

CONSTRUCCIÓ I CONTROL DEL MODEL D'UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA



Professor-Tutor: Salvador Cabré Pinyol

Alumne: Joan Fonts Gómez

Curs: 2n BATX A

Promoció: 2017-2019

ÍNDEX

1. Metodologia i objectius.....	3
2. Introducció a l'energia solar fotovoltaica.....	7
2.1. Energia solar fotovoltaica i panells solars.....	8
2.1.1. Cèl·lules fotovoltaiques.....	8
2.1.2. Tipus de cèl·lules fotovoltaiques.....	9
2.1.3. Fabricació de cèl·lules fotovoltaiques.....	10
2.2. Avantatges i inconvenients.....	11
2.3. Elements d'una instal·lació fotovoltaica.....	12
2.3.1. Els panells solars.....	12
2.3.2. Regulador de càrrega.....	13
2.3.3. Acumuladors elèctrics.....	13
2.3.4. L'inversor.....	14
2.3.5. Onduladors i comptadors.....	15
2.3.6. Els conductors i dispositius elèctrics.....	15
2.4. Tipus d'instal·lacions fotovoltaiques.....	16
3. Construcció i control del model d'una central fotovoltaica.....	17
3.1. <i>App Inventor</i>	18
3.1.1. L'aplicació.....	20
3.2. Arduino.....	21
3.2.1. La placa Arduino.....	22
3.2.1.1. Tipus de plaques Arduino.....	25
3.2.2. El <i>software</i> o programari.....	27
3.2.2.1. IDE de l'Arduino.....	28
3.2.2.2. Estructura d'un <i>sketch</i>	30
3.3. <i>SketchUp</i> i disseny en tres dimensions.....	31

3.4. Construcció de la maqueta de la central fotovoltaica.....	33
3.4.1. Materials.....	34
3.4.2. Construcció.....	36
4. Conclusions.....	42
5. Bibliografia.....	46
6. Annexes.....	48
6.1. Blocs de l'aplicació.....	48
6.2. Fotografies dels components d'una central fotovoltaica.....	50
6.3. Funcionament d'una <i>protoboard</i>	51
6.4. Fotografies disseny 3D.....	52
6.5. Codi de programació.....	55

1. METODOLOGIA I OBJECTIUS

Actualment no és prou conegut el funcionament dels panells solars i la gestió de l'energia elèctrica produïda per aquests. Amb la intenció d'ampliar el coneixement sobre aquest camp, i més en concret, sobre l'energia solar fotovoltaica, he decidit realitzar aquest treball. Un segon motiu de la recerca és buscar una possible manera d'aprofitar el 100% la llum solar, ja que això suposaria un increment considerable de l'energia produïda per cada panell solar.

Abans de realitzar el treball tant pràctic com teòric, m'he plantejat diversos objectius:

Primer, construir una maqueta que representi el funcionament d'una central solar fotovoltaica, econòmica i que es pugués utilitzar en qualsevol centre educatiu. A més a més, que la maqueta sigui prou intuïtiva per tal que els nens de primària i ESO, que no tenen un coneixement previ sobre electrònica, es puguin connectar amb un mòbil o tableta i que mitjançant una aplicació creada amb *App Inventor* puguin interactuar o "jugar" amb la maqueta.

Segon, facilitar que persones sense un coneixements tècnics avançats adquireixin un coneixement sobre l'energia solar mitjançant un model de central solar. Que aprenguin certes característiques importants dels panells solars: la importància de l'orientació del panell respecte el sol per obtenir una producció més elevada, la importància que tindran els panells solars en un futur proper, la influència de la il·luminació en el rendiment i en la producció d'energia, els avantatges i inconvenients que presenten i altres aspectes sobre aquesta font d'energia renovable.

Tercer, introduir el món de l'electrònica i, més en concret, el sistema de programació Arduino per controlar els paràmetres d'un sistema. Senyalar els avantatges i inconvenients que aquest presenta i, mitjançant la maqueta, ensenyar una de les possibles utilitats i aplicacions de l'Arduino.

Quart, mostrar les grans possibilitats que té el programa *SketchUp* en el disseny en tres dimensions. Això es farà mitjançant el disseny de certes peces, la impressió i la posterior incorporació d'aquestes a la maqueta.

I cinquè, presentar el món de la informàtica i programació per blocs a més de mostrar la facilitat i gran utilitat del programa *App Inventor* per a la creació d'aplicacions. A banda d'això, crear una aplicació funcional, que es connecti amb el model a escala i que sigui intuïtiva i visualment atractiva.

Després del plantejament d'objectius vaig seguir el procediment següent a l'hora de la realitzar el treball:

Vaig començar per cercar informació. La majoria d'aquesta informació la vaig extreure de llibres de la biblioteca de la Universitat Rovira i Virgili (URV), els quals estan a la bibliografia d'aquest treball. La informació també s'ha extret de pàgines web oficials ja que la informació sobre Arduino està més actualitzada que en els llibres.

Tot seguit, em vaig posar en contacte amb en Nicolau Cañellas Alberich, professor d'electrònica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la URV, per tal de que em coodirigís el treball juntament amb el meu tutor Salvador Cabré. També vaig contactar amb en Xavier Blanch Martínez, estudiant d'electrònica i membre de l'associació *URBots*, per tal que m'ajudés en qualsevol dubte relacionat amb el muntatge i programació de la maqueta. Aquesta associació té un laboratori on vaig imprimir les peces en tres dimensions.

Després també vaig contactar amb en Manel Faus Blanes, enginyer tècnic industrial i instal·lador de centrals solars fotovoltaïques per que m'expliqués, des d'un punt de vista més específic i professional, com podria ser el meu treball de recerca aplicat al món real i quines serien els possibles avantatges i inconvenients que aquest tindria.

Una altra tasca va ser la construcció de la maqueta i l'adquisició de l'Arduino i altres materials electrònics. Els materials utilitzats van ser de dos tipus, materials electrònics i materials estructurals per la maqueta.

Els materials electrònics utilitzats van ser els següents: a) un Arduino Mega 2560 o *Mega ADK*; b) una *Terminal Block Shield* per l'Arduino Mega; c) el dispositiu *bluetooth HC-06*; d) una font d'alimentació de tipus *YwRobot 545043*; e) cinc metres de cable de 0.5 mm de diàmetre; f) quatre leds de 5 mm de diàmetre, de color verd i amb un consum de 20mA cada un; g) quatre resistències de 220 Ohms; h) una font d'alimentació de 9V i 3A; i i) vuit servo motors *SG90* de 9 grams i amb un consum de 500mA cada un.

Per l'estructura bàsica vaig utilitzar fusta de pi i un metacrilat de plàstic. A més a més, també vaig utilitzar un altre tipus de plàstic, anomenat PLA, que va servir per la impressió en 3D de les peces dels panells solars. Les especificacions de les peces utilitzades, la funció de cada una i la construcció de la maqueta està explicada més detalladament al corpus del treball.

La principal dificultat que es va presentar durant la realització de la part pràctica va ser el codi de programació per fer funcionar els quatre panells fotovoltaics. Tot i que ja tenia una bona base de coneixement sobre el llenguatge de programació C++ (que és el que s'utilitza per programar l'Arduino), hi van haver certes línies del codi que em van costar d'entendre. També la creació de l'aplicació mitjançant *App Inventor* va presentar petits problemes relacionats amb la connexió amb l'Arduino mitjançant *Bluetooth*.

Una segona gran dificultat que es va presentar va ser l'alimentació de tota la maqueta. L'Arduino per ell mateix no era capaç d'alimentar als vuit servo motors i per això vaig optar per la incorporació d'una font d'alimentació externa comunicada amb el *GND* de l'Arduino. El *GND* també es conegut com a *Ground* o terra i equivaldria al port negatiu de qualsevol bateria o endoll.

Finalment, l'última dificultat que es va presentar va ser el disseny i la impressió de les peces en tres dimensions. Això va ser perquè les peces s'havien de construir amb precisió suficient per tal que encaixessin unes amb les altres. Tot i així, vaig haver de llimar algunes parts perquè llisquessin millor. A banda d'això, la construcció de les peces va presentar certes imprecisions mil·limètriques i provocava que els panells solars no anessin sincronitzats. Aquest problema, però, va ser solucionat a través del codi de programació.

Deixant de banda les dificultats en la realització de la part pràctica, passem a explicar l'estructura de la meua memòria la qual es divideix en dues parts principals:

Primer, una introducció en la qual explicaré tot el relacionat amb els panells fotovoltaics. Per exemple, la producció d'energia i el rendiment, els diferents tipus de cèl·lules fotovoltaïques, els avantatges i inconvenients, els elements d'una instal·lació fotovoltaica i els tipus d'instal·lacions que hi ha, etc.

I segon, un corpus dividit en quatre parts en les quals redactaré: a) una explicació sobre *App Inventor* juntament amb l'aplicació creada pel funcionament del model a escala de la central fotovoltaica; b) una altra explicació sobre Arduino, la seva utilitat en el model a escala i el llenguatge de programació C++; c) una breu síntesis sobre *SketchUp* i el

disseny en tres dimensions; i d) les especificacions de les peces utilitzades, la funció de cada una i la construcció de la maqueta.

Per últim, vull agrair al meu tutor, Salvador Cabré, per tota l'ajuda i suport durant la realització del treball; a en Nicolau Cañellas Alberich, per la col·laboració i recolzament en el procés; i a en Xavier Blanch Martínez, per tota l'ajuda relacionada amb programació i altres problemes que es van presentar durant la realització de la part pràctica.

2. INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La dependència humana en el transport, il·luminació, indústria, i altres necessitats com ara calefacció i refrigeració, ha provocat una gran dependència dels combustibles fòssils. Entre aquests es troben el carbó, petroli, gas natural i urani, els quals no solament són limitats, sinó que també contaminen l'atmosfera del planeta a causa de les emissions de diòxid de carboni (CO₂) i altres gasos.

Com a una possible alternativa als combustibles fòssils s'han desenvolupat les energies renovables. Aquestes, a diferència de les anteriors, no contaminen, són il·limitades i pràcticament inesgotables ja que es renoven de manera continua. El principal inconvenient és que la seva obtenció i aprofitament és costós i no està a l'abast de tothom. A més a més el rendiment d'algunes d'elles es relativament baix i, per aquest fet, la producció d'energia elèctrica disminueix.

Una font d'energia renovable és el Sol. Sense aquesta, l'obtenció de la resta d'energies renovables no seria possible. Tal i com indica Creus (2004: 7):

El sol es la fuente principal de las energías renovables, no sólo calienta (energía térmica y fotovoltaica) sino que también da origen a los vientos (energía eólica), evapora el agua que pasa a lluvia o nieve llenando los embalses (energía hidroeléctrica) y hace crecer las plantas (biomasa). El sol, conjuntamente con la Luna, da origen a las mareas (energía mareomotriz), con la ayuda del viento genera las olas (energía oleomotriz), al calentar la superficie del mar produce una diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo (energía térmica de los océanos) y es la causa de las corrientes marinas.

Una de les maneres més efectives d'aprofitar l'energia del Sol és mitjançant la utilització de captadors tèrmics o de cèl·lules fotovoltaïques que transformen la radiació solar en energia elèctrica o tèrmica.

En una primera part de la introducció explicaré el panells fotovoltaics, el seu funcionament, la producció d'energia i els diferents tipus de cèl·lules fotovoltaiques. En la segona part destacaré els avantatges i inconvenients que aquesta energia presenta. La tercera part estarà composta pels diferents elements necessaris en una instal·lació fotovoltaica. Finalment, en la quarta part explicaré els tres tipus d'instal·lacions fotovoltaiques que hi ha.

2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA I PANELLS SOLARS¹

L'energia solar fotovoltaica és una tipus d'energia renovable que transforma la radiació solar directament en energia elèctrica mitjançant cèl·lules solars o fotovoltaiques. El seu aprofitament i ús es redueix generalment a les indústries, a zones les quals el cablejat elèctric no hi pot accedir i a d'altres com, per exemple, parquímetres, semàfors, enllumenats, electrificats de balles dels ramats, etc.²

L'element principal per captar l'energia solar és el panell fotovoltaic. Aquest està constituït per varies cèl·lules fotovoltaiques.

2.1.1. CÈL·LULES FOTOVOLTAIQUES³

A les cèl·lules fotovoltaiques és on es produeix la conversió de l'energia lluminosa (fotons) en energia elèctrica (electrons en moviment)⁴. Per incrementar el voltatge de cada panell solar es connecten varies cèl·lules en sèrie i així s'obtenen voltatges de fins a 12-14 volts (una cèl·lula pot produir com a màxim 0,5 volts). Tot i així, el rendiment encara és força baix ja que ronda entre en 13 i el 25%.

Aquestes cèl·lules estan formades per un material semiconductor. Els tres més comuns són: a) el silici; b) el germani i c) l'arsenur de gal·li. Un material semiconductor és un material que es caracteritza per ser aïllant o conductor depenent de la temperatura a la qual es troba. A molt baixa temperatura són aïllants, d'altra banda, quan es troben a una temperatura més elevada (com per exemple, quan hi incideixen els raigs solars) es transformen en conductors permetent el pas del corrent elèctric.

Els fotons incidents a les cèl·lules fotovoltaiques energitzen els electrons de valència dels àtoms de silici. Si aquesta energia es prou forta com per vèncer la força d'atracció del nucli de l'àtom, els electrons aconseguixen "escapar-se". Un cop alliberats, es fan passar per un fil conductor (generalment de coure) i es genera corrent elèctric.

¹ Informació extreta de Creus (2004: 282-284).

² Això és degut a que el rendiment de les cèl·lules fotovoltaiques és relativament baix i per il·luminar ciutats i altres llocs d'alt consum elèctric són necessaris grans extensions de panells solars.

³ Informació extreta de Madrid (2009: 344-345) i de Boxwell (2012: 25).

⁴ Aquest fenomen també rep el nom d'efecte fotovoltaic o efecte fotoelèctric.

2.1.2. TIPUS DE CÈL·LULES FOTOVOLTAIQUES⁵

Les cèl·lules fotovoltaïques dels panells solars poden estar fabricats generalment amb cinc tipus diferents de silici: silici monocristal·lí, silici *Ribbon*, silici policristal·lí, silici amorf i micro-silici. Cadascun d'aquests presenta certes característiques pròpies els quals explico a continuació:

Silici monocristal·lí

És el silici de més alta qualitat i puresa. Actualment, la majoria de panells solars estan fets amb aquest tipus de silici. A més a més són bastant fàcils de reconèixer degut al seu color uniforme (blau fosc o casi negre) i les cantonades arrodonides de cada cèl·lula. L'únic inconvenient d'aquest tipus de cèl·lules és que són les més cares a causa al seu complex procés de fabricació: el silici passa per un procés de purificació, després es fon i es deixa cristal·litzar en lingots els quals es tallen molt finament per obtenir les cèl·lules fotovoltaïques⁶.

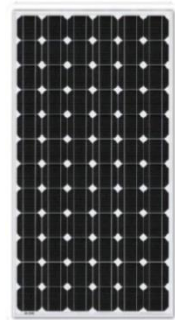


Fig. 1. Panell solar amb silici monocristal·lí⁷

Silici *Ribbon*

Aquest silici és molt similar al silici monocristal·lí i, a més a més, presenta gairebé el mateix funcionament, preu i característiques que aquest. L'única diferència està en el procés de fabricació: les cèl·lules no es formen tallant lingots de silici cristal·litzat sinó que es formen mitjançant l'estirament del silici quan es troba en estat líquid.

Silici policristal·lí

És més barat que els anteriors i, lògicament, el rendiment també és molt més baix. Tot i així cada cop és més utilitzat degut al seu preu reduït. Aquests panells solars van aparèixer molt més abans que els panells amb silici monocristal·lí. El seu origen es remonta al 1981 quan van aparèixer les primeres plaques solars al mercat. El principal avantatge que presenta és que el seu procés de fabricació és fàcil i poc costos però, com hem dit abans, la quantitat d'energia elèctrica que produeix disminueix.

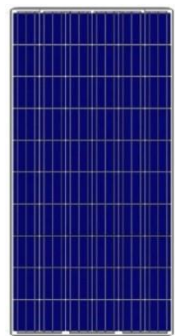


Fig. 2. Panell solar amb silici policristal·lí⁸

⁵ La informació d'aquest apartat s'ha extret de Madrid (2009: 347-348), de Boxwell (2012: 69) i de <https://ca.solar-energia.net> [Consulta: 26 juliol 2018].

⁶ Aquest procediment està explicat amb més detalls a l'apartat 2.1.3. (Fabricació de cèl·lules fotovoltaïques).

⁷ Imatge extreta de <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panell-fotovoltaic/tipus> [Consulta: 26 juliol 2018].

⁸ Imatge extreta de <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panell-fotovoltaic/tipus> [Consulta: 26 juliol 2018].

Silici amorf

És el silici més barat de tots i és el que té el rendiment més baix. El gran avantatge d'aquest tipus de silici és que té una gran capacitat per absorbir els fotons de la llum la qual cosa permet posar capes de silici molt primes (hi ha capes de fins a $1\mu\text{m}$). El principal inconvenient és que el Sol degrada la capa de silici (perquè és molt prima) i el rendiment disminueix a mesura que passen els anys. Per exemple, una cèl·lula fotovoltaica amb silici amorf nova pot arribar a tenir un rendiment del 12% mentre que al cap de certs anys no arribaria ni al 6%.



Fig. 3. Panell solar amb silici amorf ⁹

Micro-silici

És una mica més doble que el silici amorf. Aquest silici presenta dos grans avantatges: primer, es prim ($5\mu\text{m}$ de gruix) i per tant els costos de producció són més baixos que els panells solar amb silici cristal·lí; i segon, no es degrada per la llum amb tanta facilitat, és a dir, el Sol necessita molt més temps per desgastar el panell la qual cosa manté el rendiment del 12% durant més anys.

2.1.3. FABRICACIÓ DE CÈL·LULES FOTOVOLTAIQUES¹⁰

La fabricació de les cèl·lules està dividida en cinc fases ben diferenciades:

- **Extracció del silici:** actualment, el principal país extractor i productor de silici és Xina. L'any 2017 va produir 4,8 milions tones mètriques de silici (això equivaldria al 65% de la producció mundial de silici). Aquest material no s'obté directament de la mina sinó que es troba combinat amb quars.
- **Purificació:** el silici combinat amb quars s'introdueix en un forn elèctric. Allí es crea un camp elèctric molt elevat el qual serveix per separar el silici de l'oxigen donant lloc al procés de purificació.
- **Cristal·lització:** consisteix en fondre el silici purificat a 1400°C . Un cop fos, es deixa cristal·litzar en forma de lingots.
- **Fabricació de les cèl·lules:** els lingots cristal·litzats i solidificats es tallen en capes molt fines (generalment amb les mides $10 \times 10 \text{ cm}$ i de $0,5 \text{ mm}$ de gruix) per formar les diferents cèl·lules.
- **Creació del panell:** un cop tallades les cèl·lules, es connecten en sèrie fins a adquirir el voltatge desitjat per a la connexió a la xarxa.

⁹ Imatge extreta de <http://www.chinasolar-panel.com/es/en/Amorphous-photovoltaic-Solar-Panel-250.html> [Consulta: 27 juliol 2018].

¹⁰ Informació extreta de Creus (2004: 304-307) i de www.statista.com [Consulta: 27 juliol 2018].

2.2. AVANTATGES I INCONVENIENTS¹¹

En aquest apartat tractaré els avantatges i inconvenients dels dos tipus d'instal·lacions fotovoltaïques que tenim actualment. Es tracta de les instal·lacions fotovoltaïques fixes i les instal·lacions fotovoltaïques mòbils. Totes dues comparteixen certs avantatges:

- És una font d'energia pràcticament il·limitada ja que prové del Sol. A més a més, és renovable perquè es renova de manera continuada.
- No contamina a l'atmosfera i, a més a més, té una vida útil bastant elevada.
- Presenta una gran resistència a la humitat, vent i canvis bruscs de temperatura.
- És ampliable. S'obté una potència més elevada a mesura que s'incorporen més panells solars en la instal·lació.
- Funciona silenciosament. Els motors de la instal·lació mòbil es mouen molt lentament i el soroll que fan és gairebé mínim.

A part dels avantatges també presenten certs inconvenients:

- No pot cobrir demandes energètiques durant la nit, només de dia.
- El rendiment energètic encara és molt baix. És entre el 13 i el 25%.
- La seva obtenció és molt cara i requereix d'una inversió inicial força elevada. Tot i així el preu ha baixat en els darrers anys.

A més a més hi ha certs avantatges i inconvenients que no són compartits pels dos:

SISTEMA FOTOVOLTAIC FIX	
AVANTATGES	INCONVENIENTS
-No necessita energia extra per funcionar. -El manteniment que necessita és el mínim ja que pràcticament només cal netejar els panells solars.	-No aprofita tota l'energia del Sol. -Poc viable i útil en espai petits.
SISTEMA FOTOVOLTAIC MÒBIL	
AVANTATGES	INCONVENIENTS
-Molt útil en espai petits, com ara terrats de cases, teulades d'una indústria, etc. -Aprofita tota l'energia del Sol. -No necessita energia extra per funcionar ¹² .	-Necessita més manteniment. Els motors presenten avaries. -El preu és més elevat.

¹¹ La informació d'aquest apartat s'ha extret de Sanz (2009: 20-21) i Martín (2008: 61).

¹² En el sistema fotovoltaic mòbil, una part de l'energia extra generada per la perpendicularitat del panell al sol és utilitzada pels motors. La resta és enviada a la xarxa.

Cal destacar també que el sistema fotovoltaic mòbil presenta un avantatge molt gran: si un nombre determinat de panells solars no són utilitzats, les plaques poden orientar-se d'esquena al Sol i, d'aquesta manera, es reduiria l'escalfament i s'allargaria la vida útil de les cèl·lules ja que estarien menys temps exposats al contacte solar.

2.3. ELEMENTS D'UNA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA¹³

En una instal·lació fotovoltaica hi ha quatre elements fonamentals: els panells fotovoltaics, l'inversor, els conductors i els dispositius elèctrics. També hi ha altres elements que es troben només en determinades instal·lacions solars. Són el cas de les bateries o acumuladors i el regulador de càrrega (en instal·lacions solars autònomes) i els onduldors i comptadors (en instal·lacions solars connectades a la xarxa elèctrica). En els annexes hi haurà fotografies de cada element i a continuació explicaré cada un d'ells amb detall.

2.3.1. ELS PANELLS SOLARS

Són l'element principal de la instal·lació. Aquests generen energia elèctrica a partir de la radiació solar. Com més radiació solar reben, més electricitat produeixen. La producció d'energia elèctrica també varia en funció de la desviació del panell respecte la direcció perpendicular del Sol¹⁴. Aquest problema no es presenta quan es tracta d'una instal·lació fotovoltaica amb seguidors solars ja que aquests sempre mantenen la perpendicularitat als raigs del Sol incrementant la quantitat de radiació solar que reben¹⁵. Es tracta d'un increment del 55% en els mesos d'estiu i del 15-20% en els mesos d'hivern.

Tal i com hem explicat en apartats anteriors, un panell solar està format per varies cèl·lules fotovoltaiques connectades en sèrie per tal d'adquirir voltatges més elevats. A més a més, els panells solars també es poden connectar amb d'altres per tal d'adquirir les necessitats de voltatge o potència desitjats. Les connexions poden ser de dos tipus: connexions en paral·lel o connexions en sèrie.

Una connexió dels panells fotovoltaics en paral·lel permet obtenir un gran amperatge en el circuit mentre el voltatge es manté igual (generalment a 12V). D'altra banda, una connexió en sèrie permet obtenir un gran voltatge mentre l'amperatge es manté igual. Per exemple, si 4 panells solars (de 12 vols i 1 amper cada un) es connecten en sèrie, s'obtindria un voltatge de 48 volts i un amperatge de 1 amper. Però, si aquests es

¹³ Informació extreta de Creus (2004: 307-301), de Boxwell (2012: 25-30) i de Martín (2008: 80-116).

¹⁴ Si el panel solar està totalment perpendicular als raigs solars produirà al màxim. Si es desvia una mica d'aquesta perpendicularitat, la producció disminueix.

¹⁵ Els panells mantenen la perpendicularitat gràcies a l'acció de dos motors que els orienten en l'eix horitzontal i l'eix vertical.

connectessin en paral·lel, s'obtindria un amperatge de 4 ampers amb un voltatge de 12 volts. Tot i així, també es poden combinar totes dues i així aconseguir, per exemple, un voltatge de 24 volts i amperatge de 2 ampers.

Cada consumidor escull el tipus de connexió (o, tal i com he anomenat anteriorment, una combinació de les dues) per tal de satisfer les seves necessitats energètiques. En el cas de una instal·lació fotovoltaica que només aboqui electricitat a la xarxa, es recomana una instal·lació en paral·lel. Això és degut a que, si es transporta l'electricitat en línies d'alta tensió i, per tant, en alt voltatge, s'eviten pèrdues d'energia.

2.3.2. REGULADOR DE CÀRREGA

Tota instal·lació solar autònoma requereix d'un regulador de càrrega encarregat de controlar la quantitat d'energia elèctrica que entra i surt de les bateries en funció del seu estat de càrrega. Aquest aparell té dues funcions bàsiques: protegir les bateries de pujades i baixades de tensió i evitar sobrecàrregues o descàrregues ràpides. Una sobrecàrrega o descàrrega ràpides del sistema reduiria la vida útil de les bateries, tal i com assenyala Creus (2004: 308):

El regulador es necesario ya que la sobrecarga de las baterías provoca una producción de gases de hidrógeno y oxígeno por hidrólisis del agua o un sobrecalentamiento, que pueden ser peligrosos y que acortan notablemente la vida útil de las baterías. Por otro lado, una descarga excesiva afecta a la futura capacidad de carga de las baterías.

Els reguladors de càrrega moderns, a més a més de regular l'entrada i sortida d'energia elèctrica de les bateries, també proporcionen certa informació a un ordinador: la capacitat de les bateries, la temperatura a la qual es troben, la tensió que reben i subministren, el mode de càrrega, etc. A més a més, també disposen d'alarmes que avisen a l'usuari (generalment d'una càrrega baixa de les bateries) i també de sistemes automàtics que aturen la càrrega o descàrrega de les bateries quan estan a màxima capacitat o quan estan sota uns límits.

També hi ha instal·lacions solars que no necessiten regulador de càrrega. Aquestes, generalment disposen de panells solars petits, de poca potència i que no poden sobrecarregar la bateria un cop està a màxima capacitat.

2.3.3. ACUMULADORS ELÈCTRICS

S'encarreguen d'adaptar la producció d'energia elèctrica al consum, és a dir, emmagatzemen l'energia quan sobra (en hores vall) i la subministren quan és necessària (en hores punta). Els acumuladors estan formats per varies bateries connectades en sèrie

(de 2 volts cadascuna). Per tant, s'han de connectar un mínim de 6 bateries en sèrie per tal d'adquirir un voltatge adequat per la connexió a la instal·lació solar¹⁶.

La capacitat de les bateries es mesura en Ah (amper per hora). Una bateria de 100Ah de capacitat pot subministrar 100 ampers durant una hora o bé 1 amper durant 100 hores. També es pot donar el cas de que subministri 50 ampers durant dues hores. La capacitat d'emmagatzematge de les bateries es situa entre els 80Ah i els 5000Ah.

Hi ha diferents tipus de bateries: a) Les bateries de *plom-àcid*; b) les de *plom-calci*; c) les de *plom-antimoni*; i d) les de níquel-cadmi¹⁷. D'aquestes quatre, la que més s'utilitza és la de *plom-àcid*: degut a la seva gran adaptació al sistema, el seu preu reduït i la vida útil que presenta. A més a més, les bateries poden ser de dos grans tipus: bateries de càrrega superficial o de càrrega profunda.

- **Càrrega superficial:** la profunditat de descàrrega¹⁸ d'aquestes bateries oscil·la entre el 40% i el 60%. Són utilitzades sobretot en instal·lacions fotovoltaïques de petita escala.
- **Càrrega profunda:** la profunditat de descàrrega d'aquestes oscil·la entre el 60% i el 80%. Les bateries de càrrega profunda es fabriquen de manera individual i després es connecten amb sèrie amb d'altres.

2.3.4. L'INVERSOR

El corrent generat pels panells solars és continu (DC). L'inversor és l'aparell encarregat de transformar aquest corrent continu en corrent altern (AC)¹⁹. La principal diferència entre els dos és que el corrent continu treballa a 12, 24 o 48 volts mentre que el corrent altern treballa a 220 volts i a una freqüència de 50 Hz (Hertz). L'eficiència o rendiment²⁰ de l'inversor és generalment del 85% ja que un 15% es perd en la conversió de l'energia i en el cablejat elèctric.

En una instal·lació elèctrica sempre es dona la presència d'elements que no funcionen amb corrent altern sinó que ho fan amb continu. És el cas de les bombetes, carregadors de mòbils i tabletas, ventiladors, etc. Aquests consumeixen directament dels panells fotovoltaïcs sense haver de passar anteriorment per l'inversor.

¹⁶ És recomanat que l'estat de càrrega de les bateries es reguli setmanalment o en períodes de 5 dies. Una descàrrega molt ràpida o mantenir l'estat de càrrega de la bateria en nivells molt baixos suposaria una reducció de la vida útil de la bateria.

¹⁷ Les instal·lacions que utilitzen aquest tipus de bateria no necessiten regulador de càrrega.

¹⁸ La profunditat de descàrrega, segons Creus (2004: 309): "És el tant per cent de l'energia obtinguda de l'acumulador si es parteix d'aquest en estat de plena càrrega".

¹⁹ Les sigles DC i AC provenen de l'anglès i signifiquen *Direct Current* i *Alternating Current*.

²⁰ És la relació entre l'energia que l'inversor envia (útil) i la que rep (consumida). $\eta = \frac{P_u}{P_c}$

Hi ha instal·lacions fotovoltaïques que inclouen més d'un inversor. Principalment és degut a que la potència generada per un d'ells no es suficient per alimentar a tots els dispositius connectats en aquella estància²¹. És molt recomanable controlar la quantitat de potència que es necessita i, si és necessari, incloure un segon inversor en el sistema. Si això no es així, l'aparell començarà a presentar errades com, per exemple, pèrdues sobtades de corrent i baixades de tensió, falta de corrent a l'hora de connectar certs dispositius i mal funcionament d'aquests, presència sorolls constants i sobreescalfament de l'inversor i dels aparells que s'hi connecten, etc.

2.3.5. ONDULADORS I COMPTADORS

Els ondulators són els aparells encarregats de controlar el subministrament d'energia elèctrica depenent de la demanda de la estància, és a dir, s'ocupen d'enviar l'energia sobrant a la xarxa o de consumir-ne en el cas d'una demanda elevada. Aquests també disposen d'interruptors automàtics que, en cas d'averia, apaguen el sistema per així evitar consums innecessaris.

Entre els ondulators i la xarxa elèctrica hi ha un element fonamental: el comptador. La principal funció d'aquest és comptar la quantitat d'energia que s'envia i que s'extreu de la xarxa elèctrica. La unitat en la que expressa les dades és en kWh (kilowatt per hora). Quan és consumeix electricitat de la xarxa, el comptador suma els kWh i, quan se n'envia, el comptador resta els kWh.

2.3.6. ELS CONDUCTORS I DISPOSITIUS ELÈCTRICS

Per una banda, els conductors són l'element encarregat d'unir tot el sistema amb tots els elements explicats anteriorment. Generalment estan fabricats amb coure i presenten les següents seccions: 1.5 mm², 2.5 mm², 4 mm² i 6 mm². Com més ample sigui la secció del cable menys resistència oposarà al pas del corrent i, per tant, hi hauran menys pèrdues d'energia elèctrica. Això si, com més gran sigui la secció, més car serà el cablejat.

Per l'altre banda, els dispositius elèctrics són els consumidors de l'energia elèctrica. Aquest acostumen a ser electrodomèstics, bombetes per a la il·luminació i altres aparells elèctrics. És aconsellable que durant la nit no es connectin certs electrodomèstics com, el forn, rentaplats, rentadora o aire condicionat ja que aquests consumeixen molta energia i buidarien les bateries en un temps relativament curt.

²¹ En el cas d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica, s'instal·len diversos inversors per així extreure la màxima potència dels panells solars i abocar-la a les línies d'alta tensió. Les instal·lacions aïllades, normalment només inclouen un inversor.

2.4. TIPUS D'INSTAL·LACIONS FOTOVOLTAIQUES²²

Actualment hi ha tres tipus d'instal·lacions fotovoltaiques. Aquestes estan classificades segons els elements que inclouen i la seva estructura. Es tracta de: les instal·lacions autònomes, les instal·lacions híbrides i les instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica.

Instal·lacions autònomes: Aquestes es poden trobar sobretot en llocs com cases rurals, refugis, antenes de telecomunicació, llocs on el cablejat elèctric no hi pot accedir, etc. Aquests sistemes inclouen acumuladors elèctrics per disposar d'energia elèctrica durant la nit i en hores punta. Cal destacar que tota l'energia consumida ha estat generada i emmagatzemada prèviament pel propi sistema.

Instal·lacions híbrides: Són molt similars a les anteriors ja que disposen d'acumuladors elèctrics. L'única diferència és que aquestes instal·lacions disposen d'un generador elèctric extra ja que la demanda energètica és més elevada i el sistema fotovoltaic per si mateix no és capaç d'alimentar-ho tot. Aquesta font d'energia extra sol ser un aerogenerador (per així reduir totalment la contaminació a l'atmosfera) tot i que també pot ser un generador dièsel o d'altres.

Instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica: Aquestes instal·lacions es caracteritzen per localitzar-se a prop dels nuclis urbans ja que necessiten tindre accés a la xarxa elèctrica. L'energia que els panells fotovoltaics generen cobreix les demandes energètiques de l'estància i després és enviada a la xarxa. D'altra banda, quan els panells fotovoltaics no produeixen energia, s'extreu de la xarxa elèctrica. Tot aquest procés està regulat mitjançant els onduldors i els comptadors.

Després d'haver explicat els panells solars, els seus avantatges i inconvenients, els elements d'una instal·lació fotovoltaica i els tipus d'instal·lacions que hi ha, passem al corpus del treball, on explicaré, principalment, tot el relacionat amb la part pràctica.

²² La informació d'aquest apartat s'ha extret de Martín (2008: 129-175) i de Sanz (2009: 22-24).

3. CONSTRUCCIÓ I CONTROL DEL MODEL D'UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA

En aquest apartat del treball explicaré la part pràctica que, tal i com indica el títol, consisteix en la construcció d'un model a escala d'una central fotovoltaica. En aquest model a escala mostraré el funcionament de quatre seguidors solars que s'orientaran a la posició del Sol. Aquest procés es durà a terme de la següent manera:

Una aplicació de mòbil (creada amb el programa *App Inventor*) es connectarà mitjançant *bluetooth* a un dispositiu receptor del tipus *HC-06*²³. Un cop connectat, l'usuari té l'opció d'executar qualsevol ordre a través de l'aplicació. Posteriorment, les ordres seran enviades des del dispositiu *HC-06* a un microprocessador Arduino el qual llegirà les dades per tal de moure vuit servo motors²⁴. Els servo motors seran els encarregats d'orientar cada panell fotovoltaic a la posició correcta i, per tant, la desitjada per l'usuari. Cada peça de cada seguidor solar està dissenyada i impresa en tres dimensions. El programa utilitzat pel disseny rep el nom de *SketchUp*.

El corpus del treball l'he estructurat en quatre parts. La primera part estarà constituïda per una explicació sobre *App Inventor*, el seu funcionament, els avantatges i inconvenients que presenta, l'explicació de l'aplicació dels seguidors solars i altres detalls. La segona part serà la més extensa ja que hi desenvoluparé en detall tot el relacionat amb el microprocessador Arduino (funcionament i utilitat, estructura de les entrades i sortides d'informació, *software*, tipus d'Arduinos, etc.). En la tercera part destacaré algunes característiques i funcionalitats del programa *SketchUp* i el disseny en tres dimensions. Finalment, en la quarta part indicaré tots els components electrònics i altres materials

²³ Aquest dispositiu receptor llegeix les dades enviades des de l'aplicació i les transmet a l'Arduino mitjançant comunicació serial. Una comunicació serial és un tipus de comunicació establerta per cables i que permet la transmissió i recepció de dades entre dos dispositius. Per fer possible aquesta comunicació és necessària disposar de ports serials. L'Arduino en presenta dos (el USB i els pins 0 i 1) els quals estan explicats més detalladament a l'apartat 3.2.1 (La placa Arduino).

²⁴ Aquests motors només giren en un angle entre 0 i 180°.

utilitzats en la construcció del model a escala i explicaré tot el procés seguit en el muntatge d'aquest.

3.1. APP INVENTOR²⁵

Fins fa uns anys, la creació d'aplicacions i jocs per a mòbils i tabletas es feia mitjançant un programari o també anomenat *software*²⁶. Actualment, un *software* té una dificultat d'aprenentatge molt alta i per aquest motiu no tothom en té coneixements suficients com per poder crear una aplicació funcional.

Com a alternativa al *software* hi ha un altre tipus de programació més moderna: la programació per blocs. Aquesta presenta una interfície de programació²⁷ molt més intuïtiva i que tothom és apte per utilitzar. Només cal arrastrar el bloc desitjat a la interfície de programació i automàticament es genera el codi de programació. Els blocs s'uneixen un sota de l'altre per tal de realitzar funcions més complexes. A més a més, es poden combinar varies columnes de blocs per crear un programa més complet. A continuació hi ha dues fotografies mostrant els dos tipus de programació que hem anomenat: la programació per blocs i el *software*.

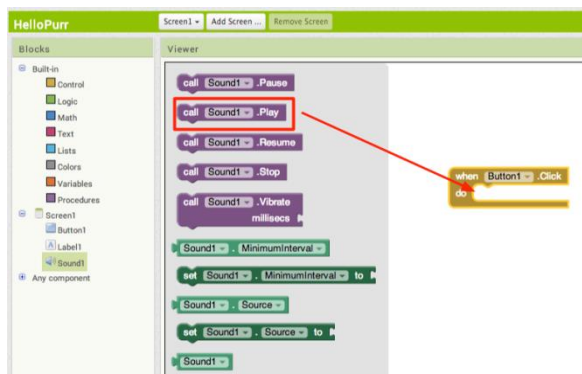


Fig. 4. Programació per blocs (*App Inventor*). A l'esquerra de la imatge hi ha el selector de blocs. L'usuari els arrossega des d'aquí fins a la pantalla de la dreta, és a dir, la interfície de programació²⁸.

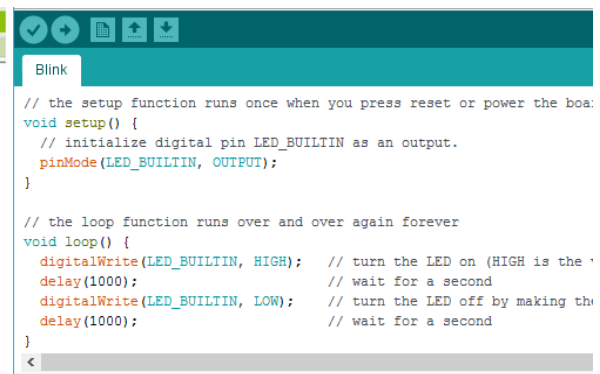


Fig. 5. Programació per codi (*Arduino*). El codi d'aquesta imatge està escrit amb el llenguatge de programació C++. Aquest codi no correspon a l'estructura de blocs de la imatge anterior²⁹.

Després d'una petita introducció al món dels *softwares* i programació, passem a explicar la part principal d'aquest apartat, és a dir, el programa *App Inventor*.

²⁵ La informació d'aquest apartat s'ha extret de <http://ai2.appinventor.mit.edu> [Consulta: 29 agost 2018].

²⁶ Un *software* principalment està compost per un seguit de línies, escrites en una interfície de programació i una sota de l'altre, les quals es combinen per realitzar tasques específiques.

²⁷ És el lloc en el que s'escríuen les línies del programari o on s'hi arrastren els blocs en el cas d'una programació per blocs.

²⁸ Imatge extreta de <http://ai2.appinventor.mit.edu> [Consulta: 29 agost 2018].

²⁹ Imatge extreta de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 29 agost 2018].

App Inventor o també anomenat *MIT App Inventor* és un programa d'interfície de programació intuïtiva mitjançant el qual es poden dissenyar tot tipus d'aplicacions per a mòbils i tablettes. La programació es realitza amb blocs, per tant, tothom és a l'abast de crear la seva pròpia aplicació ja que no requereix d'uns coneixements de *software* previs. A més a més, es pot crear una aplicació amb un temps relativament curt i posteriorment descarregar-la en format *apk* per així poder instal·lar-la en el dispositiu.

Tot i els grans avantatges que presenta, *App Inventor* té un gran inconvenient: només està disponible per a una part de la comunitat d'usuaris ja que només persones que tinguin dispositius Android podran instal·lar-se l'aplicació creada amb aquest programa. Les persones amb dispositius iOS podran crear-se l'aplicació però no podran instal·lar-se-la. Tot i així, l'equip de desenvolupament de *App Inventor* està fent-ho possible i en poc temps tota la comunitat d'usuaris ja podrà gaudir de les seves pròpies aplicacions.

A l'hora de dissenyar una aplicació, es poden distingir dues parts ben diferenciades dins del programa: la interfície de programació (ja anomenada i mostrada anteriorment) i la interfície de disseny de l'aplicació. A continuació hi ha una fotografia d'aquesta última:

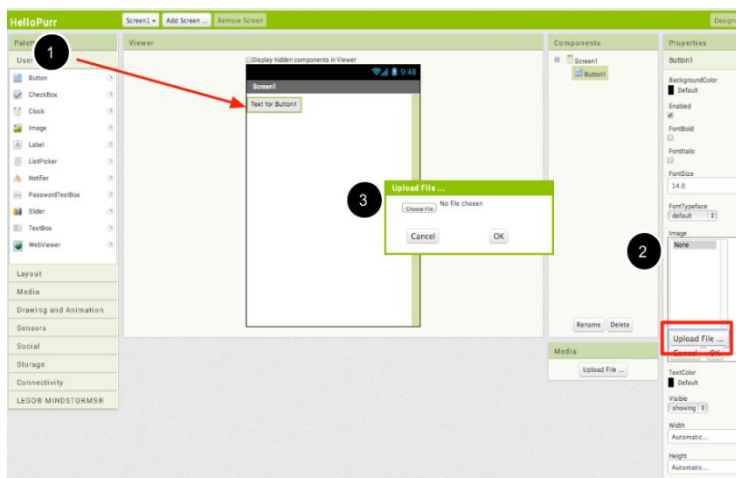


Fig. 6. Interfície de disseny. A l'esquerra (número 1) hi ha el selector d'objecte (pot ser un botó, una imatge, una casella, etc.). Al centre hi trobem la pantalla principal, és a dir, el lloc hi on dissenyes l'estètica de l'aplicació i on hi arrossegues els objectes (número 3). Finalment, a la dreta (número 2) hi ha la configuració general dels objectes (el seu color, el text, la mida, etc.)³⁰.

El nombre d'objectes, blocs o pantalles no està limitat a una única o únics sinó que dependrà de la memòria del dispositiu en el que vulguis instal·lar l'aplicació. Per aquesta raó, com més objectes, blocs o pantalles afegeixis més temps tardarà l'aplicació en carregar o en compilar en format *apk* i molta més capacitat necessitarà³¹. A més a més, cada pantalla del programa disposa de la capacitat de poder-se desplaçar amunt i avall amb el dit independentment del número que li afegeixis.

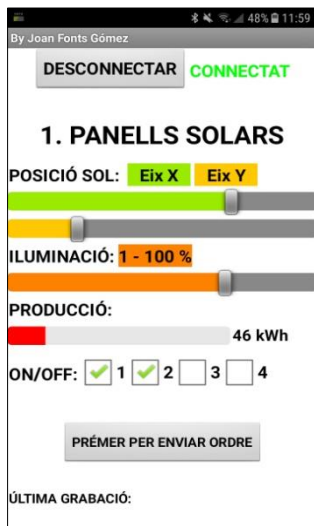
³⁰ Imatge extreta de <http://ai2.appinventor.mit.edu> [Consulta: 01 setembre 2018].

³¹ En la meua part pràctica he optat per no posar varies pantalles perquè provocava problemes amb la connexió del *bluetooth*.

Deixant de banda la part teòrica d'aquest programa, passem a la part pràctica, és a dir, la creació i l'explicació de l'aplicació que es connectarà a l'Arduino i enviarà les ordres de moviments que mouran els quatre panells fotovoltaics.

3.1.1. L'APLICACIÓ

La imatge que es troba a continuació (Fig. 7.) mostra l'aspecte visual de l'aplicació que, un cop connectada, permetrà a l'usuari interactuar amb la maqueta i moure els quatre



seguidors solars. Tot i que no es pot observar a simple vista, hi ha dues parts diferenciades i amb funcions diferents cadascuna. Es tracta de: a) l'apartat de les connexions; i b) l'apartat de l'execució d'ordres. Si l'aplicació no està connectada, l'apartat d'execució d'ordres no es mostrarà i, per tant, l'usuari no tindrà l'opció de fer res. Primer s'haurà de connectar i després ja podrà executar ordres³². La imatge situada més avall (Fig. 8.) mostra l'aspecte de l'aplicació abans de connectar-s'hi i, per aquesta raó, no s'hi mostra la secció d'execució d'ordres.

Fig. 7. Aspecte visual de l'aplicació³³.

A. Connexions

És la part més curta però la més important ja que sense aquesta no seria possible connectar-se amb el dispositiu HC-06. Està formada per un text informatiu (que serveix per informar a l'usuari si el dispositiu està connectat o si està desconnectat) i un botó (que serveix per escollir el dispositiu amb el qual et vols connectar o per finalitzar la connexió *bluetooth*).



Fig. 8. Aspecte visual de l'aplicació abans de la connexió³⁴.

B. Execució d'ordres

En aquesta secció s'hi poden distingir tres parts principals: en primer lloc hi ha els quatre eixos, l'eix X, l'eix Y, l'eix d'il·luminació i l'eix de producció; en segon lloc hi trobem els quatre quadres; i en tercer lloc hi ha el detector d'ordres de veu.

³² Això és un sistema de seguretat per tal d'evitar els errors 515 i 516. Aquest errors estan causats quan s'envien les ordres mitjançant *bluetooth* i no són rebudes per cap dispositiu i, per tant, bloquegen l'aplicació.

³³ Imatge de l'autor.

³⁴ Imatge de l'autor.

La funció dels quadres és tan simple com activar o desactivar els seguidors solars un per un. En el model a escala hi ha un led verd indicant si el panell solar està activat o si està desactivat. Per una altra banda, els eixos X i Y orientaran els seguidors solars activats en la posició horitzontal (eix X) i la vertical (eix Y) que l'eix respectiu marqui. A part d'aquests dos, també hi ha l'eix d'il·luminació (el qual serveix per canviar la quantitat de radiació solar que els panells solars reben o, d'una manera més entenedora, simula els "canvis meteorològics"). En funció de la posició dels tres eixos anteriors i de la quantitat de panells activats, l'eix de producció (el quart) incrementarà o disminuirà simulant un augment o disminució de la producció. A la dreta d'aquest eix s'hi mostrarà la quantitat de quilowatts per hora (kWh) produïts. Finalment, el detector d'ordres de veu, tal i com indica el nom, permetrà llegir dades de veu que l'usuari digui i les transformarà en ordres automàticament.

3.2. ARDUINO³⁵

Una gran part de persones arreu del món utilitzen dispositius electrònics, des de mòbils i tablettes fins a televisors, aparells de música i joguines teledirigides. Malgrat tot, moltes d'elles no en coneixen el seu funcionament ni tampoc s'han preguntat el que es troba més enllà de l'aparell o dispositiu electrònic. Tot i així, si mai has tingut la curiositat per crear la teva pròpia màquina o artefacte, la resposta està amb l'Arduino.

Arduino, fundat al 2005 per Massimo Banzi i David Cuartielles, és una plataforma electrònica i de sistema informàtic de codi lliure, la qual permet dissenyar, construir i programar el teu propi projecte electrònic. Arduino també es caracteritza per poder ser executat en totes les plataformes (Windows, Macintosh i Linux) i per poder se programat a través de cable USB (cosa que elimina la comunicació serial que molts ordinadors ja no inclouen). Així com també, l'usuari es pot crear la seva pròpia placa de manera molt barata (uns 5 euros) i sense haver de pagar drets als fundadors d'Arduino. Actualment, també avarca una gran comunitat d'usuaris els quals et poden ajudar en qualsevol moment a través de la pàgina oficial si se't presenta qualsevol tipus de problema.

Avui en dia, amb l'Arduino es poden crear pràcticament un nombre infinit de projectes i de tot tipus. A més a més, cada cop es dissenyen més components electrònics que són compatibles amb la placa i, fins i tot, es poden reutilitzar altres elements electrònics extrets d'aparells espatllats i utilitzar-los en el projecte. Cal destacar també que Arduino també és apte per treballar amb funcions més complexes com, per exemple, connexions *Wi-Fi*, connexions *bluetooth*, pantalles tàctils (*TFT*), sensors (d'humitat, temperatura,

³⁵ Informació extreta de Boxall (2013: 1-6) i de Banzi (2012: 15-18).

inclinació, ultrasons, etc.), motors, displays i molts d'altres³⁶. Quan anomenem Arduino, hi podem distingir dues parts principals les quals explicaré a continuació. Es tracta de la placa i el programari.

3.2.1. LA PLACA ARDUINO³⁷

De manera resumida podríem dir que la placa Arduino és un microordinador el qual permet interactuar amb entrades i sortides d'informació (sensors, motors, leds, etc.) mitjançant instruccions programades prèviament. Aquestes instruccions estan programades amb el llenguatge de programació C++. La placa Arduino (Fig. 9.) té certes parts importants (marcades amb colors diferents) les quals anomenaré i explicaré a continuació. Es tracta de: a) els ports USB i d'alimentació; b) el microprocessador; c) els pins d'entrada i sortida d'informació; d) els leds incorporats a la placa; i e) el botó de reiniciar.



Fig. 9. Arduino UNO amb les seves parts més importants³⁸.

A. Els ports USB i d'alimentació

El port que es troba més amunt i de color platejat és el port USB. Aquest és el port serial principal de l'Arduino i el que es connecta amb l'ordinador per dur a terme tres funcions principals: alimentar la placa, carregar les instruccions que l'Arduino posteriorment executarà i enviar o rebre dades des de l'ordinador (amb comunicació serial). El port de color negre i que es troba més avall és el port d'alimentació. La funció d'aquest és molt senzilla, alimentar la placa quan el cable USB no es troba connectat. L'alimentador (o també anomenat adaptador AC/DC³⁹) ha de alimentar la placa entre 7 i 12 volts i, a banda d'això, la clavilla del cable que s'hi connecta ha de ser de 5,5x2,5mm per tal d'adaptar-se correctament al port d'alimentació de l'Arduino. Un diferent voltatge o una mida diferent de clavilla no serien aptes per alimentar la placa. El gran avantatge que aquest port presenta és que pot subministrar suficient amperatge com per alimentar a tots els components del circuit mentre que el port USB només subministra l'amperatge del USB de l'ordinador (generalment 150 mAh). Per exemple, un projecte senzill el qual només incorpori uns leds i botons, no requereix de gran amperatge i, per tant, la placa es pot

³⁶ La base electrònica de moltes impressores en 3D estan construïdes amb Arduino.

³⁷ Informació extreta de Boxall (2013: 19-24), de Blum (2013: 3-12), de Banzi (2012: 21-33) i de www.arduino.cc [Consulta: 04 setembre 2018].

³⁸ Imatge de l'autor a partir de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 04 setembre 2018].

³⁹ Un adaptador AC/DC transforma el corrent altern (AC) a corrent continu (DC).

alimentar amb el port USB. Tanmateix, la meua part pràctica no es podria ja que inclou vuit servomotors⁴⁰ cadascun dels quals consumeix 500 mAh.

B. El microprocessador

En termes senzills, el microprocessador és l'element principal o "cervell" de l'Arduino que llegeix i executa les instruccions del programa. Es tracta d'un microprocessador *Atmel* del tipus *ATMega 328p* que també inclou una memòria *EEPROM*⁴¹ i amb una gran capacitat per realitzar càlculs i operacions complexes com ara, arrodoniments, truncaments, sinus i cosinus, etc. Tot i així, és recomanable no utilitzar operacions tan complexes ja que fas que el microprocessador treballi a més velocitat i l'escalfes més. Si una realització de càlculs difícils fos necessària, és recomanable incloure un processador a part només dedicat a fer càlculs i operacions i, d'aquesta manera, no es forçaria el de l'Arduino.

C. Pins d'entrada i sortida d'informació

Els pins de l'Arduino són els que el permeten la connexió amb sensors o d'altres elements per tal de comunicar-se amb l'entorn que l'envolta. Dit amb d'altres paraules, són les entrades (sensors, botons, receptors *bluetooth* o *Wi-Fi*...) i sortides d'informació (leds, motors, pantalles...). Els pins tant d'entrada com de sortida poden ser de dos tipus: pins analògics o pins digitals.

- **Pins digitals:** són els que només adopten dues posicions, és a dir, o encès o apagat, 0 o 1, *high* o *low*, etc. Són el cas de botons, sensors magnètics, *buzzers*⁴², i altres components electrònics que segueixen el mateix criteri.
- **Pins analògics:** a diferència dels anteriors, aquests no adopten dues posicions sinó que comprenen valors entre el 0 i el 1024. Un rang tan ampli de valors permet fer una escala de gradació i permet, per exemple, encendre un led però només a un quart d'intensitat (al valor 256). Uns exemples de components amb entrades analògiques serien els potenciòmetres, *joysticks*, sensors d'humitat i temperatura, sensor d'ultrasons, i d'altres sensors que serveixin per obtenir mesures compreses entre aquest interval de valors.

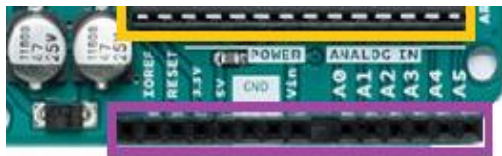
⁴⁰ Tot i que n'inclou vuit, només 4 funcionaran a la vegada i durant moments molt precisos. Encara així, amb el port USB segueix sense ser suficient per alimentar-ne a tants.

⁴¹ La memòria *EEPROM* és una memòria no volàtil i permanent (és a dir, que no s'esborra quan es desconnecta l'alimentació) que incorpora el microprocessador de l'Arduino. Aquesta memòria, però, només pot ser reescrita un determinat nombre de vegades i, en el cas de que s'esgotés la vida útil, s'hauria de comprar un nou microprocessador o incorporar una memòria *EEPROM* externa. Aquesta memòria és molt útil si es volen guardar certs valors de variables com, per exemple, la posició d'un objecte, la temperatura o humitat d'un lloc determinat, el resultat d'una operació, etc.

⁴² Un *buzzer* és un petit altaveu que pot emetre diferents intensitats de so. Tot i que pot emetre varies intensitats de so, el *buzzer* és una sortida digital ja que es considera que només té dues posicions, és a dir, o emet so o no n'emet.

La part marcada en lila de la imatge situada a continuació (Fig. 10.) mostra els pins d'alimentació i les entrades analògiques de l'Arduino. Situat a l'esquerra de tot hi ha el pin per reiniciar la placa amb impuls elèctric. Tot seguit hi trobem els pins que donen energia al projecte (3,3 i 5 volts) i, a la dreta d'aquests, els ports GND (on finalitzen totes les connexions). Per acabar hi ha el pin de *Vin* (que significa *voltage in*) i és utilitzat quan la placa es vol alimentar externament sense utilitzar el port d'alimentació.

Finalment, els pins situats a la dreta del tot són les entrades analògiques (A0, A1, A2, A3, A4 i A5). Així mateix, els pins A4 i A5 també poden ser utilitzats per la comunicació amb



altres dispositius com, per exemple, pantalles LCD⁴³, sensors d'ultrasons, *joysticks*, etc.

Fig. 10. Pins d'alimentació i d'entrades analògiques⁴⁴.

El color verd de la imatge situada més avall (Fig. 11.) assenyala els 14 pins digitals que té l'Arduino a més del pin GND situat a l'esquerra de tot. Tot i que són pins digitals, els números que al seu costat tenen un “~” poden ser utilitzats com a sortides analògiques (són el cas del 3, 5, 6, 9, 10 i 11). Per acabar, els pins 0 i 1 (RX i TX⁴⁵), situats a la dreta de tot, fan la funció de port serial i permeten la comunicació amb altres dispositius com,



per exemple, un dispositiu *bluetooth HC-06*.

Fig. 11. Pins d'entrada i sortida digitals⁴⁶.

D. Els leds incorporats a la placa

La placa Arduino incorpora tres leds els quals estan anomenats amb una lletra al costat (L, TX i RX) i que cadascun realitza funcions diverses. Per una banda, els leds TX i RX funcionen en conjunt i s'encendran quan alguna dada sigui enviada o rebuda pel port serial, és a dir, pels pins 0 o 1. Si és una dada rebuda, s'encendrà el RX; si n'és una que es transmet, s'encendrà el TX. Per una altra banda, el led L està connectat al pin número 13 i s'encendrà quan aquest s'encengui. El gran avantatge és que permet a l'usuari encendre un led sense haver de muntar cap circuit a banda.

⁴³ El terme *LCD* significa *Liquid Crystal Display* en anglès i s'utilitza per definir un tipus de pantalla. S'ha de tenir en compte que aquest tipus de pantalla funciona totalment diferent a una led ja que els caràcters es mostren quan l'electricitat es combina amb un líquid que inclou dins la pantalla.

⁴⁴ Imatge de l'autor a partir de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 04 setembre 2018].

⁴⁵ RX i TX són els pins de transmissió (TX) i recepció (RX) de dades mitjançant l'Arduino i un altre dispositiu serial. La transmissió de l'Arduino és connecta a la recepció de l'altre dispositiu i la recepció a la transmissió, és a dir, van creuats. Aquesta comunicació es podrà veure més detalladament a l'esquema electrònic del mòdul a escala a la pàgina 40.

⁴⁶ Imatge de l'autor a partir de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 04 setembre 2018].

E. El botó de reiniciar

Tot programa informàtic, encara que sigui perfecte, es col·lapsa i necessita ser reiniciat. Arduino inclou un botó (marcat en taronja en la Fig. 9.) per tal de solucionar els problemes i tornar a iniciar el programa de zero. Si enlloc d'utilitzar el botó es vol utilitzar una opció automàtica, es pot fer connectant el pin *reset* a qualsevol altre pin i enviant un impuls elèctric des d'aquest.

3.2.1.1. TIPUS DE PLAQUES ARDUINO⁴⁷

En l'apartat anterior s'han explicat les cinc parts principals i comunes en tots els tipus d'Arduino. Malgrat tot, hi ha certes característiques que canvien depenent del tipus o model de placa com, per exemple, la mida, la velocitat de processament, el nombre de pins analògics i digitals, etc. A continuació hi ha una taula amb les característiques dels 4 tipus d'Arduinos principals.

TIPUS D'ARDUINO	NANO	UNO	MEGA 2560	DUE
Mides (cm)	1,78 x 4,32	5,33 x 6,86	5,33 x 10,16	5,33 x 10,16
Memòria <i>Flash</i> ⁴⁸	32 Kb	32 Kb	256 Kb	512 Kb
<i>EEPROM</i>	1 Kb	1 Kb	4 Kb	---
Velocitat	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz
Pins digitals	14	14	54	54
Pins analògics	6	6	16	12
Processador	ATMega328	ATMEGA 328	ATmega2560	Atmel SAM3X8E

L'Arduino NANO, tot i tenir unes mides reduïdes i la mateixa velocitat de processament que un Arduino UNO, és el més incòmode d'utilitzar ja que necessita d'una *protoboard*⁴⁹ per tal de connectar-hi la resta de components electrònics.

L'Arduino UNO és el que surt més econòmic per dissenyar projectes a petita escala ja que, tot i ser més gran que l'anterior, la seva mida és assequible i pot ser incorporat en molt projectes electrònics. A diferència del NANO, no necessita d'una placa de proves

⁴⁷ La informació s'ha extret de www.prometec.net [Consulta: 08 setembre 2018].

⁴⁸ La memòria *Flash* és una altre memòria no volàtil que disposa l'Arduino. El codi de programació, un cop carregat, es guarda en aquesta memòria i d'aquesta manera no ha de ser carregat cada cop que la placa deix de ser alimentada o es reinicia. Com més memòria *Flash* més funcions, variables, o condicions podrà contenir el codi de programació i, per tant, més accions podrà realitzar.

⁴⁹ Una *protoboard* o placa de proves, és una placa amb pins els quals permeten connectar diversos components electrònics sense la necessitat de soldar cap element. Aquests pins estan connectats entre ells i, per tant, permeten la comunicació entre els dos cables que s'hi connecten. Als annexes hi haurà una explicació més detallada del funcionament de la *protoboard* i també hi inclouré imatges.

perquè s'hi connectin altres components electrònics. Tot i així, les dos presenten una velocitat de processament i una memòria *EEPROM* i *Flash* amb un rendiment elevat i bo.

L'Arduino MEGA també és molt recomanat si es vol realitzar projectes de magnituds més grans ja que disposa de més memòria *Flash* i de més pins digitals i analògics. En la meua part pràctica he utilitzat un Arduino MEGA. Tot i podent utilitzar un Arduino UNO, em vaig decantar per un de més gran i potent per així poder ampliar el treball en un futur si es desitgés (per exemple, a part de la central fotovoltaica, es podria afegir una central d'aerogeneradors, hidroelèctrica, etc.).

Finalment, l'Arduino DUE és molt semblant a l'anterior però amb més velocitat i memòria *Flash*. El nombre de pins és el mateix tot i que aquest no inclou memòria *EEPROM* i, per projectes complexos, una memòria d'aquestes és prou necessària.

ARDUINO NANO

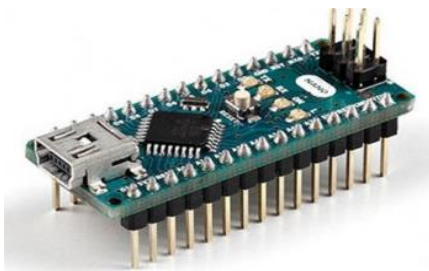


Fig. 12. Arduino NANO. Els cables no es poden connectar directament als pins. L'Arduino s'ha de connectar prèviament a una placa de proves⁵⁰.

ARDUINO UNO



Fig. 13. Arduino UNO. Els cables que s'hi connecten es poden connectar directament al pins de color negre sense necessitat d'una placa de proves⁵¹.

ARDUINO MEGA



Fig. 14. Arduino MEGA. Disposa de més pins digitals i analògics i més memòria *Flash* i *EEPROM*⁵².

ARDUINO DUE

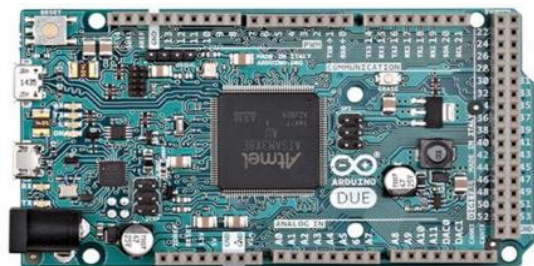


Fig. 15. Arduino DUE. No disposa de memòria *EEPROM* tot i que té més memòria *Flash*⁵³.

⁵⁰ Imatge extreta de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 09 setembre 2018].

⁵¹ Imatge extreta de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 09 setembre 2018].

⁵² Imatge extreta de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 09 setembre 2018].

⁵³ Imatge extreta de <https://www.arduino.cc> [Consulta: 09 setembre 2018].

A banda de la placa Arduino en si, també hi ha les *shields* o, dit d'una manera més senzilla, una expansió per a la placa. Una *shield* és una placa electrònica que es connecta a l'Arduino per tal de realitzar una funció específica. L'Arduino no és 100% complet ja que manca d'algunes funcions com, connexions *Wi-Fi*, *bluetooth* i *Ethernet*, realització en càlculs complexos, lectura d'una targeta SD, etc. Per tant, l'objectiu de les *shields* és ampliar les limitacions que presenta la placa Arduino per així permetre a l'usuari treballar amb processos més complexos en el seu projecte d'electrònica. A continuació hi ha tres fotos mostrant exemples de les *shields*:



Fig. 16. Arduino *shield* pel control de motors. Generalment s'utilitza en cotxes teledirigits⁵⁴.



Fig. 17. *Ethernet shield*. És utilitzada per connectar l'Arduino a Internet⁵⁵.



Fig. 18. Arduino UNO juntament amb la placa *Ethernet*⁵⁶.

3.2.2. EL SOFTWARE O PROGRAMARI⁵⁷

La gran majoria d'aparells electrònics complexos (rentadores, tabletas, televisors, drons...) a més del *hardware* (la part visible) també inclouen una part que no pot ser observada a simple vista però que sempre es troba present. Es tracta del *software* o programari.

Un *software* o programari és un codi format per un conjunt de funcions i instruccions que permeten a un microprocessador realitzar diverses tasques. Aquestes tasques poden ser, per exemple, obrir la porta de garatge en una casa domòtica, executar un programa en un ordinador, reproduir música en un aparell de música, etc.

El *software* pot ser escrit en diferents llenguatges de programació cadascun dels quals està format per caràcters i símbols diferents. Cada ordinador o processador només pot ser programat amb el seu llenguatge de programació ja que sinó no entén les instruccions

⁵⁴ Imatge extreta de <https://www.prometec.net> [Consulta: 10 setembre 2018].

⁵⁵ Imatge extreta de <https://www.prometec.net> [Consulta: 10 setembre 2018].

⁵⁶ Imatge extreta de <http://www.alselectro.com> [Consulta: 10 setembre 2018].

⁵⁷ La informació d'aquest apartat ha estat extreta de Boxall (2013: 25) i de Banzi (2012: 34-37).

i no pot executar les ordres. Per explicar-ho en termes senzills, l'ordinador es compararia amb una persona d'una nacionalitat específica (per exemple, anglesa) i el llenguatge de programació seria l'idioma (anglès). Per tant, de la mateixa manera que un anglès no pot entendre el català, un ordinador no pot entre un llenguatge de programació diferent.

En el món informàtic actual hi ha registrats més de trenta llenguatges de programació diferents. Entre els més coneguts hi trobem *Python* (utilitzat en *Raspberry Pi* i Google), *Java* i *Java Script* (utilitzats en l'execució de molts programes i jocs), *C* i *C++* (en dispositius electrònics incloent Arduino), etc.

3.2.2.1. IDE DE L'ARDUINO⁵⁸

L'Arduino, tal i com he anomenat anteriorment, és programat amb el llenguatge de programació C++ i es fa des de una interfície de programació anomenada Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). A continuació hi ha una imatge del IDE que inclou tres parts fonamentals: a) la secció dels comandaments; b) l'àrea de text; i c) l'àrea dels missatges⁵⁹.



Fig. 19. IDE de l'Arduino⁶⁰.

A. Secció dels comandaments

La secció dels comandaments (marcada amb el color taronja en la fig. 19.) està dividida en tres parts més petites: el títol, les pestanyes del menú i les icones.

⁵⁸ La informació d'aquest apartat s'ha extret de Boxall (2013: 25-27).

⁵⁹ Aquesta divisió del IDE en tres parts l'estableix Boxall (2013: 25-27) en un llibre sobre Arduino.

⁶⁰ Imatge de l'autor.

Títol (a dalt de tot): Inclou el nom del projecte i la versió del IDE.

Les pestanyes (sota del títol): pots clicar a sobre d'elles per desplegar més opcions. Les funcions que té cadascuna són les següents:

- **Arxiu:** Inclou les opcions de guardar, carregar, obrir un nou projecte, sortir del IDE i baixar exemples. Aquests exemples són molt útils ja que ofereixen una base del codi que s'haurà de programar en diverses ocasions.
- **Editar:** Conté les opcions de copiar, enganxar, tallar, afegir o eliminar un comentari, etc. És molt semblant a un document Word.
- **Sketch:** Et permet verificar el projecte i importar llibreries⁶¹.
- **Eines:** Inclou les opcions de configuració del port serial i de la targeta⁶².
- **Ajuda:** Aquesta pestanya senzillament et soluciona dubtes relacionats amb la interfície de programació.

Les icones (sota de les pestanyes): situades a sota de les pestanyes i, ordenades d'esquerra a dreta, realitzen les funcions següents:

- **Verificar:** Tai i com indica el nom, la seva funció és verificar el programari.
- **Carregar:** Carrega el programa a l'Arduino. Això si, el programa no es carregarà mentre hi hagin errors del codi.
- **Nou projecte:** Obre un nou projecte.
- **Obrir:** Obre un projecte ja existent.
- **Guardar:** Guarda el projecte.
- **Monitor Serial:** És el quadre petit localitzat a la dreta del tot i permet una visualització de les dades que s'estan transmeten i reben a través del port serial. També permet l'enviament directa d'ordres a l'Arduino.

B. Àrea de text

Secció en la que l'usuari escriu totes les instruccions que vol que l'Arduino porti a terme. Un cop escrites, s'adjuntaran per formar un *sketch*⁶³. Les instruccions han de ser escrites

⁶¹ Una llibreria és un programa o un conjunt de programes que permeten a l'usuari configurar certs paràmetres més fàcilment i de manera més simplificada, per tant, estalvien temps i redueixen la dificultat de la programació. Un exemple d'una llibreria seria la "<Servo.h>" que permet moure un servomotor a una posició determinada amb una sola línia de codi. D'altra manera, s'haurien d'escriure més de deu.

⁶² L'opció de la targeta permet escollir el tipus d'Arduino en el qual carregaràs el programa. Per exemple, si en el teu projecte utilitzes un Arduino MEGA, hauràs de canviar el tipus de targeta a "Arduino MEGA 2560" per tal d'un funcionament correcte del programari. En cas que l'usuari carregui el *software* però en una targeta incorrecte, l'Arduino automàticament deixarà d'executar ordres fins que es configuri correctament.

⁶³ Un *sketch* és un projecte amb totes les instruccions per a l'Arduino, és a dir, el programari.

de manera rigorosa i seguint certes estructures perquè el programa funcioni correctament. Aquestes estructures s'explicaran de manera més detallada en el següent apartat (3.2.2.2).

C. Àrea dels missatges

En aquesta part del IDE s'hi mostren tots els errors del programa i de l'estructuració. Per exemple, si l'estructura per encendre un led és *digitalWrite(13, HIGH)*; però et deixes d'apuntar el “;” o la “w” l'escrius en minúscula, automàticament rebràs una notificació en aquesta secció reportant l'error. A banda d'això, sota d'aquesta part del IDE també hi apareix el tipus d'Arduino escollit i el port serial al qual està connectat. En aquest cas, és un Arduino MEGA al COM4.

3.2.2.2. ESTRUCTURA D'UN SKETCH⁶⁴

Un *sketch* d'Arduino està format per tres parts principals una de les quals no és obligatòria posar-la. Aquestes tres parts són: el *setup*, el *loop* i la definició de variables i/o llibreries (aquesta és la part no obligatòria).

La definició de les llibreries i/o variables no és obligatòria per crear projectes de baix nivell com, per exemple, encendre i apagar uns leds. Tot i així, és torna imprescindible quan el programari augmenta de dificultat. Les variables són molt útils per emmagatzemar certs valors i fer operacions amb ells i, a més a més, simplifiquen certs procediments⁶⁵. Hi ha diferents tipus de variables cadascuna de les quals disposa de certes característiques: *char* (utilitzada en l'emmagatzematge de caràcters), *byte* (emmagatzema un número indefinit entre el 0 i el 255), *int* (semblant a l'anterior per els valors canvien ja que ronden entre el -32.768 i el 32.767), *float* (permet guardar nombres decimals), *long* (emmagatzema valors entre el -2.147.483.648 i el 2.147.483.647) i *String* (permet guardar un valor sencer però separat caràcter a caràcter).

Les dues parts obligatòries estan construïdes amb la següent estructura: *void setup () { }* o *void loop () { }*. Les claus serveixen per definir quan comença i quan acaba cada estructura del programa i, a banda de les dues principals, totes les altres estructures

⁶⁴ Informació extreta de Boxall (2013: 27-31), de Blum (2013: 16-18) i de www.arduino.com [Consulta: 13 setembre 2018].

⁶⁵ Per exemple, si crees una variable amb el nom de “led_vermell” i l'assignes al port 13 de l'Arduino, automàticament cada vegada que incloguis el text en el programa, la placa reconeixerà el text en el port número 13. El gran avantatge és que si l'usuari decideix canviar de port el led i l'assigna al 12, només cal modificar el valor (de 13 a 12) de la variable i immediatament el text s'assignarà al port 12. Explicat en termes senzills, permet modificar el valor de certs objectes mitjançant el canvi d'una sola línia del codi i, per tant, estalvia molt de temps i feina.

també s'estructuren de la mateixa manera (condicionals, bucles, etc.). A més a més, cada línia del programa finalitza quan s'introdueix un punt i coma⁶⁶.

VOID SETUP: aquesta part va la primera i és executada una sola vegada quan la placa es engegada o reiniciada. En aquí s'hi configura cada component electrònic del projecte i el defineixes com a entrada (*INPUT*) o sortida (*OUTPUT*). A més a més, també s'hi poden afegir ordres d'execució per a l'Arduino però s'ha de tindre present que només es realitzaran una sola vegada.

VOID LOOP: és la secció més extensa i és executada després del *setup*. L'única diferència amb l'anterior és que aquest es repeteix de manera cíclica fins que l'Arduino deix de ser alimentat. Conté tots els condicionals i altres funcions que decideix el programador per tal de realitzar les tasques desitjades.

A més a més, el IDE també disposa de l'opció d'introduir un comentari o inclús un bloc de comentaris. Aquests s'escriuen amb l'objectiu d'explicar una funció al programador (sobretot a iniciadors al món dels *softwares*) o també per nombrar certes seccions del programari per així simplificar el temps a l'hora de buscar. Els comentaris d'una sola línia s'inicien amb dues barres "//" i tot el text del darrere es marcarà en gris indicant que es un comentari⁶⁷. Per contra, els comentaris de varies línies (o un bloc de comentaris) funcionen semblant a una estructura però, enlloc d'escriure les dues claus per definir la secció, s'utilitzen el següents símbols: per introduir el bloc de comentaris s'introdueix un /* i per tancar-lo un */.

3.3. SKETCHUP I DISSENY EN TRES DIMENSIONS⁶⁸

Fa uns anys enrere el disseny en tres dimensions semblava cosa d'un somni. Actualment, però, s'han desenvolupat certes tècniques que, ho fan possible i, a més a més, a un preu força assequible⁶⁹. A més a més, tindrà una influència considerable en el món d'un futur proper ja que permetrà a l'usuari dissenyar i imprimir les seves pròpies peces en tres dimensions sense la necessitat d'haver d'anar a una botiga a comprar-les. Tal i com indica Biehler (2014: 14):

⁶⁶ L'Arduino, cada vegada que llegeix un punt i coma, salta automàticament a la següent línia. Així com també cada vegada que llegeix una clau de tancada "}" deix de fer l'estructura que estava executant per començar a realitzar la següent.

⁶⁷ Quan introdueixes un comentari automàticament estàs "dient" a l'Arduino que ignori el text que es trobarà a continuació ja que sinó l'intentarà llegir i es mostrarà error a l'àrea dels missatges.

⁶⁸ Informació extreta de Biehler (2014: 13-37), de Grover (2009: 1-10) i de www.tresdpro.com [Consulta: 01 octubre 2018].

⁶⁹ El preu d'una impressora per a models en 3D pot ser molt variat, és a dir, una impressora amb una qualitat baixa es pot aconseguir per uns 200-300 euros. En canvi, una impressora de molt bona qualitat té un cost mínim de 1.500 euros.

Al igual que otras revoluciones, la impresión 3D va a revolucionar cómo vive y antes de lo que piensa. Se acabó ir a la tienda; sólo tendrá que conectarse, comprar un archivo, descargarlo a su impresora y saldrá el objeto que quiere. ¿Recuerdos personalizados para bodas, aniversarios, fiestas de cumpleaños o eventos de empresa? No hay problema. ¿Necesita una pieza para el coche de época que está restaurando? Saque entre 20 y 30 fotografías digitales, súbalas a un sitio Web gratuito y, en menos de un minuto, obtendrá el archivo de un modelo 3D que puede proporcionar a su impresora 3D.

A banda d'això, es necessiten dos elements principals per realitzar qualsevol impressió en 3D: a) la impressora 3D; i b) el model en 3D. Qualsevol model està creat amb un programa des d'un ordinador. Els programes utilitzats més comuns són, entre d'altres, *AutoCAD*, *Solidworks*, *123D* i *SketchUp* (que és el que he utilitzat en el disseny dels panells fotovoltaics de la meva part pràctica). Un cop dissenyat, el model 3D es guardat en una targeta SD que s'introduirà a la impressora o serà enviat directament mitjançant *bluetooth*.

A. LA IMPRESSORA 3D

Tal i com indica el seu nom, és una impressora que permet imprimir un model digital 3D i transformar-lo en una figura física de qualsevol material. El seu funcionament és molt senzill: el model digital és dividit en capes molt fines i l'extrusor fon el material (que generalment és plàstic) i el va aplicant capa a capa basant-se en el model digital. El material, un cop es refreda, forma un objecte compacte i molt resistent. La impressora disposa de tres motors: el de l'eix X i l'eix Z, per al moviment de l'extrusor horitzontalment en els dos sentits; i el de l'eix Y, per baixar la plataforma sobre la qual s'imprimeix l'objecte (això es fa cada vegada que l'extrusor ha finalitzat una capa). A banda d'això, les impressores també disposen d'un *LCD* per mostrar informació a l'usuari sobre, per exemple, la temperatura a la qual es troba l'extrusor o el temps que porta imprimint una peça en concret, etc. La imatge situada al costat (Fig. 20.) mostra una impressora 3D.

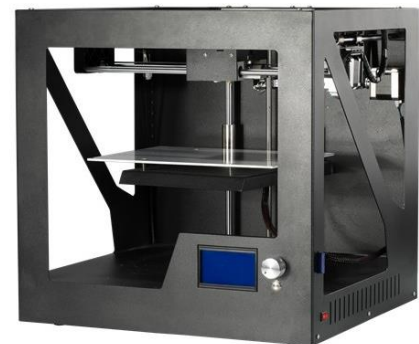


Fig. 20. Impressora 3D. A dalt de tot hi ha els eixos X i Z. Al centre de la imatge hi trobem la plataforma sobre la qual s'imprimeix l'objecte⁷⁰.

B. EL PROGRAMA SKETCHUP

El *SketchUp* és un programa (desenvolupat per la companyia *@Last Software*) que permet el disseny en tres dimensions de tot tipus d'objectes com, per exemple, gots,

⁷⁰ Imatge extreta de <https://www.3dcpi.com> [Consulta: 14 setembre 2018].

tasses, suports, uns engranatges d'un cotxe teledirigit el qual no disposa de recanvis, un pany d'una porta trencat o moltes altres possibles aplicacions.

Quan el programa va ser llençat per la companyia l'any 2000 va provocar un canvi de la concepció del disseny 3D arreu de tot el món per tres raons principals: primer, va incorporar una interfície gràfica en el disseny, és a dir, que l'usuari podia visualitzar l'objecte tridimensional al mateix temps que l'està dissenyant; segon, permetia dissenyar models 3D amb un temps relativament reduït i de manera molt senzilla; i tercer, aquest programa era totalment gratuït i permetia que tothom pogués instal·lar-se'l i gaudir del disseny 3D. Tot i aquesta versió gratuïta, la companyia també va desenvolupar una versió pagant (*SketchUp Pro*) que es pot obtenir actualment per 695 dòlars⁷¹.

El *SketchUp* inclou moltes opcions a l'hora de treballar amb models 3D. Per exemple, permet obtenir grans detalls en dissenys arquitectònics (cables elèctrics o desaigües en un edifici), animacions dels objectes i juntes, efectes especials, efectes d'il·luminació, etc. A més a més, també permet que, un cop dissenyada una peça, es pugui pesar en funció de quin material estigui construïda, és a dir, l'usuari tria un material en concret (per exemple, alumini) i automàticament el programa calcula el volum del model i, en funció de la densitat del material escollit, calcula el seu pes.

A banda de les opcions de disseny que inclou, és necessària una opció essencial sense la qual no es pot imprimir l'objecte en tres dimensions. Es tracta de l'exportació del model 3D en format *STL*⁷² per a la seva posterior impressió.

El *SketchUp* disposa d'una comunitat d'usuaris bastant extensa i, per aquesta raó, disposa d'una pàgina Web anomenada *3D Warehouse* des de la qual es pot descarregar models tridimensionals (ja creats i pujats prèviament per un usuari) i incorporar-los posteriorment al disseny propi.

3.4. CONSTRUCCIÓ DE LA MAQUETA DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA

Després d'explicar els tres temes principals (disseny a l'aplicació amb *App Inventor*, muntatge i programació de l'Arduino i disseny i impressió en 3D de les peces que constituïran els panells solars) passem a explicar la maqueta o model a escala de la

⁷¹ El *SketchUp Pro* inclou més formats d'importació i exportació d'un objecte bidimensional i tridimensional. A més a més inclou dos programes addicionals (*LayOut* i *Style Builder*) que inclouen més eines per treballar amb models 3D. *LayOut* inclou eines per posar títols als objectes tridimensionals i fer presentacions amb ordinador de la impressió. *Style Builder* millora l'estètica del disseny.

⁷² És un format d'arxiu que permet la "comunicació" entre el model 3D del *Sketchup* i un segon programa que distribueix el model 3D en capes i, després d'això, crea el *G-code* que es carregarà a la targeta SD per imprimir l'objecte 3D. Hi ha molts programes per realitzar aquest "pas entremig" però el que he utilitzat ha estat el *Slic3r*.

central fotovoltaica en si, és a dir, el seu funcionament, els materials utilitzats, el circuit electrònic i tots els passos seguits en la seva construcció.

La part pràctica, com ja he anomenat anteriorment, és un model a escala d'una central fotovoltaica que inclou quatre seguidors solars i que funcionen de la següent manera: l'usuari utilitzarà l'aplicació creada amb el programa *App Inventor* i explicada anteriorment a l'apartat 3.1.1 per orientar un, dos, tres o quatre panells solars en l'eix horitzontal i l'eix vertical o per modificar altres paràmetres (il·luminació i producció). Aquesta aplicació es connectarà mitjançant *bluetooth* a un dispositiu *HC-06* (és l'encarregat de rebre les ordres de l'aplicació i enviar-les a l'Arduino amb comunicació serial). Posteriorment, l'Arduino executarà certes ordres en funció dels paràmetres que rep des del dispositiu *HC-06* i també en funció del *software* que porta carregat en el microprocessador. Aquestes ordres seran utilitzades pels vuit servomotors (quatre per el moviment horitzontal i quatre pel vertical) per orientar els seguidors solars activats en la posició desitjada per a l'usuari. A més a més, el model a escala inclou quatre leds verds que indicaran quins panells solars estan activats i quins no. El vuit servomotors rebran energia directament d'una font d'alimentació connectada a la corrent però, tot i així, les ordres de la posició les rebran de l'Arduino (que també rebrà energia directa de la font d'alimentació). Els quatre seguidors solars estan dissenyats (amb el programa *SketchUp*), impresos en tres dimensions i posteriorment s'han incorporat en la maqueta.

Després d'explicar el funcionament complet de la maqueta, passem a nomenar i detallar el materials utilitzats en la construcció de la maqueta.

3.4.1. MATERIALS

Els materials són l'element principal utilitzat en l'estructura, l'estètica i en el muntatge del model a escala de la central fotovoltaica. Per una banda indicaré i explicaré els materials utilitzats en la construcció de la maqueta amb les seves dimensions corresponents. En segon lloc, anomenaré i desenvoluparé la funció i les especificacions dels components electrònics del model a escala.

MATERIALS CONSTRUCTIUS I D'ESTÈTICA	
Material	Descripció tècnica i especificacions
Fusta	És utilitzada en l'estructura bàsica de tota la maqueta. Aquesta està constituïda per dues bases (de 295x210 mm i 5 mm de gruix) i per quatre columnes (de 25x25 mm i de 90 mm d'alçada). He utilitzat fusta de pi (per les columnes) i un conglomerat de pi també (per les bases).

Cargols i femelles embotides ⁷³	Són l'element d'unió de les peces anteriors. He utilitzat cargols de M3x12 ⁷⁴ i de M4x12. Les femelles embotides també tenen el diàmetre M4.
Altres materials	Per al recobriment del circuit electrònic he tallat en quatre parts un poliestirè transparent de 25x50 mm i 2 mm de gruix. Per acabar, he enganxat a sobre de la base de dalt gespa artificial per fer més realista el model a escala.
Els panells solars	El material constructiu més important és el que forma les peces dels panells solars. Aquestes peces, tal i com he indicat en l'apartat anterior, han estat dissenyades amb <i>SketchUp</i> , impreses en tres dimensions, muntades i posteriorment incorporades a la maqueta. El material utilitzat per la impressió ha estat el plàstic de tipus PLA.

COMPONENTS ELECTRÒNICS ⁷⁵	
Component	Descripció tècnica i especificacions
Arduino Mega 2560	Tal i com he anomenat anteriorment, l'Arduino és el "cervell" de tot el projecte electrònic i les seves especificacions han estat explicades a l'apartat 3.2.1.1. (Tipus de plaques Arduino).
<i>Terminal Block Shield</i>	Es tracta d'una <i>shield</i> de 120x78 mm que permet unir cables sense la necessitat d'una soldadura amb la placa Arduino. Inclou 85 pins femella de 3,5 mm de diàmetre i amb un cargol cadascun per tal de fixar la unió amb els cables.
<i>HC-06</i>	És un dispositiu <i>bluetooth</i> que treballa entre intervals de voltatge entre 3,3 i 6 volts. Permet emetre i rebre dades TTL amb una velocitat de 9600 bauds (bits d'informació envia o rebuda per segon) fins a una cobertura de uns 9.15 metres.
Font d'alimentació de tipus <i>YwRobot 545043</i>	Permet alimentar projectes electrònics a un voltatge de 3,3 o 5 volts i amb un màxim de 1 amper. El voltatge d'entrada pot ser com a màxim de 15 volts. Tot i així, disposa d'un regulador de voltatge de tipus <i>AMS1117</i> i un botó de <i>on/off</i> per engegar o apagar l'alimentació quan es desitgi.

⁷³ Les femelles embotides permeten que s'hi cargoli i descargoli un cargol tantes vegades com es vulgui. Es tracta d'un cilindre que s'introdueix a la fusta, amb el diàmetre del cargol i amb quatre pues les quals es claven a la fusta per impedir el moviment de la femella.

⁷⁴ És la nomenclatura dels cargols. El número al costat de la "M" indica el diàmetre del cargol i el del costat d'aquest indica la longitud del cargol, és a dir, M3x12 significa 3 mm de diàmetre i 12 mm de longitud.

⁷⁵ Les especificacions més tècniques dels components s'han extret de pàgines oficials d'electrònica com www.pccomponentes.com, www.arduino.cc i www.prometec.net [Consulta: 20 setembre 2018].

5 metres de cable	És de estany i amb un diàmetre de 0,5 mil·límetres.
Leds de color verd	Quatre leds de 5 mm de diàmetre, amb un consum de 20 mAh cadascun i amb dues úniques connexions ⁷⁶ .
Resistències	S'encarreguen de reduir el voltatge que entra en l'ànode del led per tal d'un funcionament correcte d'aquest. Les resistències utilitzades per a un led de les característiques del meu projecte son de 220 ohms (Ω) amb una tolerància del 5%. La seva combinació de colors es: vermell, vermell, marró i daurat.
Adaptador AC/DC	Es tracta d'un alimentador de corrent de la marca <i>LEICKE</i> del model <i>NT03093</i> que proporciona a l'Arduino 9V, 3A i 27 watts de potència (W) amb un voltatge d'entrada comprès entre 100-240 volts.
Vuit servomotors	Vuit servomotors de 9 grams, del tipus SG90 i amb un voltatge d'entrada entre 3-7,2 volts. Aquest disposen d'un rang d'abast de 180 graus i amb una velocitat de moviment de 0,12 segons per cada 60 graus. Disposen de tres pins de connexió: el marró (negatiu), el vermell (positiu) i el groc (senyal)

3.4.2. CONSTRUCCIÓ

Després de l'adquisició de tots els materials necessaris s'ha passat a construir el model a escala de la central fotovoltaica que, amb diferència, ha estat la part més difícil de tot el treball de recerca. Això ha estat per varis motius com, per exemple, la programació de l'Arduino, el muntatge i el posterior ajustament dels seguidors fotovoltaics, la soldadura i les connexions electròniques, etc. A continuació indicaré i explicaré amb detall els set passos que he seguit durant el procés de construcció de la maqueta:

1. L'estructura bàsica: consisteix en dues plataformes de fusta rectangulars (una a sobre de l'altre) les quals estan unides amb quatre llistons quadrats de 90 cm d'alçada. Els llistons estan situats ens els quatre extrems de les plataformes i, a més a més, estan encolats i cargolats a la base inferior (on s'hi troba tota l'electrònica i cables) i únicament cargolats a la base superior (on s'hi situen els quatre seguidors solars i els leds indicadors). Tota l'estructura en conjunt es podria equiparar amb una casa de dos pisos. La fotografia a continuació (Fig. 21) mostra, entre d'altres, l'estructura bàsica.

⁷⁶ Un led (*Light Emitting Diode*) és un díode, és a dir, que només disposa de dos pins de connexió per al seu funcionament. Aquests dos pins són el càtode (per a les connexions negatives) i el ànode (per a les connexions positives).

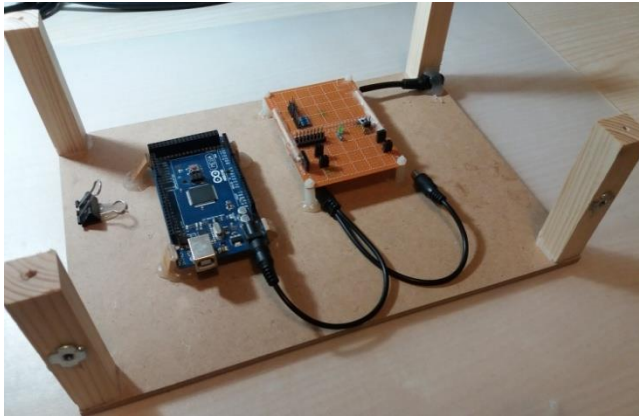


Fig. 21. Fotografia de la maqueta en el seus primers dies de construcció. S'hi mostra principalment l'estructura inicial del model a escala amb els quatre llistons i la base inferior (la superior no està cargolada). A més a més, hi podem observar l'Arduino Mega, el cable que l'alimenta (el de color negre) i la placa de distribució d'energia. Aquesta última placa s'explicarà en el següent apartat de la construcció del model⁷⁷.

2. Placa de distribució d'energia: és la placa de color taronja que es pot observar en la imatge anterior (Fig. 21.). Aquesta placa té una funció molt simple: rebre l'energia elèctrica que la font d'alimentació subministra i distribuir-la en els vuit servomotors. A banda d'això, també regula el voltatge que l'Arduino subministra als leds mitjançant quatre resistències (una per cada led) que porta incorporades de 220 ohms.

La placa i el seu respectiu *hardware* no s'han extrets d'Internet ni s'han comprat directament, sinó que es tracta d'un disseny propi el qual he dissenyat, soldat i construït. El gran avantatge de crear-te la teva pròpia placa és que s'adapta perfectament a les necessitats que tens i, a més a més, és molt més barat. Per contra, les plaques comprades directament seran lleugerament més cares i poc flexibles i adaptables.

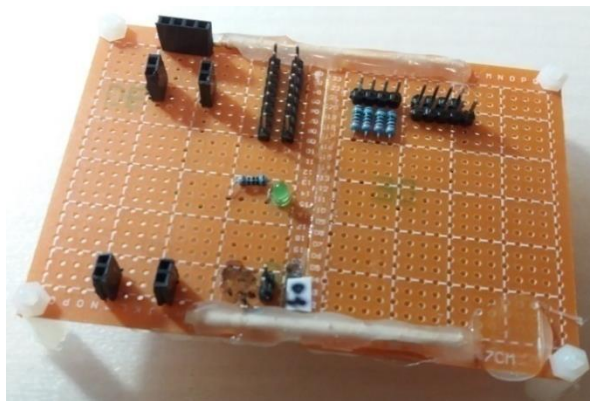


Fig. 22. Placa de distribució d'energia. A l'esquerra de tot s'hi connecta la font d'alimentació i, més a la dreta, els vuit servo motors. A sota, hi ha el led indicador de pas de corrent entre els pins dels motors i la font d'alimentació. Finalment, a la dreta del tot hi ha els vuit pins per on es connecten els leds indicadors⁷⁸.

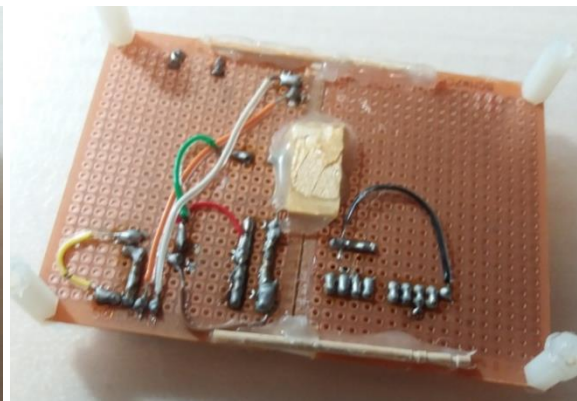


Fig. 23. Vista del darrere de la placa de distribució d'energia. Tots els pins anomenats en la imatge anterior han estat soldats en aquesta cara de la placa juntament amb cables per tal de distribuir l'energia de la forma que es vulgui. Aquestes soldadures s'han fet amb un soldador d'estany⁷⁹.

⁷⁷ Imatge de l'autor.

⁷⁸ Imatge de l'autor.

⁷⁹ Imatge de l'autor.

3. Incorporació del *bluetooth*, de la *shield* i de la font d'alimentació: és el pas més senzill de tots ja que solament es requereixen tres passos molt simples: primer, s'adjunta el *Terminal Block Shield* amb l'Arduino Mega; segon, s'hi connecta el dispositiu *HC-06* mitjançant quatre cables; i tercer, s'incorpora la font d'alimentació a la maqueta. Aquesta última s'ha de connectar també amb el GND de l'Arduino per tal de treballar amb la mateixa referència de terra. La fotografia següent (Fig. 24.) mostra el model a escala amb aquestes tres darreres incorporacions.

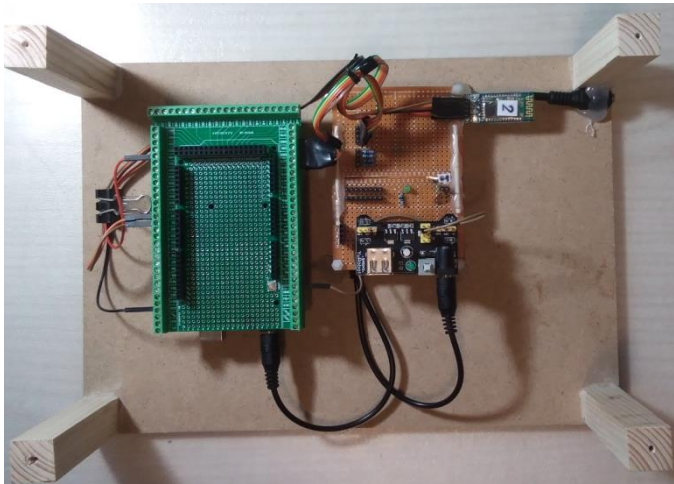


Fig. 24. Vista superior del model a escala amb les recents incorporacions. La placa verda és la *Terminal Block Shield* situada damunt de l'Arduino. La placa negra situada al centre de la imatge és la font d'alimentació (que està connectada amb l'Arduino mitjançant el cable marró). Per acabar, el dispositiu que té el número 2 és el emissor i receptor *bluetooth HC-06* (es poden apreciar els quatre cables amb els que es connecta a la franja esquerra de la *Terminal Block Shield*)⁸⁰.

4. Soldadura dels cables: consisteix en soldar els cables amb els seus respectius pins (mascles o femelles). Després de la soldadura, he utilitzat silicona calenta per reforçar la junta i cinta aïllant per cobrir tota la soldadura i millorar la seva estètica. Aquests cables tenen una funció vital en el model a escala ja que comuniquen l'Arduino i la font d'alimentació amb els vuit servomotors. Els cables es connecten en tres llocs diferents (la secció positiva i la negativa de la font d'alimentació i el que dóna el senyal de l'Arduino) i s'acaben ajuntant un de cada secció en vuit clavilles de tres pins cadascuna per als servomotors. Aquest tres pins, tal i com he anomenat anteriorment són el positiu (o també anomenat *VCC*), el negatiu (*GND*) i el del senyal.



Fig. 25. Acabat final dels cables. A baix a la dreta s'hi poden apreciar quatre clavilles amb els seus tres pins respectius⁸¹.

5. Muntatge dels panells solars: va ser el procediment més llarg però no el més difícil. La precisió amb la que s'havien de muntar els panells solars per tal de fer possible la

⁸⁰ Imatge de l'autor.

⁸¹ Imatge de l'autor.

coordinació entre tots ells havia de ser molt precisa. A banda d'això, la imprecisió mil·limètrica de les peces (causada per la pròpia impressora 3D) va dificultar més el procés de construcció i va allargar el temps de muntatge.



Fig. 26. Finalització de la impressió de les peces en tres dimensions. Aquesta impressora 3D disposa de dos extrusors. Només un va ser utilitzat per la impressió⁸².



Fig. 27. Seguidor solar construït i col·locat a la plataforma superior⁸³.

6. Instal·lació dels leds i dels panells solars en el model a escala: consisteix en la col·locació dels quatre seguidors solars muntats, dels quatre leds indicadors i la unió entre les dues parts principals de la maqueta: la plataforma superior i la inferior. A continuació es mostren els procediments finals de la construcció del model a escala.

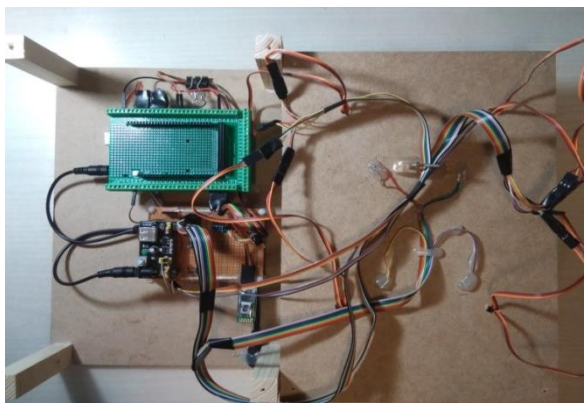


Fig. 28. Connexions finals de la maqueta. A l'esquerra hi ha tot el construït fins al moment. A la dreta hi ha la plataforma superior girada del revés⁸⁴.



Fig. 29. Vista superior de la maqueta finalitzada. Tots els cables i l'electrònica queden situats a sota dels panells fotovoltaics⁸⁵.

⁸² Imatge de l'autor.

⁸³ Imatge de l'autor.

⁸⁴ Imatge de l'autor.

⁸⁵ Imatge de l'autor.

A banda del muntatge part per part, he utilitzat el programa *Fritzing* per realitzar un esquema visual de totes les connexions electròniques amb una sola imatge. Aquest esquema permet que una persona especialitzada en el tema pugui copiar el circuit electrònic i, juntament amb el programari, acabi realitzant el mateix projecte. Dit en paraules senzilles, si tens el esquema del *Fritzing* i el programari, pots “clonar” el projecte electrònic.

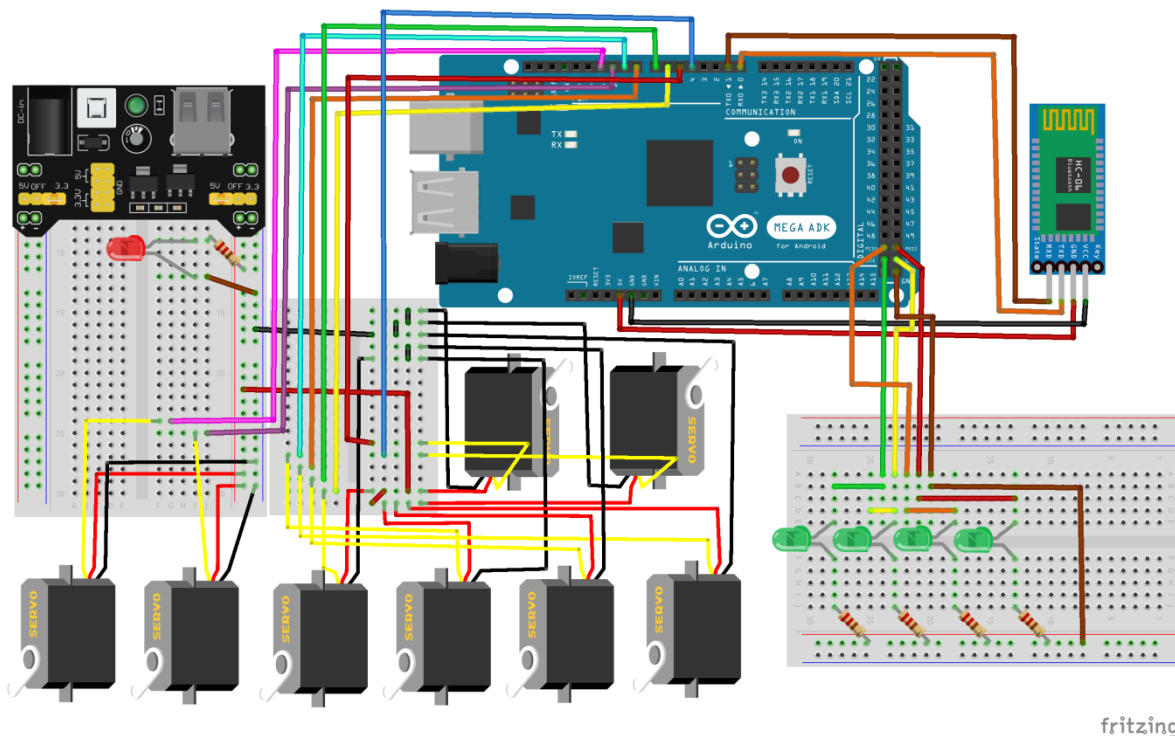


Fig. 30. Esquema electrònic del model a escala de la central fotovoltaica. Tots els elements i components electrònics anomenats anteriorment es troben presents en aquesta imatge. A dalt de tot a l'esquerra hi ha la font d'alimentació YwRobot 545043. Situat més a sota hi trobem el led indicador de l'energia elèctrica. Al centre de la imatge s'hi distingeix clarament l'Arduino Mega i els vuit servomotors. Finalment, a la franja dreta de la fotografia hi trobem el dispositiu *bluetooth HC-06* (a dalt) i els quatre leds que indiquen quin panell fotovoltaic està activat i quin no (a baix)⁸⁶.

7. Altres detalls i acabaments finals: es tracta d'un procediment de decoració i de millora de l'estètica. Per exemple, a la superfície de la maqueta he incorporat gespa artificial per tal de simular un ambient més realista. A més a més, he recobert el circuit electrònic amb un poliestirè transparent el qual es troba subjecte a les columnes mitjançant cargols i femelles embotides. A més a més, a les parets del poliestirè he fet 18 forats (9 a cada banda) per la ventilació de l'electrònica i així evitar un possible escalfament. Finalment, he imprès i plastificat unes imatges de panells solars i

⁸⁶ Imatge de l'autor.

posteriorment les he enganxat a l'estructura en tres dimensions i així simular un seguidor solar real.

A continuació mostro una imatge del model a escala de la central fotovoltaica acabat (el seu codi de programació es trobarà als annexes). A més a més, al final de la memòria escrita adjuntaré un CD amb un vídeo explicatiu del funcionament de la maqueta.



Fig. 31. Imatge final que mostra el model a escala de la central fotovoltaica finalitzat. A dalt a l'esquerra de la franja de plàstic de davant s'hi poden apreciar 9 dels 18 forats fets per la ventilació de l'electrònica⁸⁷.

⁸⁷ Imatge de l'autor.

4. CONCLUSIONS

Després d'haver realitzat aquesta recerca he pogut extreure certes conclusions les quals m'han servit per valorar tots els aspectes (tan positius com negatius) de les parts principals del treball. Entre les parts principals concloents hi trobem les millors alternatives a l'hora d'escollir un tipus d'instal·lació solar fotovoltaica i el resultat pràctic en si del model a escala juntament al seu funcionament correcte amb tots els components electrònics.

Com a una primera conclusió he de destacar que no hi ha un tipus de panell solar perfecte i que es pugui adaptar a tots els compradors. Les plaques més eficients són les més cares i les més barates són els menys eficients i, depenent de les necessitats de l'usuari, es preferirà un tipus o un altre. Cal remarcar que, tot i el seu preu que s'anirà reduint al llarg del temps, els panells monocristal·lins són els que tenen el futur més proper ja que són els que produeixen més energia elèctrica amb diferència i, per tant, es podrien adaptar més fàcilment a les necessitats de l'usuari.

Respecte al tipus d'instal·lació fotovoltaica destaco el mateix que en el punt anterior. Tan la instal·lació de panells mòbils com la de panells fixes són igualment de bones depenent del pressupost de la persona i les seves necessitats. Els seguidors solars són molt més cars i requereixen de més manteniment però són molt útils en espais petits i d'alta demanda energètica com, per exemple, un terrat d'una casa a la muntanya amb sistemes de reg automàtics. A més a més, disposen de la capacitat d'orientar-se d'esquena al Sol i així reduir l'escalfament en hores en les que no es necessita la seva producció. D'aquesta manera s'allarga la seva vida útil de manera considerable ja que qualsevol dispositiu elèctric treballa molt millor si no està sotmès a una temperatura elevada. Tot i que els panells fotovoltaics ja estan preparats per treballar en aquestes condicions, és preferible orientar-los d'esquena per així assegurar una vida rendible molt més pròspera.

Quant a les plaques fixes cal destacar que també són igualment bones ja que no necessiten d'un manteniment tant constant com les anteriors. El principal inconvenient, però, és que requereixen de grans extensions de terreny o de teulada per tal d'igualar la producció i eficiència dels panells mòbils. A més a més presenten la impossibilitat de poder orientar-se d'esquena al Sol per reduir l'escalfament i allargar la seva vida útil. Lògicament, el preu dels panells solars fixes és més reduït en comparació al seguidors solars que, a més a més, presenten molta complexitat a l'hora de la construcció i és probable que una persona amb pocs coneixements sobre el tema no tingués la capacitat d'instal·lar-los. Per contra, els fixes són molt més senzills d'instal·lar.

Tot i així i com a una primera conclusió general, podríem extreure que els panells solars monocristal·lins i, en concret els mòbils, encara estan una mica estancats però que en un futur esdevindran imprescindibles degut a que redueixen l'espai que es necessita considerablement i augmenten la producció energètica un 55% en els mesos d'estiu i entre un 15 i 20% durant els mesos d'hivern.

Com a segona conclusió, he de destacar el resultat final de la construcció del model a escala en sí. La maqueta ha comportat molt d'esforç i complicacions però al final funciona meravellosament i presenta una estètica molt atractiva i visual. Només la combinació de l'Arduino amb *App Inventor* i amb les peces 3D ha fet possible el resultat desitjat del qual em sento molt orgullós i satisfet. La maqueta, tal i com em vaig plantejar inicialment és econòmica, atractiva i fàcil de fer funcionar. A banda d'això, el model a escala també mostra de manera molt eficaç el funcionament d'una central fotovoltaica mòbil i, per aquesta raó, els dos primers objectius s'han complert a la perfecció.

Com a una tercera conclusió he de destacar les magnífiques capacitats que presenta la placa Arduino quan a la interacció amb elements externs i altres funcions autònomes. L'Arduino té unes capacitats pràcticament il·limitades a l'hora de realitzar projectes electrònics i, no només a petita escala com en la meva part pràctica, sinó que també projectes de més magnitud amb aplicacions com robots intel·ligents, cases autònomes o controls automàtics de qualsevol sistema manual. A més a més, la meva central fotovoltaica incorpora un Arduino MEGA el qual aconsello utilitzar quan s'han de realitzar projectes de gran magnitud. Això és degut a que incorpora més pins de connexió, més velocitat de processament i més memòria *Flash*. Tot i això, qualsevol tipus d'Arduino és ampliable en qualsevol moment gràcies a les *shields*.

Tot i les magnífiques possibilitats que presenta, requereix d'un coneixement fonamental, útil i difícil d'adquirir: la programació. Aprendre't un llenguatge de programació no és una feina gens fàcil la qual no recomano a persones que no els hi agradi o que no estiguin

interessades en el tema. Encara que la placa presenti moltes funcions, aquestes es veuen reduïdes en funció del que una persona sap en el llenguatge de programació de l'Arduino. Per aquest motiu i després d'haver-lo utilitzat en el model a escala i en altres projectes, he de dir que Arduino no només es basa en el muntatge en si, sinó que també s'ha de tindre present la part del programari. Tot i així, Arduino és la millor alternativa, amb diferència, per introduir a joves al món de l'electrònica i, encara que resulti difícil, per ensenyar-los les estructures i funcions bàsiques d'un llenguatge de programació que, en un futur proper, esdevindrà un coneixement prou fonamental.

Per concloure, he de destacar que el funcionament i utilitat de l'Arduino s'han plasmat fortament amb la maqueta i s'ha demostrat perfectament la funcionalitat d'aquesta placa, a banda del seu preu relativament reduït. Per aquesta raó, el meu tercer objectiu s'ha complert.

En tercer lloc, he de destacar les magnífiques aplicacions que té el programa *SketchUp* pel disseny en tres dimensions. Inclou un nombre molt elevat de funcions i presenta una interfície de programació que requereix de molt poques hores per aprendre quatre conceptes bàsics. A més a més, permet la incorporació de models 3D d'Internet dissenyats prèviament. Tot i així, és un programa que no recomano a especialistes ja que manca d'algunes funcions a l'hora de treballar amb dissenys mil·limètrics. Només el recomano a persones que inicien en el disseny 3D o, com és en el meu cas, que han de dissenyar peces de poca complexitat i que no requereixin d'una alta precisió. Tot i així, les possibilitats del programa han estat mostrades amb el disseny i posterior impressió dels seguidors solar i, per tant, el meu quart objectiu també s'ha complert.

En quart lloc remarco el programa *App Inventor* pel disseny d'aplicacions. Aquest programa no només és apte pel disseny d'aplicacions simples, sinó que també presenta un seguit de funcions considerables per augmentar la complexitat de les aplicacions. Per exemple, en la meua aplicació he utilitzat la funció de les ordres de veu i càlculs complexes i ha funcionat correctament.

Per aquesta raó, recomano especialment aquest programa a tots els interessats en el disseny d'aplicacions i, no només a principiants, sinó que també a experts amb ganes de fer anar la seva imaginació per crear noves aplicacions. Els iniciadors en aquesta branca es podran crear les seves pròpies aplicacions amb un temps relativament curt. No obstant això, a mesura que l'aplicació augmenta de dificultat, les hores requerides augmentaran de manera considerable. En la programació de la meua aplicació per la maqueta vaig tardar al voltant de dues setmanes treballant unes dues hores diàries. Amb el que em

vaig passar més temps va ser amb la programació de les ordres de veu ja que s'havien de programar moltes opcions diferents.

En resum, *App inventor* és, segons el meu punt de vista, un molt bon programa per dissenyar les pròpies aplicacions. A més a més, és una programació per blocs cosa que facilita la comprensió de les instruccions. Tot i que no s'ha donat una importància rellevant a la programació per blocs, s'ha demostrat la facilitat i gran utilitat del programa per crear aplicacions i, a més a més, l'aplicació dels seguidors és visual, atractiva estèticament i funciona correctament. Per aquesta raó, el cinquè objectiu s'ha complert.

A banda d'això, també recomano especialment els servo motors utilitzats el moviment dels quatre seguidors solars. Es tracta d'uns servo motors del tipus SG90 i que pesen 9 grams. La seva velocitat, precisió, simplicitat de les connexions, preu i consum d'energia són característiques que encaixaven perfectament a les meves necessitats a l'hora d'escollir un tipus de motors o un altre. En resum, són un dels millors per la construcció de projectes electrònics d'aquesta magnitud i els recomano especialment.

Finalment, he de destacar que les opcions d'aquesta maqueta no és limiten únicament a aquesta central fotovoltaica. La intenció a l'hora d'incorporar un Arduino MEGA era per la possibilitat d'ampliar el projecte quan es desitgés. Una ampliació per un futur seria la possible incorporació d'una central hidroelèctrica de bombament, un parc eòlic, una central tèrmica, etc. El nombre d'ampliacions dependrà del nombre de pins necessaris per aquesta i els disponibles en l'Arduino.

5. BIBLIOGRAFIA

BANZI, Massimo (2012): *Introducción a Arduino. La revolución del hardware libre en el diseño industrial y el arte interactivo*. Madrid: Anaya. 127. p.

BIEHLER, John i FANE, Bill (2015): *Impresión 3D con Autodesk. Crear e imprimir objetos 3D con 123D, AutoCAD e Inventor*. Madrid: Anaya. 239. p.

BLUM, Jeremy (2013): *Exploring Arduino. Tools and techniques for engineering wizardry*. Indianapolis, IN: Wiley. 357. p.

BOXALL, John (2013): *Arduino workshop. A hands-on introduction with 65 projects*. San Francisco, CA: No Starch Press. 370. p.

BOXWELL, Michael (2012): *Solar electricity handbook. A simple, practical guide to solar energy: how to design and install photovoltaic solar electric systems*. Ryton on Dunsmore, Warwickshire, U.K.: Greenstream Publishing. 197. p.

CREUS, Antonio (2004): *Energías renovables*. Barcelona: CEYSA. 402. p.

GROVER, Chris (2009): *Google SketchUp. The missing manual*. United States of America: O'Reilly. 580. p.

MADRID, Antonio (2009): *Energías renovables. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear*. Madrid: Mundi-Prensa. 379 p.

MARTÍN, Jiménez (2008): *Sistemas solares fotovoltaicos: fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Madrid: Antonio Madrid Vicente. 243. p.

OXER, Jonathan i BLEMINGS, Hugh (2009): *Practical Arduino. Cool projects for open source hardware*. Berkeley, CA: Apress. 434 p.

RODRIGO, Julio, CAÑELLAS, Noemí, MENESES, Montse, CASTELLS, Francesc i SOLÉ, Climent (2008): *El Consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda en España. Análisis de ciclo de vida (ACV)*. Barcelona: Fundación Gas Natural. 228 p.

SANZ, José F. (2009): *Fundamentos de energía solar fotovoltaica para los grados de titulaciones científico-técnicas*. Sevilla: Servicio de Publicaciones, Universidad Europea Miguel de Cervantes. 131 p.

<http://appinventor.mit.edu> [Darrera consulta al 01 de setembre de 2018].

<https://ca.solar-energia.net/> [Darrera consulta al 26 de juliol de 2018].

<https://edutech.atlantistelecom.com> [Darrera consulta al 03 de desembre de 2018].

<https://www.chinasolar-panel.com/> [Darrera consulta al 27 de juliol de 2018].

www.alselectro.com [Darrera consulta al 10 de setembre de 2018]

www.arduino.cc [Darrera consulta al 20 de setembre de 2018].

www.pccomponentes.com [Darrera consulta al 20 de setembre de 2018].

www.prometec.net [Darrera consulta al 20 de setembre de 2018].

www.statista.com [Darrera consulta al 27 de juliol de 2018].

www.quetzalingenieria.es [Darrera consulta al 03 de desembre de 2018].

www.tresdpro.com [Darrera consulta al 01 d'octubre de 2018].

www.3dcpi.com [Darrera consulta al 14 de setembre de 2018].

6. ANNEXES

Aquest darrer apartat serà per mostrar i incloure les següents informacions: blocs amb els quals l'aplicació funciona, fotografies dels components de la central fotovoltaica (inversor, regulador de càrrega, etc.), l'explicació detallada del funcionament d'una *proto board*, fotografies del disseny en 3D amb *SketchUp* i les peces 3D amb sistema dièdric i, finalment, el codi de programació.

6.1. BLOCS DE L'APLICACIÓ

En aquest apartat mostraré les columnes de blocs que he utilitzat per fer funcionar l'aplicació dels seguidors solars.

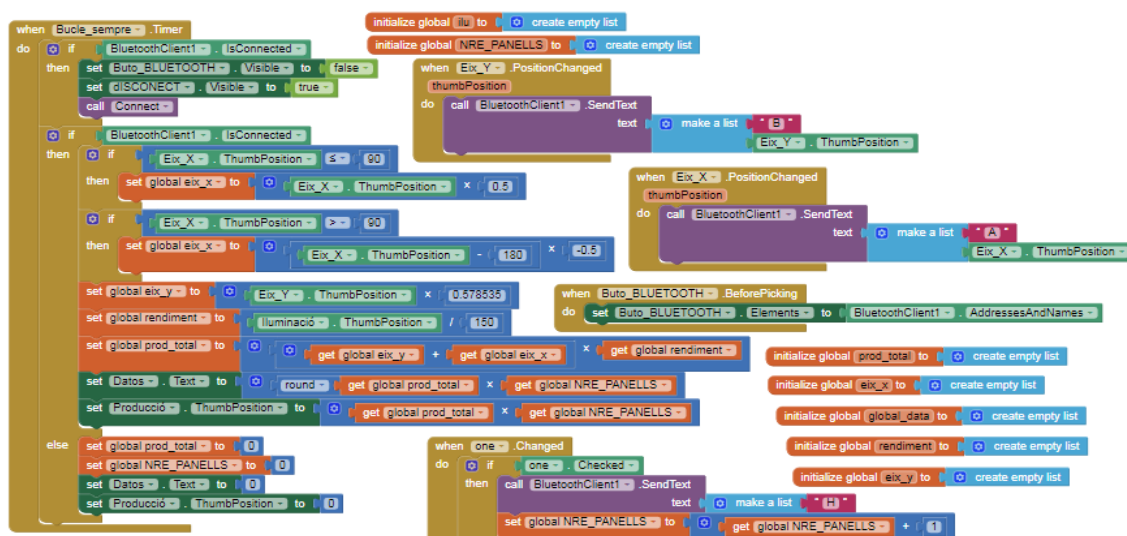


Fig. 32. En aquesta imatge s'hi mostra una secció de la interfície de programació del programa *App Inventor*. Cada columna té una funció específica. Per exemple, el grup de blocs de l'esquerra s'encarrega de calcular la producció en funció de l'eix horitzontal i vertical⁸⁸.

⁸⁸ Imatge de l'autor.

L'aplicació està composta per una quantitat molt gran de blocs i degut a això he decidit incloure una imatge gran en la que s'hi mostren tots. En aquesta imatge no s'hi poden apreciar clarament quines funcions i variables són cada bloc, però és irrellevant ja que el que es pretén mostrar és l'extensió que ocupa, no cada bloc en concret.

En total, aquesta aplicació està composta per 856 blocs els quals es troben organitzats en 30 estructures diferents.

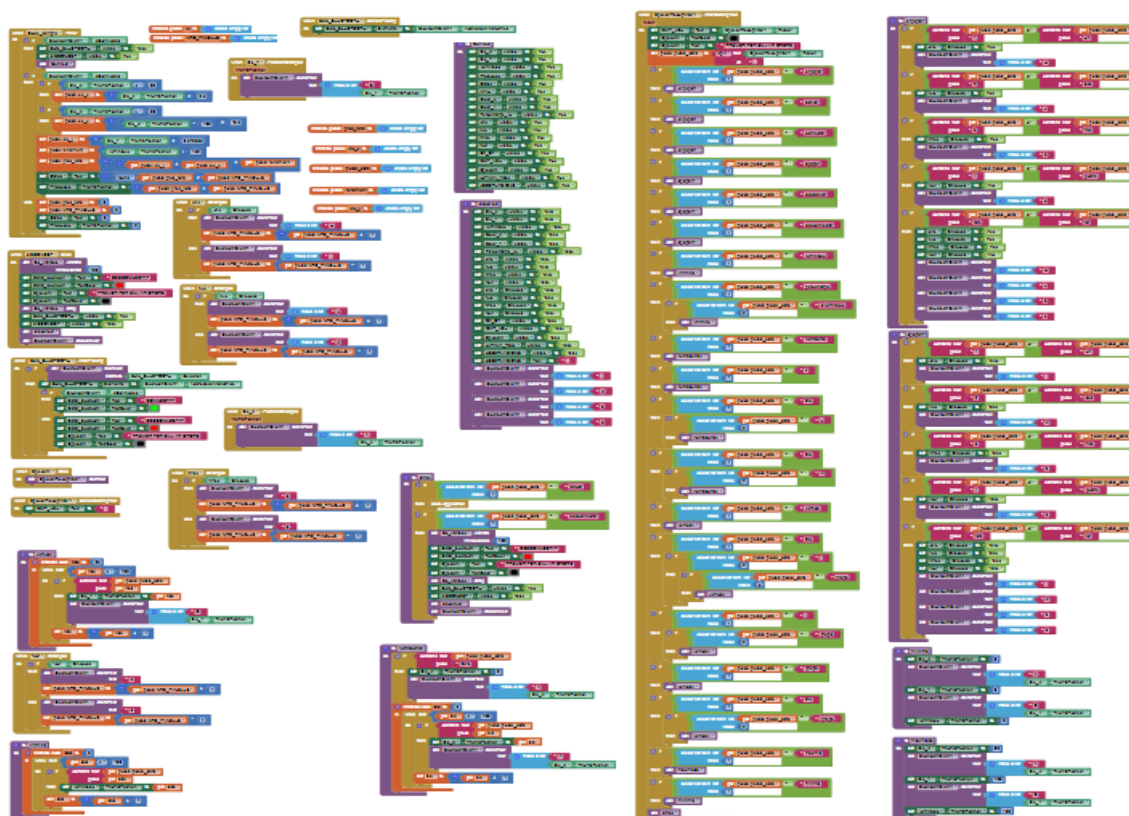


Fig. 33. Imatge general de tots els blocs que componen l'aplicació. La imatge anterior (Fig. 32.) és una ampliació de la secció de dalt a l'esquerra d'aquesta imatge. A causa de que no es pot observar a simple vista que hi diu en cada bloc, ho explicaré breument. La secció de dalt a l'esquerra, tal i com he anomenat anteriorment, és la que s'encarrega de fer els càlculs per després "projectar-los" a la barra de producció. La secció de baix a l'esquerra és l'encarregada d'enviar les dades a l'Arduino i realitza totes les funcions de la connexió (escollir dispositiu al que connectar-se, desconnectar-se, etc.). La secció central s'encarrega d'amagar o mostrar tot el contingut de l'aplicació en funció de si està connectada o no (per evitar errors 515 i 516). En penúltim lloc, la secció de la dreta és on s'hi troben els blocs que s'encarreguen de llegir i executar les ordres de veu. La columna llarga de dalt a baix de la imatge i la que sembla més monòtona i repetitiva és on es defineixen totes les paraules que poden ser executades des d'una ordre de veu. Entre aquestes paraules hi ha: "activar", "desactivar", "apagar", "eix", "horitzontal", etc. Finalment, la secció de la dreta del tot és la que s'ocupa de la interpretació de quines paraules han estat dites i en quin ordre. A partir d'això, l'aplicació realitza el que l'usuari ha dit⁸⁹.

⁸⁹ Imatge de l'autor.

Les ordres de veu no poden ser dites de qualsevol manera ja que el programa no és capaç de reconèixer i interpretar les ordres tan eficaçment com una intel·ligència artificial com *Alexa* o *Siri*. Tot i així, el ventall d'opcions que és poden fer són molt altes.

Per tal que el programa entengui el que l'hi estàs dient, has de seguir unes estructures rigoroses com aquestes:

- Engegar / Activar / Connectar → Número/s (1, 2, 3, 4 o bé un, dos, tres i quatre)
- Apagar / Desactivar / Desconnectar → Número/s (1, 2, 3, 4 o bé un, dos, tres i quatre)

Aquesta ordre és la utilitzada per activar els panells solars un per un o varis de cop. El programa un cop llegeix algunes d'aquestes sis paraules passa a llegir els números i, en funció d'aquestes dues variables, activa els seguidors solars desitjats per l'usuari. Si la paraula "panells solars" o "seguidors solars" són incorporades entremig de les paraules "activar" i 1 automàticament el programa les ignoraria, per tant, el programa en aquell moment només llegeix "activar 1". Aquesta modificació la vaig incorporar principalment per reduir en nombre de variables que s'havien de crear. Tot i així, encara que no diguis la paraula "panells solars" es sobreentén ja que en el model a escala només es poden activar aquests.

El programa també disposa d'aquestes opcions:

- Eix → Horitzontal o X → Número (entre 0 i 180)
- Eix → Vertical o Y → Número (entre 25 i 90)

Aquestes ordres serveixen per orientar els panells solars activats en la posició desitjada per l'usuari.

A banda d'això el programa disposa de dues últimes opcions que són les ordres "màxima" i la "mínima". Aquestes ordres orienten els panells solars en la posició en la que la producció és el màxim o bé en la posició en la que la producció és el mínim.

6.2. FOTOGRAFIES DELS COMPONENTS D'UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA

En aquest apartat mostraré fotografies dels components bàsics d'una central fotovoltaica tan mòbil com fixa. Mostraré fotografies del regulador de càrrega, de l'inversor, dels acumuladors elèctrics i del quadre elèctric (és on s'hi connecten els onduladors i comptadors per calcular el flux d'energia elèctrica). Els panells solars i dispositius elèctrics no els he incorporat ja que una gran majoria sap el que són.

ACUMULADORS ELÈCTRICS



Fig. 34. Imatge que mostra sis acumuladors elèctrics connectats en sèrie. Aquests acumuladors són del tipus *plom-àcid*⁹⁰.

REGULADOR DE CÀRREGA



Fig. 35. Regulador de càrrega. S'encarrega de regular el voltatge rebut de la instal·lació fotovoltaica i que posteriorment és enviat al habitatge⁹¹.

INVERSORS



Fig. 36. Inversors. S'encarreguen de transformar el corrent continu en altern⁹².

QUADRE ELÈCTRIC



Fig. 37. Quadre elèctric. Els comptadors, generalment, es connecten aquí per mesurar la quantitat d'electricitat que passa⁹³.

6.3. FUNCIONAMENT D'UNA PROTOBOARD

Una *protoboard* és una placa electrònica que disposa de pins femella per tal de simplificar les soldadures d'un projecte electrònic i també la quantitat de cables necessitats. Aquests pins femella disposen de connexions internes tal i com es mostra en la imatge que es troba a continuació:

⁹⁰ Imatge extreta de www.quetzalingeneria.es [Consulta: 03 desembre 2018].

⁹¹ Imatge de l'autor a partir de www.quetzalingeneria.es [Consulta: 03 desembre 2018].

⁹² Imatge extreta de www.quetzalingeneria.es [Consulta: 03 desembre 2018].

⁹³ Imatge extreta de www.quetzalingeneria.es [Consulta: 03 desembre 2018].

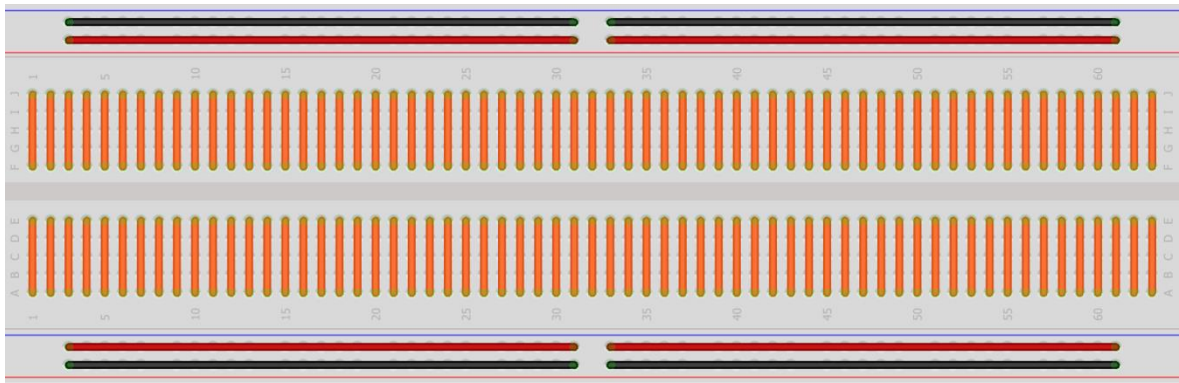


Fig. 38. Protoboard. Les connexions internes són en funció de les línies de color marcades en la imatge. Cada línia disposa d'un nombre determinat de pins femella per poder connectar-hi pins mascle. Explicat en termes senzills, un cable connectat a un pin de qualsevol línia i un altre al cable connectat a un altre pin de la mateixa línia es troben connectats. Posant un exemple, un cable connectat a la línia vermella i un altre connectat a la negra de sota, no es trobarien connectats⁹⁴.

6.4. FOTOGRAFIES DISSENY 3D

Aquest apartat és senzillament per mostrar tres imatges de la interfície de disseny del programa *SketchUp* i sis imatges més del sistema dièdric de cada peça.

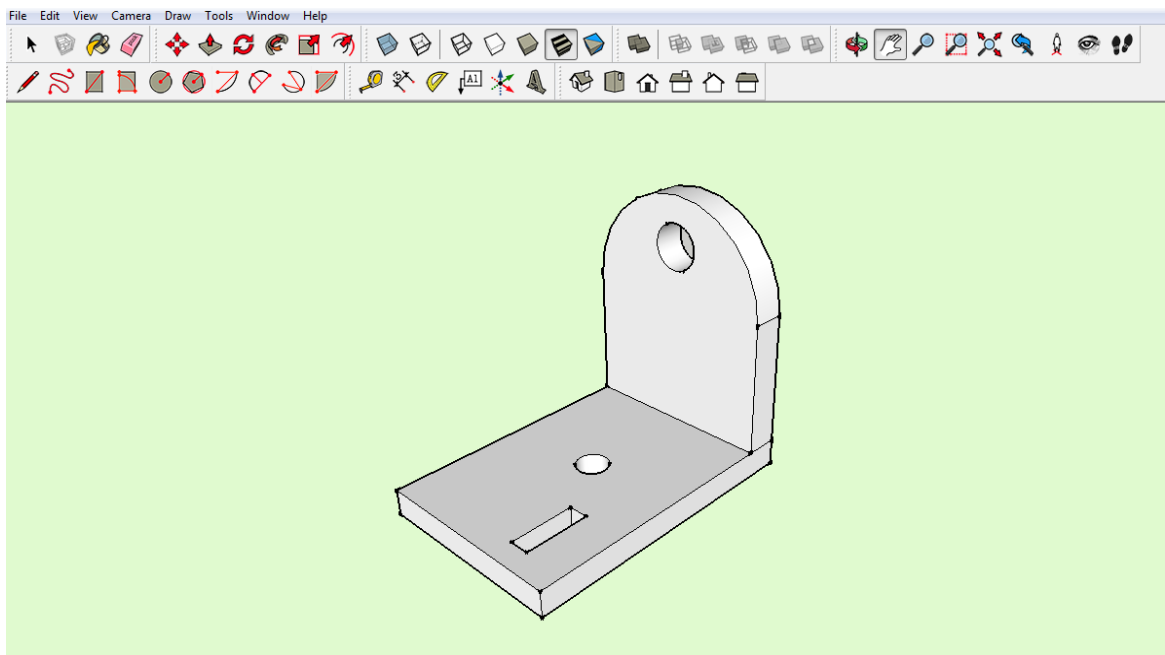


Fig. 39. Interfície de disseny del programa *SketchUp*. A dalt de tot hi ha localitzada la barra d'eines amb a qual pots dibuixar, mesurar, extreure, tallar, mostrar vistes, girar, escalar i, en resum, dissenyar, crear i modificar el teu disseny 3D. En el centre de la imatge s'hi mostra la base i una paret del seguidor solar⁹⁵.

⁹⁴ Imatge extreta de <https://edutech.atlantistelecom.com> [Consulta: 03 desembre 2018].

⁹⁵ Imatge de l'autor.

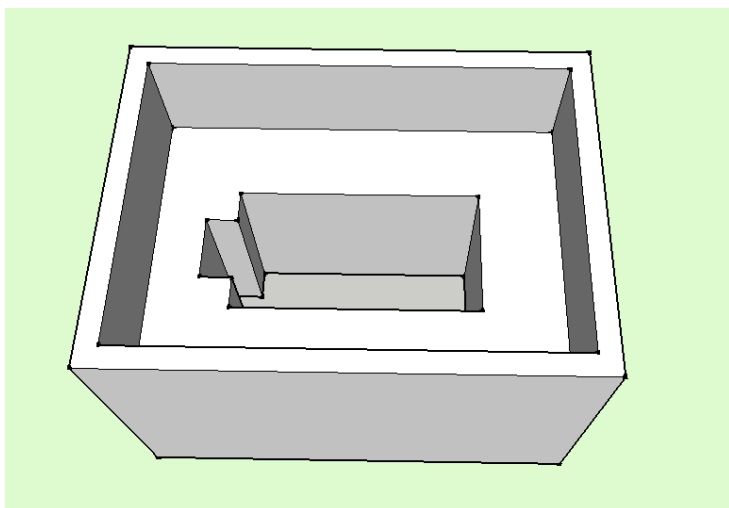


Fig. 40. Base del panell solar⁹⁶.

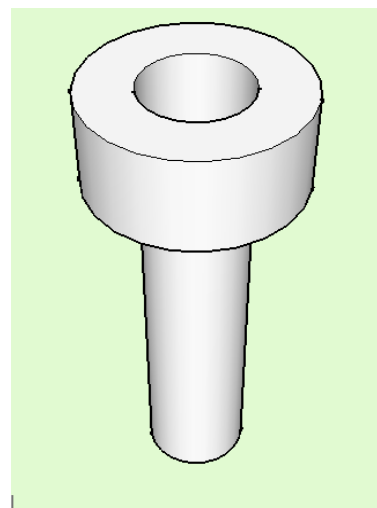


Fig. 41. Pivot (comunica l'eix del servomotor amb la placa mòbil)⁹⁷.

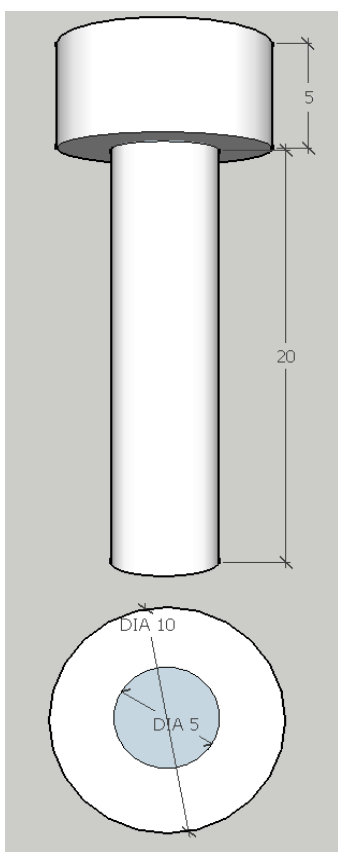


Fig. 42. Peça 1: pivot⁹⁸.

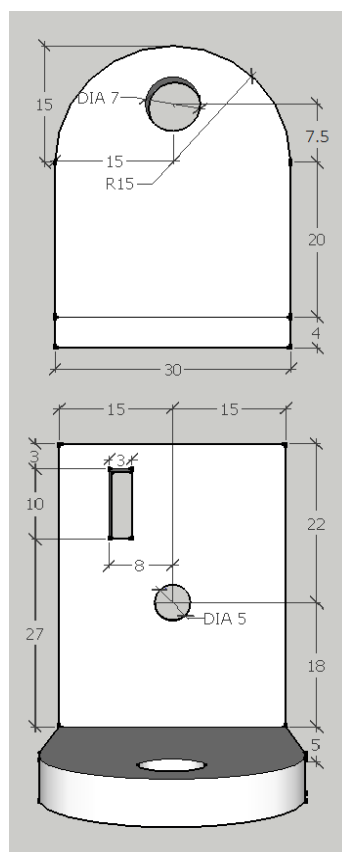


Fig. 43. Peça 2: base amb paret lateral⁹⁹.

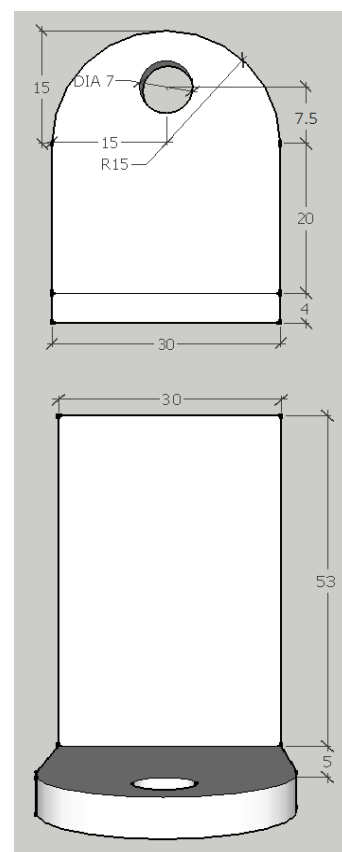


Fig. 44. Peça 3: suport superior amb paret¹⁰⁰.

⁹⁶ Imatge de l'autor.

⁹⁷ Imatge de l'autor.

⁹⁸ Imatge de l'autor.

⁹⁹ Imatge de l'autor.

¹⁰⁰ Imatge de l'autor.

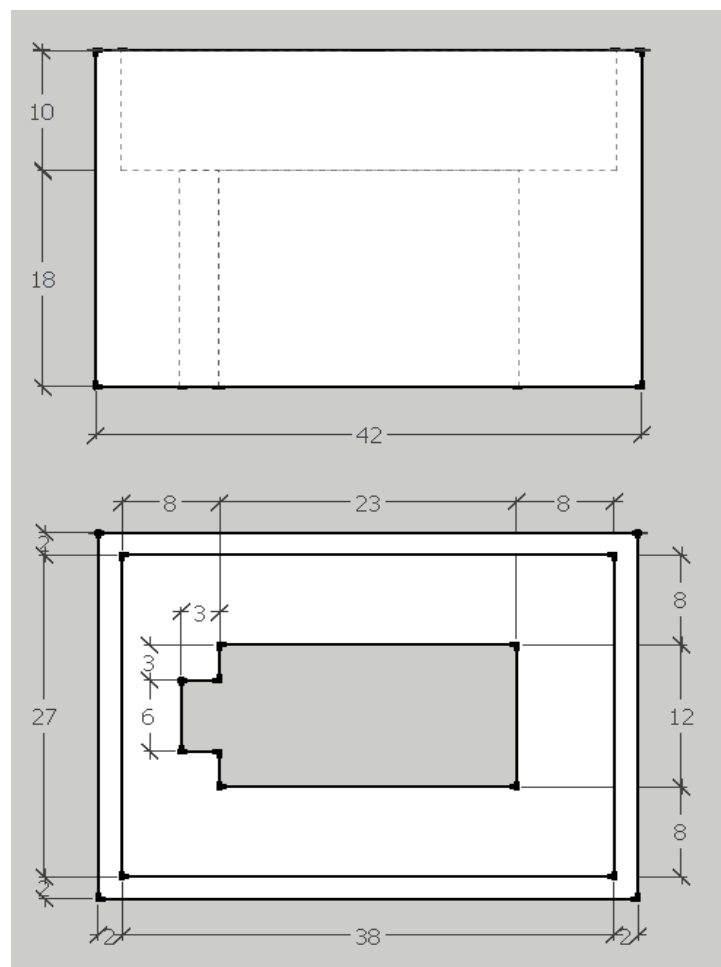


Fig. 45. Peça 4: base¹⁰¹.

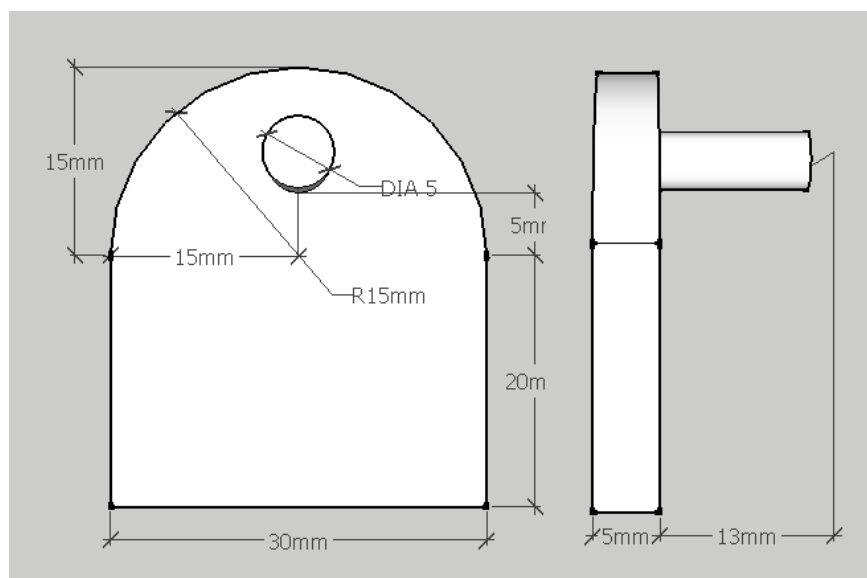


Fig. 46. Peça 5: paret amb pivot¹⁰².

¹⁰¹ Imatge de l'autor.

¹⁰² Imatge de l'autor.

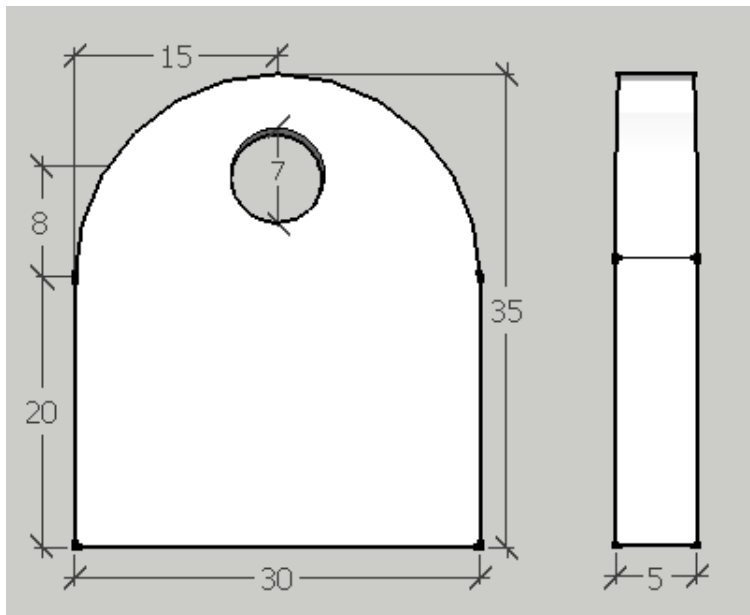


Fig. 47. Peça 6: paret lateral amb forat¹⁰³.

6.5. CODI DE PROGRAMACIÓ

Aquest darrer apartat serà per mostrar les 136 línies de codi de programació que fan funcionar el model a escala. Aquestes instruccions, tal i com he anomenat amb anterioritat, s'han escrit amb el llenguatge de programació C++.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>

//Leds
int led_A = 53;
int led_B = 52;
int led_C = 51;
int led_D = 50;

//Servos
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
```

¹⁰³ Imatge de l'autor.

```

Servo myservo5;

Servo myservo6;

Servo myservo7;

Servo myservo8;

//Altres

char unChar;

String readString;

int permis_A = 0;

int permis_B = 0;

int permis_C = 0;

int permis_D = 0;

//Pantalla

LiquidCrystal_I2C lcd (0x3F, 20, 40);


void setup() {

    //Serial

    Serial.begin(9600);

    //Motors

    myservo1.attach(7);

    myservo2.attach(6);

    myservo3.attach(5);

    myservo4.attach(4);

    myservo5.attach(8);

    myservo6.attach(9);

    myservo7.attach(10);

    myservo8.attach(11);

    myservo1.write (89);

    myservo3.write (89);

    myservo5.write (64);

    myservo7.write (84);

    myservo2.write (80);

```

```

    myservo4.write (90);

    myservo6.write (96);

    myservo8.write (97);

//Pantalla

    lcd.init();

    lcd.backlight();

//Leds

    pinMode (led_A, OUTPUT);

    pinMode (led_B, OUTPUT);

    pinMode (led_C, OUTPUT);

    pinMode (led_D, OUTPUT);

}

void loop() {

    if (Serial.available()) {

        unChar = Serial.read();

        if(unChar=='A') {

            motor1(); }

        if(unChar=='B') {

            motor2();

        }

        if(unChar=='H') { permis_A = 1; digitalWrite (led_A, HIGH); }

        if(unChar=='I') { permis_A = 0; digitalWrite (led_A, LOW); }

        if(unChar=='J') { permis_B = 1; digitalWrite (led_B, HIGH); }

        if(unChar=='K'){ permis_B = 0; digitalWrite (led_B, LOW); }

        if(unChar=='a'){ permis_C = 1; digitalWrite (led_C, HIGH); }

        if(unChar=='b'){ permis_C = 0; digitalWrite (led_C, LOW); }

        if(unChar=='c'){ permis_D = 1; digitalWrite (led_D, HIGH); }

        if(unChar=='d'){ permis_D = 0; digitalWrite (led_D, LOW); }

    }

}

```

```

void motor1(){
    delay(20);
    while (Serial.available()) {
        char c = Serial.read();
        readString += c;
    }
    if (readString.length() >0) {
        Serial.println(readString.toInt());
        //-----
        if (permis_A == 1) {
            myservo1.write(readString.toInt()-1); }
        //-----
        if (permis_B == 1) {
            myservo3.write(readString.toInt()-1); }
        //-----
        if (permis_C == 1) {
            myservo5.write(readString.toInt()-26); }
        //-----
        if (permis_D == 1) {
            myservo7.write(readString.toInt()-6); }
        //-----
        readString="";
    }
}

void motor2(){
    delay(20);
    while (Serial.available()) {
        char c = Serial.read();
        readString += c;
    }
}

```

```

if (readString.length() >0) {
    Serial.println(readString.toInt());
    //-----
    if (permis_A == 1) {
        myservo2.write(readString.toInt()-10); }
    //-----
    if (permis_B == 1) {
        myservo4.write(readString.toInt()); }
    //-----
    if (permis_C == 1) {
        myservo6.write(readString.toInt()+6); }
    //-----
    if (permis_D == 1) {
        myservo8.write(readString.toInt()+7); }
    //-----
    readString="";
}
}

```

02 de gener de 2019