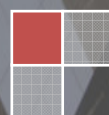


# Trabajo Final de Carrera

## Diseño de un sistema de supervisión de instalaciones fotovoltaicas

19.038 – Aplicaciones Electromagnéticas y Electrónicas

Jorge García Díaz  
Consultor: Carlos Pacheco  
2011/2012 2º Semestre





## Índice

<b>1 Introducción .....</b>	<b>5</b>
1.1 Presentación.....	5
1.1.1 Definición del proyecto .....	6
1.2 Objetivos .....	8
1.2.1 Objetivos de la asignatura.....	8
1.2.2 Objetivos del TFC.....	8
1.3 Planificación .....	9
1.3.1 Definición de las tareas a realizar .....	9
1.3.2 Hitos .....	10
1.3.3 Calendario .....	11
1.3.7 Diagrama de Gantt .....	12
1.4 Evaluación de materiales .....	14
1.4.1 Hardware informático .....	14
1.4.2 Hardware electrónico.....	14
1.4.3 Software específico .....	14
1.5 Evaluación de riesgos y contingencias .....	15
1.5.1 Riesgos técnicos .....	15
1.5.2 Riesgos laborales.....	15
<b>2. Estudio de los sensores y contador de energía. ....</b>	<b>16</b>
2.1 Sensor de temperatura PT1000. ....	16
2.1.1 Principio de funcionamiento .....	16
2.1.2 Conexionado RTD .....	17
2.1.3 Sensor de temperatura escogido .....	19
2.2 Sensor de irradiación.....	19
2.2.1 Principio de funcionamiento .....	20
2.2.2 Sensor de irradiación escogido .....	20
2.2.3 Conexionado sensor .....	20
2.3 Contador de energía.....	21
2.3.1 Principio de funcionamiento .....	21
2.3.2 Contador de energía seleccionado.....	22
2.3.3 Conexionado contador .....	22

<b>3. Diseño de los circuitos de medida.....</b>	<b>23</b>
3.1 Adaptación PT1000 a entrada PIC.....	23
3.1.1 Principio de medición.....	23
3.1.2 Circuito adaptación .....	24
3.2 Adaptación mV a entrada PIC .....	28
3.2.1 Principio de medición.....	28
3.2.2 Circuito adaptación .....	28
3.2 Adaptación entrada pulsos a entrada PIC.....	31
<b>4. Estudio y programación PIC.....</b>	<b>32</b>
4.1 Obtención de datos de las señales analógicas.....	32
4.2 Programación de la gestión de las señales analógicas.....	37
4.3 Programación de la gestión la entrada de pulsos.....	44
<b>5. Diseño placa PCB. ....</b>	<b>48</b>
5.1 Listado de componentes .....	48
5.1.1 Elementos del circuito de alimentación.....	48
5.1.2 Elementos del circuito de entradas/salidas analógicas, digitales y PIC .....	49
5.2 Diseño placas PCB .....	50
5.2.1 Diseño placa circuito alimentación .....	50
5.2.2 Diseño circuito de entradas/salidas analógicas, digitales y PIC .....	54
<b>6. Aplicación práctica y futuras ampliaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>57</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>58</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>59</b>
9.1 Tabla relación temperatura/resistencia de diversas sondas PT .....	59
9.2 Principales características del PIC 18F45K20 .....	60

## Índice de imágenes

IMAGEN 1	IDEA PRINCIPAL DEL PROYECTO .....	7
IMAGEN 2	PLANIFICACIÓN (11/03 AL 10/04) .....	12
IMAGEN 3	PLANIFICACIÓN (10/04 AL 11/06) .....	13
IMAGEN 4	CONEXIÓN RTD A 2 HILOS .....	17
IMAGEN 5	CONEXIÓN RTD A 3 HILOS .....	18
IMAGEN 6	CONEXIÓN RTD A 4 HILOS .....	18
IMAGEN 7	CARACTERÍSTICAS PT-1000 DE TRITEC.....	19
IMAGEN 8	CARACTERÍSTICAS SPEKTRON 210 .....	20
IMAGEN 9	ESQUEMA ELÉCTRICO DE UN FOTOTRANSISTOR .....	21
IMAGEN 10	CARACTERÍSTICAS DEL CONTADOR DE PULSOS.....	22
IMAGEN 11	EJEMPLO DE PUENTE DE WHEATSTONE EN EQUILIBRIO.....	23
IMAGEN 12	VALORES DE TENSIÓN DEL PUENTE DE WHEATSTONE .....	24
IMAGEN 13	FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA LOS CIRCUITOS DE MEDIDA .....	25
IMAGEN 14	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO OPERACIONAL DIFERENCIAL .....	25
IMAGEN 15	CIRCUITO DE ADAPTACIÓN PT-1000 A ENTRADA PIC.....	27
IMAGEN 16	PRINCIPIO DE AMPLIFICACIÓN MV A VDCC.....	29
IMAGEN 17	ESQUEMA FILTRO PASA BAJAS .....	30
IMAGEN 18	CIRCUITO ADAPTACIÓN MV A ENTRADA DE PIC .....	31
IMAGEN 19	PIC KIT 3 CONECTADO A PLACA DE SIMULACIÓN CON EL PIC 18F45K20 INTEGRADO .....	32
IMAGEN 20	POSICIÓN DE LOS BITS EN EL REGISTRO ADRES .....	33
IMAGEN 21	SIMULACIÓN Y CÁLCULO DEL VALOR MÍNIMO DE LA SEÑAL ANALÓGICA DE TEMPERATURA .....	34
IMAGEN 22	SIMULACIÓN Y CÁLCULO DEL VALOR MÁXIMO DE LA SEÑAL ANALÓGICA DE TEMPERATURA .....	35
IMAGEN 23	SIMULACIÓN Y CÁLCULO DEL VALOR MÍNIMO DE LA SEÑAL ANALÓGICA DE IRRADIACIÓN.....	36
IMAGEN 24	IRRADIACIÓN POR DEBAJO DE $100\text{W}/\text{m}^2$ (SIMULACIÓN REAL) .....	42
IMAGEN 25	IRRADIACIÓN SUPERIOR A $100\text{W}/\text{m}^2$ Y TEMPERATURA ENTRE VALORES ADMITIDOS (SIMULACIÓN REAL) .....	43
IMAGEN 26	IRRADIACIÓN EN VALORES TOLERABLES Y LA TEMPERATURA INFERIOR A $-5^{\circ}\text{C}$ (SIMULACIÓN REAL) .....	43
IMAGEN 27	IRRADIACIÓN EN VALORES TOLERABLES Y LA TEMPERATURA SUPERIOR A $70^{\circ}\text{C}$ (SIMULACIÓN REAL).....	43
IMAGEN 28	TABLA DE REGISTROS DE LA POTENCIA .....	47
IMAGEN 29	1ª FASE DESARROLLO PCB: "SCHEMATIC" CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN .....	50
IMAGEN 30	2ª FASE DESARROLLO PCB: ORDENAR ELEMENTOS .....	51
IMAGEN 31	3ª FASE DESARROLLO PLACA PCB: AUTOROUTE DE EAGLE.....	52
IMAGEN 32	4ª FASE DESARROLLO PCB: CIRCUITO FINAL .....	52
IMAGEN 33	5ª FASE DESARROLLO PCB: CIRCUITO IMPRESO FINAL .....	53
IMAGEN 34	"SCHEMATICS" CIRCUITO DE ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS, DIGITALES Y PIC .....	54
IMAGEN 35	DISEÑO PLACA PCB: CIRCUITO DE ADAPTACIONES ANALÓGICAS Y PULSOS .....	55

## Índice de tablas

TABLA 1 PLANIFICACIÓN DE LAS TAREAS .....	10
TABLA 2 HITOS.....	10
TABLA 3 COMPUTO DE HORAS.....	11
TABLA 4 COEFICIENTES DE TEMPERATURA MÁS UTILIZADOS .....	17
TABLA 5 RELACIÓN ENTRE TEMPERATURA Y SEÑAL ANALÓGICA DEL PIC .....	27
TABLA 6 VALORES OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN ANALÓGICA CIRCUITO ADAPTACIÓN SENSOR DE IRRADIACIÓN .....	30
TABLA 7 RELACIÓN ENTRE MV Y SEÑAL ANALÓGICA DEL PIC.....	31
TABLA 8 ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN.....	49
TABLA 9 ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE ANALÓGICAS Y PULSOS .....	49
TABLA 10 RELACIÓN PINEADO PLACA DE ALIMENTACIONES .....	53
TABLA 11 RELACIÓN PINEADO ALIMENTACIONES Y SENSORES .....	55

## Índice de ecuaciones

ECUACIÓN 1 CALCULO DE LA RELACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TEMPERATURA DE CALLENDAR-VAN DUSEN .....	16
ECUACIÓN 2 CALCULO DE LA RELACIÓN ENTRE RESISTENCIAS Y TEMPERATURA SIMPLIFICADO .....	17
ECUACIÓN 3 CALCULO DEL RESULTADO DE LA TEMPERATURA CONOCIENDO LA RESISTENCIA DEL SENSOR .....	17
ECUACIÓN 4 CÁLCULO DE LA POTENCIA TEÓRICA GENERADA POR NUESTRA PLANTA .....	21
ECUACIÓN 5 CALCULO RESISTENCIA EQUIVALENTE A NUESTRO SENSOR.....	24
ECUACIÓN 6 CALCULO DE LA GANANCIA DE TENSIÓN EN UN OPERACIONAL EN MODO " DIFERENCIAL " .....	26
ECUACIÓN 7 VALORES CALCULADOS DE LAS RESISTENCIAS DEL OPERACIONAL "DIFERENCIAL" .....	27
ECUACIÓN 8 CALCULO DE LA GANANCIA DE TENSIÓN EN UN OPERACIONAL EN MODO "NO INVERSOR" .....	28
ECUACIÓN 9 VALORES CALCULADOS DE LAS RESISTENCIAS DEL OPERACIONAL "NO INVERSOR" .....	29
ECUACIÓN 10 CALCULO DE FRECUENCIA DE CORTE DE UN FILTRO "PASA BAJAS" .....	30
ECUACIÓN 11 CÁLCULO DEL FILTRO PASA BAJAS A 200Hz .....	31
ECUACIÓN 12 CONVERSIÓN VALOR ANALÓGICO A BINARIO .....	33
ECUACIÓN 13 CALCULO DE LA POTENCIA TEÓRICA .....	44
ECUACIÓN 14 CALCULO DE LA POTENCIA REAL.....	44
ECUACIÓN 15 CALCULO DE LA POTENCIA TOLERABLE RESPECTO A LA POTENCIA TEÓRICA .....	45

## 1 Introducción

La energía eléctrica ha sido, en la historia de la humanidad, uno de los pilares básicos, por lo que durante siglos se han invertido numerosos recursos sociales y económicos para su creación y mejora.

Sin embargo, no todos los resultados han sido beneficiosos debido a los gastos económicos y a los perjuicios medioambientales generados, ya que la energía se crea a través de grandes turbinas de vapor que consumen gas natural o combustible derivado del petróleo, los cuales no son renovables y en un futuro podrían desaparecer.

Afortunadamente, está aumentando la utilización de energías renovables como la energía eólica, térmica o solar, implantándose cada vez más este tipo de instalaciones.

La energía solar se utiliza de 3 formas distintas:

- **Energía calorífica (agua sanitaria)**: Se utilizan placas solares para calentar agua y almacenarla caliente para después distribuirla por toda la vivienda o instalación, para su uso en radiadores (calefacción) o como agua sanitaria ( duchas, lavabos, cocinas, etc.)
- **Energía calorífica combinado con turbinas**: Se utilizan placas solares iguales que las anteriores, pero su función es llevar el agua al punto de ebullición para utilizar la energía generada, por el vapor de agua, para mover turbinas. De esta forma se genera energía eléctrica almacenada en acumuladores eléctricos (baterías) que dan servicio a la red eléctrica.
- **Energía Eléctrica**: La luz del Sol es una onda electromagnética y transporta energía en forma de flujo de fotones. Cuando los fotones inciden sobre determinados materiales cristalinos semiconductores (normalmente silicio) y, siempre que existan unas condiciones ambientales óptimas, este material creará energía eléctrica para su posterior consumo. Podemos encontrar instalaciones de gran o bien instalaciones para equipos autónomos como: parquímetros, radares de tráfico, etc.

### 1.1 Presentación

La elección de este TFT, basado en las aplicaciones Electromagnéticas y Electrónicas, se encuentra muy ligada a mi vida laboral y formativa.

En 1998 finalicé el FP II como Técnico de instalaciones y Líneas eléctricas. Actualmente curso la Ingeniería Técnica en Telecomunicaciones por la UOC.

Referente a mi trayectoria profesional, dediqué tres años al montaje eléctrico, en diferentes sectores de la industria como: sistemas contraincendios, refrigeradores industriales, autómatas de control, entre otros. Y actualmente trabajo como Técnico de mantenimiento en una empresa dedicada a la logística de los hidrocarburos ([www.clh.es](http://www.clh.es)), donde desarrollo las

tareas de gestión y resolución de averías y de proyectos para la mejora de los sistemas actuales de instrumentación.

Personalmente, creo que me será de mucha ayuda aprender la gestión de proyectos relacionados con mi trabajo, a la vez que la supervisión de un consultor hará posible la corrección de las carencias generadas por una enseñanza autodidacta en la materia.

### **1.1.1 Definición del proyecto**

El proyecto propuesto por el consultor se encuentra basado en el diseño de un sistema de supervisión de instalaciones fotovoltaicas, mediante el control de 2 entradas analógicas y una de pulsos totalmente diferentes, para controlar tres salidas digitales con un pequeño microprocesador (PIC):

- Entradas analógicas:
  - AI/0 Temperatura: Se definirá un sensor PT1000 para controlar una temperatura entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ . El sensor nos dará una variación en  $\Omega$  (Ohms)
  - AI/1 Irradiación: Se definirá un sensor de irradiación entre 0 y  $1500\text{W/m}^2$  dando una variación en la señal de mV (miliVoltios).
- Entrada de pulsos:
  - PI/0 Contador de potencia: Se trata de un contador con una salida de pulsos para hacer el cálculo de la potencia obtenida en nuestra instalación de placas solares.
- Salidas digitales:
  - DI/0: La primera salida digital encenderá un led amarillo, para definir que el sistema se encuentra trabajando por debajo de  $-5^{\circ}\text{C}$  o bien por encima de  $70^{\circ}\text{C}$ . Se trata de una señal de aviso.
  - DI/1: La segunda salida encenderá un led rojo, avisándonos de que las condiciones meteorológicas no son las óptimas para generar suficiente potencia generada y emitida a la compañía eléctrica midiendo la irradiación (AI/1) y la potencia de pico indicada por el contador de potencia (PI/0), siempre y cuando la temperatura se encuentre en el margen de  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ . Se trata de una señal de alarma del sistema.
  - DI/2: La tercera salida encenderá un led verde, indicando que no se cumple ninguna de las otras dos condiciones y que el sistema se encuentra trabajando en condiciones óptimas. Se trata de una señalización de funcionamiento correcto.



A continuación hacemos un esquema gráfico, donde podemos ver detalladamente la idea principal del proyecto:

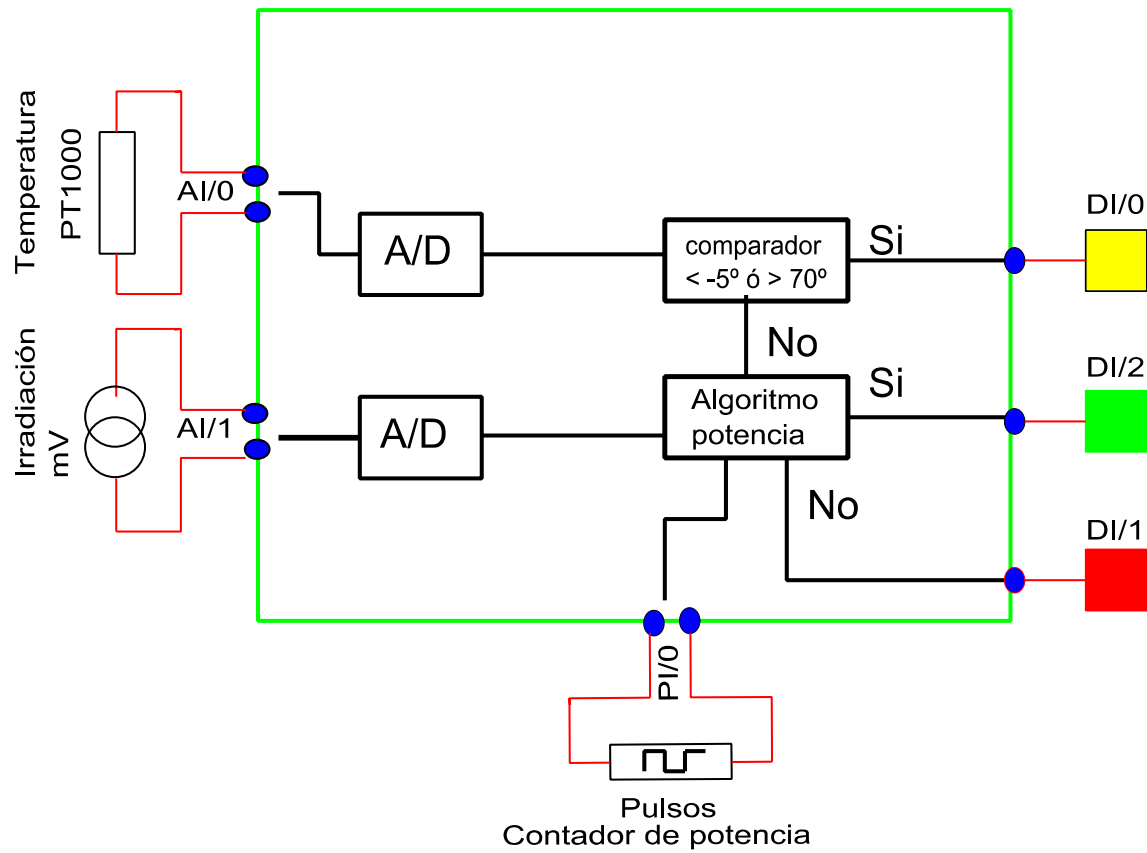


Imagen 1 Idea principal del proyecto

El proyecto se puede dividir perfectamente en diversas fases:

- Estudio de las señales
- Diseño de los convertidores analógicos
- Implementación
- Diseño final

## 1.2 Objetivos

Los objetivos de este proyecto, fundamentalmente se pueden dividir en 2 grupos:

- Objetivos de la asignatura, basados en el aprendizaje sobre la gestión de un proyecto completo, desde el diseño inicial hasta su ejecución.
- Objetivos del TFC, basados en la formación obtenida durante diferentes asignaturas orientadas a las aplicaciones electromagnéticas y electrónicas de la Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones.

### 1.2.1 Objetivos de la asignatura

La asignatura del TFC está orientada fundamentalmente a la realización de un trabajo de síntesis consistente en los conocimientos adquiridos durante la realización de las asignaturas relacionadas con las aplicaciones electromagnéticas y electrónicas de la Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones (ETTT).

Además tiene como objetivo el aprendizaje de la realización de diversas tareas muy relacionadas con la creación, planificación y elaboración de un proyecto, es decir con su gestión integral:

- Analizar un problema práctico y transformarlo en un proyecto sólido.
- Planificar y estructurar el desarrollo de todos los hitos del proyecto.
- Elaborar el proyecto propuesto.
- Presentar el proyecto en formato audiovisual.

### 1.2.2 Objetivos del TFC

Los objetivos del TFC propuesto se relacionan directamente con la electrónica analógica/digital, la programación de un microprocesador (PIC) y la realización de la placa PCB (solo diseño). La finalidad es realizar un sistema complejo de control, basado en la lectura de medidas externas proporcionadas por diferentes tipos de sensores, logrando así los siguientes objetivos:

- Estudio de la obtención de energía eléctrica a través de una planta fotovoltaica.
- Estudio de diferentes tipos de sensores.
- Estudio de la conversión de señales analógicas a digitales.
- Estudio de la programación de un PIC.
- Estudio del diseño de la placa PCB.

## 1.3 Planificación

Para la realización y gestión del proyecto, planificaremos las tareas a realizar en el tiempo disponible, marcándonos como objetivos una serie de tareas a conseguir.

### 1.3.1 Definición de las tareas a realizar

Las tareas se desglosaran en subtareas, ejecutándolas según el siguiente orden:

Tareas		Precedentes
1. Estudio del sensor de temperatura		
	1.1 Estudio de las propiedades físicas del sensor: Investigación de la información y estudio de las propiedades físicas de los termoelementos	
	1.2 Estudio de los diferentes tipos de sensores de temperatura: clasificación de los elementos por sus propiedades físicas, de construcción y precisión	1.1
	1.3 Estudio de la señal generada por el sensor: Analizar la magnitud dada por el sensor de temperatura a utilizar.	1.1
2. Estudio del sensor de irradiación		
	2.1 Estudio de las propiedades físicas del sensor: Investigación de la información y estudio de las propiedades físicas del sensor de irradiación	
	2.2 Estudio de la señal generada por el sensor: Estudio y análisis de la magnitud dada por el sensor de irradiación	2.1
3. Instalación del software específico y verificación: instalación de todo el software propuesto para evitar problemas de compatibilidad entre hardware y aplicaciones específicas		1 y 2
4. Estudio del tratamiento de la señal obtenida y su transformación		
	4.1 Estudio de la conversión de la señal de Ohmios y mV dada por los sensores a señal de 0 a 3.3 V	3
	4.2 Diseño del circuito convertidor $\Omega/V$	4.1
	4.3 Diseño del circuito convertidor mV/V	4.2
5. Entrega borrador de la PAC – 2		4
6. Corrección borrador y entrega PAC – 2		5
7. Programación del PIC		
	7.1 Elección del PIC: conjuntamente con el consultor seleccionaremos el mejor PIC para nuestra aplicación	6
	7.2 Pruebas de programación con MPLAB: Primeras pruebas de programación con MPLAB.	7.1
	7.3 Programación del PIC y simulaciones: Realización de la primera fase de programación conjunta con las señales digitales	7.2
8. Estudio del contador de energía		
	8.1 Estudio de las propiedades físicas del contador de energía	7.3
	8.2 Estudio de la señal generada por el contador de energía	7.4

Tareas		Precedentes
9. Programación del PIC		
	9.1 Programación completa del PIC con todas las condiciones de control	8.2
	9.2 Simulaciones completas: Variante las diferentes entradas del sistema de control y observando las reacciones de los convertidores y el PIC	9.1
10. Diseño placa de la placa PCB		
	10.1 Diseño de la placa PCB: Con esta parte del proyecto, finalizaremos toda la parte del diseño de nuestro sistema de control	9.2
11. Entrega del borrador de la PAC – 3		10
12. Corrección y entrega de la PAC – 3		11
13. Realización de la memoria técnica		12
14. Elaboración y presentación del vídeo presentación		13
15. Entrega del borrador de la memoria y presentación audiovisual		14
16. Corrección y entrega de la Memoria, presentación audiovisual		15
17. Debate virtual		16

**Tabla 1 Planificación de las tareas**

### 1.3.2 Hitos

Según el plan docente de la asignatura, las entregas parciales comentadas anteriormente son obligatorias para poder superar la asignatura, así pues marcaremos estas fechas como hitos inexcusables de entrega:

Hito	Fecha
Borrador del plan de Trabajo	12/03/2012
Corrección y entrega del Plan de Trabajo	13/03/2012
Borrador de la PAC – 2	02/04/2012
Corrección y entrega de la PAC – 2	10/04/2012
Borrador de la PAC – 3	11/05/2012
Entrega de la PAC – 3	15/05/2012
Borrador de la Memoria y Presentación	03/06/2012
Entrega de la Memoria y Presentación	11/06/2012
Debate virtual	29/06/2012

**Tabla 2 Hitos**

### 1.3.3 Calendario

La definición del horario es muy compleja, debido a mi horario laboral conciliación familiar y realización simultanea de otra asignatura denominada: “Redes y Servicios”. Por lo que para la realización de las PACS, sólo puedo dedicarme los lunes por la mañana, viernes por la tarde (dos horas), los sábados y domingos (4 horas). En el calendario adjunto se detallan las horas dedicadas y los hitos de entrega:

Marzo							Resumen Horas
5	6	7	8	9	10	11	14
12	13	14	15	16	17	18	12
19	20	21	22	23	24	25	12
26	27	28	29	30	31		
Abril							
						1	6
2	3	4	5	6	7	8	12
9	10	11	12	13	14	15	12
16	17	18	19	20	21	22	12
23	24	25	26	27	28	29	12
30							
Mayo							
	1	2	3	4	5	6	10
7	8	9	10	11	12	13	12
14	15	16	17	18	19	20	12
21	22	23	24	25	26	27	12
28	29	30	31				2
Junio							
				1	2	3	10
4	5	6	7	8	9	10	12
11	12	13	14	15	16	17	2
TOTAL HORAS							164 HORAS

Tabla 3 Computo de horas

### 1.3.7 Diagrama de Gantt

#### 1.3.7.1 Planificación comprendida entre el 11/03 al 10/04/2012

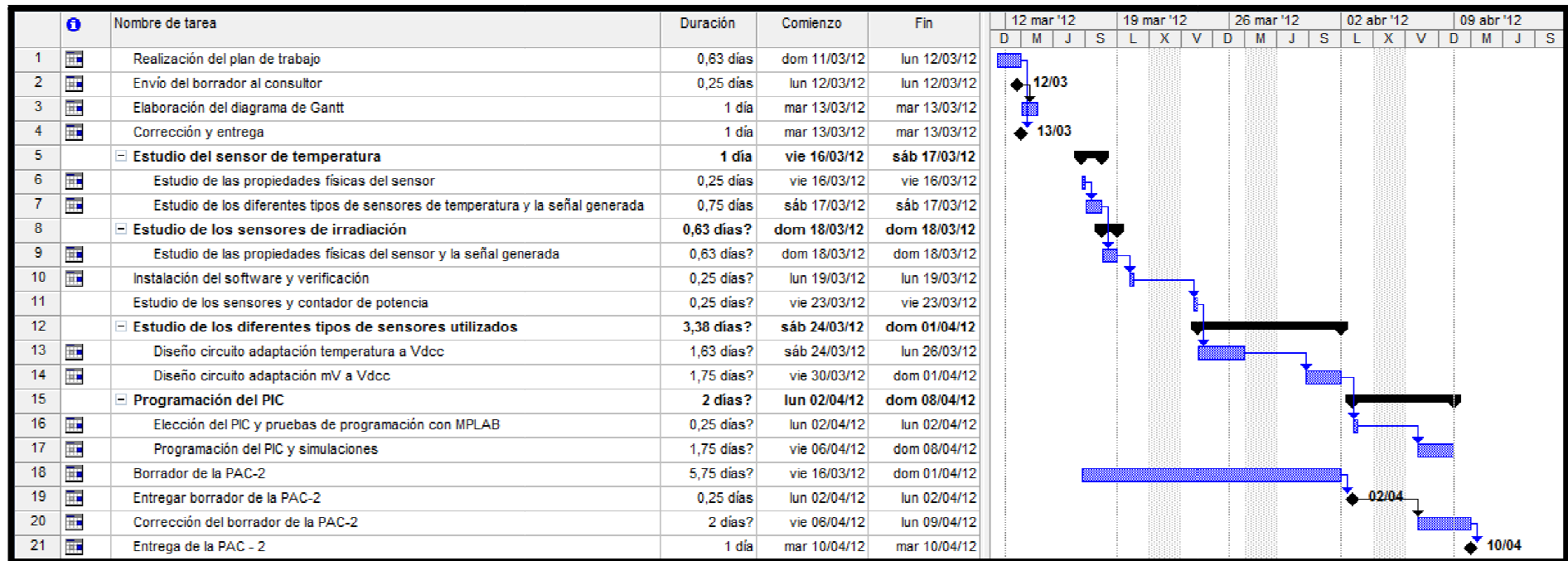


Imagen 2 Planificación (11/03 al 10/04)

### 1.3.7.2 Planificación comprendida entre el 10/04 al 11/06/2012

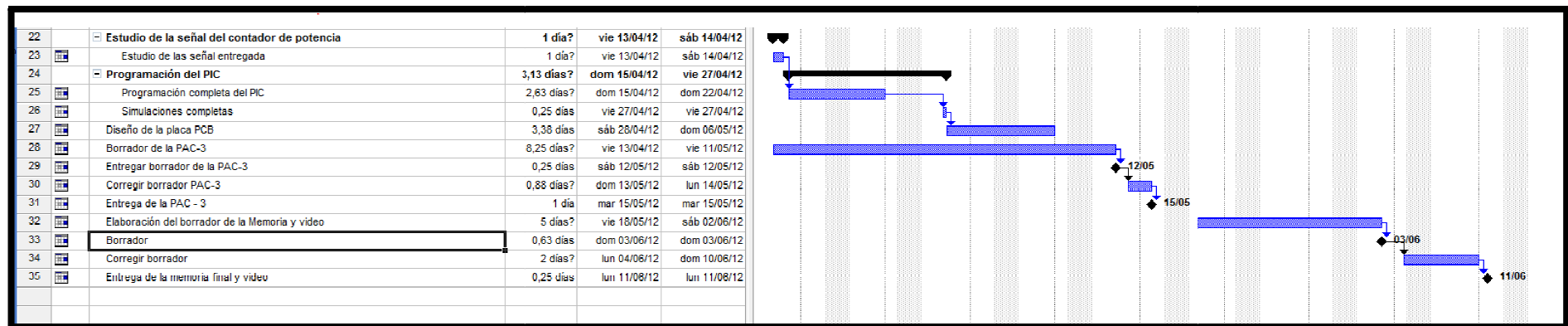


Imagen 3 Planificación (10/04 al 11/06)

## 1.4 Evaluación de materiales

Para poder realizar con éxito el proyecto escogeremos unos sensores recomendados por el consultor. Además utilizaremos una serie de aplicaciones electrónicas y de ofimática instaladas en mi ordenador, las cuales utilizare en las diferentes fases del proyecto.

### 1.4.1 Hardware informático

El hardware utilizado consiste básicamente en 2 ordenadores diferentes, un ordenador de sobremesa y un portátil, más una conexión continua a Internet

- Sobremesa, utilizado tan sólo para las aplicaciones de ofimática básicas como son Word, Outlook y buscadores de Internet, con un sistema operativo (SO) Windows XP SP3 y una CPU Intel de 2GHz y 2 GB de memoria RAM, de utilización en mi trabajo.
- Portátil, utilizado para todas las aplicaciones necesarias, tanto de programación, diseño electrónico u ofimática. Consta de un SO Windows 7 SP1, controlado por una CPU Intel Celeron Dual-Core con 4 GB de memoria RAM. Seguramente con este portátil tenga problemas con los programas utilizados, así que crearé una maquina virtual (con Virtual Box), instalando Windows XP SP3.

### 1.4.2 Hardware electrónico

Para la realización de simulaciones reales, obtendremos los siguientes materiales:

- PIC KIT 3, Programador de PIC's (MICROCHIP) y simulador a través de una placa de pruebas preparada con las posibles entradas/salidas y el PIC 18F45K20.
- Potenciómetros y resistencias, de diferentes valores para realizar la simulación de los circuitos de adaptación de señales analógicas.
- Cristal de cuarzo de 32.768KHz, para utilizarlo como oscilador externo.
- LED's de señalización, los utilizaremos para ver el estado de las diferentes salidas digitales.

### 1.4.3 Software específico.

El software específico utilizado es el mismo que ha recomendado el consultor:

- Diagrama de Gantt
  - Microsoft Project
- Diseño del circuito analógicos de medidas y simulaciones:
  - MultiSIM 9 de Electronics Workbench
- Implementación y control de los leds
  - MPLAB de Microchip
- Diseño de la placa PCB
  - Eagle de CadSoft



## 1.5 Evaluación de riesgos y contingencias

Toda planificación tiene que tener una evaluación de riesgos y contingencias por posibles fallos en el cumplimiento de los objetivos por causas externas, tanto técnicas como personales, así que comentaremos algunos de los problemas más habituales así como alguna mis propuestas para hacer cumplir las fechas de entrega previstas:

### 1.5.1 Riesgos técnicos

- Pérdida de datos: Para una mayor seguridad guardo los datos por triplicado en diferentes medios:
  - Pen drive
  - Ordenador portátil
  - [www.dropbox.com](http://www.dropbox.com), página para almacenar datos y tener acceso remoto simplemente con una conexión a Internet.
- Conexión a Internet: Por motivos laborales, acostumbro a estar siempre fuera de casa y eso provoca que no siempre disponga de una conexión a Internet para poder trabajar, así pues, este problema lo tengo solucionado con una conexión compartida con el teléfono móvil y el ordenador portátil.
- Imposibilidad de conseguir compatibilidad entre el software/hardware y el Sistema Operativo: A veces el software no es compatible con el SO utilizado, así que normalmente instalo una máquina virtual para instalar el SO necesario y no tener inconvenientes.

### 1.5.2 Riesgos laborales

El horario de mi trabajo suele ser muy inflexible y con pocas horas libres durante los días laborales. Como he comentado anteriormente, dedico mucho tiempo a la resolución de averías y no siempre están planificadas. Sin embargo, las horas extraordinarias realizadas se compensan con días libres, tiempo que empleo para realizar los trabajos universitarios atrasados.

## 2. Estudio de los sensores y contador de energía.

En este apartado estudiaremos los dos tipos de sensores que utilizaremos para captar las señales para su posterior conversión a una entrada analógica de nuestro PIC y así poder transformar una lectura de una magnitud en un valor que podamos gestionar para la realización de nuestro sistema de supervisión de pequeñas instalaciones fotovoltaicas.

### 2.1 Sensor de temperatura PT1000.

#### 2.1.1 Principio de funcionamiento

Primero definiremos qué es un sensor de temperatura:

**Un sensor de temperatura es un elemento que varía una de sus magnitudes físicas en función de la temperatura.**

Es decir, que sabiendo la relación que mantiene esta variación, podemos aprovechar el valor de la magnitud variada para poder obtener la lectura de la temperatura. En el caso de los sensores de temperatura RTD (Detector de Temperatura Resistivo) la magnitud que varía será la resistencia al paso de la corriente eléctrica del metal del que esté hecho el sensor.

Para que el sensor sea efectivo y podamos realizar una buena medida, se ha de mantener siempre una relación lineal de la variación de la magnitud desde un valor conocido, y por este motivo normalmente se escogen metales que mantengan esta linealidad como el platino, el cobre y el níquel.

Algunos ejemplos de relaciones de magnitudes son:

Material	Tipo de sonda	Relación resistencia/Temperatura
<b>Pt (Platino)</b>		
	<b>PT50</b>	50 Ω a 0°C
	<b>PT100</b>	100Ω a 0°C
	<b>PT1000</b>	1000Ω a 0°C

Estos metales guardan una proporción directa entre la variación de su resistencia eléctrica respecto a la temperatura definida en los coeficientes de Callendar-Van Dusen. Esta proporción se expresa en la siguiente ecuación:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + a \cdot t + b \cdot t^2 + c \cdot t^3 \cdot (t - 100))$$

*Ecuación 1 Cálculo de la relación de los coeficientes de temperatura de Callendar-Van Dusen*

Siendo  $c=0$  para temperaturas superiores a 0°C

Por estandarización y siguiendo la normativa IEC751, la ecuación se simplifica a un solo factor llamado coeficiente de temperatura ( $\alpha$ ), siendo los coeficientes más utilizados los siguientes:

Material	$\alpha$
Pt (Platino)	0.00385
Ni (Níquel)	0.00672
Cu (Cobre)	0.00425

**Tabla 4** Coeficientes de temperatura más utilizados

Así que utilizando este coeficiente de temperatura podemos hallar la relación de cualquier valor de temperatura efectuando la siguiente ecuación:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha T)$$

**Ecuación 2** Calculo de la relación entre resistencias y temperatura simplificado

Siendo:

- $R_t$ : la resistencia del metal a una temperatura específica
- $R_0$ : la resistencia del metal a 0°C, en el caso de PT1000=1000Ω
- $\alpha$  : coeficiente de temperatura del metal
- T: Temperatura a la que se encuentra el metal

Despejando la T y sabiendo el valor de  $R_t$  (medido), podemos hallar la temperatura siempre y cuando tengamos una medición real del valor óhmico del termoelemento:

$$T = \frac{(R_t/R_0) - 1}{\alpha}$$

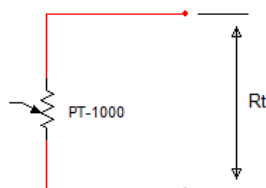
**Ecuación 3** Calculo del resultado de la temperatura conociendo la resistencia del sensor

Haciendo un pequeño resumen, obtenemos que un termoelemento RTD, nos generara una variación de un valor resistivo en función de la variación de la temperatura, así que podemos medir esta resistencia eléctrica para conocer el valor de la temperatura.

### 2.1.2 Conexionado RTD

Los sensores RTD los podemos encontrar con tres tipos de conexionado:

- **A 2 hilos**, el valor óhmico se mide directamente del extremo del metal en cuestión. Este tipo de conexión es la más económica tanto por la construcción de la sonda, como por el tipo de convertidor que transformará la señal en un valor de temperatura, ya que la lectura es directa. Es la menos fiable de las tres y se usa sólo en mediciones de corto alcance, es decir la sonda está muy cercana al medidor.



**Imagen 4** Conexión RTD a 2 hilos

- **A 3 hilos**, en este tipo de conexionado se miden 2 valores de resistencia, el valor de la sonda y el valor óhmico generado por la longitud del cable de conexión, ya que según la longitud del cable, podemos sumar una resistencia de conexión (caso de la conexión a 2 hilos) al valor óhmico generado por el extremo de la sonda (metal) y crear un error en la medición.

El principio es muy sencillo, se mide las dos resistencias  $R_t$  (suma del extremo + sonda) y  $R_2$  (cable de ida y vuelta) y se resta  $R_2$  (multiplicado por 2) a  $R_t$ , obteniendo así una lectura mucho más precisa que a 2 hilos. A este tipo de medida se le llama compensación.

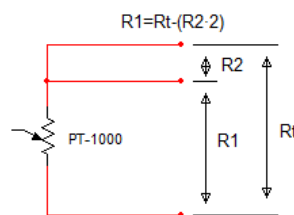


Imagen 5 Conexión RTD a 3 hilos

- **A 4 hilos**, utiliza el mismo principio que a 3 hilos, pero en este tipo de conexión se mide realmente los dos extremos del cableado de ambos lados de la sonda, es decir, se mide  $R_t$  (suma de los extremos + sonda),  $R_2$  (cable de un extremo ida y vuelta),  $R_3$  (cable de un extremo ida y vuelta), y se realiza  $R_1 = R_t - R_2 - R_3$ , obteniendo un valor totalmente preciso del valor óhmico del extremo de la sonda.

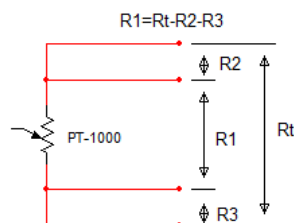


Imagen 6 Conexión RTD a 4 hilos

### 2.1.3 Sensor de temperatura escogido

El sensor escogido es el mismo que el propuesto por el consultor del tipo PT-1000 (<http://www.tritec-energy.com/es/equipos-de-medicion-y-control/sensores-de-temperatura-tritec-c-69/>)

Observamos que la conexión es de 2 hilos (sin conexiones de compensación) y con un rango entre -20º a 150ºC

Art. nº 0802118	
	
Modelo	TRITEC sensor de temperatura para superficies Pt1000
Campo de aplicación	
Principio de medida	Resistencia de un alambre de platino
Rango de medida	-20 a +150 °C
Modo de protección	IP66
Tipo de conexión	Cable, 3 m, conexión a 2 hilos
Dimensiones (a / a / p)	50 mm / 50 mm / 8 mm
Carcasa	Plástico inyectado con placa de aluminio, incluida cinta adhesiva
Peso	120 g
Garantía	2 años

*Imagen 7 Características PT-1000 de Tritec*

### 2.2 Sensor de irradiación.

Los sensores de irradiación o también llamados piranómetros, están dedicados a la medición de la radiación de la luz solar que incide sobre la superficie terrestre, dando una magnitud de Watio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

Existen grandes tipos de piranómetros, basado en sus principios físicos:

- Piranómetros térmicos: Se definen según la variación de la temperatura de unos termopares conectados a una placa de metal (normalmente latón) y una termopila. El sensor nos ofrece una generación de tensión, proporcional a la diferencia de la temperatura entre los metales de los termopares y la pletina a la que están conectados.
- Piranómetros fotovoltaicos, basados en los efectos fotoeléctricos (generación de tensión eléctrica a través de la luz). La radiación de la luz solar incide sobre un fotodiodo y varía su tensión en función de la radiación solar que recibe, filtrando la luz solar por la frecuencia que tiene su onda electromagnética. Esta variación de tensión es más frecuente. Nos permite conocer el nivel de irradiación que recibe el sensor. Este último tipo de sensor es el que utilizaremos en nuestro proyecto.

### 2.2.1 Principio de funcionamiento

Los sensores piranométricos se basan en el efecto fotoeléctrico. Son fabricados con un material fotosensible (habitualmente silicio) a modo de diodo fotovoltaico. Está formado por dos placas metálicas (una inferior y otra superior) y dos semiconductores (uno tipo P y otro tipo N). El semiconductor, tipo P, recibe los fotones (cargas positivas) de la luz, desplazando los electrones del semiconductor N, emitiendo electrones (cargas negativas). Cuando los electrones son captados por las dos placas metálicas, se crea una corriente eléctrica que utilizaremos para medir la irradiación solar. Por tanto, a más electrones más radiación.

El sensor que utilizamos creado con una sola celda monocristalina, es capaz de generar 75mV recibiendo una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>. Siendo éste lineal, obtendremos los siguientes valores:

Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	0	250	500	750	1000	1250	1500
mV	0	18.75	37.5	56.25	75	93.75	112.5

### 2.2.2 Sensor de irradiación escogido

El sensor escogido es el propuesto por el consultor. Basado en un tipo de fibra de vidrio (material semiconductor cristalino) SPEKTRON 210.

[\(http://www.tritec-energy.com/es/equipos-de-medicion-y-control/sensores-de-irradiacion-spektron-c-66/\)](http://www.tritec-energy.com/es/equipos-de-medicion-y-control/sensores-de-irradiacion-spektron-c-66/)

Observamos el rango entre 0 a 1500 W/m<sup>2</sup> generando una señal línea de 0 a 112,5 mV

Art. nº	0802183
	
Modelo	Spektron 210
Campo de aplicación	
Rango de medida	0 – 1500 W/m <sup>2</sup>
Tipo de sensor	Celda monocristalina (13 mm / 33 mm)
Precisión del sensor	±5 % de la media anual
Salida eléctrica	Aprox. 75 mV a 1000 W/m <sup>2</sup>
Calibración	El simulador de sol Solar Constant 1200 con un sensor de referencia calibrado en ISE
Construcción del sensor	Laminado en Novaflon y película EVA

**Imagen 8 Características Spektron 210**

### 2.2.3 Conexionado sensor

El sensor es de 2 hilos y genera una tensión que nos proporciona un hilo positivo y otro negativo.

## 2.3 Contador de energía.

Los contadores de energía o vatímetro son utilizados para medir la energía eléctrica consumida o generada por un circuito eléctrico, conociendo así el valor de la energía eléctrica (normalmente en KWh).

Estos contadores los podemos encontrar mecánicos o electrónicos en cualquier instalación eléctrica como en nuestra vivienda habitual para contabilizar la energía gastada. Esta lectura la aprovechará la compañía eléctrica para realizar la facturación al abonado.

En nuestro caso, la medida de estos pulsos generados la utilizaremos para calcular el valor de la potencia real producida por nuestra planta fotovoltaica.

Calculando la potencia teórica de la siguiente manera:

$$Potencia = \left( \frac{Irradiación}{1000 \text{ W/m}^2} \cdot Potencia \text{ de pico} \right) \pm 20\%$$

**Ecuación 4 Cálculo de la potencia teórica generada por nuestra planta**

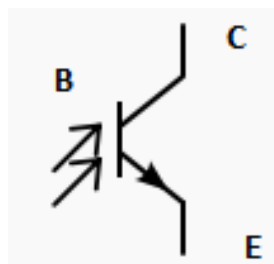
Y comparándola con la potencia real, podremos saber si nuestra planta está trabajando correctamente.

### 2.3.1 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de estos contadores es muy básico pero muy efectivo. Están compuestos principalmente por dos bobinas, un disco perforado y un “encoder” (detector de los agujeros del disco).

Por las bobinas circulará el paso de la corriente creando así unas corrientes parasitarias (campos electromagnéticos) que harán girar el disco perforado. El “encoder” generará un pulso por agujero localizado generando un tren de pulsos con valor conocido. Como podemos suponer, contra mayor sea el paso de corriente (mayor consumo) por las bobinas, mayores serán las corrientes parasitarias provocando giros más rápidos del disco perforado y siendo el tren de pulsos de mayor valor.

La detección de agujeros se realizara a través de un fototransistor NPN que permitirá el paso de corriente entre su colector y su emisor si recibe luz en su base, como podemos ver en la imagen siguiente:



**Imagen 9 Esquema eléctrico de un fototransistor**

### 2.3.2 Contador de energía seleccionado

El contador de energía eléctrica seleccionado será el mismo que el propuesto por el consultor. Genera pulsos en relación a la energía que lo atraviesa.

(<http://www.tritec.ch/uploads/media/SP-07-02-12-TRITEC-Contadores-electricos.pdf>)

Número de artículo	08-0351
Modelo	Contador eléctrico monofásico, perfil
Tensión de medición	230 V
Salida	Puerto S0 (DIN 43864)
Salida de pulsos	2000 pulsos/kWh
Frecuencia	50/60 Hz
Precisión de medida	Clase I
Clase de precisión de la corriente nominal	5 A
Máx. tensión nominal	25 A
Temperatura ambiente	-20 a +55 °C
Bornes de conexión	2.5 mm <sup>2</sup>
Carcasa	Plástico gris
Montaje	35 mm perfil, en cualquier posición



*Imagen 10 Características del contador de pulsos*

### 2.3.3 Conexionado contador

El conexionado del contador es a 2 hilos respetando la polarización del colector y del emisor como hemos visto en el apartado 2.3.1



### 3. Diseño de los circuitos de medida.

Como hemos visto anteriormente, los dos sensores estudiados, generan una variación de una magnitud eléctrica, la PT-1000 en  $\Omega$  y el sensor de irradiación en mV.

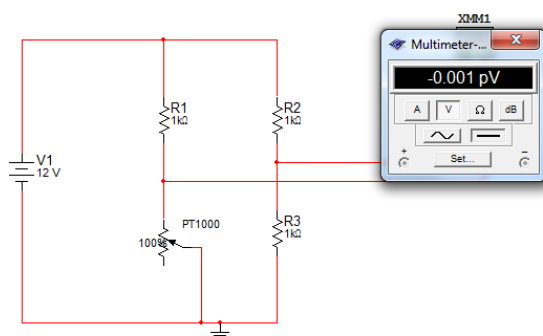
Una vez estudiado el PIC seleccionado (18F45K20), podemos observar en su DataSheet que los puertos de entrada trabajan con niveles de tensión TTL (Transistor-Transistor-Logic), es decir utiliza tecnología de transistores alimentados hasta 3.2Vdc, así que tendremos que adaptar nuestros sensores para que nos transmitan una variación de tensión de 0 a 3.2Vdc, aproximadamente, teniendo en cuenta que los convertidores A/D de los PICS no son muy eficientes en sus extremos.

#### 3.1 Adaptación PT1000 a entrada PIC

Para poder adaptar la señal, necesitaremos saber el rango de la señal a medir con la que deseamos trabajar. Si estudiamos en profundidad el proyecto, vemos que la temperatura para unas condiciones óptimas, ha de estar entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ . Nosotros necesitaremos medir entre valores superiores, pero manteniendo un rango aceptable, así que mediremos entre  $-25^{\circ}\text{C}$  y  $90^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ).

##### 3.1.1 Principio de medición

Habitualmente la medición y control de la variación de resistencia se realiza a través de un puente de Wheatstone, que consiste en cuatro resistencias interconectadas con una fuente de tensión. Si una de sus resistencias ( $R_x$ ) es de valor variable, podemos dimensionar el resto de las resistencias para que el valor de la  $V_{out}$  sea 0Vdc <sup>1</sup> en la resistencia mínima deseada. En nuestro caso el valor mínimo de la relación temperatura/ $\Omega$ , es decir  $901,90\Omega^2$  ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) y el valor máximo de tensión (en la salida) será cuando la PT1000 alcance el valor de  $1347,02\Omega$  ( $90^{\circ}\text{C}$ ).



*Imagen 11 Ejemplo de puente de Wheatstone en equilibrio*

Podemos observar que este resultado es obtenido por el cálculo de la suma de las intensidades entrantes y salientes en un nodo ([leyes de Kirchhoff](#)), así que podemos darle un valor cualquiera a  $R_2$  y  $R_3$ , mientras que el circuito en equilibrio sea el valor mínimo del rango de medida de nuestra PT1000 y la suma de  $R_1$  sea igual a la suma de  $R_2$  más  $R_3$ :

<sup>1</sup> Se dice que el puente Wheatstone se encuentra en equilibrio

<sup>2</sup> Ver anexo 10.1 Tabla relación temperatura/resistencia de diversas sondas PT

$$901,90 + R1 = R2 + R3$$

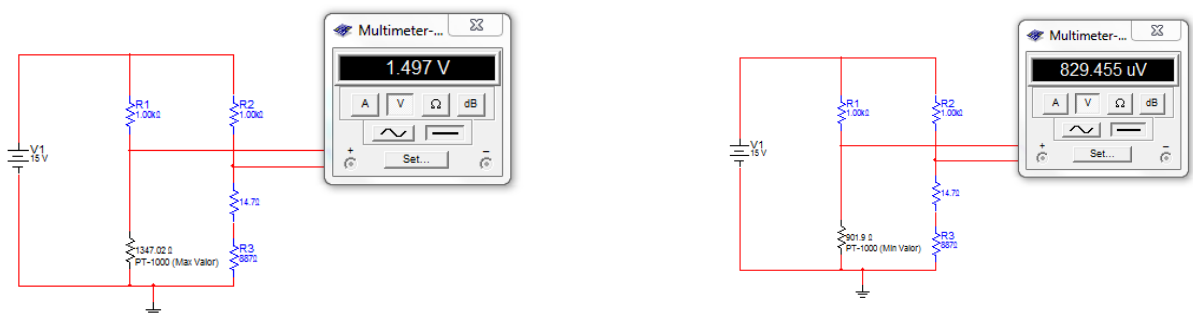
$$R1 = 1000 + 1000 - 901.90$$

$$R1 = 1098.1$$

**Ecuación 5 Cálculo Resistencia equivalente a nuestro sensor**

Lamentablemente, estos cálculos son muy teóricos y tendremos que adaptarnos a los valores de mercado, produciendo un pequeño error en la medida totalmente asumible y corregible a través de nuestro PIC.

Alimentando el puente de Wheatstone a 15Vdc, obtendríamos:



**Imagen 12 Valores de tensión del puente de Wheatstone**

Con los siguientes valores:

Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)	Vout (V)
-25°	901.9	829μV (Aprox. 0V)
90°C	1347.02	1.497V

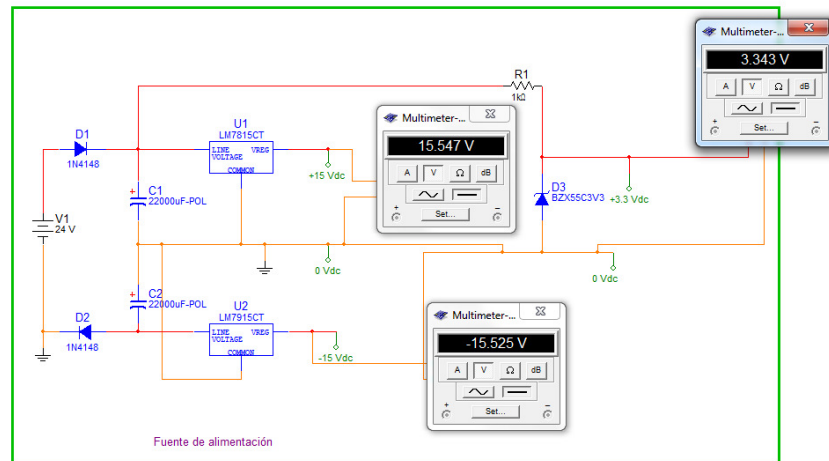
Para evitar valores negativos de tensión y aproximar el valor mínimo a 0V hemos modificado el puente, añadiendo a R3 una resistencia en serie, consiguiendo así una variación de tensión que utilizaremos para el cálculo de la ganancia de tensión.

### 3.1.2 Circuito adaptación

El circuito de adaptación consistirá en el montaje de un amplificador operacional de mercado como LM741AH/883 en su configuración de amplificador diferencial y alimentado a ±15Vdc.

#### 3.1.2.1 Alimentación del operacional LM741 y el puente de Wheatstone

Como hemos visto en el apartado anterior, primero tendremos que utilizar una fuente de alimentación basada en una tensión estándar en los circuitos industriales como es 24Vdc, protegida por dos diodos para evitar errores en la conexión. Para la estabilización de la tensión positiva utilizaremos el integrado LM7815CT, y para la tensión negativa usaremos el LM7915CT, filtrando la tensión de entrada con un condensador de 2200μF.



**Imagen 13 Fuente de alimentación para los circuitos de medida**

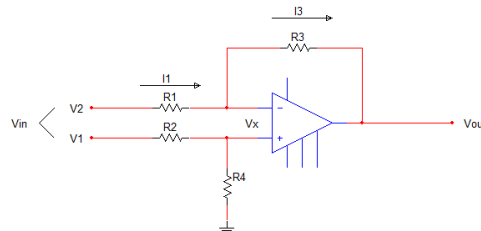
Se puede observar que disponemos también de un punto de alimentación de 3.3Vdc para la alimentación del PIC, a través de un diodo zener de 3.3Vdc.

### 3.1.2.2 Adaptación puente de Wheatstone a señal analógica 0 – 3.2 Vdc

Sabemos que nuestro PIC, necesita un rango de tensión de 0 a 3.2 Vdc para sus convertidores internos, de analógico a digital, y así poder interpretar la señal que le entregamos. Como hemos comentado anteriormente, utilizaremos el operacional amplificador de instrumentación LM741 para conseguir una tensión final para nuestro PIC con los siguientes valores teóricos:

Temperatura (°C)	Resistencia ( $\Omega$ )	Vout (mVdc)	V PIC (Vdc)
-25°	901.9	829 $\mu$ V (Aprox. 0V)	0
90°C	1347.02	1.497V	3.2

La idea de un circuito amplificador es la siguiente:



**Imagen 14 Principio de funcionamiento operacional diferencial**

Así que sabiendo:

$$I_1 = I_3$$

Podemos hallar la ganancia de tensión ( $A_v$ )<sup>3</sup> de nuestro circuito, siguiendo las siguientes ecuaciones sustituyendo los valores de las intensidades por su valor en la ley de Ohm<sup>4</sup>:

$$\frac{V_2 - V_x}{R_1} = \frac{V_x - V_{out}}{R_3}$$

$$\frac{V_2}{R_1} = V_x \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) - \frac{V_{out}}{R_3}$$

$$\frac{V_2}{R_1} = V_x \left( \frac{R_1 + R_3}{R_1 \cdot R_3} \right) - \frac{V_{out}}{R_3}$$

Sabiendo que  $V_x$  será igual a:

$$V_x = \frac{V_1 \cdot R_4}{R_2 + R_4}$$

Solo tenemos que reemplazar y asumiendo que  $R_1 = R_2$  y  $R_3 = R_4$ , obtenemos:

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_2} (V_1 - V_2) = \frac{R_4}{R_2} V_{in}$$

La ganancia de nuestro circuito será:

$$A_v = \frac{R_4}{R_2}$$

**Ecuación 6** *Calculo de la ganancia de tensión en un operacional en modo "diferencial"*

La amplificación de la señal obtenida será lineal, sabiendo previamente la ganancia de tensión que necesitamos para nuestro amplificador. Es decir:

$$V_0 = A_v \cdot V_i$$

Siendo  $V_i = 1.497V$  y  $V_o$  el fondo escala que deseamos entrar en el PIC (3.2V):

$$3.2V = A_v \cdot 1.497V$$

$$A_v = \frac{3.2}{1.497} = 2,13$$

El valor de las resistencias, seguirá la **ecuación 6**, escogiendo  $R_2$  un valor cualquiera de mercado (1KΩ)

<sup>3</sup> En circuitos operacionales, se llama ganancia de tensión a la relación que tendremos entre los valores de las resistencias  $R_{in}$  y  $R_{ref}$ .

<sup>4</sup> Ley de Ohm, se basa en la ley que relaciona la intensidad, la resistencia y el voltaje eléctrico entre ellos  
 $I = \frac{V}{R}$

$$R_4 = R_2 \cdot A_v$$

$$R_4 = 2,13K\Omega$$

Y siguiendo la relación anterior:

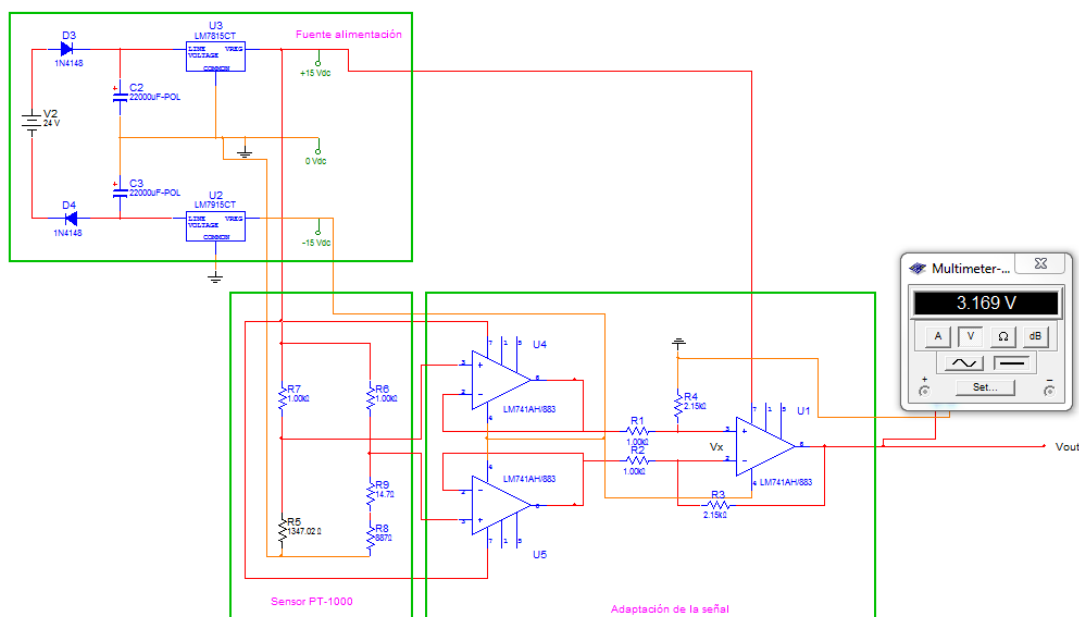
$$R_1 = R_2 = 1K\Omega \text{ y } R_3 = R_4 = 2,13K\Omega \text{ (valor de mercado } 2,15K\Omega \pm 1\%)$$

#### **Ecuación 7 Valores calculados de las resistencias del operacional "diferencial"**

Todos estos calculos son sobre amplificadores ideales y con valores que no son de mercado. Gracias a los simuladores de circuitos como MultiSim 9 de Electronics Workbench, podemos "afinar" mucho más los valores deseados dejando finalmente como resistencias del operacional valores de 2,15K $\Omega$

Para evitar problemas de impedancias al conectar el puente de Wheatstone con el circuito amplificador diferencial, utilizaremos de nuevo el amplificador LM741 en modo seguimiento de tensión. De esta forma evitaremos que las resistencias de un circuito interfieran en el otro circuito y viceversa.

Obteniendo como circuito final:



**Imagen 15 Circuito de adaptación PT-1000 a entrada PIC**

Con los siguientes valores finales:

Temperatura (°C)	Resistencia ( $\Omega$ )	Vout (Vdc)	V PIC (Vdc)
-25°	901.9	829 $\mu$ V (Aprox. 0V)	0,067
90°C	1347.02	1.497V	3.169

**Tabla 5 Relación entre temperatura y señal analógica del PIC**

## 3.2 Adaptación mV a entrada PIC

### 3.2.1 Principio de medición

Como hemos visto a la hora de estudiar el piranómetro escogido, el rango de señal obtenido por el sensor es de:

Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	0	250	500	750	1000	1250	1500
mV	0	18.75	37.5	56.25	75	93.75	112.5

Con estos datos y lo estudiado en la conversión de PT-1000 a entrada de PIC, tendríamos que obtener:

Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	0	250	500	750	1000	1250	1500
mV	0	18.75	37.5	56.25	75	93.75	112.5
PIC	0	0,533	1.066	1.6	2,13	2,66	3.2

### 3.2.2 Circuito adaptación

En esta ocasión, tendremos que dimensionar un circuito amplificador que nos ofrezca el rango analógico deseado para la entrada de nuestro PIC.

La alimentación del circuito será compartida con el convertidor de PT-1000 a V ( $\pm 15V_{dcc}$ ).

El circuito de adaptación consistirá en el montaje de un amplificador operacional de mercado como LM741AH/883, en su configuración de amplificador “no inversor”, sabiendo previamente la ganancia de tensión que necesitamos, es decir:

$$V_0 = A_v \cdot V_i$$

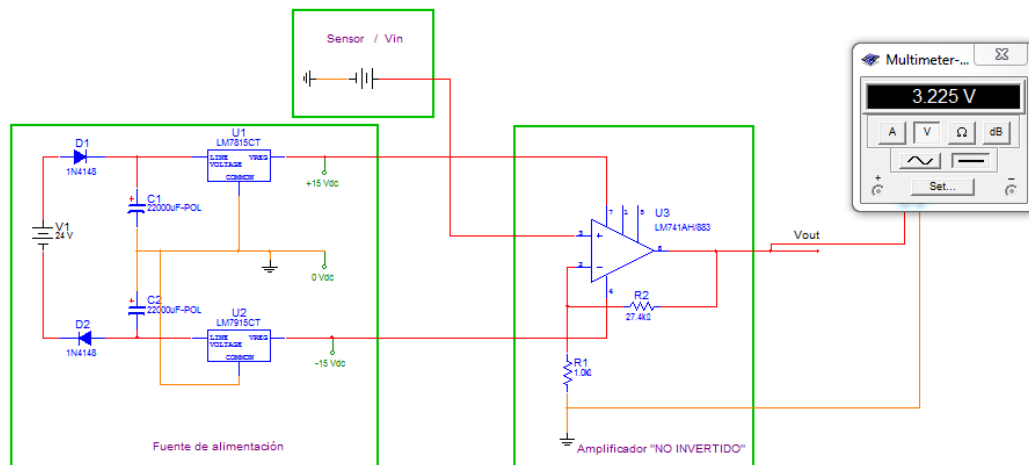
**Ecuación 8** *Calculo de la ganancia de tensión en un operacional en modo “no inversor”*

Siendo  $V_i=112.5mV$  y  $V_0$  el fondo escala que deseamos entrar en el PIC, es decir 3,2V:

$$3,2V = A_v \cdot 0,1125V$$

$$A_v = \frac{3,2}{0,1125} = 28,44$$

Así que el dimensionado de las resistencias para obtener esta ganancia de tensión, considerando que la intensidad de entrada al I- del operacional es 0mA (operacional ideal) será el que apreciamos en el circuito:



**Imagen 16** Principio de amplificación mV a Vdc

$$V_x = V_i$$

$$V_i = I_1 \cdot R_1$$

$$V_0 - V_i = I_2 \cdot R_2$$

Como  $I_1 = I_2$ , al considerar despreciable la  $I_-$

$$\frac{V_0 - V_i}{R_2} = \frac{V_i}{R_1}$$

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_i$$

Conociendo la siguiente igualdad, con una  $V_i$  de 112mV:

$$V_0 = A_v \cdot V_i$$

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$28,44 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = 27,44 \cdot R_1$$

**Ecuación 9** Valores calculados de las resistencias del operacional "no inversor"

Obteniendo unos resultados para  $R_2$  de 27,44 veces mayor que  $R_1$ , dándole un valor conocido a  $R_1$  de  $1K\Omega \pm 1\%$  y  $R_2$  será  $27,4K\Omega \pm 1\%$ .

Obteniendo unos valores de prueba de:

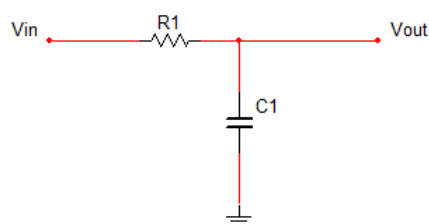
Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	0	250	500	750	1000	1250	1500
mV	0	18,75	37,5	56,25	75	93,75	112,5
V	0,03	0,562	1.095	1.628	2.16	2.692	3.225

**Tabla 6** Valores obtenidos en la simulación analógica circuito adaptación sensor de irradiación

### 3.2.2.1 Filtrado de la señal de entrada

Los sensores que generan una tensión de mV, suelen ser propensos a tener corrientes parasitarias creadas por inducciones de otros equipos de la misma instalación, cables de alimentación de grandes amperajes, motores eléctricos, generadores, etc. Es por este motivo, que habitualmente se utilizan filtros “pasa bajas frecuencias” para que a la entrada del amplificador llegue exclusivamente la señal del sensor. De modo que no se vea alterada la entrada y producir un error en la salida del circuito operacional, creando así un error en la medida no controlado.

Un circuito básico de filtrado pasa bajos consiste en colocar una resistencia en serie con la entrada del amplificador y un condensador en paralelo con masa ( - ), de la siguiente manera:



**Imagen 17** Esquema filtro pasa bajas

El filtro nos limitará el paso de las tensiones que superen un valor de frecuencia escogido (en nuestro caso 200 Hz) regulado por la ecuación:

$$FH = \frac{1}{2\pi RC}$$

**Ecuación 10** Cálculo de frecuencia de corte de un filtro “pasa bajas”

Siendo:

- FH, la frecuencia a la que queremos limitar (Hz)
- R, valor de la resistencia R1 (Ω)
- C, valor del condensador C1 (Faradios)

Como el valor de resistencias de mercado es más amplio que el de los condensadores, escogeremos un condensador cualquiera. En nuestro caso, 1μF y hallaremos el valor de la R1:

$$200 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi RC}$$



$$200 \text{ Hz} \cdot 2\pi \cdot 1\mu\text{F} = \frac{1}{R}$$

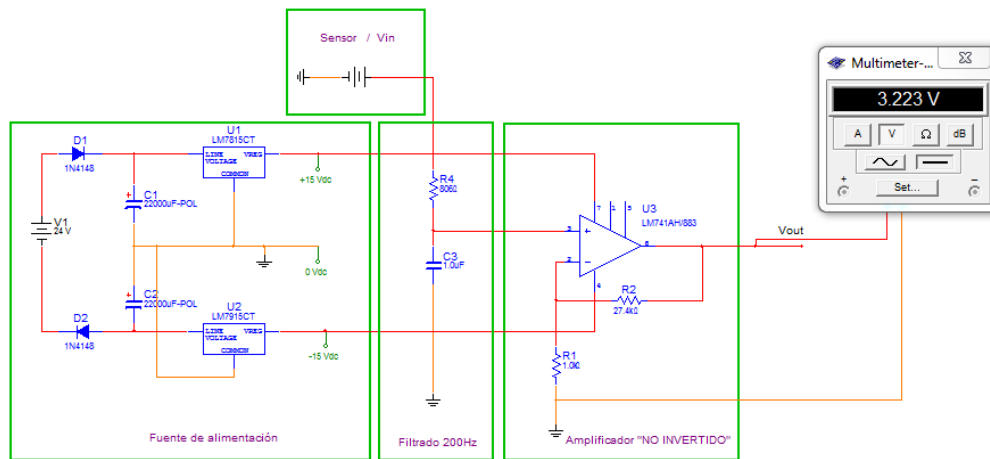
$$200 \text{ Hz} \cdot 2\pi \cdot 1\mu\text{F} = \frac{1}{R}$$

$$1.256 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{R}$$

$$R = 795.774\Omega$$

**Ecuación 11** Cálculo del filtro pasa bajas a 200Hz

Escogiendo un valor de mercado de  $806 \pm 1\%$  y obteniendo así el circuito de adaptación de mV a Vdcc filtrado a 197Hz.



**Imagen 18** Circuito adaptación mV a entrada de PIC

Los valores finales son los que se detallan a continuación:

Irradiación (W/m <sup>2</sup> )	0	250	500	750	1000	1250	1500
mV	0	18,75	37,5	56,25	75	93,75	112,5
V	0,028	0,560	1.093	1.626	2.158	2.69	3.223

**Tabla 7** Relación entre mV y señal analógica del PIC

### 3.2 Adaptación entrada pulsos a entrada PIC

La entrada de pulsos positiva del contador la conectaremos al pin TOCKI/RA4 (entrada del TIMER0) y el lado negativo referenciada a VSS (alimentación negativa del PIC o masa).

Además tendremos en consideración que conectaremos un cristal de cuarzo de 32.768KHz con 2 condensadores de 27pF en paralelo con el cristal en las entradas destinadas al TIMER1 para el control del tiempo real.

## 4. Estudio y programación PIC.

El PIC escogido (18F45K20<sup>5</sup>) pertenece a la casa Microchip. He escogido este PIC para poder llevar el proyecto al máximo nivel de desarrollo y Microchip ofrece la posibilidad de adquirir un programador de PIC's junto a una placa de pruebas para la realización de simulaciones llamado PIC KIT 3 que incluye este micro. Además se ha tenido presente los recursos mínimos que tenía que tener el micro para la realización de este proyecto como son:

- Convertidores A/D
- Contadores / temporizadores
- Entradas de oscilador
- Entradas y salidas digitales



*Imagen 19 Pic Kit 3 conectado a placa de simulación con el PIC 18F45K20 integrado*

### 4.1 Obtención de datos de las señales analógicas.

Nuestro proyecto consta de dos entradas analógicas para el control de la temperatura y de la irradiación dentro de unos valores mínimos y necesarios para que nuestra instalación fotovoltaica funcione correctamente.

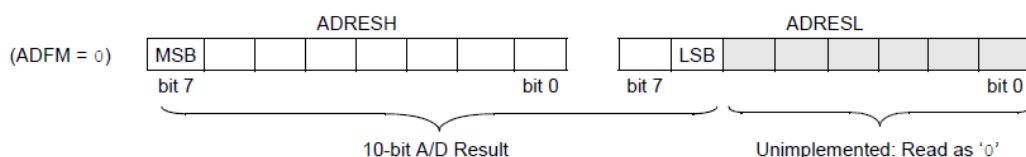
- **Temperatura:** Deberá estar comprendida entre -5º y 70ºC, así que nosotros mediremos entre -25º y 90ºC como hemos visto en el apartado 3.1. utilizando el software de simulación electrónico podemos ver el valor de tensión que le entrará al PIC con estos valores de temperatura -5º (980.46Ω) y 70ºC(1270.72). Así que solo nos queda leer estos valores de tensión con el PIC y saber su valor hexadecimal (Hex) para la comparación en el programa, así que haremos un pequeño programa exclusivo para leer estos datos y saber la relación entre su valor analógico y el valor Hex. Para este estudio también he montado potenciómetros de 10K conexionados a cada entrada

<sup>5</sup> Se pueden observar las principales características en el anexo 9.2

analógica del PIC y así poder hacer la variación de tensión en las diferentes señales analógicas.

En las imágenes de las próximas páginas (Imagen 21 – 22 – 23) están compuestas por tres imágenes y la conversión correspondiente de rango analógico a digital (concretamente a Hexadecimal) en las que podemos observar:

- El polímetro con las lecturas de los valores generados con los potenciómetros para simular las lecturas de los sensores.
- Los registros del PIC capturados con el “Debugger” (simulador) del MPLAB. En especial el registro ADRES compuesto de 16 bits, ADRESH de 8bits más la suma de ADRESL de 8bits (aunque sólo son útiles 10bits) que es el valor devuelto por el convertidor A/D del propio PIC. Estos valores Hexadecimales los utilizaremos para definir el rango de nuestras medidas.
  - Los registros ADRESH y ADRESL se organizan de la siguiente manera:



**Imagen 20** Posición de los bits en el registro ADRES

- Según observamos los registros serán capaces de dar 1024 posibilidades de estado (0000000000 ... 1111111111), así que si queremos conocer la conversión digital de cualquier valor analógico, podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$\left( \frac{V_{analógico}}{V_{ref}} \right) \cdot 1024$$

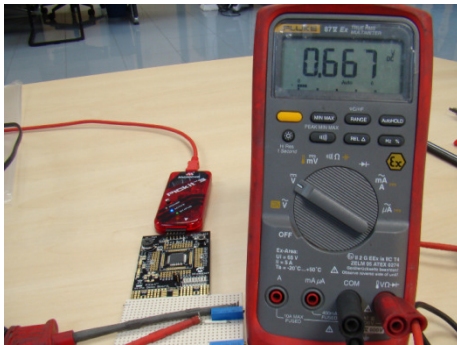
- El valor resultante lo pasaremos a binario y así obtendremos 10 bits. Los 8 primeros serán ADRESH, los 2 últimos bits más 6 bits implementados con 0 serán ADRESL. Estos bits los podremos pasar a hexadecimal y obtendremos el valor deseado. Por ejemplo:

$$\left( \frac{1.5}{3.2} \right) \cdot 1024 = 480 \rightarrow \text{bin (10 bits)} \rightarrow \text{0111100000}$$

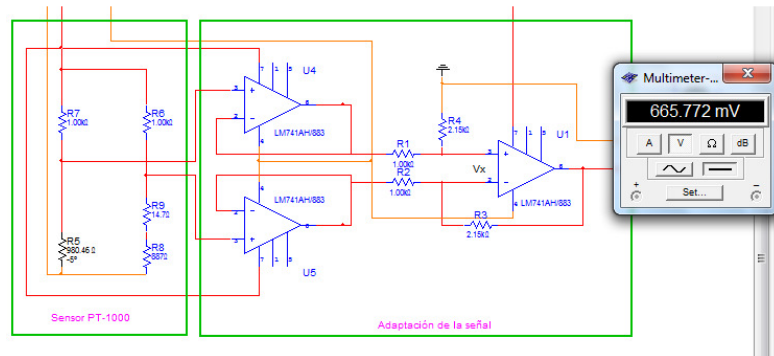
Bin	0111 1000	0000 0000
Hex	78	00

**Ecuación 12** Conversión valor analógico a Binario

- Simulación analógica de los sensores y el resultado final del circuito de adaptación, que se conectara directamente a la señal analógica correspondiente.



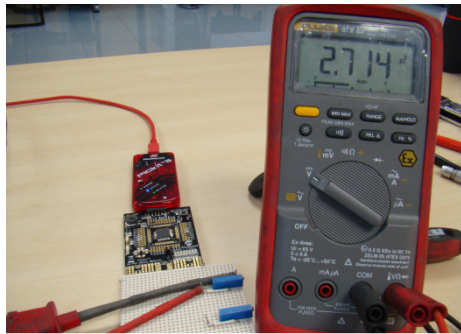
Special Function Registers		
Address	SFR Name	Hex
FC2	ADCON0	0x05
FC1	ADCON1	0x00
FC0	ADCON2	0x38
FC3	ADRES	0x3540
FC4	ADRESH	0x35
FC3	ADRESL	0x40
F7E	ANSEL	0x02
F7F	ANSELH	0x00



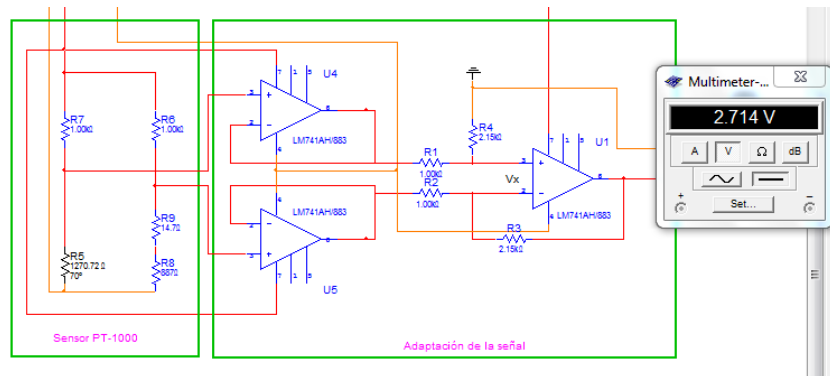
$$\left(\frac{0.667}{3.2}\right) \cdot 1024 = 213.44 \rightarrow 213 \rightarrow \text{bin (10 bits)} \rightarrow 0011010101$$

Bin	00110101	0100 0000
Hex	35	40

Imagen 21 Simulación y cálculo del valor mínimo de la señal analógica de temperatura



Special Function Registers		
Address	SFR Name	Hex
FC2	ADCON0	0x05
FC1	ADCON1	0x00
FC0	ADCON2	0x38
FC3	ADRES	0xD740
FC4	ADRESH	0xD7
FC3	ADRESL	0x40
F7E	ANSEL	0x02
F7F	ANSELH	0x00

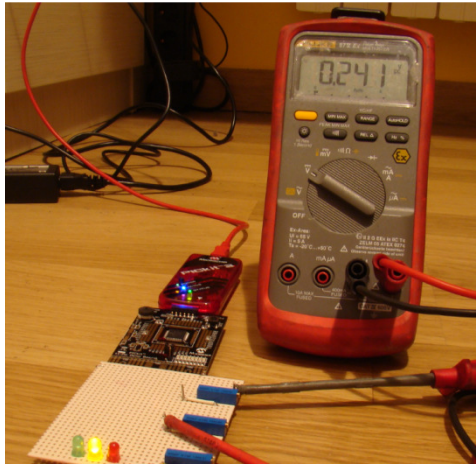


$$\left(\frac{2.714}{3.23}\right) \cdot 1024 = 860.41 \rightarrow 861 \rightarrow \text{bin (10 bits)} \rightarrow 1101011101$$

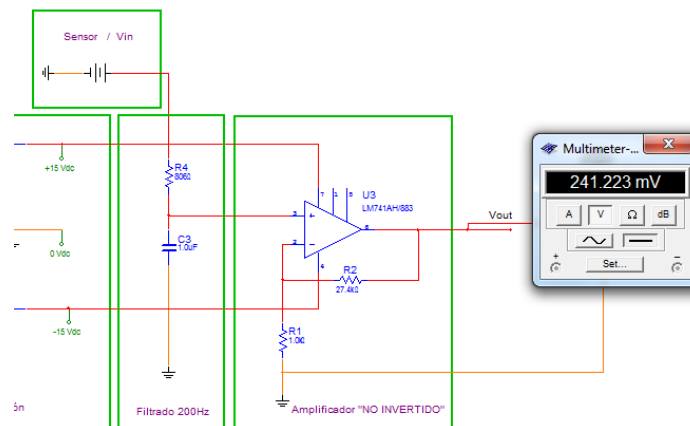
Bin	11010111	0100 0000
Hex	D7	40

Imagen 22 Simulación y cálculo del valor máximo de la señal analógica de temperatura

- **Irradiación:** Deberá ser siempre superior a  $100 \text{ W/m}^2$ , es decir mayor de 7.5mV en el sensor ó 0,241 V en la entrada del PIC como hemos visto en el apartado 3.2.



Special Function Registers			
Address	SFR Name	Hex	
FC2	ADCON0	0x09	
FC1	ADCON1	0x00	
FC0	ADCON2	0x38	
FC3	ADRES	0x1340	
FC4	ADRESH	0x13	
FC3	ADRESL	0x40	
F7E	ANSEL	0x04	
F7F	ANSELH	0x00	



$$\left(\frac{0.241}{3.2}\right) \cdot 1024 = 77.12 \rightarrow 77 \rightarrow \text{bin (10 bits)} \rightarrow 0001001101$$

Bin	00010011	0100 0000
Hex	13	40

**Imagen 23 Simulación y cálculo del valor mínimo de la señal analógica de Irradiación**

## 4.2 Programación de la gestión de las señales analógicas.

Sabemos que nuestro programa ha de gestionar el control de la temperatura y la irradiación, es decir ha de activar una señal de alarma (led amarillo) en caso de que la temperatura no se encuentre entre los valores comentados anteriormente y activar la señal de paro o emergencia si la irradiación baja de  $100\text{W/m}^2$ , así que obtendremos continuamente estos dos valores analógicos utilizando medias de las lecturas para evitar posibles ruidos o interferencias en las mediciones y los compararemos con los obtenidos en el apartado anterior de la siguiente forma:

```

/***** Trabajo Final de Carrera Jorge García Díaz *****/
/***** Diseño de un sistema de supervisión de instalaciones fotovoltaicas *****/
/***** 2011/2012 2º Semestre Consultor : Carlos Pacheco *****/
/***** Definición de bits de configuración propios del PIC *****/

#pragma config FOSC = INTIO67, FCMEN = OFF, IESO = OFF
#pragma config PWRT = ON, BOREN = OFF, BORV = 30
#pragma config WDTCN = OFF, WDTPS = 32768
#pragma config MCLRE = ON, LPT1OSC = OFF, PBAEN = ON, CCP2MX = PORTC
#pragma config STVRN = ON, LVP = OFF, XINST = OFF
#pragma config CP0 = OFF, CP1 = OFF, CP2 = OFF, CP3 = OFF
#pragma config CPB = OFF, CPD = OFF
#pragma config WRT0 = OFF, WRT1 = OFF, WRT2 = OFF, WRT3 = OFF
#pragma config WRTB = OFF, WRTC = OFF, WRTD = OFF
#pragma config EBTR0 = OFF, EBTR1 = OFF, EBTR2 = OFF, EBTR3 = OFF
#pragma config EBTRB = OFF
#pragma code

/** Definición de las funciones *****/
void Ini_ADC(int j); //Función adquisición valor temperatura e Irradiación
unsigned long Con_ADC(void); // Función que nos devuelve el valor de la conversión A/D
void timer_isr (void); // Función de la interrupción del TIMER0

//Cuando activemos la interrupción el programa se detendrá e irá a buscar la función
//timer_isr una vez la ejecute entera, saldrá y volverá al main donde estaba. Es decir, hace
//una interrupción en el programa para ejecutar otro trozo de código.
#pragma code InterruptVectorHigh = 0x08
void InterruptVectorHigh(void)
{
    _asm GOTO timer_isr _endasm
}
#pragma code
#pragma interrupt timer_isr

/** Librerías *****/
#include "p18f45k20.h"
#include "delays.h"

```

```
#include "timers.h"

/** Definición de variables constantes *****/
// Valor mínimo de temperatura -5°C 0.667V AN1 (0.667/3.2)•1024 = 213 -> bin (10 bits)
// -> 0011 0101 01 -> Hex 35 40
#define MIN_Temp 0x3540
// Valor máximo de temperatura 70°C 2.714V AN1(2.714/3.2)•1024 = 861 -> bin (10 bits)
// -> 1101 0111 01 -> Hex D7 40
#define MAX_Temp 0xD740
// Valor mínimo de irradiación 100W/m^2 0.241V AN2 (0.241/3.2)•1024 = 77 -> //bin
(10 //bits) -> 0001 0011 01 -> Hex 13 40
#define MIN_Irra 0x1340
#define Num_Lecturas 5 // Valor de las lecturas a adquirir
unsigned int Flag = 0;

void main (void)
{
// Declaración Variable del valor de la temperatura, irradiación y potencias en Hex y de los
//vectores para el cálculo de sus medias

    unsigned long Temp, Irra;
    unsigned long Media_Irra [Num_Lecturas] = {0};
    unsigned long Media_Temp [Num_Lecturas] = {0};
    unsigned long Media_Pulsos [Num_Lecturas] = {0};
    unsigned long Pulsos = 0;
    unsigned long Pulsos_Medidos = 0;
    unsigned long Pulsos_Hora = 0;
    unsigned int k = 0;
    int true = 0;
    unsigned long Potencia_Medida;
    unsigned long Potencia_Calculada;
    unsigned long Porcentaje;
// Configuración de las entradas y salidas I/O
    TRISA = 0b11111111; // Puerto A Todo entradas, se usaran como analógicas (AI)
    TRISB = 0b11111111; // Puerto B Todo entradas, se usaran como digitales (DI)
    TRISC = 0b11111111; // Puerto C Todo entradas, se usaran como digitales (DI)
    TRISD = 0b00000000; // Puerto D Todo salidas digitales (DO)
    RCONbits.IPEN = 1;
    INTCONbits.GIEL = 1;
    INTCONbits.GIEH = 1;
    INTCONbits.TMR0IF = 0;
    INTCON2bits.TMR0IP = 1;
    INTCONbits.TMR0IE = 1;
    TOCON = 0b11000001;
    OSCCON = 0b01011100;
```



```

while (1){ // Bucle infinito
    int i = 0;
    Irra = 0;
    for (i = 0; i <= (Num_Lecturas - 1) ; i++) {
        Ini_ADC (2); // Adquisición del valor de la irradiación (2)
        Media_Irra [i] = Con_ADC(); // Tomamos 5 valores separados por un tiempo
        Irra = Irra + Media_Irra [i]; // Sumamos los valores adquiridos para
        //después realizar la media de los mismos

        Delay1KTCYx(70); }
    Irra = Irra / Num_Lecturas; // Realizamos la media de los 5 valores (0 -> 4)
    if (Irra >= MIN_Irra) { // comparamos la variable con el valor deseado (menor de
        //100W/m2)

        i = 0;
        Temp = 0;
        for (i = 0; i <= (Num_Lecturas - 1) ; i++) {
            Ini_ADC (1);
            Media_Temp [i] = Con_ADC();
            Temp = Temp + Media_Temp [i];
            Delay1KTCYx(30);
        }
        Temp = Temp / Num_Lecturas;
        if ((Temp <= MIN_Temp) || (Temp >= MAX_Temp)) {
            LATDbits.LATD6 = 1; // LED AMARILLO
        }else{
            LATDbits.LATD6 = 0; // LED AMARILLO
        }

        /*****Lectura y gestión de los pulsos recibidos por el contador de energía *****/
        /**** Explicada en el punto 4.3 de la presente memoria *****/
        /*****

        if (k <= (Num_Lecturas - 1)){
            // Utilizamos la variable k para realizar 5 medidas de pulsos durante 5 minutos
            // Este recorrido lo utilizamos para evitar rebotes extraños y utilizamos la variable
            // Para evitar los

                if ((PORTBbits.RB0 == 1) && (true == 0)){
                    true = 1;
                }
                if ((PORTBbits.RB0 == 0)&& (true == 1)){
            // Si el pulso esta en nivel bajo, contamos un pulso, sumándoselo a la variable Pulsos
                    true = 0;
                    Pulsos = Pulsos + 1;
                }
                if (Flag >= 60000){

```

```
// Cuando contemos 60000 Flags (1 minuto) reiniciaremos para contar otro minuto
                                Flag = 0;
                                Media_Pulsos [k] = Pulsos;
// Guardaremos la lectura de los pulsos en un vector para calcular la media
                                Pulsos_Medidos = Pulsos_Medidos + Media_Pulsos [k];
                                k = k + 1;
                                Pulsos = 0;
                                }
                                }else{
                                    k = -1;
//Realizamos la media de los pulsos y los multiplicamos por 60, Pulsos_Hora
                                Pulsos_Hora = ((Pulsos_Medidos / Num_Lecturas)* 60);
                                Pulsos_Medidos = 0;
                                }
                                if (k == -1){
// Una vez cogido 5 muestras realizaremos los calculos necesarios
                                k = 0;
                                Potencia_Medida = 0;
                                Potencia_Medida = ((1000 * Pulsos_Hora)/2000);
// con los pulsos/Hora hallaremos la potencia generada
                                Pulsos_Hora = 0;
                                Potencia_Calculada = 0;
//Normalizamos la irradiación del valor digital obtenido por el convertidor AD (0xFFC0 para
//1500W/m2) a un valor de 0 a 1500 W/m^2
// Irradiación = (1500 * Irra)/0xFFC0)
                                Potencia_Calculada = (((1500 * Irra)/0xFFC0)*5000)/1000);
// Hallaremos el valor de la Irradiación (según lectura analógica) y hallamos la potencia en
relación a la Irradiación
                                Porcentaje = 0;
                                Porcentaje = ((Potencia_Calculada * 20 )/ 100);
//Calculamos el margen de error entre la potencia generada y la potencia medida del 20%
// Comprobamos si estamos dentro del + - 20 % de la potencia teorica a la potencia real
                                if ((Potencia_Medida >= (Potencia_Calculada - Porcentaje)) &&
((Potencia_Medida <= (Potencia_Calculada + Porcentaje)))){
                                    LATDbits.LATD7 = 0; // LED ROJO
//Si entramos en esta ventana la planta estara funcionando correctamente
                                    LATDbits.LATD5 = 1; // LED VERDE
                                }else{
                                    LATDbits.LATD5 = 0;
//Si no la planta debe tener un tipo de error.

                                    LATDbits.LATD7 = 1;
                                }
                                }
                                }
```

```

    }
}
}

        }else{
            LATDbits.LATD5 = 0;
            LATDbits.LATD7 = 1;
        }
    }

} else {
    LATDbits.LATD5 = 0;
    LATDbits.LATD6 = 0;
    LATDbits.LATD7 = 1;
}

}
}

/* FUNCIONES *****/
// Inicialización del ADC de la AN1 o AN2
// Apagamos todas los canales analógicos, y luego encendemos el canal AN1/2
//(ANSEL=0b00000010)
// y configuramos que la V de referencia sea la Vdd (+) y la Vss(-) con ADCON=0
// Seleccionamos el tiempo que damos al ADC de 20Tad y con un FOSC/2 con ADCON2
// Seleccionamos el canal AN1 y lo pones en marcha con ADCON0

void Ini_ADC(int j)
{
    if (j == 1) {
        ANSEL = 0b00000000;
        ANSELH = 0b00000000;
        ANSEL= 0b00000010;
        ADCON1 = 0b00000000;
        ADCON2 = 0b00111000;
        ADCON0 = 0b10001001;
    }
    if (j == 2){
        ANSEL = 0b00000000;
        ANSELH = 0b00000000;
        ANSEL= 0b00000100;
        ADCON1 = 0b00000000;
        ADCON2 = 0b00111000;
        ADCON0 = 0b10001001;
    }
}

```

```

/*****/
// Comenzamos la conversión del ADC
// Cuando acaba la conversión, nos devuelve el valor de la conversión

unsigned long Con_ADC(void)
{
    ADCON0bits.GO_DONE = 1;
    while (ADCON0bits.GO_DONE == 1);
    return ADRES;
}

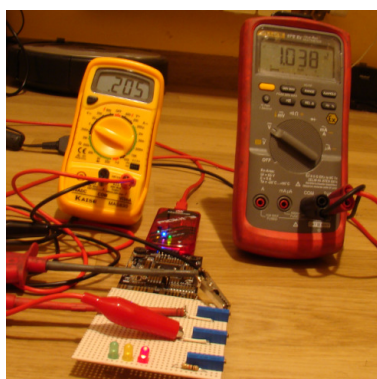
// Activaremos un "Flag" cada 1ms, haciendo saltar la interrupción del contador
// al "desbordarse". La interrupción se activa al alcanzar el contador al valor de 256 (8 bits)
// y la hemos de reiniciar nosotros.

void timer_isr (void){
    if (INTCONbits.TMR0IF == 1){ //Si se desborda el contador entramos a ejecutar las
funciones
        TOCON = 0b00000000; //Paramos el temporizador poniendo el bit 7 a 0
        Flag = Flag + 1;      //Sumamos 1 a la variable FLAG
        TOCON = 0b11000001;    //Arrancamos el temporizador con un
preescalamiento de 1:4 y 8 bits
        INTCONbits.TMR0IF = 0; //Reiniciamos la interrupción del TIMER0
    }
}

```

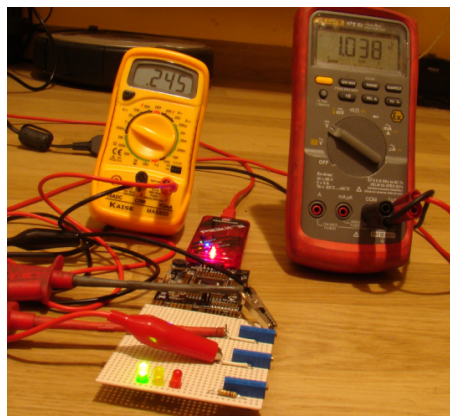
Como podemos observar en las siguientes imágenes (el polímetro rojo indicará el valor en voltios de la señal analógica de temperatura, el polímetro amarillo indicará el valor de la señal analógica de irradiación), tenemos varios casos posibles:

- Irradiación inferior a 0.241V, independientemente del valor de la temperatura, en este caso 1.038V:
  - Se puede observar el valor del polímetro amarillo y el led rojo de paro del sistema encendido (Led rojo)



*Imagen 24 Irradiación por debajo de 100W/m<sup>2</sup> (Simulación real)*

- Irradiación superior a 0.235V, y valor de temperatura entre -5° y 70°C:
  - Se puede observar que el valor de irradiación es superior al despreciable ( $100\text{W}/\text{m}^2$ ) y la temperatura se halla entre los valores de condiciones optimas, led verde encendido



*Imagen 25 Irradiación superior a  $100\text{W}/\text{m}^2$  y temperatura entre valores admitidos (Simulación real)*

- Irradiación en valores aceptables y la temperatura inferior a -5°C (inferior a 665 mV)
  - El led amarillo de alerta se encuentra encendido



*Imagen 26 Irradiación en valores tolerables y la temperatura inferior a -5°C (Simulación real)*

- Irradiación en valores tolerables y la temperatura superior a 70°C
  - El led amarillo de alerta se encuentra encendido



*Imagen 27 Irradiación en valores tolerables y la temperatura superior a 70°C (Simulación real)*

### 4.3 Programación de la gestión la entrada de pulsos.

Para la lectura de los pulsos, generaremos una interrupción<sup>6</sup> en el programa del PIC.

Esta interrupción se ha diseñado, configurando los registros del TIMER y del oscilador de la siguiente manera:

- Oscilador : Se utilizara el oscilador interno a una frecuencia de 4MHz, es decir, el tiempo de ejecución de cada comando será de 1μs:  

$$F_{ejecución} = \frac{F_{osc}}{4} = \frac{4MHz}{4} = 1MHz \rightarrow T_{ejecución} = \frac{1}{1MHz} = 1\mu s$$
- TIMER, se configurara a 8 bits, es decir, podremos sumar hasta 256, pero con una relación de 1:4, cada cuatro pulsos, incrementaremos 1 al TIMER , es decir, para llegar a 256, necesitaremos 1024μs.
- Interrupción, se activara cada vez que el TIMER se desborde (supere 256) y como hemos visto anteriormente cada 1024μs (1ms), con esto realizaremos el incremento de una variable llamada “Flag”, es decir, tendremos un Flag cada 1 ms.

Podemos observar en la sección del programa siguiente, como realizamos la lectura de los pulsos cada 60000 “Flags” (1 minuto), para posteriormente realizar la media de estos pulsos en 5 lecturas de un minuto cada una. Con ello obtenemos los pulsos/hora recibidos desde el contador de energía y la gestión del correcto funcionamiento de la planta o en su contra, la existencia de algún tipo de error.

La detección de este error se efectúa mediante la comparación de una lectura calculada:

$$Potencia\_Teorica = \left( \frac{Irradiación}{1000} * Potencia\ de\ pico^7 \right)$$

**Ecuación 13** *Calculo de la potencia teórica*

Y la lectura recibida de los sensores, sabiendo que el contador da un pulso cada 0,5KWh:

$$\frac{pulso}{Wh} = \frac{1000\ pulsos}{2000\ kWh} = 0.5KWh$$

$$Potencia\_Real = \frac{(1000 * Pulsos/hora)}{2000}$$

**Ecuación 14** *Calculo de la potencia real*

Teniendo en cuenta un 20% de margen de error:

$$Potencia\ torelable = Potencia\_Teorica \pm \frac{(Potencia\_Calculada * 20)}{100}$$

<sup>6</sup> Se llama interrupción a una función prioritaria que cuando la activamos, el programa se detiene en la posición que se encuentre, para ejecutar otros comandos englobados en una función, una vez finalizada la ejecución de esta función, se volverá a ejecutar la línea donde se detuvo anteriormente por eso se dice que el programa ejecuta una interrupción en el programa.

<sup>7</sup> En nuestro caso 5000W

*Ecuación 15 Cálculo de la potencia tolerable respecto a la potencia teórica*

Obteniendo un código integrado, como hemos visto anteriormente para este cálculo tal que así:

```

/*****
**** Lectura y gestión de las entradas de temperatura e irradiación****
**** Explicada en el punto 4.2 de la presente memoria ****
** Si la Irradiación supera los 100W/m2, pasaremos a realizar la siguiente medida*/
****
if (k <= (Num_Lecturas - 1)){
// Utilizamos la variable k para realizar 5 medidas de pulsos durante 5 minutos
// Este recorrido lo utilizamos para evitar rebotes extraños y utilizamos la variable
// Para evitar los
    if ((PORTBbits.RB0 == 1) && (true == 0)){
        true = 1;
    }
    if ((PORTBbits.RB0 == 0)&& (true == 1)){
// Si el pulso esta en nivel bajo, contamos un pulso, sumándoselo a la variable Pulsos
        true = 0;
        Pulsos = Pulsos + 1;
    }
    if (Flag >= 60000){
// Cuando contemos 60000 Flags (1 minuto) reiniciaremos para contar otro minuto
        Flag = 0;
        Media_Pulsos [k] = Pulsos;
// Guardaremos la lectura de los pulsos en un vector para calcular la media
        Pulsos_Medidos = Pulsos_Medidos + Media_Pulsos [k];
        k = k + 1;
        Pulsos = 0;
    }
}
else{
    k = -1;
//Realizamos la media de los pulsos y los multiplicamos por 60, Pulsos_Hora
    Pulsos_Hora = ((Pulsos_Medidos / Num_Lecturas)* 60);
    Pulsos_Medidos = 0;
}
if (k == -1){
// Una vez cogido 5 muestras realizaremos los calculos necesarios
    k = 0;
    Potencia_Medida = 0;
    Potencia_Medida = ((1000 * Pulsos_Hora)/2000);
// con los pulsos/Hora hallaremos la potencia generada

```

```

        Pulsos_Hora = 0;
        Potencia_Calculada = 0;
//Normalizamos la irradiación del valor digital obtenido por el convertidor AD (0xFFC0 para
//1500W/m2) a un valor de 0 a 1500 W/m^2
// Irradiación = (1500 * Irra)/0xFFC0
        Potencia_Calculada = (((1500 * Irra)/0xFFC0)*5000)/1000;
// Hallaremos el valor de la Irradiación (según lectura analógica) y hallamos la potencia en
relación a la Irradiación

        Porcentaje = 0;
        Porcentaje = ((Potencia_Calculada * 20) / 100);
//Calculamos el margen de error entre la potencia generada y la potencia medida del 20%
// Comprobamos si estamos dentro del + - 20 % de la potencia teorica a la potencia real
        if ((Potencia_Medida >= (Potencia_Calculada - Porcentaje)) &&
            ((Potencia_Medida <= (Potencia_Calculada + Porcentaje)))){
                LATDbits.LATD7 = 0; // LED ROJO
                //Si entramos en esta ventana la planta estara funcionando correctamente
                LATDbits.LATD5 = 1; // LED VERDE
            }else{
                LATDbits.LATD5 = 0;
                //Si no la planta debe tener un tipo de error.

                LATDbits.LATD7 = 1;
            }
        }
    }
}

/* FUNCIONES *****/
// Activaremos un "Flag" cada 1ms, haciendo saltar la interrupción del contador
// al "desbordarse". La interrupción se activa al alcanzar el contador al valor de 256 (8 bits)
// y la hemos de reiniciar nosotros.

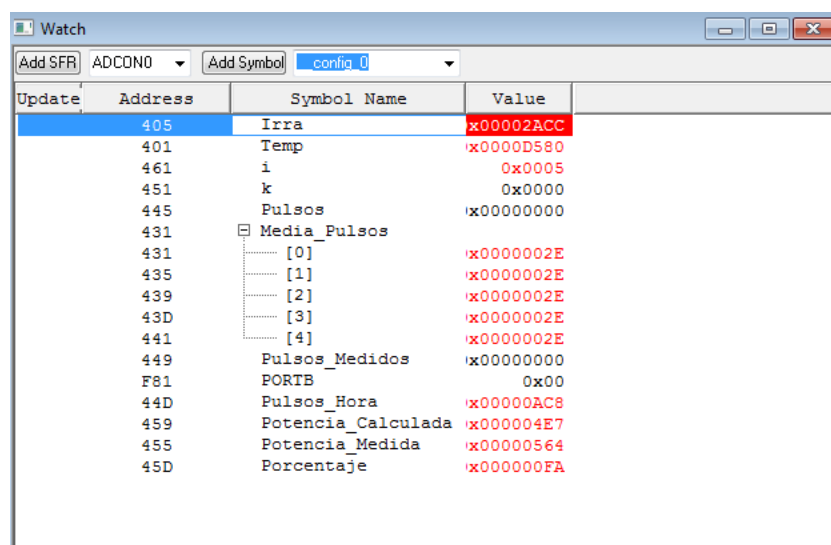
void timer_isr(void){
    if (INTCONbits.TMROIF == 1){ //Si se desborda el contador entramos a ejecutar las
funciones
        TOCON = 0b00000000; //Paramos el temporizador poniendo el bit 7 a 0
        Flag = Flag + 1; //Sumamos 1 a la variable FLAG
        TOCON = 0b11000001; //Arrancamos el temporizador con un
preescalamiento de 1:4 y 8 bits
        INTCONbits.TMROIF = 0; //Reiniciamos la interrupción del TIMERO
    }
}

```



Podemos observar en la siguiente imagen los registros o variables:

- **Potencia\_Calculada** (Valores en Hexadecimal), utilizando el algoritmo propuesto
  - $Potencia_{Calculada} = \left( \frac{Irradiación}{1000} * 5000 \right)$  y después de normalizar el valor de la normalización del valor digital de la irradiación obtenido por el convertidor AD (0xFFC0 para //1500W/m<sup>2</sup>) a un valor de 0 a 1500 W/m<sup>2</sup>
  - $\frac{(05DC+2ACC) \cdot 1388}{FFC0 \cdot 03E8} = 04E7 \rightarrow_{Decimal} 1255 W$
- **Potencia\_Medida** (Valores en Hexadecimal):
  - $\frac{(03E8 \cdot 0AC8)}{07D0} = 564 \rightarrow_{Decimal} 1380 W$



Update	Address	Symbol Name	Value
	405	Irra	x00002ACC
	401	Temp	x0000D580
	461	i	0x0005
	451	k	0x0000
	445	Pulsos	x00000000
	431	Media_Pulsos	
	431	[0]	x0000002E
	435	[1]	x0000002E
	439	[2]	x0000002E
	43D	[3]	x0000002E
	441	[4]	x0000002E
	449	Pulsos_Medidos	x00000000
	F81	PORTB	0x00
	44D	Pulsos_Hora	x00000AC8
	459	Potencia_Calculada	x000004E7
	455	Potencia_Medida	x00000564
	45D	Porcentaje	x000000FA

Imagen 28 Tabla de registros de la potencia

- Donde un  $\pm 20\%$  de la potencia calculada (Valores en Hexadecimal) =
  - $\frac{04E7 \cdot 0014}{0064} = 00FA \rightarrow_{Decimal} 250$ 
    - $1250 + 250 = 1500W$
    - $1250 - 250 = 1000W$

Observamos que la planta está funcionando correctamente ya que la potencia medida (1380W) se encuentra entre los valores tolerables del  $\pm 20\%$  de la potencia calculada (1500 – 1000W)

## 5. Diseño placa PCB.

Una vez completado el proceso de desarrollo de nuestro proyecto y la programación del PIC, obtenemos todas las señales necesarias para convertir nuestro diseño en una realidad.

Primero, definiremos y listaremos los componentes a utilizar diferenciando las diferentes partes del proyecto:

- Circuito de alimentación
- Circuito entradas/salidas analógicas, digitales y PIC

Para posteriormente realizar el diseño de las placas donde irán colocados.

Estos dos circuitos se podrían realizar en una sola placa PCB, pero la versión de prueba del software EAGLE solo permite realizar diseños que no superen el tamaño de 10 x 10 cm.

### 5.1 Listado de componentes

Definiremos los tipos de componentes que utilizaremos para nuestro diseño, ya que el mercado es muy amplio y existen diferentes tipos de encapsulamiento (forma) de cada elemento y esto nos influirá en nuestro diseño de la placa tanto por tamaño como por patillaje (conexión) a la hora de montarlo y soldarlo en nuestra placa definitiva. Utilizaremos la página web de [RS electrónica](http://RS-electronica.com) (distribuidor mundial de componentes electrónicos) por su versatilidad y buena organización, ya que no dispone exclusivamente de precios sino también de los links de los datasheets (hojas de características) de los diferentes fabricantes, donde encontraremos tanto las formas como los patillajes de los elementos a utilizar.

#### 5.1.1 Elementos del circuito de alimentación

Los elementos de este circuito serán:

TAG	Tipo elemento	Función	Encapsulado/Diagrama
IC1	LM7815T	Regulador de tensión <i>positiva</i> a 15 VDC	<p><b>Tipo TO-220</b></p> <p>Pin Assignment</p>  <p>Figure 2.</p>
IC2	LM7915T	Regulador de tensión <i>negativa</i> a 15 VDC	<p><b>Tipo TO-220</b></p> <p>Connection Diagrams</p>  <p>Front View Order Number LM7905CT, LM7912CT or LM7915CT See NS Package Number T03B</p>


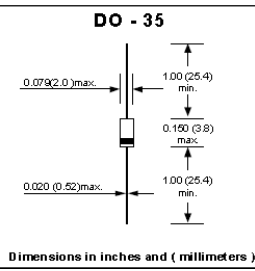
D1-D2	1N4148	Protegerán el circuito de polarizaciones inversas (error al conectar la alimentación externa)	 <p>The diodes are type braided.</p> <p>Fig.1 Simplified outline (SOD27, DO-35) and symbol.</p>
D3	BZX55C3V3	Estabilización de 3,3 VDC para la alimentación del PIC	 <p>Dimensions in inches and ( millimeters )</p>
R1	1K $\Omega$	Genera una carga al diodo zener	La gran mayoría de resistencias utilizadas son tipo DO-35
C1 – C2	22000 $\mu$ f	Filtrado de posibles armónicos en la entrada de tensión externa	Tipo B45181B

Tabla 8 Elementos del circuito de alimentación

### 5.1.2 Elementos del circuito de entradas/salidas analógicas, digitales y PIC

Los elementos de este circuito serán:

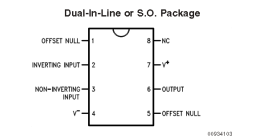
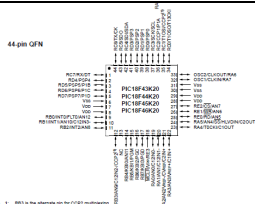
TAG	Tipo elemento	Función	Encapsulado/Diagrama
IC4 IC5 IC3	LM741P	Adaptación y amplificación de la señal de resistencia a voltaje (0 a 3,2VDC)	 <p>Order Number LM741J, LM741J883, LM741CN See NS Package Number J08A, M08A or N08E</p>
IC6	LM714	Adaptación y amplificación señal mV	Igual que IC4
R2 – R5	1K $\Omega$	Compensación Puente Wheatstone	Tipo DO-35
R6 – R9	1K $\Omega$	Carga circuitos operacionales	Tipo DO-35
R3+R4	14.7 $\Omega$ +887 $\Omega$	Resistencias serie para conseguir un valor igual al valor mínimo de la PT1000	Tipo DO-35
R7 – R8	2.15K $\Omega$	Resistencia encontradas en el cálculo de las ganancias de tensión	Tipo DO-35
R12 y C6	808 $\Omega$ y 1 $\mu$ F	Utilizado como filtros pasa bajas de la entrada de tensión	
IC7	PIC18F45K20	Microcontrolador	 <p>44 pin QFN</p>
L1 – L2 – L3	Leds de 5mm	Leds de señalización de estados	

Tabla 9 Elementos del circuito de analógicas y pulsos

## 5.2 Diseño placas PCB

Actualmente las empresas dedicadas a la realización de placas PCB utilizan un conjunto de ficheros englobados en un solo fichero del tipo Gerber<sup>8</sup>, englobando las diferentes capas que tendrá nuestro diseño final, como son por ejemplo:

- .GBL : Capa inferior de la placa
- .GTL : Capa superior de la placa
- .GPT : Capa de pads superior

### 5.2.1 Diseño placa circuito alimentación

Una vez definidos los elementos del circuito, pasamos a realizar el diseño en el programa EAGLE creando el proyecto nombrado como TFC.

Para realizar el “layout”<sup>9</sup> diseñaremos primero el “schematic”<sup>10</sup> igual que hemos realizado en Multisim para realizar la simulación analógica de los valores, obteniendo el circuito de alimentación:

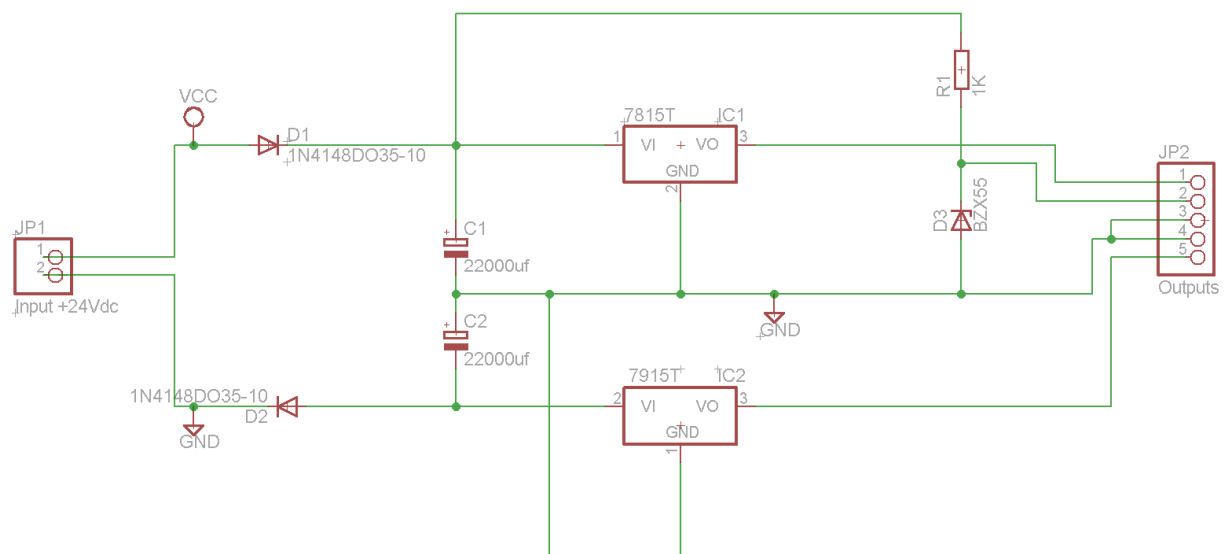


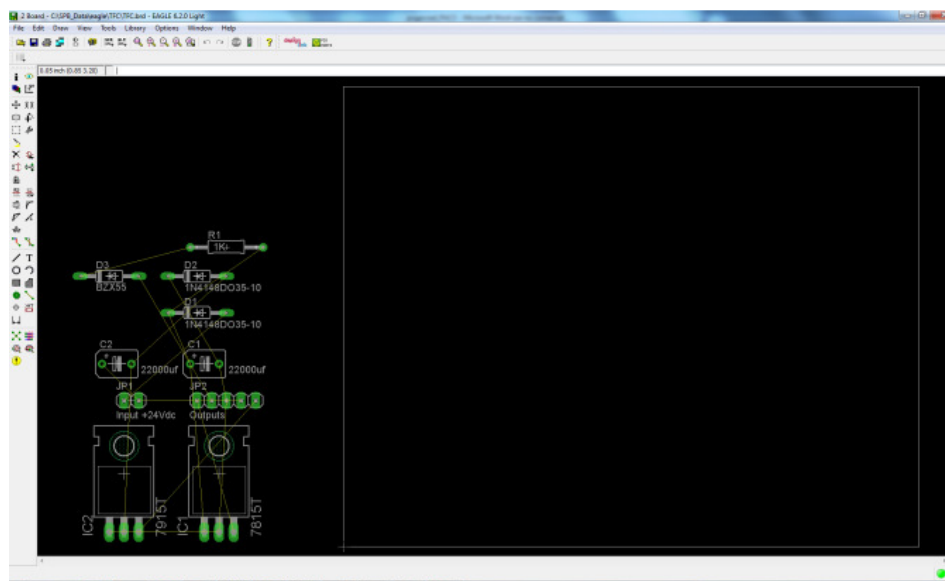
Imagen 29 1ª fase desarrollo PCB: "Schematic" circuito de alimentación

<sup>8</sup> Más información sobre el formato Gerber ([http://en.wikipedia.org/wiki/Gerber\\_format](http://en.wikipedia.org/wiki/Gerber_format))

<sup>9</sup> Circuito impreso

<sup>10</sup> Esquema eléctrico o funcional

Una vez realizado el esquema eléctrico y dado valores a los elementos podemos realizar el diseño de la placa. Observamos que si ahora creamos una “board” el mismo EAGLE nos inserta los elementos y las conexiones igual que en el esquema eléctrico:



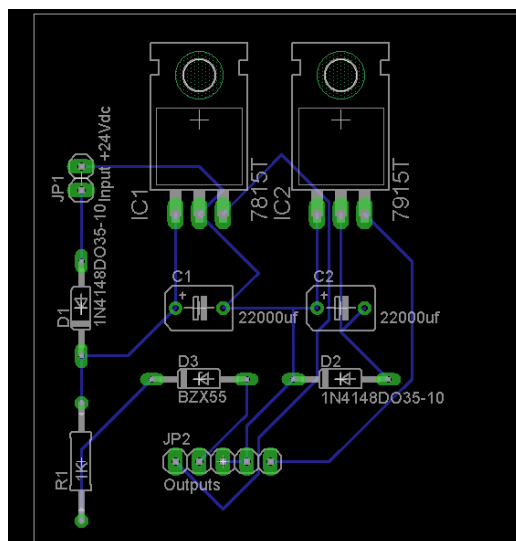
*Imagen 30 2ª fase desarrollo PCB: Ordenar elementos*

El cuadrado blanco será nuestra placa PCB de 10x10cm y no podremos colocar elementos ni pistas fuera de este límite.

Posicionaré los elementos en la placa como crea conveniente respetando ciertas normas de diseño como por ejemplo:

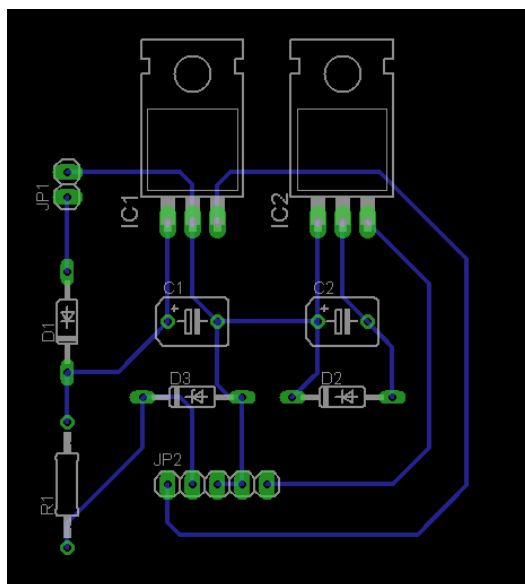
- Los reguladores de tensión, suelen ir adheridos a disipadores de calor (radiadores) debido a las altas temperaturas a las que suele trabajar, así que los intentaremos separar de resistencias y condensadores.
- Los cristales de cuarzo deben colocarse lo más cerca posible de los PIC's para evitar en la medida de lo posible interferencias.
- Evitar pistas con ángulos rectos (90°), ya que a la hora de hacer la placa real pueden dar problemas por pérdida de grosor en las pistas.
- En la medida de lo posible realizaremos placas a una sola cara ya que son mas económicas, aunque no siempre es posible debido a la complejidad del circuito.
- El grosor de las pistas define la intensidad que puede soportar, así que hay que tener en cuenta si la pista se trata de una señal o de una alimentación. Aun tratándose de una señal, si por espacio es posible realizar la pista más gruesa siempre nos evitara problemas en la realización de la placa siendo más sencilla y por lo tanto menos costosa, llegando a poderla realizar nosotros mismos.

EAGLE ofrece una herramienta de AutoRoute que permite que el mismo software realice las pistas por nosotros, pero no acaba de convencerme debido a que después debemos de realizar cambios por cercanías entre pistas (complica la realización de la placa) y ángulos rectos como podemos ver en la siguiente imagen:



*Imagen 31 3ª fase desarrollo placa PCB: AutoRoute de EAGLE*

Así, que las pistas las realizaremos nosotros, adaptándonos a las “normas de diseño” declaradas anteriormente y moviendo algún elemento por interés. Obteniendo un circuito final de alimentaciones:



*Imagen 32 4ª fase desarrollo PCB: Circuito final*

Podemos observar en la siguiente imagen que los elementos no los dibujaremos ya que este tipo de elemento encarece mucho la realización de la placa, así que obtendremos un fotolito final que podríamos llevar a realizar o incluso hacerlo en casa debido a su simplicidad:

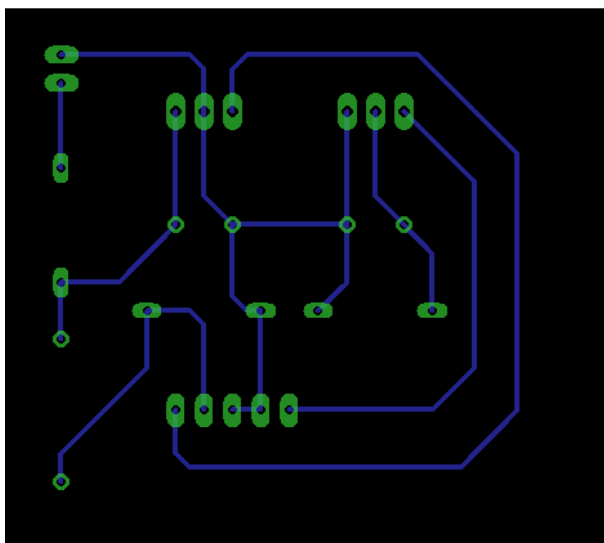


Imagen 33 5ª fase desarrollo PCB: circuito impreso final

Quedando la relación de pines de la siguiente manera:

JP1	Alimentación externa	
	1	+24 Vdc
	2	0 Vdc
JP2	Salida circuito alimentaciones	
	1	+15 Vdc
	2	+3.3Vdc
	3	0 Vdc
	4	0Vdc
	5	-15 Vdc

Tabla 10 Relación pineado placa de alimentaciones

### 5.2.2 Diseño circuito de entradas/salidas analógicas, digitales y PIC

El esquema eléctrico de esta placa podemos verlo a continuación:

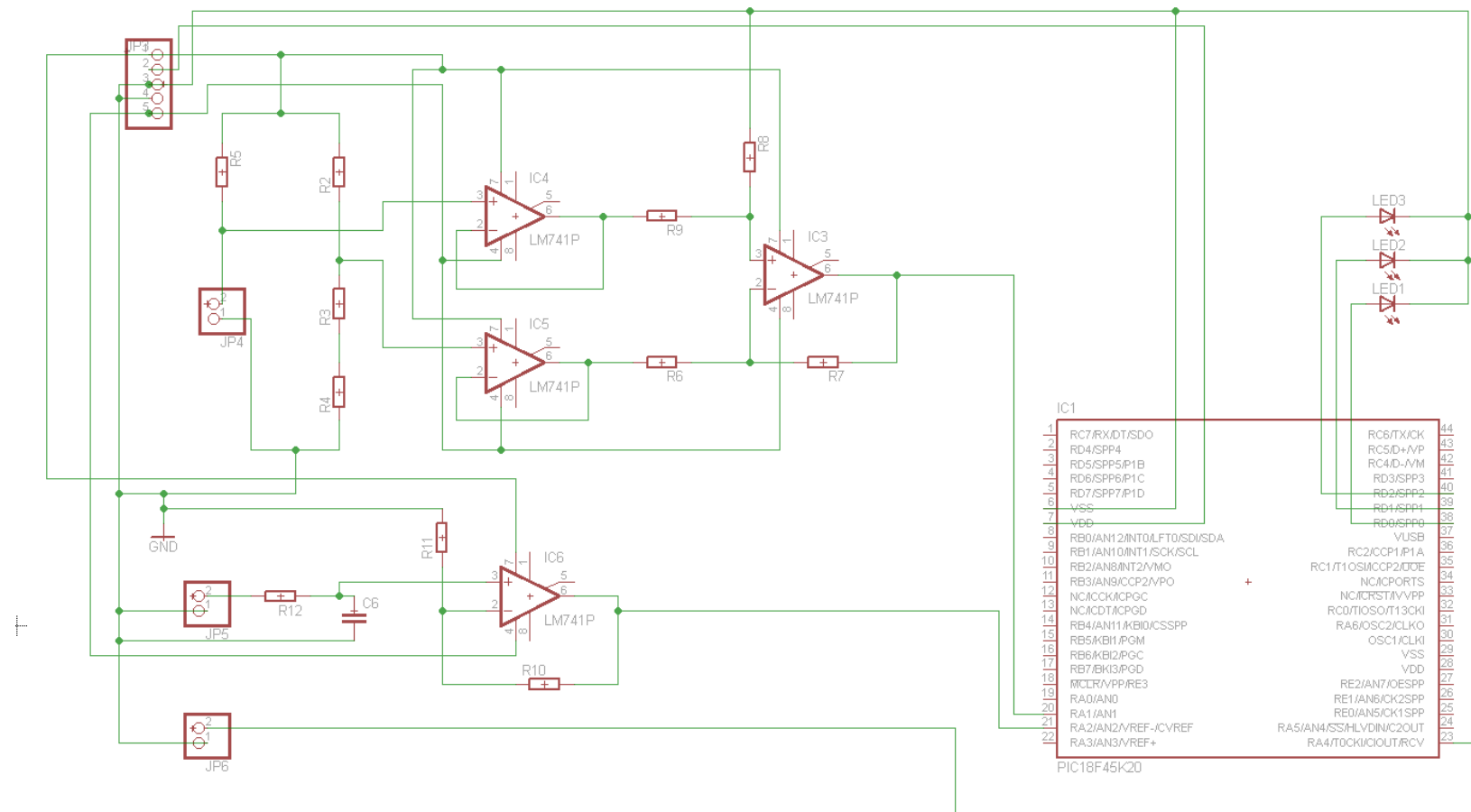


Imagen 34 "Schematics" circuito de entradas/salidas analógicas, digitales y PIC



La realización de este circuito es a doble cara diferenciada por colores ya que es más complejo por el número de elementos a utilizar:

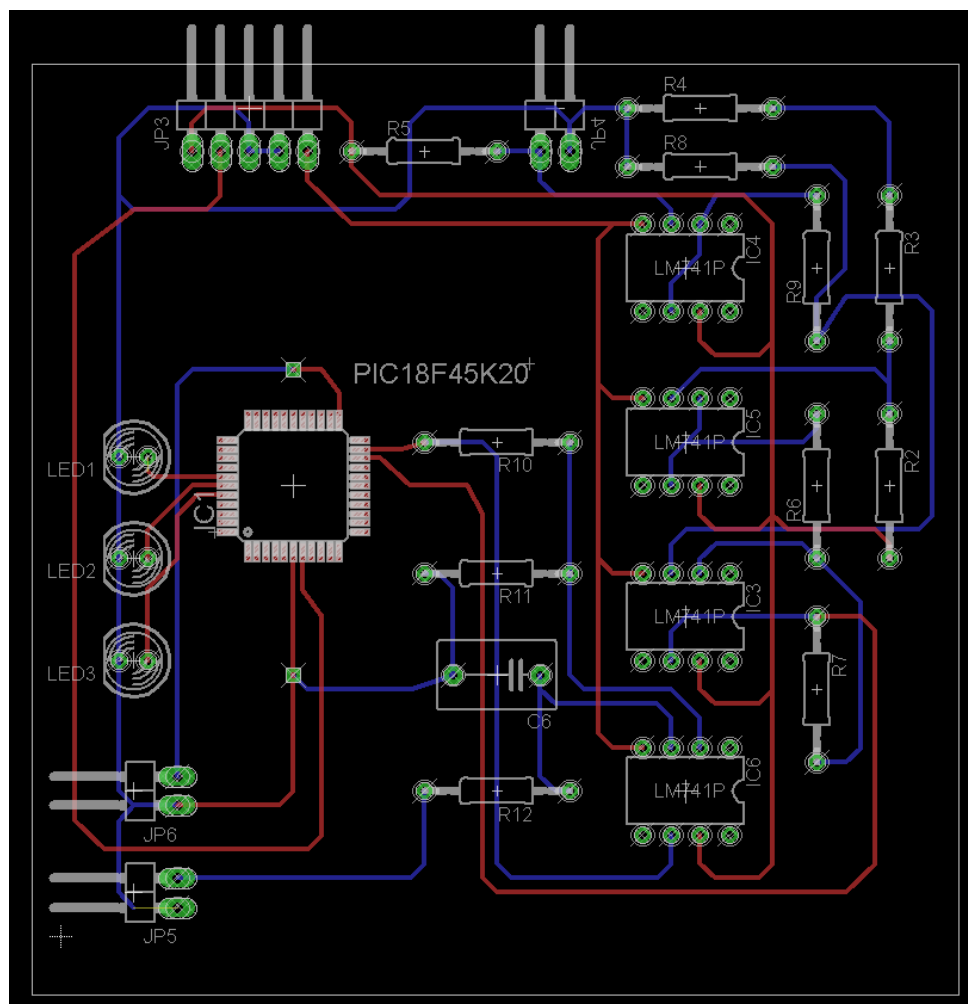


Imagen 35 Diseño placa PCB: Circuito de adaptaciones analógicas y pulsos

JP3	Conexión alimentación	
	1	+15 VDC
	2	+3.3 VDC
	3	0 VDC
	4	0 VDC
	5	-15 VDC
JP4	Entrada sonda PT-1000	
	1	INDISTINTO
	2	INDISTINTO
JP5	Entrada sonda Irradiación	
	1	-
	2	+
JP6	Entrada pulsos	
	1	-
	2	+

Tabla 11 Relación pineado alimentaciones y sensores

## 6. Aplicación práctica y futuras ampliaciones

Realizada la placa PCB y programado el PIC solo debemos de diseñar la envolvente donde colocar la placa, pensando en la refrigeración de los componentes y a la vez en su estanqueidad.

A partir de aquí, nuestro proyecto estará finalizado y listo para aplicarlo en el control de pequeñas instalaciones de placas fotovoltaicas, controlando la temperatura ambiente, la irradiación solar y la cantidad de energía generada por la planta.

La diferencia entre una instalación pequeña y una instalación grande se basa exclusivamente en el número de elementos a instalar, es decir, si quisiéramos llevar nuestro proyecto a un nivel superior podríamos dividir la planta fotovoltaica en tramos o secciones y controlarlas mediante diferentes “controladores de plantas fotovoltaicas” como el nuestro por cada una de estas secciones, por ejemplo, cada seis placas solares un controlador.

Las grandes instalaciones de placas o paneles solares están controladas habitualmente por un sistema interfaz entre los equipos y el hombre llamado “sistemas scadas”. Estos sistemas reciben toda la información necesaria de los diferentes elementos de campo para su gestión y visualización, es decir, en todo momento podríamos controlar los niveles de temperatura e irradiación de toda la planta.

Estos sistemas habitualmente reciben toda la información a través de comunicaciones serie RS-232 o RS 422/485, dependiendo de la distancia y el número de equipos instalados. A través de esta comunicación, también podríamos activar salidas digitales en los propios PIC's de los controladores y así, en caso de tener nieve en una de las zonas de paneles y haber dejado de generar energía, podríamos activar resistencias de calefacción instaladas en las propios paneles volviendo así a generar energía la sección de paneles. También podríamos activar (vía comunicación) salidas digitales que controlasen señalizaciones, bien sonoras como lumínicas indicando el estado como por ejemplo una alarma sonora de alta temperatura en una sección.

Esto es solamente un par de aplicaciones que podríamos integrar en nuestro sistema, pero hemos visto durante todo el desarrollo del proyecto que podríamos incorporar más sensores, señales digitales tipo ON/OFF, etc.

## 7. Conclusiones

Durante todo el proyecto, hemos realizado las diferentes fases de desarrollo propuestas:

- Estudio
- Diseño
- Implantación

De todas las fases del proyecto:

- Idea principal
- Planificación
- Diseño de circuitos de adaptación
- Programación del PIC
- Realización de la placa PCB

Utilizando todos los recursos aprendidos durante los estudios de la Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, tanto a nivel técnico como a nivel personal.

Realizando este proyecto me he dado cuenta del grado de capacidad resolutoria al enfrentarme a nuevos retos.

Además, creo que he adquirido los objetivos de esta asignatura:

- Análisis de un problema práctico y su transformación en un proyecto sólido.
- Planificación y estructuración de todos los hitos del proyecto.
- Elaboración del proyecto propuesto.

## 8. Bibliografía

- Amplificador operacional: Martínez Bernia y Asociados, 2010  
(<http://www.feng.pucrs.br/~fdosreis/ftp/catalogos/Curso%20Amplificadores%20Operacionais.pdf>)
- Datasheet PIC18F45K20: MICROCHIP, 2010  
(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41303G.pdf>)
- MPLAB IDE, Simulator, editor user's guide: MICROCHIP, 2000  
([http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/MPLAB/Manual del MPLAB.pdf](http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/MPLAB/Manual_del_MPLAB.pdf))
- PICkit 3 Debug Express PIC18F45K20 – MPLAB C Lessons: MICROCHIP, 2009  
(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41370C.pdf>)
- Programación en C: J. Carlos Lopez, Diciembre 2001  
(<http://es.scribd.com/doc/22283/Manual-De-Programacion-Lenguaje-C>)
- Tutorial EAGLE 4.0: Cadsoft Computer, 2000. Versión traducida por M. Guadilla Barciela ([http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/eagle/tutorial-spa\\_EAGLE.pdf](http://proton.ucting.udg.mx/tutorial/eagle/tutorial-spa_EAGLE.pdf))

## 9. Anexos

### 9.1 Tabla relación temperatura/resistencia de diversas sondas PT

Widerstandstabelle Pt-Widerstandsthermometer Pt100 Pt500 Pt1000

TK Ohm/K: Dimension Temp. °C	Toleranz in Kelvin					Widerstandswerte:											
	Kl. A	Kl. B	1/3 DIN B	1/5 DIN B	1/10 DIN B	Pt100		Pt500				Pt1000					
						EN60751	TK	ITS90	USEN60751		TKUS	EN60751	TK				
						0.3850 R Ohm	eff	R Ohm	0.3916 R Ohm	1.925 R Ohm	eff	1.9580 R Ohm	3.8500 R Ohm	eff			
+/-K	+/-K	+/-K	+/-K	+/-K													
-250°		1.55				2.510											
-200°	0.55	1.30				18.493	0.443	18.520	17.50	92.470	2.215	85.27	184.94	4.43			
-150°	0.45	1.05				39.714	0.417	39.723		198.570	2.085		397.14	4.17			
-120°	0.39	0.90				52.110	0.410	52.110	51.28	256.400	2.050	256.40	512.80	4.10			
-100°	0.35	0.80				60.256	0.405	60.254	59.57	301.270	2.025	297.85	602.54	4.05			
-50°	0.25	0.55	0.18	0.11	0.06	80.307	0.397	80.306		401.535	1.985		803.07	3.97			
-40°	0.23	0.50	0.17	0.10	0.05	84.710	0.396	84.710	84.00	420.010	1.980	420.00	840.02	3.96			
-30°	0.21	0.45	0.15	0.09	0.05	88.222	0.395	88.222		435.480	1.975		870.96	3.95			
-25°	0.20	0.43	0.14	0.09	0.04	90.190	0.393	90.190		450.950	1.965		901.90	3.93			
-20°	0.19	0.40	0.13	0.08	0.04	92.160	0.393	92.160	92.03	460.800	1.965	460.13	921.60	3.93			
-15°	0.18	0.38	0.13	0.08	0.04	94.120	0.393	94.120		470.600	1.965		941.20	3.93			
-10°	0.17	0.35	0.12	0.07	0.04	96.086	0.392	96.086		480.430	1.960		960.86	3.92			
-5°	0.16	0.33	0.11	0.07	0.03	98.046	0.392	98.046		490.230	1.960		980.46	3.92			
0°	0.15	0.30	0.10	0.06	0.03	100.000	0.391	100.000	100.00	500.000	1.955	500.00	1000.00	3.91			
5°	0.16	0.33	0.11	0.07	0.03	101.950	0.390	101.950		509.750	1.950		1019.50	3.90			
10°	0.17	0.35	0.12	0.07	0.04	103.902	0.390	103.903		519.510	1.950		1039.02	3.90			
15°	0.18	0.38	0.13	0.08	0.04	105.850	0.390	105.851		529.250	1.950		1058.50	3.90			
20°	0.19	0.40	0.13	0.08	0.04	107.793	0.388	107.794	107.93	538.965	1.940	539.63	1077.93	3.88			
25°	0.20	0.43	0.14	0.09	0.04	109.730	0.388	109.731		548.650	1.940		1097.30	3.88			
30°	0.21	0.45	0.15	0.09	0.05	111.672	0.387	111.673		558.360	1.935		1116.72	3.87			
35°	0.22	0.48	0.16	0.10	0.05	113.610	0.387	113.611		568.050	1.935		1136.10	3.87			
40°	0.23	0.50	0.17	0.10	0.05	115.539	0.386	115.541	115.81	577.695	1.930	579.03	1155.39	3.86			
45°	0.24	0.53	0.18	0.11	0.05	117.470	0.386	117.472		587.350	1.930		1174.70	3.86			
50°	0.25	0.55	0.18	0.11	0.06	119.395	0.385	119.397		596.975	1.925		1193.95	3.85			
60°	0.27	0.60	0.20	0.12	0.06	123.239	0.384	123.242	123.64	616.195	1.920	618.19	1232.39	3.84			
70°	0.29	0.65	0.22	0.13	0.07	127.072	0.383	127.075		635.360	1.915		1270.72	3.83			
75°	0.30	0.68	0.23	0.14	0.07	128.980	0.382	128.990		644.900	1.910		1289.80	3.82			
80°	0.31	0.70	0.23	0.14	0.07	130.893	0.381	130.897	131.42	654.465	1.905	657.11	1308.93	3.81			
90°	0.33	0.75	0.25	0.15	0.08	134.702	0.380	134.707		673.510	1.900		1347.02	3.80			
95°	0.34	0.78	0.26	0.16	0.08	136.600	0.380	136.610		683.000	1.900		1366.00	3.80			
100°	0.35	0.80	0.27	0.16	0.08	138.500	0.379	138.506	139.16	692.500	1.895	695.80	1385.00	3.79			
110°	0.37	0.85	0.28	0.17	0.09	142.286	0.378	142.293		711.430	1.890		1422.86	3.78			
120°	0.39	0.90	0.30	0.18	0.09	146.061	0.377	146.068	146.85	730.305	1.885	734.25	1460.61	3.77			

## 9.2 Principales características del PIC 18F45K20



### PIC18F2XK20/4XK20

#### 28/40/44-Pin Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology

##### Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 1.0  $\mu$ A, typical
- Sleep mode current down to 0.1  $\mu$ A, typical
- Timer1 Oscillator: 1.0  $\mu$ A, 32 kHz, 1.8V, typical
- Watchdog Timer: 2.0  $\mu$ A, 1.8V, typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

##### Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three programmable external interrupts
- Four independent input-change interrupts
- 8 independent weak pull-ups
- Programmable slew rate
- Capture/Compare/PWM (CCP) module
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - One, two or four PWM outputs
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes with address mask
- Enhanced Addressable USART module:
  - Supports RS-485, RS-232 and LIN 2.0
  - RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)
  - Auto-Wake-up on Break
  - Auto-Baud Detect
- 10-bit, up to 14-channel Analog-to-Digital Converter module (ADC):
  - Auto-acquisition capability
  - Conversion available during Sleep
  - Internal 1.2V Fixed Voltage Reference (FVR) channel
  - Independent input multiplexing
- Dual analog comparators
  - Rail-to-rail operation
  - Independent input multiplexing
- Programmable On-Chip Voltage Reference (CVREF) module (% of VDD)

##### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, up to 64 MHz
- 4X Phase Lock Loop (available for crystal and internal oscillators)
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 64 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 16 MHz
  - Provides a complete range of clock speeds from 31 kHz to 64 MHz when used with PLL
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if primary or secondary oscillator stops

##### Special Microcontroller Features:

- C compiler optimized architecture:
  - Optional extended instruction set designed to optimize re-entrant code
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 4 ms to 131s
- Single-supply 3V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Operating voltage range: 1.8V to 3.6V
- Programmable 16-level High/Low-Voltage Detection (HLVD) module:
  - Supports interrupt on High/Low-Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)
  - With software enable option