

ENGINY

REVISTA DE L'ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR

ENGINY recull els millors treballs docents i de recerca que durant el curs s'han realitzat a les institucions de les tècniques d'Enginyeria i Matemàtiques

TREBALLS: Treballs docents / Treballs de Recerca /

4

ANY 2013
CURS
2011/12

EDITORIAL

BARTOMEU ALORDA

Grup de Sistemes Electrònics
Departament de Física
Universitat de les Illes Balears

Una vegada més, la bona feina feta dins les aules de l'Escola Politècnica Superior veu la llum amb una nova edició de la revista ENGINY. Vull aprofitar aquest editorial per donar les gràcies a totes les persones que hi han donat suport, dedicant-hi hores de revisió i creant propostes publicables per donar vida a la revista que ara teniu al davant. També us voldria convidar a continuar col·laborant-hi per mantenir l'espai divulgatiu que ha creat la publicació, que ha esdevingut tan important per a l'Escola. Voldria agrair especialment als col·laboradors de la revista les seves aportacions econòmiques, que fan possible editar en paper aquest cinquè número consecutiu: esperam continuar comptant amb el seu suport en endavant. Gràcies a tots i que puguem continuar el camí plegats.

Aquest número a la secció de *Treballs Docents* inclou un total de quatre memòries d'activitats docents proposades a diverses assignatures. Aquests treballs han servit per avaluar-ne els autors i, finalment, han estat seleccionats pel professor de cada assignatura per publicar-los a la revista. A la secció de *Recerca-Divulgació* es recullen un total de quatre excel·lents propostes, entre treballs de divulgació de professors i projectes de fi de carrera. Val a dir que la secció de *Recerca-Divulgació* ha anat guanyant empena any rere any.

De nou encoratj la comunitat universitària a participar en la propera edició de la revista Enginy@eps, per poder continuar gaudint d'aquest saludable exercici de divulgació i exposició pública de les tasques docents i de recerca. La crida a la participació ja està disponible a <enginy.uib.es>.

1ER CONGRÉS DE TURISME DIGITAL

BARTOMEU ALORDA

6 El Congrés de Turisme Digital és una aposta conjunta del Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics de Telecomunicacions, la Direcció General d'Innovació i Desenvolupament del Govern de les Illes Balears i la Universitat de les Illes Balears per crear un espai on les necessitats tecnològiques del sector turístic siguin analitzades en detall. Aquesta primera trobada, que va tenir lloc el dia 14 de març, es va proposar amb una clara visió de continuïtat, per obrir una reflexió al voltant del nou context amb el qual el sector turístic s'enfronta, tant des del punt de vista de la crisi econòmica mundial com dels nous models turístics que es necessita implantar per atendre els reptes de reconversió de destinacions turístiques madures. La proposta va aprofundir en la utilització de les tecnologies de la informació en aquesta reconversió.

Hi va haver dues taules rodones: la primera, centrada en la identificació de les necessitats i el posicionament del sector enfront del turisme digital; la segona, centrada en la reconversió d'una destinació turística madura i en una proposta d'evolució cap al turisme digital. En tots dos actes es varen fer aportacions molt interessants, que permeten entreveure que el turisme digital s'està obrint camí i és una opció important a l'hora de reconvertir una destinació turística obsoleta.

El Congrés va permetre donar a conèixer un conjunt d'ofertes, solucions i projectes tecnològics que es desenvolupen a les Illes Balears. En aquest sentit, es va comptar amb les propostes de Turistec, Prodigy Consultores, Inisle, el Laboratori de Tecnologies de la Informació i Multimèdia, Lux Mallorca, Grup Serra, IB-red, Fem TIC i BOXX.

Finalment, es va presentar el projecte de reconversió de la Platja de Palma, basat en una aportació diferent, anomenada SmartWifiPdP.

La jornada va deixar un regust molt bo a tots els assistents i participants, de manera que creiem que s'han creat les sinergies necessàries perquè per a l'any vinent es pugui organitzar el Segon Congrés de Turisme Digital. Seguiu l'espai <turismedigital.uib.cat> per saber-ne més.



«SMART DESTINATION». LA TECNOLOGIA APLICADA A L'ENTORN D'ACOLLIDA

BARTOMEU ALORDA

Eficiència, sostenibilitat i intel·ligència són alguns dels termes que s'associen al concepte de *smart city*. Aplicant aquest terme a diferents camps, el concepte de ciutat intel·ligent, ciutat sostenible o ciutat eficient esdevé un desig compartit des de molts àmbits en els temps que corren.

La utilització de la tecnologia aplicada a la recollida i transmissió d'informació i a la presa de decisions és un procés fonamental per aconseguir una ciutat al servei de les persones. I sobretot si la ciutat ha d'acollir igual residents i turistes. Sentir-se acollit per la destinació turística defineix un nou concepte que rep el nom de *smart destination*, que possibilita al turista sentir-se integrat a l'entorn d'acollida i amb més capacitat per interaccionar-hi. Així doncs, definir una *smart destination* implica situar al nucli de les accions les persones: els turistes, sí, i també els residents. Al voltant de les persones han d'aparèixer les activitats en relació amb uns espais eficients, el control mediambiental, la gestió de la il·luminació, l'administració electrònica, els nous camins de participació ciutadana, la mobilitat sostenible, la millora dels nivells de seguretat i l'atenció social personalitzada...



Per poder dur a terme la llarga transformació que suposa aplicar el concepte de *smart destination* és de vital importància comptar amb tots els sectors de la societat, ja que les interaccions són inevitables, o més ben dit, desitjables. El sector privat i el sector públic han de treballar coordinadament, ja que es necessita que sigui així des del moment que es comparteix un territori. Qualsevol iniciativa projectada sense tenir en compte ambdós sectors tendirà a la desaparició o a la marginació. En aquest sentit, i amb l'objectiu d'optimitzar recursos, les entitats públiques i les entitats privades han de treballar conjuntament, no per l'eficiència econòmica, sinó per l'optimització de recursos, per propiciar una qualitat de vida intel·ligent a les persones que comparteixen un territori.

D'aquesta feina que s'ha de fer conjuntament, el sector innovador que representa a les Illes Balears la Universitat no en pot quedar fora, o més ben dit, hi ha de posar el seu granet d'arena per retornar a la societat el fruit de la tasca docent i investigadora que desenvolupa. En aquest sentit, la Universitat de les Illes Balears el passat mes de juliol va firmar un conveni marc de col·laboració amb l'àrea delegada de seguretat de l'Ajuntament de Palma per crear sinergies i voluntats per treballar conjuntament. Una de les aportacions fetes en aquest marc ha estat definir un model de transformació tecnològica de la Platja de Palma en *smart destination* basat en una infraestructura denominada SmartWifiPdP.

El camí iniciat es basa en la cooperació i en la coordinació de recursos per esdevenir útils a la societat que ens acull com a Universitat i de la qual formam part.

CÀTEDRA SAMPOL D'EFICIÈNCIA I GESTIÓ ENERGÈTICA

ANDREU MOIÀ POL I VÍCTOR MARTÍNEZ MOLL

Co-Directors de la Càtedra

SAMPOL Ingeniería y Obras, SA, és una empresa familiar amb més de setanta-cinc anys d'història, de capital íntegrament balear, que sota la direcció del seu president, don Gabriel Sampol, ha aconseguit comptar actualment amb delegacions i projectes tant en l'àmbit nacional com internacional.

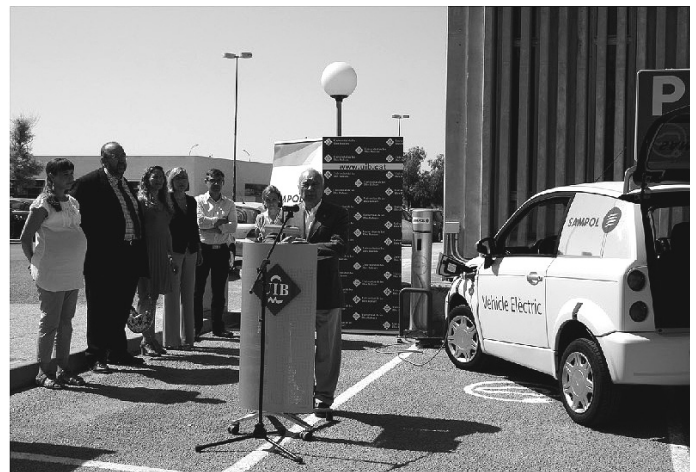


L'activitat de l'empresa se centra en quatre grans línies de negoci: les infraestructures elèctriques, la generació energètica, l'obra civil i les aplicacions tecnològiques. En totes aquestes àrees l'empresa destaca per l'objectiu d'excel·lència en la recerca de l'eficiència energètica.

La **Càtedra Sampol d'eficiència i gestió energètica** és l'evolució natural de la Càtedra Sampol inicialment creada l'any 2008 entre Sampol Ingeniería y Obras, SA, i la Universitat de les Illes Balears. Té com a objectius: promoure les activitats docents en l'àrea de la gestió energètica i les energies renovables; organitzar activitats divulgatives de la gestió integral i de l'eficiència energètica i participar-hi; i fonamentalment realitzar tasques de recerca i desenvolupament (R+D) conjuntes UIB - Sampol Ingeniería y Obras, SA.

En el marc d'aquestes línies de treball, la Càtedra ha realitzat les activitats següents al llarg del curs acadèmic 2012-13:

Referent a la docència, l'activitat portada a terme per la Càtedra Sampol ha consistit a donar suport a les accions formatives de l'assignatura optativa Energies Renovables (4705).



Sistema de RVE, UIB (Sampol)

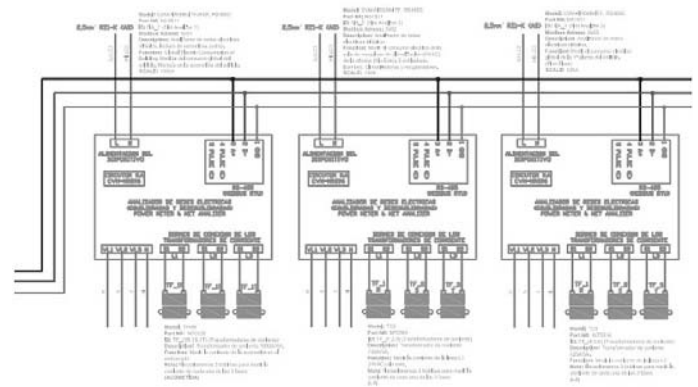
En el marc de les actuacions conjuntes de recerca i desenvolupament (R+D) que s'han portat a terme de forma conjunta per part dels membres de la Càtedra Sampol de la UIB i els membres de la divisió R+D del departament d'Energia de Sampol Ingeniería y Obras, SA, cal remarcar les següents per la seva rellevància:

La implantació d'un sistema de quatre punts de recàrrega de vehicles elèctrics a la UIB (ed. Ramon Llull) i deu punts de recàrrega al ParcBIT (zona de la central de cogeneració), portada a terme al llarg del present curs acadèmic, en el marc del projecte tractor del ParcBIT SmartBit, liderat pel departament de R+D de Sampol Ingeniería y Obras, SA. Aquest sistema de recàrrega fou inaugurat el 21 de juny de 2012 pel senyor Gabriel Sampol, president de Sampol Ingeniería y Obras, SA; el doctor Andreu Moià, director de la Càtedra Sampol d'eficiència i gestió energètica de la UIB; la doctora Maria Calafat, responsable de R+D+I de Sampol Ingeniería y Obras, SA; la doctora Raquel Herranz, vicerectora d'Infraestructures i Medi Ambient de la UIB; el senyor Jaume Ochogavia, director general d'Indústria i Energia; i la doctora Montserrat Casas, Rectora de la UIB.



Sistema de RVE, ParcBIT (Sampol)

L'activitat més important que ha portat a terme al llarg del present curs acadèmic l'equip de la Càtedra Sampol és la realització de tasques conjuntes de R+D amb la divisió R+D del departament d'Energia de Sampol Ingeniería y Obras, SA, en el marc del projecte FP7 Wattalyst, del qual l'empresa és soci oficial. L'objectiu d'aquest projecte és la generació de coneixement en el marc de les tecnologies de la informació i de les comunicacions. Especialment en el sentit d'estudiar com es poden fer servir per fer més efectives i eficients les solucions i actuacions basades en un model DR (demand-response).



Sistema de Metering Wattalyst, Anselm Turmeda (UIB)

Concretament en el marc d'aquest projecte l'equip de la Càtedra ha realitzat el pla executiu d'implantació d'un sistema de monitoratge remot del consum de l'edifici Anselm Turmeda (campus de la UIB), així com de les diferents variables ambientals d'aquest edifici, a fi de dotarlo dels equips de mesura necessaris perquè es pugui emprar com a lloc de proves (test site) del projecte Wattalyst a la UIB.

LA CÀTEDRA ENDESA RED I EL VEHÍCULE ELÈCTRIC

**M. ROCA (Director), J. FRAU (Coordinador Endesa),
B. MAS, V. SALAS I M. VICEDO**

A dia d'avui, el vehicle elèctric dins la societat actual, és una realitat cada vegada més consolidada. En els darrers anys, els principals fabricants, han tret al mercat vehicles completament elèctrics com és el cas de Nissan, Peugeot o Mitsubishi. Dins el primer semestre de 2012, la venda de vehicles elèctrics es va incrementar un 92%, amb el lideratge de Mitsubishi amb el seu model i-Miev, seguit de Peugeot amb el model iOn, Citroën amb el C-Zero i Nissan amb el Leaf. No obstant, si es contempla tot l'any 2012, el vehicle més venut i que ha resultat ser el més popular dins la societat malgrat no tractar-se d'un cotxe, sinó d'un quadricicle, és el Renault Twizy.

El vehicle elèctric, com és sabut, presenta tot un seguit d'avantatges, prou importants respecte als vehicles convencionals amb motor de combustió. Un dels principals avantatges, és la millora en la eficiència energètica global. D'aquesta manera des de la producció de l'energia primària fins que l'energia és transferida a la roda (el que es coneix com "From Well to Wheel"), el vehicle elèctric aprofita entorn al 28% mentre que el de combustió interna només s'apropa al 15%. Aquesta eficiència global del vehicle elèctric quasi duplica a la del vehicle de combustió convencional.

Amb el vehicle elèctric, les emissions de CO₂ es redueixen considerablement, i si a més, es considera realitzar la recàrrega de les bateries mitjançant l'ús d'energies renovables, aleshores es podria arribar a parlar de 0% d'emissions.

No obstant, aquest tipus de vehicles a dia d'avui també presenten alguns desavantatges. El principal és la reduïda autonomia de les bateries i el seu elevat cost. Però es creu fermament que aquests desavantatges s'aniran diluint a mesura que la tecnologia aporti noves millores dins aquest camp (majors densitats energètiques, menors preus per economies d'escala,...).

Tots aquests desavantatges esmentats, conjuntament amb el fet de que l'extracció de petroli cada vegada resulta més complicada i més costosa, fan que l'entrada del vehicle elèctric dins el mercat sigui, a la vegada que lenta, però irreversible, fet que ens durà a una nova concepció de la mobilitat terrestre, que requereix d'un exhaustiu anàlisi tècnic, econòmic i social.

La tecnologia del vehicle elèctric avança, i com es compreniu les empreses elèctriques, tant generadores com distribuïdores d'energia, han d'estar preparades per poder fer front i gestionar de manera eficient la càrrega massiva de vehicles elèctrics que es produirà en el futur. Cal entendre que les empreses elèctriques, contribuiràn també en un futur en una funció similar a la que actualment coneixem fan les benzineres, seran les benzineres elèctriques o "electrolineres", per fer càrrega ràpida de les bateries del vehicles .

En quant als vehicles, podem observar que s'ha realitzat un pas previ a la mobilitat explícitament elèctrica, essent a dia d'avui el moment dels vehicles híbrids com a etapa de transició a la mobilitat elèctrica 100%, i que està facilitant una adaptació a la mobilitat elèctrica, que tot i ser lenta, és irreversible. Els vehicles totalment elèctrics que existeixen actualment, són adients per a trajectes curts, inferiors a 100-200 kilòmetres diaris i sobretot per zones urbanes, on augmenta la seva eficiència gràcies a la regeneració energètica que es produeix en les frenades o en les desacceleracions.

La Càtedra Endesa Red d'Innovació Energètica de la Universitat de les Illes Balears, està treballant dins un projecte de mobilitat eficient des de 2010, conjuntament amb l'Ajuntament de Palma i amb Endesa Red de Balears, des del qual desenvolupem projectes relacionats amb les disciplines que envolten la tecnologia del vehicle elèctric.



Cal emfatitzar el canvi de mentalitat, necessari dins la societat, en front a aquest nou tipus de mobilitat, on el probable estàndar de “repostatge” no serà cada 100-200 kilòmetres, sinó que ho farem cada dia (probablement durant les nits) des de les nostres cases, de la mateixa manera que ho fem ara, per exemple amb el nostre telèfon mòbil. Per això, la importància de crear una eficient infraestructura de punts de recàrrega en edificis i habitatges, a més d’altres, en llocs públics, amb capacitat de telegestió, és essencial per no fer dues passes endavant i una passa enrera.

11

Dins la Càtedra estam realitzant estudis que permetin conèixer el consum d’un vehicle elèctric en funció dels diferents paràmetres de conducció, per tal de subministrar modes de conducció eficient, que permetin aprofitar l’energia de la millor de les maneres, a més de permetre predir consums energètics ateses les característiques geogràfiques d’una regió i els modes de conducció de la seva població.

Control de una bomba de achique

Pedro Rosselló Perelló, Francisco Manuel Pozo Pérez

Abstract—En este artículo se presenta la simulación de un sistema de drenaje de una mina. El sistema simula la presencia de una bomba de achique, unos sensores de gases, un sistema de alarmas y una interfaz para el operario. Cada uno de estos componentes es instalado sobre un microcontrolador dsPIC30F4011. Un sistema operativo de tiempo real (RTOS) llamado FreeRTOS es el encargado de dar soporte a las aplicaciones que simulan dichos componentes. A su vez, se utiliza el protocolo de comunicaciones CAN para para el envío y recepción de mensajes entre los diferentes nodos del sistema.

I. INTRODUCCIÓN

EN este proyecto se ha emulado un sistema simplificado de control de una bomba para una mina. El sistema se utiliza para bombear a la superficie el agua extraída del sumidero del pozo de una mina. El principal requisito de seguridad es que la bomba no debe funcionar cuando el nivel de gas metano o el nivel de monóxido de carbono en la mina sea alto, debido al riesgo de explosión e intoxicación de los operarios respectivamente.

El sistema está separado en cuatro nodos diferentes, el Nodo Bomba (Nodo B) encargado de gestionar el funcionamiento de la bomba de achique, el Nodo Nivel de Gases (Nodo NG) que monitoriza los niveles de gases dentro de la mina, el Nodo Alarmas de Gases (Nodo AG) y por último, el Nodo Monitor (Nodo M). Estos nodos mantienen una comunicación constante intercambiando información tal y como muestra la figura siguiente.

A. Nodo Bomba

Este nodo esta formado por un computador que recibe constantemente el nivel del agua del pozo desde el transmisor de una boya. Dicho computador aplica un algoritmo PID (*Proporcional Integral Derivativo*) sobre el nivel del agua para calcular la potencia a la cual debe trabajar la bomba extractora y enviar dicha información directamente a la bomba extractora de agua.

En este nodo también se encuentra un comunicador encargado de recibir órdenes para incrementar o decrementar la potencia de funcionamiento de la bomba por parte del operario desde el nodo M, aplicándose dichos cambios directamente sobre el estado actual de la bomba (relativo), al igual que también una señal de parada de emergencia proveniente del nodo NG.

Siempre y cuando el nivel del agua permanezca por encima del 35% y por debajo del 65% el operario podrá incrementar o decrementar la potencia de la bomba, de lo contrario únicamente ésta se registrará por la potencia calculada por la tarea computador. Todo esto se aplicará mientras los niveles de monóxido de carbono y metano están en unos niveles no críticos. Si alguno de los niveles anteriores alcanza un nivel

crítico, la bomba se detendrá automáticamente sea cual sea el resultado del PID o las órdenes del operario.

El comunicador envía en todo momento el nivel actual del agua dentro del sumidero al nodo monitor para que el operario pueda consultarlo.

B. Nodo Nivel de Gases

El nodo NG tiene un computador parecido al que tiene el nodo B, este computador recibe constantemente los niveles actuales de gas metano y de monóxido de carbono de dentro de la mina. Si alguno de estos gases llega a un nivel crítico, el computador informará mediante un mensaje al comunicador del mismo nodo para que envíe un mensaje de parada al nodo B y uno para la activación de las alarmas de alerta al nodo AG.

Mientras alguno de los gases permanezca en nivel crítico, el computador sigue necesitando constantemente el nivel del mismo para que en el momento en el que deje de estar en dicho nivel, permita a la bomba su normal funcionamiento y el mensaje al nodo AG para que dejen de sonar.

C. Nodo Alarma de Gases

Este nodo es el encargado de activar y desactivar las alarmas por nivel crítico de alguno de los gases. Si el nodo NG detecta que alguno de los niveles es crítico, el nodo AG recibe el mensaje correspondiente y activa la alarma adecuada. Cuando recibe el mensaje de apagar las alarmas debido a que los niveles de los gases vuelven a estar en un nivel no crítico, detiene los avisos de alarma.

En el caso de que el operario desde el nodo M decida silenciar las alarmas, el nodo AG silenciará pero no apagará los avisos por nivel crítico de monóxido de carbono o metano.

D. Nodo Monitor

Este nodo únicamente simula una serie de pantallas e indicadores que podría tener un operario en su ordenador. Recibe el nivel del agua del sumidero del nodo B y los niveles de gases junto a un aviso de si alguno está en nivel crítico por parte del nodo NG.

Desde este nodo se envía un mensaje para silenciar, que no detener, las alarmas del nodo AG, y también unas señales para incrementar o decrementar la potencia de succión de la bomba de extracción de agua del nodo B.

II. PLATAFORMA

A. Hardware

La red esta formada por cuatro nodos que se describen a continuación conectados a un solo bus de comunicaciones serie con cuatro conectores DB9. Las placas utilizadas se dividen en tres componentes, cada uno integrado en el siguiente.

Cada uno de los nodos mencionados en el apartado anterior están representados por una placa UIB.PC104 de ingenia-cat S.L. Que permite al módulo iCM4011 actuar sobre las entradas y salidas conocidas comúnmente como interfaces de usuario. En el módulo iCM4011 hay integrado un Microcontrolador dsPIC30F4011.

B. Software

Para el SOTR se utiliza la librería de FreeRTOS. FreeRTOS es un líder de mercado de los SOTR creado por *Real Time Engineers Ltd.* Tiene un desarrollo profesional, un control de calidad estricto, robusto, con soporte además de su uso sea gratuito para productos comerciales sin ninguna obligación de exponer el código fuente del propietario del programa.

Es un sistema multitarea apropiativo, es decir, las tareas compiten por ejecutarse en el procesador.

El procesador planifica qué tarea debe ejecutarse en cada momento mediante un componente funcional llamado *Scheduler* el cual reparte el tiempo disponible del microprocesador entre las tareas que están disponibles para su ejecución.

Una tarea puede encontrarse en cuatro posibles estados, entre ellos el de disponible (*Ready*), los cuales son explicados a continuación junto a un esquema con sus posibles transiciones en la figura 2.

- 1) *Running*: Cuando la tarea se esta ejecutando, está utilizando el procesador.
- 2) *Ready*: Las tareas en estado *Ready* son las que están preparadas para ejecutarse, pero no están siendo ejecutadas porque una tarea diferente de igual o mayor prioridad se esta ejecutando.
- 3) *Blocked*: Una tarea se dice que está en el estado *Blocked* si está a la espera de un evento temporal o externo. Las tareas también pueden estar en este estado mientras esperan los eventos de una cola o un semáforo. Estas pueden tener un *timeout*, después del cual son desbloqueadas. Las tareas bloqueadas no compiten por el procesador.
- 4) *Suspended*: Las tareas en este estado no compiten por el procesador, al igual que en el estado *Blocked*. Las tareas entran al estado *Suspended* cuando reciben el comando *vTaskSuspend()* y salen de este estado con la función *vTaskResume()* ya que no se puede definir un *timeout*.

Una tarea en estado *Running* devuelve el control del procesador al *Scheduler* cuando se llama a la función *vTaskDelay(time)* entonces la tarea pasará a estado *Blocked* el tiempo pasado por parámetro, o con la función *taskYIELD()* que pasa directamente al estado *Ready*. El SO proporciona herramientas de concurrencia y comunicación entre las tareas como son los semáforos, cola de mensajes y *mutex*.

Existe archivo de configuración llamado *FreeRTOSConfig.h* en el que se pueden configurar por el usuario los parámetros necesarios para el hardware en particular y los requerimientos de la aplicación.

III. DESARROLLO

En este apartado se detalla las funciones más importantes utilizadas en el proyecto separadas en mensajes definidos y los distintos nodos del sistema.

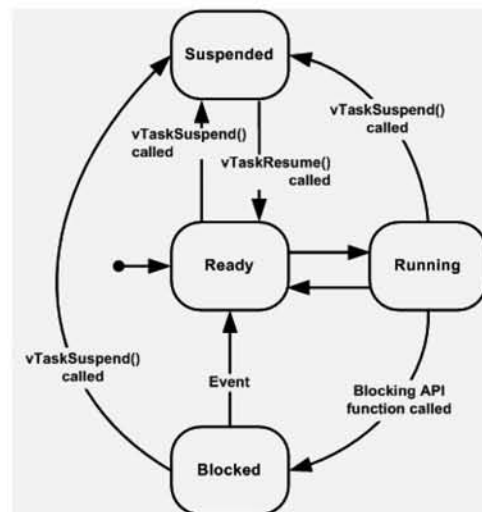


Fig. 1. Estados FreeRTOS

A. Mensaje Definidos

La red de mensajes definidos es una red CAN en la que los mensajes tienen un identificador por el cual todos los nodos conectados a la red pueden saber quién es el emisor y qué datos contiene dicho mensaje.

En esta práctica tenemos siete identificadores. Los consumidores, productores y la información de los mismos, se detallan en la tabla 1:

Productor	Información	Consumidores
Nodo Bomba	Nivel de Agua	Nodo Monitor/Sensores
Nodo Bomba	Potencia de la Bomba	Nodo Monitor/Sensores
Nodo Sensores	Nivel Crítico Metano	Nodo Bomba/Alarmas
Nodo Sensores	Nivel Crítico Monóxido	Nodo Bomba/Alarmas
Nodo Sensores	Niveles de Gases	Nodo Monitor
Nodo Monitor	Silenciar Alarmas	Nodo Alarmas
Nodo Monitor	Incremento Potencia	Nodo Bomba

TABLE I
MENSAJES DEFINIDOS

Gracias a la función *CANConfigure* se configura cada uno de los nodos para recoger la información de únicamente los mensajes cuya información necesiten para su correcto funcionamiento.

B. Introducción a Nodos del Sistema

Todos los nodos del sistema están divididos en una serie de tareas de FreeRTOS que se ejecutan periódicamente controladas por el *Scheduler* de cada nodo.

Todos los nodos del sistema tienen una tarea comunicador, encargada de recibir los mensajes FreeRTOS de su nodo y enviarlos a la red CAN para que los nodos que necesiten la información de dicho mensaje. Los nodos recogerán el mensaje CAN mediante su propia tarea comunicador, que a su vez la enviará mediante mensaje FreeRTOS a la tarea que necesite dicha información.

C. Nodo B

Esta es la aplicación más compleja del sistema. No por la cantidad de tareas que tiene sino por las funciones del computador, en especial la función de cálculo de potencia de la bomba.

Para la función *Do_PID* es necesario que se definan principalmente cuatro variables (Kp, Kd, Ki y Tiempo). La variable Kp (proporcional) determina la reacción del error actual, la variable Kd (derivativo) determina la reacción del tiempo en el que el error se produce y por último, la variable Ki (integral) reduce el error estacionario. Modificando estas variables se ajusta la salida.

1) *Tarea Actuator*: El actuador o bomba de extracción es la tarea que simula el funcionamiento de la bomba de la mina. Empieza esperando un mensaje de FreeRTOS que proviene de la tarea computador con el nivel de potencia a la que debe trabajar si no ha recibido el mensaje FreeRTOS proveniente de la tarea comunicador de detención por nivel crítico de gases.

2) *Tarea Nivel de Agua*: Esta tarea lee una variable global que simula el nivel del agua y lo envía mediante un mensaje FreeRTOS al nodo computador.

3) *Tarea Computador*: La tarea del computador permanece bloqueada hasta que recibe el mensaje con el nivel del agua y lo utiliza como argumento para la función *Do_PID* y la modifica si se recibe la orden de incrementar o decrementar la potencia de la bomba desde la tarea comunicador. Una vez obtenida la potencia total se envía mediante mensaje a la tarea bomba.

D. Nodo NG

La mayor complejidad de este nodo reside en la tarea computador ya que el resto de tareas son triviales.

1) *Tarea Sensor CH4*: Esta tarea lee una variable global que simula el nivel de CH4 y lo envía mediante un mensaje FreeRTOS al tarea computador.

2) *Tarea Sensor CO*: Al igual que la tarea anterior, esta tarea lee una variable global que simula el nivel de CO y lo envía mediante un mensaje FreeRTOS al tarea computador.

3) *Tarea Computador*: Ya que el computador precisa el nivel de ambos gases, empieza su ejecución esperando a recibir los mensajes que provienen de las dos tareas anteriores. Para realizar la simulación de la subida o bajada del nivel de los gases también precisa la potencia actual de la bomba ya que mientras esta está en funcionamiento, los gases se irán acumulando en el interior de la mina.

Una vez recibidos el nivel de los gases, analizará si alguno de ellos se encuentra en un nivel crítico. En el caso de que anteriormente alguno de estos niveles fuera crítico y ahora deja de serlo, envía el mensaje de cambio de estado a la tarea comunicador.

E. Nodo AG

Este nodo es el más simple del sistema, ya que únicamente recibe mensajes a través del bus CAN y obra en consecuencia.

1) *Tarea Alarma CH4*: Esta tarea es la encargada de activar o desactivar el *buzzer* mediante la función *BuzzerPlay* simulando el sonido de una alarma. El estado de la alarma también se muestra por el LCD mediante la función *LCDWriteString* si esta activada o desactivada ya que se puede recibir un mensaje FreeRTOS para silenciar la alarma. Silenciar las alarmas no las desactiva, por tanto seguirá mostrándose por pantalla el aviso de activada. Las señales activar y desactivar la alarma esta tarea la recibe por mensaje FreeRTOS.

2) *Tarea Alarma CO*: La tarea de control de la alarma de monóxido de carbono funciona exactamente igual que la tarea anterior.

F. Nodo M

El nodo operador simula la interfaz usuario-máquina del sistema. No permite realizar grandes cambios en el funcionamiento del sistema, pero sí una constante monitorización.

1) *Tarea Incrementar Potencia*: Espera que se haya apretado el botón correspondiente al incremento de potencia en la bomba mediante la función *PushButtonRead* (que realiza un *polling* de teclado). Si el botón es el correcto, envía un mensaje FreeRTOS a la tarea comunicador con la orden de incremento.

2) *Tarea Disminuir Potencia*: Esta tarea funciona de manera equivalente a la anterior, la diferencia es el botón pulsado, y en el contenido del mensaje FreeRTOS, en el cual se envía la orden de disminuir la potencia.

3) *Tarea Silenciar Alarmas*: El funcionamiento de esta tarea es el mismo que las dos tareas anteriores salvo que se espera la pulsación de un botón diferente y que el contenido del mensaje FreeRTOS es el de silenciar alarmas.

IV. ESTUDIO DE LA MEMORIA

Este estudio de memoria ha sido necesario después de comprobar las limitaciones que tienen las placas utilizadas. Nos dimos cuenta de dichas limitaciones al crear el primero de los nodos, el nodo B, que a medida que añadíamos tareas nuevas y dichas tareas se volvían más complejas el nodo empezaba a funcionar mal llegando a un punto en el que dejó de funcionar.

Cuando nos encontramos con este problema, analizamos las especificaciones de las placas descubriendo que tienen una memoria RAM de 2 Kbytes. Esto es un problema para FreeRTOS ya que es un sistema operativo de tiempo real caracterizado por su alto consumo de memoria. El mayor consumo de memoria viene dado por la necesidad de reservar una gran cantidad de memoria para las variables de uso interno de FreeRTOS y las variables globales del programa. Este espacio de memoria recibe el nombre de *heap* el cual consume aproximadamente un 75% de la memoria disponible.

En la tabla 2 se detalla el consumo de memoria RAM de cada uno de los nodos del sistema.

Como se puede observar en la tabla, todos los nodos, por simples que sean, necesitan más memoria de la que se dispone. Se podría haber optado por utilizar SALVO OS ya que precisa de mucha menos memoria o un modelo de dsPIC de 4 KB de memoria. Se ha descartado el SALVO OS ya que su versión

Nodo	Heap	Tareas	Colas	Scheduler	Variables	Total
Bomba	1500 B	676 B	300 B	236 B	60 B	2772 B
Gases	1500 B	676 B	200 B	236 B	40 B	2652 B
Alarmas	1500 B	507 B	200 B	236 B	20 B	2463 B
Monitor	1500 B	676 B	100 B	236 B	20 B	2532 B

TABLE II
CONSUMO DE MEMORIA RAM

gratuita SALVO Lite no acepta más de tres tareas en cada nodo y no se disponía de recursos para la versión completa de SALVO OS ni para unas placas con mayor capacidad.

V. PROPUESTA DE MEJORA

El sistema descrito en este artículo, es un claro ejemplo en el que la fiabilidad es uno de los factores más importantes a tener en cuenta en el desarrollo. Ya que el sistema controla una serie de elementos y factores que en caso de mal funcionamiento podría ocasionar grandes daños materiales e incluso la pérdida de vidas humanas.

Hasta el momento, solo se ha descrito el sistema básico en el cual cualquier fallo o parada en el funcionamiento de alguna de las tareas, nodos o comunicaciones derivaría en un fallo global del sistema.

Se han estudiado dos posibles mejoras para mejorar la fiabilidad del sistema, en los cuales, los fallos que actualmente inutilizan el sistema, ahora tienen una solución para que todo siga funcionando correctamente. Dichas mejoras se basan en el uso de redundancia para conseguir tolerancia a fallos.

Los modelos citados a continuación no han sido implementados por falta de tiempo y recursos pero a medida que el proyecto avanzaba, el problema de la fiabilidad era un factor cada vez más importante y por ello creemos que es necesario comentarlo.

A. Modelo Duplicado

Este modelo de fiabilidad se basa en la implementación de un nodo respaldo para cada uno de los nodos del sistema, esto obligaría a tener duplicados todos los sensores y actuadores.

El funcionamiento del nodo respaldo se basa en interrogar constantemente a su equivalente para comprobar si esta presente en el sistema. En el caso de que no se reciba una respuesta, el nodo respaldo entenderá que el nodo principal no está operativo y tomará su lugar en el sistema.

Un nodo que retorne al sistema tras haber estado inoperativo, tomará el lugar del nodo de respaldo que ahora está como nodo principal del sistema. Esto hace que si el nodo sustituido se arregla, siga en el sistema como un nodo de respaldo.

Este modelo de funcionamiento no solventa el hecho de que un nodo envíe información errónea, pero sí soluciona la desconexión o pérdida de cualquier nodo.

B. Model de Funcionamiento Crítico

El modelo de funcionamiento crítico se basa de la implementación de un número impar mayor que uno de réplicas de cada uno de los nodos que en lugar de funcionar con nodos de respaldo, funcionan activamente todos ellos intercambiando

sus datos y enviando al resto del sistema la moda de dichos datos.

Por ejemplo, en los sensores de gases si se implementa este modelo con 3 nodos, si dos de ellos detectan un nivel de gas metano crítico y el tercero lo detecta normal, se envía al sistema la alerta de nivel de gas metano crítico.

Los nodos implementan un contador de errores el cual se incrementa cada vez que el resultado de este nodo difiera de la mayoría. Este contador se reduce en una menor medida del incremento anteriormente citado por cada coincidencia con la mayoría. En el caso de alcanzar un valor límite de errores, el nodo se desconectará del resto del sistema y su voto no se toma en cuenta. Internamente dicho nodo sigue calculando sus errores y si sus resultados son correctos durante una serie de ciclos consecutivos, el nodo vuelve a las votaciones.

En el caso de que por alguna desconexión anterior el sistema quede con un número par de nodos del mismo tipo, dichos nodos tienen asignadas un peso relativo a ellos que en caso de empate, da un veredicto. Este peso puede ir en función de la calidad de los materiales (sensores, actuadores) del nodo.

Este modelo soluciona las carencias del modelo anterior, ya que no solo corrige la desconexión de un nodo, sino que también controla el mal funcionamiento de cualquiera de ellos.

VI. CONCLUSIONES

En esta práctica se muestra un ejemplo de implementación de un sistema distribuido de tiempo real en el que se ve el funcionamiento de las tareas y la sincronización entre ellas, lo cual es la base de cualquier sistema distribuido de tiempo real.

Este proyecto ha sido realizado utilizando el sistema operativo de tiempo real (SOTR) FreeRTOS, aunque podría haberse utilizado cualquier otro SOTR como SALVO OS, ERIKA Enterprise, Nokia OS, OPENRTOS, Real-Time Linux u otros muchos más.

AGRADECIMIENTOS

A los autores les gustaría agradecer a los profesores Julián Proenza y Guillermo Rodríguez-Navas por enseñarnos las bases de la asignatura.

REFERENCIAS

- [1] FreeRTOS - professional grade market leading RTOS. www.freertos.org/
- [2] RTOS Concepts. <http://www.chibios.org/>
- [3] *DsPIC30F4011/4012 Data Sheet, High Performance, Digital Signal Controllers*, Microship Technology Inc, 2005.
- [4] Alan Burns y Andy Wellings, *Sistemas de tiempo real y lenguajes de programación*, 3rd ed. Madrid : Addison-Wesley, 2003.

Pedro Rosselló Perelló Estudiante de la titulación de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas en la Universitat de les Illes Balears (UIB).
shodaime@gmail.com

Francisco Manuel Pozo Pérez Estudiante de la titulación de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas en la Universitat de les Illes Balears (UIB).

franciscopozoperez@gmail.com

Carretera d'Inca a Lluc

Guillem Caldentey Gelabert

Tercer curs de Grau en Enginyeria d'Edificació

guillem7@gmail.com

Resum— En aquest article es tractarà l'obra de la carretera d'Inca a Lluc, per Eusebi Estada. Veurem els detalls del seu projecte i el sistema previst per a la seva execució, donat que es tracta d'una carretera complexa. També comprovarem l'estat actual de la via, i farem referència a la seva importància per a la societat, tant en l'època de la seva construcció com actualment.

I. INTRODUCCIÓ

Eusebi Estada fou un personatge molt important a la seva època, i gràcies als seus esforços ens ha deixat un important patrimoni. Entre aquest patrimoni es troba la carretera d'Inca a Lluc, que va solucionar, i fins a l'actualitat, la comunicació en aquesta zona de muntanya.

II. L'AUTOR: EUSEBI ESTADA I SUREDA

En el segle XIX, varen sorgir uns grans canvis en tots els aspectes de la vida quotidiana. La ciència i l'economia serien una part indispensable per explicar del moviments i dels pensaments de la societat, ja que donen peu a una revolució burgesa recolzada pels moviments obrers i les seves necessitats vitals.

En quant als pensaments polítics, dominava l'imperialisme que poc a poc va anar donant poder al poble mitjançant el dret del sufragi universal i així les monarquies varen anar desapareixent. Tot això va provocar un canvi de mentalitat, i es varen expandir les idees republicanes i liberals, amb l'objectiu de crear una nova societat.

Va ser en aquest segle quan neix un dels personatges mallorquins més importants de la nostra història, l'Enginyer Eusebi Estada Sureda. Va néixer el 1.843, a l'illa de Mallorca. Es va traslladar a Madrid per fer la carrera d'Enginyer de Camins, Canals i Ports, fins l'any 1.868, que va ser titulat com a tal. Podem assegurar que la corrent de pensaments que hi havia a l'època va ser una font d'inspiració per a ell, ja que aquests estudis existien feia relativament poc.

Va ser en el segle XVIII amb el moviment il·lustrat i el racionalisme, que apreciava la geometria i la seva estètica pròpia, quan sorgeix la figura de l'Enginyer dedicat a les tasques de construcció civil.

Podem dir que Estada era un privilegiat i una persona molt capacitada. Als 3 anys d'acabar la carrera, al 1.871, va publicar un estudi per la construcció d'un ferrocarril des de Palma, fins a Inca, que va donar com a resultat la creació de la Societat del Ferrocarril de Mallorca, de la qual va ser l'enginyer vitalici.

Amb la seva supervisió va ser construït el ferrocarril de Palma-Inca entre 1.873-1.875, més tard, va supervisar l'expansió del ferrocarril fins a Sa Pobla (1.878), Manacor (1.879), Felanitx (1.897) i Santanyí (1.903).

Va ser el cap d'obres públiques de Palma fins l'any 1.907, i va ser uns dels màxims responsables de l'ampliació i

reparació del tram de carreteres de l'illa. La carretera que destacam, és la d'Inca fins el Monasteri de Lluc, per la seva complexitat degut a les irregularitats del terreny.

A part de ser un enginyer fantàstic, va dedicar la seva vida a l'actuació pública. Va fer un estudi exhaustiu amb el qual, l'any 1.855 va fer un fulletó. 7 anys més tard va publicar un llibre: *La ciudad de Palma. Su industria, sus fortificaciones, sus condiciones sanitarias y su ensanche, al any 1.892*

Aquest llibre sintetitzà de forma brillant i tècnica les aspiracions d'una ciutat que necessitava una modernització degut a les corrents de pensament i els avanços científics i econòmics.

Va seguir un ideal d'higiene i va plantejar el problema que suposaven les murades de la ciutat, la necessitat d'expansió dels carrers per culpa de la densa població i la millora de les condicions sanitàries.

Va morir l'any 1.917, als 74 anys.

Degut a la importància i repercussió social i constructiva que va tenir i té, fins i tot avui dia, hi ha un carrer a Palma amb el seu nom. El carrer està situat en el districte nord de la ciutat i travessa els barris de Arxiduc, Plaça de Toros i Son Oliva, amb una longitud de 1.600 metres.

III. LA CARRETERA D'INCA A LLUC

Entre les obres de carreteres que va dissenyar Eusebi Estada trobam la carretera d'Inca a Lluc. El projecte d'aquesta carretera, que data del 1884, fou redactat íntegrament per Eusebi Estada. Es tracta d'un tram de 16,418 km de longitud separats en 4 trams, que va adjudicar-se amb un pressupost de contracte de 435.566,37 ptes. El pressupost total, tenint en compte les despeses administratives, benefici industrial i costos imprevists estimats en un 1%, fou de 500.901,27 ptes. Actualment aquesta carretera rep el nom de Ma- 2130 i tenia l'any 2.007 un IMD d'uns 8.400 vehicles[4].

A. Context històric.

Cap als anys 1.870, a Mallorca es podien distingir dues zones principals molt diferenciades en el sentit de les comunicacions. La primera era la formada per la Serra de Tramuntana, en direcció Sud-Oest a Nord-Est, ocupant una faixa immediata a la costa Nord de l'illa. En aquesta zona destaca la serralada que és en general elevada, amb pics de 1.300 i 1.400 m d'altitud. En aquesta part de Mallorca, les vies de comunicació eren bastant escasses. Al Pla General hi havia una llacuna entre Sóller i Pollença, no travessada ni servida per cap carretera de l'Estat ni per cap camí veïnal entre els pobles situats dins la serra. Per tant, una zona

important de la serra només podia comunicar-se per camins de ferradura.

La segona zona consistia en la resta de l'illa, que és relativament plana i estava bastant ben servida quant a vies de comunicació ja que, tot i no tenir en molts casos l'ample necessari –majoritàriament eren antics camins habilitats per al trànsit– podia satisfer les necessitats de la població. En el Pla General de 1.864 sí que hi figurava una carretera de l'Estat entre Inca i Manacor. També en aquesta segona zona destacava la creixent xarxa de ferrocarril que estava contribuint a una millora de les comunicacions.

En aquella època, la majoria dels transports de persones es feien a peu o sobre cavalcadura, i es tendia a evitar els desplaçaments al màxim, donada la dificultat d'aquests. Llavors, els transports amb més importància eren els de les mercaderies: béns produïts a un lloc concret que s'havien de dur a un altre per poder vendre'ls. Per aquest tipus de transport el mitjà més habitual eren els carros, estirats per una o dues bèsties. En el cas de la zona muntanyosa entre Inca i Lluc, destacaven la producció d'olives i oli, així com la ramaderia d'ovelles i cabres. Per tant, aquella zona presentava problemes seriosos per comercialitzar els béns produïts, donada la dificultat de comunicació amb els nuclis més pròxims com per exemple Inca[2].

Per tal de millorar la situació, en el Pla General de l'11 de juliol de 1.878 s'afegí la carretera de Lluc a Santanyi, passant per Caimari, Selva, Inca, Manacor i Felanitx. Fou el 12 de febrer de 1.878 quan la Direcció General d'Obres Públiques aprovà el pressupost d'estudi de la secció Lluc-Inca, disposant que es comencés a redactar el projecte.

B. Situació inicial de la via.

En aquella època, el camí que hi havia fins a Lluc era el que anomenam actualment camí vell de Lluc. Era un camí relativament bastant transitat, tant pels habitants de la zona com per nombroses persones d'arreu de tota l'illa, que pujaven a peu fins a Lluc com a sacrifici religiós: és la pujada a Lluc a peu, tradició que encara es conserva avui dia.

Estada comenta que, fins aquell moment, la majoria del camí es trobava sense estudiar, tot i que estava habilitat per al trànsit públic, excepte en un tram entre Lluc i Caimari que era massa abrupte per ser aprofitat per transports sobre rodes. Aquest fet dificultava en gran mesura les comunicacions de la zona.



Fig. 1. Tram del camí antic que pujava a Lluc.

L'estudi de la via el començà l'enginyer Antoni Sastre, que va fer el plànol i perfil longitudinal del camí Lluc-Caimari del moment. Acabats els plànols, els treballs d'estudi es van

suspènre per atencions preferents dels serveis, i passat un temps fou quan va començar a treballar-hi Eusebi Estada.

En el moment de començar el seu projecte, l'enginyer féu una relació dels diferents trams del camí entre Lluc i Santanyi, i l'estat en què es trobaven:

TAULA I
ESTAT DE LES SECCIONS DE LA VIA LLUC- SANTANYÍ CAP AL 1.880 [1]

Seccions	Situació	Longitud (m)	Estat
Lluc- Inca	-	_(¹)	En estudi
Inca- Sineu	1r Tram	4.970	Sense estudi
	2n Tram	2.030	Construït
	3r Tram	1.604	Projecte aprovat
	4t Tram	3.200	Construït
	5è Tram	1.600	Sense estudi
Sineu-Manacor	-	-	Sense estudi
Manacor - Santanyi	-	-	Sense estudi

(¹) En la majoria dels trams sense estudi, es desconeix la longitud del tram ja que no havia estat mesurada.

C. Inici del projecte.

A partir d'aquesta situació, Eusebi Estada començà a posar fil a l'agulla per aconseguir crear un projecte optimitzat al màxim, que resoldria definitivament les comunicacions de la zona.

Eusebi féu un estudi exhaustiu del trànsit que circulava per aquell camí en aquell moment, i estimà que hi passaven unes 180 cavalleries al dia. També estudià les poblacions properes, i va reunir un cens dels seus habitants. Entre els pobles de Selva, Manacor, Caimari, Biniamar, Moscarí i Binibona hi vivien unes 4.600 persones.

L'enginyer, després de visitar i estudiar l'espai, féu una descripció exhaustiva del terreny i del traçat que havia previst per a la nova via. Aleshores, incorporà al projecte un apartat de "*Descripció del terreno y del trazado*" on explicava punt per punt el traçat que seguiria la via. Per tal d'optimitzar al màxim els treballs d'execució de les obres, alhora que cercar una solució de carretera adequada per a la circulació, Estada conserva el traçat existent només en algunes zones, sempre donant una explicació raonable de cada decisió. Ho podem veure en el següent exemple: "*El nuevo trazado discurrirá por la ladera derecha, siendo del todo imposible [...] aprovechar la ladera izquierda para conducir el trazado [...] porque presenta el talud una pendiente excesiva, lo que requeriría una obra de fábrica de gran altura. Elegida la ladera derecha, hay que ir estudiando los numerosos accidentes que presenta el terreno para incurrir en el menor movimiento de tierras posible*" [1].

Com hem pogut veure, és ben falsa la dita que conta que a vegades s'alliberava una cabra i se seguia el camí d'aquesta per traçar la nova carretera. El mètode que va utilitzar Estada consistia en prendre dos punts de la carretera, i trobant el desnivell entre ells, triar la pendent de la via, que seria constant, i esbrinar el traçat exacte que permetés desenvolupar la pendent amb el menor esforç de desmunt i terraplè[1]. Donades les dificultats del terreny, es veié obligat a acudir en alguns punts a fer ziga-zagues com a darrer recurs per al desenvolupament del traçat. En ocasions s'ha de reduir el radi a 10 i fins a 8 m per no incórrer en un desmunt excessiu i a un terraplè amb mur de sosteniment. Ara bé, si ho comparem per exemple amb el Coll de Sóller on els radis són de fins a 6 m i no donen grans problemes, els radis de 8 m eren encara

acceptables. Un punt a favor era el fet que els carros eren normalment estirats per un o dos animals en paral·lel, i quasi mai per 3 o 4. Això facilitava el moviment dels vehicles en les corbes[2]. Actualment, pujant per la carretera en cotxe s'aprecia la pendent constant, ja que pràcticament no es necessita canviar de marxes: la qual cosa fa que sigui una pujada –o baixada– bastant còmoda per tractar-se d'una zona muntanyosa[3].

Per a la realització de les obres, l'enginyer va decidir que era necessària la construcció d'una caseta per als peons de camins, situada al segon tram de la carretera. Consistia en una casa de 13,80 x 13,10 m, d'una sola planta formada per dues unitats totalment simètriques. Cada unitat tenia una gran xemeneia, un espai per a cuinar i d'altres per a dormitoris. Era una estructura de murs de càrrega de paret verda de 55 cm de gruix, i coberta de teula amb fals sostre de canyissada. La gran inèrcia tèrmica i les xemeneies devien contribuir a un bon confort, necessari tenint en compte que és una de les zones més fredes de Mallorca.

Eusebi Estada va establir que l'origen de la carretera seria a la Col·legiata de Lluc, que era el punt central de la comarca des d'on irradiaven varis camins veïnals en diferents direccions, i era també la residència oficial de l'Ajuntament d'Escorca.

D. El projecte de la via

A partir de totes aquestes dades, Estada redacta un projecte molt exhaustiu on tenia pensat fins el més mínim detall. El document constava dels següents punts:

1. Memòria
2. Plec de Condicions
3. Pressupost total i parcials
4. Plànols
 - 4.1. Travessia de Caimari
 - 4.2. Travessia de Selva
 - 4.3. Perfils longitudinals de les travessies
 - 4.4. Perfils longitudinals del tram 1, 2, 3 i 4.
 - 4.5. Seccions de la via

Les seccions transversals, utilitzades per als càlculs de terraplè i desmunt, i en general tots els amidaments es troben inclosos en l'apartat de pressuposts parcials.

Plec de Condicions

L'enginyer comença fent una descripció de les obres per realitzar: detalls de les característiques de la carretera i de la caixa, incloent totes les mesures necessàries. A continuació, explica la tipologia de cuneta segons si el terreny és terra o roca, així com els talussos, desmunts i terraplens, les obres de fàbrica i de preparació del ferm. Finalment, dedica un apartat per a les obres accessòries on es detalla, entre d'altres coses, la casa per als peons de camins.

Més endavant, especifica el grau de qualitat necessari per a cada material utilitzat en les obres. Fa referència a la maçoneria, la calç, el ciment, l'arena, els morters, el formigó, l'àrid de la base i els productes de desmunt utilitzats per terraplenar. Destaca el detall amb què Estada descriu les característiques que han de complir els materials, així com la màxima optimització del material de la zona per evitar el transport. Hem de tenir en compte que en aquella època, i molt més en aquella zona de difícil accés, els transports de materials eren un problema. Podem veure aquí un esquema on Eusebi Estada fa una relació de l'origen de cada material:

TAULA III
ORIGEN DELS MATERIALS UTILITZATS [1]

Material	Procedència	Distància mitjana (km)
Carreus	Cantera Coll den Rebassa i Torre Rodona	Ferrocarril, 29 Camí ordinari, 11
Maçoneria de tota classe	Desmunts de la línia.	0,5
	Canteres immediates a la línia.	2
Lloses per paviments	Cantera Coll den Rebassa	Ferrocarril, 29 Camí ordinari, 11
Pedra gruixada per al ferm	Canteres immediates a la línia	1,5
Pedra per al ferm, cantells rodats	Camps i cursos fluvials propers a la línia	1
Arena	Camps i cursos fluvials propers a la línia	4

La gran abundància de pedra calcària en els primers trams facilità la construcció de les obres de fàbrica: els murs de sosteniment, així com els drenatges transversals. Aquesta optimització dels materials locals i l'exigència d'una bona qualitat de les matèries primeres, aconseguí una bona relació qualitat-preu de l'obra, una major durabilitat (els drenatges i ponts són encara avui dia els mateixos) i també un menor impacte en el medi ambient –tot i que en aquell moment no era un factor que es tingués gaire en compte–. És un exemple que s'hauria de seguir actualment: l'elaboració d'un projecte on s'hagin tingut en compte tots els aspectes de l'execució, i s'hi hagi treballat per a optimitzar-ne els recursos. D'aquesta manera s'evitarien molts imprevists i augments del cost d'execució innecessaris.

Pressupost

El pressupost constava d'un quadre de preus, un pressupost general i els pressuposts parcials.

Plànols

Els plànols ens permeten fer-nos una idea de la magnitud de les obres: s'hi fa referència a cada detall.

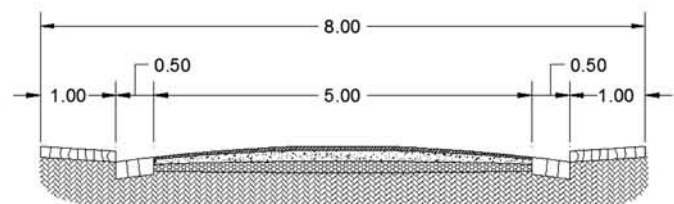


Fig. 2. Secció de la travessia de Caimari.

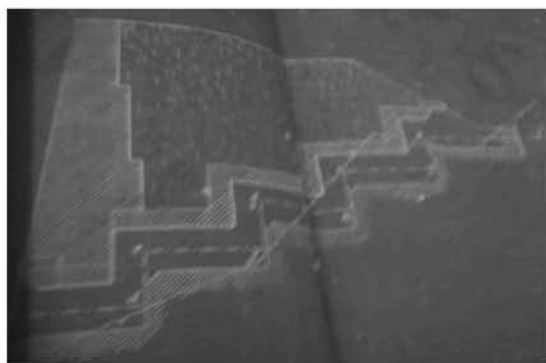


Fig. 3. Detall de la secció elaborada d'un drenatge transversal[1].

E. Integració ambiental de l'obra.

Com qualsevol obra, la carretera d'Inca a Lluç implica un cert impacte ambiental. La natura es troba en una situació diferent abans i després de la construcció d'una carretera. Ara bé, s'ha de tenir en compte que es tracta d'una via necessària a la zona, per poder facilitar les comunicacions dels seus habitants. A més a més, com hem vist abans es va optimitzar al màxim la seva construcció, utilitzant materials de l'entorn local i evitant els terraplens i desmunts excessius. Aquesta circumstància fa que l'impacte de la carretera es limiti pràcticament a la seva amplària, deixant el medi dels dos costats en la situació pràcticament original, ja que la vegetació ha pogut regenerar-se. També destaca que l'ample de la via és el just i necessari per al volum de trànsit que ha de portar, no és excessivament ampla.

Un inconvenient que pot tenir un ample de via estret, és que dificulta el trànsit de grans vehicles, com per exemple autobusos. Actualment, donat el fet que és una carretera molt turística, potser seria interessant augmentar-ne una mica l'amplada per millorar el trànsit dels autobusos i fomentar així l'ús del transport públic.

F. Integració social de la via.

Des que fou construïda, aquesta carretera va permetre una comunicació molt acceptable de tota la zona de muntanya al voltant seu. Els problemes de transport de béns desaparegueren, i va permetre així incentivar la producció dels cultius de les marjades i de la ramaderia.

G. Estat actual de la carretera.

Actualment, la via és menys utilitzada per part del sector primari, i ha augmentat molt el seu ús com a carretera turística, amb un IMD, com hem comentat, de 8.400 vehicles o més.

Podríem dir que la carretera es troba pràcticament igual que així com la defineix Estada en el seu projecte. Està clar que s'ha renovat la capa de rodadura una sèrie de vegades, ja que amb el temps i el trànsit intens es va desgastant. La resta d'elements, però, com les aceres o els ponts que creuen torrents i els drenatges transversals, segueixen essent els mateixos, la qual cosa ens indica que l'ample de la via ha de ser per força molt similar si no igual que l'ample original.

Destaca el fet que, en tractar-se d'una carretera de muntanya amb una certa pendent i corbes de radi petit, es necessita un asfalt més resistent a l'abració que per a una carretera plana i recta. Va succeir que el 2.005 es va asfaltar amb un material corrent, i això va implicar que el 2.008 s'hagués de tornar a asfaltar amb un asfalt més resistent pels nombrosos defectes que apareixien[4]. Actualment, la capa de rodadura de la carretera es troba en bon estat. S'ha de destacar

que la pendent constant impedeix que es formin bassals, i això ajuda a la fermesa del paviment.

L'única zona on s'han fet modificacions importants és el tram entre Inca i Selva, on s'ha renovat la capa de rodadura i s'ha augmentat l'ample de via; aquest tram es troba encara en obres. Aquestes modificacions formen part del projecte de reforma integral del tram Inca-Caimari.

Vegem una sèrie d'imatges de la carretera actual:



Fig. 4. Estat actual de la travessia de Caimari.



Fig. 5. Sortida d'un drenatge transversal.



Fig. 6. Pont per salvar un petit torrent.



Fig. 7. Tram amb mur de contenció de pedra calcària.

IV. REFLEXIÓ SOBRE POSSIBLES ALTERNATIVES A LA CARRETERA.

Sembla que aquesta carretera fou la millor solució possible, davant la necessitat de comunicar la zona muntanyosa de Lluç. Una altra alternativa hauria estat construir un ferrocarril, ja que en aquell moment s'acabava de construir la línia Palma-Inca i la necessitat més rellevant era la de transportar mercaderies. Ara bé, un ferrocarril no hauria cobert totes les necessitats, i s'hauria d'acabar millorant el camí vell per tal que permetés un petit trànsit rodat en tota la seva longitud. També s'hi ha d'afegir la gran dificultat de construcció que hauria tingut, a causa de les irregularitats del terreny i de la gran pendent que haurien de tenir les vies.

Per contra, la carretera era una opció molt més versàtil, capaç d'adaptar-se a l'orografia sense problemes importants, i suposant un cost molt menor. Per tant, tenint en compte les possibilitats existents, hem d'acabar dient que aquesta carretera era l'opció encertada.

V. CONCLUSIÓ

La carretera d'Inca a Lluç forma part de l'extens grup d'obres que ens deixà Eusebi Estada. Fou una obra projectada i duta a terme a consciència, tenint en compte tots els detalls. Gràcies a aquest fet, encara avui dia tenim la possibilitat d'arribar còmodament fins al monestir de Lluç, havent-ne renovat només la capa de rodadura.

Per acabar, cal destacar que de personatges com Eusebi Estada se'n troben molt pocs: fins i tot fou qualificat com l'autèntic Cerdà mallorquí. Un home treballador que va aconseguir conduir per un bon camí el procés d'expansió de gran part de Mallorca, i del qual perdura, i per molts més anys, un patrimoni del qual podem estar orgullosos.

VI. REFERÈNCIES

- [1] Eusebi Estada Sureda, *Proyecto de la carretera de Inca a Lluç*, 1884.
- [2] Entrevista amb Bartomeu Gelabert Mascaró, antic fuster de la ciutat de Manacor.
- [3] Visita de camp a la carretera.
- [4] Article sobre la Ma-2130. Reparacions de la via: http://www.diariodemallorca.es/secciones/noticia.jsp?pRef=200805220_0_3_360221_Part-Forana-carretera-Lluc-debera-reasfaltarse-defectos-firme
- [5] 150 anys d'obres públiques a les Illes Balears, *Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos*.

Ràdio Cognitiva

Bartolomé Solera Ripoll, Pedro Barea Jaume, Javier González Maimó
 3r d'Enginyeria Tècnica en Telecomunicacions, especialitat en Telemàtica

tolito_nevat@hotmail.com, pedrobareajaume@gmail.com, javig181@gmail.com

Resum—Avui en dia, podem dir que hi ha una saturació de l'espectre radioelèctric a tot el món, on cada país té assignades bandes de freqüències, les quals compleixen una funció específica per a cada un d'ells. Per això, en vista que estan creixent el nombre de serveis que utilitzen l'espectre (Wi-Fi, ràdio comercial, FM, AM, radioaficionats, TDT, transmissions reservades al govern per defensa ...) s'ha d'utilitzar algun mètode per a poder aprofitar-lo al màxim, perquè pugui ser utilitzat per a molts serveis i tots ells amb una QoS acceptable: la ràdio cognitiva.

I. INTRODUCCIÓ

Un dels problemes més greus de l'espectre radioelèctric, representat a la figura 1, és el desaprofitament dels espais que queden buits entre serveis d'usuaris que tenen una llicència per transmetre a l'espectre (operadors de telefonia, de televisió, ràdios comercials ...). Per això, s'han ideat sistemes anomenats de ràdio cognitiva. Els sistemes de ràdio cognitiva

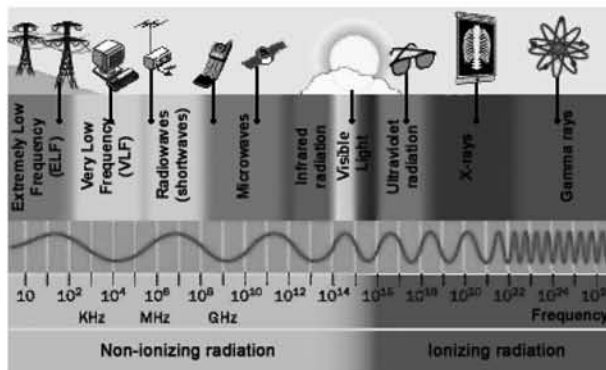


Figura 1. Utilització de l'espectre radioelèctric

estàn basats en **ràdio definida per software** (SDR, de l'anglès Software Defined Radio), que proporciona eines en temps real per poder fer front a les necessitats en cada moment dels usuaris. El SDR és un conjunt de software que realitza les mateixes funcions que el hardware d'un aparell de ràdio.

Per a poder dur a terme la idea principal de ràdio cognitiva s'han de complir alguns requisits per a poder mantenir la qualitat de la transmissió tant dels usuaris amb llicència (Usuaris primaris) com dels usuaris sense llicència (Usuaris secundaris):

- **Detecció y anàlisi espectral:** el sistema ha de ser capaç de detectar les bandes de l'espectre lliures per a poder assignar-les als usuaris.
- **Mobilitat espectral:** el sistema ha de ser capaç d'adaptar-se a les condicions en temps real per a poder adaptar canvis de bandes freqüencials i detecció de nous espais lliures de forma transparent per a l'usuari.

- **Compartir els recursos espectrals:** el sistema, a més, ha de ser capaç de mantenir la qualitat de transmissió de tot l'espectre evitant les interferències entre serveis que tenen llicència per transmetre a una banda de freqüències i altres serveis que no en tenen i transmeten a bandes lliures.

A. El concepte de Ràdio Cognitiva

Va ser introduït per Joseph Mitola III en un article escrit per ell i per Gerald Q. Maguire a l'any 1999, però realment on es va definir la idea va ser a la tesi doctoral Mitola anomenada "*Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio*" de l'any 2000, on defineix la ràdio cognitiva com *la identificació del punt on les PDA's (Personal Digital Assistants) sense fils i les xarxes relacionades, de forma computacional, són suficientment intel·ligents sobre els recursos radioelèctrics, i les comunicacions entre ordinadors per detectar les necessitats de comunicació dels usuaris en funció de l'ús i proveir els recursos ràdio i els serveis sense fils més apropiats per les necessitats de cada un* [1].

Es pot dir que abans de Mitola ja hi havia unes definicions de sistemes que podien decidir sobre el seu funcionament [2] i, de fet, a la ràdio cognitiva se la considerava com una extensió de Software Defined Radio.

Però la FCC (Federal Communications Commission) nord-americana li va donar una altra definició: *la ràdio cognitiva és un sistema ràdio capaç de canviar els seus paràmetres de transmissió basant-se en la interacció amb l'entorn en què opera*.

Mitola també introdueix el concepte de *Spectrum Polling*, que és un repartiment d'espectre entre usuaris primaris i usuaris secundaris.

B. Estandardització

Vista la complexitat tant tècnica com econòmica per a poder implementar sistemes de ràdio cognitiva, cal una estandardització d'aquests. Per poder solventar problemes de compatibilitat, s'ha creat l' **IEEE Standards Coordinating Committee (SCC) 41** que és l'encarregat d'estandarditzar l'**IEEE 1900** [3].

Aquest estàndard té els següents components:

- **IEEE 1900.1:** estudia la terminologia i conceptes relacionats amb Next Generation Radio and Spectrum Management com la gestió del espectre, SDR ...
- **IEEE 1900.2:** estudia i analitza l'interferència i coexistència dels canals.
- **IEEE 1900.3:** s'avaluen diferents conceptes sobre SDR.
- **IEEE 1900.4:** estudia com es podran connectar els dispositius dels usuaris a entorn sense fils heterogenis.

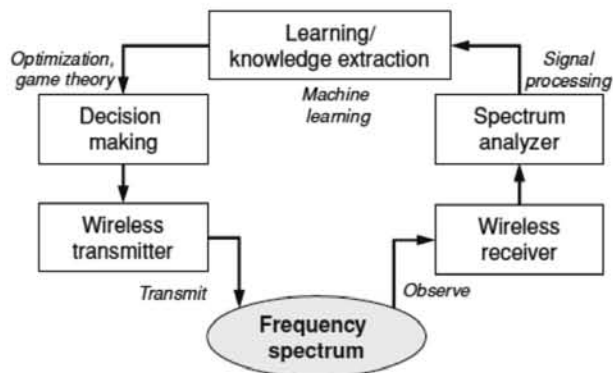


Figura 2. Funcionament d'un sistema amb Ràdio Cognitiva [4]

- **IEEE 1900.5:** estudia l'arquitectura i el llenguatge utilitzat tant a la gestió de ràdio cognitiva, com a l'accés a l'espectre
- **IEEE 1900.6:** estudia estructures de dades i interfícies DSA i d'altres sistemes de comunicacions ràdio.
- **IEEE 1900.7:** estudia la interfície ràdio per a nous sistemes mòbils i altres sistemes d'accés.

Cal dir que l'IEEE 1900 sovint és anomenat DySPAN SC.

II. SISTEMES DE RÀDIO COGNITIVA

A. Arquitectura

L'arquitectura de la ràdio cognitiva és totalment independent de la interfície ràdio a la qual s'aplica. Un sistema de ràdio cognitiva és un conjunt d'algorismes implementats mitjançant software, els quals es compaginen amb una interfície ràdio. El motor cognitiu ha de ser capaç de detectar tant els dispositius com les bandes lliures de l'espectre, aprendre l'estructura d'aquests i prendre decisions que compleixin una QoS determinada. El motor cognitiu és una interfície software, però s'ha d'implementar sobre el hardware de la interfície ràdio, per a poder realitzar l'operació de la millor forma possible.

Tal com il·lustra la figura 2, un sistema de Ràdio Cognitiva funciona de la següent manera:

- **Transmissor/Receptor:** transmet i rep informació, tant dels usuaris com de l'espectre.
- **Analitzador d'espectres:** amb els senyals capturats analitza l'espectre per a trobar els espais lliures i per a no interferir amb els usuaris primaris.
- **Mòdul d'aprenentatge:** s'utilitza per a cercar informació de l'analitzador d'espectres i recopilar-la. El mòdul d'aprenentatge ha de saber interpretar la informació rebuda sobre la utilització de l'espectre en cada moment.
- **Mòdul de decisió:** s'encarrega de la decisió que es pren per a poder entrar a l'espectre. Empra la informació del mòdul d'aprenentatge i s'utilitzen criteris relacionats amb l'entorn per a poder prendre una decisió.

B. Accés al medi: Dynamic Spectrum Access

El Dynamic Spectrum Access (DSA) defineix la manera d'accedir a l'espectre radioelèctric dependent de les condicions que es donin en cada moment. En general, es pot dir que

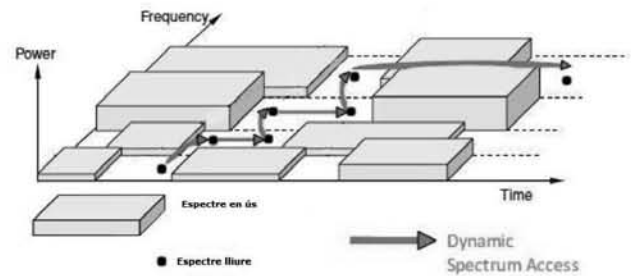


Figura 3. Accés al medi (DSA)

l'accés es duu a terme tal com mostra la figura 3, malgrat això, hi ha dos tipus de models DSA. El primer model diferencia el tipus d'accés dels usuaris a l'espectre [5]:

- 1) **DSA d'ús exclusiu:** un usuari primari dona permís a un usuari secundari perquè pugui transmetre exclusivament a l'espectre.
- 2) **DSA d'ús compartit:** els usuaris secundaris accedeixen a l'espectre quan hi ha espectre lliure, però sempre, sense interferir en els altres usuaris primaris. Dins dels d'ús compartit existeixen dues alternatives:
 - a) **Overlay:** l'usuari secundari té accés a l'espectre d'un usuari primari que en aquell moment no transmet, fet que implica una monitorització de l'usuari secundari amb el primari.
 - b) **Underlay:** l'usuari secundari transmet al mateix moment que l'usuari primari i, per tant, tindrà una potència limitada per tal de no interferir en la transmissió d'aquest darrer.
- 3) **Models comuns:** s'accedeix a l'espectre de forma lliure sense cap limitació. Es suposa que a l'espectre no hi ha usuaris primaris que ocupin bandes o donin permís per accedir-hi a elles.

El segon model, determina la gestió per a accedir a l'espectre [5]:

- 1) **Implementació centralitzada:** hi ha un control central per a gestionar els accessos a l'espectre dependent de les necessitats dels usuaris secundaris que vulguin accedir-hi. A més, es recopila informació sobre la utilització d'aquest.
- 2) **Implementació distribuïda:** On els usuaris secundaris accedeixen a l'espectre de forma autònoma i segons la informació que tenen sobre ell. (No és tan eficient com la primera).

III. PROJECTES DE RÀDIO COGNITIVA

A. El projecte de Timo Weiss i Friedrich Jondral

Arquitectura basada en ràdio cognitiva desenvolupada per T. Weiss y F. Jondral (Universitat de Karlsruhe, Alemanya), que destaca per l'utilització de OFDM. Suposa que els usuaris primaris sempre ocupen la mateixa banda freqüencial i no suporten canvis al respecte. Per part dels usuaris secundaris, es necessita, per al funcionament del sistema, una estació base i diversos terminals mòbils, tots, amb ràdio cognitiva [6]. L'estació base recopila informació sobre els usuaris primaris que hi ha a l'espectre i envia missatges de broadcast als

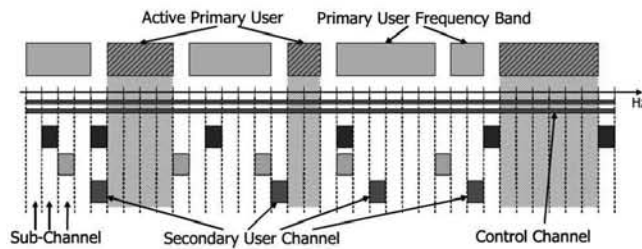


Figura 4. Repartiment de l'espectre a CORVUS

usuaris secundaris (en la fase d'aprenentatge). Llavors, els dispositius es monitoritzen i tornen la informació a l'estació base que la recopila per a donar l'accés a aquests. Però aquesta arquitectura no solucionava el problema de la interferència que hi havia entre usuaris secundaris i també entre aquests i usuaris primaris. Per a evitar això es va decidir deixar unes "bandes de guarda" o espais entre usuaris primaris i secundaris i entre dos d'aquests darrers, així, mai s'assignarien usuaris a freqüències portadores adjacents. [6]

B. El projecte XG DARPA

Simplement generalitza a Weiss i Jondral. DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) va iniciar el programa neXt Generation (XG), en el qual definien una arquitectura que utilitzava SDR, però controlant-la mitjançant diferents polítiques [7]:

- 1) Monitorització de l'entorn.
- 2) Restringir en relació als canals disponibles i no disponibles, dependent de les característiques dels canals.
- 3) Com accedir als canals.

C. El projecte CORVUS

Va ser iniciat per les Universitats de Berkeley (USA) i Berlín (Alemanya). Aquest projecte de ràdio cognitiva es basa en l'abundància de canals disponibles per usuaris secundaris i les tècniques de ràdio cognitiva que utilitzen per evitar les interferències amb els usuaris primaris.

En aquesta arquitectura, els usuaris primaris no emeten senyalització per identificar-se a l'espectre. A més, els usuaris secundaris sense capacitat de ràdio cognitiva es tracten com a renou. El projecte CORVUS defineix un mètode per accedir a les bandes ocupades per un usuari primari sempre i quan no estiguin ocupades per ells. En aquest cas, els usuaris secundaris disposaran d'un temps en el qual provocaran interferència a l'usuari primari que vol transmetre per la seva banda. Una vegada superat aquest temps els usuaris secundaris han de ser capaços d'aturar la transmissió en aquesta banda i cercar-ne una altra de lliure.

En cas de no haver deixat la banda freqüencial, l'usuari primari començarà a transmetre a la mateixa banda sense donar cap avís a l'usuari secundari [8].

L'arquitectura també preveu un sistema per a què els usuaris secundaris detectin als usuaris primaris, això s'anomena **Primary User Footprints (PUF)**, que inclou informació sobre els usuaris primaris. Això es fa abans que un usuari secundari s'introdueixi dins l'espectre, ja que s'ha de monitoritzar per a poder afegir-se correctament. Aquest procés s'haurà de fer

periòdicament perquè si és a una banda que està ocupada per un usuari primari, l'haurà de deixar com més aviat, millor. Els usuaris secundaris, a CORVUS, formen els **Secondary User Groups, SUG** que han d'estar coordinats per poder realitzar les comunicacions i poder comunicar-se entre ells.

Per part dels usuaris secundaris, hi ha dos tipus de tràfic definit:

- 1) *Tràfic web*: cerquen l'accés a Internet i, per tant, una connexió a una estació base o un punt d'accés
- 2) *Xarxa ad-hoc*: accepta tot tipus de tràfic sense cap tipus d'infraestructura.

A CORVUS es pot donar el fet que dos SUG utilitzin el mateix rang de freqüències i, per tant, s'hagin d'anar administrant l'espai.

Es defineixen uns canals de control per l'intercanvi d'informació entre usuaris secundaris:

- Canal de Control Universal (Universal Control Channel, UCC)
- Canals de Control de Grups (Group Control Channels, GCC)

El més important és l'UCC, el qual defineix els grups d'usuaris secundaris que hi ha i permet la incorporació de cada usuari. Cada grup de secundaris, té un GCC per a comunicar-se entre els membres del grup. Aquest esquema de canals es pot apreciar a la figura 4 [8].

IV. PERSPECTIVES I APLICACIONS

Ja s'han realitzat estudis sobre l'aplicació de la ràdio cognitiva i sobre l'optimització (FCC), sobretot, basat en l'aprofitament de l'espectre en zones on està infrautilitzat (per exemple, zones rurals, on s'utilitza un 15 % de l'espectre). Per altra part, molts països han reconegut que el seu espectre està molt saturat, en conseqüència, estan estudiant nous sistemes per optimitzar-lo.

IEEE 802.22

L'IEEE 802.22 és un estàndard que defineix els WRAN (Wireless Regional Area Network), que dona serveis de banda ampla a zones amb poca densitat de població (zones rurals, zones inhòspites ...) utilitzant els espais lliures de l'espectre de freqüències utilitzades per els serveis de televisió.

Aquest estàndard utilitza tècniques de ràdio cognitiva per a permetre l'accés dels usuaris a l'espectre. Aquests usuaris accedirien a l'espectre assignat a la TV (és un servei amb llicència o primari), com es pot veure a la figura 5. Evidentment, el servei que defineix l'IEEE 802.22 no ha d'interferir en les emissions de televisió.

És una tècnica que empra ràdio cognitiva com a sistema per accedir al medi. A més, és molt recent, fet que fa pensar que la ràdio cognitiva encara no és un sistema molt utilitzat, malgrat hi hagi distints projectes que s'estan desenvolupant.

La manera de conèixer l'espectre que es proposa des de diversos grups que desenvolupen l'estàndard es basa en les estacions base utilitzades per les emissions de TV, les quals, hauran d'incorporar un GPS que informi de la localització a un servidor centralitzat. L'estació base respondrà amb els canals de TV que ocupen la banda (usuaris primaris, en aquest cas) i les seves bandes de guarda [9].

Diseño e implementación de un controlador de motor BRUSHLESS

Adrián R. Brancolino, Kevin Cerviño, Francesc Amengual, Antonio Gelabert
 Tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad en Electrónica Industrial

adrian@brancolino.com
cervinokevin@gmail.com
xisco_mallorca@hotmail.com
branketa_90@hotmail.com

Resumen— A lo largo de este artículo se explicará el proceso llevado a cabo para diseñar e implementar un controlador de motor DC tipo *brushless*. El diseño parte inicialmente de lo propuesto por el fabricante del microcontrolador, para luego ser modificado en función de los requerimientos, su posterior montaje de la placa, aplicación de técnicas de ensamblaje, identificación de problemas de diseño y solución de los mismos.

I. INTRODUCCIÓN

Mediante un esfuerzo docente, las prácticas de tres asignaturas de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial, componen en conjunto el diseño y fabricación de una minimoto (*figura 1*) con su correspondiente relación de transmisión y control electrónico de velocidad a partir de un motor *brushless* (*figura 2*). Las asignaturas de Sistemas Mecánicos, Diseño y Simulación Electrónica y Sistemas Industriales de Potencia, son las encargadas de llevar a cabo este proyecto. La primera se encarga de diseñar la relación de transmisión, caja de engranajes y transmisión de la potencia generada por el motor hasta la rueda de la minimoto. La segunda tiene como objetivo diseñar el controlador electrónico del motor a partir de su batería de 12v, generando una tensión trifásica de velocidad variable. Finalmente, la tercera está orientada al desarrollo de un *software* dirigido al microcontrolador dsPIC de la placa. Este artículo está centrado en la segunda parte, es decir, el diseño y fabricación de la placa controladora.



Fig. 1 – Minimoto presentada en clase.



Fig. 2 – Motor brushless y caja reductora.

II. DISEÑO INICIAL, PROPUESTA DEL FABRICANTE

A partir de una placa entrenadora proporcionada por el personal docente de la asignatura (*figura 3*), se realizó un análisis físico de distribución de los componentes electrónicos, teniendo como objetivo entender su funcionamiento y partes que la componen.

Además de contar con la placa física, se ha consultado el *Datasheet* (hoja de datos) y toda la información complementaria aportada por microchip en su WEB, en el cual se encuentran los esquemáticos de la placa entrenadora y notas de aplicación.

El desarrollo por parte del grupo de trabajo consiste en modificar la etapa de potencia ya que el motor propuesto es de 12v y una corriente de hasta 20A. Por tal motivo la placa entrenadora no cumple con las especificaciones requeridas y debe ser sometida a un rediseño. Dada la gran complejidad de la placa original, ya que implementa funciones de comunicación USB, CAN y RS-232, se lleva a cabo un trabajo de selección y eliminación de algunas de estas partes prescindibles del circuito sin que esto afecte al control del motor. Además debe ser totalmente compatible con la placa entrenadora para que el desarrollo del software se pueda realizar sobre ella. Todo esto fue expuesto en una primera presentación frente a la clase y el profesor para que de forma conjunta se conocieran los pasos a realizar.

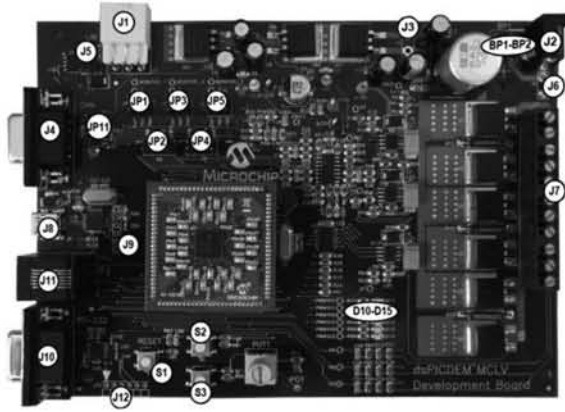


Fig. 3 - Placa Entrenadora.

III. DEFINICIÓN DE MÓDULOS (ETAPAS)

Las etapas que componen la placa entrenadora son básicamente 3, generación de señales de control, comunicación y etapa de potencia (figura 4). Para el diseño propuesto solo interesan las etapas de potencia y control digital. La etapa de control consiste en un microcontrolador de la línea dsPIC de la empresa microchip el cual cuenta con unas prestaciones de entrada salida analógicas y digitales a nivel de 3.3V, por otra parte es capaz de ejecutar instrucciones matemáticas complejas en pocos ciclos de operación logrando tiempos de respuestas muy cortos imprescindibles para el trabajo de sincronización de las señales trifásicas del motor, teniendo como realimentación solo el sensado de corriente por fase (IMOTOR1, IMOTOR2 e IMOTOR_SUM).

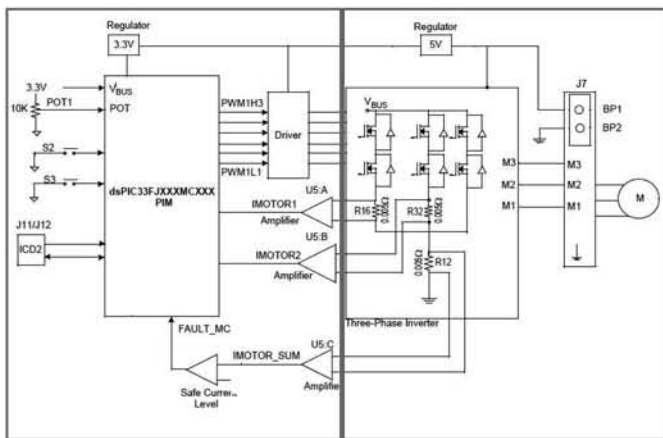


Fig. 4 - Diagrama en Bloques.

Las señales de control generadas por la técnica de PWM (modulación por ancho de pulso) PWM1H1,2,3 y PWM1L1,2,3 son enviadas al driver que se encarga de hacer las traslaciones de niveles de tensión y corriente con la etapa de potencia.

En la parte de potencia nos encontramos con una configuración de puente "H" trifásico compuesto por 6 transistores MOSFET (transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor) los cuales actúan como interruptores con muy baja resistencia de contacto encendiendo y apagando para producir una señal cuasi-senoidal a la salida (figura 5).

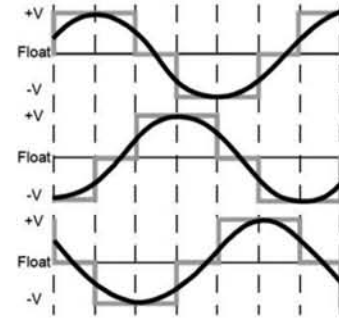


Fig. 5 - Señal producida por el puente "H".

IV. DISEÑO PROPUESTO

Para implementar la etapa de control y potencia se discutió que sería más conveniente, si dos placas separadas o una con las dos etapas, llegando a la conclusión que es mucho más económico hacerlo en una sola placa ya que evitamos conectores. Por otro lado se definió que la placa será de dos capas y tendrá componentes de inserción y de montaje superficial (SMD) los cuales se distribuyen sobre cada lado.

El desarrollo de la placa se realizó con el software ISIS PROTEUS (figura 6), que ha demostrado ser una herramienta muy potente de fácil uso durante el diseño.

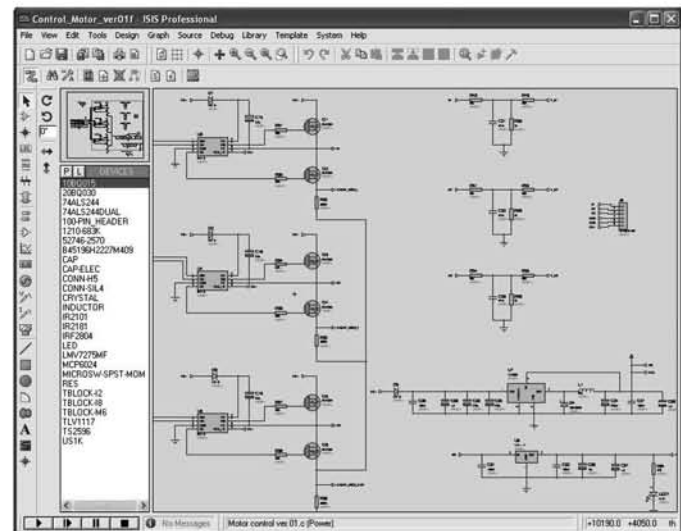


Fig. 6 - Esquemático y simulación sobre ISIS - PROTEUS.

Para cargar el esquemático dentro del programa es necesario definir todos los componentes, muchos de ellos vienen predefinidos en las librerías del software, pero hay algunos que no existen y deben ser creados. Para ello, lo primero es generar una lista de componentes electrónicos preliminar la cual se presupuesta con las herramientas de consulta WEB de RS-Amidata y Farnell, buscando componentes que cumplan con las especificación necesarias al mejor precio. Terminada la selección de componentes se descargan los correspondientes datasheets (hojas de datos) y de allí se toma toda la información necesaria para crear los componentes faltantes del esquemático.

Pasado este punto se puede enviar el esquemático completo a siguiente programa denominado ARES (figura 7).

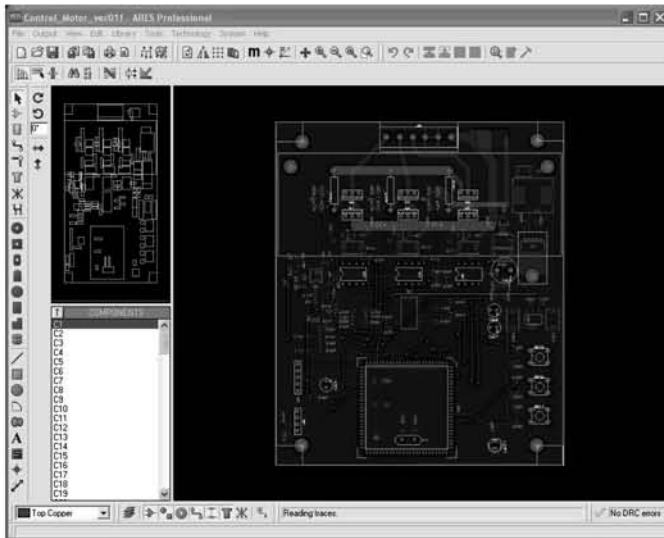


Fig. 7 – Distribución de componentes - ARES.

Dentro del ARES se importa el esquemático y se procede a distribuir los componentes siguiendo unas reglas de diseño tales como: evitar que las conexiones sean largas, los circuitos de potencia deben estar lo más alejados de los de control, se debe proveer de planos de masa y alimentación, separar los componentes que calientan del resto y que mecánicamente todo encaje sin problemas.

De la simulación en 3D se puede tener una muy buena aproximación a lo que será la placa terminada como se puede observar en las figuras 8.

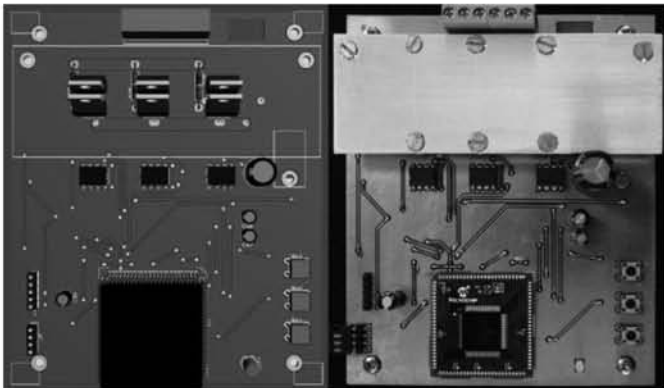


Fig. 8 – Simulación 3D – ARES y placa real.

Como se ve en la figura 8 los transistores en la simulación están en posición vertical mientras que en la placa real están de forma horizontal, esto es debido a que el manejo de modelos en 3D dentro del ARES tienes sus limitación, pero que se pueden subsanar usando un software de 3D externo e incorporar el modelo creado al componente deseado.

El poner los transistores de forma horizontal tiene la ventaja de poder bajar el alto de la placa y dejar espacio plano para agregar, de ser necesario, una superficie de disipación de calor más grande. Como contrapartida esta el inconveniente de tener que insertar las patas de los componentes con una precisión milimétrica (figura 9).

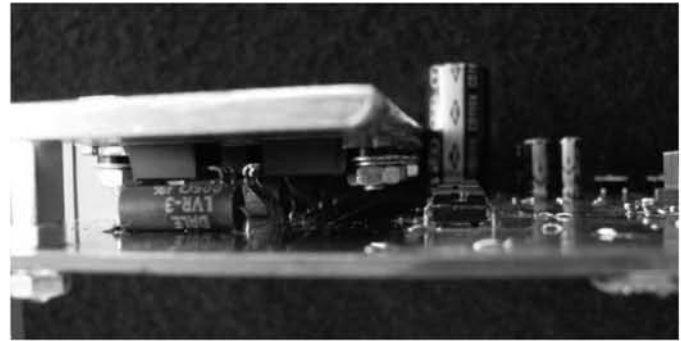


Fig. 9 – Detalle de los transistores en posición horizontal.

Del otro lado se encuentran todos los componentes SMD agrupados por tareas que corresponden a la parte de control, monitorización y alimentación del circuito (figura 10).

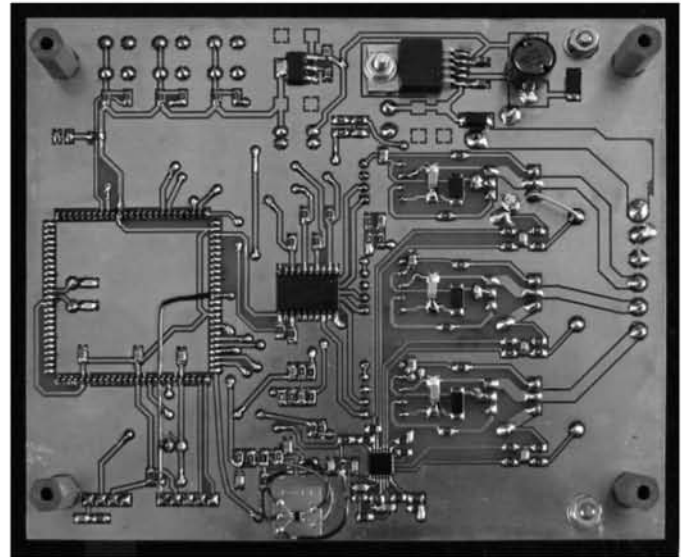


Fig. 10 – Distribución de componentes SMD.

V. PRECIO

Conseguir un presupuesto lo más ajustado posible fue nuestra principal premisa, evitando componentes procedentes del extranjero para no encarecer el producto con transportes e importaciones, escoger la oferta con el menor número de componente extras posibles, ya en que en muchos casos se venden por cantidades múltiples de 5 o 10. Básicamente se ha trabajado con las empresas RS-AMIDATA y FARNELL por tener una excelente herramienta de búsqueda mediante la utilización de varios filtros permitiendo agrupar lo seleccionado ordenado por alguno de los campos como por ejemplo el precio. Una vez ajustado el presupuesto, ha quedado en 54.34€ (IVA 18% incluido).

Una vez terminado el diseño de nuestro circuito y el presupuesto final se realizó una segunda presentación, en la que se reflejaba el esquemático resultante de la supresión y modificación de componentes, así como de la inclusión de las nuevas ideas reflejadas anteriormente y el precio.

VI. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

El primer problema que nos encontramos fue el del preparado de la placa para el soldado de los componentes, dicho proceso consisten en la limpieza del cobre para quitar todos los restos de óxidos e impurezas básicamente por medio de una lana fina de metal (elemento abrasivo). Las virutas generadas son conductoras y se alojan muchas de ellas entre las separaciones de las pistas por lo cual se ha tenido especial cuidado en limpiar la placa con alcohol isopropílico por su bajo contenido en agua. Una vez limpia se procede a aplicar una capa de flux soldante que cumple con la función de ayudar a que fluya el estaño y evitar que se oxide el metal mediante una capa de resina colofonia que queda adherida en toda la superficie.

Otro problema detectado fue el de un componente que al momento de la elección disponía de 3 letras adicionales a su numero identificador, posterior es enviado el mismo componente pero con una diferencia en una de sus letras finales, dicha diferencia en la especificación se corresponde con un cambio en la distribución de los terminales, por tal motivo se diseño una tarjeta adaptadora la cual se conecta por medio de cables wire-wrap (cable muy delgado y rígido)

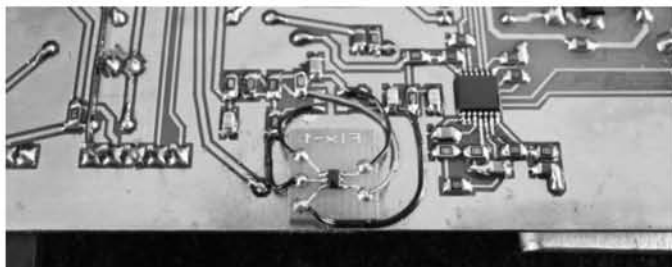


Fig. 11 – Tarjeta adaptadora SMD y cables wire-wrap.

Dado que la tarjeta se realizo sin el proceso de metalización de orificios que conectan la cara superior de la inferior se ha tenido que unirla por medio de puentes metálicos y soldaduras. Gracias a que el diseño fue realizado en su totalidad de forma manual, se consiguió reducir drásticamente el número de vías entre lados resultando dicha tarea no muy complicada para este diseño en particular.

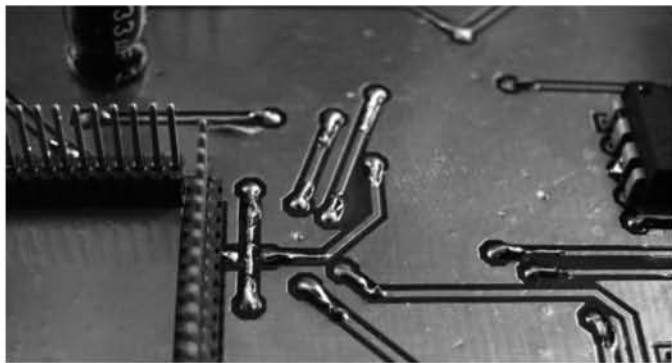


Fig. 12 – Puentes metálicos y soldaduras.

VII. CONCLUSIONES

Dado que es la única asignatura de la carrera donde se diseña y realiza un circuito impreso, podemos extraer ante todo que hemos aprendido mucho de los aspectos teóricos de la asignatura como así también de los inconvenientes que se han presentado a lo largo del diseño. Si a día de hoy tendríamos que realizar un diseño con circuito impreso, ya sabemos los pasos básicos a seguir, las reglas y métodos de trabajo, cómo así también realizar una selección y pedido de de componentes de una forma óptima con pequeños trucos para ahorrar y para que el soldar componentes no sea difícil y tedioso. Después hemos visto aplicaciones de otras asignaturas que nos han ayudado a comprender mejor el uso que se le puede dar a la teoría vista en sus clases, como por ejemplo de instrumentación electrónica o técnicas analógicas, con los reguladores de tensión y filtros.

Finalmente, al ser un grupo de cuatro personas, la repartición de tareas pudo crear conflictos, que hemos aprendido a no dar importancia, a no discutir y que trabajando en equipo, repartiendo las tareas de manera equitativa, o según lo que se le dé mejor a cada uno, hace todo más fácil, ayuda a una mejor integración del grupo que se vio muy acentuada cuando la placa funciono al segundo intento!!!.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Microchip Technology Inc – fabricante de microcontroladores - <http://www.microchip.com/>
- [2] Farnell – Distribuidor mundial de productos electrónicos – <http://es.farnell.com/>
- [3] RS Amidata – Componentes Electrónicos y Eléctricos <http://es.rs-online.com/web/>
- [4] Labcenter Electronics - Professional PCB Design and Simulation – <http://www.labcenter.com/>
- [5] Revista electrónica de la Escuela Politécnica Superior – <http://edicions.uib.es/ojs/index.php/enginy/index>
- [6] Bartomeu Alorda Ladaria – profesor de la asignatura – <http://www.uib.es/es/pdi/ABTE3MzA5/>
- [7] Norbert R. Malik. "Circuitos Electrónicos. Análisis, Simulación y Diseño", Editorial Prentice Hall, Cuarta Edición, 1996 ISBN 84-89660-03-4
- [8] M.A. Pérez, J.C. Álvarez, J.C. Campo, Fco. J. Ferrero, G.J. Grillo, "Instrumentación Electrónica" Editorial Thomson, ISBN 8497321669
- [9] Sergio Franco, "Design with operational amplifiers and analog integrated circuits", 3ª edición, 2002, ISBN 0072320842
- [10] Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de Aplicaciones, J. M. Angulo e I. Angulo, McGraw-Hill, 1999

Implementació d'un sistema de mesura ambiental portàtil alimentat amb energia solar

Marc Soler Vallespir, B. Alorda

PFC d'Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Electrònica Industrial
 msoler87@gmail.com

Resum— El present document mostra el procés realitzat en el projecte de fi de carrera que ha consistit en el disseny i fabricació d'un sistema de mesura ambiental incorporat en una motxilla. El sistema està dividit en dos mòduls: alimentació i mesura.

El mòdul d'alimentació adapta l'energia procedent de la radiació solar a les necessitats del sistema per garantir el seu funcionament. L'energia requerida també pot provenir d'una connexió a la xarxa elèctrica. A més, el sistema carrega unes bateries recarregables que també serveixen com a font d'entrada d'energia.

El mòdul de mesura capta la informació de diferents paràmetres meteorològics a través de sensors i guarda aquestes dades en una memòria externa extraïble. En aquesta memòria es crea un fitxer amb les dades que és accessible a través d'un ordinador, amb el qual es podran visualitzar els resultats. A més, el sistema té implementada una interfície per connectar-hi un mòdul GPS.

I. INTRODUCCIÓ

A través de l'estudi dels fenòmens que ocorren a l'atmosfera, la meteorologia tracta de definir el clima, predir el temps, comprendre la interacció de l'atmosfera amb altres subsistemes, etc. El coneixement de les variacions climàtiques ha estat sempre de gran importància per al desenvolupament de l'agricultura, la navegació, les operacions militars i la vida en general.

Avui en dia, hi ha petites estacions meteorològiques portàtils que permeten prendre mesures amb més llibertat i flexibilitat que les tradicionals estacions de camp. En el grup de Sistemes Electrònics de la Universitat de les Illes Balears s'està iniciant el desenvolupament de sistemes que utilitzin sensors atmosfèrics juntament amb dispositius de posicionament global. Aquest projecte s'emmarca dins aquesta iniciativa.

El disseny global del sistema dissenyat es pot veure a la figura 1.

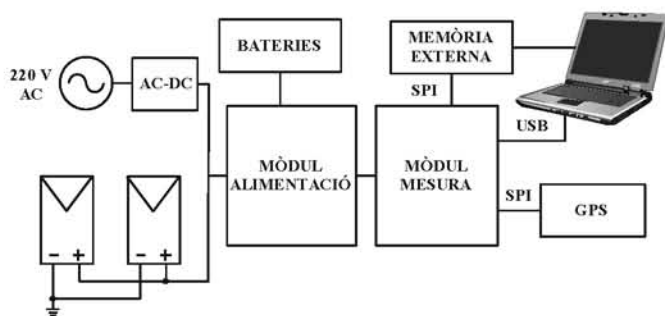


Fig. 1 Esquema global del sistema

El mòdul d'alimentació obté l'energia necessària per al funcionament del sistema a partir de dos panells solars connectats en paral·lel, alimentació externa o bateries, i el mòdul de mesura capta dades ambientals de temperatura, humitat relativa i pressió atmosfèrica i les guarda en una memòria externa.

II. MÒDUL D'ALIMENTACIÓ

A. Especificacions

La funció principal d'aquest mòdul és obtenir un senyal en contínua estable per alimentar el mòdul de mesura i que aquest pugui funcionar correctament.

L'elecció de la font d'entrada (panells solars o xarxa elèctrica) es fa de manera automàtica.

Simultàniament, el sistema carrega unes bateries recarregables que serveixen per alimentar el mòdul de mesura quan cap de les dues fonts d'entrada estan disponibles.

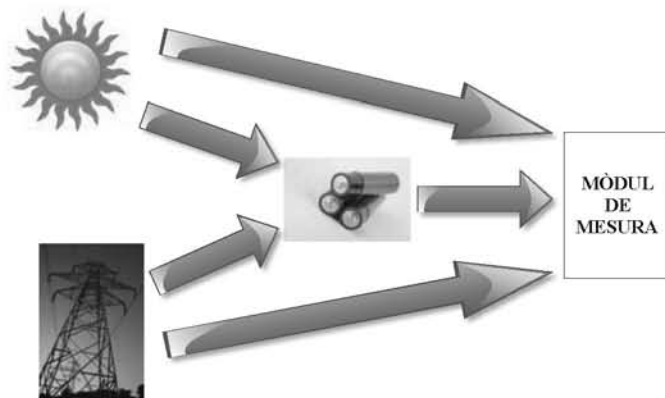


Fig. 2 Possibles fonts d'alimentació del mòdul de mesura

B. Disseny en blocs funcionals

El disseny del mòdul d'alimentació es pot veure a la figura 3. S'utilitza un convertidor dc-dc configurat com a reductor-elevador connectat a la sortida de les dues fonts d'entrada. La potència que proporcionen els dos panells solars pot variar significativament respecte als valors que indica el fabricant, ja que aquests valors només es donen en situacions estàndards. En realitat el corrent elèctric que generen els panells solars depèn de diferents factors com la irradiància del Sol, l'angle d'incidència dels rajos solars o la temperatura dels panells. El fet d'utilitzar un convertidor dc-dc del tipus reductor-elevador garanteix un nivell de voltatge estable a la sortida del

convertidor tant si la diferència de potencial dels panells és menor o major a aquesta tensió de sortida.

Per carregar les bateries s'utilitza un circuit integrat que detecta la presència de bateries connectades i mitjançant un algoritme controla el procés de càrrega de manera eficient i segura.

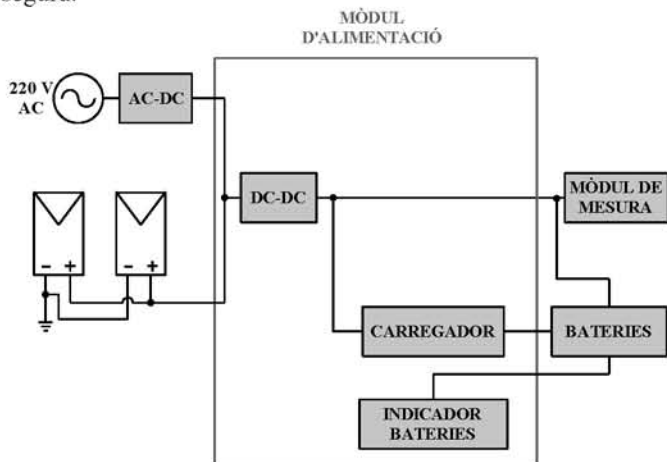


Fig. 3 Disseny en blocs funcionals del mòdul d'alimentació

C. Descripció dels principals components

1) Panell solar

Actualment disposem d'aparells que ens permeten convertir directament l'energia solar en altres formes d'energia. Així, les cèl·lules fotovoltaïques ens permeten obtenir directament electricitat a partir de la llum que ens arriba provinent del Sol i es poden utilitzar diferents processos, però tots aquests es basen en el mateix principi: l'efecte fotovoltaic.

L'efecte fotovoltaic consisteix en la conversió de llum (energia lluminosa) en energia elèctrica. D'aquí prové el seu nom, conversió de fotons (partícules de llum) en un potencial elèctric (Volt), utilitzable com a font d'energia.

El sistema disposa de dos petits panells solars policristal·lins del fabricant BP SOLAR connectats en paral·lel. El model dels panells és el MSX-01 que té les següents principals característiques:

TAULA I
CARACTERÍSTIQUES ELÈCTRIQUES DEL PANELL SOLAR [1]

Paràmetre	Valor	Unitat
Potència màxima (P_M)	1.2	W
Tensió nominal (V_N)	6	V
Tensió amb potència màxima (V_M)	7.5	V
Corrent típic a V_M (I_M)	150	mA
Tensió en circuit obert (V_{OC})	10.3	V
Corrent de curtcircuit (I_{SC})	160	mA

Aquests valors s'obtenen sota les condicions STC (Standard Test Conditions) que són de $1000W/m^2$ de irradiància, $25^\circ C$ de temperatura del panell i una massa d'aire de 1.5. El corrent i la potència de sortida del panell són aproximadament proporcionals a la intensitat de la radiació. A

un determinat nivell de radiació, el voltatge de sortida del panell ve determinat per les característiques de la càrrega.

2) Convertidor ac-dc

És un component bàsic dins qualsevol sistema electrònic que proporciona una tensió contínua fixa i estable a partir d'una tensió alterna d'entrada. També es coneix com a font d'alimentació. Dins un convertidor ac-dc es troben 4 blocs: transformador, rectificador, filtre i regulador.

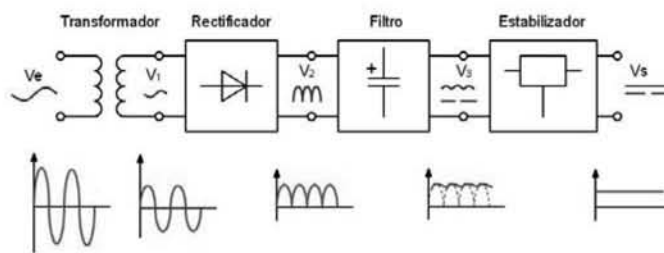


Fig. 3 Blocs d'un convertidor ac-dc [2]

En aquest sistema el senyal d'entrada prové de la xarxa elèctrica (220V i 50 Hz) i la sortida és de 6V i 500 mA.

3) Convertidor dc-dc

Un convertidor dc-dc és un circuit electrònic de potència que converteix una tensió contínua en un altre nivell de tensió contínua. Els principals convertidors dc-dc sense aïllament són el reductor, l'elevador i el reductor-elevador.

El convertidor seleccionat és el model LTC1624 del fabricant Linear Technology, que pot funcionar amb qualsevol de les 3 varietats.

En aquest cas el convertidor s'ha dissenyat per funcionar com SEPIC (Single Ended Primary Inductor Converter) que és un tipus de reductor-elevador amb aïllament galvànic. El seu ús es degut a la resposta canviant que presenten els panells solars.

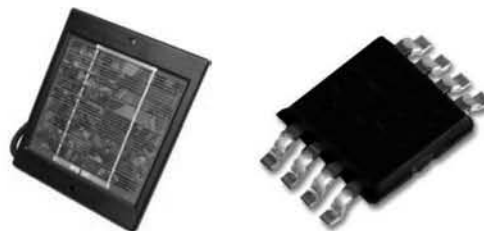


Fig. 4 Panell solar i convertidor dc-dc utilitzats [1]

4) Bateries

S'utilitzen 8 bateries recarregables per acumular energia elèctrica que pugui servir quan cap de les dues fonts d'entrada estan disponibles (panells solars i alimentació externa). Les bateries utilitzades són de níquel i hidrur metàl·lic (Ni-MH) amb una capacitat nominal de 2400mA/h.

5) Carregador

Per carregar les bateries s'ha de fer circular corrent elèctric a través d'elles. El control del procés de càrrega es fa mitjançant l'integrat BQ2000T de Texas Instruments. Es tracta d'un circuit integrat de 8 pins que primer detecta el tipus de

bateries connectades i després les carrega seguint un algoritme. Permet carregar les bateries amb un procés de càrrega ràpida i el procés de càrrega s'atura automàticament quan les bateries estan totalment carregades per evitar possibles danys.

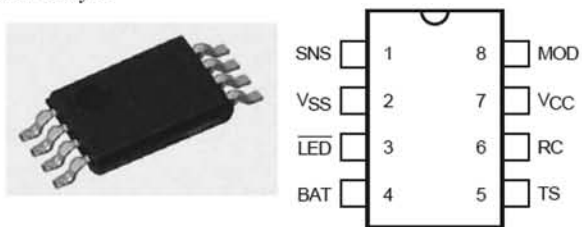


Fig. 5 Integrat BQ2000T i disposició dels pins [1]

El procés de càrrega és el següent:

- Inicialització i pre-càrrega.
- Càrrega ràpida
- Detecció de final de càrrega
- Carrega de manteniment

6) Indicador de bateries

El fet de tractar-se d'un sistema portàtil i que, en ocasions, el seu correcte funcionament depengui exclusivament de que el nivell de càrrega de les bateries sigui suficient, resulta útil disposar d'un sistema que indiqui en cada instant el nivell de càrrega de les bateries.

S'utilitza un circuit amb dos diodes LED (un verd i un vermell) per indicar el nivell de càrrega de les bateries.

TAULA III
ESTAT DE LES BATERIES SEGONS L'INDICADOR

LED verd (D13)	LED vermell (D14)	Bateries
Encès	Encès	OK
Apagat	Encès	Necessiten càrrega
Apagat	Apagat	Descarregades

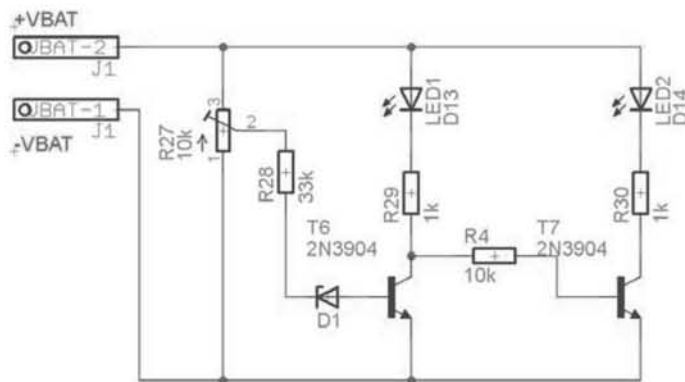


Fig. 6 Disseny esquemàtic de l'indicador de bateries

D. Disseny esquemàtic

Amb els components seleccionats i els seus respectius circuits de condicionament es realitza el disseny esquemàtic del mòdul d'alimentació mitjançant el software EAGLE. En aquest disseny s'estableixen les diferents connexions elèctriques i els valors dels components.

E. Layout

Un cop dissenyat l'esquema elèctric, es realitza el disseny de la placa de circuit imprès, PCB (*Printed Circuit Board*). Aquest disseny es coneix com a *layout* i consisteix en elegir la ubicació dels diferents components damunt la placa i definir les traces de les pistes de senyal.

El *layout* del mòdul d'alimentació es pot veure a la figura 7. La PCB ha estat dissenyada en dues capes i s'ha utilitzat un pla de massa a la capa inferior. D'aquesta manera es simplifica l'espai i es millora el rendiment elèctric.

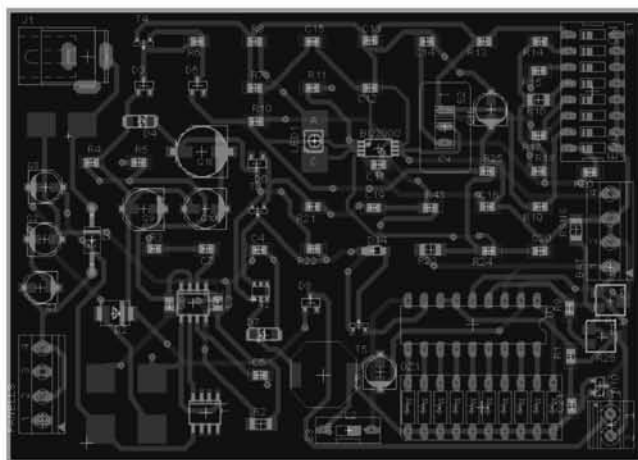


Fig. 7 Layout del mòdul d'alimentació

L'indicador de càrrega definitiu s'ha implementat en una petita placa separada que es connecta directament al connector de les bateries de la placa d'alimentació.

F. Prototipus

A partir del *layout* es porta a terme el procés de fabricació de la PCB. Per això s'utilitza una màquina fresadora que perfora els terminals dels components sobre la PCB i realitza les pistes de senyal. A continuació es realitza el metal·litzat de la PCB mitjançant diferents processos químics.

Una vegada fabricat el circuit imprès, s'inicia el procés de soldadura dels diferents components. A la següent figura es pot observar el resultat final de mòdul d'alimentació:

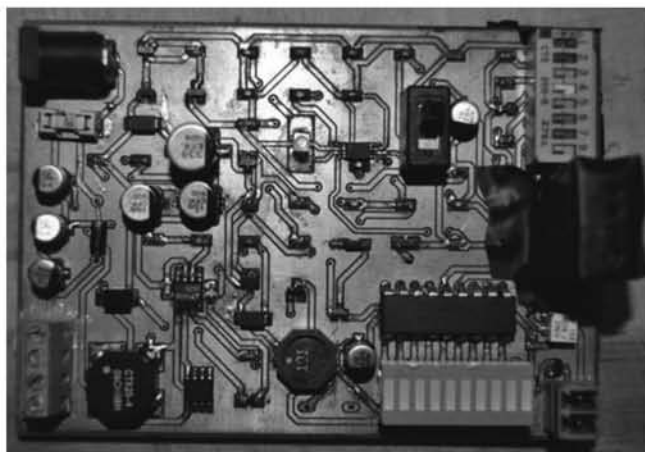


Fig. 8 Prototipus del mòdul d'alimentació

III. MÒDUL DE MESURA

A. Especificacions

La funció principal d'aquest mòdul és obtenir els valors de diferents paràmetres ambientals per mitjà de sensors. Aquests paràmetres seran la temperatura, la pressió atmosfèrica i la humitat relativa.

L'alimentació necessària pel funcionament d'aquest mòdul prové del mòdul d'alimentació dissenyat.

El sistema guarda les dades dels sensors en una memòria externa. Aquestes dades es podran visualitzar a un ordinador connectant-hi aquesta memòria.

Aquest mòdul també té instal·lada una interfície per connectar-hi un mòdul GPS.

B. Disseny en blocs funcionals

El disseny del mòdul de mesura es pot veure a la figura 9. El sistema de control es realitza per mitjà d'un microcontrolador que capta la informació dels sensors i processa aquestes dades per guardar-les en una memòria externa.

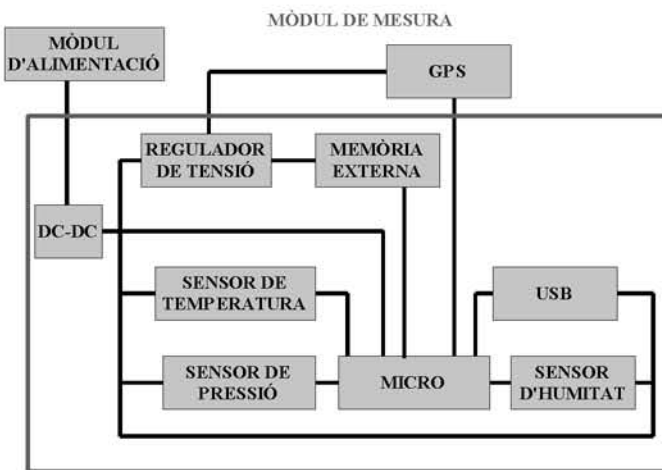


Fig. 9 Disseny en blocs funcionals del mòdul de mesura

C. Descripció dels principals components

1) Microcontrolador

Els microcontroladors són dispositius programables capaços de realitzar diferents activitats que requereixen el processament de dades digitals i el control i comunicació de diferents dispositius. En aquest projecte s'utilitza un microcontrolador PIC (*Programmable Integrated Circuit*) del fabricant *Microchip*. El model escollit és el PIC18F2455.

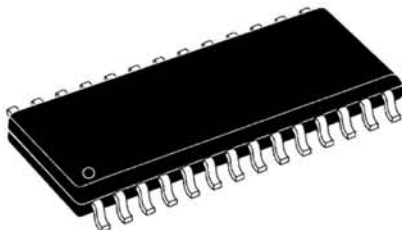


Fig. 10 Prototipus del mòdul d'alimentació [1]

Disposa de 24 línies d'entrada i sortida, 2K bytes de RAM i 256 bytes de ROM. A més, porta incorporat el protocol de comunicació USB. Pel seu correcte funcionament necessita un senyal de rellotge que es genera amb un oscil·lador extern de 4MHz.

2) Sensor de temperatura

El sensor de temperatura seleccionat és el model *MCP9801* de *Microchip*. És un sensor digital capaç de mesurar temperatures entre -55°C i $+125^{\circ}\text{C}$ amb una precisió de 1°C (per temperatures entre -10°C i $+85^{\circ}\text{C}$) de i amb una resolució que es pot seleccionar entre 9 i 12 bits.

La principal causa que justifica l'elecció d'aquest sensor és la seva bona relació qualitat/preu. El rang de mesura és molt ampli i la precisió és suficient per a les característiques del projecte.

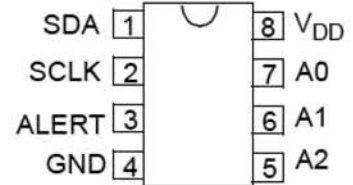
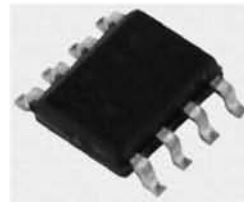


Fig. 11 Sensor de temperatura MCP9801 i disposició dels pins [1]

La comunicació entre el sensor i el PIC es fa a través de I2C, que és un bus de comunicacions sèrie síncron molt utilitzat a la indústria principalment per comunicar circuits integrats entre sí que es troben en un mateix circuit imprès, com és el cas. Mitjançant una transferència de lectura el PIC obté del sensor el valor de la temperatura.

3) Sensor d'humitat

El sensor d'humitat escollit és el model *HCH-1000-001* del fabricant *Honeywell*. Es tracta d'un sensor capacitiu fabricat amb tecnologia de semiconductors que ofereix una gran resistència a la contaminació. És un dels sensors d'humitat més econòmics del mercat encara que les seves especificacions tècniques són suficients i acceptables per aquest disseny.

Necessita un circuit de condicionament de senyal per transformar la variació de capacitat en una altra magnitud fàcil de mesurar. El fabricant recomana utilitzar un circuit que genera un conjunt de polsos de freqüència a la sortida utilitzant el model d'oscil·lador 555 (figura 12).

Connectant la sortida del 555 al microcontrolador es pot determinar fàcilment el període del senyal, i a partir de les fórmules que aporta el fabricant s'obté el valor de la humitat relativa.

4) Sensor de pressió atmosfèrica

El sensor escollit per mesurar la pressió atmosfèrica és el model *MPXH6300A* del fabricant *Freescale Semiconductor*. És un circuit integrat amb un petit sensor de silici per mesurar la pressió absoluta. A més, en el propi encapsulat s'inclou un circuit de condicionament de senyal i elements per a la compensació i calibratge en funció de la temperatura.

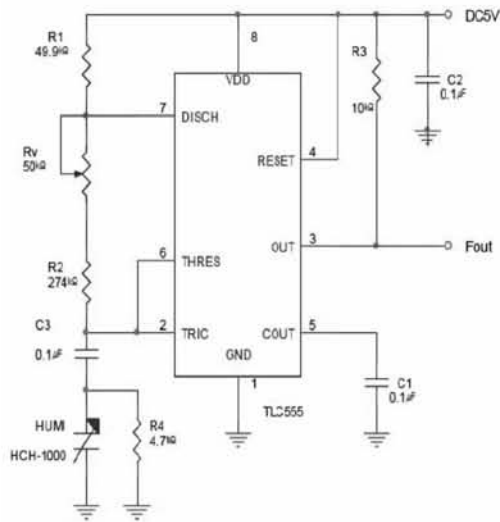


Fig. 12 Circuit de condicionament del sensor d'humitat [1]

El mòdul de condicionament, format per un amplificador operacional bipolar i un conjunt de resistències proporciona un senyal de sortida analògic compensat a la temperatura i que varia al llarg d'un ampli rang en funció de la pressió aplicada.

La sortida del sensor es connecta directament al convertidor analògic-digital del PIC i es calcula la tensió de sortida. A través de la fórmula del fabricant s'obté el valor de la pressió atmosfèrica.



Fig. 13 Sensor de pressió MPXH6300A i disposició dels pins [1]

5) Targeta de memòria SD

Per aquest sistema és necessari l'ús d'una memòria externa, ja que les memòries que porten incorporades els PICs comercials no són suficients. L'objectiu d'aquest sistema de mesura ambiental portàtil és capturar les dades dels sensors de forma regular i emmagatzemar-les en una memòria que no es buidarà fins que no es transmetin a un ordinador.

Per guardar les dades s'utilitza una targeta de memòria flash SD. L'ús d'aquest tipus de memòries es troba a la majoria de dispositius portàtils que requereixen guardar grans quantitat de dades (càmeres, reproductors multimèdia, etc.).



Fig. 14 Targeta de memòria SD

D. Layout

Una vegada implementat el disseny esquemàtic es realitza el disseny del *layout*. El resultat es pot veure a la figura 15. S'ha dividit en dos blocs: part analògica i part digital. S'utilitzen dos plans de massa, un per a cada part, i s'uneixen en un únic punt mitjançant un nucli de ferrita. D'aquesta manera s'aconsegueix reduir el renou electromagnètic.

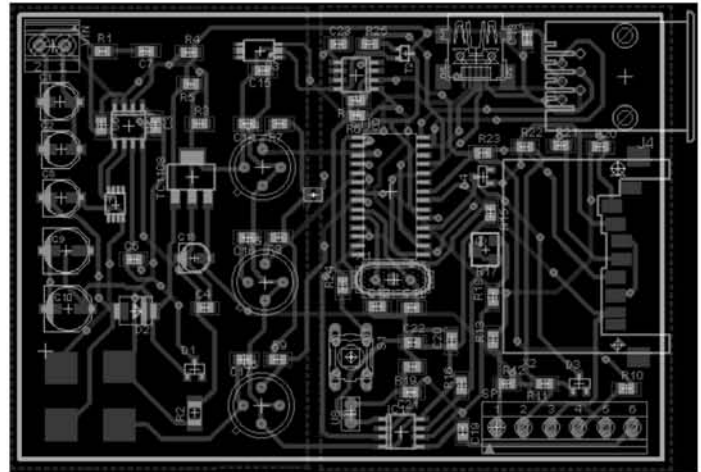


Fig. 15 Layout del mòdul de mesura

E. Prototipus

El resultat del mòdul de mesura una vegada soldats tots els components es pot veure a la següent figura:

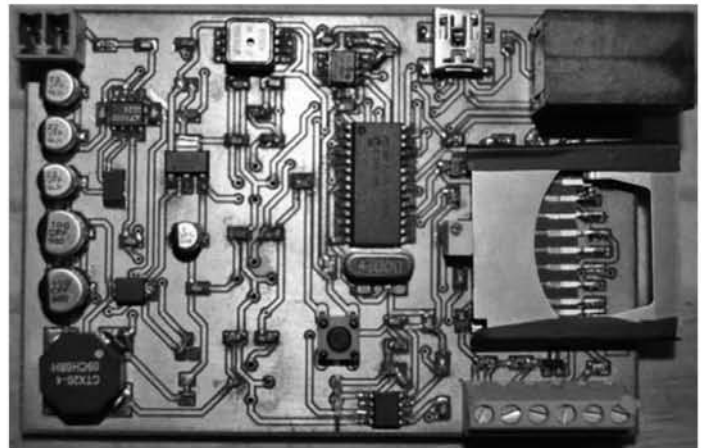


Fig. 16 Prototipus del mòdul de mesura

E. Disseny del software

Per a que el sistema realitzi totes les funcions desitjades s'ha de programar el PIC. El llenguatge de programació escollit ha estat C per la seva major facilitat per programar tasques complexes i depuració d'errors.

El següent pas és seleccionar el compilador que tradueix el programa escrit en C a codi màquina generant fitxers en format hexadecimal necessaris per programar un PIC. El compilador utilitzat és el PCW de l'empresa CCS que s'integra en un entorn de desenvolupament integrat, que permet tasques com l'edició i compilació del codi o la depuració d'errors.

El darrer pas consisteix en realitzar la programació del PIC que es realitza a través d'un programador que proporciona la mateixa empresa CCS que es coneix com a ICD (*In Circuit Debugger*).

Es programa el PIC per obtenir les dades dels 3 sensors: temperatura, humitat relativa i pressió atmosfèrica. Per guardar les dades es crea un fitxer a la targeta de memòria flash SD. Per fer-ho s'utilitza el sistema FAT (*File Allocation Table*), que és un sistema d'arxius estàndard extensament utilitzat per a l'intercanvi de dades entre ordinadors i dispositius de gairebé qualsevol tipus. El sistema FAT crea una taula separada en blocs (*clusters*) que contenen les diferents posicions de memòria. En aquest sistema s'utilitza la varietat FAT32 degut a les seves millors prestacions.

Els resultats es guarden en 3 vectors en les unitats de mesures estàndards, és a dir, la temperatura en °C, la humitat relativa en % i la pressió atmosfèrica en kPa.

IV. PROTOTIPUS FINAL

El sistema dissenyat s'incorpora dins una capsa de fusta que ofereix gran protecció i fixació.



Fig. 17 Targeta de memòria SD

Finalment, es fixen els dos panells a l'exterior d'una motxilla i s'incorpora la capsa amb el sistema a l'interior.



Fig. 18 Targeta de memòria SD

V. RESULTATS

Per comprovar el funcionament es realitza una prova que consisteix en una ruta pel campus de la UIB amb la motxilla.

L'arxiu resultant amb les dades es pot obrir amb una fulla de càlcul i permet expressar els resultats en gràfiques.

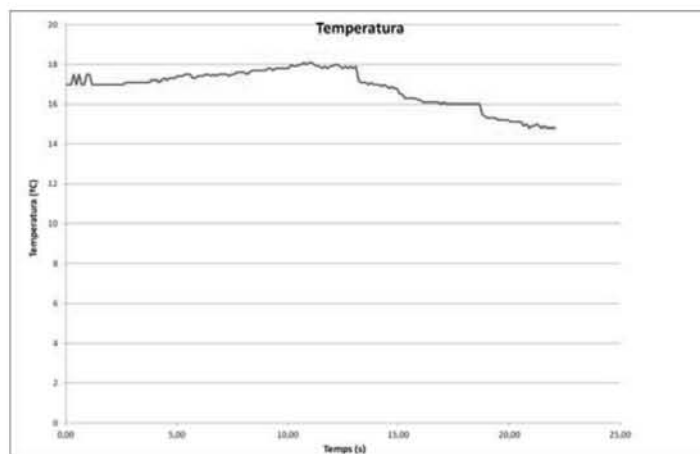


Fig. 19 Gràfica de la variació de temperatura

VI. CONCLUSIONS

Disposar d'informació sobre els paràmetres ambientals és de gran utilitat en molts d'àmbits, i sovint resulta una necessitat disposar d'aquestes dades per poder fer prediccions meteorològiques per el desenvolupament d'un gran nombre d'activitats.

En el mercat existeixen una gran varietat de sistemes de mesura ambiental portàtils, però la gran majoria no disposen de la possibilitat de funcionar amb energia solar. El sistema presentat en aquest projecte requereix un nivell baix de radiació i, a més, simultàniament a partir d'aquesta energia, també carrega unes bateries recarregables que ofereixen al sistema una gran autonomia i flexibilitat per a operar a partir d'una font d'energia renovable i neta, encara que les condicions de radiació no siguin les més favorables.

REFERÈNCIES

Tots les fulles de característiques dels components utilitzats es poden consultar al portal web del distribuïdor *Farnell*.

- [1] Pàgina web del distribuïdor Farnell. <http://es.farnell.com>
- [2] Blocs d'una font d'alimentació. http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_a_indice.html
- [3] Targeta de memòria SD. http://en.wikipedia.org/wiki/SD_Card



Marc Soler Vallespir. Enginyer Tècnic Industrial, especialitat en Electrònica Industrial.

Bartomeu Alorda. Enginyer de Telecomunicacions (UPC, 2000) i Doctor en Física, (UIB, 2005). És professor del Departament de Física a la Universitat de les Illes Balears en el grup de recerca de Sistemes Electrònics.

MIRES: Disseny i Implementació d'un Sistema de Realitat Mixta

Tomeu Canyelles Escarrer, *Enginyeria Informàtica* . Antoni Jaume-i-Capó, *Doctor en Informàtica*

Abstract— El present article recull tot el procés de desenvolupament d'un sistema de realitat mixta de baix cost. Es presenta l'arquitectura de tres nivells del sistema: es captura informació de l'entorn mitjançant un dispositiu RGB-D (*Kinect*), que enregistra el núvol de punt en les estructures pertinents. Es reconstrueix un model en 3D de l'escena definint unes lleis físiques que governaran el món. Tot seguit, els usuaris tendran mitjans per introduir-hi un conjunt d'objectes virtuals, que es regiran per les mateixes lleis físiques del món. El resultat és el sistema de realitat mixta desitjat: *MIRES*.

Index Terms— Realitat Mixta, Kinect, OpenNI, Ogre3D, Bullet Physics, Qt.

I. INTRODUCCIÓ

S'ENTÉN per realitat el conjunt de tot el que existeix en el món real. Partint d'aquesta definició, i del concepte de virtualitat: tot allò que existeix només aparentment i no és real, es defineix la realitat mixta com una combinació perfecte entre la realitat i la virtualitat. Es parla de simbiosi entre ambdós mons en el sentit que és possible la interacció entre els usuaris/objectes reals i els sintètics.

La figura 1 mostra els diversos graus de compenetració entre els dos mons: real i virtual, i la nomenclatura atorgada.



Fig. 1. Distribució dels botons del teclat

Un sistema de realitat mixta és aquell que combina objectes reals i virtuals en un entorn real i permet la interacció tridimensional en els dos sentits: real-virtual i virtual-virtual. És a dir, tots aquells objectes virtuals que entrin en contacte amb algun objecte dins l'espai de col·lisions reaccionaran segons les lleis físiques que defineixen el món.

Tot projecte de realitat mixta, i en particular aquest: *MIRES*, satisfà uns principis [1]: combina objectes reals amb objectes virtuals; s'han d'eliminar de l'escena els objectes o la part d'ells (*sintètics o no*) que es trobi superposat per altres; ha d'existir una interacció en tres dimensions i en temps real; i la visualització no s'ha de veure limitada a cap tecnologia concreta.

bce892@gmail.com
anoti.jaume@uib.es

MIRES és una aplicació estructurada en tres fases: la captura de dades de l'entorn, el tractament d'aquestes i la visualització de la informació (Veure figura 2), que satisfà els principis d'un sistema de RM i un requeriment de costos. El dispositiu físic de captura i les eines emprades fan de *MIRES* un sistema de baix cost.

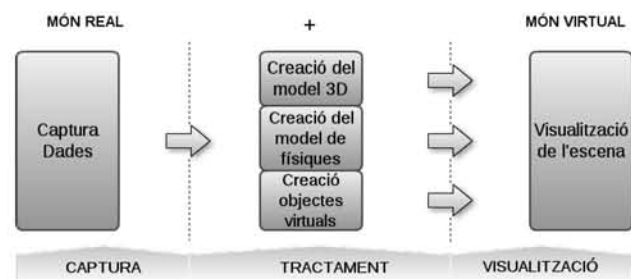


Fig. 2. Esquema de construcció del sistema de realitat mixta

El present document consta d'una breu descripció del projecte que donarà peu a descriure les eines de desenvolupament de l'aplicació. Tot seguit s'exposa el cos de l'article, les tres fases del projecte *MIRES*: captura, tractament i visualització.

Juny 22, 2012

II. DESCRIPCIÓ GENERAL

El projecte consisteix dissenyar i implementar una aplicació de RM, és a dir, crear un espai basat en la realitat on interactuïn tant objectes i/o persones d'aquest món com els objectes virtuals.

El sistema ha de poder generar un model sintètic el més fidel possible a la realitat que s'ajusti a unes lleis físiques semblants a les del món real. Els usuaris, en qualsevol moment, han de poder ordenar la creació i la integració d'un conjunt d'objectes sintètics en el model, que actuaran de forma esperada d'acord a les lleis físiques definides. També han de poder visualitzar els resultats de la interacció entre els dos mons.

S'ha definit *MIRES* com un sistema de tres fases: captura, tractament i visualització. La fase de captura es caracteritza per la generació d'un núvol de punts amb informació de profunditat i color mitjançant un dispositiu RGB-D, la *Kinect*. La fase de tractament és l'encarregada de modelar l'escena i simular la interacció dels objectes atenent-se a uns paràmetres i lleis físiques definides. La de visualització és la que mostra als usuaris els resultats mitjançant un monitor de PC o televisor.

En la següent secció es defineixen i descriuen les principals característiques dels dispositius i eines que ha possibilitat la implementació del sistema.

III. EINES

S'utilitzen un o més eines per a cadascuna de les fases escollides d'entre diverses possibilitats principalment per ser de codi obert (*software lliure*) i gratuïtes. *OpenNI*, *Ogre 3D*, *Bullet Physics Engine*, *OgreBullet* i *Qt* són els *frameworks* seleccionats per a satisfer els objectius imposats sobre el sistema.

OpenNI: És un *framework* multiplataforma de codi obert que possibilita la interacció natural, persona-ordinador. S'organitza en un conjunt de llibreries que proporcionen una capa d'abstracció entre el hardware, encarregat de la captura d'informació (*àudio, color i profunditat*) i l'aplicació.

Ogre3D: Són les sigles de *Object-Oriented Graphics Rendering Engine* [4]. És un motor de renderitzat de gràfics orientat a objectes i de codi obert. Està format per unes potents llibreries multiplataforma desenvolupades en C++ i basada en components, és a dir, que està constituïda per un conjunt estructurat de classes que representen conceptes reals i faciliten la comprensió i la reutilització de codi.

Bullet Pyhysics: És un motor de físiques de codi obert caracteritzat per detecció de col·lisions en 3D, per la creació de cossos rígids o deformables i sobretot per poder modificar els paràmetres que descriuen la física del món. La funció primordial de *Bullet Physics* [5] és la detecció i resolució de múltiples col·lisions entre objectes.

OgreBullet: És un *wrapper* per *Ogre3D* que facilita la integració dels subsistemes de renderitzat i de físiques.

Qt: És el *framework* que es fa servir perquè l'usuari pugui visualitzar els resultats de la simulació. Són un conjunt de llibreries multiplataforma composta per mòduls que proveeixen funcionalitats específiques com gestió d'esdeveniments (*signals, slots i timers*) i la creació de finestres, botons, etiquetes, etc.

IV. DISSENY I IMPLEMENTACIÓ

La tasca de disseny d'un sistema informàtic consisteix en definir l'arquitectura, els processos, les estructures de dades, algorismes i les interfícies d'usuari del mateix. En general, el propòsit d'aquesta secció és tractar aquests aspectes i detallar-ne alguns de la implementació.

A. Arquitectura del sistema

L'arquitectura del sistema *MIRES* està basada en l'estructura de les fases descrites anteriorment. Així doncs, es defineix una arquitectura de tres nivells (Veure figura 3).

El primer nivell: *Captura*, defineix les estructures de dades que compartiran la resta de subsistemes: logs, nodes i matrius de color, profunditat, etc. A més, carrega la configuració i els controladors dels dispositius físics. En definitiva, s'encarrega de la comunicació amb el hardware.

El segon nivell: *Tractament*, és el més complex, es divideix en tres mòduls: el generador del model 3D, el simulador de l'entorn físic i la interfície de comunicació entre el nivell superior i aquest.

El tercer nivell: *Visualització*, és el que gestiona l'entrada-sortida d'informació des de i cap a l'usuari, és a dir, controlar els paràmetres d'entrada i projectar les imatges de sortida a l'usuari.

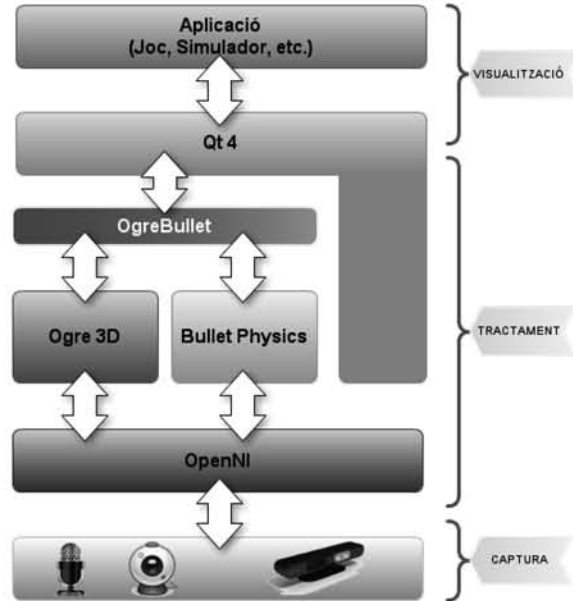


Fig. 3. Arquitectura del sistema *MIRES*

B. Processos

L'aplicació està estructurada en tres fils d'execució concurrents però no independents (*intercanvien informació*): un principal i dos fills. El principal és el de la GUI i s'associa unívocament al nivell superior de l'arquitectura del sistema, juntament amb el fil encarregat de mostrar a l'usuari la informació resultant de la simulació. El darrer fil d'execució està lligat als dos primers nivells, encarregats de la captació d'informació, reconstrucció del model i simulació de les físiques dels objectes.

El diagrama de HRT-HOOD [7] representat en la figura 4 defineix formalment el comportament de cada procés i la comunicació entre ells. És imprescindible detallar l'objecte *Control Simulació* ja que és l'únic objecte *actiu* (Veure figura 5).

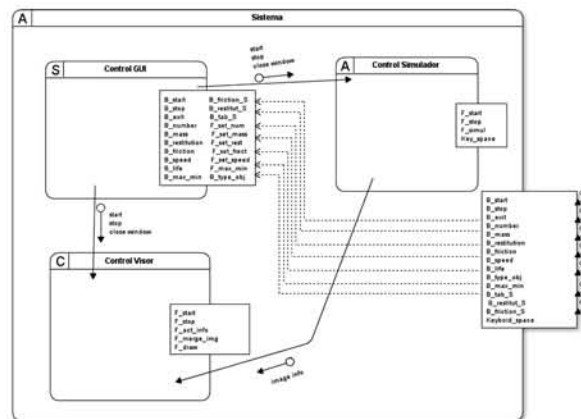


Fig. 4. Diagrama HRT-HOOD del sistema

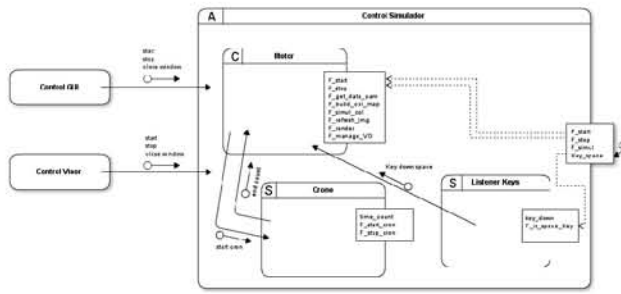


Fig. 5. Diagrama HRT-HOOD de l'objecte Control Simulació

1) *Control GUI*: És el mòdul destinat a la gestió de la informació d'entrada per part de l'usuari. La interfície disposa d'un seguit de variables que l'usuari pot modificar per ajustar els paràmetres físics dels objectes i/o escena. El control d'aquests paràmetres és la principal funció del modul *Control GUI*.

2) *Control Visor*: L'objecte visor és cíclic, això vol dir que s'activa cada cert temps per actualitzar les dades provinents de la *Kinect* i fusionar-les amb la projecció de l'escena que prové de l'objecte *Control Simulador*. Finalment mostra aquestes dades a l'usuari.

3) *Control Simulador*: Aquest es descompon en tres objectes més simples: *Motor*, *Crono* i *Listener keys*. L'objecte *Motor* executa una sèrie de funcions cada cert temps: recull informació de profunditat de la *Kinect*, reconstrueix un model 3D i el de col·lisions, renderitza l'escena i captura la projecció d'aquesta. L'objecte *Listener Keys* detecta la pulsació de la tecla "space", llança els objectes virtuals i envia un missatge a l'objecte *Crono* perquè comenci la seva tasca: comptabilitzar temps.

C. Algoritmes

Aquesta secció es centre en l'estudi de com es realitzen les tres tasques bàsiques del sistema de RM: *Captura*, *Tractament* i *Visualització*.

El següent algoritme recull les dades de color i profunditat que la *Kinect* ha capturat i les enregistra en unes estructures de dades (Veure secció IV-D) perquè puguin ser processades.

```

obte_dades(kinect_prof, kinect_color);
PER j=0 FINS kinect_prof.yRes FER
  PER i=0 FINS kinect_prof.xRes FER
    convert_projec_a_3d(XYZ);
    desa_valors([matC,RGB], [matP,XYZ]);
  FI PER;
FI PER;

```

L'algoritme de *Tractament* és un algoritme de generació del model 3D i de la malla de col·lisions dinàmica. Itera sobre les estructures adequades per tal de formar una malla uniforme, composta per un nombre variable de triangles en funció dels objectes virtuals que l'usuari desitja integrar en el sistema.

```

PER j=0 FINS yRes-gap FER
  PER i=0 FINS xRes-gap FER
    /* Triangle superior */
    obtenir_punts(val1, val2, val3);

```

```

SI (val1().z AND val2().z
AND val3().z) /= 0 LLAVORS
  definir_color_model(cromakey);
  definir_punt3D_models(val1, val2, val3);
FI SI;
/* Triangle inferior */
obtenir_punts(val1, val2, val3);
SI (val1().z AND val2().z
AND val3().z) /= 0 LLAVORS
  definir_color_model(cromakey);
  definir_punt3D_models(val1, val2, val3);
FI SI;
FI PER;
FI PER;

```

El darrer algoritme és el de fusionar els dos mons per conformar l'escena resultant, mescla informació de color de la *Kinect* i la projecció resultant de la simulació.

```

refreca_mapa_color();
SI NO acabar_proces() LLAVORS
  PER i=0 FINS xRes*yRes*3 FER
    SI color(i) /= cromakey LLAVORS
      projecta_valor_simulacio(img);
    FI SI;
  FI PER;
FI SI;
mostra (img);

```

D. Estructures de dades

S'utilitzen dos arrays, un per a informació de posició i l'altre de color, amb una dimensió de $m \cdot n \cdot 3$ posicions, que es corresponen als valors de RGB en el cas de l'array de color i XYZ pel que fa a l'array de posicions. La figura 6 detalla com es desa aquesta informació.

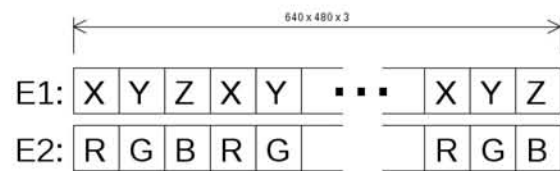
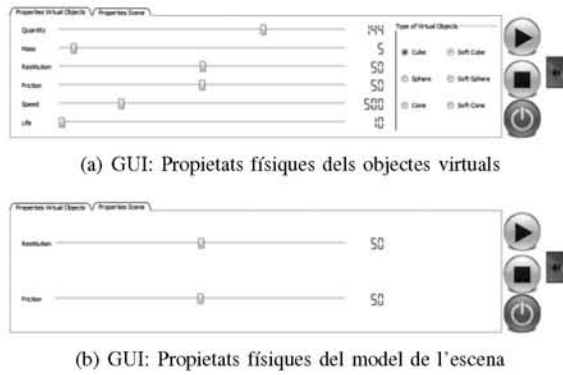


Fig. 6. Estructura de dades 1D amb informació pel model 3D

E. Interfícies d'usuari

El propòsit d'aquesta secció és descriure com els usuaris poden col·laborar amb el sistema, que i com fer-ho.

S'ha disposat d'una interfície d'usuari basada en *Qt* que permet als usuaris la manipulació del sistema mitjançant dispositius d'entrada com el ratolí i el teclat. La GUI consta de dues pipelles amb variables corresponents als paràmetres físics dels objectes virtuals i als de l'escena respectivament. Alhora s'ha dotat d'un botó per començar, un per sortir, un per pausar la simulació i un darrer per ocultar parcialment la interfície a fi de no destorbar la visualització de la simulació (Veure la figura 7).



(a) GUI: Propietats físiques dels objectes virtuals

(b) GUI: Propietats físiques del model de l'escena

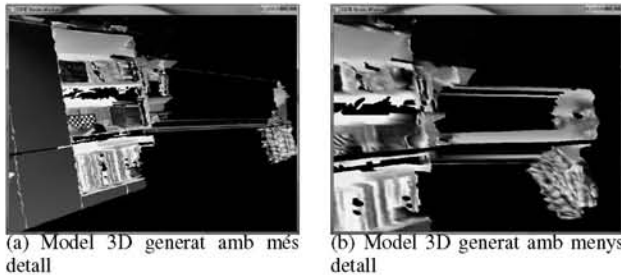
Fig. 7. Interfície d'usuari del sistema

V. RESULTATS

MIRES està basat en un desenvolupament modular, això suposa desglossar l'estructura en blocs més simples que satisfacin uns objectius parcials. Els mòduls d'aquest sistema són:

- 1) Mòdul de captura.
- 2) Mòdul de digitalització de l'escena.
- 3) Mòdul de físiques.
- 4) Mòdul d'interfície.
- 5) Integració del tots el mòduls anteriors.

El resultat de la prova de captura i generació del model 3D de l'escena és el que es mostra en la figura 8. Es pot observar en les figures l'eficàcia de l'algoritme dinàmic de modelat.

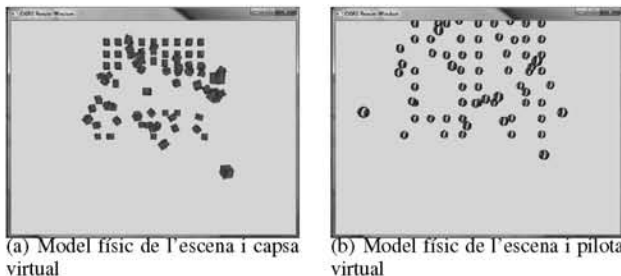


(a) Model 3D generat amb més detall

(b) Model 3D generat amb menys detall

Fig. 8. Resultats de les fases de captura i modelització

Els resultats observables de les proves amb les biblioteques de físiques, la simulació de col·lisions, són en la figura 9.



(a) Model físic de l'escena i capsula virtual

(b) Model físic de l'escena i pilota virtual

Fig. 9. Resultat de la simulació de la física

Per acabar la secció mostrar als lectors el resultat de la integració d'ambdós mons: món real i món virtual (Veure figura 10).

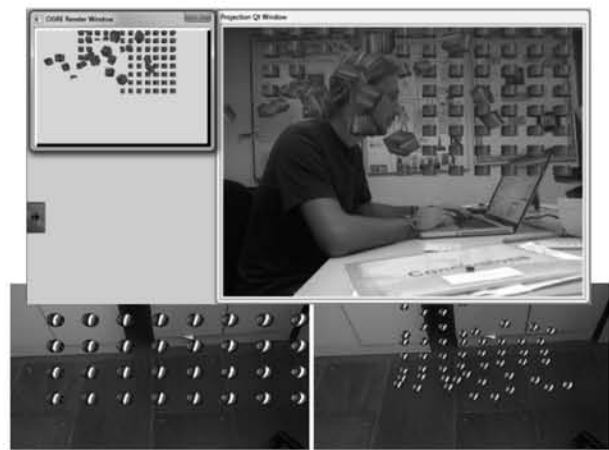


Fig. 10. Captura de l'escena de RM que l'usuari percep

VI. CONCLUSIONS

La finalitat del document és donar a conèixer una aplicació de realitat mixta de baix cost basada en eines lliures i el dispositiu de captura RGB-D *Kinect*.

Els resultats de l'aplicació són satisfactoris, per una banda dir que combina objectes reals amb objectes virtuals, existeix interacció 3D, compleix el requeriment de *clipping* dels objectes que no s'haurien de veure. Per altra banda, dir que compleix parcialment el requeriment temporal (*temps real*), ja que la simulació de la física es veu notablement afectada en funció de la càrrega d'objectes virtuals.

En resum, s'han posat les bases per al desenvolupament d'aplicacions de RM per diversos àmbits: oci, arquitectura, medicina, etc.

REFERÈNCIES

- [1] D.W.F. van Krevelen, R. Poelman. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *Systems Engineering Section, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands* (2010).
- [2] Miquel Barceló, ¿Cómo funciona la tecnología Kinect?. *BYTE España*, 183 (2012).
- [3] DotNetNuke Corporation. *OpenNI_T_H* (2011). <http://75.98.78.94/About.aspx>
- [4] Ogre Team, Open Source 3D Graphics Engine (2009). <http://www.ogre3d.org/about>
- [5] Doxygen. *Bullet Collision Detection & Physics Library* (2012). <http://bulletphysics.com/Bullet/BulletFull/>
- [6] Nokia Corporation. *Cross-platform applicatin and UI framework* (2012). <http://qt.nokia.com/>
- [7] R. Di Giovanni, P. L. Iachini. VDM Europe, *HOOD and Z for the development of complex software systems* (1990).



Tomeu Canyelles Escarrer

Enginyer Informàtic, especialitat en Informàtica de Sistemes per la Universitat de les Illes Balears.

bce892@gmail.com



Antoni Jaume-i-Capó

Doctor en Informàtica i professor del departament de ciències matemàtiques i informàtica de la UIB.

antoni.jaume@uib.es

Una estratègia òptima per al joc del 7 i mig

Biel Llinàs Sansó

*Treball acadèmicament dirigit
optativa de la Llicenciatura de Matemàtiques*

Resum—En aquest article s'estudia un joc de cartes molt popular en els bars de Mallorca, el 7 i mig. El 7 i mig és un joc semblant al Black-Jack que es juga amb la baralla espanyola, l'objectiu és demanar cartes intentant acostar-se el màxim possible a 7 punts i mig, però sense passar-se. Tractarem aquest joc intentant maximitzar el guany esperat i, mitjançant un procés d'inducció per enrere i sota certes hipòtesis, obtindrem una regla d'aturada òptima.

I. REGLES DEL JOC

El joc es juga amb la baralla espanyola sense els vuits i els nous, cada carta entre 1 i 7 té el valor del número que té associat, les demés cartes (10, 11 i 12) valen mig punt, l'objectiu serà acostar-se el màxim possible, però sense passar-se, a 7 punts i mig.

Abans de repartir les cartes, cada jugador ha de fer una aposta mínima, anomenada cega, per entrar en el joc. En el present article suposarem que aquesta cega és de 1 euro. El jugador que reparteix les cartes és la banca, aquesta reparteix una carta tapada a cada jugador i una per a ella. Una vegada vista la carta, els jugadors han de decidir si volen més cartes o si volen plantar-se. En el cas que un jugador decideixi demanar una carta més, tindrà dret a mantenir una carta tapada oculta per a la banca i a augmentar la seva aposta (abans de veure la nova carta). En el cas que un jugador es passi de 7 punts i mig, ha d'ensenyar les seves cartes i perd automàticament l'aposta realitzada. Finalment, si les cartes sumen 7 punts, el jugador pot elegir fer un enterrament, això és, destapar totes les seves cartes i demanar una carta tapada, que no es destaparà fins que la banca no hagi efectuat el seu joc.

Després del joc dels jugadors, efectua el seu joc la banca i, posteriorment, es realitza la ronda de pagaments. La banca guanya l'aposta realitzada per cada jugador a qui supera o iguala els punts; en cas contrari, la banca paga l'aposta realitzada al jugador corresponent. Si un jugador ha aconseguit 7 punts i mig, la banca paga el doble de l'aposta realitzada.

II. METODOLOGIA

Començarem l'estudi del joc sota les següents hipòtesis:

- H_1 : La probabilitat d'obtenir una carta concreta no varia al llarg del joc, és a dir, la probabilitat d'obtenir un mig és de $3/10$ i la d'obtenir qualsevol altre carta és $1/10$
- H_2 : El total de punts de la banca és independent del que fan els diferents jugadors.

La hipòtesi H_1 és una simplificació necessària en una primera etapa d'anàlisi del joc; aquesta és raonable si es té en compte que la banca utilitza una baralla de cartes suficientment gran. Amb la hipòtesi H_2 assumim que la banca fixa una estratègia i no la veu alterada per les cartes i les apostes dels jugadors.

Sota aquestes hipòtesis, suposarem que, en un moment donat del joc el jugador coneix la suma de les seves cartes, x , i l'estratègia que seguirà la banca, b (puntuació a partir de la qual s'aturarà). Davant una situació donada (x, b) , el jugador ha de decidir si plantar-se o demanar una altra carta.

Utilitzarem la notació següent:

- $G^*(x, b)$ és el màxim guany esperat pel jugador en la situació (x, b) que s'obté quan s'actua de forma òptima.
- $G_0(x, b)$ és el guany esperat si a la vista de (x, b) el jugador decideix plantar-se.
- P_c és la probabilitat d'obtenir una carta de valor c ; segons H_1 aquesta probabilitat es mantindrà constant al llarg de tota la partida i val

$$P_c = \begin{cases} 3/10 & \text{si } c = 1/2 \\ 1/10 & \text{si } c \neq 1/2 \end{cases}$$

Per tant, si anomenem

$$G_1^*(x, b) = P_{1/2} \cdot G^*(x + 1/2, b) + \sum_{c=1}^7 P_c \cdot G^*(x + c, b)$$

podem expressar

$$G^*(x, b) = \max \{G_0(x, b), G_1^*(x, b)\} \quad (1)$$

És a dir, comparem el guany esperat si ens aturam i el guany esperat si es demana una carta i després es continua el joc seguint l'estratègia òptima. Convindrà aturar-se, doncs, quan el màxim s'agafi en $G_0(x, b)$ i demanar una carta en cas contrari.

Hem d'avaluar l'equació anterior per a cada x i per a cada b . Per això necessitam conèixer els valors de $G_0(x, b)$ per a cada x i per a cada b i els valors finals de $G^*(x, b)$ necessaris per a poder iniciar el procés d'inducció cap enrere amb qualsevol valor de x i b .

III. CÀLCUL DE L'ESTRATÈGIA ÒPTIMA

Tenim que els valors de $G_0(x, b)$ vendran donats per

$$\begin{cases} P(B > 7.5) + P(B < x) - P(x \leq B \leq 7.5) & \text{si } x < 7.5 \\ 2 \cdot P(B > 7.5) + 2 \cdot P(B < 7.5) - P(B = 7.5) & \text{si } x = 7.5 \\ -1 & \text{si } x > 7.5 \end{cases}$$

on B és la suma total obtinguda per la banca suposant que s'atura a partir de b o més. Per tant, el càlcul de $G_0(x, b)$ depèn exclusivament de les probabilitats $P(B = j)$, $j = 0.5, 1, 1.5, \dots, 7.5, > 7.5$.

Ja que calcular aquestes probabilitats és un procés molt tediós, s'han utilitzat les tècniques de Montecarlo per obtenir-les aproximadament a partir de 200.000 partides simulades per a cada x i per a cada b .

Finalment, tenint en compte que si ens passam el guany esperat és sempre -1 , i que si obtenim 7 punts i mig,

el millor que podem fer és aturar-nos, podem obtenir els següents valors finals de $G^*(x, b)$

$$\begin{cases} G^*(x, b) = -1 & \text{si } x > 7.5 \text{ i per a tot } b \\ G^*(7.5, b) = G_0(7.5, b) & \text{per a tot } b \end{cases}$$

a partir dels quals s'iniciarà el procés d'inducció cap enrere aplicant l'equació recursiva ??.

A. Quan augmentar l'aposta?

Ara considerarem la possibilitat d'incrementar l'aposta quan les nostres cartes sumen x , recordem que podem incrementar l'aposta sempre i quan demanem una carta més. Així, hem de cercar per a cada x i per a cada b , a partir de quina aposta A es compleix (si es compleix) que

$$A \cdot G_1^*(x, b) := G_A^*(x, b) > G^*(x, b).$$

D'aquesta manera podem aconseguir l'estratègia d'aturada òptima que es pot veure al final de l'article a la taula ??, on:

- ★ indica que si demanem una carta més el guany esperat és positiu i per tant és convenient augmentar l'aposta.
- △ indica que hem de demanar una altra carta, però sense augmentar l'aposta ja que el guany esperat en aquest cas és negatiu.
- ■ indica que ens hem d'aturar i, a més, el guany esperat és positiu.
- □ indica que ens hem d'aturar, a pesar de que el guany esperat sigui negatiu.
- Els números indiquen el que s'ha d'apostar, com a mínim, per a que sigui més favorable demanar que aturar-se.

IV. GUANY ESPERAT SEGUINT L'ESTRATÈGIA ÒPTIMA

Una vegada determinada l'estratègia òptima, és lògic demanar-se quina és la mitjana de la variable aleatòria guany quan s'aposta un euro i se segueix aquesta estratègia; així, podem calcular l'esperança del guany en funció de l'estratègia de la banca. Si anomenem $E(x, b)$ al guany esperat si les meves cartes sumen x i la banca decideix seguir l'estratègia de no aturar-se fins a que les seves cartes no sumin com a mínim b , podem calcular l'esperança $E(b)$ per a cada estratègia que pugui seguir la banca mitjançant

$$E(b) = 0.3 \cdot E(0.5, b) + 0.1 \cdot \sum_{i=1}^7 E(i, b)$$

Realitzant els càlculs, obtenim que l'esperança és negativa per al jugador quan la banca elegeix seguir l'estratègia 4, 4.5, 5 o 5.5, essent la millor (per a la banca) la de no aturar-se amb menys de 5 punts; amb aquesta estratègia, la banca guanyarà, de mitjana, com a mínim un 11% de les apostes realitzades (recordem que aquesta és la mitjana sempre i quan el jugador jugui de manera òptima, altrament, el percentatge de guanys per a la banca seran majors).

Ara bé, es pot millorar aquesta estratègia? Podem aconseguir que l'esperança del joc sigui sempre positiva per al jugador? La resposta és sí; recordem que si elegim demanar una carta més, podem augmentar l'aposta sense límit, si observem els valors de $G^*(x, b)$ veim que el millor moment per augmentar l'aposta, és quan $x = 0.5$, d'aquesta manera podem calcular els diners que s'han d'apostar quan es rep una carta de valor

0.5 per tal que l'esperança del joc sigui positiva. Aquests diners, diguem-los d , vendran determinats per

$$E(b) = 0.3 \cdot E(0.5, b) \cdot d + 0.1 \cdot \sum_{i=1}^7 E(i, b) \geq 0.$$

Així, realitzant els càlculs per a les estratègies d'esperança negativa obtenim que s'ha d'apostar com a mínim 2, 4, 7 i 6 per a les estratègies 4, 4.5, 5 i 5.5 respectivament.

D'aquesta manera, podem trobar, per a qualsevol estratègia que pugui seguir la banca, una estratègia òptima que té esperança positiva per al jugador. Per tant, la primera conclusió que es treu és que, si es coneix l'estratègia que seguirà la banca, seguint l'estratègia òptima, el 7 i mig pot convertir-se en un joc favorable per al jugador i, a més a més, apostant suficients diners es pot tenir una esperança de guany tan gran com es vulgui.

V. QUE PASSA SI ERRAM L'ESTRATÈGIA QUE SEGUIRÀ LA BANCA?

En l'estudi realitzat s'ha suposat sempre que es coneix l'estratègia que seguirà la banca, però això no sempre és així. A la taula ?? podem veure que passa si ens equivocam d'estratègia, és a dir, si elegim jugar l'estratègia òptima per a b però en canvi la banca elegeix seguir una altra estratègia b' .

Podem veure que no hi ha cap estratègia que ens serveixi per a tenir avantatge enfront totes les altres estratègies; la solució a aquest problema passa, una vegada més, per augmentar l'aposta que realitzam a l'hora d'obtenir un mig (recordem que com més apostam en els mitjos, més guanyam de mitjana). Així, per exemple, si elegim seguir l'estratègia òptima per a $b = 1$, apostant sempre com a mínim 11 euros a les cartes de valor 0.5 aconseguim esperança positiva, sigui quina sigui l'estratègia que segueixi la banca.

VI. ENTERRAR-SE

Recordem que enterrar-se consistia en, si les nostres cartes sumen 7, ensenyar el 7 i demanar una carta que no es destaparà fins al final del joc.

Hem vist que sota la hipòtesi H_1 mai és convenient enterrar-se, això es pot veure calculant l'esperança d'enterrar-se:

$$\begin{aligned} E &= 2 \cdot A \cdot P(x = 0.5) - A \cdot P(x > 0.5) \\ &= 2 \cdot A \cdot 0.3 - A \cdot 0.7 \\ &= -0.1 \cdot A \end{aligned}$$

on x és la carta tapada i A l'aposta realitzada sobre l'enterrament. Això significa que, sota la hipòtesi H_1 , de mitjana perdrem un 10% dels diners que apostem.

Ara bé, si obviam la hipòtesi H_1 podem trobar condicions sobre $P(x = 0.5)$ perquè l'esperança de l'enterrament sigui positiva, això és

$$\begin{aligned} E &= 2 \cdot A \cdot P(x = 0.5) - A \cdot P(x \geq 0.5) \\ &= A \cdot (3 \cdot P(x = 0.5) - 1) \geq 0 \end{aligned}$$

Per tant ha de passar que

$$P(x = 0.5) \geq \frac{1}{3}.$$

Ja que $P(x = 0.5) = \frac{12}{40}$, volem que passi a ser de $\frac{12}{36}$, o $\frac{11}{33}$, o $\frac{10}{30}$... És a dir, si comptam els mitjos i les cartes que no són

mitjos que han sortit i els anomenem α i β respectivament, ens convindrà apostar a l'enterrament quan

$$\beta \geq 3\alpha + 4$$

VII. UNA PARTIDA SIMULADA

En Biel, en Jaume, na Catalina i en Marc s'han ajuntat per jugar una partida al joc del 7 i mig. En Marc, que ha escoltat allò de "la banca sempre guanya", es presta voluntari per a ser la banca i, seguint les normes del joc, reparteix una carta tapada a cada jugador i una per a ell. Anem a veure com es desenvoluparia el joc si en Biel, en Jaume i na Catalina juguen seguint l'estratègia òptima estudiada anteriorment. Per a garantir un guany esperat positiu independentment del que decideixi fer la banca, els jugadors haurien d'apostar com a mínim 11 euros a cada carta de valor 0.5; no obstant, cap dels jugadors disposa de tants de diners per invertir en una sola carta, així que hauran d'intentar encertar l'estratègia que seguirà la banca per a poder utilitzar la regla d'aturada òptima de la taula ??.

A. Joc de na Catalina

Na Catalina pensa que en Marc seguirà l'estratègia de demanar fins a no tenir almenys 4.5, és a dir, l'estratègia $b = 4.5$

La carta de na Catalina és un mig, per tant es té que $x = 0.5$, si miram la taula ?? trobam una ★, lo qual ens indica que hem d'augmentar l'aposta, per això na Catalina decideix augmentar l'aposta a 3 euros i demanar una carta més.

La següent carta que rep és un 1, amb la qual cosa la seva puntuació passa a ser ara de $x = 1.5$, tornant a la taula de l'estratègia òptima ens trobam amb un △, per tant hem de demanar una altra carta, però sense augmentar l'aposta.

La següent carta que rep és un 4, ara la puntuació de na Catalina és de $x = 5.5$ i, a la taula ??, trobam un □, de manera que ens hem d'aturar de demanar, a pesar de que el guany esperat en aquests moments sigui negatiu.

B. Joc de'n Biel

En Biel gira amb cura la seva carta i veu és un 7, de manera que considera la possibilitat de realitzar un enterrament augmentant l'aposta a 5 euros. Abans de realitzar-lo, dissimuladament, es fixa amb les cartes que ja han sortit: veu que han sortit 4 cartes, 3 de les quals no són mitjos (0.5, 1, 4 i 7), això significa que $\alpha = 1$ i $\beta = 3$, ja que no es compleix que $\beta \geq 3\alpha + 4$ i a la taula ?? trobam un ■ per a totes les estratègies que pugui seguir la banca, decideix aturar-se sabent que la seva esperança és positiva.

C. Joc de'n Jaume

En Jaume, ja que coneix molt bé en Marc i sap que és un jugador molt agressiu, pensa que demanarà cartes fins a no fer 7 punts i mig.

Observa la seva carta i veu que és un 3; l'estratègia d'aturada òptima per a $b = 7.5$ li indica que ha d'augmentar la seva aposta a 5 euros i demanar una carta més. Això és el que fa i la següent carta que rep és un 1, ara la puntuació de'n Jaume és 4 i, ja que a la taula ?? trobam un ■, decideix aturar-se.

D. Joc de'n Marc

Finalment arriba el joc de la banca i, a pesar de que la intenció de'n Marc al principi era anar a fer 7 i mig, intueix que en Jaume pot no tenir una puntuació massa alta, per això decideix jugar una mica més conservador i aturar-se a partir de 5, és a dir, seguir l'estratègia $b = 5$.

Abans de revelar la carta de'n Marc, observem la taula ?? per a determinar quina és l'esperança de cada jugador, tenint en compte que la banca ha elegit l'estratègia $b' = 5$. Na Catalina ha elegit l'estratègia òptima per a $b = 4.5$, a la taula ?? veim un ■, amb la qual cosa, a pesar d'haver-se equivocat a l'hora d'endevinar l'estratègia de la banca, segueix conservant l'avantatge. En canvi en Jaume, que ha elegit l'estratègia $b = 7.5$, té un □, de manera que ha perdut l'avantatge que en un principi l'estratègia d'aturada òptima li havia proporcionat.

Finalment, en Marc destapa la seva carta i resulta ser un 5, de manera que decideix aturar-se. Així, ha de pagar 3 euros a na Catalina i 1 euro a en Biel, ja que aquests han superat la seva puntuació, i ha de cobrar els 5 euros que havia apostat en Jaume, ja que aquest s'havia plantat amb només 4 punts.

VIII. CONCLUSIONS

En aquest article s'ha trobat una estratègia d'aturada òptima per al joc del 7 i mig amb esperança positiva per al jugador. No obstant, aquest guany esperat positiu és a costa d'apostar una quantitat bastant elevada de diners, i això, degut a que la variància del joc és gran, pot acabar en pèrdues elevades a curt plaç, que ens poden portar a la bancarrota si no disposam d'un capital inicial suficientment gran com per a poder afrontar-les.

Tenir la capacitat de preveure l'estratègia que seguirà la banca ens pot servir per a reduir la quantia de les apostes, no obstant, com hem vist a la partida simulada anterior, errar en les prediccions ens pot conduir a prendre una decisió equivocada. Aquest desavantatge és veu empitjorat pel fet de que la banca sempre fa el seu joc al final, després de veure el joc dels jugadors. Per això, una banca intel·ligent pot adaptar l'estratègia a seguir en funció del joc i de les cartes que tenen destapades els jugadors, essent aquest un dels avantatges més importants que posseeix la banca (cas de'n Marc i en Jaume per exemple) i que fa valer el dit popular

"La banca sempre guanya"

AGRAÏMENTS

Aquest article forma part del treball realitzat a l'assignatura optativa de la Llicenciatura de Matemàtiques "Treball acadèmicament dirigit", dirigit pel Dr. Jaume Suñer Llabrés.

BIBLIOGRAFIA

[1] Juan Tejada Cazorla. Javier Yañez Gestoso. Departament d'Estadística i Investigació Operativa de la Facultat de Ciències Matemàtiques de l'Universitat Complutense de Madrid. *Estudio de la estrategia óptima para el black-jack*. Estadística Española. num 107, 1985, págs 95 a 110.

x/b	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
0.5	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
1	★	★	★	△	△	△	△	△	△	△	△	△	3	2	2
1.5	★	★	★	★	★	★	★	★	△	△	△	★	★	★	2
2	★	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	□	2	2	2
2.5	★	★	★	△	△	△	△	△	△	△	△	△	2	2	2
3	□	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	□	□	■	5
3.5	2	★	△	△	△	△	△	△	△	△	△	□	□	6	3
4	■	□	□	□	△	△	△	△	△	□	□	□	□	■	■
4.5	7	■	■	□	□	△	△	△	△	△	□	□	■	■	9
5	■	■	■	■	□	□	□	□	□	△	□	□	■	■	■
5.5	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■
6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■
6.5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7.5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Taula I
Estratègia d'aturada òptima

b/b'	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
0.5	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■
1	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■
1.5	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■
2.5	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	■	■
3	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	■	■
3.5	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	■	■
4	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■
4.5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	■	■
5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■
5.5	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■	■	■
6	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■
6.5	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■
7	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■
7.5	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■

Taula II
Seguim l'estratègia òptima per a b però en canvi la banca segueix b'
■: Avantatge per al jugador □: avantatge per a la banca

Estudi d'aportació solar tèrmica en un procés de producció d'embotits artesans

Vicenç Blanco Rosselló¹, Ramon Pujol Nadal

P.F.C. d'Enginyeria Tècnica Industrial, Especialitat en Electrònica Industrial

¹ vicensblanco@gmail.com

Resum - Al sector càrnic espanyol, concretament al subsector d'elaborats, el principal recurs energètic és el gasoil. En aquest article es valora l'aportació d'Energia Solar Tèrmica de mitja temperatura a l'esquema energètic d'una fàbrica d'embotits a Mallorca (Illes Balears). La instal·lació s'orienta tant a l'aportació d'energia tèrmica en els processos de producció, com a l'obtenció d'aigua calenta sanitària al llarg de tot l'any. S'implementen i comparen quatre escenaris mitjançant la seva simulació amb TRNSYS 16. El primer comprèn la instal·lació de col·lectors plans convencionals com a solució de baix cost. En els tres següents s'inclouen combinacions de diferents tecnologies de captació, entre elles un concentrador solar (el CCStaR) dissenyat a la Universitat de les Illes Balears.

I. INTRODUCCIÓ

Malgrat que la situació geogràfica d'Espanya és excepcional en termes de capacitat d'aprofitament de l'energia solar, el seu ús en la indústria no és comú. Al panorama espanyol, el sector agroalimentari representa un 13,6% del consum industrial [1]. A Balears concretament, més d'un 25% de l'energia requerida per la indústria s'obté directament del gasoil [2]. Les connotacions no són només ecològiques. En termes econòmics, això es tradueix en una reducció de la competitivitat i dels beneficis de les empreses del sector. D'altra banda, alguns estudis de mercat mostren una creixent sensibilització per la compra de productes respectuosos amb el medi ambient.

Per aquestes raons es proposa una instal·lació d'Energia Solar Tèrmica (EST) de temperatura mitjana en una petita fàbrica d'embotits a Mallorca, Illes Balears. El principal producte fabricat és el paté enllaunat en varis formats. La instal·lació s'orienta tant a l'aportació d'energia tèrmica per als processos de producció, com a l'obtenció d'aigua calenta sanitària (ACS) al llarg de tot l'any. A més de la instal·lació d'EST, s'introdueixen algunes pautes per aprofitar l'energia residual, augmentant l'eficiència global de la planta.

II. SITUACIÓ ACTUAL DE LA PLANTA

Al llarg de varis mesos s'ha dut a terme un seguiment de l'activitat de la planta: horaris, torns, operativa, estat de la instal·lació, etc. S'ha prestat especial atenció als processos de demanda calorífica. A la Fig. 1 s'especifica la temperatura

necessària a cada procés. Totes les màquines incorporen cremadors de gasoil per escalfar l'aigua fins a la temperatura requerida pel procés que duu a terme. El consum mensual mitjà de la planta a l'actualitat és 21GJ, obtinguts de la crema de 540 litres de Gasoil.

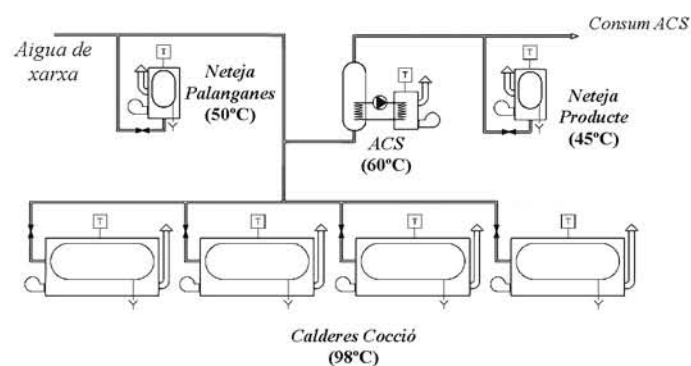


Fig. 1 Esquema de principi actual de la planta

A partir de les dades recollides, s'ha realitzat un model en TRNSYS 16 [3] de l'esquema energètic actual de la planta, que s'ha afinat gràcies a les mesures experimentals recollides. Amb això es parteix d'un model validat sobre el qual realitzar les simulacions d'aportació solar.

A la Fig 2, es pot veure la correspondència entre els valors experimentals del procés de coccio en un dia de Juny i els resultats de la simulació de TRNSYS per a aquest mateix dia.

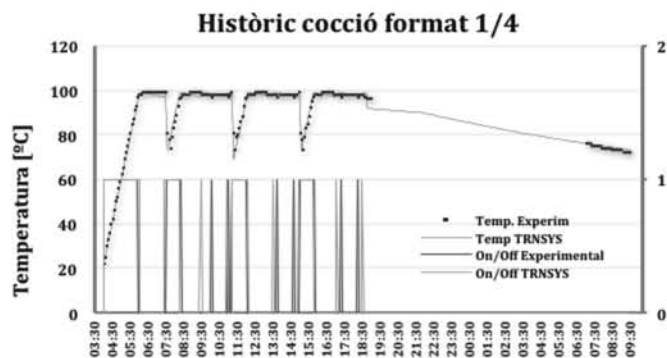


Fig. 2 Temperatures real i simulada durant el procés de coccio

III. PRIMER ESCENARI

El primer escenari es basa en una solució d'aportació solar de baix cost. L'esquema de principi proposat es detalla a la Fig. 3. La instal·lació consisteix en una superfície de captació de panells plans de 33,6m² i un dipòsit d'acumulació de 5000 litres. L'objectiu és el preescalfament de l'aigua que es destina als processos de producció i a la barreja a 50°C del volum d'entrada en el tanc d'ACS.

La temperatura de concentració d'ACS es redueix de 60 a 50°C per fer un ús més eficient de l'energia. La superfície de captació s'ha determinat de tal manera que no hi hagi excedent d'acumulació durant més de dos mesos a l'any. Entengui's com a excedent que es tingui una temperatura d'acumulació superior a 98°C, en aquest cas es procediria a cobrir un dels captadors amb una manta.

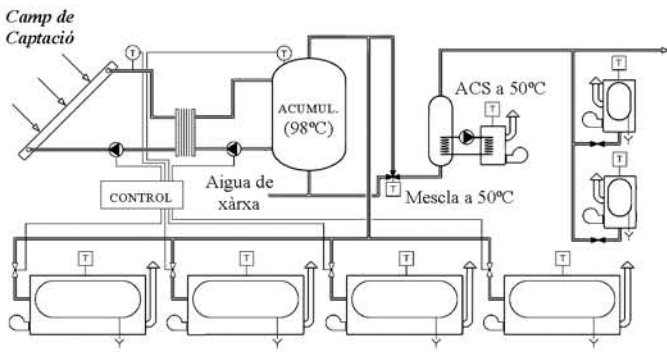


Fig. 3 Esquema de principi proposat per al primer escenari

A la Fig. 4 es mostra la diferència entre la temperatura de xarxa i la temperatura d'acumulació usada per omplir les calderes i per realitzar la mescla a 50°C a l'entrada d'ACS. En existir un salt tèrmic menor entre la temperatura inicial de l'aigua i la requerida per als processos, es produeix un estalvi del 61% en el consum de gasoil respecte al model energètic convencional.

Aquest estalvi suposa uns 3940 litres de combustible a l'any i una reducció en les emissions de CO₂ de 137 a 57 grams per quilo de producte elaborat.

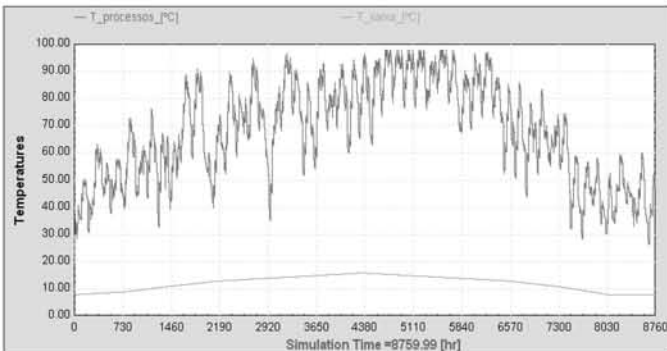


Fig.3 Comparació entre la temperatura d'aigua de xarxa i d'acumulació solar.

IV. SEGON ESCENARI

Al primer escenari, l'estalvi es limita a la temperatura inicial de l'aigua a l'inici d'un procés. No obstant això, segueix essent necessària una font de calor addicional per aconseguir i conservar les temperatures necessàries al llarg dels processos.

Per solucionar l'anterior, com a segon escenari es proposa l'esquema de principi que es pot veure a la Fig. 4. En aquest cas s'opta per una solució combinada entre col·lectors plans i de tubs de buit. Amb un camp de col·lectors plans de 31,2m² (camp n°1) es preescalfa un volum de 5000 litres que es destina a l'ompliment de calderes i a mescla a 50°C per a ACS. Paral·lelament, mitjançant 15,54m² de tubs de buit (camp n°2), s'acumulen 5000 litres d'aigua sobreescalfada a 140°C.

El volum sobreescalfat s'usa en un circuit secundari de recirculació amb bescanviadors externs d'alta eficiència. D'aquesta manera es possible una aportació d'energia al llarg dels processos. En general, en requerir-se altes càrregues puntuals de calor es necessari emmagatzemar una gran quantitat d'energia. Davant l'inconvenient d'acumular un ingent volum d'aigua, s'opta per acumular aigua sobreescalfada.

Amb aquest model a més, es contempla la recuperació de calor de les calderes quan no estan en ús. S'aconsegueix una estalvi anual del 91%, del qual la recuperació de calor residual (r.c.r.) en suposa el 2,6%. En els 3 mesos més calorosos de l'any s'aconsegueix un consum de gasoil gairebé nul.

S'estima un estalvi de més de 5885 litres de combustible a l'any, aconseguint-se una reducció de 148 a només 13 grams de CO₂ per quilo de producte elaborat.

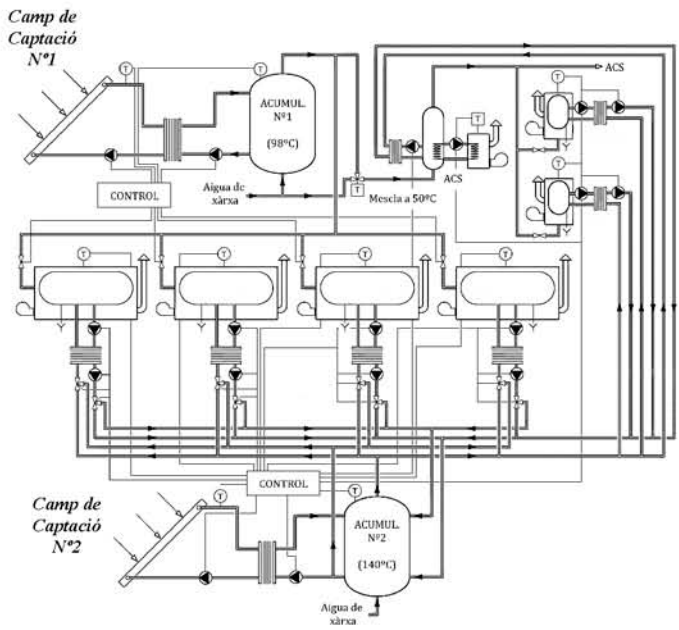


Fig.5 Esquema de principi proposat per al segon escenari

V. TERCER ESCENARI

El tercer escenari es basa en una variació del segon esquema de principi. S'usen tubs de buit a ambdós camps de captació, però es mantenen les temperatures i els volums citats. Per no obtenir excedent, es redueix la superfície de captació del camp nº1 a 17,26m² mantenint-se els 15,54m² del segon camp. L'estalvi és d'un 90% (2,8% de r.c.r.) traduït en 5800 litres de gasoil a l'any. Es redueixen les emissions de 148 a 15 grams de CO₂ per quilo de producte elaborat.

VI. QUART ESCENARI

En aquest cas s'utilitzen 9,6m² de captadors plans en el camp nº1 i una acumulació de 2000 litres a 98°C. El camp nº2 s'utilitza un concentrador solar, el CCStaR. Dit concentrador ha estat desenvolupat en la Universitat de les Illes Balears. Es tracta d'un concentrador de mirall fix i absorbidor mòbil que té una superfície neta de 37,1m². Per motius tècnics la inclinació del concentrador és de només 15°. S'augmenta el volum sobreescalfat a 9000l per tal que el col·lector no funcioni sense càrrega. L'estalvi és del 81% (2,8% de r.c.r.), uns 5219 litres de gasoil a l'any. Es redueixen les emissions de 148 a 28 grams de CO₂ per quilo de producte elaborat.

VII. RESULTATS

En la Fig. 6 es compara l'estalvi de gasoil mes a mes de cada escenari proposat pel que fa al consum actual. Els resultats estan subjectes als col·lectors usats, les característiques dels quals es descriuen en la Taula 1.

Comparativa d'estalvi de gasoil

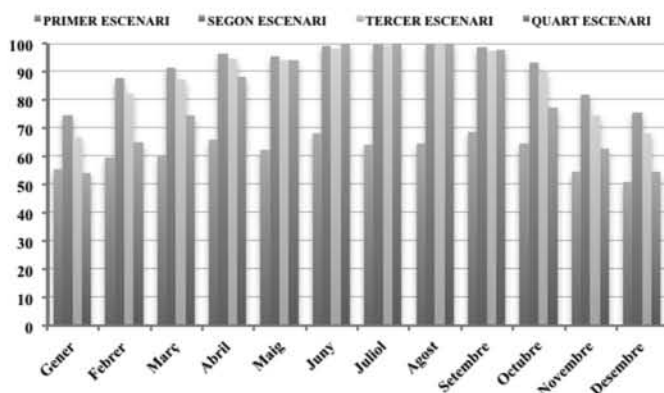


Fig.6 Comparació entre el l'estalvi de gasoil que suposa cada escenari

	Sup.útil [m ²]	a ₀	a ₁ [W/m ² ·k]	a ₂ [W/m ² ·k]	Inclin. / Orient.
Capt. pla	2,40	0,770	3,663	0,0160	40° / Sur
Tubs buit	2,59	0,803	2,010	0,0034	40° / Sur
CCStaR	37,1	0,718	0,103	0,0009	15° / Sur

Taula.1 Característiques dels captadors usats

VIII. ESTUDI ECONÒMIC

Per dur a terme els pressupostos d'instal·lació s'han tingut en compte preus actuals de mercat, tot aplicant les corresponents ajudes proporcionades per IDAE amb resolució al BOIB[4].

S'han calculat tres indicadors, el Valor Actual Net (VAN), la Taxa Interna de Retorn (TIR) i el preu del kWh en base als pressupostos realitzats. A la Taula 2, es mostren resumits els resultats obtinguts per cada escenari. S'estima una vida útil de la instal·lació de 20 anys i un 2% anual del cost total en concepte de reparacions i manteniment de la instal·lació.

	Inversió inicial	Preu del kWh	Amortització	TIR
Escenari 1	17.356 €	0,03 €	5 anys	34,60 %
Escenari 2	51.484 €	0,06 €	8 anys	20,46 %
Escenari 3	59.226 €	0,07 €	9 anys	18,25%
Escenari 4	52.324 €	0,07 €	9 anys	18,33 %

Taula.2 Resultats de l'estudi econòmic

IX. CONCLUSIONS

Es demostra que la inclusió d'EST en la petita indústria alimentària, no solament és factible sinó rendible. S'estima un important estalvi econòmic associat a la reducció del consum de gasoil. D'altra banda, amb els escenaris proposats es possible disminuir dràsticament les emissions de CO₂ per unitat de producció, obtenint un producte d'igual qualitat amb un menor cost ambiental.

REFERÈNCIES

- [1] Instituto Nacional de Estadística (2007). *Panoràmica de la Industria* Cap.9.
- [2] Instituto Nacional de Estadística (2009). *Boletín Informativo 7/2009*.
- [3] TRNSYS, 2004. *A transient system simulation program*, v16.
- [4] BOIB Num.191. *Butlletí Oficial de les Illes Balears* de 22/12/2011



Vicenç Blanco Rosselló (Felanitx)

Estudiant d'Enginyeria Tècnica Industrial Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.
vicensblanco@gmail.com

Director PFC: Dr. Ramon Pujol Nadal - Ramon.pujol@uib.es