

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Plaques solars fotovoltaïques sensoritzades per habitatge unifamiliar

Document: 1. Memòria

Alumne: Llorenç Fanals Batllori

Tutor: Miquel Rustullet Reñé

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any): novembre/2019

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	3
1.1	Antecedents	3
1.2	Objectiu	3
1.3	Abast	3
2	CARACTERÍSTIQUES DE L'HABITATGE	4
2.1	Irradiació	4
2.2	Consum energètic	5
3	GENERADOR FOTOVOLTAIC I INVERSOR	7
3.1	Potència de la instal·lació fotovoltaica	7
3.2	Panell solar escollit	9
3.3	Associació de plaques	10
3.4	Inversor	12
4	INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA	15
4.1	Línies elèctriques de la instal·lació fotovoltaica	15
4.2	Secció dels conductors	16
4.3	Quadre elèctric	16
5	PLACA ELECTRÒNICA	18
5.1	Alimentació	18
5.2	Instrumentació	19
5.3	Multiplexor	21
5.4	Comunicació	23
5.5	Circuit imprès	24
6	PROGRAMA	27
6.1	Organigrama	27

6.2	Explicació	28
6.3	Pàgina web	29
7	RESUM DEL PRESSUPOST	33
8	CONCLUSIÓ	34
9	RELACIÓ DE DOCUMENTS	35
10	BIBLIOGRAFIA	36
11	GLOSSARI	37
A	CÀLCULS	38
B	PROGRAMA	41

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

La instal·lació de plaques solars era una raresa fins fa pocs anys. Recentment es considera una possibilitat molt atractiva gràcies a l'abaratiment dels costos d'aquestes i al nou Decret d'Autoconsum.

El cost de manteniment d'una instal·lació d'aquest tipus és relativament elevat i fa disminuir la rendibilitat anual de la instal·lació.

1.2. Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte és detallar una instal·lació de plaques solars fotovoltaïques per un habitatge unifamiliar i dissenyar un equip de sensorització per adquirir dades de cada placa solar. Les dades seran accessibles i permetran conèixer l'estat de les plaques per així facilitar i abaratir el manteniment.

1.3. Abast

La instal·lació de plaques ha de permetre cobrir el consum elèctric d'un habitatge unifamiliar durant les hores d'alta radiació solar. Les plaques solars disposaran de les seves proteccions i es connectaran a un inversor combinant l'associació sèrie i paral·lel d'aquestes.

Es dissenyarà una placa de circuit imprès de dimensions reduïdes que mesurarà la tensió als terminals de cada placa solar i amb el programari adient aquesta informació serà accessible per l'usuari. El microcontrolador utilitzat serà un ESP8266. Es perseguirà dissenyar un equip de baix cost econòmic i amb un disseny cuidat.

2. CARACTERÍSTIQUES DE L'HABITATGE

Per tal de determinar la potència màxima de la instal·lació fotovoltaica és necessari conèixer l'angle d'inclinació dels panells, la irradiació anual i les possibles ombres que poden haver-hi. D'aquesta manera se sap de forma bastant precisa l'energia que incideix al panell.

Si es coneix el consum anual de l'habitatge i es té en compte que els panells tenen un rendiment indicat pel fabricant es pot calcular quantes plaques solars són necessàries per igualar el consum amb la generació.

Després d'exposar-ho al client, aquest ha acceptat el plantejament.

2.1. Irradiació

L'habitatge unifamiliar en què es preveu instal·lar les plaques solars es troba al municipi de Vulpellac, al carrer Canigó número 27. La casa té dues plantes i una superfície de 208 m² per planta. Les coordenades de l'habitatge són 41°57'56" N, 3°02'47".

La parcel·la disposa d'un jardí a la part posterior de la casa. La casa té una separació de 2 m a banda i banda respecte altres cases, les quals són un metre i mig més altes que la casa del número 27.

Només es té una sola fila de plaques, de manera que no es fan ombres entre elles.

La teulada és quasi plana i per tant és relativament fàcil donar als panells fotovoltaics la inclinació i l'orientació que es desitgi. Per tal de calcular l'angle d'inclinació òptim es fa servir l'Equació 1.

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 * |\varphi| \quad (\text{Eq. 1})$$

β_{opt} : angle d'inclinació òptima (°).

φ : latitud de l'emplaçament geogràfic del es plaques, en valor absolut (°).

Coneixent que la latitud és de 41,97°, l'angle òptim d'inclinació que ens donaria la màxima energia al cap de l'any és de 32,66°.

Aquest càlcul no està gaire lluny de l'aproximació que a la realitat se sol fer, i que es

detalla a la Taula 1:

Tipus d'instal·lació	Ús	Màxima captació d'energia	Inclinació òptima
Instal·lació connectada a la xarxa	Anual	Anual	$\beta_{\text{opt}} = \varphi - 10^\circ$
Bombeig d'aigua	Anual	Estiu	$\beta_{\text{opt}} = \varphi - 20^\circ$
Autòmats de consum anual constant	Anual	Període de menor radiació	$\beta_{\text{opt}} = \varphi + 10^\circ$

Taula 1. Aproximació de la inclinació òptima dels panells

Amb aquesta aproximació l'angle d'inclinació seria de $31,97^\circ$, molt proper als $32,66^\circ$.

Un cop conegut l'angle òptim és possible conèixer la irradiació global. Per fer el càlcul es necessita conèixer el valor mig anual de la irradiació global sobre una superfície amb la inclinació òptima. Aquest valor està tabulat segons la província.

La fórmula en qüestió és la de l'Equació 2:

$$G_a(\beta_{\text{opt}}) = \frac{G_a(0)}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

$G_a(\beta_{\text{opt}})$: valor mig de la irradiació global en una superfície amb inclinació òptima (kWh/m^2).

$G_a(0)$: mitjana anual de la irradiació global horitzontal (kWh/m^2).

β_{opt} : angle d'inclinació òptim del panell fotovoltaic ($^\circ$).

Per la província de Girona, la irradiació mitjana diària sobre una superfície amb inclinació òptima és de $3,69 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$. Si es considera que un any té 365,25 dies això són $1.347,77 \text{ kWh/m}^2$.

Es calcula que valor mig de la irradiació global amb els panells inclinats un angle de $32,66^\circ$ és de $1.569,92 \text{ kWh/m}^2$.

Es considera que no hi ha problema per instal·lar els panells amb l'angle òptim, així que el factor de irradiació es manté en 1.

2.2. Consum energètic

En aquesta casa hi viuen 6 persones. Els consums elèctrics de l'any 2018 han estat els que s'indiquen a continuació.

Mes	Consum mensual (kWh)	Nombre de dies	Consum mitjà diari (kWh/dia)
Gener	493	31	15,90
Febrer	506	28	18,07
Març	457	31	14,74
Abril	415	30	13,83
Maig	406	31	13,10
Juny	424	30	14,13
Juliol	502	31	16,19
Agost	521	31	16,81
Setembre	394	30	13,13
Octubre	416	31	13,42
Novembre	451	30	15,03
Desembre	519	31	16,74
Total	5.504	365	15,08

Taula 2. Consums de l'habitatge

Els consums indicats a la Taula 2 són bastant elevats per tractar-se d'un habitatge, però s'ha de considerar que es tracta d'una casa amb dues plantes i un total de 306 m² de superfície útil. Hi viuen 6 persones la majoria d'èpoques de l'any i la calefacció és amb bombes de calor.

3. GENERADOR FOTOVOLTAIC I INVERSOR

Un generador és una màquina, aparell o dispositiu que produeix energia elèctrica amb una tensió o corrent d'unes característiques determinades. L'adjectiu fotovoltaic s'usa per designar aquells sistemes en què es produeix una força electromotriu entre dos metalls que estan en contacte i exposats a una radiació electromagnètica.

Un conjunt de panells solars connectats entre sí ja sigui en sèrie, en paral·lel o amb associació sèrie-paral·lel es pot considerar un sol generador fotovoltaic.

Un panell solar ve definit per diferents paràmetres que s'han de tenir en compte a l'hora de dissenyar una instal·lació. Prèviament cal determinar la quantitat de panells de la instal·lació en funció de l'energia que es vol produir.

3.1. Potència de la instal·lació fotovoltaica

S'ha calculat al capítol anterior que el consum total de l'habitatge al cap de l'any és de 5.504 Kwh.

Es proposa instal·lar les plaques necessàries per haver generat al cap d'un any l'energia consumida aquell any a l'habitatge. D'aquesta manera hi haurà moments en què tota l'energia elèctrica generada serà igual a la consumida a l'habitatge, altres en què els excedents es lliurin a la xarxa i altres en què les plaques no generin i s'hagi de consumir únicament energia de la xarxa.

Es proposa utilitzar un panell de 330 W amb un eficiència del 17% i una superfície de 1.94 m². Amb aquestes dades i sabent que el valor de la irradiació global és de 1.569,92 kWh/m² es determina que un sol panell donarà 517,73 kWh al cap de l'any. 10 panells d'aquest model donaran 5.177 kWh anuals, valor molt proper al d'energia consumida anual a l'habitatge.

Cal tenir en compte les ombres generades per l'edifici del costat sud i els arbres d'aquest mateix costat, que tenen una altura superior a la de la casa del projecte. La imatge de la Figura 1 s'ha construït a partir de dades reals i a partir de l'IDAE.

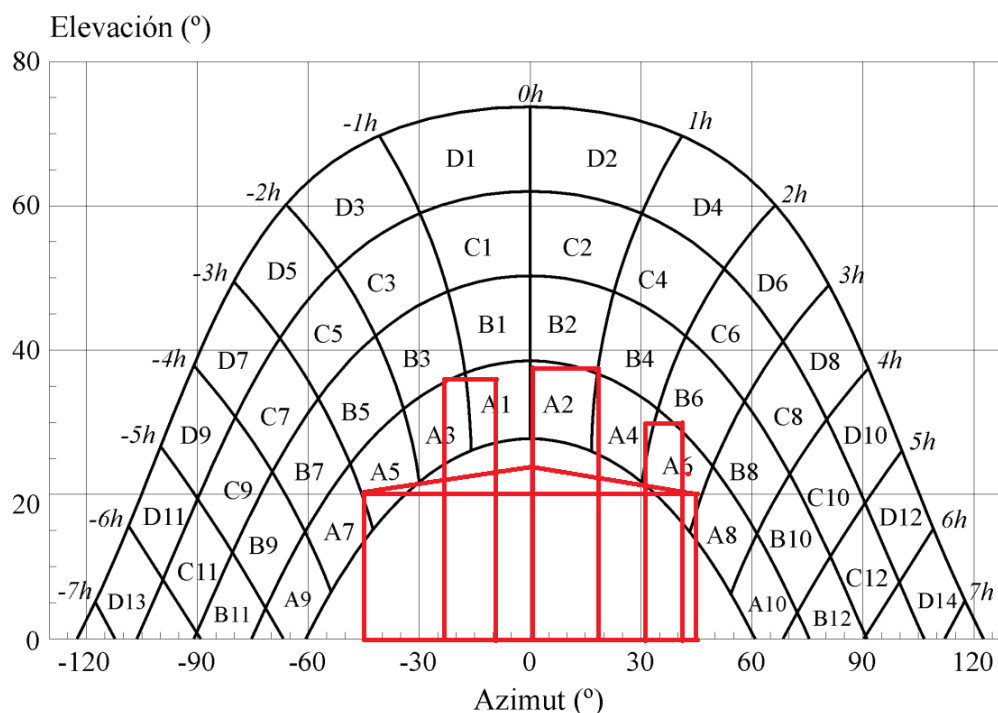


Figura 1. Mapa d'ombres

Degut a la inclinació i orientació de les plaques es fa servir la taula 5-A de l'IDAE, per tal de determinar el factor d'ombrejat (FS). Segons l'IDAE cal determinar si cada casella té un 0%, un 25%, un 50% o un 100% de la seva superfície coberta.

La Taula 3 mostra el percentatge de superfície de cada casella, el valor de pèrdua tabulat de l'IDAE i la pèrdua que ocasiona cada casella. Així, es dona un total, el factor d'ombrejat (FS).

Casella	Factor de superfície	Sombrejat casella al 100%	Sombrejat casella
A5	0,25	1,84	0,46
A3	0,5	2,70	1,35
A1	0,5	3,15	1,58
A2	1,0	3,17	3,17
A6	0,75	1,79	1,34
Total			7,90

Taula 3. Sombrejats

El total de 7,9% entra dins els marges que marca l'IDAE, el qual indica que per instal·lacions de propòsit general el màxim per ombres és del 10%. S'instal·laran díodes per evitar que aquestes funcionin com a receptors en cas d'ombres.

El factor d'ombregat (FS) ve donat per l'Equació 3.

$$FS = 1 - \text{Perdues per sombrejat} \quad (\text{Eq. 3})$$

Que val 0,921. Per tant, el total d'energia generada al cap de l'any baixa a 4.768 kWh.

3.2. Panell solar escollit

El panell solar proposat s'anomena GCL-P6/72. Segons el fabricant és d'alta eficiència ja que pot arribar a tenir un 17 % de rendiment. La seva potència màxima, o potència de pic, és de 330 W. El fabricant indica que el rendiment dels panells disminueix de forma lineal al llarg del temps; al cap de 25 anys s'espera un rendiment d'un 80,7%.

Cal dir que aquests 330 W es poden haver aconseguit en condicions idònies que només es donen al laboratori. El mateix fabricant ens indica que per una irradiació de 800 W/m² la potència màxima és de 237,71 W.

A continuació, a la Taula 4, s'indiquen les característiques elèctriques del panell en condicions idònies, per les quals es dona la potència de 330 W.

Característica del panell GCL-P6/72 330 W, condicions ideals	Valor
Potència màxima (P_{\max})	330,00 W
Tensió a la potència màxima (V_m)	37,80 V
Intensitat a la potència màxima (I_m)	8,73 A
Tensió de circuit obert (V_{oc})	46,20 V
Corrent de curtcircuit (I_{sc})	9,33 A
Eficiència	17,00 %

Taula 4. Dades del panell amb irradiació de 1.000 W/m² i 25 C° de temperatura ambient

En condicions més comunes i no tan ideals la potència disminueix considerablement, com s'indica a la Taula 5.

Després de consultar a Internet s'observa que a la zona geogràfica en què es pretén instal·lar les plaques la irradiació pot prendre valors de l'ordre de 800 W/m² com a màxim. Rebre 1.000 W/m² no seria gens comú.

El mes de novembre, per exemple els pics de irradiació que es reben són d'uns 600 W/m².

Característica del panell GLC-P6/72 330 W, condicions habituals	Valor
Potència màxima (P_{max})	237,71 W
Tensió a la potència màxima (V_m)	34,50 V
Intensitat a la potència màxima (I_m)	6,89 A
Tensió de circuit obert (V_{oc})	42,90 V
Corrent de curtcircuit (I_{sc})	7,58 A

Taula 5. Dades del panell amb irradiació de 800 W/m^2 i 20 C° de temperatura ambient

Un altre punt a destacar de la irradiació és que aquesta se sol donar en termes d'energia al cap del dia i no pas de potències. De totes maneres, se seguirà parlant de potències ja que és més pràctic. No s'ha d'oblidar, però, que aquesta potència de 800 W/m^2 només es pot donar a l'estiu i en moments de molta irradiació. En les demés hores aquesta potència serà molt menor.

3.3. Associació de plaques

Es decideix associar les plaques amb dues branques en paral·lel de 5 plaques per branca, de manera que es combina l'associació sèrie i paral·lel a la vegada. Per entendre millor aquest apartat es considera important conèixer el model dels panells solars.

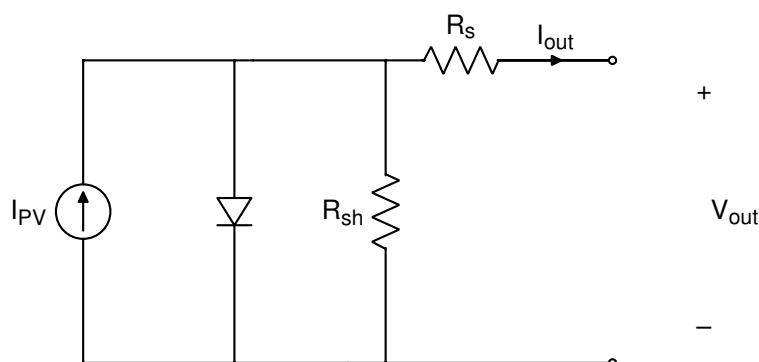


Figura 2. Model d'un panell solar fotovoltaic

I_{PV} : corrent que lliura el mòdul.

R_{sh} : resistència en paral·lel del panell.

R_s : resistència de contacte del connexionat del panell.

I_{out} : corrent de sortida.

V_{out} : tensió de sortida.

La corba característica V_{out} - I_{out} dels panells solars s'obté d'aquest model i dona una intensitat lineal per un gran rang de tensions de sortida. Per altes tensions de sortida la

intensitat de sortida és bastant petita. L'inversor intenta treballar en el punt de màxima potència, anomenat MPPT.

Les corbes del panell segons el fabricant són les indicades a la Figura 3:

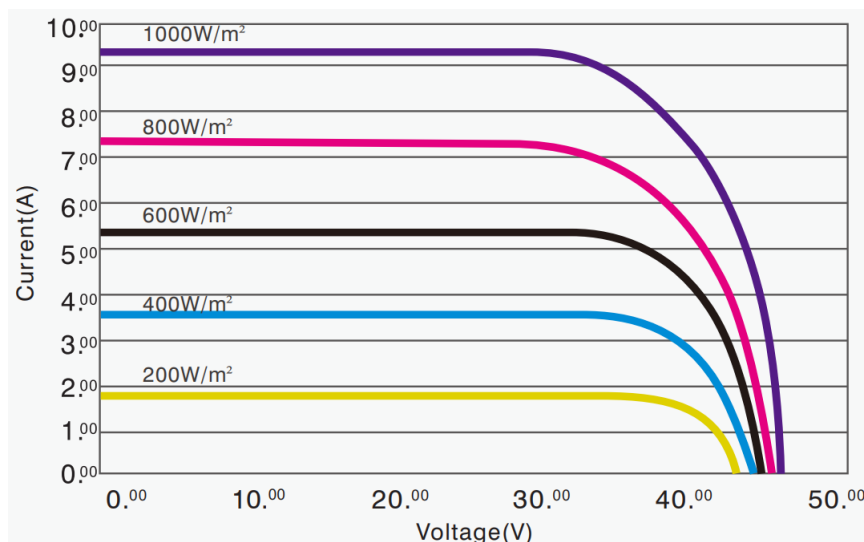


Figura 3. Corbes V-I GLC-P6/72 330 W

Al connectar diversos panells en sèrie pot passar que algun panell consumeixi energia. Això és molt notori quan hi ha ombres, ja que a algunes plaques els incideix el Sol i lliuren una quantitat considerable d'intensitat mentre que les que estan a l'ombra donen molta menys intensitat. Com que estan connectades en sèrie, la intensitat ha de ser la mateixa. A la placa ombrejada, per tant, li passarà molta intensitat a través de R_{sh} . Aquesta resistència té un valor considerable. L'hi poden passar uns quants amperes i pot dissipar potències elevades.

En cap cas interessa que un panell consumeixi energia enlloc de generar-ne. Com ja s'ha comentat, a la casa objecte d'aquest projecte s'ha observat que és habitual que es projectin ombres a la teulada, ja sigui pels alts arbres que hi ha properament o per les cases de més alçada que la del projecte.

Per solucionar el problema una solució tradicional ha estat connectar díodes en paral·lel als terminals de les plaques. L'inconvenient és que aquests díodes tenen una caiguda de tensió de 0,7 V o 0,4 V si són díodes Schottky. Per una intensitat de branca de 7 A, que es podria donar per les plaques escollides, i considerant que múltiples plaques podrien estar ombrejades, es dissiparia una potència petita però considerable. A més, s'escalfarien els díodes. Aquests díodes es troben dins una petita caixa; l'escalfament els pot arribar a

deteriorar i disminuir la robustesa de la instal·lació.

Es decideix escollir un díode SM74611, o com diu el fabricant, un díode de derivació intel·ligent. De fet, se'n connectaran dos a cada placa.

El panell GLC-P6/72 330 W té 6 files de 12 cel·les cadascuna. S'opta per col·locar un díode en paral·lel amb les tres primeres files i un altre en paral·lel amb les altres tres. Així mitja placa pot estar ombrejada i un díode estarà en conducció. L'altre meitat de la placa pot estar generant energia sense problema.

Els díodes SM74611 tenen una caiguda de tensió de 26 mV o menys a 7 A. Es pot afirmar que d'aquesta manera la pèrdua d'energia és mínima.

Es podria optar per posar plaques de menys tensió de sortida i així només haver de col·locar un díode per placa. De totes maneres, el cost del díode és de l'1% respecte el del panell. Es prioritza instal·lar panells d'elevada potència i elevada tensió, que per defecte són més econòmics.

Un cops justificats els díodes, es poden fer els càlculs per conèixer la tensió i la intensitat màximes de sortides de la instal·lació fotovoltaica a partir de la tensió de circuit obert i a partir de la intensitat de curtcircuit. Aquestes dades es mostren a la Taula 6.

Característica	Valor
Tensió màxima (V_{max})	231,00 V
Intensitat màxima per branca	9,33 A

Taula 6. Paràmetres màxims resultants de l'associació de plaques

3.4. Inversor

L'inversor escollit és un FRONIUS Primo 3.0-1. És costós en comparació a altres inversors però alhora molt fiable. Permet connectar-lo per TCP-IP a la xarxa d'Internet de la casa i així poder consultar en tot moment la quantitat d'energia que la instal·lació de panells solars fotovoltaics genera.

Seguidament s'adjunta la Taula 7 amb algunes de les característiques més rellevants de l'inversor.

Característica	Valor
Màxima corrent d'entrada ($I_{dc \max}$)	12 / 12 A
Màxima corrent de curtcircuit	18 / 18 A
Rang màxim de tensió d'entrada CC ($U_{cc \min} - U_{cc \max}$)	80 - 1.000 V
Tensió mínima de posada en marxa ($U_{dc \text{ arranc}}$)	80 V
Nombre d'entrades CC	2 + 2
Potència nominal AC ($P_{ac,r}$)	3.000 W
Acoblament a la xarxa ($U_{ac,r}$)	1 NPE 230 V

Taula 7. Característiques de l'inversor FRONIUS Primo 3.0-1

L'inversor és adient per la instal·lació de plaques i l'associació d'aquestes que es proposa. En cap cas se superen els màxims que fixa el fabricant de l'inversor. La potència de l'inversor és correcta per la potència màxima que ens poden donar els panells fotovoltaïcs. Per començar a funcionar l'inversor necessita un mínim de 80 V. Si de dia un o dos panells estan ombrejats i la resta no l'inversor pot seguir funcionant i lliurant energia.

Els rendiments de l'inversor són molt elevats, per un gran rang de treball el rendiment és del 95% o més. En cap cas el rendiment baixa del 80%.

El fabricant indica que l'inversor intenta donar sempre la màxima potència mitjançant el seu sistema de Dynamic Peak Manager.

Aquest inversor és fàcil de muntar gràcies a què es pot desmuntar en dues parts: la fixa que va a la paret i és on es realitzen les connexions i la de potència, que pesa 21,5 kg. Primer es munta la part fixa, es realitzen les connexions, i després s'acobra la part de potència.

Fronius indica que el Primo 3.0-1 és un equip pensat pel futur, per xarxes elèctriques intel·ligents. Hi ha la possibilitat de comunicar l'inversor per interfícies molt diverses com Modbus RTU, Fronius Solar API, Ethernet...

S'opta per connectar l'inversor a Internet mitjançant un cable Ethernet. D'aquesta manera el client podrà visualitzar la generació d'energia elèctrica dels seus panells. La web que ofereix Fronius és entenedora i fàcil d'utilitzar.

Gràcies a la web de Fronius i a la web que s'explica al següents capítols el client podrà visualitzar dades dels panells i tenir una molt bona idea de com estan funcionant. L'inversor

donarà les dades de tensió, intensitat i potència generada, però no pot saber com està treballant cada panell. Per això hi ha la placa electrònica, la qual llegirà les tensions de cada panell, amb les quals l'usuari podrà determinar si els panells estan ombrejats, curtcircuitats o en funcionament normal.

4. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA

És d'especial importància dimensionar correctament la instal·lació elèctrica dels panells fotovoltaïcs per tal de complir amb la ITC-BT-40 que tracta sobre instal·lacions generadores de baixa tensió. A més, cal protegir les línies amb les proteccions adients per tal d'evitar malmetre la instal·lació.

4.1. Línies elèctriques de la instal·lació fotovoltaïca

La instal·lació elèctrica de la casa s'acull al model d'autoconsum amb compensació d'excedents. Això vol dir que els excedents d'energia, que es lliuren a la xarxa, es paguen a un preu menor al preu de l'energia que consumeix l'habitatge de la xarxa elèctrica. En cap cas, però, el client rebrà diners a cap de mes.

A continuació, a la Taula 8, s'exposen les diferents línies de què disposa la instal·lació i la longitud més gran de cadascuna. Recordem que a l'inversor li arriben dos parells de cables, cada parell és d'una branca de 5 panells fotovoltaïcs en sèrie amb els seus díodes com a protecció.

Línia	Descripció	Longitud (m)
L1	Connexionat entre els panells solars	10
L2	Connexionat de la branca 1 a l'inversor	30
L3	Connexionat de la branca 2 a l'inversor	19
L4	Connexionat de l'inversor al QGPC	6
L5	Connexionat dels panells fotovoltaïcs a la placa electrònica	21

Taula 8. Línies de la instal·lació fotovoltaïca

La línia de connexionat entre els panells està formada per cables de baixa longitud que sumen els metres indicats a la taula. Hi ha una línia de connexionat dels panells a l'inversor per cada branca. Aquestes línies estan formades per un parell de cables de longituds diferents, i que sumen l'indicat a la taula. La connexió de l'inversor al QGPC es fa amb un parell de cables de la mateixa longitud. Hi ha múltiples línies de connexionat dels panells fotovoltaïcs a la placa electrònica, la línia més llarga té la longitud indicada.

Totes les línies són de cables flexibles de coure amb recobriments no propagadors d'incendis. Les línies 1, 2 i 4 tenen conductors amb recobriments contra la radiació directa del Sol. La línia 3 usa un cable comú amb recobriments PVC.

4.2. Secció dels conductors

Les seccions dels conductors estan calculades per complir amb el REBT. Es detallen els càlculs a l'annex de càlculs. Les seccions proposades s'indiquen a la Taula 9.

Línia	Descripció	Distància màxima (m)	Seccions (mm ²)	Diàmetre tub (mm)
L1	Connexionat entre els panells solars	10	2x4	16
L2	Connexionat de la branca 1 a l'inversor	30	2x10	20
L3	Connexionat de la branca 2 a l'inversor	19	2x6	16
L4	Connexionat de l'inversor al QGPC	6	2x4 + 4	25
L5	Connexionat dels panells fotovoltaics a la placa electrònica	21	2x1,5	32

Taula 9. Seccions de les línies

4.3. Quadre elèctric

El quadre elèctric de la instal·lació fotovoltaica es troba a l'habitació on hi ha l'inversor i la placa electrònica. Aquesta habitació està situada sota teulada. Al pis de sota, a la planta baixa, hi ha el quadre principal (QGPC).

El quadre elèctric disposa d'un parell de magnetotèrmics de 2 pols encarregats de protegir la instal·lació dels panells fotovoltaics i permetre desconectar-los de l'inversor. També hi figura un magnetotèrmic que es troba entre l'inversor i el QGPC.

La caixa d'aquest petit quadre elèctric és el model VE106F, amb un grau IP65.

Les proteccions contra sobreintensitats es mostren a la Taula 10.

Línia	Descripció	Intensitat nominal de la línia (A)	Intensitat nominal del PIA (A)	Classe	Pols
L2	Connexionat de la branca 1 a l'inversor	10,91	16	C	2
L3	Connexionat de la branca 2 a l'inversor	10,91	16	C	2
L4	Connexionat de l'inversor al QGPC	14,35	16	C	2

Taula 10. Proteccions contra sobreintensitats

Pel correcte dimensionament de les proteccions contra sobreintensitats s'ha tingut en compte

el coeficient de 1,25 que marca el REBT per instal·lacions generadores d'energia. Les plaques com a màxim, en funcionament normal donaran 8,73 A, aplicant el factor estem parlant de 10,91 A.

La protecció contra contactes indirectes ve donada per un diferencial de classe A de 30 mA de sensibilitat, situat a la sortida de l'inversor. Altres característiques s'indiquen a la Taula 11.

Línia	Descripció	Intensitat nominal de la línia (A)	Sensibilitat (mA)	Intensitat nominal del diferencial (A)	Classe
L4	Connexionat de l'inversor al QGPC	14,35	30	40	A

Taula 11. Proteccions contra contactes indirectes

Totes les carcasses de les plaques solars, que són metàl·liques, estan connectades a terra.

5. PLACA ELECTRÒNICA

Tal com s'indica als objectius del projecte part del treball consisteix en desenvolupar una placa electrònica encarregada d'adquirir dades, en aquest cas de tensió, dels panells fotovoltaïcs.

Es vol que aquestes dades siguin accessibles i per això s'ha optat per dotar la placa d'un component de comunicació Wi-Fi gràcies al qual es podrà visualitzar una pàgina web amb les dades mesurades.

La placa disposa d'una part d'alimentació que s'encarrega d'adaptar les tensions als nivells correctes dels diversos components. Uns circuits d'instrumentació atenuen la tensió d'entrada i fan les restes per obtenir la diferència de tensió entre els dos terminals de cada panell. Es multiplexen les senyals i es llegeix el seu valor digital.

5.1. Alimentació

La placa dissenyada s'alimenta amb un cable Micro-USB el qual es connecta a un equip de potència format per un rectificador i un convertidor DC-DC reductor, o sigui, de tipus Buck. Aquest equip, que molta gent identificaria com un carregador de telèfon mòbil, entrega 5 V a la seva sortida i un màxim de 2 A.

La placa electrònica dissenyada disposa d'un integrat SMD que converteix la tensió de 5 V a 3,3 V, anomenat SPX3819M5-L-3-3. Els operacionals van alimentats a 5 V. L'integrat de comunicacions i altres parts de la placa van alimentats amb 3,3 V.

Algunes característiques del regulador són les indicades a la Taula 12.

Característica	Valor
Tensió de sortida	3,3 V
Corrent màxim de sortida	500 mA
Tensió mínima d'entrada	2,5 V
Precisió de regulació de voltatge	1%
Tensió màxima d'entrada	16 V
Corrent de repòs	90 μ A
Empaquetat	SOT-23-5

Taula 12. Característiques del regulador de tensió SPX3819M5-L-3-3

Pel que fa a la intensitat, la placa consumeix al voltant de 100 mA en funcionament normal.

Pot arribar a consumir uns 200 mA en certs moments. El convertidor de tensió de 5 V a 3,3 V pot donar fins a 500 mA a la seva sortida, molt superior al màxim que pot necessitar la placa.

L'esquema de connexionat del regulador és el de la Figura 4.

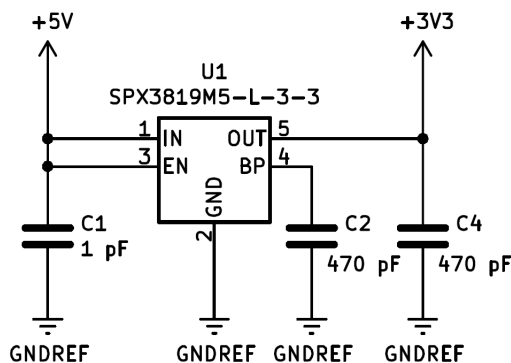


Figura 4. Regulador de tensió

El convertidor de tensió disposa de condensadors a l'entrada i a la sortida per tal de garantir una tensió el més constant possible. Si la sortida sol·licita un pic de corrent els condensadors el poden subministrar durant els instants en què el regulador encara no hagi reaccionat.

El fabricant recomana col·locar un condensador a la sortida. S'ha decidit col·locar-ne un a l'entrada per suavitzar el possible arrissat del convertidor que dona 5 V a la seva sortida.

Així, el dimensionament dels equips d'alimentació es considera correcte.

5.2. Instrumentació

La placa disposa d'una part d'instrumentació que s'encarrega d'adaptar les tensions dels panells solars fotovoltaïcs a les tensions amb què pot treballar el convertidor analògic digital. Interessa conèixer la diferència de tensió als terminals de cada placa. El circuit és l'indicat a la Figura 5.

El primer que es fa és reduir la tensió considerablement mitjançant un divisor de tensió connectat a un seguidor de voltatge. El seguidor de voltatge és important tenir-lo per aïllar aquesta primera etapa de la resta.

El divisor de tensió ha de ser tal faci que a l'entrada no inverteixi la tensió sigui menor o igual a 3,5 V, tal com s'exposa més endavant.

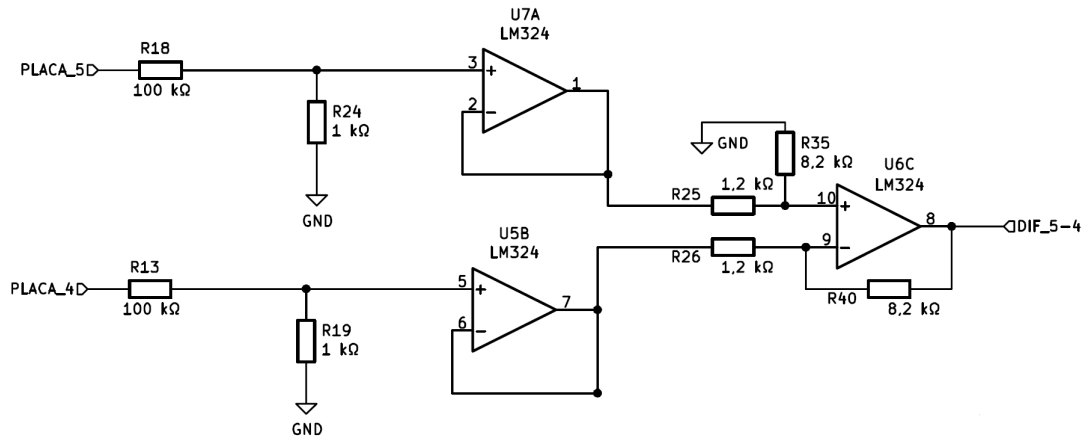


Figura 5. Circuit atenuador i restador

El guany de la primera etapa és el de l'Equació 4:

$$\Delta_1 = \frac{R_{24}}{R_{24} + R_{18}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Seguidament s'utilitza un restador que ahora amplifica la tensió resultant. El fabricant de les plaques ens dona un màxim de tensió de 46,2 V que tenim en compte per dimensionar el restador. El circuit està dissenyat per aprofitar tot el rang del convertidor analògic digital.

S'imposa que els parells següents de resistències siguin iguals, per simplificar els càlculs. La primera parella de resistències iguals són la de l'Equació 5:

$$R_{25} = R_{26} \quad (\text{Eq. 5})$$

I el mateix per l'altre parell, segons l'Equació 6:

$$R_{35} = R_{40} \quad (\text{Eq. 6})$$

Aleshores el guany de la segona etapa ve donat per l'Equació 7:

$$\Delta_2 = \frac{R_{35}}{R_{25}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Aquest guany és de 6,8. Amb tot això podem escriure la relació entre les dues entrades i la sortida del circuit mostrat. Ho indica l'Equació 8:

$$V_{5-4} = (V_5 - V_4) \Delta_1 \Delta_2 = 0,0677 \quad (\text{Eq. 8})$$

Els amplificadors operacions escollits són del model LM324. Són de baix cost i les seves prestacions són més que suficients per aquest cas en què es treballa amb senyals contínues. Algunes característiques s'indiquen a la Taula 13.

Característica	Valor
Guany unitari	100 dB
Rang de tensió d'alimentació single supply	3 V a 32 V
Tensió d'offset màxima	2 mV
Rang de tensió de sortida	0 V a $V_{cc}-1,5$ V
Corrent màxim de sortida en source	40 mA

Taula 13. Característiques de l'amplificador operacional LM324

El rang d'alimentació i el rang de tensió de sortida són dos paràmetres que s'han tingut molt en compte pel disseny. L'amplificador operacional LM324, tot i no ser Rail-to-Rail, l'alimentarem a 5 V i així tindrem sortides màximes de fins a 3,5 V, que és un nivell de tensió adequat per aquesta placa. El corrent de sortida i l'offset de tensió també són acceptables per l'aplicació.

5.3. Multiplexor

La placa que s'ha dissenyat disposa de l'integrat ESP-12E, que entre d'altres té una entrada analògica. Al tenir 10 senyals analògiques per llegir i una sola entrada analògica s'opta per utilitzar un multiplexor.

Aquest multiplexor té 16 entrades, un pin per habilitar-lo que es connecta a massa per així tenir-lo sempre habilitat, 4 pins per seleccionar quin canal llegir i una sola sortida.

Tot i que els multiplexors són molt usats en electrònica digital, el fabricant ens indica que també està pensat per fer servir amb senyals analògiques, gràcies a la baixa resistència entre una entrada habilitada i la sortida.

El multiplexor i la connexió de la sortida analògica al mòdul ESP-12E és la indicada a la Figura 6.

Cal dir que aquesta imatge és una simplificació del circuit mostrat a plànols. S'han eliminat algunes connexions per fer la figura més entenedora.

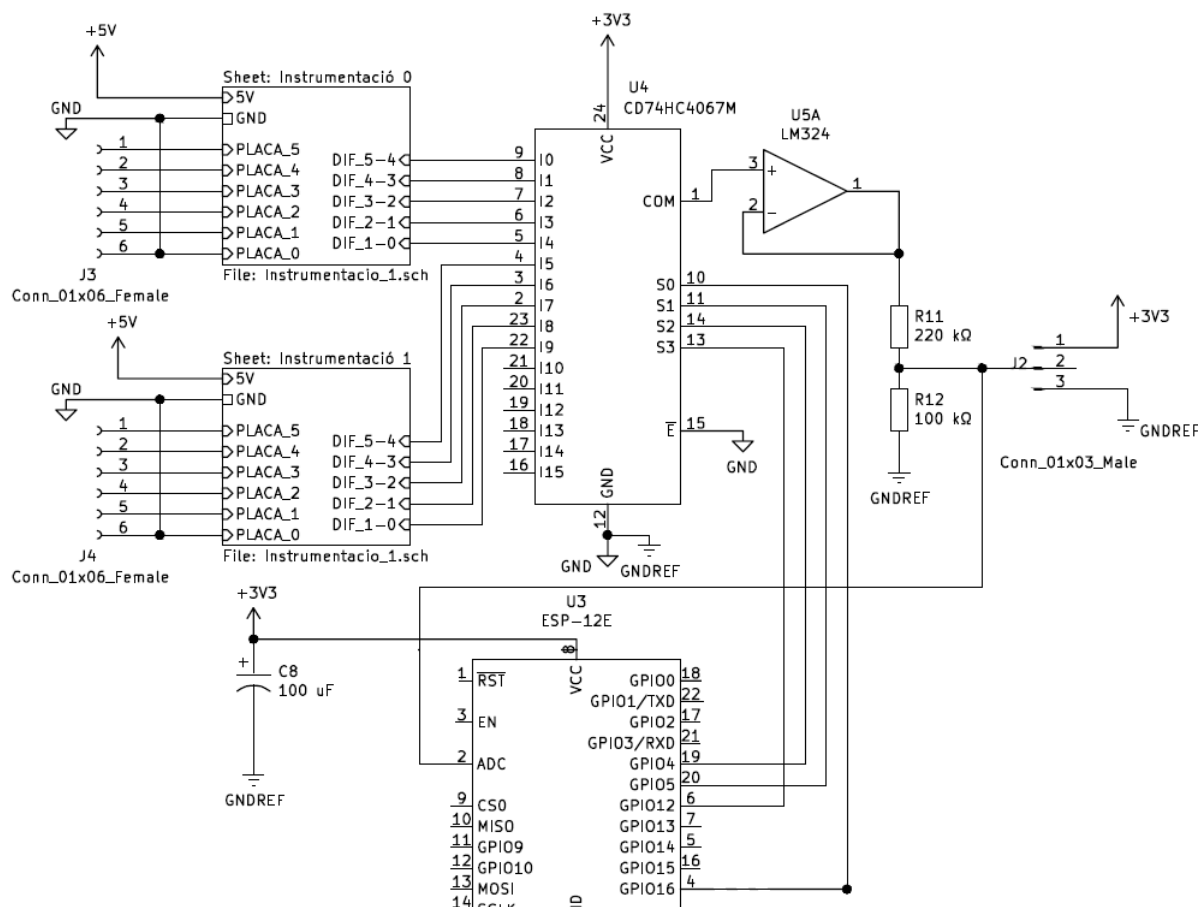


Figura 6. Multiplexor i entrada digital

Les sortides dels circuits d'instrumentació són les entrades del multiplexor. La lògica és positiva. S0 és el bit de menys pes i S3 el de més pes. S'habilita el multiplexor connectant-lo a massa.

Per la programació, no s'ha de confondre l'etiqueta del component ESP-12E amb el número de pin que es programarà. Això es pot visualitzar a la Taula 14.

GPIO	Número de pin a programar
GPIO 12	6
GPIO 4	2
GPIO 5	1
GPIO 16	0

Taula 14. Relació entre les sortides i el seu número de pin a programar

La taula de veritat és la de la Taula 15.

CGPIO12	GPIO4	GPIO5	GPIO16	E	Sortida
0	0	0	0	0	0_DIF_5-4
0	0	0	1	0	0_DIF_4-3
0	0	1	0	0	0_DIF_3-2
0	0	1	1	0	0_DIF_2-1
0	1	0	0	0	0_DIF_1-0
0	1	0	1	0	1_DIF_5-4
0	1	1	0	0	1_DIF_4-3
0	1	1	1	0	1_DIF_3-2
1	0	0	0	0	1_DIF_2-1
1	0	0	1	0	1_DIF_1-0

Taula 15. Taula de veritat

Algunes característiques del multiplexor són les de la Taula 16.

Característica	Valor
Resistència ON, $V_{CC}=4,5V$	70 Ω
Rang de tensió d'alimentació	-0,5 V a 7 V
Temps de transició màxim	1.000 ms
Corrent màxim de fuga a les entrades lògiques	1 μA
Nivell lògic alt, $V_{CC}=4,5V$	2 V
Nivell lògic baix, $V_{CC}=4,5V$	0,8 V

Taula 16. Característiques del multiplexor CD74HC4067M

Hi ha un seguidor per tal d'aïllar les etapes i un divisor de tensió encarregat d'adaptar la tensió al conversor analògic digital, que té un màxim d'1 V.

5.4. Comunicació

La placa electrònica dissenyada permet establir comunicació Wi-Fi de forma efectiva. L'integrat ESP-12E és un component molt popular que es basa en l'ESP8266. L'ESP-12E component disposa d'una petita memòria on es bolca el programa, d'uns quants pins digitals de propòsit general, d'una entrada analògica i d'una antena impresa en circuit imprès, a més de l'ESP8266.

El fabricant indica que es deixi una àrea lliure de coure sota l'antena per evitar interferències i problemes de comunicació.

Tot i tenir una simple antena impresa en circuit imprès el rang de comunicació Wi-Fi és generós i suficient per l'aplicació que es desitja.

Algunes característiques de l'ESP8266 venen donades a la Taula 17.

Característica	Valor
Certificació	Wi-Fi Alliance
Freqüència de treball	2,4 GHz
Potència de l'emissor	17 dBm
Llindar de potència del receptor	-75 dBm
Rang de tensió d'alimentació	2,5 V a 3,6 V
Corrent en funcionament normal	80 mA

Taula 17. Característiques de l'integrat de comunicació ESP-8266

D'aquí la importància d'alimentar-lo amb 3,3 V enlloc dels 5 V que ens arriben al connector. Per això es fa servir el regulador de tensió. El consum del dispositiu no és molt elevat però és considerable, no seria viable tenir la placa amb una bateria.

5.5. Circuit imprès

S'ha dissenyat un PCB a doble cara que conté la part d'alimentació, la part d'instrumentació i la part de comunicació. Disposa dels connectors necessaris.

Les pistes d'alimentació s'han fet més gruixudes que les de senyal digital. Les pistes de tensió de les plaques s'han fet una mica més gruixudes, tot i que la intensitat a través seu és petita. La separació d'una d'aquestes pistes amb la resta és generosa per evitar l'arc elèctric. A més, es preveu recobrir la placa amb una pel·lícula, cosa que disminuiria encara més el risc d'arc elèctric.

La majoria de components són SMD. Solen ser més barats i ocupen molt menys espai en comparació als components que travessen la placa. Així, les dimensions finals de la placa són de 8,4 x 10 cm aproximadament.

S'han seguit especificacions del fabricant pel disseny de la part de RF. Pel disseny de la part d'instrumentació s'ha tingut especial cura en utilitzar condensadors de desacoblament a les alimentacions dels integrats i situar-los prop d'aquests.

La vista superior de com quedaria la placa és la de la Figura 7:

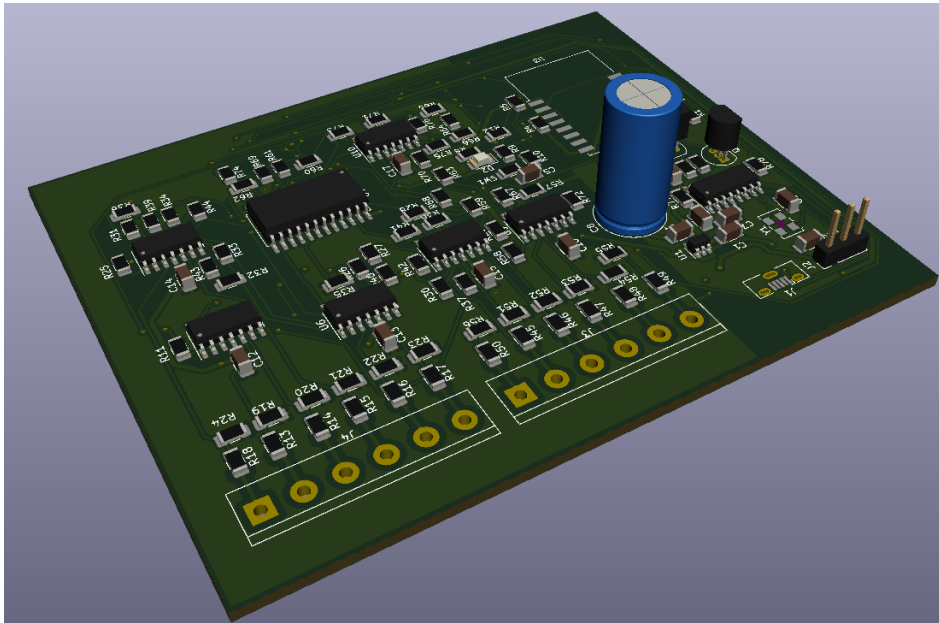


Figura 7. Vista 3D de la cara superior de la placa

Es pot observar com tots els amplificadors operacionals tenen un condensador molt proper; aquest condensador és el condensador de desacoblament. Els que he escollit son de 100 nF, un valor molt típic.

No es disposa del model 3D dels connectors de les senyals dels panells solars, del connector micro USB i del component ESP-12E.

Pel que fa a la cara inferior, aquesta es mostra a la Figura 8.

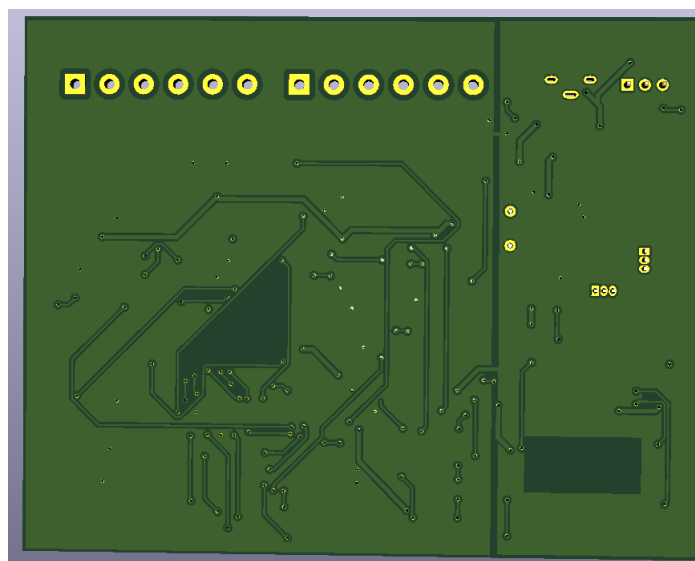


Figura 8. Vista de la cara inferior de la placa

Noteu que els plans de massa es connecten per un petit conductor. D'aquesta manera el pla de massa digital està connectat al pla de massa de la part analògica del circuit i alhora es minimitza el soroll transmès de la part digital a l'analògica.

6. PROGRAMA

S'ha desenvolupat un programa per adquirir correctament les senyals analògiques, calcular la tensions i mostrar-les en un parell de gràfiques en una web. Es porta un comptatge de temps per tal d'efectuar les lectures de tensió de forma periòdica. El programa mostra la web al client si aquest es connecta a l'adreça IP del dispositiu pel port 80, en aquest cas.

6.1. Organigrama

L'organigrama de la Figura 9 és una forma simplificada d'explicar la solució adoptada. A l'annex figura el codi complet.

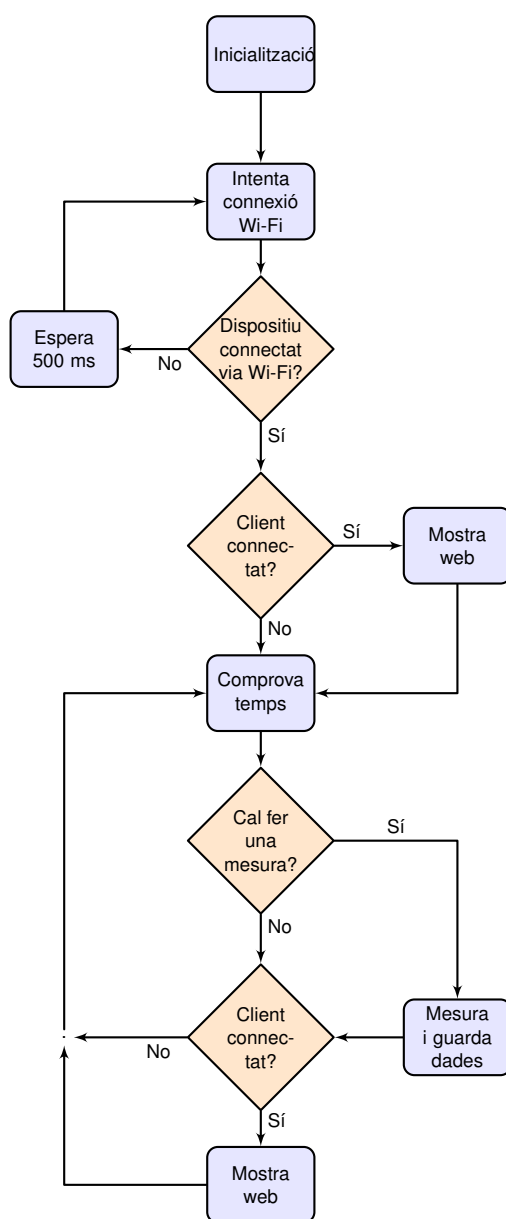


Figura 9. Organigrama del codi

6.2. Explicació

Quan s'inicia el programa el primer que es fa és inicialitzar variables i intentar connectar-se a la xarxa Wi-Fi de la qual s'ha definit el nom, o més ben dit, l'SSID; i la contrasenya. Si el dispositiu és incapaç de connectar-se a la xarxa Wi-Fi ho segueix intentant cada mig segon.

```
// Ens connectem al Wi-Fi amb l'adreça i la contrasenya definits
Serial.print("Connectant a: ");
Serial.println(ssid); // Mostrem l'adreça del Wi-Fi
WiFi.begin(ssid, password); // Iniciem la comunicació

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print("."); // Cada 0,5 s que passin sense connectar-se mostra un punt
}

// S'ha connectat
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connectat");
Serial.println("Adreça IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
server.begin();
```

Un cop connectat mira si té algun client connectat, i en cas de què sigui així li mostra la web.

Per defecte s'han emplenat els vectors de dades fictícies per tal de mostrar com es presenten les gràfiques que es fan amb JavaScript. A mesura que passin les hores aquestes dades s'aniran sobreescrivint per dades reals. La resta de la pàgina web està definida amb etiquetes HTML.

Per escriure les dades es recorren els vectors. Per una mateixa fila es miren totes les columnes, després es passa a la següent fila.

```
for (i=0; i<files; i++){
    client.println("[");
    client.println(String(i+1));
    client.println(",");
    client.println(String(vector[i][0]));
    for (j=1; j<columnes; j++){
        client.println(","); client.println(String(vector[i][j]));
    }
    client.println("]"); client.println(","); client.println("\n");
}
```

En tot moment es porta un comptatge de temps per tal d'efectuar mesures amb un període fix. El codi és fàcilment adaptable per fer mesures cada segon o fins i tot més ràpid. Es decideix fer una mesura cada hora, ja que es considera que veure a la gràfica 24 punts és suficient. Un cop ha passat prou temps i cal efectuar les mesures es crida la funció encarregada.

```

void comprova_temps(){
    if ((millis() - millis_anteriors) >= 60000){ // ha passat un minut
        minuts_actual=(millis() - millis_anteriors)/60000; // minuts_actual que sigui
        float i que guardi segons
        millis_anteriors = millis(); // memoritzem el moment en què això ha passat
        if (minuts_actual >= 60){ // si portem 60 minuts, diem que en portem 0 i
            incrementem l'hora
            minuts_actual = 0;
            hora_actual++;
            lectura_tensions(); // cridem la funció que llegeix les tensions
        }
        if (hora_actual >= 24){ // si l'hora és 24, la passem a 0
            hora_actual = 0;
        }
    }
}

```

Per llegir els valors analògics s'actua sobre el multiplexor, es realitza la mesura, es calcula la tensió i el programa s'espera uns 20 mili segons. El fabricant recomana esperar 1 mili segon com a mínim. Com que l'adquisició no s'ha de fer excessivament ràpida s'opta per donar un temps generós d'espera. Quan s'ha realitzat una mesura cal canviar els valors d'alguna de les sortides digitals per tal de llegir una altra senyal.

```

void lectura_tensions(){
    float tensio_superior = 0;
    float tensio_inferior = 0;
    float guany_bit_tensio = 0.0476288*3.3; // relació entre volts i bits llegits
    int memoria_ms = 0;
    int ms_delay = 20;

    digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, LOW);
    memoria_ms = millis();
    while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
    vector[hora_actual][0] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

    ...
}

```

6.3. Pàgina web

A continuació es poden observar algunes captures de la pàgina web creada. A cada figura es mostren dues gràfiques, cada una és d'una branca i mostra la tensió de les 5 plaques que té connectades.

Quan s'entra a la web el primer que es veu és el que detalla la Figura 10.

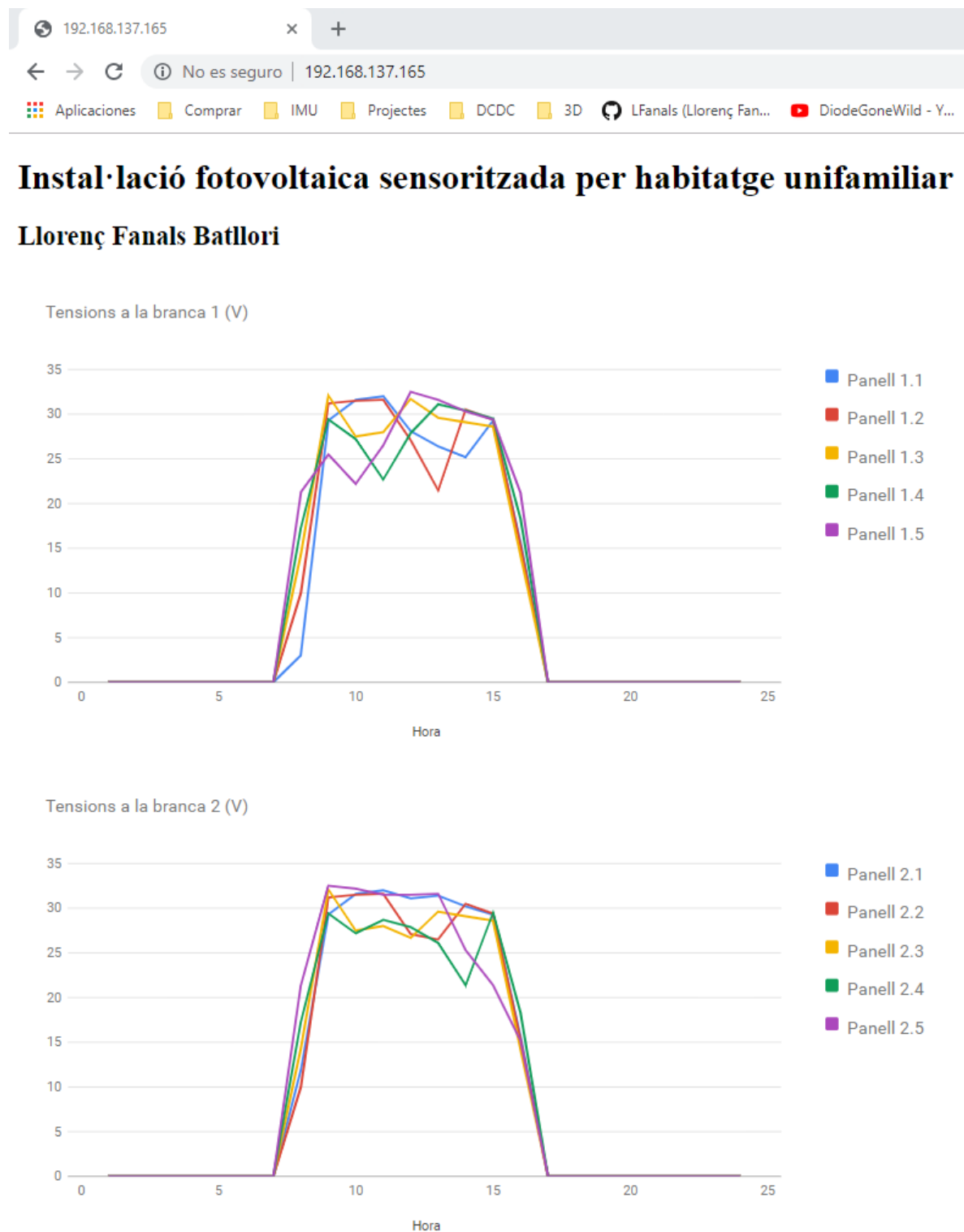


Figura 10. Captura de pantalla, part de la pàgina web

El fet d'utilitzar JavaScript permet inserir contingut dinàmic. Al passar el ratolí per sobre una línia es ressaltava la línia i els punts que la formen. A la Figura 11 s'aprecia.

Instal·lació fotovoltaica sensoritzada per habitatge unifamiliar

Llorenç Fanals Batllori

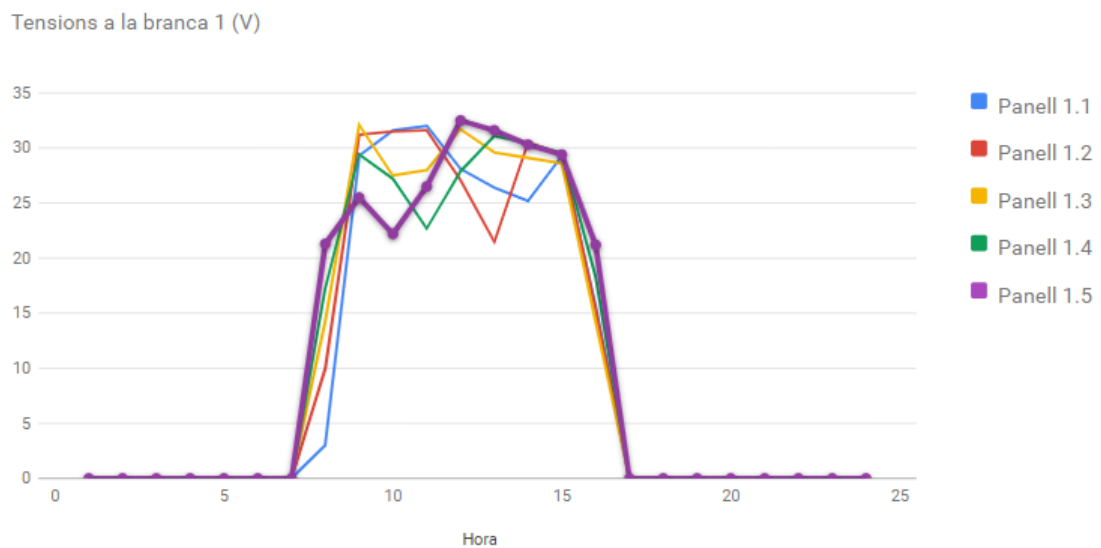


Figura 11. Gràfica d'un panell i punts ressaltats

A més, és possible visualitzar el valor de cada punt col·locant el ratolí sobre seu, es veu a la Figura 12.

Instal·lació fotovoltaica sensoritzada per habitatge unifamiliar

Llorenç Fanals Batllori

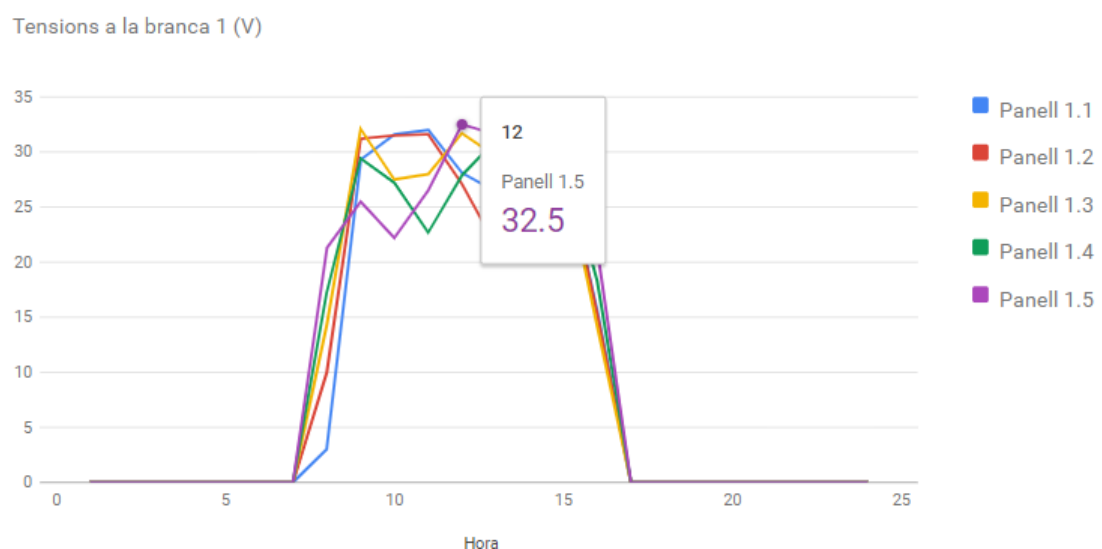


Figura 12. Gràfica d'un panell, lectura d'un dels seus punts

A la pàgina web també s'ha inserit un croquis de la disposició de les plaques. Amb la imatge i les gràfiques el client pot deduir fàcilment quins panells estan més ombrejats, en quines hores i, en cas de tensions massa baixes, quins poden estar malmesos i necessiten ser revisats. Es mostra a la Figura 13.

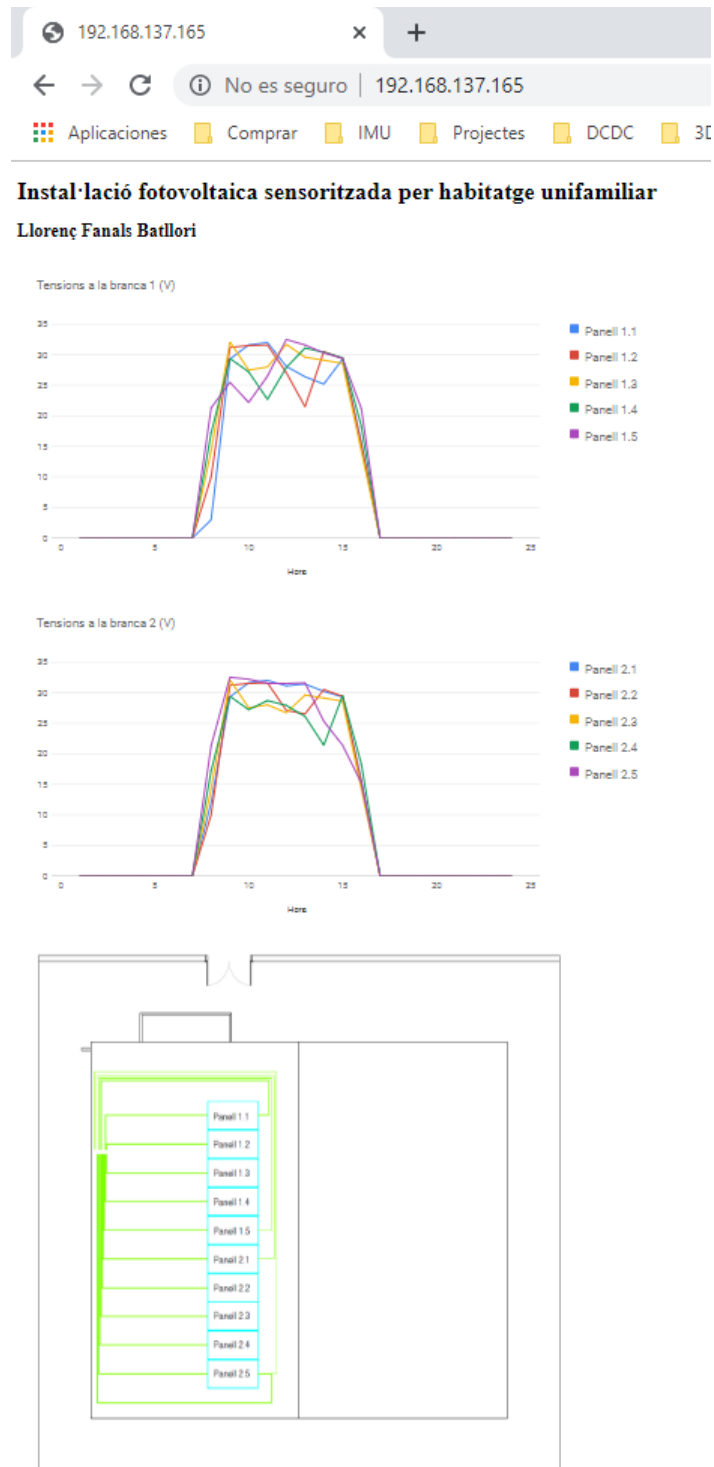


Figura 13. Pàgina web completa

7. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost és d'un total de sis mil seixanta-sis euros amb trenta-tres cèntims d'euro, sense IVA. Aquest cost inclou el pagament de tot el material i les hores de treball.

8. CONCLUSIÓ

El projecte descrit amb el present document, els Plànols, el Plec de condicions, l'Estat d'amidaments i el Pressupost compleix els objectius i l'abast marcats, que consisteixen en dissenyar una instal·lació fotovoltaica per una casa unifamiliar i dissenyar un equip electrònic encarregat d'adquirir dades de cada placa solar, les quals en pengen en una web.

Amb els document mencionats es detalla el dimensionament i l'execució de la instal·lació elèctrica fotovoltaica, així com el disseny i el funcionament de l'electrònica. Es considera que el projecte està llest per executar i fer la posada en funcionament.

Es preveu que la realització d'aquest projecte ha de permetre al client generar energia elèctrica de forma més sostenible amb el medi ambient. Amb l'adquisició de dades el client podrà determinar l'estat de les plaques, donant lloc a un possible abaratiment del manteniment.

Llorenç Fanals Batllori

Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Girona, 23 de novembre de 2019.

9. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El projecte està format per cinc documents, que són Memòria, Plànols, Plec de condicions, Estat d'amidaments i Pressupost.

10. BIBLIOGRAFIA

CASTEJÓN, A., SANTAMARÍA, G. Instalaciones solares fotovoltaicas. Editorial Editex. 2010.

KALOGIROU, S. McEvoy's Handbook of Photovoltaics. Academic Press. 2017.

GCL. GCL-P6/72-330 Specifications. (<https://www.solaris-shop.com/content/GCL-P6-72%20Specifications.pdf>, 29 d'octubre de 2019)

GOOGLE. Line Chart by Google Charts. (<https://developers.google.com/chart/interactive/docs/gallery/linechart?hl=es>, 20 de novembre de 2019)

RANDOM NERD TUTORIALS. Build an ESP8266 Web Server - Code and Schematics. (<https://randomnerdtutorials.com/esp8266-web-server/>, 27 d'octubre de 2019)

SOLARIS. GCL-P6/72-330 330W POLY SOLAR PANEL. (<https://www.solaris-shop.com/gcl-gcl-p6-72-330-330w-poly-solar-panel/>, 17 de novembre de 2019)

TEXAS INSTRUMENTS. High-Speed CMOS Logic, 16-Channel Analog Multiplexer/De-multiplexer. (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf>, 20 de novembre 2019)

VOWSTAR. NodeMCU Development Kit. (https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit-v1.0/blob/master/NODEMCU_DEVKIT_V1.0.PDF, 23 d'octubre de 2019)

11. GLOSSARI

AC: Corrent Altern

API: Application Programming Interface

DC: Corrent Continu

HTML: HyperText Markup Language

MPPT: Maximum Power Point Tracking

PV: Photovoltaic

QGPC: Quadre General de Protecció i Comandament

REBT: Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió

RF: Radiofreqüència

RTU: Remote Terminal Unit

SMD: Surface Mount Device

SSID: Service Set Identifier

USB: Universal Serial Bus

A. CÀLCULS

Per tal de calcular les seccions mínimes de les línies es té en compte la caiguda de tensió i la intensitat màxima admissible dels cables. El REBT indica a la ITC-BT-40 que els cables de connexió hauran d'estar dimensionats per una intensitat no inferior al 125% de la intensitat màxima del generador. A més, la caiguda de tensió màxima permesa entre el generador i el punt d'interconnexió amb la xarxa és de 1,5% respecte la tensió nominal.

Recordem que les línies de connexió entre els panells solars, amb l'inversor i a la placa electrònica tenen una senyal elèctrica de tipus continu. La línia que connecta la sortida de l'inversor amb la instal·lació interior és de senyal alterna, i considerem que amb un factor de potència unitari. El fabricant ens indica que el factor de potència de l'inversor escollit és sempre molt proper a la unitat.

Per calcular la intensitat de les línies monofàsiques es fa servir la següent fórmula:

$$I_{\text{linia}} = \frac{P}{V * \cos(\varphi)} \quad (\text{Eq. 9})$$

$V = 230 \text{ V}$.

P : potència que consumeixen els elements connectats a la línia (W).

φ : factor de potència.

En monofàsic:

$$e(\%) = \frac{P * l}{V * k * S} \quad (\text{Eq. 10})$$

l : longitud ja sigui de la fase o el neutre des del comptador a l'element més llunyà (m).

$k = 56 \text{ m/mm}^2 \Omega$.

S :secció del cable (mm^2).

En trifàsic, l'equació que s'utilitza és:

$$e(\%) = \frac{P * l}{V * k * S} \quad (\text{Eq. 11})$$

$$S = \frac{P * l}{V * k * e(\%)} \quad (\text{Eq. 12})$$

El dimensionament de les línies ha de permetre que les caigudes de tensió no superin els màxims indicats prèviament. Alhora, els cables han de poder admetre les intensitats calculades, per això ens guiem amb la taula de la ITC-19 del REBT. Finalment, cal comprovar que l'interruptor magnetotèrmic té una intensitat nominal superior a la calculada per la línia i menor a l'admissible que marca la ITC-19.

S'ha de tenir en compte el factor de correcció per radiació directa del Sol (F_{sol}), tal i com es comenta a la ITC-BT-06. S'escull un factor per radiació directa del Sol de 0,9.

També s'ha de tenir en compte el factor de correcció per agrupament de cables (F_{grup}) de 0,89 per parelles de cables i de 0,75 per l'agrupament de cables que va a la placa electrònica, tal com marca la ITC-BT-06 que tracta sobre instal·lacions aèries.

Finalment, el tercer factor és el factor de correcció per temperatura (F_{temp}), que s'escull de 0,9, que és el factor que s'ha d'agafar segons la ITC-BT-06 per temperatures de 50 °C.

Per totes les línies menys per la de connexionat la placa electrònica es té en compte un factor de 1,25, tal com marca la ITC-BT-19 per generadors. La caiguda de tensió no pot ser major de l'1,5% respecte la tensió nominal.

Es decideix instal·lar cables de recobriment de PVC sobre paret, muntatge C6.

Amb aquests factors coneguts es pot calcular la intensitat de càlcul de les diferents línies, a partir de la qual es determinen les seccions. Per les línies dels panells fotovoltaïcs s'escull la intensitat de curtcircuit d'aquests amb la irradiació de 1.000 W/m².

Línia	Descripció	Intensitat (A)	Factor generador	Factor radiació solar	Factor agrupament	Factor temperatura	Intensitat de càlcul (A)
L1	Connexionat entre els panells solars	9,3300	1,25	0,9	0,89	0,9	16,1777
L2	Connexionat de la branca 1 a l'inversor	9,3300	1,25	0,9	0,89	0,9	16,1777
L3	Connexionat de la branca 2 a l'inversor	9,3300	1,25	0,9	0,89	0,9	16,1777
L4	Connexionat de l'inversor al QGPC	14,3500	1,25	1,0	1,0	1,0	17,9375
L5	Línies de connexionat dels panells fotovoltaïcs a la placa electrònica	0,0023	1,00	0,9	0,75	0,9	0,0038

Taula 18. Intensitat de càlcul pel dimensionament de les línies

Amb aquesta intensitat de càlcul podem dimensionar les línies. Es calculen les seccions per tal d'evitar tenir un percentatge de caiguda de tensió entre els generadors i el punt de connexió a la xarxa superior de 1,5%, tal com marca la ITC-BT-40 de generadors.

Línia	Descripció	Potència (W)	$\cos(\varphi)$	Intensitat (A)	Distància màxima (m)	Seccions (mm ²)	Diàmetre tub (mm)	Caiguda de tensió (%)	Caiguda de tensió acum. (%)
L1	Connexionat entre els panells solars	1.650	1	16,17	10	2x4	20	0,42	0,42
L2	Connexionat de la branca 1 a l'inversor	1.650	1	16,17	30	2x10	20	0,50	0,92
L3	Connexionat de la branca 2 a l'inversor	1.650	1	16,17	19	2x6	25	0,53	0,95
L4	Connexionat de l'inversor al QGPC	3.300	1	17,94	6	2x4 + 4	25	0,38	1,33
L5	Línies de connexionat dels panells fotovoltaïcs a la placa electrònica	0,529	1	0,0038	21	2x1,5	32	0,000575	0,000575

Taula 19. Línies detallades

L'inversor sempre intenta donar els 230 V a la seva sortida, sempre que el valor de l'entrada superi els 80 V mínims que marca el fabricant. Per això, s'ha acumulat la tensió de la línia 1 amb la línia 2 i la 3, però no amb la 4. La ITC-BT-19 verifica que per intensitats admissibles les seccions són correctes.

B. PROGRAMA

```

/*****
Llorenç Fanals Batllori
Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica
20/11/2019
*****/

#include <ESP8266WiFi.h> // Es carrega la llibreria Wi-Fi

// Credencials de la xarxa Wi-Fi a què ens volem connectar
const char* ssid = "DESKTOP-E5M4HBA 4049";
const char* password = "E^1w1736";

// Port que volem utilitzar. El 80 és el port per defecte, així que teclejant la IP
// a un navegador en farem prou. Si fos un altre port la IP acabaria en
// "número_port".
WiFiServer server(80);

unsigned long TempsActual = millis(); // Current time
unsigned long TempsAnterior = 0; // Previous time
const long TempsConnectat = 20000; // Define timeout time in milliseconds (example:
// 2000ms = 2s)

#define files 24
#define columnnes 5

float vector[files][columnnes]; // vector de dades
float vector2[files][columnnes]; // vector de dades
int i = 0; // iterador per files
int j = 0; // iterador per columnnes

#define D0 16
#define D1 5
#define D2 4
#define D3 12 // 0

#define ENTRADA_ANALOGICA A0

unsigned int hores_posada_marxa = 10; // l'hora en què es fa la posada en marxa
unsigned int minuts_posada_marxa = 23; // a les 10:23 es fa la posada en marxa

unsigned int hora_actual;
unsigned int minuts_actual;
unsigned int millis_anteriors;

void inicialitza_vectors(){ // Emplena els vectors de dades fictícies. A còpia
// d'hores s'aniran reemplaçant per dades reals

vector[0][0]=0; vector[0][1]=0; vector[0][2]=0; vector[0][3]=0; vector[0][4]=0;
vector[1][0]=0; vector[1][1]=0; vector[1][2]=0; vector[1][3]=0; vector[1][4]=0;
vector[2][0]=0; vector[2][1]=0; vector[2][2]=0; vector[2][3]=0; vector[2][4]=0;
vector[3][0]=0; vector[3][1]=0; vector[3][2]=0; vector[3][3]=0; vector[3][4]=0;
vector[4][0]=0; vector[4][1]=0; vector[4][2]=0; vector[4][3]=0; vector[4][4]=0;
vector[5][0]=0; vector[5][1]=0; vector[5][2]=0; vector[5][3]=0; vector[5][4]=0;
vector[6][0]=0; vector[6][1]=0; vector[6][2]=0; vector[6][3]=0; vector[6][4]=0;
vector[7][0]=3; vector[7][1]=10; vector[7][2]=14.3; vector[7][3]=17.2;
vector[7][4]=21.3;
vector[8][0]=29.3; vector[8][1]=31.2; vector[8][2]=32.1; vector[8][3]=29.4;
vector[8][4]=25.5;
vector[9][0]=31.6; vector[9][1]=31.5; vector[9][2]=27.5; vector[9][3]=27.2;

```

```

    vector[9][4]=22.2;
vector[10][0]=32.0; vector[10][1]=31.6; vector[10][2]=28; vector[10][3]=22.7;
    vector[10][4]=26.5;
vector[11][0]=28.1; vector[11][1]=27.1; vector[11][2]=31.7; vector[11][3]=27.9;
    vector[11][4]=32.5; // central, pic
vector[12][0]=26.4; vector[12][1]=21.5; vector[12][2]=29.6; vector[12][3]=31.1;
    vector[12][4]=31.6;
vector[13][0]=25.2; vector[13][1]=30.5; vector[13][2]=29.1; vector[13][3]=30.4;
    vector[13][4]=30.3;
vector[14][0]=29.3; vector[14][1]=29.4; vector[14][2]=28.6; vector[14][3]=29.5;
    vector[14][4]=29.4;
vector[15][0]=15.6; vector[15][1]=15.3; vector[15][2]=14.2; vector[15][3]=18.3;
    vector[15][4]=21.2;
vector[16][0]=0; vector[16][1]=0; vector[16][2]=0; vector[16][3]=0;
    vector[16][4]=0;
vector[17][0]=0; vector[17][1]=0; vector[17][2]=0; vector[17][3]=0;
    vector[17][4]=0;
vector[18][0]=0; vector[18][1]=0; vector[18][2]=0; vector[18][3]=0;
    vector[18][4]=0;
vector[19][0]=0; vector[19][1]=0; vector[19][2]=0; vector[19][3]=0;
    vector[19][4]=0;
vector[20][0]=0; vector[20][1]=0; vector[20][2]=0; vector[20][3]=0;
    vector[20][4]=0;
vector[21][0]=0; vector[21][1]=0; vector[21][2]=0; vector[21][3]=0;
    vector[21][4]=0;
vector[22][0]=0; vector[22][1]=0; vector[22][2]=0; vector[22][3]=0;
    vector[22][4]=0;
vector[23][0]=0; vector[23][1]=0; vector[23][2]=0; vector[23][3]=0;
    vector[23][4]=0;

vector2[0][0]=0; vector2[0][1]=0; vector2[0][2]=0; vector2[0][3]=0;
    vector2[0][4]=0;
vector2[1][0]=0; vector2[1][1]=0; vector2[1][2]=0; vector2[1][3]=0;
    vector2[1][4]=0;
vector2[2][0]=0; vector2[2][1]=0; vector2[2][2]=0; vector2[2][3]=0;
    vector2[2][4]=0;
vector2[3][0]=0; vector2[3][1]=0; vector2[3][2]=0; vector2[3][3]=0;
    vector2[3][4]=0;
vector2[4][0]=0; vector2[4][1]=0; vector2[4][2]=0; vector2[4][3]=0;
    vector2[4][4]=0;
vector2[5][0]=0; vector2[5][1]=0; vector2[5][2]=0; vector2[5][3]=0;
    vector2[5][4]=0;
vector2[6][0]=0; vector2[6][1]=0; vector2[6][2]=0; vector2[6][3]=0;
    vector2[6][4]=0;
vector2[7][0]=12; vector2[7][1]=10; vector2[7][2]=14.3; vector2[7][3]=17.2;
    vector2[7][4]=21.3;
vector2[8][0]=29.3; vector2[8][1]=31.2; vector2[8][2]=32.1; vector2[8][3]=29.4;
    vector2[8][4]=32.5;
vector2[9][0]=31.6; vector2[9][1]=31.5; vector2[9][2]=27.5; vector2[9][3]=27.2;
    vector2[9][4]=32.2;
vector2[10][0]=32.0; vector2[10][1]=31.6; vector2[10][2]=28; vector2[10][3]=28.7;
    vector2[10][4]=31.5;
vector2[11][0]=31.1; vector2[11][1]=27.1; vector2[11][2]=26.7;
    vector2[11][3]=27.9; vector2[11][4]=31.5; // central, pic
vector2[12][0]=31.4; vector2[12][1]=26.5; vector2[12][2]=29.6;
    vector2[12][3]=26.1; vector2[12][4]=31.6;
vector2[13][0]=30.2; vector2[13][1]=30.5; vector2[13][2]=29.1;
    vector2[13][3]=21.4; vector2[13][4]=25.3;
vector2[14][0]=29.3; vector2[14][1]=29.4; vector2[14][2]=28.6;
    vector2[14][3]=29.5; vector2[14][4]=21.4;
vector2[15][0]=15.6; vector2[15][1]=15.3; vector2[15][2]=14.2;
    vector2[15][3]=18.3; vector2[15][4]=15.2;
vector2[16][0]=0; vector2[16][1]=0; vector2[16][2]=0; vector2[16][3]=0;

```

```

        vector2[16][4]=0;
vector2[17][0]=0; vector2[17][1]=0; vector2[17][2]=0; vector2[17][3]=0;
        vector2[17][4]=0;
vector2[18][0]=0; vector2[18][1]=0; vector2[18][2]=0; vector2[18][3]=0;
        vector2[18][4]=0;
vector2[19][0]=0; vector2[19][1]=0; vector2[19][2]=0; vector2[19][3]=0;
        vector2[19][4]=0;
vector2[20][0]=0; vector2[20][1]=0; vector2[20][2]=0; vector2[20][3]=0;
        vector2[20][4]=0;
vector2[21][0]=0; vector2[21][1]=0; vector2[21][2]=0; vector2[21][3]=0;
        vector2[21][4]=0;
vector2[22][0]=0; vector2[22][1]=0; vector2[22][2]=0; vector2[22][3]=0;
        vector2[22][4]=0;
vector2[23][0]=0; vector2[23][1]=0; vector2[23][2]=0; vector2[23][3]=0;
        vector2[23][4]=0;
}

void setup() {
    hora_actual = hores_posada_marxa;
    minuts_actual = minuts_posada_marxa;

    // Configurem els pins digital com a sortides per actuar sobre el multiplexor
    pinMode(D0, OUTPUT);
    pinMode(D1, OUTPUT);
    pinMode(D2, OUTPUT);
    pinMode(D3, OUTPUT);

    // Dades temporals dels vectors. Serveixen per mostrar com queden representades
    // les gràfiques. S'aniran barrant les dades més antigues.
    inicialitza_vectors();

    Serial.begin(115200); // Habilitem el port sèrie a 115200 de baud rate

    // Ens connectem al Wi-Fi amb l'adreça i la contrasenya definits
    Serial.print("Connectant a: ");
    Serial.println(ssid); // Mostrem l'adreça del Wi-Fi
    WiFi.begin(ssid, password); // Iniciem la comunicació

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print("."); // Cada 0,5 s que passin sense connectar-se mostra un punt
    }

    // S'ha connectat
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connectat");
    Serial.println("Adreça IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.begin();
}

void loop(){
    WiFiClient client = server.available(); // Escolta si hi ha clients

    if (client) { // Si es connecta un nou client,
        Serial.println("Nou client.");
        String liniaActual = ""; // una cadena memoritza la informació enviada pel
        client
        TempsActual = millis();
        TempsAnterior = TempsActual;
    }
}

```

```

while (client.connected() && TempsActual - TempsAnterior <= TempsConnectat) { //
    Si estem connectats i no han passat els milisegons que indica TempsConnectat,
    TempsActual = millis();
    if (client.available()) { // Si el client ens passa informació,
        char c = client.read(); // llegim un caràcter ascii (un byte)
        Serial.write(c); // i el mostrem per pantalla
        if (c == '\n') { // Si rebem un canvi de línia com a caràcter,
            // és el final de la petició HTTP
            if (LiniaActual.length() == 0) {
                // Ara responem donant un OK i indicant el content type, volem una pàgina
                html. Finalment una línia en blanc, és el protocol
                client.println("HTTP/1.1 200 OK");
                client.println("Content-type:text/html");
                client.println("Tancant connexió");
                client.println();

                // Al navegador volem veure una web normal i corrent que es programa amb
                // etiquetes HTML, alguna classe CSS i serveis JavaScript

                client.println("<!DOCTYPE html><html>");
                client.println("<head><meta name=\"viewport\"
                    content=\"width=device-width, initial-scale=1\">");
                client.println("<link rel=\"icon\" href=\"data:,\">");

                // Definim la gràfica de la primera branca
                client.println("<script type=\"text/javascript\"
                    src=\"https://www.gstatic.com/charts/loader.js\"></script>\n <script
                    type=\"text/javascript\">\n google.charts.load('current',
                    {'packages':['line']});\n
                    google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);\n\n function drawChart()
                    {\n\n var data = new google.visualization.DataTable();\n
                    data.addColumn('number', 'Hora');\n data.addColumn('number', 'Panell
                    1.1');\n data.addColumn('number', 'Panell 1.2');\n
                    data.addColumn('number', 'Panell 1.3');\n data.addColumn('number',
                    'Panell 1.4');\n data.addColumn('number', 'Panell 1.5');\n\n");
                client.println("data.addRow([\n");
                for (i=0; i<files; i++){
                    client.println("[");
                    client.println(String(i+1));
                    client.println(",");
                    client.println(String(vector[i][0]));
                    for (j=1; j<columnes; j++){
                        client.println(","); client.println(String(vector[i][j]));
                    }
                    client.println("]"); client.println(","); client.println("\n");
                }
                client.println("]);\n\n\n var options = {\n chart: {\n title: 'Tensions
                    a la branca 1 (V)',\n // subtitle: 'in millions of dollars (USD)'\n
                    },\n // width: 900,\n // height: 500\n };\n\n var chart = new
                    google.charts.Line(document.getElementById('linechart_material'
                    ));\n\n chart.draw(data, google.charts.Line.convertOptions(options));\n
                    }\n </script>\n");

                // Definim la gràfica de la segona branca
                client.println(" <script type=\"text/javascript\"
                    src=\"https://www.gstatic.com/charts/loader.js\"></script>\n <script
                    type=\"text/javascript\">\n google.charts.load('current',
                    {'packages':['line']});\n
                    google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);\n\n\n function
                    drawChart() {\n\n var data = new google.visualization.DataTable();\n
                    data.addColumn('number', 'Hora');\n data.addColumn('number', 'Panell
                    2.1');\n data.addColumn('number', 'Panell 2.2');\n
                    data.addColumn('number', 'Panell 2.3');\n data.addColumn('number',

```

```

        'Panell 2.4');\n data.addColumn('number', 'Panell 2.5');\n\n");
client.println("data.addRows([\n");
for (i=0; i<files; i++){
    client.println("[");
    client.println(String(i+1));
    client.println(",");
    client.println(String(vector2[i][0]));
    for (j=1; j<columnes; j++){
        client.println(","); client.println(String(vector2[i][j]));
    }
    client.println("]"); client.println(","); client.println("\n");
}
client.println(" ]); \n\n\n\n var options = {\n chart: {\n title:
    'Tensions a la branca 2 (V)',\n // is3D: true\n // subtitle: 'in
    millions of dollars (USD)'\n },\n // width: 700,\n // height: 400\n
    };\n\n var chart = new
    google.charts.Line(document.getElementById('linechart_material2'
));\n\n chart.draw(data, google.charts.Line.convertOptions(options));\n
    }\n </script>");

// Definim els títols de la pàgina, el que en HTML es coneix com a
    headings. Alguns caràcters en català no són ben representats, cal
    corregir-ho
client.println("<body><h1 align=\"left\">Instal·lació
    fotovoltaica sensoritzada per habitatge unifamiliar</h1>"); // &middot
    = , &ocirc = ó
client.println("<h2 align=\"left\">Llorenç Fanals Batllori</h2>");
    // &ccedil = ç

client.println("<div id=\"linechart_material\" style=\"width: 800px;
    height: 400px; padding: 25px\"></div> \n"); // Inserim les gràfiques
    del primer grup de plaques
client.println("<div id=\"linechart_material2\" style=\"width: 800px;
    height: 400px; padding: 25px\"></div> "); // Inserim les gràfiques del
    segon grup de plaques

client.println("<img
    src=\"https://drive.google.com/uc?export=view&id=15-EkLWMhYaR
    sv-dtbyrlKOrbD7dY71B2\" \n align=\"left\" style=\"width: 700px; height:
    700px; padding: 25px\" alt=\"Croquis de les plaques a la teulada\">");
    // Inserim imatge del nom de cada panell

client.println("</body></html>"); // Pàgina finalitzada

client.println(); // Línia en blanc per finalitzar la comunicació

break; // Sortim del while()
}

else { // si tens una nova línia, neteja LiniaActual
    LiniaActual = "";
}

}

else if (c != '\r') { // Si tens algun caràcter afegix-lo al final de
    LiniaActual
    LiniaActual += c;
}

}

}

```

```

    // Tanquem la connexió, esperant un nou client o que el client existent
    // refresqui la pàgina
    client.stop();
    Serial.println("Client desconnectat.");
    Serial.println("");
}

// Mirem si cal actualitzar els minuts i les hores i si cal fer una lectura de
// tensions
comprova_temps();

//
// Serial.println(analogRead(ENTRADA_ANALOGICA));
// Serial.println(millis());
}

// Encapcem amb funcions

void comprova_temps(){
    if ((millis() - millis_anteriors) >= 60000){ // ha passat un minut
        minuts_actual++;
        millis_anteriors = millis(); // memoritzem el moment en què això ha passat
        if (minuts_actual >= 60){ // si portem 60 minuts, diem que en portem 0 i
            incrementem l'hora
            minuts_actual = 0;
            hora_actual++;
            lectura_tensions(); // cridem la funció que llegeix les tensions
        }
        if (hora_actual >= 24){ // si l'hora és 24, la passem a 0
            hora_actual = 0;
        }
    }
}

void lectura_tensions(){
    float tensio_superior = 0;
    float tensio_inferior = 0;
    float guany_bit_tensio = 0.0476288*3.3; // relació entre volts i bits llegits
    int memoria_ms = 0;
    int ms_delay = 20;

    digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, LOW);
    memoria_ms = millis();
    while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
    vector[hora_actual][0] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

    digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, HIGH);
    memoria_ms = millis();
    while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
    vector[hora_actual][1] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

    digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, HIGH);
    digitalWrite(D0, LOW);
    memoria_ms = millis();
    while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
    vector[hora_actual][2] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;
}

```

```
digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, HIGH);
    digitalWrite(D0, HIGH);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector[hora_actual][3] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, HIGH); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, LOW);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector[hora_actual][4] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

// Ara la mateixa idea però pel vector 2

digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, HIGH); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, HIGH);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector2[hora_actual][0] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, HIGH); digitalWrite(D1, HIGH);
    digitalWrite(D0, LOW);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector2[hora_actual][1] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

digitalWrite(D3, LOW); digitalWrite(D2, HIGH); digitalWrite(D1, HIGH);
    digitalWrite(D0, HIGH);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector2[hora_actual][2] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

digitalWrite(D3, HIGH); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, LOW);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector2[hora_actual][3] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

digitalWrite(D3, HIGH); digitalWrite(D2, LOW); digitalWrite(D1, LOW);
    digitalWrite(D0, HIGH);
memoria_ms = millis();
while ((millis() - memoria_ms) < ms_delay){}
vector2[hora_actual][4] = analogRead(ENTRADA_ANALOGICA) * guany_bit_tensio;

}
```