $4\text{k}\Omega$, d'aquesta manera a la part superior de l'OPAM obtindrem una resistència de $5\text{k}\Omega$.

$$R_p = R_{\text{entrada pel potenciòmetre}}$$

$$R = R_2 + R_p = 1\text{k}\Omega + 4\text{k}\Omega = \mathbf{5\text{k}\Omega}$$

Analitzem l'amplificador:

$$i_1 = \frac{V_{\text{in}} - V_-}{R_3} \quad ; \quad i_2 = \frac{V_- - V_{\text{out}}}{R}$$

$$\text{Si } V_- = V_+ = 0 \quad \rightarrow \quad i_1 = \frac{5V}{10k\Omega} \quad ; \quad i_2 = \frac{-V_{out}}{5k\Omega}$$

$$i_1 = i_2$$

$$\frac{5V}{10k\Omega} = \frac{-V_{out}}{5k\Omega} \quad \rightarrow \quad V_{out} = 5V \cdot \frac{5k\Omega}{10k\Omega} = 5V \cdot 0.5 = 2,5V$$

$$\rightarrow \quad V_{out} = 2,5V$$

Per tant, a la sortida de l'etapa 1 tenim 2,5V. A la Figura 29 es mostra la forma d'ona que en resulta d'aquesta etapa del circuit.

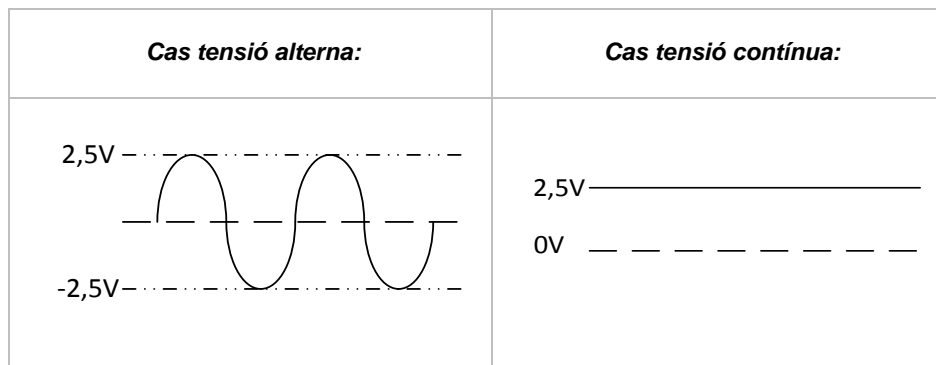


Figura 29: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.

- **Etapa 2 (E2):** Comprèn l'amplificador sumador (Figura 30), que suma un offset. De la mateixa manera que amb el circuit de tensió es sumarà un offset de 2,5V a la tensió resultant de l'etapa anterior. Per a que això sigui possible, V_+ haurà de ser 1,25V. Novament, per a que es compleixi l'anterior premissa, R_6 hauria de ser 110k Ω i R_x 10k Ω . La comprovació de la validesa dels valors esmentats es mostrarà a continuació, quan es resolgui el divisor de tensió.

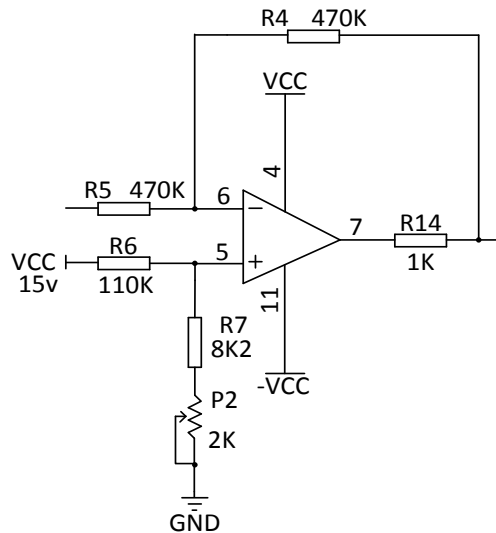


Figura 30: Amplificador sumador.

Amb el potenciòmetre se li entrarà 1,8k Ω , d'aquesta manera a la part inferior de l'OPAM obtindrem una resistència de 10k Ω .

$$R_p = R_{\text{entrada pel potenciòmetre}}$$

$$R_x = R_{13} + R_p = 8,2\text{k}\Omega + 1,8\text{k}\Omega = \mathbf{10\text{k}\Omega}$$

El valor de les resistències R10 i R11 ha de ser el mateix, de tal manera que, quan analitzem l'operacional, marxïn les dues. S'ha establert que R4=R5=470k Ω .

Ara ja podem resoldre el divisor de tensió:

$$V_+ = 15\text{V} \cdot \frac{10\text{k}\Omega}{110\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} = \frac{5}{2} = \mathbf{1.25\text{V}}$$

$$i_1 = \frac{V_{\text{in}} - V_-}{R_{11}} \quad ; \quad i_2 = \frac{V_- - V_{\text{out}}}{R_{10}}$$

$$\text{Si } i_1 = i_2 \quad \text{i} \quad V_- = V_+ = 1,25\text{V}$$

$$\rightarrow \frac{V_{\text{in}} - 1,25}{470\text{k}\Omega} = \frac{1,25 - V_{\text{out}}}{470\text{k}\Omega}$$

$$V_{\text{in}} - 1,25 = 1,25 - V_{\text{out}} \rightarrow V_{\text{out}} = -V_{\text{in}} + 1,25 + 1,25$$

V_{in} correspon a l' V_{out} anterior que tenia valor 2,5V, per tant:

$$\text{Si } V_{sortida E1} = V_{in} = 2,5V : \quad V_{out} = -2,5V + 1,25 + 1,25 = \mathbf{5V}$$

$$\text{Si } V_{sortida E1} = V_{in} = 0V : \quad V_{out} = 0 + 1,25 + 1,25 = \mathbf{2,5V}$$

D'aquesta manera, a la sortida de E2 tenim 5V. A la Figura 31 es mostra la forma d'ona final que en resulta del circuit de tensió.

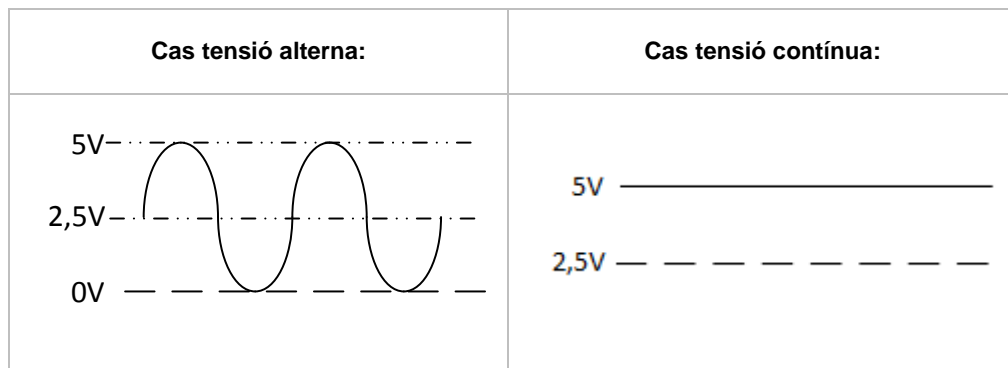


Figura 31: Forma d'ona final resultant del circuit de tensió.

3.4. Test i validació

Primerament, cal remarcar que el panell solar ens aportarà un corrent continu, per tant, totes les representacions d'ona seran, a partir d'ara, en aquest tipus de corrent.

Com s'ha esmentat a la introducció d'aquest punt del projecte, es connectarà un circuit generador de corrent (Figura 33) en sèrie al circuit de la placa el qual consta de dos resistències de 75Ω en sèrie, de manera que la resistència total és:

$$R_{total} = \frac{R}{2} = \frac{75 \Omega}{2} = \mathbf{37,5 \Omega}$$

I senzillament, amb la llei d'Ohm calculem el corrent teòric que circularà per aquest circuit:

$$V = I \cdot R \quad \rightarrow \quad 30V = I \cdot (75/2)\Omega \quad \rightarrow \quad \mathbf{I = 0,8A}$$

S'ha mesurat el valor de les resistències amb un multímetre i s'ha observat que el valor real de les dues resistències en paral·lel és de 38,2Ω (Figura 32).

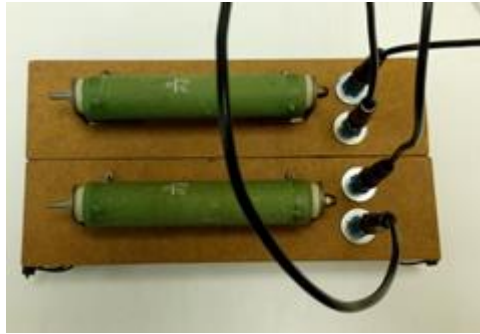


Figura 32: Circuit previ dut a terme.

Apliquem novament la Llei d'Ohm per a calcular la intensitat que passarà realment pel circuit previ al de corrent:

$$V = I \cdot R \quad \rightarrow \quad \frac{V}{R} = I \quad \rightarrow \quad \frac{30V}{38,2\Omega} = 0,7853A$$

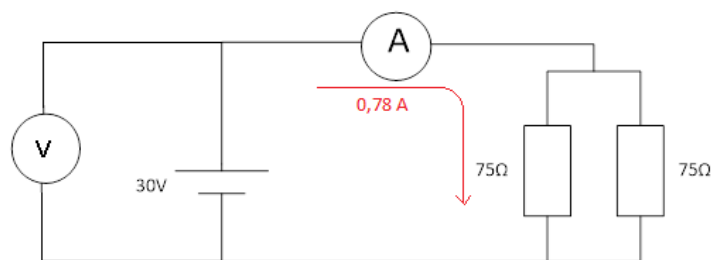


Figura 33: Esquema circuit total.

3.4.1. Circuit de tensió

- **Etapa 0 (E0):**

Un cop muntada i soldada la placa comprovem que funcioni correctament.

Alimentem la TracoPower amb 24V connectant-la al canal 1 de la font d'alimentació en mode de funció independent.

Recordem que als càlculs anteriors s'ha establert que la tensió primària nominal sigui 400V i la tensió secundària nominal sigui 5V.

Si, com hem dit, li entréssim una tensió de 400V, obtindríem una tensió a la sortida del transductor equivalent a 5V. Ara bé, com que a la pràctica no aplicarem 400V sinó 30V, es farà un reescalat que implicarà que a la sortida del transductor s'obtinguin 0,375V.

$$\left. \begin{array}{l} 400 \text{ V} \rightarrow 5 \text{ V} \\ 30 \text{ V} \rightarrow X \end{array} \right\} \quad X = 0,375 \text{ V}$$

Connectem la font d'alimentació a l'entrada del connector d'entrada del circuit del LV25-P ajustada a 30V. Per a tenir una tensió precisa de 30V anteriorment s'ha connectat la font d'alimentació amb l'oscil·loscopi i s'ha ajustat fins a tenir els volts desitjats.

A la sortida 7 del TL082P tenim 0.375V (Valor real: 0,3444V). A la Figura 34 s'hi pot observar la forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.

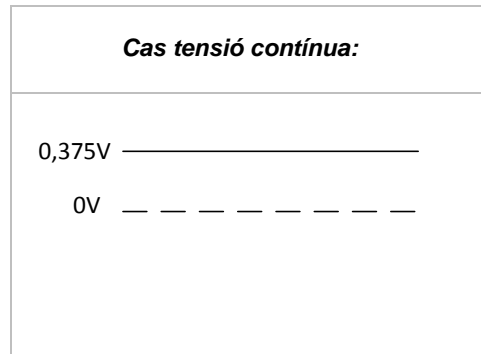


Figura 34: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.

- **Etapa 1 (E1):**

Si analitzem novament l'amplificador com s'ha fet en el cas teòric però ara pel cas concret de 30V de tensió d'entrada obtenim:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R}{R3} \rightarrow V_{out} = 0,375V \cdot \frac{5k\Omega}{10k\Omega} \rightarrow V_{out} = 0,375V \cdot 0.5$$

$$\rightarrow V_{out} = 0,1875V$$

A la sortida de E1 tenim 0,1875V ja que s'ha ajustat el potenciòmetre P3 de tal manera que s'obtingui aquest valor a la sortida 14 del TL084J. La forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1 es pot observar a la Figura 35.

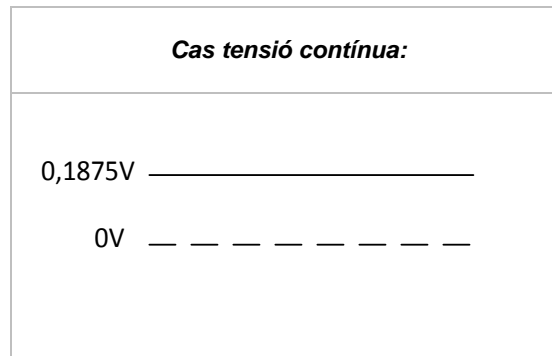


Figura 35: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.

- **Etapa 2 (E2):**

De la mateixa manera que a l'etapa anterior, si resollem novament el divisor de tensió però ara tenint en compte que la tensió d'entrada son 30V en comptes de 400V, com havíem fet en el cas genèric, obtenim:

$$V_{\text{out}} = 0,1875 + 2,5 = 2,6875\text{V}$$

$$V_{\text{out}} = 0 + 2,5 = 2,5\text{V}$$

A la sortida de E2 tenim 2,6875V ja que s'ha regulat el potenciòmetre P4 a 1,25V de tal manera que se li sumi 2,5V a la sortida 8 del TL084J. La forma d'ona de la tensió a la sortida d'aquesta etapa es mostra a la Figura 36.

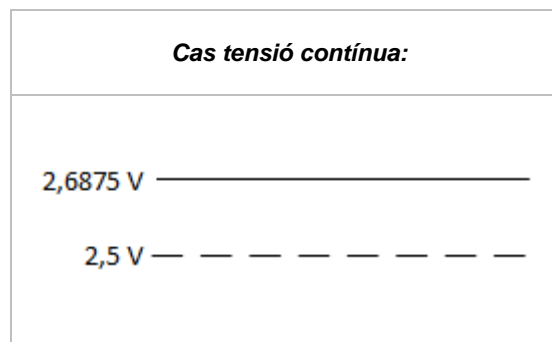


Figura 36: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 2.

A la Figura 37 es mostra un esquema representatiu del total del procés d'acondicionament de la tensió dut a terme al test:

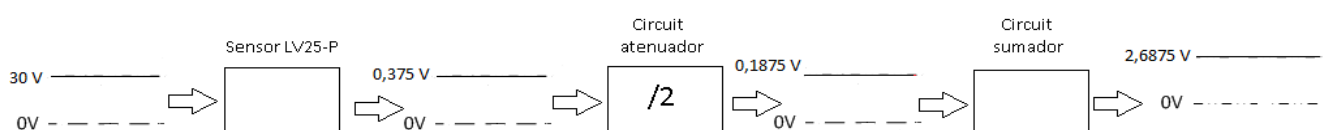


Figura 37. Esquema del procés d'acondicionament de tensió.

3.4.2. Circuit de corrent

- **Etapa 0 (E0):**

Si als càlculs teòrics teníem que el corrent primari nominal és de 8A i la tensió és de 5V, fem un reescalat de manera que a 0,7853A tenim 0,4908V.

$$\left. \begin{array}{l} 8 \text{ A} \rightarrow 5 \text{ V} \\ 0,7853 \text{ A} \rightarrow X \end{array} \right\} X = 0,4908 \text{ V}$$

A la sortida 1 del TL082P tenim 0,4908V (Valor real: 0,4908V). A la Figura 38 s'hi pot observar la forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.

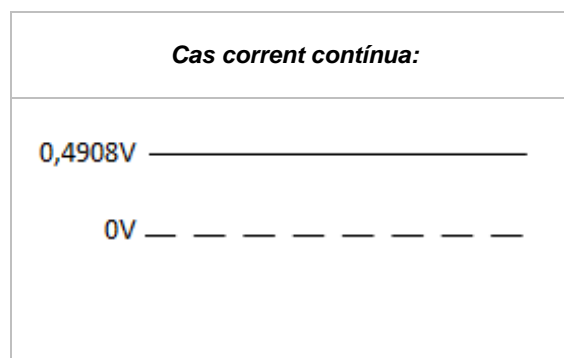


Figura 38: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 0.

- **Etapa 1 (E1):**

Si analitzem l'amplificador d'aquesta etapa tal com hem fet anteriorment però ara tenint en compte que la tensió provinent de l'etapa 0 és 0,4908V obtenim:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R}{R3} \rightarrow V_{out} = 0,4908V \cdot \frac{5k\Omega}{10k\Omega} \rightarrow V_{out} = 0,4908V \cdot 0.5$$

$$\rightarrow V_{out} = 0,2454V$$

A la sortida de E1 tenim 0,2454V ja que s'ha ajustat el potenciòmetre P1 de tal manera que s'obtingui aquest valor a la sortida 1 del TL084J. A la Figura 39 es mostra la forma d'ona que en resulta d'aquesta etapa del circuit.

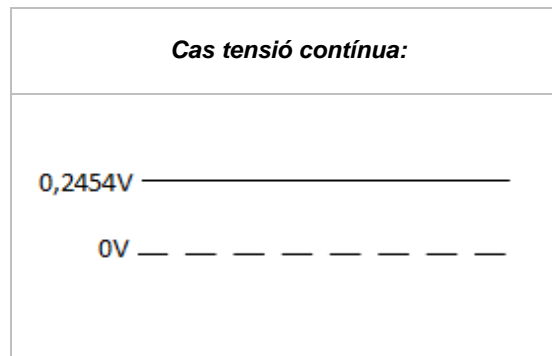


Figura 39: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 1.

- **Etapa 2 (E2):**

De la mateixa manera que a l'etapa anterior, si resollem novament el divisor de tensió però ara tenint en compte que la tensió d'entrada son 30V en comptes de 400V, com havíem fet en el cas genèric, obtenim:

$$V_{\text{out}} = 0,2454 + 2,5 = 2,7454\text{V}$$

$$V_{\text{out}} = 0 + 2,5 = 2,5\text{V}$$

A la sortida de E2 tenim 2,745V (2,7554V reals) ja que s'ha regulat el potenciòmetre P2 a 1,25V de tal manera que se li sumi 2,5V a la sortida 7 del TL084J. La forma d'ona de la tensió a la sortida d'aquesta etapa es mostra a la Figura 40.

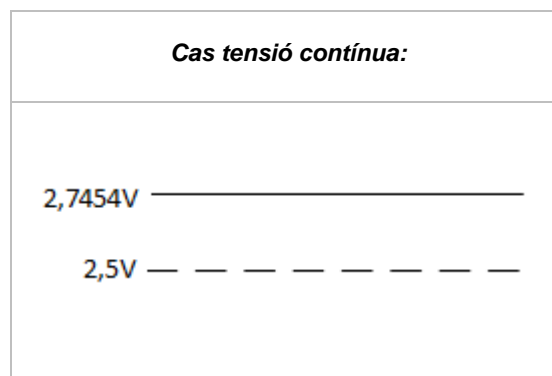


Figura 40: Forma d'ona de la tensió a la sortida de l'etapa 2.

A la Figura 41 es mostra un esquema representatiu del total del procés d'acondicionament del corrent dut a terme al test:

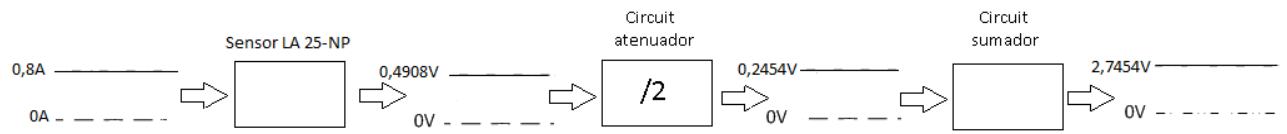


Figura 41. Esquema del procés d'acondicionament del corrent.

4. PLATAFORMA EXPERIMENTAL

4.1. Seguidor solar

Seguidor solar de dos eixos que funciona de forma autònoma gràcies a una bateria de 12 Volts de plom i àcid (Figura 42). El panell solar fotovoltaic és de la marca BP Solar i el model és el BP350U. Les característiques del qual són les exposades a la Taula 6.

<i>Peak Power (Pmax)</i>	50 W
<i>Warranted Minimum Pmax</i>	45 W
<i>Voltage (Vmp)</i>	17.5 V
<i>Current (Imp)</i>	2.9 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	21.8 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	3.17A
<i>Minimum Bypass Diode</i>	9 A
<i>Minimum Series Fuse</i>	20 A

Taula 6. Classificacions elèctriques en condicions de prova estàndards.



Figura 42: Seguidor solar de dos eixos.

4.2. Targeta d'adquisició

Es tracta d'un dispositiu d'adquisició de dades de la marca National Instruments model NI USB-6008.

Aquest model proporciona vuit entrades analògiques (AI), dos canals de sortida analògica (AO), dotze canals DIO i un comptador de 32 bits amb una interfície USB d'alta velocitat (Figura 43). A la Taula 7 es mostren les principals característiques d'aquesta targeta d'adquisició.

Resolució AI	12 bits diferencial, 11 bits single-ended.
Rati de mostres AI màxim per a un sol canal	10kS/s
Rati de mostres AI màxim per a múltiples canals	10kS/s

Taula 7. Principals característiques de la NI USB-6008.

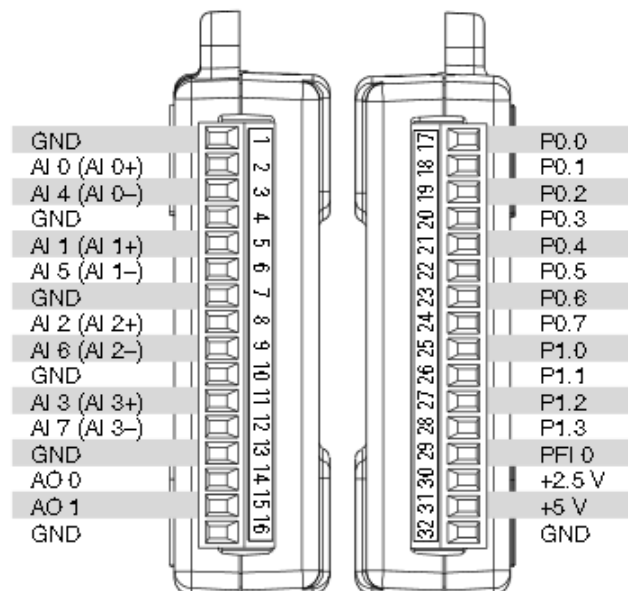


Figura 43: Pins de la NI USB-6008.

En el cas d'aquest projecte, es volen obtenir valors de 5 senyals diferents i, per tant, s'ha de dur a terme la configuració no diferencial, és a dir, l'anomenada *single-ended*.

A continuació es mostra una taula (Taula 8) on s'hi estableix les senyals connectades a cada entrada analògica.

Número d'entrada	Nom de l'entrada	Senyal corresponent
1	GND	
2	AI 0	Irradiació
3	AI 4	Corrent
4	GND	
5	AI 1	Temperatura exterior
6	AI 5	
7	GND	
8	AI 2	Temperatura panell
9	AI 6	
10	GND	
11	AI 3	Tensió
12	AI 7	
13	GND	
14	AI 0	
15	AI 1	
16	GND	

Taula 8. Connexió de les senyals a la targeta d'adquisició de dades.

Pel que fa a la font d'alimentació, la NI USB-6008 subministra 5V i 200mA a la sortida. Es pot emprar aquesta font per alimentar components externs.

A continuació es calcula la resolució d'aquest dispositiu tenint en compte que s'usarà en mode no diferencial (single-ended):

$$\text{Resolució} = \frac{\pm 10 \text{ V}}{2^{11} - 1} = 9,77 \text{ mV}$$

4.3. Sensor d'irradiació

L'adquisició dels valors d'irradiació es durà a terme amb el Spektron 300 el qual és un sensor de silici que s'empra per a la mesura d'irradiació solar. Aquest dispositiu permet varies possibilitats per a l'avaluació d'una irradiació de 0 a 1500W/m², però en el nostre cas està acondicionat per tal d'obtenir una sortida de tensió de 0 a 10V. Disposa de quatre cables de sortida els quals són:

- Cables blaus: corresponen a massa (GND) (born n°6).
- Cable vermell: alimentació V_{DD} de +12 a +30V (born n°4).

- Cable negre: Sortida de la tensió U₁₀ (born n°1). Per a l'ús d'aquesta sortida de tensió el circuit ha d'estar proveït de corrent. La tensió d'alimentació V_{DD} ha d'estar en un marge entre +12V i +30V, en relació amb GND. La tensió de mesura resultant és:

$$U_{10} = E \cdot \frac{10 \text{ V}}{1500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

L'ocupació de les connexions d'aquest sensor es mostra a la Figura 44 i el seu aspecte real a la Figura 45.

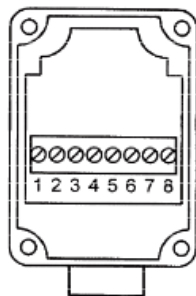


Figura 44: Borns de connexió en el sensor d'irradiació.



Figura 45: Aspecte del sensor de irradiació Spektron 300.

S'ha col·locat el sensor d'irradiació Spektron 300 a la cantonada dreta del panell fotovoltaic.

4.4. Sensor de temperatura

Per a dur a terme la mesura de la temperatura s'emprarà el sensor TPM36. Es tracta d'un dispositiu que simplement ens retorna un valor de tensió proporcional a la temperatura al que està sotmès. Les principals característiques del TPM36 són:

- Mesura la temperatura en graus centígrads.
- Funciona entre -40°C i +125°C.
- Té una precisió de ±1°C.
- L'esquema d'aquest sensor és el de la Figura 46.

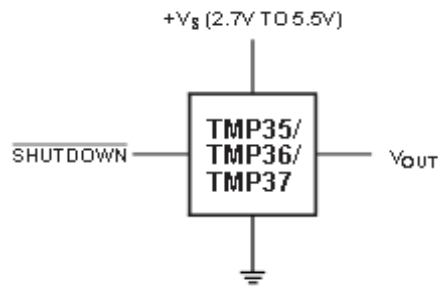


Figura 46: Esquema del TPM36.

Aquest sensor disposa de tres pins (Figura 47).

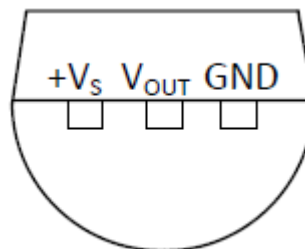


Figura 47: Pins del TPM36 (vista des de baix).

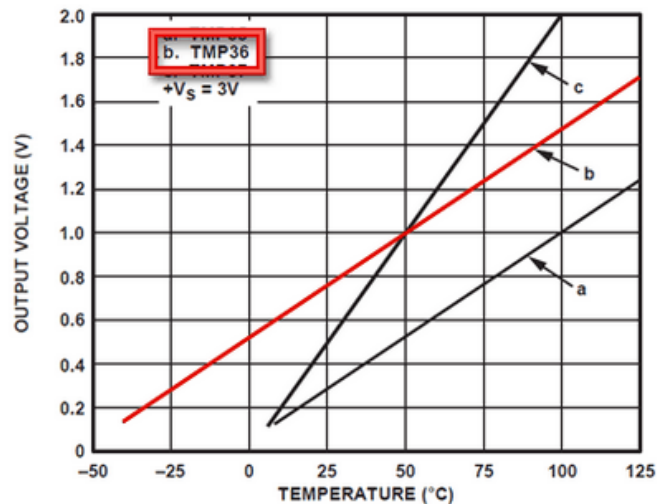


Figura 48: Voltatge de sortida respecte la temperatura.

Utilitzar aquest sensor és senzill, simplement es connectarà el pin esquerre, +VS, a una font d'alimentació proporcioni de 2,7 a 5,5V. El pin dret es connectarà a massa i el pin central anirà connectat a l'entrada de la targeta d'adquisició de dades NI USB-6008 ja que proporcionarà un voltatge analògic que serà directament proporcional a la temperatura. Per a convertir el voltatge a temperatura s'utilitzarà la funció següent:

$$\text{Temperatura}[^{\circ}\text{C}] = \frac{\text{Vout}[\text{mV}] - 500}{10}$$

L'equació anterior l'extraiem del gràfic anterior (Figura 48), ja que es pot veure que a 0°C tenim un offset de 500mV i també sabem que el voltatge incrementarà 10mV per cada grau centígrad.

D'aquesta manera, si tenim una temperatura de 23°C a la sortida es mostraran $0,73\text{V}$.

A continuació es mostra les connexions dutes a terme amb una placa Protoboard (Figura 49).

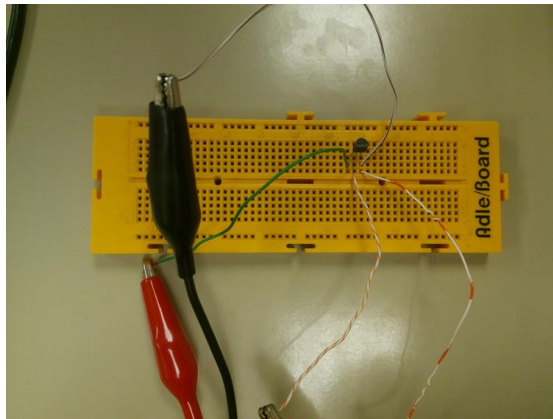


Figura 49: Connexions del circuit de temperatura.

5. INTRODUCCIÓ A LABVIEW

LabVIEW constitueix un revolucionari sistema de programació gràfica per a aplicacions que involucrin adquisició, control, anàlisi i representació de dades. Les avantatges que proporciona l'ús de LabVIEW es resumeixen en els següents punts:

- Es redueix el temps de desenvolupament de les aplicacions, com a mínim de 4 a 10 cops, ja que és molt intuïtiu i fàcil de comprendre.
- Dota de gran flexibilitat al sistema, permetent canvis i actualitzacions tant del hardware com del software.
- Dóna la possibilitat als usuaris de crear solucions completes i complexes.
- Amb un únic sistema de desenvolupament s'integren les funcions d'adquisició, anàlisi i presentació de dades.
- El sistema està dotat d'un compilador gràfic per a aconseguir la màxima velocitat d'execució possible.
- Té la possibilitat d'incorporar aplicacions escrites en altres llenguatges.

LabVIEW és un entorn de programació destinat al desenvolupament d'aplicacions, similar als sistemes de desenvolupament comercials que utilitzen el llenguatge C o BASIC. No obstant, LabVIEW es diferencia dels altres programes en l'important aspecte que la resta de llenguatges de programació es basen en línies de text per a crear el codi font del programa, mentre que LabVIEW emprava la programació gràfica o llenguatge "G" per a crear programes basats en diagrames de blocs.

Per a l'ús de LabVIEW no es requereix gran experiència en programació, ja que s'empren icones, termes i idees familiars per a científics i enginyers, i es recolza sobre símbols gràfics en lloc de llenguatge escrit per a construir les aplicacions. Per a això resulta molt més intuïtiu que la resta de llenguatges de programació convencionals. LabVIEW posseeix extenses llibreries de funcions i subrutines. A més a més de les funcions bàsiques de tot el llenguatge de programació, LabVIEW inclou llibreries específiques per a l'adquisició de dades, control d'instrumentació VXI, GPIB, comunicació en sèria, anàlisi i emmagatzemament de dades.

LabVIEW també proporciona potents eines que faciliten la depuració dels programes.

5.1. Estructura de LabVIEW

Els programes desenvolupats mitjançant LabVIEW es denominen Instruments Virtuals (VIs) ja que la seva apariència i funcionament imiten als d'un instrument real. No obstant, són anàlegs a les funcions creades amb els llenguatges de programació convencionals. Els VIs tenen una part interactiva amb l'usuari i una altre part de codi font, i accepten paràmetres procedents d'altres VIs.

Tots els VIs tenen un Panell Frontal i un Diagrama de Blocs. Les paletes contenen les opcions que s'empren per a crear i modificar els VIs. A continuació es procedirà a realitzar una breu descripció d'aquests conceptes.

5.2. Creació d'un VI

Per a l'elaboració d'un programa nou obrirem un nou VI: *New/Blanc VI*.

Apareixen dos finestres noves, la de *Front Panel* i la de *Block Diagram* (Figura 50).

A la finestra de *Front Panel* es defineixen les variables d'entrada/sortida del programa, en forma de controls, displays, etc.

A la finestra de *Block Diagram* s'escriu el codi font del programa.

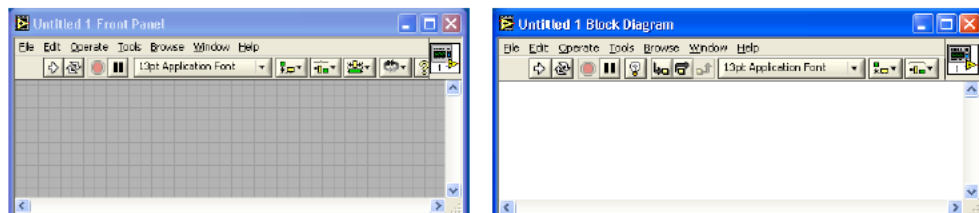


Figura 50: Panell Frontal i Diagrama de Blocs.

5.2.1. Panell de Control (Front Panel)

Es tracta de la interfície gràfica de l'VI amb l'usuari. Aquesta interfície recull les entrades provinents de l'usuari i representa les sortides proporcionades pel programa (son les variables d'entrada i sortida del programa). Un panell frontal esta format per una sèrie d'elements com són botons, polsadors o gràfics. Cadascun d'ells pot estar definit com un control o com un indicador. Els primers serveixen per a introduir paràmetres a l'VI, mentre que els darrers s'empren per a mostrar resultats obtinguts, a siguin dades adquirides o resultats d'alguna operació.

Per a poder dur a terme la visualització de les diverses eines de visualització i control, s'ha de polsar sobre el Panell Frontal amb el botó dret del ratolí o al menú *Windows/Show Controls Palette*.

Paleta de Controls (Controls Palette)

S'utilitza únicament en el Panell Frontal. Conté tots els controls i indicadors que s'empraran per a crear la interfície de l'VI amb l'usuari (Figura 51).

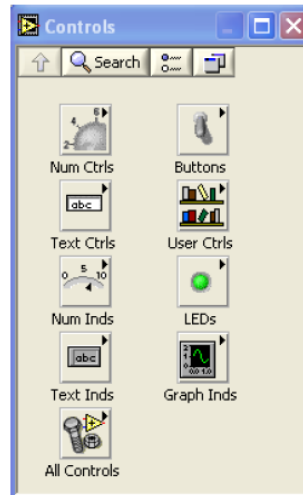


Figura 51. Paleta de controls.

El menú *All Controls* (Figura 52) de la finestra corresponent al Panell Frontal conté les següents opcions:

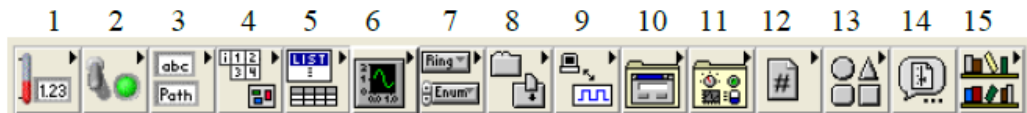


Figura 52. Menú all controls.

1. **Numeric.** – Per a la introducció i visualització de quantitats numèriques.
2. **Boolean.** – Per a l'entrada i visualització de valors booleans.
3. **String & Path.** – Per a l'entrada i visualització de text.
4. **Array & Cluster.** – Per a agrupar elements.
5. **List & Table.** – Per a visualitzar i/o introduir dades.
6. **Graph.** – Per a representar gràficament les dades.
7. **Ring & Enum.** – Per a seleccionar una llista d'opcions.
8. **Containers.** – Control de paràmetres.
9. **I/O.** – Dades digitals, VISA, IMAQ, DAQ.
10. **Dialog Controls.** – Controls variables.
11. **Classic Controls.** – Controls clàssics.

12. **Refnum.** – Nombres de referència per a controls i indicadors.
13. **Decorations.** – Elements de demarcació.
14. **User Controls.** – Per a escollir un control creat pel propi usuari.
15. **Select a Control.** – Per a seleccionar qualsevol control.

Al seleccionar objectes des del menú Controls aquests apareixen sobre el Panell Frontal, poden ubicar-se on convingui i, a més a més, tenen el seu propi menú desplegable que permet la configuració d'alguns paràmetres específics de cada tipus de control.

5.2.2. Diagrama de blocs (Block Diagram)

El Diagrama de Blocs constitueix el codi font de l'VI. És on es du a terme la implementació del programa de l'VI per a controlar o realitzar qualsevol processat de les entrades i sortides que es varen crear al Panell Frontal.

El Diagrama de Blocs inclou funcions i estructures integrades en les llibreries que incorpora LabVIEW. Al llenguatge "G" les funcions i les estructures són nodes elementals. Són anàlogues als operadors o llibreries de funcions dels llenguatges convencionals.

Els controls i indicadors que es varen col·locar prèviament al Panell Frontal es materialitzen en el diagrama de blocs mitjançant els terminals.

Paleta de Funcions (Functions Palette)

La Paleta de Funcions s'empra en el disseny del diagrama de blocs. Conté tots els objectes que s'usaran en la implementació del programa del VI, ja siguin funcions aritmètiques, d'entrada/sortida de senyals, d'entrada/sortida de dades a fitxer, d'adquisició de senyals, de temporització de l'execució del programa, etc.

Per a poder visualitzar les diferents eines de visualització i control s'ha de polsar sobre el Diagrama de Blocs amb el botó dret del ratolí o amb el menú *Windows/Show Front Panel*.

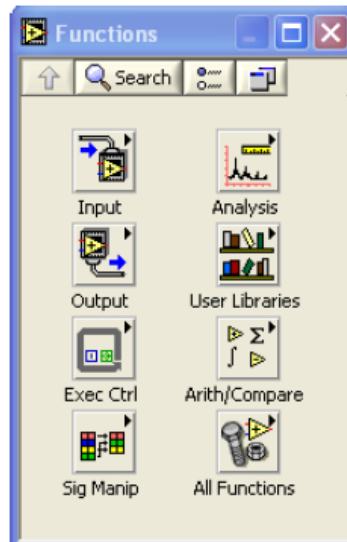


Figura 53. Paleta de funcions.

El menú *All Functions* (Figura 53) de la finestra corresponent al Panell Frontal conté les següents opcions:

1. **Structures.** – Mostra les estructures de control del programa, juntament amb les variables locals i globals.
2. **Numeric.** – Mostra les funcions aritmètiques i constants numèriques.
3. **Boolean.** – Mostra funcions i constants lògiques.
4. **String.** – Mostra funcions per a manipular cadenes de caràcters, així com constants de caràcters.
5. **Array.** – Conté funcions útils per a processar dades en forma de vectors.
6. **Cluster.** – És una agrupació de dades que poden ser de diferent tipus. Seria l'equivalent a una estructura en el llenguatge C.
7. **Comparison.** – Mostra funcions que serveixen per a comparar nombres, valors booleans o cadenes de caràcters.
8. **Time & Dialog.** – Conté funcions per a treballar amb quadres de diàleg, introduir comptadors i retards, etc.
9. **File I/O.** – Mostra funcions per a operar amb fitxers.
10. **NI Measurements.** – Pròpis.
11. **Waveform.** – Conté generadors de senyals.
12. **Analyze.** – Conté un submenú en el que es pot escollir entre una ampla gama de funcions matemàtiques d'anàlisi.
13. **Instrument I/O.** – Mostra un submenú d'VIs que facilita la comunicació amb instruments perifèrics que segueixen la norma ANSI/IEEE 488.2-1987, i el control del port sèrie.

14. **Application Control.** – Conté varies funcions que regulen el funcionament de la pròpia aplicació en execució.
15. **Graphics & Sound.** – Conté visualitzadors gràfics i accessoris d'àudio.
16. **Communications.** – Mostra diverses funcions que serveixen per a comunicar varis ordinadors entre sí, o per a permetre la comunicació entre diferents programes.
17. **Report Generation.** – Genera especificacions.
18. **Advanced.** – Conté diversos submenús que permeten el control de l'ajuda, dels VIs, manipulació de dades, processat d'events, control de la memòria, ús de programes executables o inclosos en llibreries DLL, etc.
19. **Select a VI.** – Permet seleccionar qualsevol VI per a usar-lo com a subVI.
20. **Decoration.** – Conté elements indicadors.
21. **User Libraries.** – Mostra les llibreries definides per l'usuari. En aquest cas, la llibreria mostrada conté els divers de la targeta d'adquisició de dades d'Advanced.

Paleta d'eines (Tools Palette)

S'empra tant en el Panell Frontal com en el Diagrama de Blocs. Conté les eines necessàries per a editar i depurar els objectes tant del Panell Frontal com del Diagrama de Blocs.

Per a poder visualitzar les diverses eines de la paleta d'eines, s'ha de pulsar *Windows>Show Tools Palette* (Figura 54).

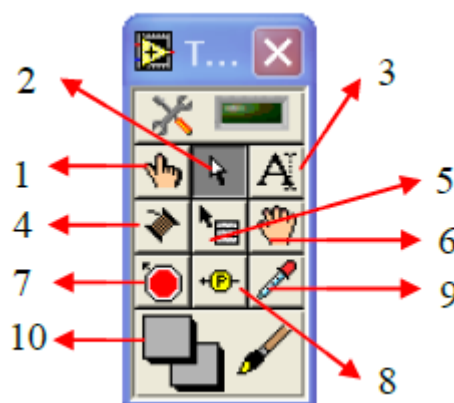


Figura 54. Paleta d'eines.

Les opcions que presenta aquesta paleta són les següents:

1. **Operate Value.** – Canvia el valor/estat dels controls.

2. **Position Size Select.** – Desplaça, canvia la mida i selecciona els objectes.
3. **Edit Text.** – Edita text i crea etiquetes.
4. **Connect Wirele.** – Uneix els objectes amb el diagrama de blocs.
5. **Object Shortcut Menu.** – Obre el menú desplegable d'un objecte.
6. **Scroll Windows.** – Desplaça la pantalla sense necessitat d'emprar les barres de desplaçament.
7. **Set Clear Breakpoint.** – Fixa punts d'interrupció de l'execució del programa en VIs, funcions i estructures.
8. **Probe data.** – Crea punts de prova als cables, en els quals es pot visualitzar el valor de la dada que influeixi pel cable a cada instant.
9. **Get Color.** – Copia el color per a després establir-lo mitjançant la següent eina.
10. **Set Color.** – Estableix el color de fons i el dels objectes.

5.3. Programació en LabVIEW

Amb l'entorn gràfic de programació de LabVIEW es comença a programar a partir del Panell Frontal.

En primer lloc, es definiran i seleccionaran de la paleta d'controls tots els controls (entrades que donarà l'usuari) i indicadors (sortides que presentarà per pantalla el VI), que s'empraran per a introduir dades per part de l'usuari i presentar per pantalla els resultats.

Un cop situats a la finestra corresponent al Panell Frontal tots els objectes necessaris ha de passar-se a la finestra de *Diagram* al menú *Windows/Show Diagram*, que es on es realitza la programació pròpiament dita (diagrama de blocs). A l'obrir aquesta finestra, en ella es troben els terminals corresponents als objectes situats al Panell Frontal, disposats automàticament per LabVIEW.

S'ha d'anar situant les funcions, estructures, etc. que es requereixin per al desenvolupament del programa, les quals s'uneixen als terminals mitjançant cables. Per a facilitar la tasca de connexió de tots els terminals, al menú *Help* pot escollir-se l'opció *Show Help*, fet que si se situa el cursor del ratolí sobre un element apareix una finestra relativa a aquest (paràmetres d'entrada i sortida). A més a més, si es té seleccionat el cursor cablejat, al situar aquest sobre un element es mostren els terminals de forma intermitent.

5.4. Execució d'un VI

Un cop s'ha conclòs la programació del VI s'ha de procedir a la seva execució. Per a fer-ho, la finestra activa ha de ser el Panell Frontal on es polsarà el botó de *Run*, situat a la barra d'eines (Figura 55).

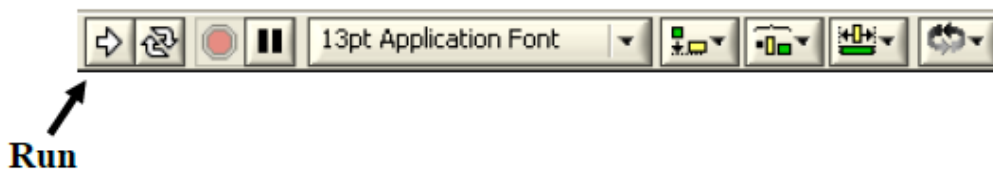


Figura 55. Barra d'eines del Panell Frontal.

El programa començarà a executar-se. Durant l'execució, l'aparença del botó de *Run* serà la que es mostra a continuació (Figura 56):



Figura 56. Aparença del botó de Run amb mode d'execució.

D'aquesta manera el programa s'executarà una sola vegada. Si es desitja una execució contínua, es polsarà el botó situat a la dreta del de Run (Continuous Run). Si durant el funcionament continu el programa es torna a polsar el botó, finalitzarà l'última execució del mateix, la qual cosa farà que el programa s'aturi (Figura 57).

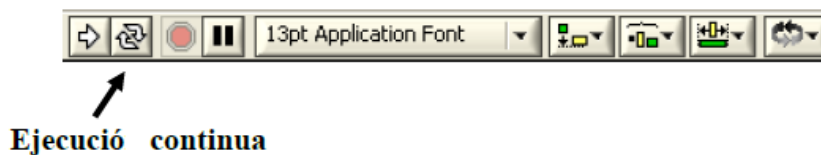


Figura 57. Barra d'eines del Panell Frontal.

Per a finalitzar l'execució d'un programa es pot realitzar de dues maneres. La primera i la més aconsellable és emprar un botó al Panell Frontal de l'VI, la pulsació del qual produeixi la interrupció del bucle d'execució de l'aplicació. La segona forma d'aturar l'execució de l'VI es polsar el botó de pausa o el de stop. La diferència entre ambdós és que si es polsa stop, l'execució del programa finalitza immediatament, mentre que si es polsa pausa, es produeix una detenció en el funcionament del programa, continuant l'execució un cop es torni a polsar el mateix botó (Figura 58).

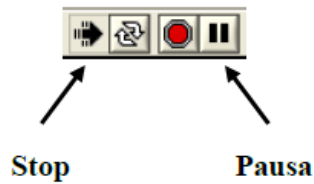


Figura 58. Botó d'aturada i de pausa.

5.5. Estructures

A la paleta de funcions, la primera opció és la de les estructures (Figura 59). Aquestes controlen el flux del programa mitjançant la seqüenciació d'accions, execució de bucles, etc.

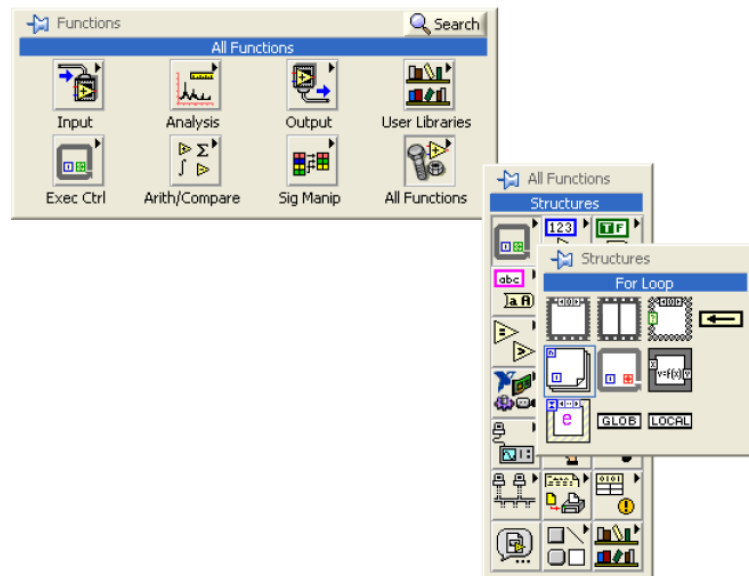


Figura 59. Estructures.

Les estructures es comporten com qualsevol altre node en el diagrama de blocs, executant automàticament el que està programat al seu interior un cop té disponibles les dades d'entrada i un cop executades les instruccions requerides. Són subministrats els corresponents valors als cables units a les seves sortides, no obstant, cada estructura executa el seu subdiagrama d'acord amb les regles específiques que regeixen el seu comportament i que s'especifiquen a continuació.

Un subprograma és una col·lecció de nodes, cables i terminals situats a l'interior del rectangle que constitueix l'estructura. El *For Loop* i el *While Loop* únicament tenen un subdiagrama. El *Case Structure* i el *Sequence Structure*, no obstant, poden tenir múltiples subdiagrames superposats com si es tractés de cartes en una baralla, pel que al diagrama de blocs únicament serà possible visualitzar en el mateix instant de temps un d'ells. Els subdiagrames es constitueixen de la mateixa manera que la resta del programa. Les següents estructures es troben disponibles en el llenguatge G.

6. PROGRAMA REALITZAT

6.1. Finalitat

Amb aquest programa es busca mostrar informació dels valors de tensió, corrent, temperatura exterior, temperatura del panell i radiació a través d'una interfície d'usuari.

6.2. Interfície d'usuari



Figura 60. Panell Frontal (Front Panel).

El concepte interfície amb l'usuari fa referència al Panell Frontal el qual es mostra a la Figura 60. Es compon de quatre pestanyes anomenades *Panel*, *Graphs*, *Load data* i *Config*. Fora d'aquestes pestanyes hi ha un LED verd que farà llum intermitentment quan el programa estigui funcionant, un botó d'Stop que quan sigui polsat aturarà l'execució del programa i dos indicadors d'hora i de data actual. La primera pestanya, la de **Panel**, està dividida en quatre seccions:

- **Primera secció:**

Dos indicadors en forma d'agulla per a mostrar la tensió (V) i el corrent (A) i dos indicadors en forma de display de manera que s'obté precisió d'ambdós valors mesurats.

La tensió té un rang de 0 a 50V i el corrent en té un de 0 a 10A.

- **Segona secció:**

Un indicador en forma d'agulla amb colors que representa la irradiació (W/m^2) amb un rang de 0 a 1500 i un indicador en forma de display que mostra el valor exacte que s'està obtenint en el moment.

- **Tercera secció:**

Dos indicadors en forma de termòmetre per a indicar la temperatura exterior i la temperatura del panell obtinguda en graus centígrads, així com dos displays que mostren el valor amb més precisió i dos LEDs que s'activaran quan es sobrepassi un valor de temperatura establert.

La segona pestanya, anomenada **Graphs** (Figura 61), està composta per cinc gràfics els quals mostraran els valors de irradiació, temperatura exterior, temperatura del panell, tensió i corrent depenent del temps.

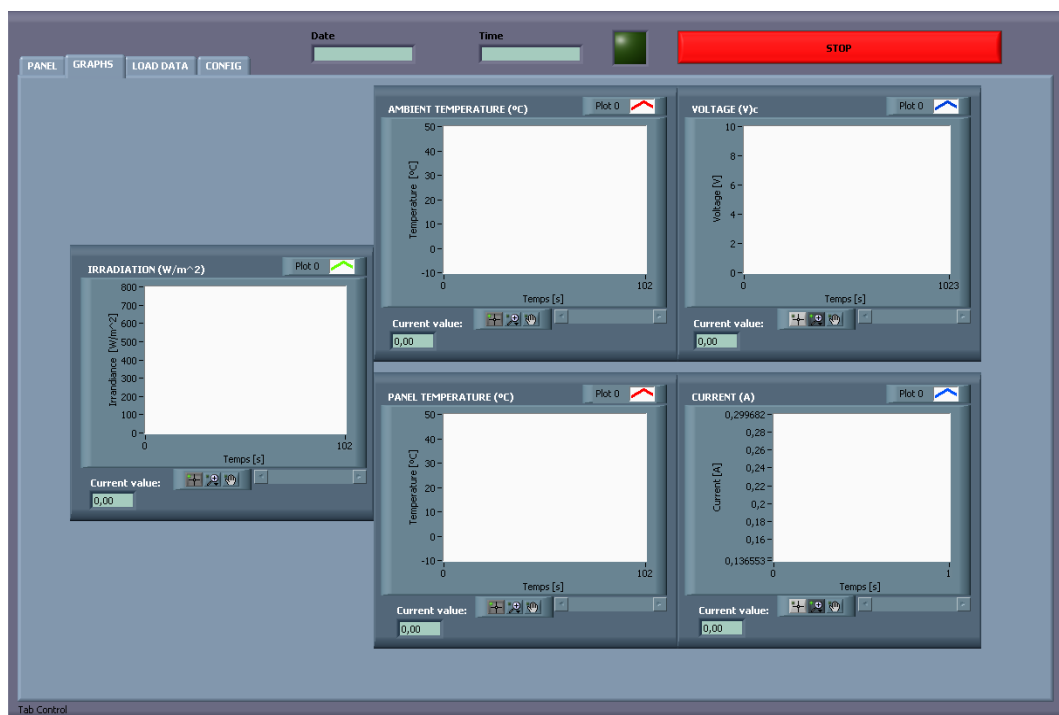


Figura 61. Pestanya Graphs del Front Panel.

La tercera pestanya, anomenada **Load data** (Figura 62), carrega les dades obtingudes i guardades prèviament en un arxiu que l'usuari haurà creat o seleccionat mitjançant l'opció pertinent a la pestanya **Config**.



Figura 62. Pestanya Load data del Front Panel.

La tercera pestanya, anomenada **Config** (Figura 63), conté una sèrie d'indicadors repartits en tres seccions:

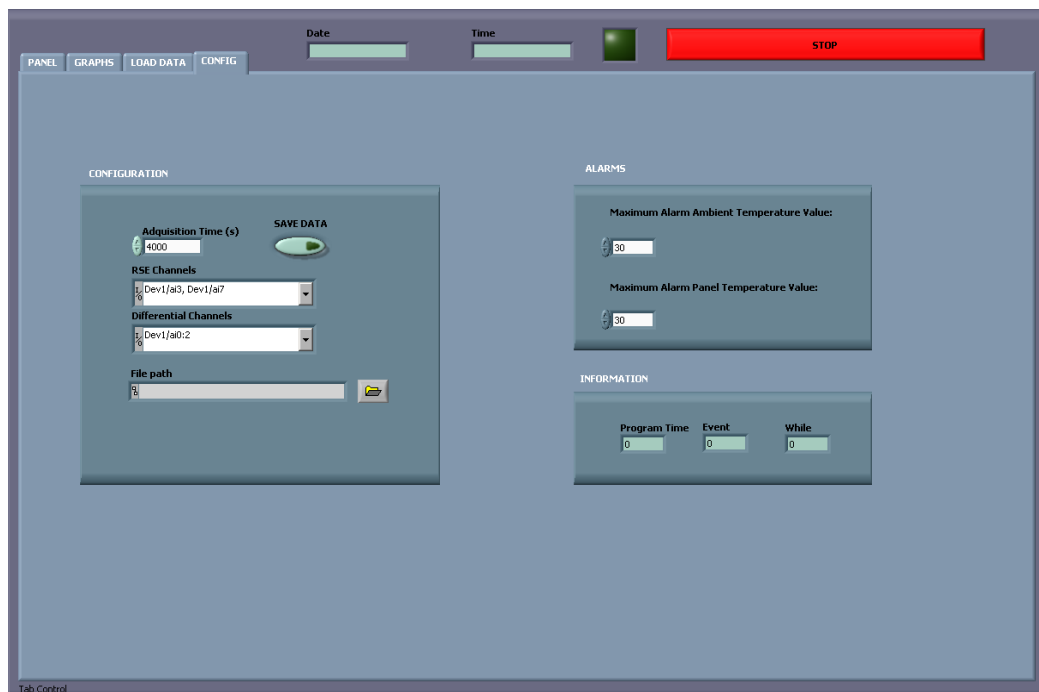


Figura 63. Pestanya Config del Front Panel.

- **Configuration:**

Acquisition Time (s) – Temps d'adquisició de dades establert en segons.

RSE channels – Desplegable en el qual es pot navegar i seleccionar el canal desitjat de tipus mode comú, és a dir, no diferencial. En aquest cas, s'ha establert que els canals diferencials siguin el 6 (temperatura exterior) i el 7 (temperatura panell) de la targeta d'adquisició de dades.

Differential channels – Desplegable en el qual es pot navegar i seleccionar el canal desitjat de tipus diferencial. En aquest cas, s'ha establert que els canals diferencials siguin el 0 (tensió), 1 (corrent) i 2 (irradiació) de la targeta d'adquisició de dades.

Save Data – Opció que guarda les dades generades. Un cop es seleccioni aquest botó, automàticament s'obrirà una finestra on es demanarà a l'usuari que li doni un nom al nou arxiu on es guardaran les dades obtingudes o que seleccioni un arxiu existent per sobreescriure'l. El fitxer estarà ubicat on l'usuari hagi decidit.

File Path (dialog if empty) – Mostra la ruta de l'arxiu on es guardaran les dades obtingudes.

- **Alarms:**

Fa referència a les alarmes de temperatura. L'usuari pot modificar el valor de la temperatura amb el qual els LEDs d'alarma de la pestanya *Panel* s'activin.

- **Information:**

Program time – Temps que triga el programa en iniciar-se.

Event – Indica el nombre d'iteracions que s'han realitzat del bucle *Event*.

While – Indica el nombre d'iteracions que s'han realitzat del bucle *While*.

6.3. Codi

El codi del programa es compon del diagrama de blocs que es mostra a continuació.

El diagrama està dividit en dos bucles *While*.

While inferior:

Comença amb una seqüència que té el seu inici fora del bucle (Figura 64). Aquesta seqüència llegirà les dades dels canals físics indicats.

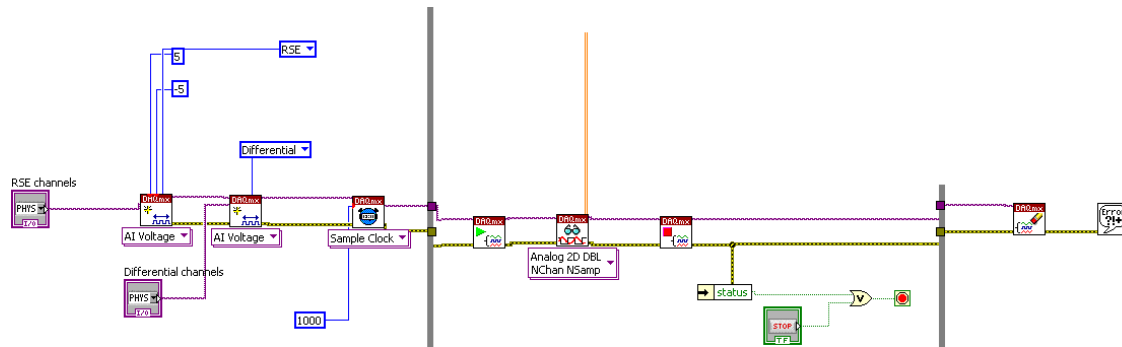


Figura 64. Seqüència d'adquisició de dades.

El bloc **RSE channels** fa referència als canals físics de tipus node comú connectats a la targeta de LabVIEW i el **Differential channels** als de tipus diferencial connectats a la targeta de LabVIEW. Aquests llegiran les dades de les entrades físiques de la targeta d'adquisició de dades i el bloc **DAQmx Create Virtual Channel** el conjunt de canals virtuals i els afegirà a la tasca del bloc següent. A les opcions d'aquest s'ha seleccionat que l'entrada sigui de tipus analògica i de voltatge el rang de la qual serà de -5 a 5V. Converteix la senyal d'analògica a digital. Les instàncies d'aquest bloc corresponen amb el tipus I/O com, per exemple, una entrada analògica, una sortida digital o un comptador de sortida, així com el mesurament o generació temperatura, voltatge, recompte d'esdeveniments.

El **DAQmx Sample Clock** configurarà el nombre de mostres a adquirir o generar. En aquest cas s'ha definit que agafi 100 mostres i que el rati de mostreig, és a dir, el nombre de mostres per segon sigui 1000. El mode de mostreig s'ha definit com "Mostreig Finit" (*Finite Samples*). Les instàncies d'aquest bloc corresponen amb el tipus de temporització a utilitzar per a la tasca.

A continuació s'entra ja dins del bucle del *While* i es passa al bloc de **DAQmx Start Task** que iniciarà una transició de la tasca a l'estat d'execució per a començar la mesura o generació.

Seguidament, es passa al bloc de lectura **DAQmx Read Task**, en concret el de tipus "Analog 2D DBL NChan NSamp, que s'encarregarà de llegir les mostres especificades de la tasca o dels canals virtuals especificats. Les instàncies d'aquest bloc especifiquen el format de mostres a retornar, ja sigui per llegir una sola mostra o múltiples alhora, o si es llegeixen d'un o diversos canals.

El **DAQmx Stop Task** aturarà la tasca i la tornarà a l'estat en la qual es trobava anteriorment a l'inici del **DAQmx Start Task**.

Si no s'utilitza el **DAQmx Start Task** i el **DAQmx Stop Task**, quan s'empri el **DAQmx Read** o el **DAQmx Write** diverses vegades, com en un bucle, la tasca s'iniciarà i s'aturarà repetidament. Iniciar i aturar la tasca repetidament redueix el rendiment de l'aplicació.

Tant la informació de la tasca com la de l'error sortiran fora del bucle de manera que anirà a parar al bloc **DAQmx Clear Task** esborrarà la tasca. Abans d'esborrar, aquest bloc avorta la tasca si cal. No es pot utilitzar una tasca després d'haver dut a terme l'eliminació llevat que es torni a crear la tasca.

La informació de l'error anirà a parar a un gestor d'error general (**General Error Handler**), aquest indicarà si hi ha hagut cap error i, en cas afirmatiu, mostrarà la seva descripció.

S'han connectat els blocs anteriors amb l'eina **Connect Wire**, creant així una seqüència. El cable lila representa els canals virtuals als quals se li apliquen les operacions. Si es proporciona una llista de canals virtuals NI-DAQmx crea automàticament una tasca. El cable verd representa l'error. Les entrades i sortides de l'error serveixen per comprovar aquests i especificar l'ordre d'execució connectant l'*error out* des d'un node a l'*error in* del següent node. Quan es tracta de l'entrada de l'error, *error in*, aquest descriu les condicions de l'error abans de que el següent bloc s'executi. Per defecte l'error és nul. Si es produeix un error mentrestant l'VI o la funció està en marxa aquesta VI o funció continua normalment i passa el valor de l'*error in* a l'*error out*.

El bucle del *While* s'aturarà quan el botó d'*Stop* tingui el valor *True* (Figura 65).

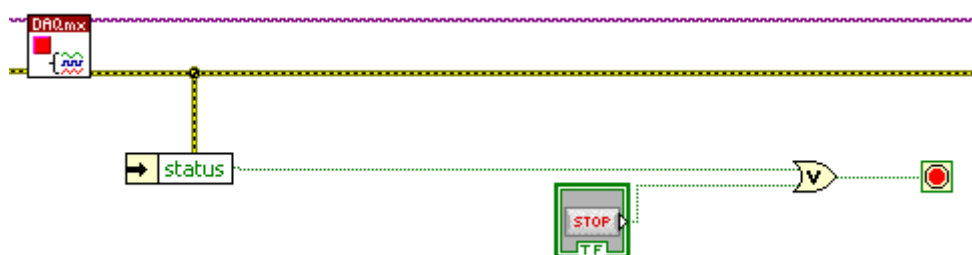


Figura 65. Mètode d'aturada del programa.

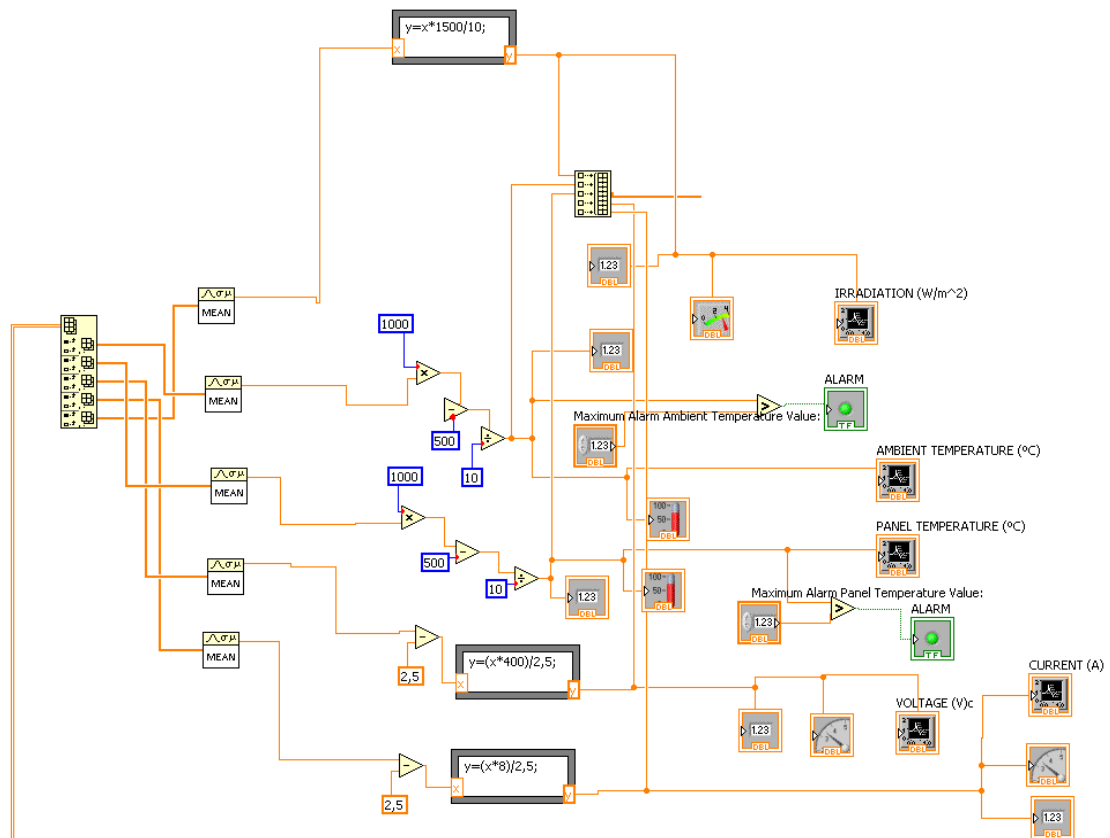


Figura 66. Continuació de la seqüència d'adquisició de dades.

Les dades obtingudes al bloc **DAQmx Read** són conduïdes a un **Index Array** (Figura 66) on s'ha establert que la primera entrada faci referència a la temperatura ambient, la segona a la temperatura del panell, la tercera a la tensió, la quarta al corrent i la cinquena a la irradiància. Cada sortida de l'**Index Array** té un bloc **Mean** a la sortida, aquest s'encarrega de calcular la mitjana dels valors de la seqüència d'entrada.

Per a la utilització del sensor d'irradiació Spektron 300 la tensió d'alimentació del born 4 ha d'estar en un marge entre +12V i +30V en relació a la massa. La tensió de mesura resulta:

$$U_{10} = E \cdot \left(\frac{10V}{\frac{1500W}{m^2}} \right)$$

Per tant, si s'obté la tensió U_{10} mitjançant la mesura de dades es pot calcular la irradiació E de la següent manera:

$$E = \frac{U_{10} \cdot 1500 \frac{W}{m^2}}{10V} \quad \rightarrow \quad y = \frac{x \cdot 1500}{10}$$

D'aquesta manera, a la sortida que fa referència a la irradiància se li aplica l'operació anterior per a convertir la tensió a irradiació.

En el cas de les temperatures, la funció que se li aplicarà serà la corresponent amb el sensor de temperatura TMP36:

$$\text{Temperatura}[^{\circ}\text{C}] = \frac{\text{Vout}[\text{mV}] - 500}{10}$$

Referent a la tensió la funció que calcularà el valor real és:

$$V_{real} = \frac{(V - 2,5) \cdot 400}{2,5}$$

I finalment, pel que fa al corrent, la funció duta a terme és:

$$I_{real} = \frac{(V - 2,5) \cdot 8}{2,5}$$

Realment les funcions de tensió i intensitat anterior sorgeixen del procés invers dut a terme als circuits acondicionadors de l'apartat 4 d'aquest projecte.

Per a cada sortida de l'**Index Array** es crearà una variable numèrica i un gràfic per tal de visualitzar els valors a la pestanya *Graphs* del panell frontal.

S'emprarà la funció **Build Array** que afegirà els elements indicats a una matriu de dimensió n de tal manera que tornin a estar agrupats per a poder dur a terme la funció d'escriptura i posterior lectura d'aquests.

La nova matriu creada entrarà dins d'un bucle de casos:

- *Cas True*

Com es pot observar a la Figura 67, quan es premi el botó de *Save data* del panell frontal, la matriu d'elements serà escrita per la funció **Write to a Spreadsheet File** que convertirà les cadenes d'enters dels quals es formen els elements a cadenes de text que seran escrites en un nou arxiu o en un arxiu existent. Finalment, retornarà la ruta d'arxiu, que serà emmagatzemada en una variable.

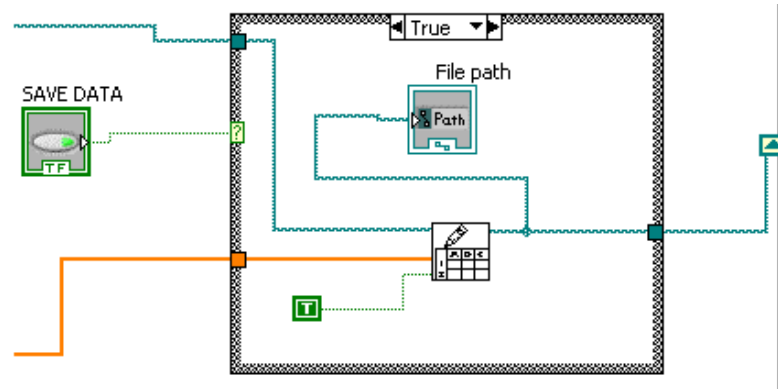


Figura 67. Cas True.

- Cas False

S'estarà dins d'aquest cas quan no s'hagi premut el botó de *Save data* del panell frontal (Figura 68). S'hi ha establert un element anomenat **Empty Path Constant** per tal de que retorni una ruta buida.

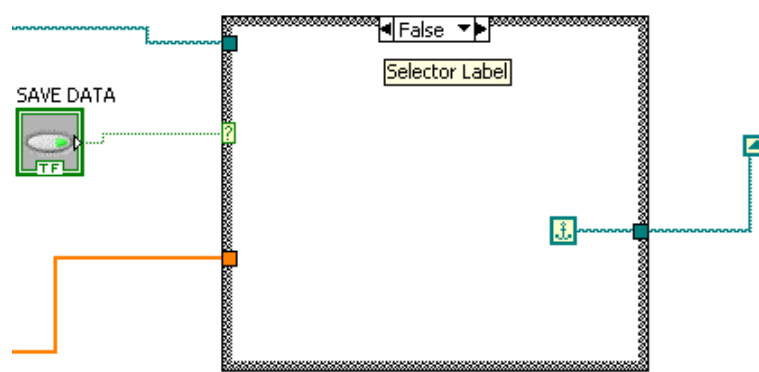


Figura 68: Cas False.

Dins del bucle *While* també trobem una petita seqüència de sincronització (Figura 69), d'aquesta manera es controla el rati d'execució del programa. La variable que s'ha entrat referent al temps d'adquisició en segons és multiplicada per 1000 mitjançant una porta lògica de multiplicació, d'aquesta manera es convertirà el valor de segons a mil·lisegons. El valor resultant serà conduït al bloc **Wait Until Next ms Multiple**, aquest té la funció d'esperar fins que el valor en mil·lisegons del temporitzador sigui múltiple del valor especificat.

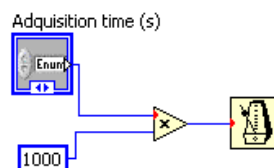


Figura 69: Seqüència de sincronització.

A la part inferior del bucle s'hi pot observar un bloc anomenat **Tick Count (ms)** (Figura 70), es tracta d'un temporitzador el qual es posarà en marxa quan el programa s'iniciï i guardarà el valor. A continuació hi ha un altre **Tick Count (ms)** dins del bucle. L'element de resta (**Subtract**) que hi ha seguidament retornarà la diferència entre ambdós elements, aquest valor s'emmagatzemarà en una variable anomenada "Program Time" i s'interpreta com el temps en mil·lisegons que triga el programa a iniciar-se.

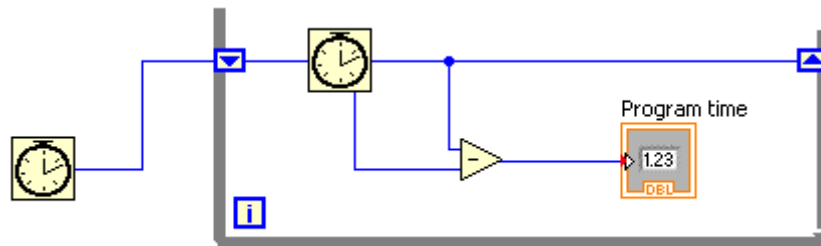


Figura 70: Seqüència que calcula el temps del programa.

S'ha creat dos indicadors de l'element *Run*, un de lectura i un altre d'escriptura (Figura 71).



Figura 71. Seqüència Run.

S'ha connectat el primer element, el de lectura, a una porta lògica NOT, per tant, patirà un procés d'inversió i el valor obtingut s'escriurà a l'indicador d'escriptura de manera que aquesta seqüència farà que el LED del panell frontal estigui en intermitència quan el programa estigui en execució.

El bloc on dins hi ha una "i" blava conté el nombre d'iteracions realitzades del bucle *While* (Figura 72), que seran mostrades al quadre numèric de la pestanya de *Load data* del panell frontal anomenat *While*.

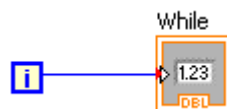


Figura 72: Seqüència que retorna el nombre d'iteracions del While.

While superior:

Dins d'aquest segon *While* s'ha creat una estructura d'events composta per tres subdiagrames. Aquesta estructura espera fins que es produeix un esdeveniment, llavors executa el cas apropiat per a manejar-lo.

Són situacions que es donen excepcionalment. Tenen preferència sobre el bucle *While* inferior.

Els tres casos creats per a la programació d'esdeveniments són els següents:

“Timeout”:

Està per defecte, no hi entrarà mai (Figura 73).

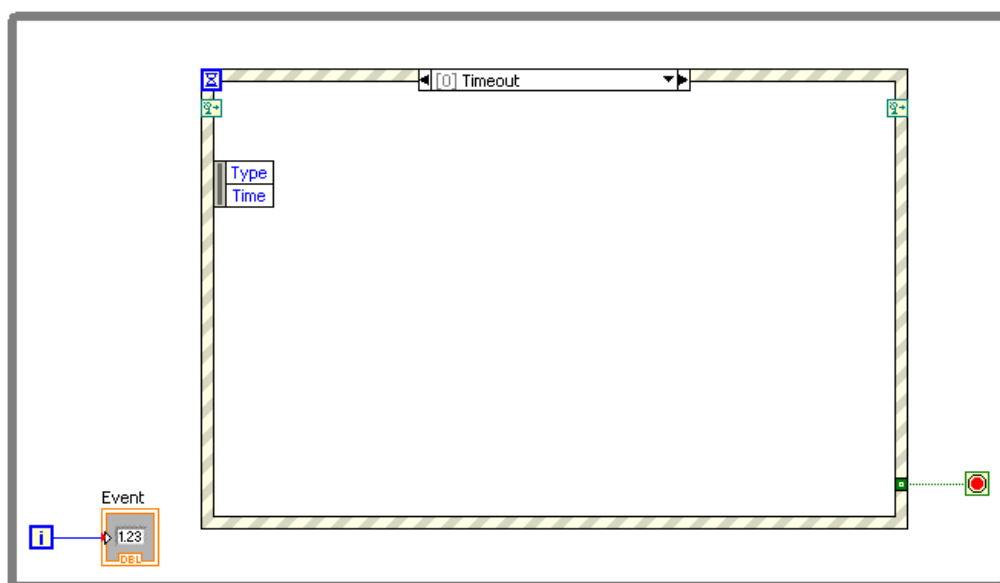


Figura 73: Event Timeout.

“Load Data: Mouse Down”:

Quan es polsa el botó *Load Data* del panell frontal el programa executa aquest cas (Figura 74).

Per a programar-lo s'ha creat un indicador de l'element **File Path**, i s'ha establert que sigui de tipus lectura. El bloc **Read From Spreadsheet File** s'utilitza per a llegir el full de càlcul guardat en format de text. S'ha introduït una constant *True* a aquest bloc per tal de transposar les dades després d'haver-les convertit a una cadena de dades (*String*). Si no s'hagués connectat cap constant *True*, per defecte tindria el valor *False*.

D'aquesta manera es llegirà l'arxiu que conté els valors d'irradiació, temperatures, tensió i corrent i es mostraran en forma de gràfics al panell frontal.

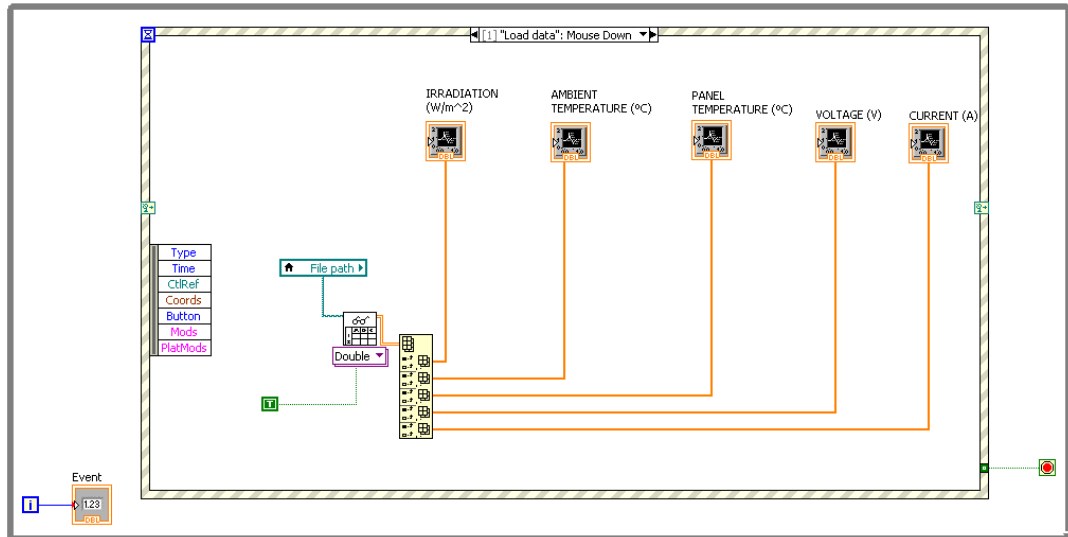


Figura 74: Event Load Data.

- "Stop":

Quan es polsi al botó d'*Stop* del panell frontal, l'execució del programa finalitzarà (Figura 75).

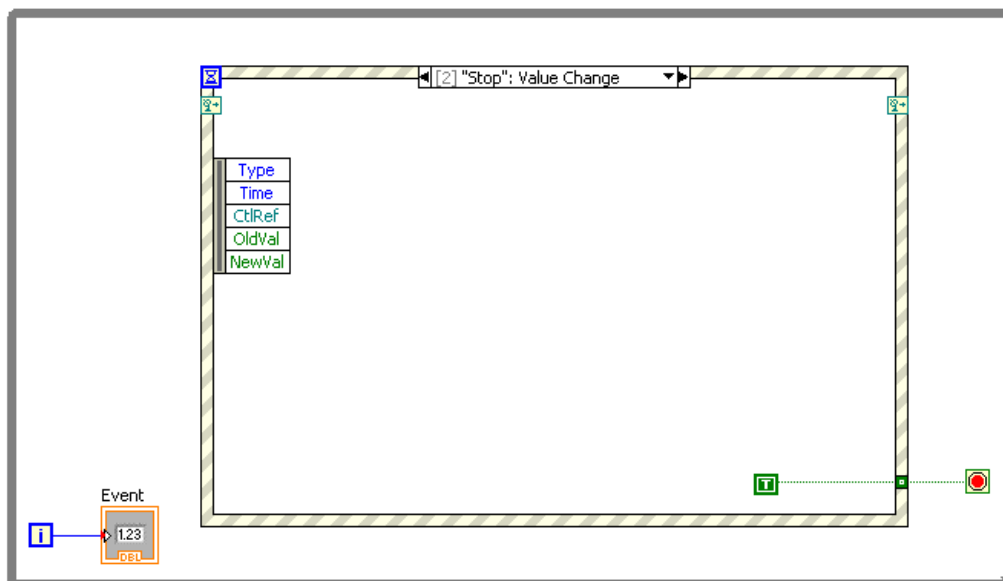


Figura 75: Event Stop.

En aquest cas passa el mateix que amb el *While* anterior, el bloc amb la "i" blava conté el nombre d'iteracions realitzades pel bucle d'events. Per tant, cada cop que es produeixi un esdeveniment, com guardar les dades o polsar el botó d'*Stop*, se sumarà una unitat al quadre numèric "Event" de la pestanya *Load data* del panell frontal (Figura 76).

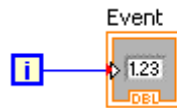


Figura 76: Seqüència que retorna el nombre d'iteracions de l'Event.

Per acabar, per a la visualització de la data i l'hora actual s'ha emprat la funció **Get Date/Time in seconds** (Figura 77), que retornarà aquestes variables, i la funció **Get Date/Time String**, que convertirà els valors numèrics a un String de data i a un String d'hora de la zona horària configurada per a l'equip.

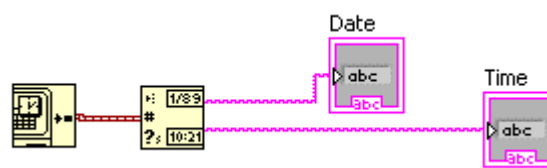


Figura 77: Seqüència que retorna la data i l'hora.

7. CONCLUSIONS

El propòsit fonamental d'aquest projecte és monitoritzar l'energia procedent d'un panell fotovoltaic per tal de fomentar l'ús d'energies netes i renovables, en aquest cas l'energia solar fotovoltaica.

El futur d'aquest tipus d'energia és esperançador, l'únic obstacle que s'hi presenta és polític. La caiguda dels preus dels components, l'experiència acumulada i la constant millora de l'eficiència de les plantes està augmentant la competitivitat de la indústria, fent que sigui una alternativa a les fonts convencionals de generació d'energia. Per tant, el futur està tant en grans plantes com en petites instal·lacions d'autoconsum.

La realització d'aquest projecte ha servit per a comprovar la utilitat del programa LabVIEW com a llenguatge de programació per a poder dur a terme l'aplicació de control, proves i mesures. L'origen intuïtiu i la flexibilitat d'aquest software sense la complexitat dels entorns de desenvolupament tradicionals ha sigut de gran ajuda a l'hora de realitzar aquest projecte.

L'estructura del sistema de monitorització emprada ens han permès interactuar amb el sistema, així com analitzar les dades obtingudes.

Arribats a aquest punt, es pot extreure una sèrie de conclusions relacionades amb la interfície del programa. La primera seria la importància de que l'usuari pugui modificar paràmetres des del panell frontal sense haver de canviar el codi, afegint flexibilitat i estalviant temps. També es pot concloure que és molt útil tenir indicadors d'alarmes per tal de detectar anomalies ràpidament, d'aquesta manera es permet la possibilitat de necessitar recolzament tècnic únicament als moments de fallades o alarmes, reduint així costos de manteniment.

A nivell personal, aquest projecte m'ha ajudat a aprofundir en temes d'electrònica que dominava menys, a introduir-me en el llenguatge de programació LabVIEW i a apostar encara més per les energies renovables.

8. PRESSUPOST

Aquesta secció descriu el cost del material adquirit per a la realització del projecte.

Descripció	Unitats	Cost/Unitat (€)	Total (€)
Transductor de tensió LEM (LV 25-P)	1	53,340	53,340
Transductor de corrent LEM (LA 25-NP)	1	19,210	19,210
NI USB-6008	1	210	210
Sensor de temperatura TMP 36	1	1,520	1,520
Resistència 40K Ω	1	0,563	0,563
Resistència 200 Ω	2	0,168	0,336
Circuit integrat TL082P	2	0,760	1,520
Condensador de 680nF	2	0,228	0,456
Resistència 1K Ω	4	0,039	0,156
Resistència 10K Ω	2	0,044	0,088
Potenciòmetre PV36	2	1,090	2,180
Potenciòmetre BOURNS 3296	2	1,900	3,800
Circuit integrat TL084J	4	0,330	1,320
Resistència 470K Ω	4	0,042	0,168
Resistència 110K Ω	2	0,095	0,190
Resistència 8K2 Ω	2	0,042	0,084
TracoPower TMR 3-2423E	1	25,710	25,710

COST TOTAL PROJECTE

318,461€

9. TREBALL FUTUR

Els objectius tant personals com els del projecte s'han complert, no obstant, existeix una sèrie de millores les quals s'anuncien a continuació:

Interfície amb l'usuari. Sempre hi ha la possibilitat de realitzar la interfície més intuïtiva i vistosa.

Augmentar la funcionalitat. Afegir codi per tal de que la interfície ofereixi més possibilitats a l'usuari.

Millora de la presentació de dades obtingudes. Un motiu de millora seria programar el codi de tal manera que quan es guardessin les dades es crees un arxiu amb el format desitjat per tal de visualitzar-les correctament fora del programa LabVIEW.

Més indicadors d'alarma o fallada. Per tal d'estalviar costos d'un tècnic que realitzi revisions periòdiques és necessari que el programa avisi quan es produeixi una fallada o alarma del sistema per tal que el tècnic es presenti únicament per a resoldre tal anomalia coneixent-la prèviament.

Modificar l'estructura física del projecte. De tal manera que es guanyi en robustesa per a poder moure-la en cas de que sigui necessari.

Més variables a mesurar. Podria modificar-se el programa per a que realitzés mesures d'altres variables i així poder realitzar arxius de dades més complets.

10. BIBLIOGRAFIA

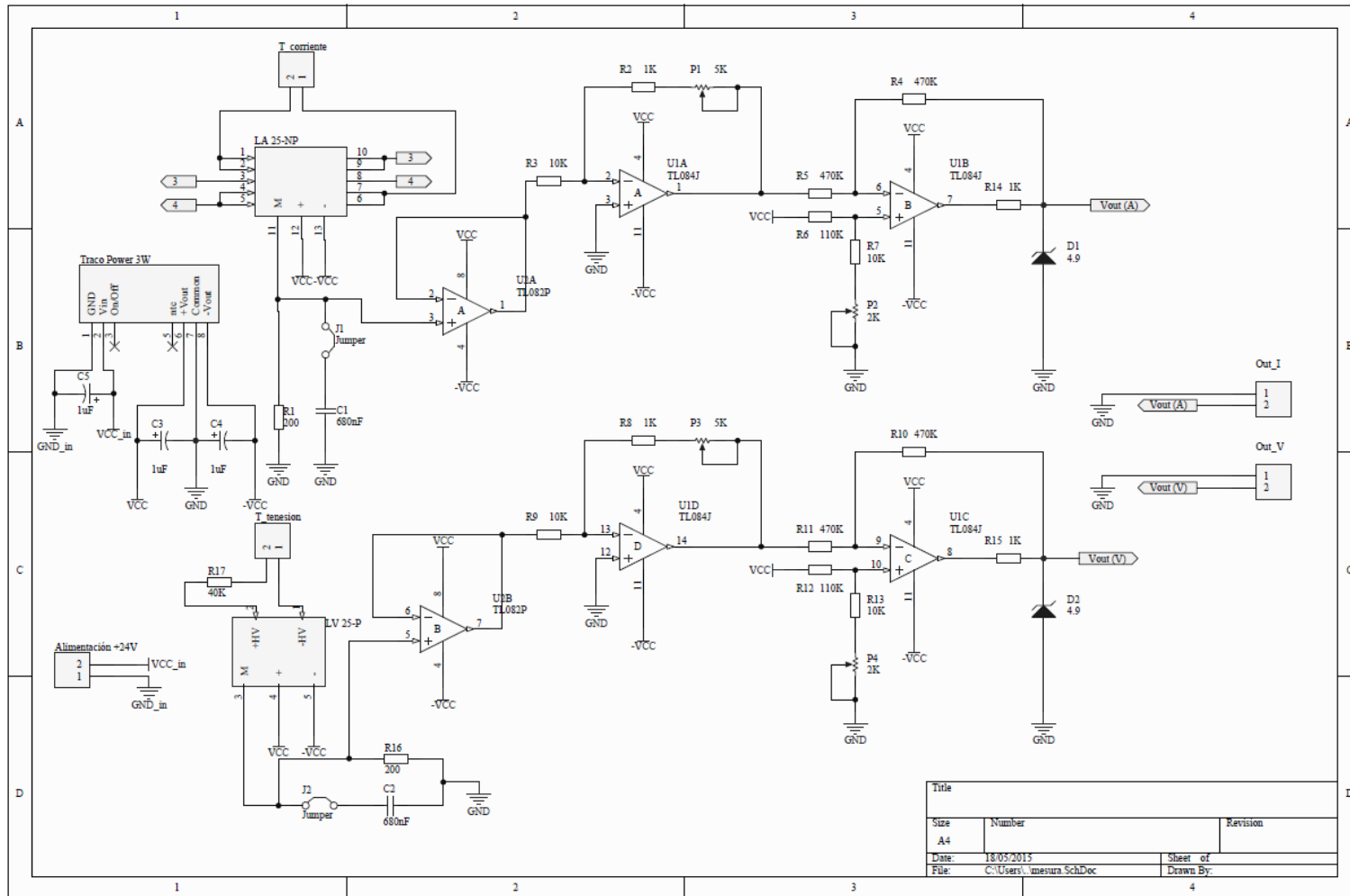
- [1] Wikipedia, «Energia Solar,» [En línia]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_solar. [Últim accés: Setembre 2015].
- [2] Wikipedia., «Energia,» [En línia]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Energy>. [Últim accés: Setembre 2015].
- [3] Wikipedia, «Célula solar fotovoltaica,» [En línia]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Célula_fotovoltaica. [Últim accés: Setembre 2015].
- [4] Wikipedia, «Panel solar fotovoltaico,» [En línia]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico. [Últim accés: Setembre 2015].
- [5] Wikipedia, «Seguidor solar,» [En línia]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Seguidor_solar. [Últim accés: Setembre 2015].
- [6] Wikipedia, «Inversor solar fotovoltaico,» [En línia]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor>. [Últim accés: Setembre 2015].
- [7] «Radiacion solar,» [En línia]. Available: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/radiacionsolar.html>. [Últim accés: Setembre 2015].
- [8] «Tipus de radiació solar,» [En línia]. Available: www.pce-iberica.es. [Últim accés: Setembre 2015].
- [9] Wikipedia, «Energia solar fotovoltaica,» [En línia]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Central_fotovoltaica. [Últim accés: Setembre 2015].
- [10] «Tipus de cèl·lules solars,» [En línia]. Available: www.sunflower-solar.com. [Últim accés: Setembre 2015].
- [11] «Aplicacions de la energia solar fotovoltaica,» [En línia]. Available: <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com.es/2006/01/energia-solar-fotovoltaica.html>. [Últim accés: Setembre 2015].
- [12] «L'energia solar fotovoltaica a Europa,» [En línia]. Available: <http://www.prosun.org/es/ue-solar-sostenible/energia-solar-para-el-futuro-de-europa.html>. [Últim accés: Octubre 2015].
- [13] «Agència Internacional de l'Energia,» [En línia]. Available: www.iea.org. [Últim accés: Octubre 2015].
- [14] «RD 661/2007. Boletín oficial del Estado (BOE) No 126. 26 May,» [En línia].
- [15] A. Jäger-Waldau, PV Status Report, European Commission - JRC (ISBN 978-92-79-12800-4), 2009.

[16] P. Mir, Cuadernos Económicos del ICE Vol 83 (2012) 185-205..

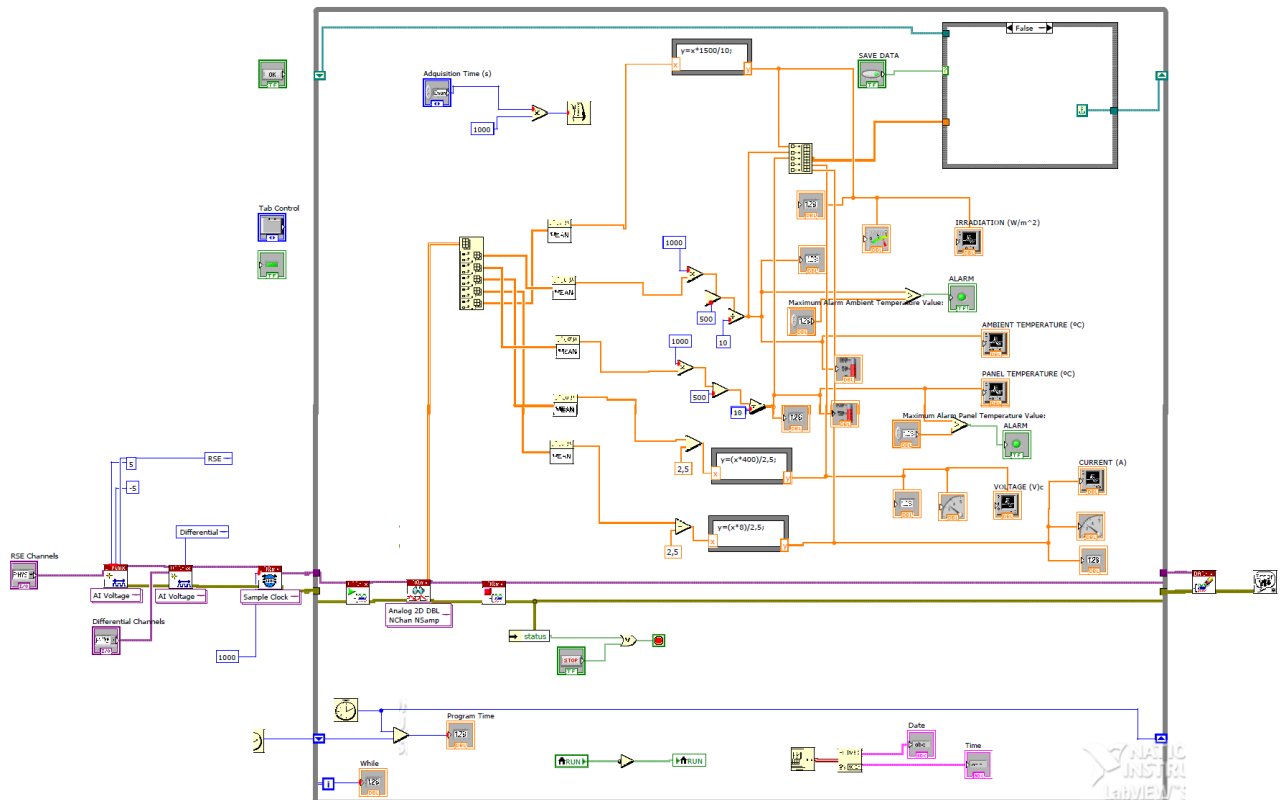
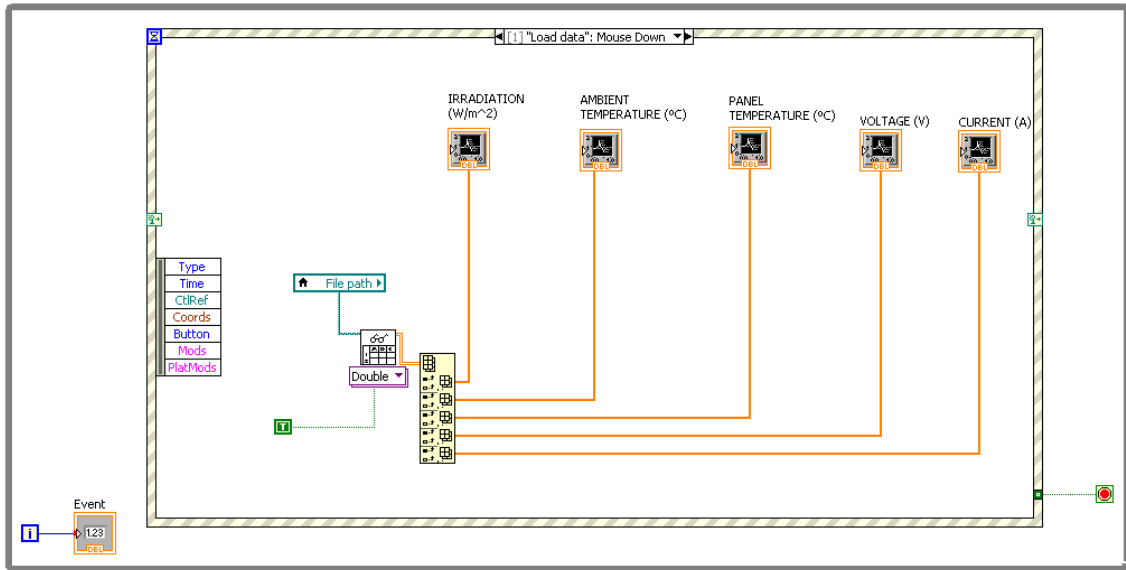
[17] «La Energía en España,» *Ministerio de Industria, Energía y Turismo* , 2013.

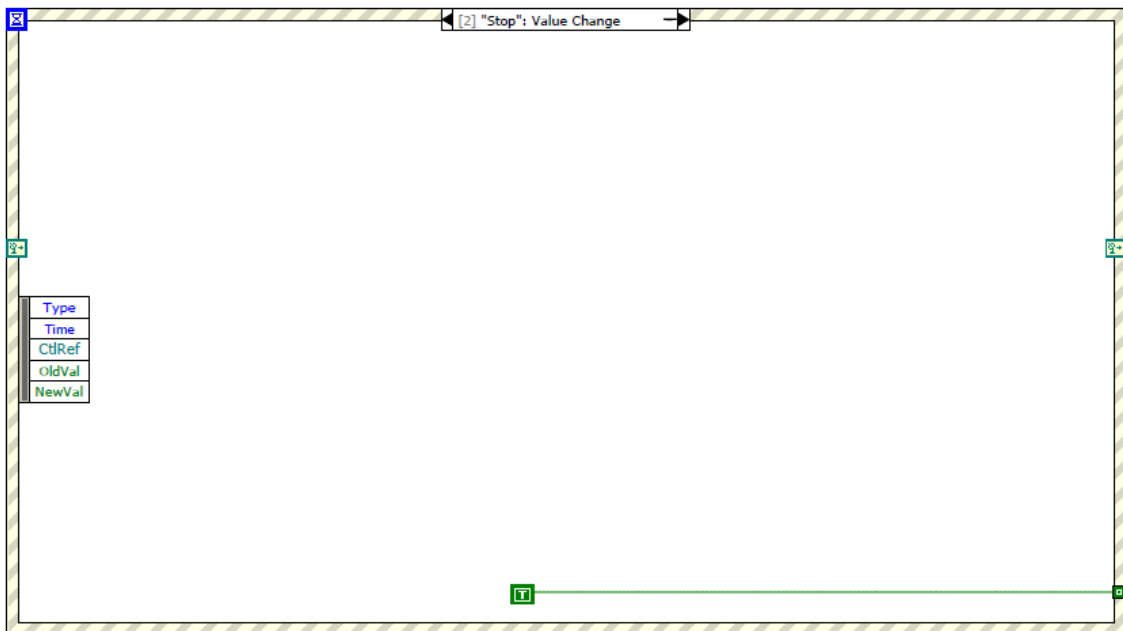
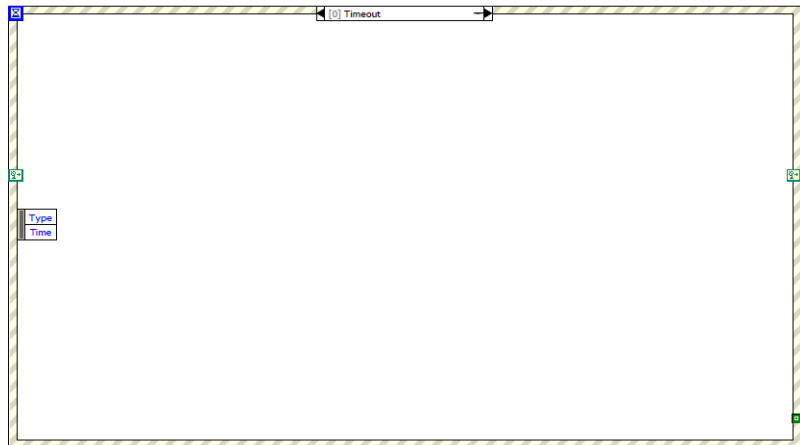
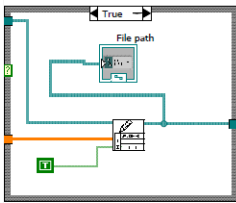
[18] «Reial Decret 900/2015,» [En línia]. Available: www.boe.es.

Annex I: Circuit acondicionador de tensió i corrent



Annex II: Codi LabVIEW





Annex III: Fulles de característiques principals

1. Sensor d'irradiació Spektron 300.
2. Sensor de temperatura LMP36.
3. NI USB-6008.
4. Transductor de voltatge LV 25-P.
5. Transductor de corrent LA 25-NP.

1 Descripción

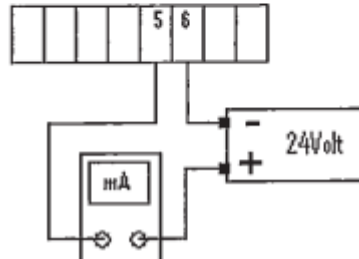
El presente sensor de irradiación ofrece las siguientes posibilidades para la evaluación de una irradiación entre 0 y 1500 W/m²:

- Salida de tensión 0 – 150 mV
- Salida de tensión 0 – 3,125 V
- Salida de tensión 0 – 10 V
- Salida de corriente para técnica N+N 4 – 20 mA

La irradiación máxima posible de medir es de 1500 W/m². Cada vez puede ser utilizada solamente una salida de medición.

2 Ocupación de las conexiones

Bornes de conexión en el sensor de irradiación

3.3 Salida de corriente 4 – 20 mA

Esquema de conexiones de medición de corriente

Los bornes están asignados a las siguientes tensiones o corrientes:

Nº de borne	Denominación	
1	U_{10}	Salida de tensión 0 – 10 V
2	$U_{3,125}$	Salida de tensión 0 – 3,125 V
3	U_{mV}	Salida de tensión 0 – 150 mV
4	V_{20}	Tensión de alimentación 5 – 30 V
5	I_{IN}	Bucle de corriente 4 – 20 mA
6	GND / I_{OUT}	Masa
7	Célula solar +	Célula de medición
8	Célula solar –	Célula de medición

3 Conexiones**3.1 Célula solar**

La célula solar se conectará en los bornes 7 y 8. Para el ánodo de la célula solar está previsto el borne 7, para el cátodo el borne 8.

3.2 Salidas de tensión

Las salidas de tensión pueden ser utilizadas solamente cuando no se esté usando la salida de corriente. No es posible un funcionamiento combinado. Todas las tensiones están relacionadas a GND, borne 6.

3.2.1 Salida de tensión 150 mV

Para la utilización de esta salida de tensión el circuito no tiene que estar abastecido de corriente. La tensión de medida resulta como sigue:

$$U_{mV} = E \cdot (150 \text{ mV} / 1500 \text{ W/m}^2)$$

Con E: Irradiación en W/m²

3.2.2 Salida de tensión 3,125 mV

Para la utilización de esta salida de tensión el circuito tiene que estar abastecido de corriente. La tensión de alimentación V_{20} en el borne 4 tiene que estar en un margen entre +5 V y +30 V, en relación con GND. La tensión de medida resulta como sigue:

$$U_{3,125} = E \cdot (3,125 \text{ V} / 1500 \text{ W/m}^2)$$

3.2.3 Salida de tensión 10 V

Para la utilización de esta salida de tensión el circuito tiene que estar abastecido de corriente. La tensión de alimentación V_{20} en el borne 4 tiene que estar en un margen entre +12 V y +30 V, en relación con GND. La tensión de medida resulta como sigue:

$$U_{10} = E \cdot (10 \text{ V} / 1500 \text{ W/m}^2)$$

3.3 Salida de corriente 4 – 20 mA

Para la utilización de la salida de corriente no puede ser utilizada ninguna salida de tensión. El circuito se abastece por sí mismo de la alimentación de corriente externa. Además la tensión de la medición de corriente tiene que estar entre 15 V y 30 V; la carga no debe exceder los 500 Ω. La entrada de corriente está prevista en el borne 5 y la salida de corriente en el borne 6. La corriente de medida resulta como sigue:

$$I = 4 \text{ mA} + E \cdot (16 \text{ mA} / 1500 \text{ W/m}^2)$$

SPECIFICATIONS

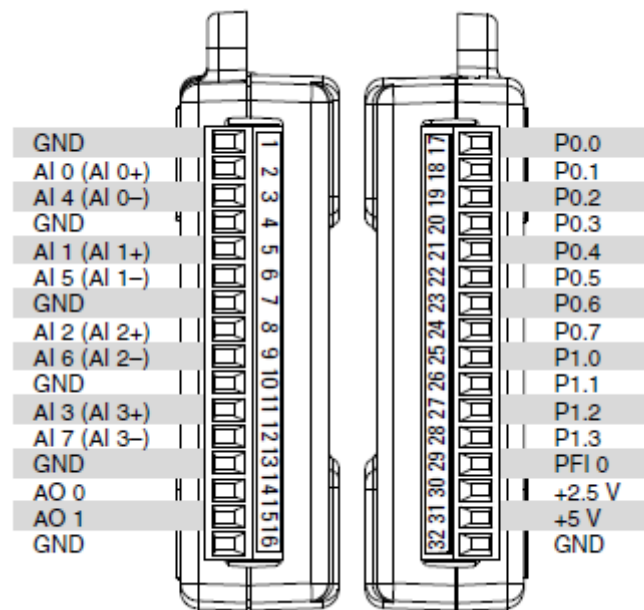
$V_S = 2.7\text{ V to }5.5\text{ V}$, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter ¹	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
ACCURACY						
TMP35/TMP36/TMP37 (F Grade)		$T_A = 25^\circ\text{C}$		±1	±2	°C
TMP35/TMP36/TMP37 (G Grade)		$T_A = 25^\circ\text{C}$		±1	±3	°C
TMP35/TMP36/TMP37 (F Grade)		Over rated temperature		±2	±3	°C
TMP35/TMP36/TMP37 (G Grade)		Over rated temperature		±2	±4	°C
Scale Factor, TMP35		$10^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$		10		mV/°C
Scale Factor, TMP36		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		10		mV/°C
Scale Factor, TMP37		$5^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$		20		mV/°C
		$5^\circ\text{C} \leq T_A \leq 100^\circ\text{C}$		20		mV/°C
Load Regulation		$3.0\text{ V} \leq V_S \leq 5.5\text{ V}$ $0\ \mu\text{A} \leq I_L \leq 50\ \mu\text{A}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +105^\circ\text{C}$		6	20	m°C/μA
		$-105^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		25	60	m°C/μA
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $3.0\text{ V} \leq V_S \leq 5.5\text{ V}$		30	100	m°C/V
Linearity				50		m°C/V
Long-Term Stability		$T_A = 150^\circ\text{C}$ for 1000 hours		0.5		°C
				0.4		°C
SHUTDOWN						
Logic High Input Voltage	V_{IH}	$V_S = 2.7\text{ V}$	1.8			V
Logic Low Input Voltage	V_{IL}	$V_S = 5.5\text{ V}$			400	mV
OUTPUT						
TMP35 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		250		mV
TMP36 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		750		mV
TMP37 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		500		mV
Output Voltage Range			100		2000	mV
Output Load Current	I_L		0		50	μA
Short-Circuit Current	I_{SC}	Note 2			250	μA
Capacitive Load Driving	C_L	No oscillations ²	1000	10000		pF
Device Turn-On Time		Output within $\pm 1^\circ\text{C}$, 100 kΩ 100 pF load ²		0.5	1	ms
POWER SUPPLY						
Supply Range	V_S		2.7		5.5	V
Supply Current	I_{SY} (ON)	Unloaded			50	μA
Supply Current (Shutdown)	I_{SY} (OFF)	Unloaded		0.01	0.5	μA

¹ Does not consider errors caused by self-heating.

² Guaranteed but not tested.



Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI <1, 5>, AI <2, 6>, and AI <3, 7>. Refer to the <i>Analog Input</i> section for more information.

Feature	NI USB-6008
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel ¹	10 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate) ¹	10 kS/s
DIO configuration	Open collector ²

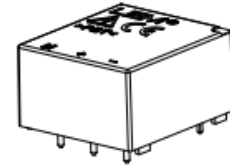
Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit and the secondary circuit.



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	10	mA			
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 14	mA			
R_M	Measuring resistance	with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{\text{max}}$	$R_{M\text{min}}$	$R_{M\text{max}}$	Ω
			@ $\pm 14 \text{ mA}_{\text{max}}$	30	190	Ω
	with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{\text{max}}$	30	100	Ω	
		@ $\pm 14 \text{ mA}_{\text{max}}$	100	350	Ω	
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA			
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000				
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V			
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA			

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%
		@ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	± 0.8	%
ϵ_L	Linearity error		< 0.2	%
			Typ	Max
I_O	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		± 0.15	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	$0^\circ\text{C} \dots +25^\circ\text{C}$	± 0.06	± 0.25
		$+25^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$	± 0.10	± 0.35
t_r	Response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN} step		40	μs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. +70	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	-25 .. +85	$^\circ\text{C}$
R_p	Primary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250 Ω
R_s	Secondary coil resistance	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110 Ω
m	Mass		22 g
	Standard		EN 50178: 1997

Note: ¹⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit).

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_1 which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

Current Transducer LA 25-NP

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit and the secondary circuit.

$$I_{PN} = 5-6-8-12-25 \text{ At}$$



Electrical data			
I_{PN}	Primary nominal current rms	25	At
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 36	At
R_M	Measuring resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$	
		$R_{M \min}$	$R_{M \max}$
		$R_{M \min}$	$R_{M \max}$
	with ± 15 V	@ ± 25 At _{max}	100 320
		@ ± 36 At _{max}	100 190
		$T_A = 85^\circ\text{C}$	100 315
			100 185
			Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA
K_N	Conversion ratio	1-2-3-4-5	: 1000
V_C	Supply voltage (± 5 %)	± 15	V
I_C	Current consumption	10 + I_S	mA
Accuracy - Dynamic performance data			
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.5	%
ε_L	Linearity error	< 0.2	%
I_O	Offset current ¹⁾ @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max
		± 0.05	± 0.15
I_{OM}	Magnetic offset current ²⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M , after an overload of 3 x I_{PN}	± 0.05	± 0.15
		± 0.06	± 0.25
I_{OT}	Temperature variation of I_O	0°C .. + 25°C	± 0.10
		+ 25°C .. + 70°C	± 0.35
		- 25°C .. + 85°C	± 0.5
		- 40°C .. + 85°C	± 1.2
t_r	Response time ³⁾ to 90 % of I_{PN} step	< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/μs
BW	Frequency bandwidth (- 1 dB)	DC .. 150	kHz
General data			
T_A	Ambient operating temperature	- 40 .. + 85	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 45 .. + 90	°C
R_p	Primary coil resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	< 1.25	mΩ
R_S	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
		@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	115
			Ω
R_{IS}	Isolation resistance @ 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	> 1500	MΩ
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997	

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

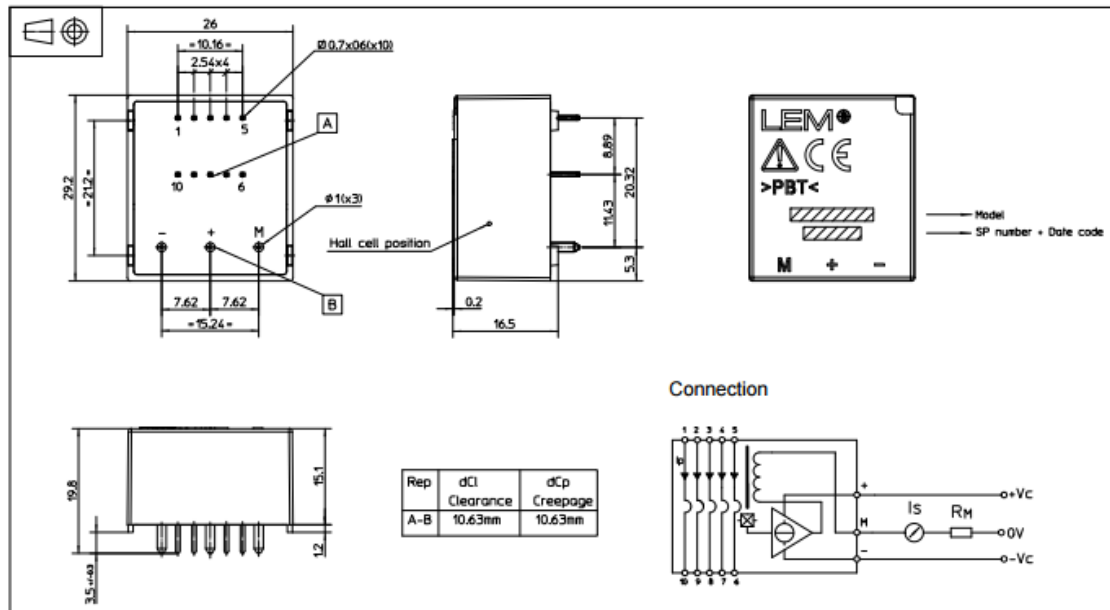
- Industrial.

Notes: ¹⁾ Measurement carried out after 15 mn functioning

²⁾ The result of the coercive field of the magnetic circuit

³⁾ With a di/dt of 100 A/μs.

Dimensions LA 25-NP (in mm)



Number of primary turns	Primary current		Nominal output current I _{SN} [mA]	Turns ratio K _N	Primary resistance R _p [mΩ]	Primary insertion inductance L _p [μH]	Recommended connections
	nominal I _{PN} [A]	maximum I _P [A]					
1	25	36	25	1 / 1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2 / 1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3 / 1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4 / 1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5 / 1000	6.3	0.58	

Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 10 pins 0.7 x 0.6 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins Ø 1 mm
- Recommended PCB hole 1.2 mm

Remarks

- I_s is positive when I_p flows from terminals 1, 2, 3, 4, 5 to terminals 10, 9, 8, 7, 6.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.