

UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

Ingeniería Técnica de Telecomunicación,
especialidad Telemática

DISEÑO DE UN SUPERVISOR REMOTO DE SEÑALES VÍA GPRS/3G

MEMORIA

Alumno: Dámaso Benito del Monte

Dirigido por: Carlos Alberto Pacheco Navas

CURSO 2013/14 (Septiembre/Febrero)

“Aquel hombre languidecía junto a su esposa mientras veían pasar al más pequeño de sus hijos tras la ventana. El hombre se giró y dijo: -lo que más me duele es no poder verle crecer-.

[...] Papá, soy Ingeniero, tengo una esposa y un hijo maravillosos a los que les debo todo y a los que prometo devolverles todo el tiempo que les he robado.”

“Gracias a Carlos Pacheco y a todos mis consultores por hacerme ver de lo que soy capaz.”

Prólogo

Este proyecto pone de manifiesto las competencias adquiridas a lo largo de la titulación cursada, combinando los conocimientos en diferentes áreas como el diseño de sistemas electrónicos, tanto analógicos como digitales; la programación de sistemas micro-controlados, comunicaciones serie, así como el conocimiento de las comunicaciones inalámbricas de gran alcance.

La ejecución del proyecto ha sido planificada en fases o hitos que permitan realizar un seguimiento del mismo, además se ha subdividido cada tarea abstrayendo los diferentes procesos del conjunto global combinando ambos enfoques, lo que permite centrarse en la ejecución de cada tarea sin descuidar el sentido global del proyecto.

Este modelo de trabajo se pone de manifiesto en la elaboración de esta misma memoria, donde a lo largo de sus líneas se puede observar como partiendo de una idea global del proyecto, este se va elaborando en diferentes fragmentos, finalizando en un conjunto de elementos perfectamente coordinados y ensamblados.

El resultado es un dispositivo de supervisión generado mediante una tecnología realmente actual que, pese a su sencillez, da una idea de la capacidad que puede llegar a alcanzar simplemente añadiendo al mismo una mayor dotación de sensores y actuadores que permitan manejar cualquier dispositivo electrónico que nos imaginemos desde cualquier lugar del planeta.

Mi nombre es Dámaso Benito y con la aprobación de este proyecto concluye mi formación en Ingeniería Técnica Industrial con especialidad en Telemática. Durante la última década he trabajado para la empresa Metro de Madrid, desarrollando principalmente la absorción de nuevos equipos electrónicos de potencia embarcados en tren para su reparación, así como sistemas de control de potencia y control de aire acondicionado. Además cuento con amplia experiencia en el desarrollo de mantenimiento y control de instalaciones de producción industrial en diferentes sectores como alimentación, automoción, construcción, etc.

Índice de Contenidos

Capítulo 1.	Introducción	5
1.1.	Justificación del TFC.....	5
1.2.	Objetivos.....	6
1.3.	Enfoque del proyecto	6
1.4.	Planificación del proyecto	7
1.5.	Productos obtenidos	13
1.6.	Descripción del proyecto.....	13
Capítulo 2.	Módem GPRS/3G	14
2.1.	Introducción a la tecnología GPRS/3G	14
2.2.	Análisis y características de los módems GPRS/3G.....	16
2.3.	Especificaciones técnicas del módem MTSMC-H5.....	16
2.4.	Definición de los comandos necesarios para la configuración y envío de mensajes.....	17
Capítulo 3.	Señales de Entrada Monitorizadas	19
3.1.	Circuito de adaptación de temperatura	19
3.2.	Circuito de adaptación de señales 0-10 V	25
3.3.	Circuito adaptador de señales digitales	29
Capítulo 4.	Circuito de Control.....	32
4.1.	Introducción a los sistemas microprocesadores	32
4.2.	Requisitos previos y dispositivo elegido.....	33
4.3.	Implementación del circuito de control	35
Capítulo 5.	Circuito Fuente de Alimentación	44
5.1.	Cálculo de tensiones y corrientes.....	44
5.2.	Presentación del diseño escogido	45
5.3.	Cálculo de componentes y validación del diseño.....	46
Capítulo 6.	Printed Circuit Board.....	49
Capítulo 7.	Conclusiones y ampliaciones	51
Capítulo 8.	Glosario	52
Capítulo 9.	Bibliografía	53
Capítulo 10.	Anexos.....	55

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Diagrama de bloques del equipo.....	6
Ilustración 2. Diagrama Plan de Proyecto	10
Ilustración 3. Diagrama PEC2.....	10
Ilustración 4. Diagrama PEC3.....	10
Ilustración 5. Diagrama Memoria y Presentación	11
Ilustración 6. Módem MTSMC-H5	16
Ilustración 7. PTC	20
Ilustración 8. PT100, 1.2 x 4.0mm, clase A.....	21
Ilustración 9. Amplificador operacional INA333	22
Ilustración 10. Circuito de adaptación PT100.....	22
Ilustración 11. Simulación circuito PT100	25
Ilustración 12. Transductores	26
Ilustración 13. Circuito adaptación 0-10 V	27
Ilustración 14. Diagrama de bode circuito 0-10 V.....	28
Ilustración 15. Simulación circuito 0-10 V	29
Ilustración 16. Transductor digital.....	29
Ilustración 17. Circuito adaptación digital.....	30
Ilustración 18. Tensión FDLL4148.....	31
Ilustración 19. Simulación entrada digital.....	31
Ilustración 20. PIC16F88	34
Ilustración 21. Conexiones microcontrolador	35
Ilustración 22. Flujo programa de control.....	36
Ilustración 23. Función chipInit	37
Ilustración 24. Función configModem.....	37
Ilustración 25. Función transmit.....	38
Ilustración 26. Función putch	38
Ilustración 27. Función interrupt common_int	39
Ilustración 28. Función analogical	39
Ilustración 29. Función sendData	40
Ilustración 30. Función reset	40

Ilustración 31. Función main	41
Ilustración 32. Gráfico de funciones.....	42
Ilustración 33. Configuración del módem	42
Ilustración 34. Envío datos monitorizados	42
Ilustración 35. Envío datos monitorizados II	43
Ilustración 36. Reset módem.....	43
Ilustración 37. LM20333 lazos de corriente	45
Ilustración 38. Circuito fuente de alimentación	46
Ilustración 39. Rizado V _{Out} vs. I _{sw}	47
Ilustración 40. Bode carga máxima	48
Ilustración 41. Bode carga nominal	48
Ilustración 42. Eficiencia fuente alimentación	48
Ilustración 43. Zócalo.....	49
Ilustración 44. Conexión PT100	49
Ilustración 45. Diseño PCB.....	50
Ilustración 46. PCB bottom elec	57
Ilustración 47. PCB top elec.....	57
Ilustración 48. PCB gnd elec	57
Ilustración 49. PCB vcc elec	58
Ilustración 50. PCB bottom silk.....	58
Ilustración 51. PCB top silk	58

Índice de Tablas

Tabla 1. Hitos del Proyecto.....	8
Tabla 2. Calendario de trabajo	9
Tabla 3. Comandos módem GPRS/3G	18
Tabla 4. Comparación circuito PT100.....	25
Tabla 5. Comparación circuito 0-10 V	29
Tabla 6. Asignación pines microprocesador.....	34
Tabla 7. Consumos máximos	44
Tabla 8. Consumos nominales.....	45

Capítulo 1. Introducción

El presente documento describe el desarrollo para diseñar, crear y validar, la fabricación de un prototipo que haga las funciones de supervisor remoto inalámbrico vía GPRS/3G. Este proyecto se encuadra en el espacio de Trabajo Fin de Carrera (en adelante TFC) denominado “Diseño de un Supervisor Remoto de Señales Vía GPRS/3G” dentro del marco de la titulación de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones con especialidad en Telemática y desarrollado en el ámbito de Aplicaciones Electromagnéticas.

Para alcanzar los objetivos propuestos, el presente documento expondrá unívocamente dichos objetivos, tanto a nivel académico, como específicos o técnicos.

A continuación encontrarán una justificación del proyecto, donde se especificará la importancia que tiene este tipo de dispositivos tanto en el ámbito industrial como en domótica.

Posteriormente se analizarán la planificación que ha sido necesaria para desarrollar el proyecto y los productos obtenidos con cada una de las tareas a desarrollar.

Antes del tratamiento del proyecto, se realiza una breve descripción de todos los puntos desarrollados en el mismo, continuando con cada uno de los elementos necesarios, su diseño y validación de manera que el sistema quede dispuesto para su fabricación.

1.1. Justificación del TFC

Hoy en día son cada vez más los dispositivos que funcionan mediante tecnologías inalámbricas. Estos dispositivos propician una gran movilidad, que unidos al actual alcance mundial de la red Internet, nos permite supervisar y controlar cualquier tipo de mecanismo eléctrico desde casi cualquier lugar del planeta.

El diseño de este prototipo presenta todos los pasos necesarios para implementar un equipo supervisor inalámbrico, de manera que a partir del mismo puedan desarrollarse cualquier tipo de dispositivo de supervisión y/o control específico, ya sea para una determinada tarea, o bien de propósito general.

Además, el desarrollo mediante dispositivos programables, nos capacita para la ejecución de cualquier dispositivo micro-controlado, junto con el desarrollo de control de una comunicación GPRS/3G dará las competencias necesarias para implementar aplicaciones conectadas por sistemas similares como puede ser Wifi, Zig-Bee, Bluetooth, etc.

1.2. Objetivos

El objetivo del presente TFC es demostrar las competencias adquiridas en los diferentes materiales de la titulación, por medio del desarrollo de un trabajo de síntesis eminentemente práctico desarrollado y gestionado íntegramente por el alumno, con el apoyo de un tutor asignado.

Para su consecución, este proyecto cuenta con el objetivo específico de desarrollar un supervisor remoto de señales vía GPRS/3G, para lo cual será necesario realizar las siguientes tareas:

- Análisis de mercado de los módems GPRS/3G apropiados al proyecto.
- Diseño de los circuitos de adquisición de señales analógicas y digitales.
- Análisis de mercado de procesadores adecuados a la aplicación.
- Diseño de la fuente de alimentación necesaria para el circuito.
- Desarrollo del *layout* para la fabricación del *Printed Circuit Board* (PCB).

1.3. Enfoque del proyecto

(1) El supervisor remoto de señales vía GPRS/3G consiste en un dispositivo electrónico capaz de reconocer diferentes magnitudes físicas como la temperatura, presión, etc. a través de sus entradas analógicas y digitales, y poder enviar dichos estados a Internet por medio de un dispositivo GPRS/3G para poder ser inspeccionados desde cualquier lugar.

Para ello, este dispositivo debe contener un procesador que se encargue de controlar el módulo 3G, procesar las diferentes magnitudes recogidas y enviar la información. El diagrama del dispositivo se representa en la ilustración 1.

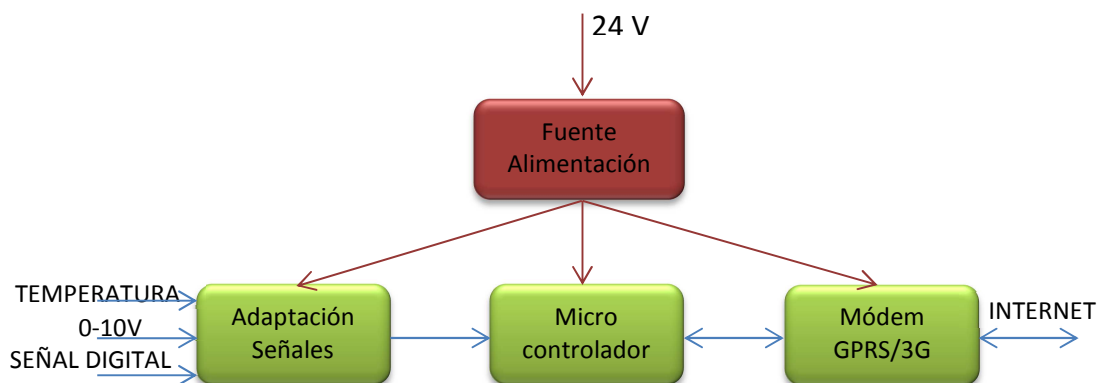


Ilustración 1. Diagrama de bloques del equipo

Las diferentes partes del sistema tienen las siguientes funciones:

- **Procesador:** Se encarga de controlar todo el sistema, monitorizando las magnitudes recibidas, configuración del módem y envío de dichas magnitudes a través del propio módem.

- **Módem GPRS/3G:** Tiene como misión enviar vía 3G todas las transmisiones entre el procesador e Internet donde se aloja la aplicación de control.
- **Adaptación de Señales:** Circuito encargado de adaptar las magnitudes eléctricas que se pretenden monitorizar a los niveles adecuados del procesador, así como implementar las protecciones necesarias al circuito.
- **Fuente de Alimentación:** Se encarga de suministrar las tensiones de trabajo necesarias a los distintos componentes del circuito a partir de una alimentación externa de 24 Vcc.

1.4. Planificación del proyecto

A continuación, se recapitula cual ha sido la planificación diseñada para lograr los objetivos del proyecto.

1.4.1. Alcance

Dentro del marco de ejecución del proyecto, se prevé alcanzar los siguientes productos y servicios:

- Elección del módem más adecuado al proyecto y análisis de programación y control del mismo.
- Elección del sensor de temperatura más apropiado al proyecto, diseño del circuito de adaptación y verificación de dicho circuito.
- Diseño del circuito de adaptación de señales analógicas normalizadas 0-10 V y verificación de funcionamiento.
- Diseño del circuito de entradas digitales, verificando igualmente su correcto funcionamiento.
- Estudio de mercado de microcontroladores y elección del dispositivo más adecuado al proyecto.
- Diseño del programa de monitorización de las señales de entrada y control del módem.
- Análisis de consumo del circuito y diseño de la fuente de alimentación apropiada al conjunto.
- Diseño del *layout* de la placa PCB.
- Ejecución de la memoria del proyecto y video explicativo de los puntos más relevantes del proyecto.

No está previsto dentro del alcance del proyecto:

- La simulación del dispositivo en su conjunto.
- La construcción física del prototipo.

1.4.2. Hitos

(1) (2) Se establecen como hitos principales del proyecto los distintos entregables existentes a lo largo de su ejecución, así mismo, se considerarán también como hitos los diferentes borradores correspondientes a cada entregable.

HITO	FECHA
Inicio del Proyecto	18/09/2013
Entrega Borrador Plan de Proyecto	28/09/2013
Entrega Plan de Proyecto	01/10/2013
Entrega Borrador Prueba Evaluación Continua 2 (PEC2)	29/10/2013
Entrega PEC2	02/11/2013
Entrega Borrador PEC3	29/11/2013
Entrega PEC3	03/12/2013
Entrega Borrador Memoria	25/01/2014
Entrega Memoria	07/01/2014
Inicio Debate Virtual	22/01/2014
Fin Debate Virtual	24/01/2014

Tabla 1. Hitos del Proyecto

1.4.3. Calendario de trabajo

(2) Teniendo en cuenta la carga de trabajo prevista, la actividad laboral y otros proyectos personales, se considera dedicar sesiones diarias de 3 horas de sábado a jueves. Esto implica dedicar una media de 18h semanales con las siguientes excepciones:

- **Viernes 1 de noviembre.** Al tratarse de una jornada festiva se dedicará al TFC una sesión de 3h.
- **Lunes 4 de noviembre.** Jornada no laborable por lo que se considerará una sesión doble de 6h.
- **Viernes 6 de diciembre.** Al tratarse de una jornada festiva se dedicará al TFC una sesión de 3h.
- **Fiestas de navidad.** Debido a los compromisos familiares de estas fechas se considerará una reducción progresiva de la dedicación según se indica en la Tabla 2.

Se muestra a continuación las horas que se considera dedicar al proyecto divididas entre los principales hitos. En función de las necesidades, las sesiones se podrían prolongar 1 hora de lunes a jueves y 2 horas sábados y domingos.

SEMANA	FECHA INICIO	HORAS	SESIONES	OBSERVACIONES
Plan de Proyecto		33	11	
1	18/09/2013	12	4	Comienzo miércoles
2	23/09/2013	18	6	
3	30/09/2013	3	1	Entrega martes
PEC2		84	28	
3	01/10/2013	15	5	Comienzo martes
4	07/10/2013	18	6	
5	14/10/2013	18	6	
6	21/10/2013	18	6	
7	28/10/2013	15	5	Entrega sábado
PEC3		84	28	
7	02/11/2013	6	2	Comienzo sábado
8	04/11/2013	21	7	Día 4 doble sesión
9	11/11/2013	18	6	
10	18/11/2013	18	6	
11	25/11/2013	18	6	
12	02/12/2013	3	1	Entrega martes
Memoria		75	25	
12	03/12/2013	18	6	Comienzo martes / Día 6 festivo
13	09/12/2013	18	6	
14	16/12/2013	18	6	
15	23/12/2013	12	4	Fiestas navideñas
16	30/12/2013	9	3	Fiestas fin de año
17	06/01/2014	0	0	Entrega martes / Fiestas Reyes
Total horas		276	92	

Tabla 2. Calendario de trabajo

1.4.4. Diagrama de Gantt

(2) A partir del desglose de tareas y el calendario de trabajo, se presenta a continuación una estimación de la duración de cada actividad, indicando la estructura de descomposición del trabajo que seguirá el proyecto, la duración y fechas de realización previstas.

La Ilustración 2 muestra el diagrama correspondiente al plan de proyecto.

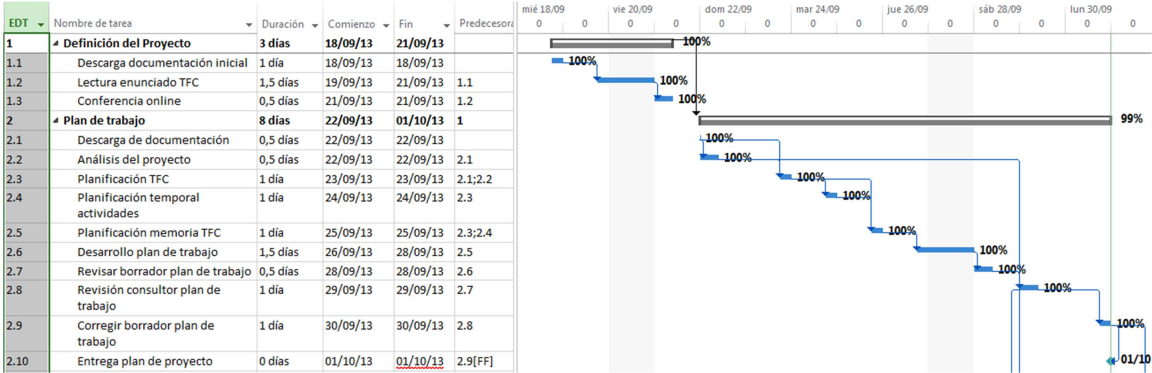


Ilustración 2. Diagrama Plan de Proyecto

La Ilustración 3 muestra el diagrama correspondiente a la PEC2.

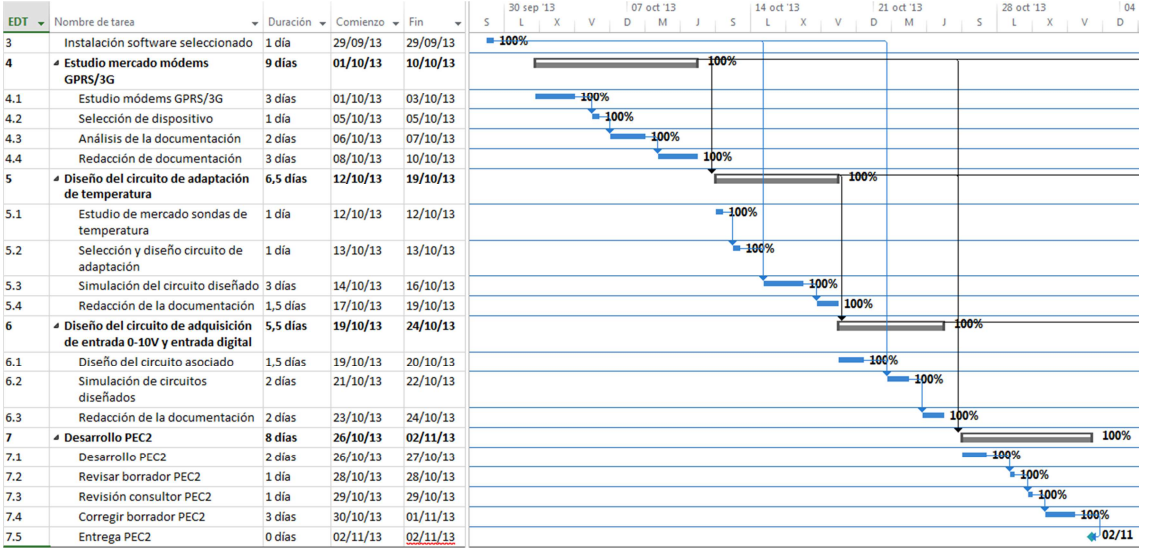


Ilustración 3. Diagrama PEC2

La Ilustración 4 muestra el diagrama correspondiente a la PEC3.

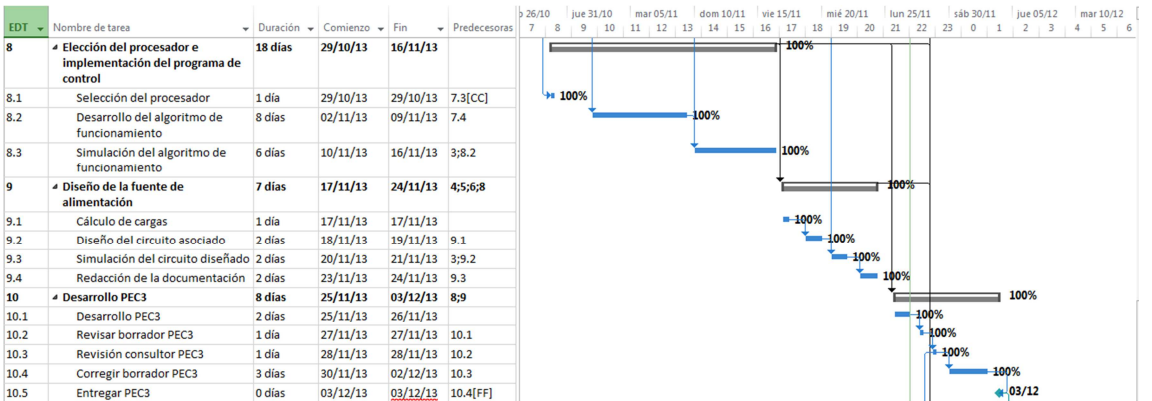


Ilustración 4. Diagrama PEC3

La Ilustración 5 muestra el diagrama correspondiente a la memoria y presentación.

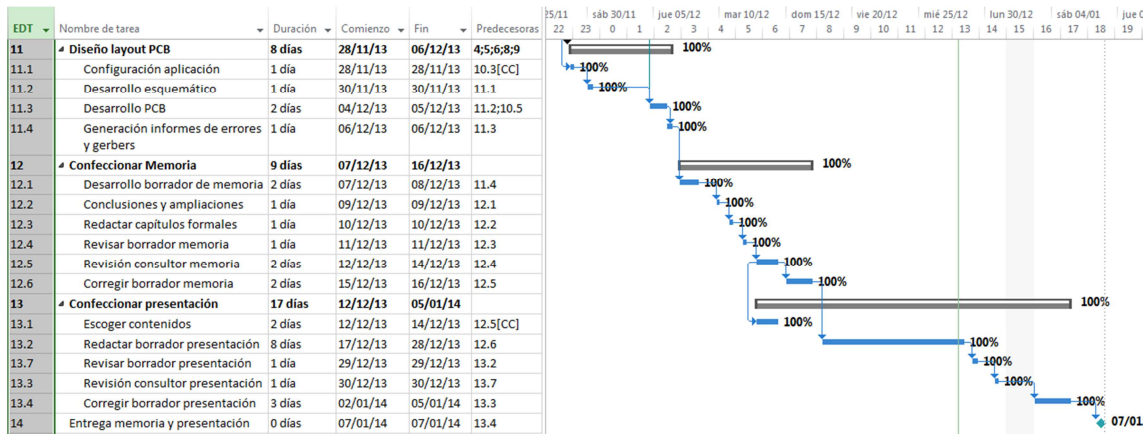


Ilustración 5. Diagrama Memoria y Presentación

1.4.5. Riesgos e incidencias

(2) Existen en la planificación del proyecto ciertos riesgos o incidencias que pueden surgir a lo largo de la ejecución. Para minimizar el impacto que pueden provocar sobre la consecución de los hitos propuestos, a continuación, se evalúan los mismos analizando los posibles planes de contingencia en cada caso.

R01. Pérdida de datos o fallos del sistema

Probabilidad: media-baja

Impacto: alto

Existe la posibilidad de producirse fallos en la estación de trabajo (PC) que provoquen la pérdida irreparable tanto de la documentación generada como de la configuración de las diferentes aplicaciones a utilizar.

Plan de Contingencia

Se llevará a cabo una descarga de todo el software previsto antes de comenzar la ejecución del proyecto, realizando una copia de recuperación del sistema. A lo largo del proyecto se volverá a realizar copias siempre que se considere necesario.

Se programarán copias diarias de seguridad en la nube de toda la documentación generada por medio de la aplicación Cobian Backup o similares.

R02. Retrasos en tareas por falta de materiales

Probabilidad: media

Impacto: medio

Pueden producirse retrasos en la ejecución de ciertas tareas debido a la falta de las herramientas necesarias, como por ejemplo, obtención de licencias, solicitudes de documentación, etc.

Plan de Contingencia

Si observamos el diagrama de Gantt del proyecto, todas las tareas tienen una relación entre sí del tipo comienzo-fin lo que hacen que la ejecución de todo el proyecto comprenda el camino crítico. Esto es debido a la falta de recursos humanos ya que se trata de un trabajo individual. Sin embargo, existen ciertas tareas que son intercambiables en el tiempo dentro de cada hito, a saber:

- Tareas 4, 5 y 6 en la ejecución de la PEC2.
- Tareas 8 y 9 en la ejecución de la PEC3
- Tareas 12 y 13 en la ejecución de la Memoria y Presentación

En caso de presentarse esta incidencia se considerará el intercambio temporal de las tareas. Si la situación se agrava y se prevé que no será posible adquirir ciertas aplicaciones se considerará utilizar otras similares.

R03. Solapamiento con otros proyectos

Probabilidad: alta

Impacto: bajo

Si bien es cierto que afortunadamente no será necesario compartir el tiempo con otras asignaturas, existen otros proyectos familiares que pueden entrar en conflictividad.

Plan de Contingencia

Dentro del calendario previsto, se ha reservado 1 hora libre de lunes a jueves y 2 horas de sábado a domingo para mitigar cualquier retraso temporal. Si la situación se agrava, el TFC tiene preferencia sobre cualquier otro proyecto.

R04. Retrasos en el plan de trabajo

Probabilidad: alta

Impacto: medio-bajo

Es más que probable que existan desviaciones temporales sobre el plan previsto de cualquier índole.

Plan de contingencia

Dado que las tareas a realizar son en su mayoría de muy corto espacio de tiempo, resulta fácil y rápido localizar cualquier desviación, por lo que, en caso de producirse, se procederá a utilizar el tiempo reservado para corregirlas.

1.5. Productos obtenidos

Los productos obtenidos en la elaboración del proyecto, se detallan a continuación, distinguiendo entre los productos relativos al desarrollo del proyecto y aquellos que guardan relación con el dispositivo diseñado.

Productos relativos al proyecto

- Memoria explicativa del desarrollo del proyecto.
- Video de presentación del proyecto.
- Archivos fuente y de simulación que validen el proyecto.

Productos relativos al dispositivo

- Esquema eléctrico y serigrafía del producto diseñado.
- Archivos *gerber* para la fabricación del dispositivo.
- Listado de componentes utilizados.
- Software de programa del microcontrolador.

1.6. Descripción del proyecto

Antes de comenzar la ejecución del proyecto, se expondrá un breve resumen de los capítulos que incluye esta práctica.

En el capítulo 2, se analizarán los módems comerciales que ofrece el mercado, sus características principales y el modelo más adecuado para el dispositivo a diseñar. Una vez escogido, se realizará un análisis del equipo para su programación y control.

A lo largo del capítulo 3 se realizará un breve estudio de los captadores de temperatura, así como transductores en general. Se diseñarán y verificarán los circuitos de adaptación de las señales a monitorizar, teniendo en cuenta los requisitos del proyecto.

Durante el 4º capítulo se estudiarán los dispositivos de control programables para la selección del más adecuado al diseño. Se analizará el dispositivo elegido y se realizará el programa de control del circuito.

Una vez seleccionados todos los componentes que formarán el circuito, será necesario alimentarlos, lo cual se desarrollará en el capítulo 5 mediante el análisis de consumos y posterior diseño de la fuente de alimentación.

El capítulo 6 servirá para diseñar la PCB del circuito, incorporando todos los sistemas implementados, de forma que el prototipo quede dispuesto para su fabricación.

Por último, a lo largo del capítulo 7 se inferirán las conclusiones del proyecto y se analizarán posibles mejoras y ampliaciones del diseño.

Los documentos anexos incluirán los productos relativos al diseño del dispositivo como esquemas eléctricos, serigrafía, etc.

Capítulo 2. Módem GPRS/3G

2.1. Introducción a la tecnología GPRS/3G

(3) Los sistemas de comunicaciones GPRS/3G pertenecen a la categoría de redes de gran alcance sin hilos a través del aire, que abarcan naciones completas y que se encuentran interconectadas a nivel global.

La tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*) corresponde a la evolución de GSM (*Global System for Mobile Communications*) técnica desarrollada inicialmente en Europa a través del CEPT (*Conference of European Post and Telecommunications Administration*) y que pertenece a las denominadas redes de segunda generación o redes 2G al igual que otras tecnologías como el IS-95a creado en Estados Unidos así como PDC (*Personal Digital Cellular*) en Japón, todas ellas compatibles con sus correspondientes redes de primera generación.

GSM se compone de un espectro de 25 MHz en cada sentido de la comunicación. Mediante FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) se divide el espectro en 125 portadoras de 200 KHz que a su vez son divididas en 8 ranuras de 25 KHz mediante TDMA (*Time Division Multiple Access*) de forma que cada ranura corresponde a un canal físico. El número de canales disponibles dependerá del número de portadoras en cada sector, que variará en función de las zonas sean urbanas o rurales.

GSM fue diseñada inicialmente para trabajar a una frecuencia de 900 MHz, pero la necesidad de añadir más capacidad a la red originó la creación del denominado DCS1800 a 1800 MHz, capaz de manejar el triple de canales, así como E-GSM900 que extiende el espectro de frecuencia a 35 MHz en cada sentido. En España, el espectro utilizado para GSM está regulado tanto a 900 como 1800 MHz, no obstante, esta última banda está siendo suplida actualmente para la utilización de la tecnología LTE (*Long Term Evolution*) de cuarta generación (4).

Esta tecnología fue diseñada originalmente para la transmisión de voz llegando a tasas de transmisión hasta 13 Kbps *full-duplex*, aunque también es posible utilizar ranuras para la transmisión de datos, añadiendo señales de control con una velocidad máxima hasta 9,6 Kbps, lo que permite añadir servicios básicos como mensajes cortos (SMS, EMS y MMS), llamadas de emergencia y otros servicios suplementarios como multiconferencia, redirección de llamadas, etc.

Ante la necesidad de aumentar la capacidad de transmisión de datos y debido al retraso en el lanzamiento de las nuevas redes 3G, surgieron nuevos desarrollos para la mejora de las comunicaciones que pasaron a denominarse redes 2.5G, que consisten en modificaciones de la tecnología GSM:

- **HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*). Utiliza varios intervalos de la trama TDMA, para conseguir una velocidad real hasta 38,4 Kbps.

- **GPRS**. Consiste en utilizar las ranuras sobrantes de GSM para la transmisión de voz por transmisiones de datos en modo paquete. Alcanza velocidades hasta 20 Kbps por ranura disponible.
- **EDGE** (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Tiene como objetivo conseguir velocidades hasta 384 Kbps (aproximadamente el triple que GPRS), para ello requiere cambios tanto en las estaciones base como en los terminales.

Las redes 2.5G añaden nuevos servicios como los mensajes MMS que permiten la transmisión de video.

Las nuevas redes 3G tenían como objetivo alcanzar velocidades de transmisión de datos hasta 2 Mbps, sin perder la calidad de voz y con densidad alta de usuarios que podrán disponer de terminales para servicios multimedia en tiempo real.

Los estándares más significativos en esta tecnología son UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) propuesto por 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) para actualizar GSM y el PDC japonés así como CDMA2000 (*Code Division Multiple Access*) propuesta de Estados Unidos para sustituir IS-95a.

Ambas técnicas se caracterizan por utilizar la tecnología CDMA que consiste en añadir secuencias de código pseudo-aleatorio a la señal, para cada transmisión, y ortogonales entre sí. Estas secuencias de espectro ensanchado se modulan junto a la información a transmitir y se envían todas ellas al mismo tiempo y en la misma banda, de manera que puedan ser discriminadas en el receptor gracias a las propiedades del producto escalar para señales ortogonales.

Actualmente en España las redes 3G utilizan las bandas de frecuencia 900 y 2100 MHz (4).

UMTS ha evolucionado de forma similar al sistema HSCSD para 2.5G mediante la tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) que permite utilizar diferentes ranuras (hasta 15) para una misma transmisión *down link*. Además puede utilizar codificaciones 16QAM si las condiciones de radio son buenas.

Actualmente se está implantando en varios países las redes 4G por medio de la tecnología LTE basada en OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) para el enlace descendente y SC-FDMA (*Single-carrier Frequency Division Multiple Access*) para el enlace ascendente. Esta tecnología se crea con la premisa de mejorar la velocidad de transmisión (hasta 155 Mbps) ofreciendo calidad de servicio, mejorando el consumo y disponiendo de interfaces con redes de área personal.

LTE se pensó implantar en España en la banda de 800 MHz aunque algunas operadoras como Yoigo está realizando su implantación a 1800 MHz ya que no dispone de licencia a otras frecuencias (4).

2.2. Análisis y características de los módems GPRS/3G

El módem GPRS/3G es el encargado de transformar la señal eléctrica adaptada por el microprocesador en señal de radio (y viceversa). También se encarga de gestionar la conexión a Internet con el operador.

Entre las principales características que deben tenerse en cuenta a la hora de escoger el módem apropiado a cada aplicación, se enumeran las siguientes:

- **Modo de operación.** Tecnología que utiliza para comunicarse, en este caso, el módem debe ser capaz de comunicarse a velocidades 3G, por tanto, al estar en Europa deberá al menos implementar la tecnología UMTS.
- **Banda de frecuencia.** Para España 900 y 1800 MHz en GPRS, y 900 y 2100 MHz para UMTS.
- **Conectividad.** Actualmente existen en el mercado módems capaz de controlarse de diversos modos como vía serie (USB, *serial data*, I2C, SPI, etc.), Ethernet, Wifi, incluso a través de la propia conexión 3G. Para el proyecto seleccionaremos un equipo controlado vía serie, I2C o bien SPI.
- **Potencia de transmisión.** A partir de la tecnología 3G, los dispositivos cuentan con control de potencia y por lo general todos ellos están preparados para trabajar con los estándares de cobertura.
- **Alimentación.** Tensiones de alimentación necesarias.
- **Consumo de energía.** Es conveniente seleccionar dispositivos de consumo moderado y con posibilidad de seleccionar modo de bajo consumo.
- **Conexión de datos.** La aplicación a construir requiere conexión de datos para transmitir a través de Internet, sin embargo, no sería necesario conexión de voz.
- **Encapsulado.** El módem puede encontrarse en formato cerrado o bien tipo OEM capaz de ser insertado sobre una PCB.
- **Temperatura de operación.** Importante a tener en cuenta cuando se trabaja en ambiente industrial.

2.3. Especificaciones técnicas del módem MTSMC-H5

El módem escogido para la aplicación es MTSMC-H5 de MultiTech System, Inc.



Ilustración 6. Módem MTSMC-H5

Este dispositivo cuenta con las ventajas de ser un producto embebido completo, listo para insertar sobre una PCB sin necesidad de añadir más accesorios que la propia antena a través del conector UFL disponible.

Las principales características del dispositivo son:

- Tecnología HSDPA+ para las comunicaciones 3G y GSM/GPRS/EDGE en 2 y 2.5G.

- Bandas de frecuencia:
- 2G: 850, 900, 1800 y 1900 MHz.
- 3G: 850, 900, 1700, 1900 y 2100 MHz
- Conectividad vía serie con control de flujo.
- Transmisión de datos sin transmisión de voz.
- Funciones TCP/IP
- Dos conectores de antena tipo UFL.
- Tensiones de alimentación 3.3 V o 5 V.
- Potencia: 19 mA en modo de espera, 173 mA típico y 397 mA máximo.
- Temperatura de funcionamiento de -35 a 85 °C

Otra propiedad interesante del dispositivo es que está montado sobre un *socket* universal para diferentes tipos de módems, puertas de enlace, dispositivos de red, etc. de este modo si consideramos el aspecto económico, podríamos seleccionar un modelo G2 con conectividad GSM/GPRS o bien un modelo H3 para HSPA de manera totalmente compatible e intercambiable con el seleccionado.

Además, MultiTech nos ofrece una serie de opciones o características extras que pueden ser añadidas al dispositivo:

- Conectividad USB
- Puerto GPIO
- Sistema de localización GPS
- Pila IP para conexión automática permanente.

2.4. Definición de los comandos necesarios para la configuración y envío de mensajes

(5) Para realizar la configuración del módem, este es controlado mediante comandos AT, que pueden ser autorizados tanto vía serie como a través de comunicación inalámbrica.

El conjunto de comandos Hayes, mediante caracteres AT, es un lenguaje desarrollado por la compañía Hayes Communications que prácticamente se convirtió en estándar abierto de comandos para configurar módems (6).

A continuación se describen aquellas instrucciones necesarias para configurar la aplicación.

COMANDO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Control del módem		
<i>Default reset basic profile designation</i>	&Y = 0	Indica el perfil básico a cargar en cada arranque del módem.
<i>Default reset full profile</i>	&P = 0	Indica el perfil completo a cargar en cada arranque del módem.

COMANDO	VALOR	DESCRIPCIÓN
<i>designation</i>		
<i>Store current configuration</i>	&W = 0	Almacena la configuración actual en el perfil designado.
Interfaz de control puerto serie		
<i>Quiet result codes</i>	Q = 0	Habilita códigos de respuesta.
<i>Response format</i>	V = 0	Define el tipo de respuesta en formato numérico de la petición de información y códigos de respuesta.
<i>Data set ready (DSR) control</i>	&S = 3	Configura el comportamiento del pin DSR a nivel alto cuando el módem esté listo para recibir mensajes.
<i>Fixed DTE interface rate</i>	+IPR = 115200	Fija la velocidad de transmisión en la comunicación.
<i>Set phone functions</i>	+CFUN = 5	Controla el modo <i>sleep</i> del módem mediante la señal DTR.
Comandos para GPRS		
<i>GPRS mobile station class</i>	+CGCLASS = "A"	Designa la clase de comunicación UMTS.
<i>GPRS attach or detach</i>	+CGATT = 1	Agrega el terminal al servicio GPRS.
<i>GPRS network registration status</i>	+CGREG = 0	Deshabilita el envío de códigos de estado no solicitados. +CGREG? Solicita el estado actual.
<i>Define PDP context</i>	+CGDCONT=1,IP,A PN,IP_addrss	Define un contexto PDP.
<i>PDP context activate or deactivate</i>	+SGACT = 1,1	Activa el contexto PDP.
<i>Show PDP address</i>	+CGPADDR = 1	Envía el espacio de direcciones IP aplicables al contexto PDP definido.
<i>GPRS context activation</i>	#GPRS = 1	Activa/desactiva el contexto PDP designado.
Transmisión de datos vía socket		
<i>Socket configuration</i>	#SCFG = 1,1,300,90,600,50	Configuración del socket 1.
<i>Socket dial</i>	#SD=1,0,10550,"w ww.registrador.co m",255,10550,1	Abre una conexión remota a través de socket.
<i>Socket shutdown</i>	#SH = 1	Cierra el socket identificado como número 1.
<i>Send data in command mode</i>	#SEND = 1	Envía datos a través del socket 1.

Tabla 3. Comandos módem GPRS/3G

Capítulo 3. Señales de Entrada Monitorizadas

Tras la elección del módem capaz de enviar las señales monitorizadas a la red, debemos implementar los circuitos de adaptación de estas señales a niveles indicados para el tratamiento del microcontrolador. A continuación se exponen cada uno de los circuitos necesarios para esta tarea, teniendo en cuenta las protecciones que en cada caso sean necesarias.

3.1. Circuito de adaptación de temperatura

Una de las tareas que debe realizar el supervisor remoto es la monitorización de temperatura para ser enviada a través del módem junto con el resto de señales.

Para diseñar esta tarea, revisaremos en primer lugar los diferentes sensores de temperatura que existen en el mercado y sus características, a continuación seleccionaremos el dispositivo más adecuado en función de los requisitos del proyecto, mostraremos el circuito de adaptación de la señal y por último se realizará el cálculo de componentes y validación del circuito.

3.1.1. Introducción a los sensores de temperatura

(7) Sensor de temperatura es cualquier dispositivo o material que se caracteriza por presentar algún cambio físico con la temperatura.

Existen una gran variedad de sensores, de los cuales destacaremos a continuación aquellos que su variabilidad puede ser medida eléctricamente.

Termómetros de dilatación

Se fundan en el cambio de volumen de un material. Cuando se trata de un material metálico puede utilizarse para hacer conducir a través de él una corriente eléctrica. Este se basa en la unión de dos metales con diferente coeficiente de dilatación, de manera que la diferencia de temperatura provoque una curvatura de toda la estructura capaz de cerrar un contacto a la temperatura de consigna para la que fue diseñado.

Sensores basados en materiales resistivos metálicos

Son aquellos que presenta un cambio en su resistividad al variar la temperatura, denominados RTD (*Resistor Thermal Detector*), pueden trabajar en un rango de -200 °C a 850 °C en los que su resistencia varía linealmente según la ecuación (1).

$$R(T) = R_0(1 + \alpha(\Delta T)) \quad (1)$$

Donde R_0 es la resistencia a una temperatura conocida T_0 , y α el coeficiente de temperatura del metal que nos indica la variación de la resistencia al variar un grado la temperatura.

Uno de los RTD más conocido es la PT100, sensor de platino que se caracteriza por presentar una resistencia de 100 Ω a 0 $^{\circ}\text{C}$ con una exactitud de hasta 0,01 $^{\circ}\text{C}$.

Sensores basados en resistencias semiconductoras (termistores)



Ilustración 7. PTC

Los termistores son sensores de temperatura basados en elementos semiconductores a los que se les aplica un dopaje con impurezas de tipo 'n' o 'p'.

Si el dopaje no es intenso, con el aumento de temperatura incrementa el número de portadores lo que reduce la resistencia (NTC, *Negative Thermal Coefficient*). En cambio, si el dopaje es intenso el semiconductor adquiere propiedades metálicas, presentado un coeficiente positivo (PTC, *Positive Thermal*

Coefficient).

La variación de temperatura es exponencial decreciente para un NTC y creciente en PTC lo que les hace ideales para su utilización en circuitos de protección por cortocircuitos, aumentos de tensión o sobre temperatura.

Termómetros basados en uniones de materiales semiconductores

Se fundamentan en uniones de materiales semiconductores diferentes. Los semiconductores presentan derivas en su funcionamiento debido a la variación de temperatura lo que es aprovechado para crear un sensor de temperatura.

Existen sensores semiconductores que suministran pequeños niveles de tensión o corriente proporcionales a la variación de temperatura. Su utilización es habitual en la protección de dispositivos electrónicos donde el dispositivo puede ser instalado en el propio circuito impreso.

Termopares

Destacan por su amplio campo de medida (-270 $^{\circ}\text{C}$ a 3.300 $^{\circ}\text{C}$) y por ser completamente pasivos sin necesidad de alimentación externa. Se basan en el hecho de que en la unión de dos metales diferentes se somete a un gradiente de temperatura, entre sus terminales se genera una tensión denominada tensión termoeléctrica.

Sensores por radiación electromagnética

Todos los cuerpos emiten una cierta radiación electromagnética que depende de la temperatura y naturaleza del cuerpo. Este tipo de sensores aprovechan este hecho para calcular la temperatura sin necesidad de estar en contacto con el elemento a medir.

3.1.2. Dispositivo elegido y requisitos previos

El dispositivo necesario para la aplicación debe ser capaz de medir temperaturas entre 20 °C y 120 °C con una precisión mínima de 1 °C, para ello seleccionaremos dentro de los sensores de tipo RTD, una PT100 de gama media que nos ofrece una serie de ventajas al diseño:

- Precisión de hasta 0.01 °C lo que simplifica el circuito adaptador de señal.
- Gran gama de dispositivos de diferentes fabricantes que facilita la elección y compatibilidad gracias a su estandarización.
- Diversidad de precios, aunque el aspecto económico no es un objetivo del proyecto siempre debe tenerse en cuenta.

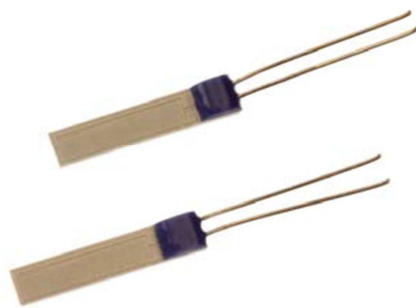


Ilustración 8. PT100, 1.2 x 4.0mm, clase A

Como ejemplo de dispositivo, presentamos la PT100 DM312 XF-539-D de Labfacility que destaca por su construcción de película fina que permite su inmersión y resistencia a vibraciones.

Además, su terminación con 2 pines soldables permite realizar una conexión a 2, 3 o 4 hilos dependiendo de las necesidades.

Sus características más relevantes se presentan a continuación:

- Rango de temperatura: -50 °C a 200 °C
- Clase IEC751: clase A
- Auto-calentamiento: < 0.5 °C/mW
- Respuesta térmica: 0.1 s
- Estabilidad: ±0.05% (en modelo IEC751 A)

Tal como vemos, se trata de una sonda de temperatura estándar fácilmente sustituible por modelos de similares características que se adapten a cada aplicación sin necesidad de modificar el dispositivo de control.

3.1.3. Presentación del diseño escogido

(8) Una vez seleccionado el tipo de sensor a utilizar, debemos diseñar el circuito más adecuado para adaptar los niveles resistivos ofrecidos por la sonda a niveles aptos para la lectura del microcontrolador.

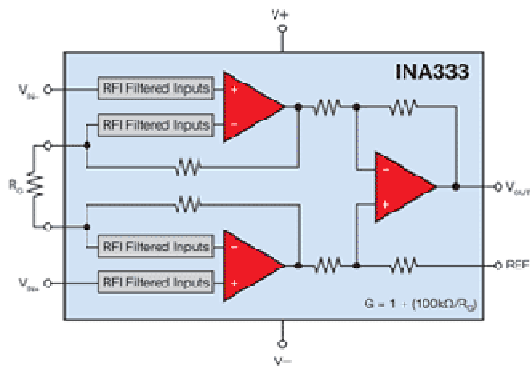


Ilustración 9. Amplificador operacional INA333

De esta forma, se optará por diseñar un circuito en torno a un amplificador operacional (AO) específico para la medición de equipos de instrumentación como el INA333 de *National Instrument*. Este dispositivo se construye a partir de 3 AOs donde los dos primeros actúan como amplificadores de cada una de las entradas, mientras que el tercero resulta de amplificar las salidas de estas.

Por medio de una resistencia externa R_g es capaz de proporcionar una ganancia regulable entre 1 a 1000 con un offset de entrada máximo de $\pm 25 \mu V$ y una deriva de $\pm 0.1 \mu V/^\circ C$.

Otras características relevantes son su bajo rango de alimentación de 1.8 V a 5.5 V y el también bajo rango de aceptación de tensiones de entrada y salida respecto a la alimentación, en $\pm 0.1 V$ para $\pm V_{in}$ y $\pm 0.05 V$ de V_{out} .

Para la medida de la resistividad del sensor PT100 optaremos por montar un puente de *wheatstone* con dos resistencias en serie (R_4 y R_5) encargadas de fijar la corriente que atraviesa. De esta forma, además, conseguimos alejar la tensión de entrada del operacional de los niveles de alimentación alto y bajo.

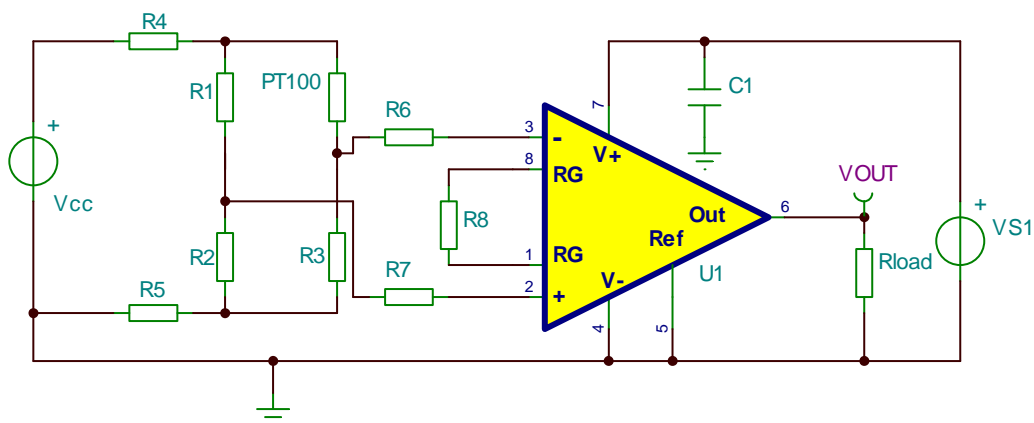


Ilustración 10. Circuito de adaptación PT100.

El AO INA333 monta dos diodos conectados a los pines de alimentación que protegen a este de sobretensiones de entrada, de esta forma, a través de R_6 y R_7 se protege el dispositivo desviando a estas resistencias la derivación de tensión.

3.1.4. Cálculo de componentes y validación del diseño

(9) Una vez seleccionado el diseño, debemos calcular los valores necesarios para cumplir con los requisitos del proyecto. El circuito debe medir temperaturas entre 20 °C y 120 °C, por tanto, para aproximar lo máximo posible a estos valores, daremos a R1, R2 y R3 un valor de $107 \Omega \pm 0,1\%$ - $\frac{1}{4}$ W, que resulta 0 V a la entrada del AO cuando la PT100 alcanza 18,18 °C.

Para minimizar el auto calentamiento del sensor escogeremos una ganancia amplia, en torno a 500, por tanto, si seleccionamos $R8 = 200 \Omega \pm 0,1\%$, $\frac{1}{4}$ W tenemos,

$$G = 1 + (100 \text{ K}\Omega/R8) = 501 \quad (2)$$

Si consideramos la misma tensión de alimentación de 5 V para el conversor ADC y con la ganancia obtenida, necesitaremos una tensión de entrada $V_{\text{máx}} = 9,98 \text{ mV}$ como fondo de escala, es decir, a $T_{\text{máx}} = 120^\circ$ que equivale a 5 V a la salida. La corriente que debe atravesar el puente de wheatstone para conseguir este valor viene dado en (3).

$$I_p = V_{\text{máx}} \frac{4 + \alpha_0(T_{\text{máx}} - T_0)}{R_0 \cdot \alpha_0(T_{\text{máx}} - T_0)} = 9,98 \cdot 10^{-3} \frac{4 + 0,003598 \cdot 101,82}{107 \cdot 0,003598 \cdot 101,82} = 1111,6 \mu\text{A} \quad (3)$$

- I_p = Corriente a través del puente.
- $V_{\text{máx}}$ = Tensión a la entrada del AO.
- R_0 = Resistencia PT100 a 18,18 °C.
- $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima reconocida por el circuito.
- α_0 = Coeficiente de temperatura del platino a 18,18 °C.

Conocida la corriente necesaria, calculamos los valores de R4 y R5 para limitar a dicha corriente, para ello, necesitamos conocer la resistencia equivalente (R_e) al puente de resistencias, que para un valor máximo de la PT100, resulta.

$$R_e = \frac{2R_0(R_{\text{tmáx}} + R_0)}{3R_0 + R_{\text{tmáx}}} = \frac{2 \cdot 107(146,2 + 107)}{3 \cdot 107 + 146,2} = 115,95 \Omega \quad (4)$$

Conocida la resistencia equivalente, R4 y R5 resultan del circuito que forman en serie con el puente.

$$R_4 = R_5 = \frac{\left(\frac{V_{\text{CC}}}{I_p} - R_e\right)}{2} = \frac{\left(\frac{5}{982,2 \cdot 10^{-6}} - 115,16\right)}{2} = 2,191 \text{ K}\Omega \quad (5)$$

Para normalizar valores tomaremos $R4 = 2,18 \text{ K}\Omega$ y $R5 = 2,21 \text{ K}\Omega$ ambas con una tolerancia $\pm 0,1\%$ y potencia $\frac{1}{4}$ W.

Por último, R6 y R7 sirven como protección del AO en caso de derivación a la entrada. Si tomamos estas resistencias de 1 K Ω y una potencia de $\frac{1}{4}$ W, la tensión máxima (V_r) que soportan, será

$$V_r = \sqrt{P_{\text{máx}} \cdot R6} = \sqrt{0,25 \cdot 1000} = 15,8 \text{ V} \quad (6)$$

Por tanto, por encima de esta tensión más la tensión de alimentación, las resistencias comenzarán a abrirse, protegiendo el circuito.

Una vez calculados los valores del circuito, debemos calcular el error máximo para verificar que está dentro de la tolerancia de ± 1 °C exigido. Para ello, consideramos la expresión de la tensión de salida del circuito:

$$V_{out} = I_p \cdot R_0 \frac{\alpha_0 \cdot \Delta T}{4 + \alpha_0 \cdot \Delta T} G \quad (7)$$

Para calcular el error de la corriente debemos tener en cuenta los márgenes de variación de la PT100, su tolerancia (para clase A: $0,15 \Omega - 0,39$ °C) y el auto-calentamiento (para 146Ω a 1 mA resulta $0,06 \Omega - 0,15$ °C).

$$R_{tm\acute{a}x} = 146,2 \Omega \pm 0,15 \pm 0,06 = 146,2 \pm 0,21 \Omega \quad (8)$$

El error en R_e , a partir de (4), resulta

$$\sigma_{R_e} = \sqrt{\left(\frac{dR_e}{dR_0}\right)^2 \sigma_{R_0}^2 + \left(\frac{dR_e}{dR_{tmed}}\right)^2 \sigma_{R_{tmed}}^2} = \pm 0,8 \Omega \quad (9)$$

La corriente I_p , a partir del circuito resistivo formado por R_4 , R_5 y R_e , resulta

$$I_p = \frac{V_{cc}}{R_e + R_4 + R_5} = \frac{5}{111,67 + 2,18 \cdot 10^3 + 2,21 \cdot 10^3} = 1110,7 \mu A \quad (10)$$

que comparado con (3) obtenemos un error de $\pm 0,9 \mu A$ debido al ajuste de resistencias. Además, considerando un error de alimentación de $\pm 1\%$, el error de la corriente resulta

$$\sigma_{I_p} = \sqrt{\left(\frac{dI_p}{dV_{cc}}\right)^2 \sigma_{V_{cc}}^2 + \left(\frac{dI_p}{dR_e}\right)^2 \sigma_{R_e}^2 + \left(\frac{dI_p}{dR_4}\right)^2 \sigma_{R_4}^2 + \left(\frac{dI_p}{dR_5}\right)^2 \sigma_{R_5}^2} \pm 0,9 = \pm 2,3 \mu A \quad (11)$$

El error de la ganancia debido a R_8 se expresa en (12):

$$\sigma_G = \sqrt{\left(\frac{dG}{dR_8}\right)^2 \sigma_{R_8}^2} = 200000 \sqrt{\frac{1}{R_8^4}} = \pm 0,5 \quad (12)$$

Por último, el error del AO debido al offset más la deriva por temperatura, apenas alcanza los $25 \mu V$, por lo que lo obviaremos.

Con todo ello, el error acumulado del circuito, resulta de calcular el error en (7)

$$\sigma_{V_{out}} = \sqrt{\left(\frac{dV_{out}}{dI_p}\right)^2 \sigma_{I_p}^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dR_0}\right)^2 \sigma_{R_0}^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dG}\right)^2 \sigma_G^2} = \pm 12 \text{ mV} \quad (13)$$

Si la ΔT para el fondo de escala de 0 a 5 V es de $\sim 101,82$ °C, el error máximo admisible del circuito es de ~ 49 mV/°C, por tanto, el convertor analógico digital (CAD) podrá tener un paso de cuantificación máximo ~ 37 mV, para lo cual se requiere al menos 5 bits.

$$n = \text{Ln} \left(\frac{FS}{\text{PASO}} \right) = \text{Ln} \left(\frac{5}{37 \cdot 10^{-3}} \right) = 4,9 < 5 \text{ bits} \quad (14)$$

Si realizamos la simulación del circuito mediante TINA-TI obtenemos la gráfica de tensión de salida en función de los valores de PT100, tal como se muestra en la Ilustración 11.

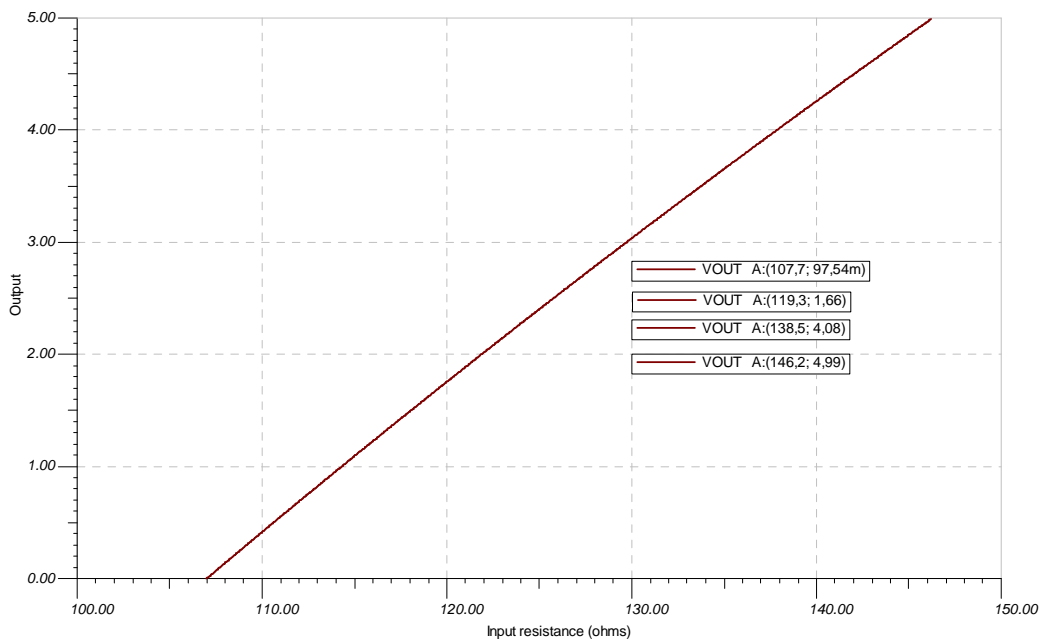


Ilustración 11. Simulación circuito PT100

En la Tabla 4 podemos comparar la diferencia entre el valor calculado y simulado, donde se observa que en ningún caso supera el error teórico.

Temperatura (°C)	PT100 (Ω)	Valor teórico (V)	Valor simulado (V)
20	107,7	0,097 ±0,012	0,098
50	119,3	1,657 ±0,012	1,660
100	138,5	4,082 ±0,012	4,080
120	146,2	4,996 ±0,012	4,990

Tabla 4. Comparación circuito PT100

3.2. Circuito de adaptación de señales 0-10 V

Además de los diferentes tipos de sensores de temperatura que hemos visto, existe un amplio número de transductores de todo tipo capaces de convertir cualquier clase de cambio físico captado por un sensor en energía eléctrica. A continuación construiremos un circuito capaz de adaptar una señal estándar generada por uno de estos transductores, a las necesidades del procesador.

3.2.1. Introducción a los transductores analógicos

(7) (10) Podemos definir un transductor como un dispositivo capaz de transformar una causa física, como la presión, temperatura, dilatación, etc. en otro tipo de señal normalmente eléctrica.



Estos transductores pueden clasificarse en función de varios criterios, así podremos decir que un sensor es activo o pasivo en función de la necesidad, o no, de una fuente de energía externa. Otros criterios de clasificación son:

- En función de la naturaleza de la señal de salida, estos pueden ser analógicos o digitales.
- Dependiendo de la magnitud a medir pueden ser mecánicos, térmicos, magnéticos, químicos, etc.
- Según la variable física de medida, es decir, del elemento que presenta una variabilidad debido al cambio de la magnitud a medir, pueden ser resistivo, capacitivo, inductivo, piezoeléctrico, etc.

Normalmente las señales de salida suelen estar normalizadas, en el caso de las salidas analógicas, estas suelen presentar una escala en corriente de 0-20 mA o bien 4-20 mA, mientras que las salidas de tensión más extendidas son aquellas que ofrecen una escala de salida de ± 10 V o bien 0-10 V, siendo esta última el tipo de señal que debemos adaptar a nuestro circuito.

Las propiedades más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un transductor son:

- **Rango de medida.** Diferencia entre los valores máximos y mínimos que se necesita medir.
- **Sensibilidad.** Pendiente de la curva que relaciona a la salida eléctrica con la magnitud física a medir.
- **Resolución.** Variación detectable más débil.
- **No-linealidad.** Distancia mayor de la curva de funcionamiento y la recta que une los valores máximo y mínimo del rango de medida.
- **Histéresis.** Diferencia del traductor entre los caminos ascendentes y descendentes de medida.
- **Error.** Diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Existen diferentes tipos de error que pueden afectar a la medida, debido a las diferentes partes que forma un transductor (sensor, traductor, transmisor, etc.)

A continuación se presentará el circuito necesario para adaptar una señal analógica normalizada de 0-10 V, procedente de cualquier tipo de transductor capaz de entregar dicha señal.

3.2.2. Diseño elegido y requisitos previos

(8) Los requisitos para la adquisición de señales analógicas pasan por presentar una impedancia de entrada lo más alta posible que se adapte a cualquier tipo de dispositivo, además la precisión de la medida debe tener un error no superior a 50 mV.

El amplificador operacional INA333 utilizado en la adaptación del circuito de temperatura se caracteriza por tener una impedancia de entrada muy alta, del orden de 100 GΩ lo que nos permite situar entre su entrada y la señal analógica a medir, un divisor resistivo del orden de mega ohmios sin correr riesgo de desvirtuar la señal a medir.

El fondo de escala del microcontrolador, al igual que el circuito de temperatura, está situado en 5 V, luego la ganancia del amplificador deberá adaptarse para elevar la tensión recibida del divisor resistivo hasta 5 V equivalente a los 10 V máximos de entrada.

El circuito escogido se muestra en la Ilustración 13 donde V_{in} corresponde a la señal simulada de 0-10 V, $VS1$ alimentación de 5,5 V; $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ y $R5$ forman el divisor resistivo, $R6$ es la resistencia adaptadora de ganancia y $R7$ equivale a la impedancia del microcontrolador.

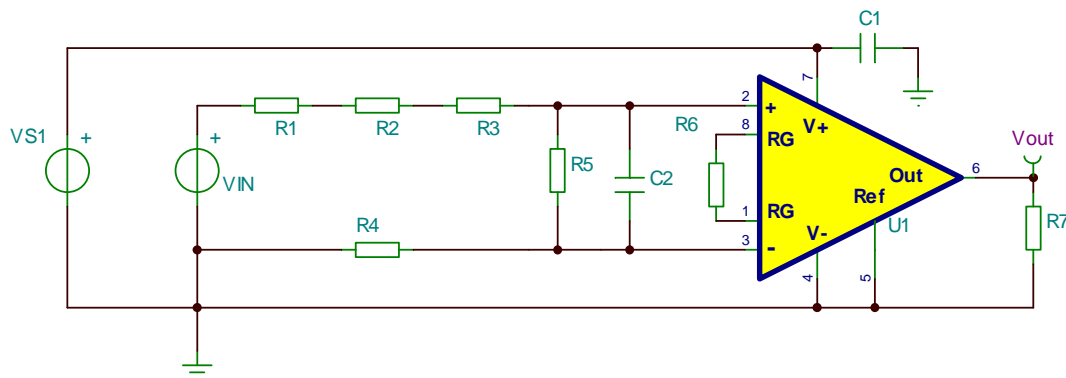


Ilustración 13. Circuito adaptación 0-10 V

3.2.3. Cálculo de componentes y validación del diseño

Comenzaremos calculando el divisor resistivo, para lo cual tendremos en cuenta una diferencia de tensión a la entrada del AO de 10 mV máximo, equivalente a 10 V de entrada. De esta forma si consideramos $R1$, $R2$, $R3$, y $R4$ de un valor $5,1 \text{ M}\Omega \pm 1\%$ el valor de $R5$ resulta:

$$R5 = (R1 + R2 + R3 + R4) \left(\frac{V_{R4\text{máx}}}{V_{IN\text{máx}}} \right) = 20,4 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0,01}{10} \right) \cong 20,5 \text{ K}\Omega \pm 0,1\% \quad (15)$$

Observar que dado la alta impedancia de entrada de $U1$, prácticamente toda la corriente circulará a través de $R5$.

La ganancia en U1 para obtener una tensión máxima de 5 V (V_{fe}) equivalente a los 10 V de entrada resulta:

$$G = \frac{V_{fe}(R1+R2+R3+R5)}{R4 \cdot V_{INm\acute{a}x}} = \frac{5 \cdot 20,42 \cdot 10^6}{20,5 \cdot 10^3 \cdot 10} = 498,06 \quad (16)$$

Por tanto, la resistencia R6, utilizando la misma expresión que en 2 será:

$$R6 = \frac{100K\Omega}{G-1} = \frac{100 \cdot 10^3}{498,06-1} = 201,2\Omega \rightarrow 200 \Omega \pm 0,1\% \quad (17)$$

Que equivale a una ganancia real de 501 tal como se demostró en la expresión 2 utilizada en el circuito de temperatura.

(11) C2 se ha considerado para filtrar señales por encima de 100 Hz. Dado que $R1 = R2 = R3 = R4 \gg R5$ consideremos la impedancia equivalente $Z = R5$. Por tanto, para un valor de $C2 = 100$ nF, la frecuencia de corte:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Z \cdot C2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20,5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 77,64 \text{ Hz} \quad (18)$$

Valor que se puede corroborar mediante simulación del análisis de transferencia tal como se muestra en la siguiente ilustración, donde se observa la caída en 3dB a la frecuencia de corte calculada.

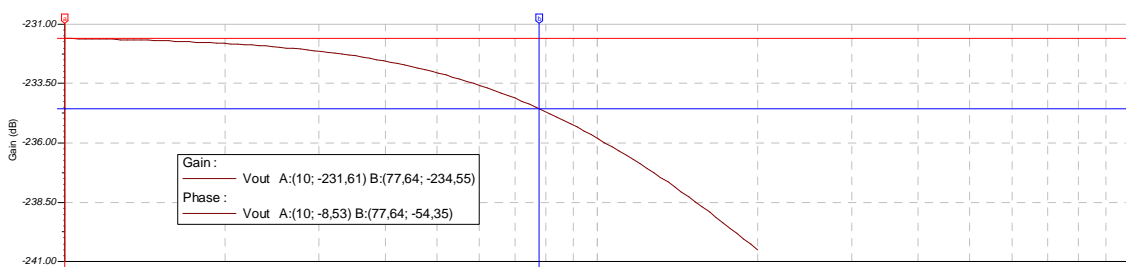


Ilustración 14. Diagrama de bode circuito 0-10 V

(9) Para calcular el error del circuito, se tendrá en cuenta el error de la ganancia calculado en 12, y el error del divisor resistivo, luego la expresión que determina dicho error se expresa a continuación como la tensión de salida del circuito en función de la de entrada.

$$V_{out} = V_{IN} \frac{R4}{R1+R2+R3+R4+R5} G = \frac{20541}{40841} V_{IN} \quad (19)$$

El error teórico máximo correspondiente a dicha salida será, para $V_{IN} = 10$ V

$$\sigma_{V_{out}} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{dV_{out}}{dG}\right)^2 \sigma_G^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dR1}\right)^2 \sigma_{R1}^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dR2}\right)^2 \sigma_{R2}^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dR3}\right)^2 \sigma_{R3}^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dR4}\right)^2 \sigma_{R4}^2 + \left(\frac{dV_{out}}{dR5}\right)^2 \sigma_{R5}^2}$$

$$= \pm 0,0026 V_{IN} = \pm 26 \text{ mV} \quad (20)$$

Dado que el error máximo admisible es de 50 mV, podremos tener en el conversor analógico digital un paso de cuantificación de 24mV, luego el número de bytes mínimo deberá ser:

$$n = \text{Ln} \left(\frac{\text{FS}}{\text{PASO}} \right) = \text{Ln} \left(\frac{5}{24 \cdot 10^{-3}} \right) = 5,3 < 6 \text{ bits} \tag{21}$$

A continuación se comparan los resultados teóricos con la simulación del circuito, para todo el rango de tensión de entrada.

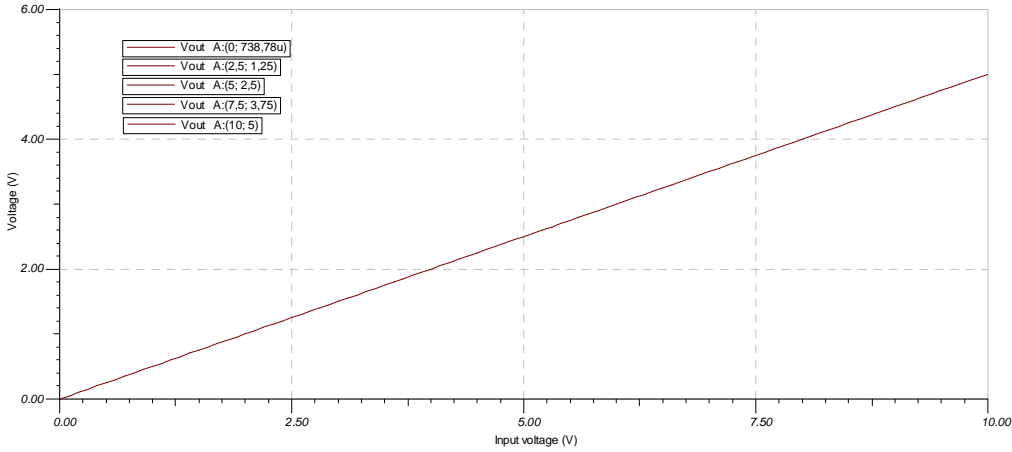


Ilustración 15. Simulación circuito 0-10 V

En la Tabla 5 se comparan los resultados teóricos con los obtenidos en la simulación, observando que el valor obtenido se encuentra en todo momento en los márgenes de tolerancia calculados, salvo a 0 V debido a la tensión de offset, error que será absorbido por el margen de cuantificación del micro.

Tensión de entrada (V)	Tensión de salida teórica (V)	Tensión de salida simulada (V)
0	0,000 ±0,000	0,0007
5	2,500 ±0,013	2,500
7,5	3,750 ±0,020	3,750
10	5,000 ±0,026	5,000

Tabla 5. Comparación circuito 0-10 V

3.3. Circuito adaptador de señales digitales

(12) Analizados los transductores analógicos, veremos a continuación como adaptar las señales de un sensor con salida discreta.

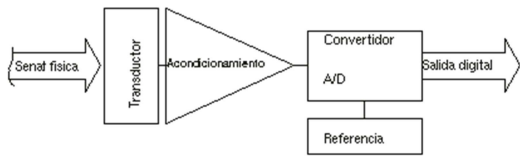


Ilustración 16. Transductor digital

Existen un gran número de transductores digitales capaces, al igual que un dispositivo analógico, de medir todo tipo de magnitudes físicas. De esta forma, podemos obtener transductores complejos, con su propia unidad de conversión y que envían el valor obtenido

a través de comunicaciones, normalmente vía serie o bien modulada en ancho de pulso.

Otros transductores digitales utilizan señales discretas desfasadas para indicar magnitudes de velocidad, posición, distancia, dirección, etc. Este es el caso de los encoders, dispositivos que traducen el movimiento en un número de impulsos proporcional.

Un sistema más sencillo de transductor digital son aquellos que envía una única señal discreta con dos posibles valores, dependiendo si alcanza una determinada magnitud para la que han sido diseñados. Este es el caso, de los termómetros de dilatación, presostatos de seguridad, detectores de gases, etc.

El tipo de salida que ofrecen estos dispositivos puede variar según la aplicación, de esta forma podemos encontrar salidas libres de potencial o salida a relé, salidas de tensión normalmente entre 0 V y un nivel de tensión determinado, o bien, salidas a transistor que nos ofrecen una señal entre 0 V y alta impedancia donde poder añadir una resistencia de *pull-up* para polarizar el circuito a la tensión necesaria.

3.3.1. Diseño elegido y requisitos previos

El circuito a diseñar parte de una señal discreta, libre de potencial mediante un contacto formado por dos hilos, activa cuando forma un cortocircuito. Para su adaptación, necesitaremos añadir una resistencia de *pull-up*, ya sea a positivo de alimentación o masa, además se considerarán los elementos de protección necesarios que eviten posibles derivaciones a la entrada, teniendo en cuenta los niveles de tensión apropiados del microcontrolador.

El circuito seleccionado para realizar esta función se muestra en la Ilustración 17, donde se ha optado por una activación a nivel bajo, es decir, con la resistencia de *pull-up* polarizada a positivo de la fuente de alimentación. Los diodos D1 y D2 protegerán de posibles derivaciones en la entrada, RL simula la impedancia del microcontrolador.

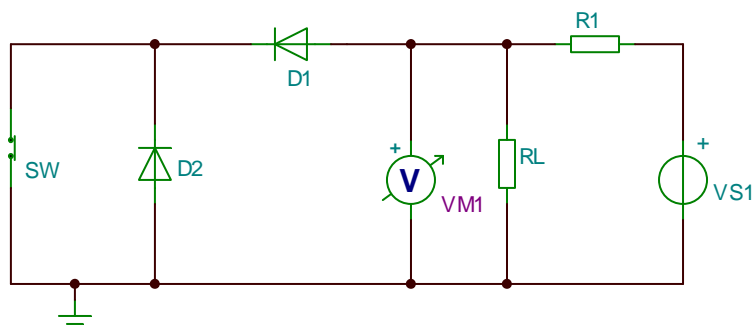


Ilustración 17. Circuito adaptación digital

3.3.2. Cálculo de componentes y validación del diseño

(9) Para realizar los cálculos, se considerarán los niveles máximos y mínimos admisibles en la entrada del microcontrolador, si tomamos como referencia los valores típicos para un microcontrolador PIC:

- Nivel bajo máx. ($V_{DD} = 5\text{ V}$): $0,8\text{ V}$
- Nivel alto min. ($V_{DD} = 5\text{ V}$): 2 V
- Consumo de corriente máx.: $\pm 1\text{ }\mu\text{A}$

Cuando la señal está inactiva, la tensión a la entrada del microcontrolador resulta del divisor formado por $R1$ y la impedancia del propio micro. Considerando una alimentación de 5 V , la resistencia $R1$ podrá ser inferior a $7,5\text{ M}\Omega$. Un valor más lógico, que garantice una correcta interpretación del nivel de tensión, podría ser $100\text{ K}\Omega$, donde el nivel de tensión a la entrada resulta:

$$V_{\text{Micro}} = \frac{R_L}{R_1 + R_L} V_{S1} = \frac{5 \cdot 10^6}{100 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^6} 5 = 4,9\text{ V} \quad (22)$$

Lo que garantiza la correcta interpretación del dato con un consumo de $0,25\text{ mW}$.

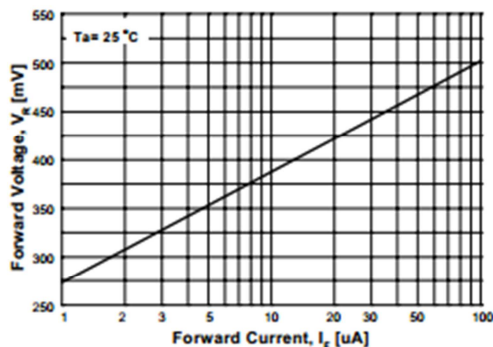


Figure 3. Forward Voltage vs Forward Current VF - 1 to 100 uA

Ilustración 18. Tensión FDLL4148

(13) El nivel bajo, cuando la entrada está activa, depende de la caída de tensión en $D1$, para un diodo rectificador de propósito general como FDLL4148, la caída de tensión en función de la corriente se determina en la Ilustración 18. Dado que la corriente es menor a $50\text{ }\mu\text{A}$, impuesta por $R1$, la caída de tensión en $D1$ será menor a 475 mV , cumpliendo la condición de tensión máxima a nivel bajo a la entrada del microcontrolador.

$D2$ protege de corrientes inversas, no afecta al funcionamiento del circuito y puede utilizarse un diodo de propósito general como FDLL4148.

Si realizamos la simulación del circuito con los valores calculados, obtenemos un nivel de tensión de 471 mV con la entrada activada y de $4,9\text{ V}$ desactivada, acorde a los cálculos realizados.



Ilustración 19. Simulación entrada digital

Capítulo 4. Circuito de Control

Una vez configurados los circuitos de adaptación de las señales a monitorizar, que serán enviadas a través del módem, es necesario seleccionar el procesador encargado de recoger las medidas obtenidas y adaptar dichas medidas para transmitir las a través del módem.

Los dispositivos más adecuados para realizar esta tarea serán los microcontroladores. Estos procesadores contienen todos los elementos necesarios para tratar las señales y comunicaciones empleadas por medio de un procesador central, unido a una serie de periféricos, así como la memoria necesaria para contener el programa que lo gobierna.

A continuación analizaremos las características más relevantes de estos dispositivos, que nos ayuden a seleccionar el más adecuado a la aplicación, así como sus características de programación para realizar el software de control verificando su funcionamiento.

4.1. Introducción a los sistemas microprocesadores

(7) Los sistemas microprocesadores se caracterizan por incorporar todos los circuitos integrados necesarios para implementar el control de cualquier dispositivo electrónico.

Los elementos fundamentales de un microcontrolador son:

- **Procesador.** Elemento esencial que se encarga de leer las instrucciones de forma secuencial, decodificarlas y activar las señales necesarias para su ejecución.
- **Memoria.** Destinada a contener las instrucciones de programa así como los datos necesarios para cada aplicación.
- **Puertos de entrada y salida.** Permiten comunicar el microcontrolador con el resto de dispositivos del sistema global. Pueden ser configurados en diferentes modos ya sea como entradas digitales, puertos de comunicación, conversores A/D, moduladores PWM, etc.
- **Reloj.** Marca el ritmo de funcionamiento del microcontrolador y sincroniza los diferentes elementos. A partir de este reloj, se implementan otras funcionalidades como *watchdog* ("perro guardian"), caracterización del modulador PWM, temporizadores (aunque también pueden ser externos), etc.

Las dos arquitecturas presentes en los computadores Von Neumann y Harvard, son las utilizadas igualmente en la construcción de los microcontroladores. Ambas se diferencian en la forma de implementar la memoria y los buses de comunicación. Von Neumann utiliza el mismo dispositivo de almacenamiento tanto para las instrucciones de programa como para los datos, simplificando el número de buses. Por el contrario, la arquitectura Harvard separa las memorias de programa y datos, así como los buses que las manipulan, permitiendo adecuar cada bus al tamaño que debe manipular.

Otra característica de un microcontrolador es el conjunto de instrucciones que determinan las operaciones que puede hacer el procesador.

Existen dos tipos de repertorios de instrucciones que determinan la arquitectura del procesador.

- **RISC (*Reduced Instruction Set Computer*)**. Se caracterizan por tener un número muy reducido de instrucciones simples de tamaño fijo, de las que solo las de almacenamiento acceden a la memoria de datos. Esta propiedad posibilita el paralelismo en la ejecución y reducen los accesos a memoria. Los microcontroladores PIC de Microchip implementan esta arquitectura.
- **CISC (*Complex Instruction Set Computing*)**. Procesadores con un conjunto de instrucciones muy amplio que permite realizar operaciones complejas. Como ejemplo de esta arquitectura se encuentra la familia Intel 8051.

4.2. Requisitos previos y dispositivo elegido

Existen en el mercado un gran número de fabricantes de microcontroladores capaces de realizar aplicaciones de supervisión como la que estamos diseñando. Entre estos fabricantes, Microchip ofrece una amplia gama de micros capaces de adaptarse a todas las necesidades. Por ello y por la amplia gama de aplicaciones y documentación que existe sobre estos dispositivos, nos centraremos en ellos a la hora de seleccionar el dispositivo más conveniente.

(14) Microchip ofrece un *part selector* donde poder elegir el microprocesador más adecuado en función de las características necesarias. A continuación describimos los elementos fundamentales que debe contener el dispositivo para llevar a cabo el control del sistema:

- **Procesador**. Dada la sencillez del sistema será suficiente con un procesador de 8 bit.
- **Memoria**. Se considera que cualquier dispositivo será capaz de almacenar el software de control, en caso contrario se sustituirá por otro similar de mayor capacidad.
- **Entradas digitales**. Es necesario, al menos una entrada digital, no obstante se considerará un mayor número en previsión.
- **Conversor A/D**. Debe contener al menos dos conversores analógico-digital para la monitorización de temperatura y señal analógica 0-10 V.
- **UART**. El módem seleccionado debe ser controlado vía serie, luego necesitaremos una UART para esta comunicación.

(15) Entre los dispositivos que cumplen con todas las exigencias del diseño encontramos el PIC16F88, considerado el sustituto natural del PIC16F84 uno de los microprocesadores más conocidos del mercado.

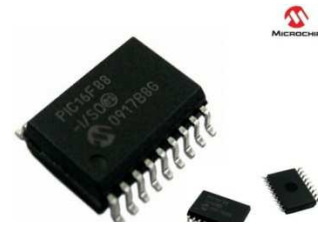


Ilustración 20. PIC16F88

Este integrado se caracteriza por los siguientes elementos internos:

- Memoria Flash de programa (4K x 14)
- Memoria EEPROM de datos (256 x 8)
- Memoria RAM (368 registros x 8)
- Oscilador interno de 8 MHz, externo hasta 20 MHz
- Modulación por ancho de pulso (PWM)
- Comunicación asincrónica USART en SPI 3 Hilos o I2C en 2 hilos
- Conversor analógico-digital de 7 canales de 10 bits
- Un temporizador/contador (timer de 8 bits)
- Dos puertos de entrada-salida (puerto A y B de 8 pines cada uno)
- Perro guardián y control de bajo consumo
- Programación en circuito vía 2 pines

El PIC16F88 posee dos puertos (puerto A y B) de 8 bits donde se implementan todos los periféricos con los que cuenta. La distribución de estos pines para la aplicación se especifica en la Tabla 6.

Función	Pines	Descripción
Oscilador	RA6/ <u>OSC2</u> /CLKO RA7/ <u>OSC1</u> /CLKI	Aunque no es necesario, nos ofrece una mayor precisión en el envío de datos de la UART
UART	<u>RB0</u> /INT/CCP1 <u>RB1</u> /SDI/SDA <u>RB2</u> /SDO/ <u>RX</u> /DT <u>RB3</u> /PGM/CCP1 <u>RB4</u> /SCK/SCL <u>RB5</u> /SS/ <u>TX</u> /CK	RB0 (RTS). Micro listo para recibir RB1 (CTS). Módem listo para recibir comandos. RB3 (DSR). Buffer módem lleno. RB4 (DTR). Sitúa al módem en bajo consumo.
Programación <i>on board</i>	RA5/MCLR/Vpp RB6/AN5/ <u>PGC</u> /T1OSO RB7/AN6/ <u>PGD</u> /T1OSI	Se prevén estos pines para la programación en línea del dispositivo (RA5 también reset)
Temperatura	RA0/ <u>AN0</u>	
Señal 0-10 V	RA4/ <u>AN4</u> /T0CKI/C2OUT	
Reset módem	<u>RA3</u> /AN3/ VRef+	
Señal digital	<u>RA2</u> /AN2/CVRef/VRef-	
Señal digital	<u>RA1</u> /AN1	Para posibles ampliaciones

Tabla 6. Asignación pines microprocesador

El conexionado del controlador respecto del resto del circuito se presenta en la siguiente ilustración:

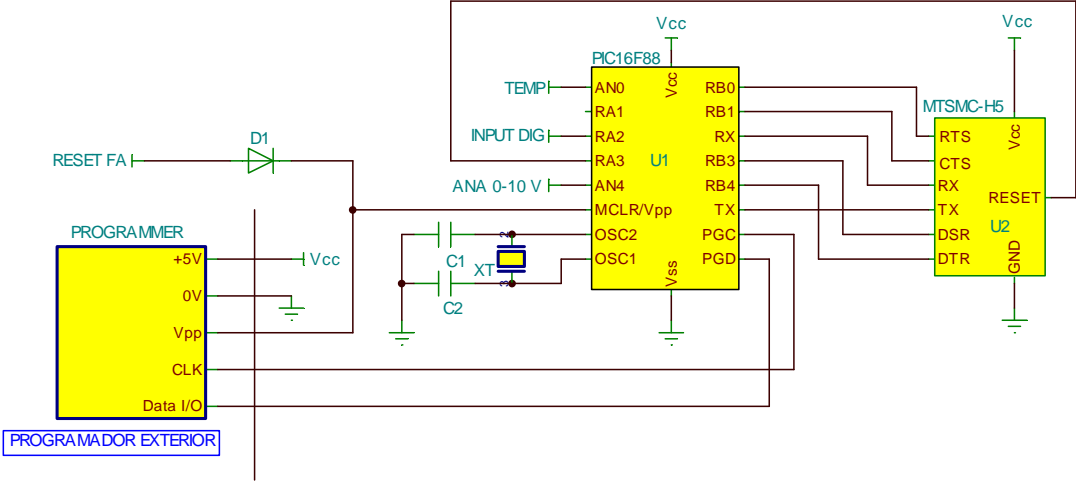


Ilustración 21. Conexiones microcontrolador

4.3. Implementación del circuito de control

(5) (15) El microprocesador debe controlar el funcionamiento del equipo. Los requisitos de control enunciados son la monitorización continua de las señales a adquirir y la supervisión del módem. Además debe conectar mediante el módem a un servidor donde enviar los datos recogidos cada minuto.

En la Ilustración 22 se indica el flujo que seguirá el programa de control, a partir del cual se desarrolla el software.

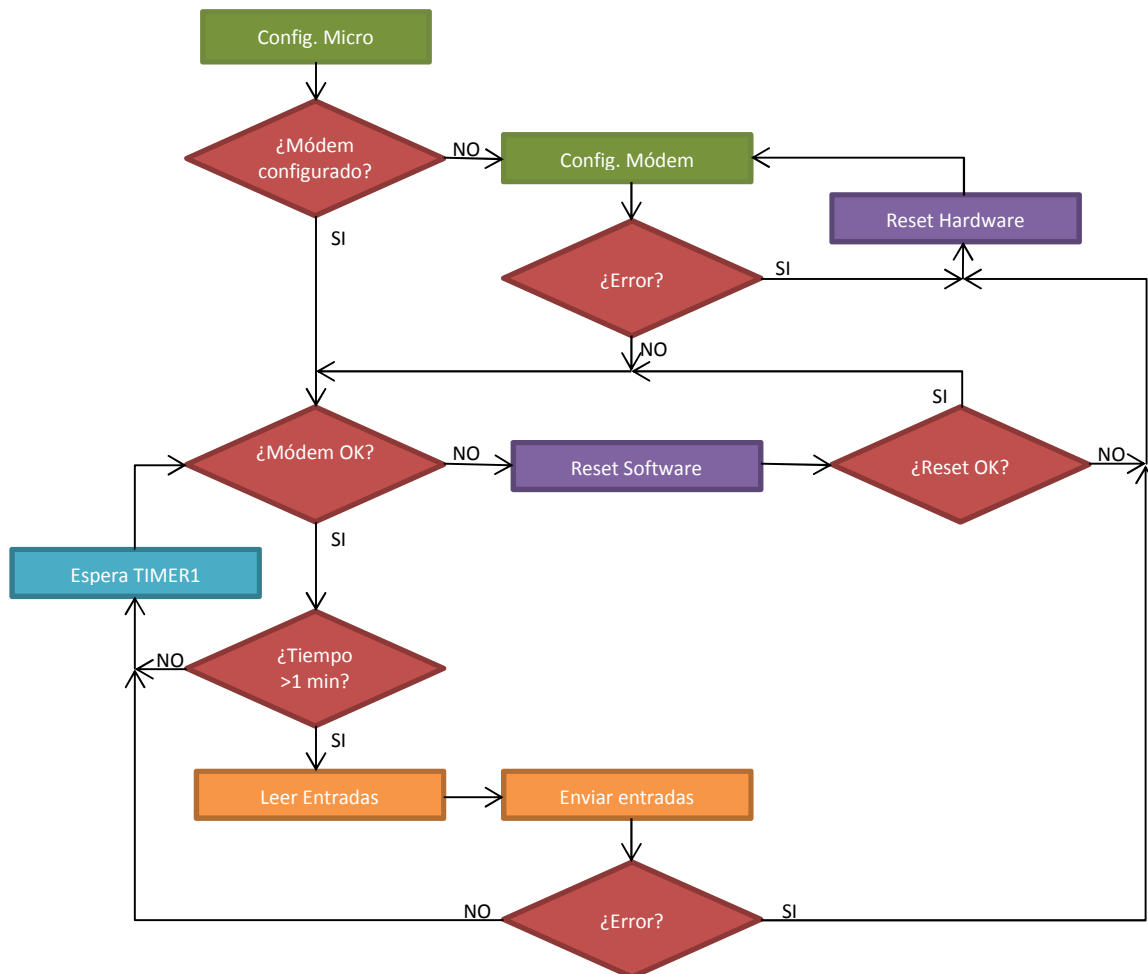


Ilustración 22. Flujo programa de control

Para realizar estos trabajos se han desarrollado varias funciones que dividan cada tarea a realizar según se indica a continuación:

- chipInit.** Se configuran los periféricos tal como se indica en la Tabla 6. El AUSART se define en modo asíncrono a 115.000 baudios. También se considera el funcionamiento del perro de guardia con un periodo de 18 s ya que hay que considerar que el módem puede tardar en responder en aquellos comandos que debe consultar a la tarjeta SIM, módulo GPRS, etc. Por último, se activan las interrupciones para la recepción de mensajes y el TIMER1 a través del cual se calculará el tiempo de envío de mensajes.

```

69 //Configuración microprocesador
70 void chipInit(){
71     WDTCONbits.WDTPS = 0b1010; //Configura watchdog time=RCIN*32768 ~ 1 s
72     OPTION_REG = 0b10001100; //Configura watchdog time*8 ~ 16 s
73     TRISA = 0b10110111; //Configura puerto A
74     TRISB = 0b01001111; //Configura puerto B
75     T1CON = 0b00110001; //Configura TIMER1 time=FOSC^-1*4*8*2^16 ~ 0,57
76
77     //Configuración de entradas analógicas
78     ANSEL = 0b00010001; //ANO y AN4 configuradas como analógicas
79     ADCON1 = 0b10000000; //ADRESH 6 bits más significativos como '0'
80     ADCON0bits.ADCS = 0b01; //Tad = Fosc/8 = 2,17us
81
82     //Configuración del puerto serie en modo asincrono
83     SPBRG = 1; //BitRATE = FOSC/16(SPBRG+1) = 115200 baudios
84     TXSTA = 0b00100100; //Modo asincrono con alta velocidad habilitada
85     RCSTA = 0b10000000; //Habilita comunicación serie
86
87     //Configuración de interrupciones
88     INTCON = 0b11000000; //Habilita máscara global de interrupciones
89     PIE1 = 0b00100001; //Habilita AUSART RX y TIMER 1
90     PIR1 = 0x0; //Resetea flags
91 }

```

Ilustración 23. Función chipInit

- **configModem.** Envía todos los mensajes necesarios para configurar el módem con los parámetros considerados en el apartado “2.4 Definición de los comandos necesarios para la configuración y envío de mensajes” apoyado en la función transmit. En caso de error o falta de respuesta devuelve ‘-1’, sino ‘0’.

```

153 //Envía los parámetros necesarios para configurar el módem
154 char configModem(){
155     DTR = 0b1; //Desactiva bajo consumo del módem
156     while(!CTS) //Espera módem listo para recibir comandos
157         continue;
158     //transmit("CONFIGURACION"); //Solo para simulación
159     if (transmit("ATV0")) //Respuestas en formato numérico
160         return -1;
161     //Modo sleep del módem mediante DTR
162     if(transmit("AT+CFUN=5"))
163         return -1;
164     //Configura contexto PDP (valores de ejemplo)
165     if(transmit("AT+CGDCONT=1,\"IP\", \"APN\", \"10.10.10.10\", 0, 0"))
166         return -1;
167     if(transmit("AT#SGACT=1,1")) //Activa el contexto PDP
168         return -1;
169     //Designa comunicación UMTS
170     if(transmit("AT+CGCLASS=\"A\""))
171         return -1;
172     //Agrega terminal al servicio GPRS
173     if(transmit("AT+CGATT=1"))
174         return -1;
175     //Configuración socket 1
176     if(transmit("AT#SCFG=1,1,300,9,600,50"))
177         return -1;
178     if(transmit("AT&W0")) //Almacena la configuración actual
179         return -1;
180     CLRWDI();
181     return 0;
182 }

```

Ilustración 24. Función configModem

- transmit.** Activa el puerto serie y transmite el mensaje recibido por parámetro mediante el puerto TX apoyado en la función putch. Una vez enviado, espera respuesta del módem (en modo de bajo consumo) y la devuelve como resultado. En caso de no respuesta devuelve -1.

```

109 //Transmite el mensaje indicado por parámetro al puerto TX
110 int transmit(const char *message){
111     int j = 0;
112
113     RCSTAbits.CREN = 0b1;           //Comunicación serie en modo continuo
114     RTS = 0b1;                     //Indica al módem que está listo
115     while(*message)                 //Envía el mensaje
116         putch(*message++);
117     putch('\r');                     //PARA PRUEBAS cambiar r por n
118     reply = -1;
119     while(reply == -1){
120         SLEEP();                     //Espera respuesta
121         if(j++ >= CONT_TIMER1_OVER){
122             RTS = 0b0;               //Indica al módem que no está listo
123             RCSTAbits.CREN = 0b0;   //Deshabilita com. serie en modo continuo
124             return -1;              //Si modem no responde error
125         }
126     }
127     RTS = 0b0;                     //Indica al módem que no está listo
128     RCSTAbits.CREN = 0b0;         //Deshabilita com. serie en modo continuo
129     return reply;                  //Retorna la respuesta
130 }
    
```

Ilustración 25. Función transmit

- putch.** Espera que el módem esté listo para recibir comandos y que no tenga la cola llena y envía el carácter recibido por parámetro a través del puerto serie TX.

```

41 //Adaptación función putch mediante líneas de control
42 void putch(const char data) {
43     DTR = 0b1;                     //Desactiva bajo consumo del módem
44     while(!CTS)                     //módem listo para recibir comandos
45         continue;
46     while(!DSR)                     //módem listo para recibir paquetes
47         continue;
48     while(!TXIF)                    //Chequea buffer
49         continue;
50     TXREG = data;                   //Envía dato
51 }
    
```

Ilustración 26. Función putch

- interrupt common_int.** Controla todas las interrupciones. Si la interrupción es de USART lee el dato mediante la función getche, si dicho dato corresponde al código de respuesta (antes de retorno de carro '\r') lo guarda en la variable global reply.

Si se trata de una interrupción de TIMER1 aumenta el valor del índice global 'i' que servirá para calcular el tiempo transcurrido para el envío de datos.


```

132 //Gestiona las interrupciones
133 void interrupt common_int(){
134     di(); //Deshabilita interrupciones
135     if(PIR1bits.RCIF){ //Comprueba que hay dato en RX
136         //reply = receive(); //Carga el dato leído
137         aux_reply = getche(); //Carga el dato en un auxiliar
138         if(aux_reply != '\r'){
139             if(aux_reply == 24) //Verifica que no hay error
140                 reply = aux_reply;
141             aux_reply2 = aux_reply;
142         }
143         else
144             reply = atoi(&aux_reply2); //Se obtiene el dato requerido como int
145     }
146     if(PIR1bits.TMR1IF){ //Si interrupción TIMER1 overflow
147         PIR1bits.TMR1IF = 0;
148         i++;
149     }
150     ei(); //Habilita interrupciones
151 }

```

Ilustración 27. Función interrupt common_int

- **analogical.** Lee el valor del canal analógico recibido como parámetro. Para ello configura y activa en primer lugar el periférico. Devuelve el valor leído.

```

93 //Devuelve el valor del canal analogico indicado por parámetro
94 unsigned int analogical(const int canal){
95     unsigned int result;
96     if (canal > 6 || canal < 0) //Comprueba que el canal sea correcto
97         return -1;
98     ADCON0bits.CHS2 = canal; //Configura el canal a leer
99     ADCON0bits.ADON = 0b1; //Activa el periférico
100     __delay_us(40); //Espera 2 Tacq mín.
101     while (ADCON0bits.GO_DONE) //Espera fin de la lectura
102         continue;
103     result = (ADRESH << 8) + ADRESL; //Carga el dato en result
104     ADCON0bits.ADON = 0b0; //Desactiva el periférico
105     CLRWDI();
106     return result;
107 }

```

Ilustración 28. Función analogical

- **sendData.** Envía una petición de conexión remota GPRS al módem, calcula los valores correspondientes a las señales analógicas, la señal digital la transforma en un byte con los valores 0x55 o 0xAA en función de que el valor sea '0' o '1' respectivamente, y envía estos datos al módem para que los transmita. Por último, envía un comando de cierre de conexión. En caso de respuesta negativa del módem devuelve '-1', sino devuelve '0'.

```

184 //Envía los datos recogidos por las sondas
185 char sendData(char dig, float temperatura, float ana){
186     char message[50];
187     char data[30] = "AT#SSEND=1 >TEM: ANA: DIG: ";
188     char j, k, l = 0;
189     char *num;
190     int status;

```

```

192     DTR = 0b1;                //Desactiva bajo consumo del módem
193     while(!CTS)              //Espera módem listo para recibir comandos
194         continue;
195     //transmit("ENVIO DE DATOS"); //Solo para simulación
196     //Abre conexión remota mediante socket (valores de ejemplo)
197     if (transmit("AT#SD=1,0,10550,\"www.reg.com\",255,10550,1"))
198         return -1;
199
200     //Configura el mensaje a enviar con los datos recogidos
201     for(j=0;j<17;j++)
202         message[j] = data[l++];
203     num = ftoa(temperatura,&status);
204     for(k=0;k<5;k++)
205         message[j++] = *num++;
206     for(k=0;k<6;k++)
207         message[j++] = data[l++];
208     num = ftoa(ana,&status);
209     for(k=0;k<4;k++)
210         message[j++] = *num++;
211     while(data[l] != '\0')
212         message[j++] = data[l++];
213     message[j++] = dig;
214     message[j++] = CTRL_Z;
215     message[j] = '\0';
216     if (transmit(message))    //Envía el mensaje conformado
217         return -1;
218
219     if (transmit("AT#SH=1")) //Cierra el socket
220         return -1;
221     CLRWDI();
222     return 0;
223 }
    
```

Ilustración 29. Función sendData

- **reset.** Envía un pulso de reset mediante hardware de 250 μ s de duración (pulso mínimo 200 μ s).

```

225 //Resetea el módem
226 void reset(){
227     PORTAbits.RA3 = 0b0;    //Resetea módem si error
228     delay_us(250);
229     PORTAbits.RA3 = 0b1;
230     config = 0;
231     //transmit("RESET");    //Solo para simulación
232 }
    
```

Ilustración 30. Función reset

- **main.** Programa principal, se encarga en primer lugar de la configuración de sus periféricos, posteriormente comprueba la variable global 'config' no volátil, que indica si el módem ha sido configurado en alguna ocasión, en caso negativo, llama a la función configModem para su configuración, si error, llama a la función reset y vuelve a configurar el módem. Una vez configurado el módem cíclicamente, en cada overflow de TIMER1, sondea el estado del módem para verificar que se encuentra conectado a la red. En caso contrario resetea vía software y si error también vía hardware. Si el estado del módem es correcto, verifica el número de TIMER1 overflow transcurridos de forma que cada minuto lea todas las entradas y envía los datos al módem mediante la función sendData, si la función devuelve un error resetea el módem.

Una vez finalizadas estas tareas se pasarán tanto el módem como el micro a modo de bajo consumo, estado en el que permanecerán hasta la próxima interrupción que será determinada por el TIMER1 overflow configurado en un tiempo aproximado de 570 ms.

```

239 void main() {
240     char dig; //Carga entrada digital
241     float temp, ana; //Carga entradas analógicas
242
243     chipInit(); //Inicializa el micro
244     while(1){
245         if(!config){
246             while(configModem()){ //Configura el módem
247                 reset(); //Resetea módem si error
248             }
249             config = 1;
250         }
251         DTR = 0b1; //Desactiva bajo consumo del módem
252         while(!CTS) //Espera módem listo para recibir comandos
253             continue;
254
255         //Consulta el estado del módem
256         //transmit("PETICION DE ESTADO"); //Solo para simulación
257         if (transmit("AT+CGREG?") != 5){ //OJO MODIFICAR 0 POR 5
258             //strcpy(message, "ATZ0");
259             if (transmit("ATZ0")) //Reset módem vía software
260                 reset(); //Resetea módem vía hardware
261             continue;
262         }
263         if (transmit("AT+CGREG?") != 5){ //OJO MODIFICAR 0 POR 5
264             //strcpy(message, "ATZ0");
265             if (transmit("ATZ0")) //Reset módem vía software
266                 reset(); //Resetea módem vía hardware
267             continue;
268         }
269         //Envía datos ~60 s
270         if(++i >= CONT_TIMER1_OVER){
271             /* La temperatura corresponde al valor leído por la constante de
272              * temperatura (0,114)*Vin + 13 °C (temperatura a 0V)
273              */
274             temp = analogical(0)*CONST_TEMP + TEMP_MIN;
275             delay_us(5); //Espera > 2Tad antes de próxima lectura
276
277             ana = analogical(4)*CONST_ANALOG;//Lee el canal analógico 4 de 0-10V
278
279             if(!PORTAbits.RA1 //Lee la entrada digital
280                 dig = 0x55;
281             else
282                 dig = 0xAA;
283
284             if(sendData(dig, temp, ana)){//Envía los datos recogidos
285                 reset(); //Reset si error
286                 continue;
287             }
288             i = 0;
289         }
290         DTR = 0b0; //Activa bajo consumo del módem
291         SLEEP();
292     }
293 }

```

Ilustración 31. Función main

En la Ilustración 32 se muestra un gráfico de dependencias entre las diferentes funciones tal como se ha explicado.

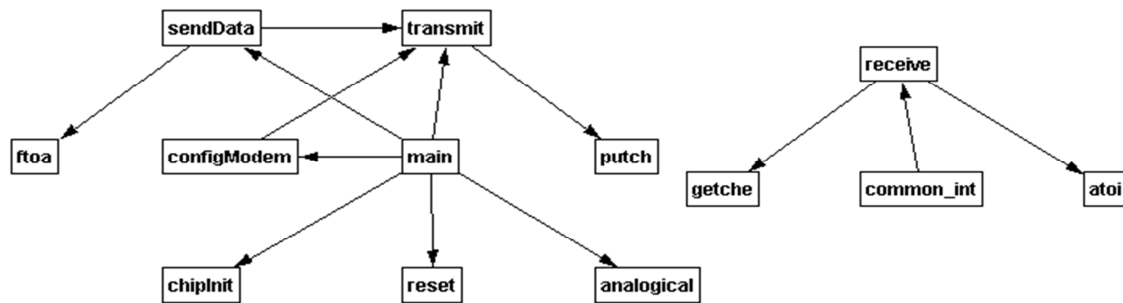


Ilustración 32. Gráfico de funciones

4.3.1. Pruebas de funcionamiento

Una vez desarrollado el circuito, es necesario realizar las pruebas de verificación para comprobar que realmente el programa se comporta tal como se ha diseñado.

Para ello, comprobaremos que el funcionamiento sin errores externos es correcto. Mediante el simulador disponible en MPLAB configuramos respuestas afirmativas del módem a todos los mensajes enviados. Además debemos controlar las entradas CTS y DTR para indicar que el módem está listo.

En la Ilustración 33 observamos que los mensajes enviados para la configuración del módem son correctos.

```

Simulador x  UART 1 Output x  Simulador6 (Build, Load, ...) x
ATV0
AT+CFUN=5
AT+CGDCONT=1,"IP","APN","10.10.10.10",0,0
AT+SGACT=1,1
AT+CGCLASS="A"
AT+CGATT=1
AT+SCFG=1,1,300,9,600,50
AT&W0
  
```

Ilustración 33. Configuración del módem

El programa continúa enviando peticiones de estado cada TIMER1 *overflow* y transcurrido 1 minuto enviará los datos recogidos tal como se muestra en la Ilustración 34.

```

Simulador x  UART 1 Output x  dbenitode (Build, Load, ...) x
AT+CGREG?
AT+CGREG?
AT#SD=1,0,10550,"www.reg.com",255,10550,1
AT#SSEND=1 >TEM: 18.18 ANA: 0.00 DIG: U
AT#SH=1
AT+CGREG?
AT+CGREG?
  
```

Ilustración 34. Envío datos monitorizados

Este ciclo se repetirá indefinidamente. A continuación es necesario verificar que las señales monitorizadas son convertidas a su valor equivalente de forma satisfactoria. En el apartado “3.1 Circuito adaptación de temperatura” quedó reflejado que la señal recogida tenía un valor mínimo de 18,18 °C con un fondo de escala de 120 °C. La señal analógica 0-10 V se traducirá a estos márgenes, mientras que la señal digital se convertirá en un byte con valores 0x55 (‘U’ en ASCII) para ‘0’ lógico y 0xAA (‘*’ en ASCII) para ‘1’ lógico.

Dado que las fórmulas de conversión de las señales analógicas son lineales, bastará con verificar el valor obtenido en el fondo de escala tal como se muestra en la Ilustración 35, así como el valor mínimo ya indicado en la Ilustración 34.

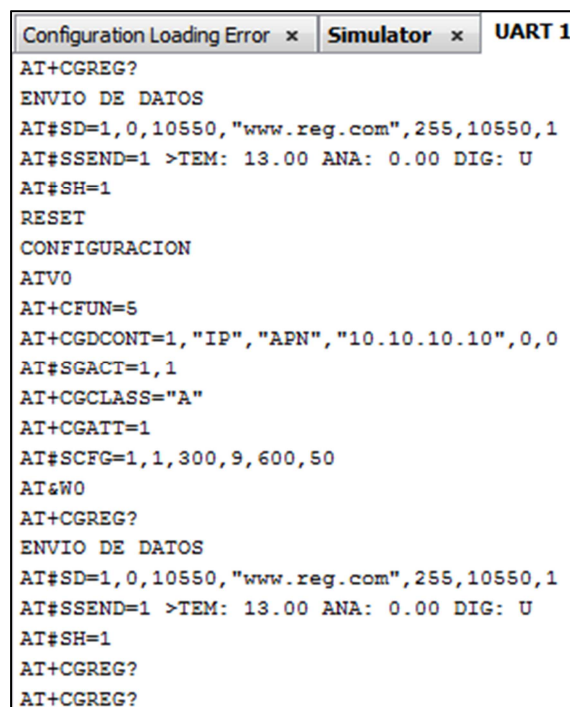


```

Simulator x UART 1 Output x dbenitode (Build, Load, ...) x
AT+CGREG?
AT+CGREG?
AT#SD=1,0,10550,"www.reg.com",255,10550,1
AT#SSEND=1 >TEM: 120.0 ANA: 10.0 DIG: U
AT#SH=1
AT+CGREG?
AT+CGREG?
    
```

Ilustración 35. Envío datos monitorizados II

Por último, verificamos que a falta de respuesta del módem o respuesta negativa, el micro resetea el módem y vuelve a configurarlo indefinidamente hasta que la respuesta sea correcta. Para ello, introduciremos algunos mensajes como marcas que nos indicarán cuando se envía una orden de reset vía software (ATZ0), vía hardware (RESET), así como la reconfiguración (CONFIGURACIÓN) y envío de datos (CONFIGURACIÓN).



```

Configuration Loading Error x Simulator x UART 1
AT+CGREG?
ENVIO DE DATOS
AT#SD=1,0,10550,"www.reg.com",255,10550,1
AT#SSEND=1 >TEM: 13.00 ANA: 0.00 DIG: U
AT#SH=1
RESET
CONFIGURACION
ATVO
AT+CFUN=5
AT+CGDCONT=1,"IP","APN","10.10.10.10",0,0
AT#SGACT=1,1
AT+CGCLASS="A"
AT+CGATT=1
AT#SCFG=1,1,300,9,600,50
AT&W0
AT+CGREG?
ENVIO DE DATOS
AT#SD=1,0,10550,"www.reg.com",255,10550,1
AT#SSEND=1 >TEM: 13.00 ANA: 0.00 DIG: U
AT#SH=1
AT+CGREG?
AT+CGREG?
    
```

Ilustración 36. Reset módem

Capítulo 5. Circuito Fuente de Alimentación

Toda vez que los diferentes circuitos necesarios para el funcionamiento han sido diseñados, es necesario alimentarlos a las tensiones requeridas y teniendo en cuenta los consumos de cada uno de ellos.

A lo largo de este capítulo se calcularán los consumos totales del dispositivo tanto máximos como nominales que nos ayudarán a diseñar el circuito de alimentación capaz de soportar cualquier pico de corriente que se presente con la mayor eficiencia posible.

5.1. Cálculo de tensiones y corrientes

En el diseño del dispositivo se ha tenido en cuenta en todo momento la unificación de tensiones que ayuden a simplificar la implementación de la fuente de alimentación requerida. De esta forma, a excepción de los AO INA333 que serán alimentados a 5,5 V, el resto del circuito requiere una alimentación de 5 V lo que ayudará a conseguir un diseño de mayor eficiencia que para una fuente multi-tensión.

A continuación presentamos la medida de consumos máximos que presentará el circuito, donde como se puede observar, prácticamente la totalidad del consumo es debido al módem GPRS.

CONSUMOS MÁXIMOS DEL DISEÑO			
Dispositivo	Tensión (V)	Consumo (mA)	Potencia (mW)
Módem GPRS/3G	5	397	1985
Microcontrolador PIC16F88		1,8	9
Circuito de temperatura		~1	5
Circuito analógico 0-10 V ¹		~0	0
Circuito digital		0,045	0,23
TOTAL		~400	2000

Tabla 7. Consumos máximos

Para realizar este cálculo, se ha considerado las características técnicas tanto del módem como del microcontrolador. El resto de circuitos, se han considerado las peores condiciones según los cálculos de componentes de cada uno de ellos.

Los consumos medios serán considerados de igual forma mediante tablas para el módem y micro, mientras que el resto de circuitos se tomará en consideración un periodo del 50% entre las condiciones más favorables y más desfavorables del circuito.

¹ Se considera nula ya que el AO se alimentará de forma independiente y el divisor resistivo tiene un consumo del orden de nano amperios.

CONSUMOS NOMINALES DEL DISEÑO			
Dispositivo	Tensión (V)	Consumo (mA)	Potencia (mW)
Módem GPRS/3G	5	173	865
Microcontrolador PIC16F88		1,5	7,5
Circuito de temperatura		~1	5
Circuito analógico 0-10 V ²		~0	0
Circuito digital		0,023	0,12
TOTAL		~176	878

Tabla 8. Consumos nominales

5.2. Presentación del diseño escogido

(16) Para alimentar el circuito se ha optado por un montaje reductor de tensión síncrono mediante el circuito integrado LM20333 de Texas Instrument. Este montaje está basado en hacer circular a través de una bobina en serie con la carga una corriente procedente de la señal de entrada de forma conmutada a

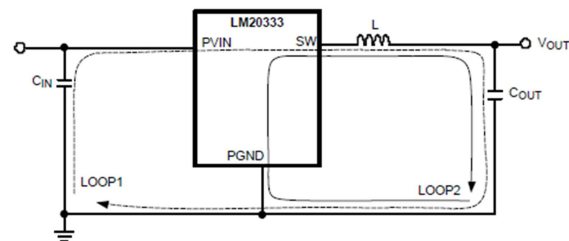


Ilustración 37. LM20333 lazos de corriente

través de un transistor tipo NMOS de Rds-on muy baja. Cuando este transistor conmuta abriendo el lazo de corriente, un segundo transistor hace recircular la carga de la bobina por el circuito a alimentar de forma controlada manteniendo la tensión de salida constante.

Algunas de las características del circuito integrado LM20333 por las que ha sido elegido son las siguientes:

- Amplio rango de tensión de entrada entre 4,5 y 36 V
- Corriente de salida hasta 3 A
- Alta eficiencia de hasta el 94%
- Salida auxiliar mediante regulador de tensión a 5,5 V
- Salida de tensión ajustable desde 0,8 V
- Señal digital de indicación de tensión de salida OK
- Frecuencia de conmutación regulable de 200 a 1500 KHz

Un montaje típico de este circuito integrado se muestra en la Ilustración 38, a partir de la cual pasaremos a explicar cada uno de los componentes auxiliares para su funcionamiento.

² Se considera nula ya que el AO se alimentará de forma independiente y el divisor resistivo tiene un consumo del orden de nano amperios.

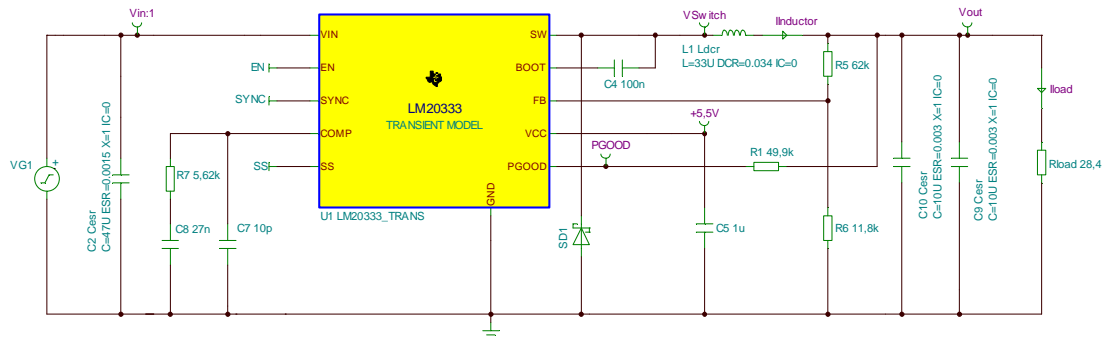


Ilustración 38. Circuito fuente de alimentación

La bobina L1 es indispensable para el funcionamiento del circuito, haciendo conmutar la señal de entrada y la carga con dicha bobina para mantener estable la señal de salida. Los condensadores C9 y C10 disminuyen el rizado de la tensión de salida, mientras que el condensador C2 hace lo propio con la tensión de entrada para mejorar la estabilidad del circuito.

Las resistencias R5 y R6 proveen la tensión de realimentación formando un divisor de tensión equivalente a la tensión deseada. R1 actúa como resistencia de *pull-up* para la señal de salida PGOOD que actuará como reset mientras la salida no sea estable.

El condensador C4 es cargado durante el periodo de recirculación de la bobina a la tensión de Vcc (5,5 V) mediante un diodo interno para facilitar la conmutación en el siguiente periodo.

C7, C8 y R7 forman el circuito de compensación de lazo para mejorar los requisitos de rendimiento manteniendo una adecuada estabilidad.

Por último, el pin EN (*enable*) suele ser utilizado para habilitar el funcionamiento a partir de un determinado nivel de tensión, SYNC modifica la frecuencia de conmutación de 250 KHz a 1,5 MHz, útil para evitar emitir señales en rangos de frecuencia no deseados, y SS/TRACK, a través de un condensador a masa modifica el retardo en la conexión de salida, por defecto de 1 ms.

Por último, el diodo *schotty* SD1 facilita la recirculación de la corriente de bobina durante el tiempo de guarda, 40 μ s, entre la conducción de ambos transistores, ya que es mucho más rápido que el diodo interno del propio transistor.

5.3. Cálculo de componentes y validación del diseño

En la Ilustración 38 se muestra una solución del circuito aportada desde la aplicación Webench Design Center de Texas Instrument (17), no obstante, a continuación pasarán a analizarse cada uno de los elementos designados para validar su funcionamiento.

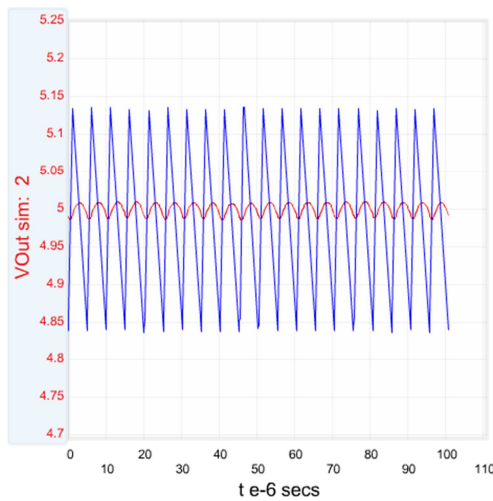
El pico de corriente de rizado máximo en la salida SW no debe superar el límite de corriente del dispositivo (5,2 A). Para calcularlo, debemos conocer previamente la

corriente de rizado (Δi_L) que depende de la frecuencia de conmutación (f_{sw}), el ciclo de trabajo (D) y de la propia bobina.

$$\Delta i_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})D}{L + f_{SW}} = \frac{(24 - 5) \frac{5}{24}}{33 \cdot 10^{-6} + 200 \cdot 10^3} = 0,6 \text{ A} \quad (23)$$

El pico de corriente máximo obtenido estará muy por debajo del límite de corriente, tal como se muestra en la ecuación 24.

$$i_{pm\acute{a}x} = i_{m\acute{a}x} + \frac{\Delta i_L}{2} = 0,4 + 0,3 = 0,7 \text{ A} < 5,2 \text{ A} \quad (24)$$



El condensador de salida filtra la corriente de rizado y provee a la carga para condiciones transitorias. Dependiendo de su valor, su resistencia interna, la corriente de rizado y la frecuencia de conmutación, obtendremos la tensión de rizado a la carga, que en Capítulo 3 condicionamos a un máximo del 1% (50 mV) de la tensión de salida.

Ilustración 39. Rizado VOut vs. Isw

$$\Delta V_{OUT} = \Delta i_L \left[R_{esr} + \frac{1}{8 \cdot f_{SW} \cdot C_{out}} \right] = 0,6 \left[15 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{8 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} \right] = 19,6 \text{ mV} \quad (25)$$

Las resistencias R5 y R6 determinan la tensión de salida mediante un divisor de tensión aplicado a un comparador interno de 0,8V. A los valores recomendados en tablas para 5 V disminuiríamos la tolerancia al 0,1% para mejorar el nivel de tensión obtenido.

R7, C7 y C8 forman el bucle de compensación para mejorar la estabilidad del circuito ante cualquier perturbación. Consideraremos que el margen de fase a ganancia unidad debe ser mayor a 45° mientras que el margen de ganancia a 180° deberá superar los 10 dB.

Mediante simulación, verificamos que el margen de fase se encuentra entorno a 85° y 80° para valores de carga nominal y máxima respectivamente y que el margen de ganancia está por encima de 50 dB para corrientes nominales y 20 dB para la corriente máxima tal como se muestra en las gráficas siguientes.

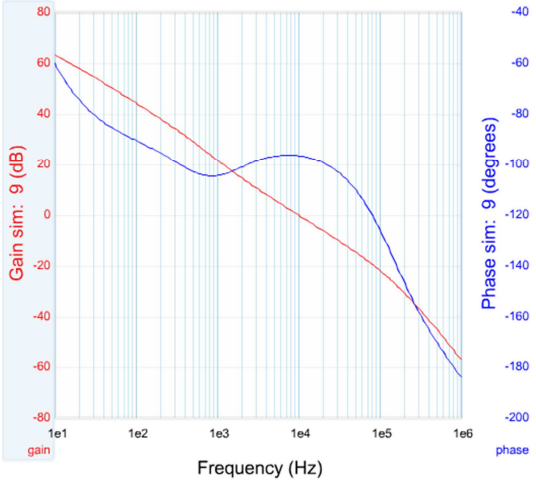


Ilustración 41. Bode carga nominal

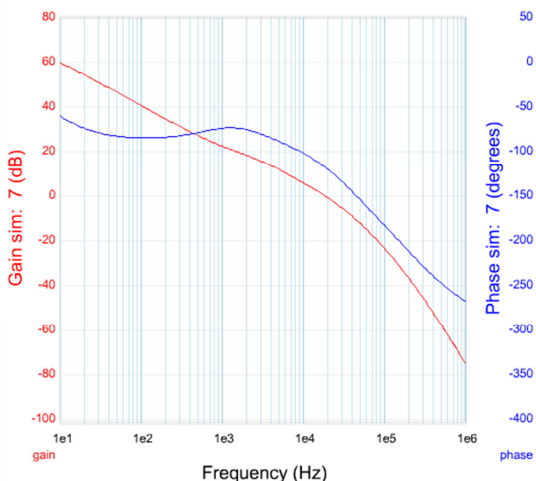


Ilustración 40. Bode carga máxima

Por último, a continuación se muestra la eficiencia del circuito para carga nominal y carga máxima prevista.

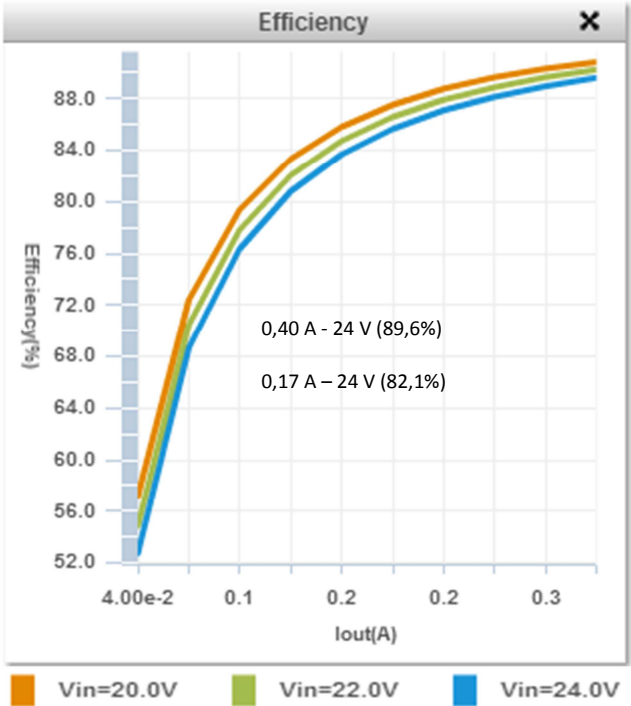


Ilustración 42. Eficiencia fuente alimentación

Capítulo 6. Printed Circuit Board

Concluida la fase de diseño, llega el momento de elaborar la fabricación del producto. Para ello utilizaremos la aplicación CadStar para el modelado de PCB, donde se tendrán en cuenta tanto las características de los distintos componentes a ensamblar, así como las recomendaciones de fabricación de cada uno de ellos.

Entre las características constructivas de los diferentes componentes, sin duda, el que más destaca y condicionará el diseño de la placa es el módem, el cual prevé de un socket universal para los diferentes modelos del fabricante y que dispone de conexión mediante pines soldables.

(18) Dado el gran tamaño del módem, se considera utilizar la misma superficie que este ocupa para el diseño de la placa, de manera que ambas formen un montaje de doble placa tipo sándwich. Además, en lugar de soldar ambas placas se considerará utilizar un zócalo mediante tiras de pines que facilite el mantenimiento del sistema.



Ilustración 43. Zócalo

No obstante, debido que algunos de los componentes presentan una altura mayor a la unión de ambas placas (la tira de pines utilizada tendrá una altura por encima de placa de 6,5mm) será necesario prolongar la PCB para albergar estos componentes (ver anexos A y B):

- **C6.** Condensador de entrada al circuito de alimentación.
- **L1.** Bobina de conmutación de salida al circuito de alimentación.
- **X1, X2, X3, X4 y X5.** Conectores de los sistemas de alimentación externa y circuitos de supervisión.

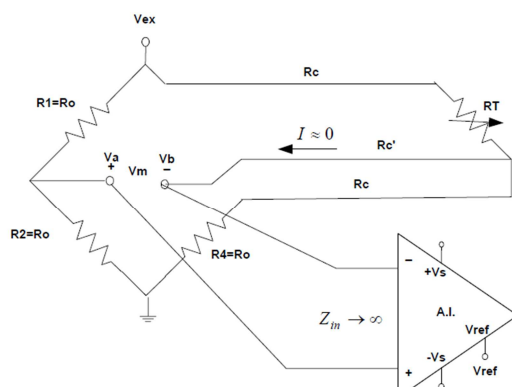


Ilustración 44. Conexión PT100

Otro aspecto a tener en cuenta es la conexión de la sonda PT100, que será realizada a 3 hilos, compensando así la caída de tensión en los cables, para lo cual es necesario que ambos cables Rc tengan las mismas propiedades físicas.

(19) Además de las consideraciones mecánicas para el desarrollo de la PCB, existen otras consideraciones eléctricas a tener en cuenta para evitar la emisión de interferencias electromagnéticas (EMI):

- Seleccionar una fuente conmutada lejos de las frecuencias de trabajo del módem (en nuestro caso 200 KHz).

- Mantener las pistas que trabajen a alta frecuencia tan corta como sea posible.
- Desacoplar la alimentación de masa mediante condensadores de desacoplo en todos los integrados situados tan cerca como sea posible.
- Utilizar si es posible un diseño de cuatro capas con dos planos internos de masa y alimentación con el menor número de pistas posibles.
- Minimizar el número de vías en pistas de alta frecuencia

También es necesario tener en cuenta aquellas pistas que tendrán un elevado paso de corriente, como la salida de la fuente de alimentación donde puede atravesar hasta 400 mA, para lo cual, si consideramos un paso de corriente máximo de 11 A/mm² y una capa de cobre de 35 micras, el ancho de pista resulta:

$$\text{Ancho mín} = \frac{0,4}{11 \cdot 35 \cdot 10^{-3}} \cong 1 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

A continuación se muestra una representación del resultado que tendrá la fabricación del prototipo diseñado por ambas caras.

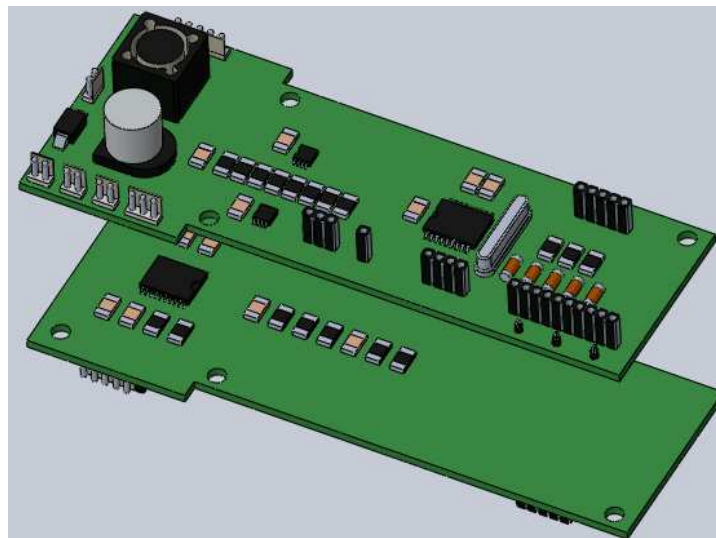


Ilustración 45. Diseño PCB

La documentación generada para la fabricación del circuito se enumera como sigue:

- **BottomElec.spl** – Capa de pistas parte inferior
- **BottomSolder.spl** – Capa de soldaduras parte inferior
- **BottomSilk.spl** - Serigrafía parte inferior
- **TopElec.spl** – Capa de pistas parte superior
- **TopSolder.spl** – Capa de soldaduras parte superior
- **TopSilk.spl** – Serigrafía parte superior
- **GNDElec.spl** – Plano de masas interior
- **VCCElec.spl** – Plano de alimentación interior
- **DrillPlated.spl** – Especificación de taladros plateados (vías y componentes)
- **DrillUnplated.spl** – Especificación de taladros no plateados (fijación)
- **Placement.rep** – Coordenadas de posición de componentes

Capítulo 7. Conclusiones y ampliaciones

Para la realización de este proyecto se ha optado por una organización dirigida a objetivos, dividiendo estos objetivos en tareas y actividades que han permitido acometer una abstracción de cada una de las partes sobre la solución global. Gracias a ello, se ha conseguido realizar una planificación del proyecto que ha resultado acercarse considerablemente a la ejecución del mismo.

Las mayores desviaciones producidas en la planificación se han encontrado en una demasiado optimista previsión sobre los conocimientos a adquirir en la primera parte de la ejecución del proyecto. De esta forma, la adaptación al programa de simulación TINA-TI produjo una pequeña desviación en el diseño del circuito de temperatura que pudo ser corregido gracias a las lecciones aprendidas en el diseño del resto de circuitos. Además el hecho de trabajar mediante entregas parciales propició el análisis de la realización del proyecto, adaptando los tiempos de ejecución, teniendo presente los requisitos de nuevos conocimientos a adquirir para el resto de tareas.

En la planificación del proyecto, también se tuvieron en cuenta ciertos riesgos que pudieran ocasionar retrasos o incumplimientos en las entregas. Gracias al análisis de estos riesgos, se ha podido prever soluciones a todos ellos que han favorecido la consecución de cada hito.

En cuanto a posibles ampliaciones del proyecto, sin duda el lado fuerte del diseño es la inclusión del módem GPRS/3G de MultiTech System, que permite la comunicación a través de Internet sin dependencia de ningún otro dispositivo como puede ocurrir en soluciones Wifi o cableadas, siendo además intercambiable por nuevos modelos que implementen nuevas tecnologías.

El resto del circuito, obviamente, es una pequeña muestra de las capacidades que un diseño de estas características puede realizar. De esta forma, puede optarse por diseñar un dispositivo muy concreto para realizar una tarea determinada (como puede ser una estación de medición meteorológica) donde lo que se busca es el diseño de los circuitos específicos que puedan abaratar el coste del producto, así como una mejora en el consumo del circuito.

Otra opción es adaptar el circuito para distintas funciones incorporando el mayor número de señales posibles tanto para sensores como actuadores. En este sentido, sería posible incorporar al circuito un mayor número de señales analógicas y digitales ya sea multiplexando las señales mediante *latch*, modificando el micro utilizado o bien adaptar cada señal para diferentes tipos –por ejemplo, basta con insertar una resistencia de 500 Ω a la entrada del circuito 0-10 V para que se convierta en un circuito de medida de corriente 0-20 mA-.

Capítulo 8. Glosario

Discreta adj. En electrónica, característica de una señal eléctrica que toma unos valores determinados.

Embebido tr. Dicho de una cosa: Contener, encerrar dentro de sí a otra.

Encoder m. Dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital.

Ganancia m. En electrónica, capacidad de amplificación o disminución de un circuito o componente sobre una señal eléctrica.

Gerber m. En electrónica, archivos para la fabricación de un circuito electrónico.

Impedancia f. En electrónica, relación entre la tensión alterna aplicada a un circuito y la intensidad de la corriente producida. Se mide en ohmios.

Latch m. En electrónica, dispositivo capaz de mantener a su salida los valores de la entrada dispuestos en un momento dado.

Layout m. En electrónica, disposición de componentes y rutas sobre un diseño o disposición de los elementos que forman un equipo.

Offset m. Compensación para equilibrar una señal sobre una influencia opuesta no deseada.

Piezoeléctrico. adj. Perteneciente o relativo a la piezoelectricidad que consiste en la propiedad que tienen ciertos cristales de polarizarse eléctricamente cuando son sometidos a presión.

Polarizar intr. Suministrar una tensión fija a alguna parte de un aparato electrónico.

Pull-up m. En electrónica, dispositivo de polarización de una señal a niveles de alimentación.

Transductor m. Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

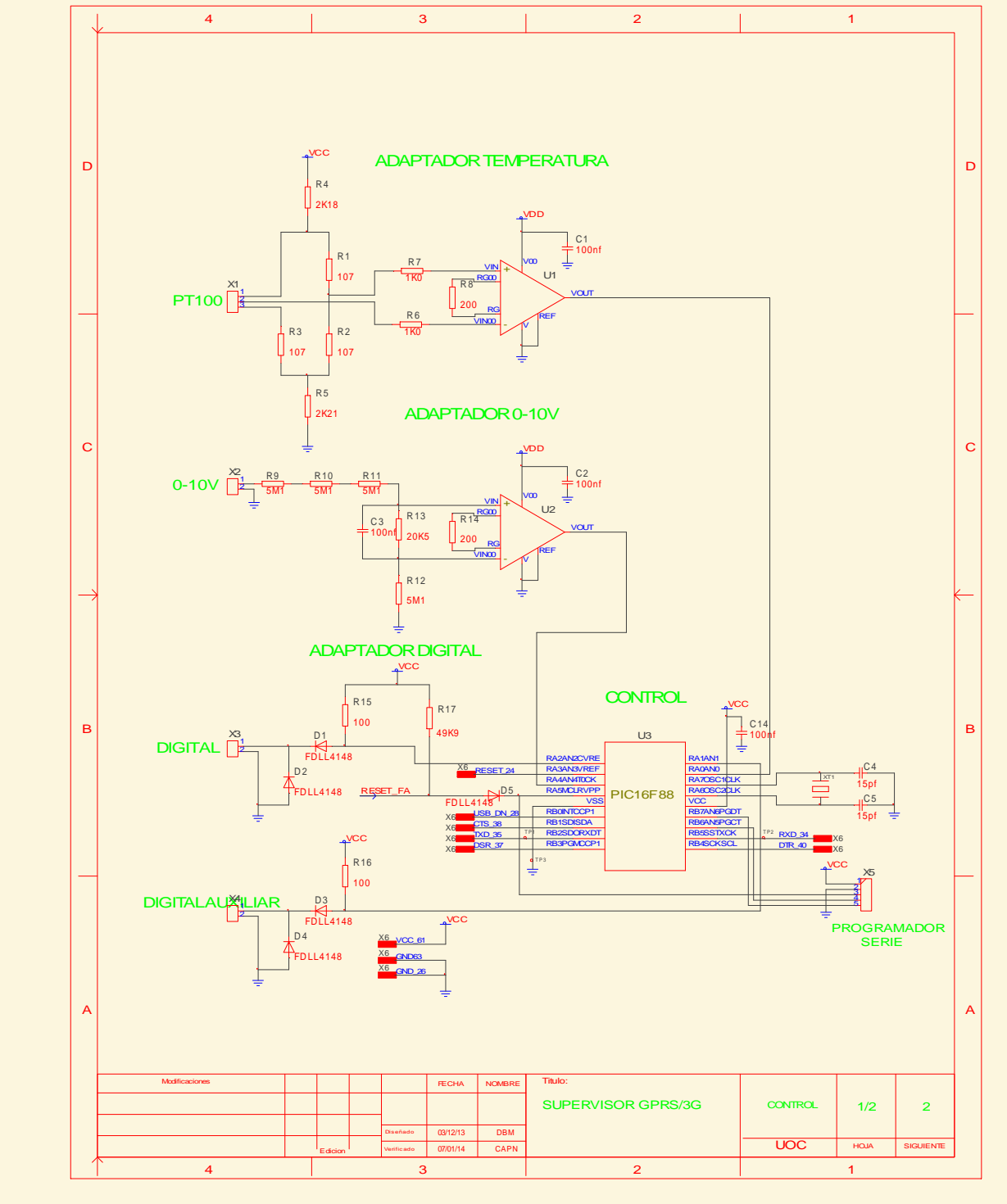
Capítulo 9. Bibliografía

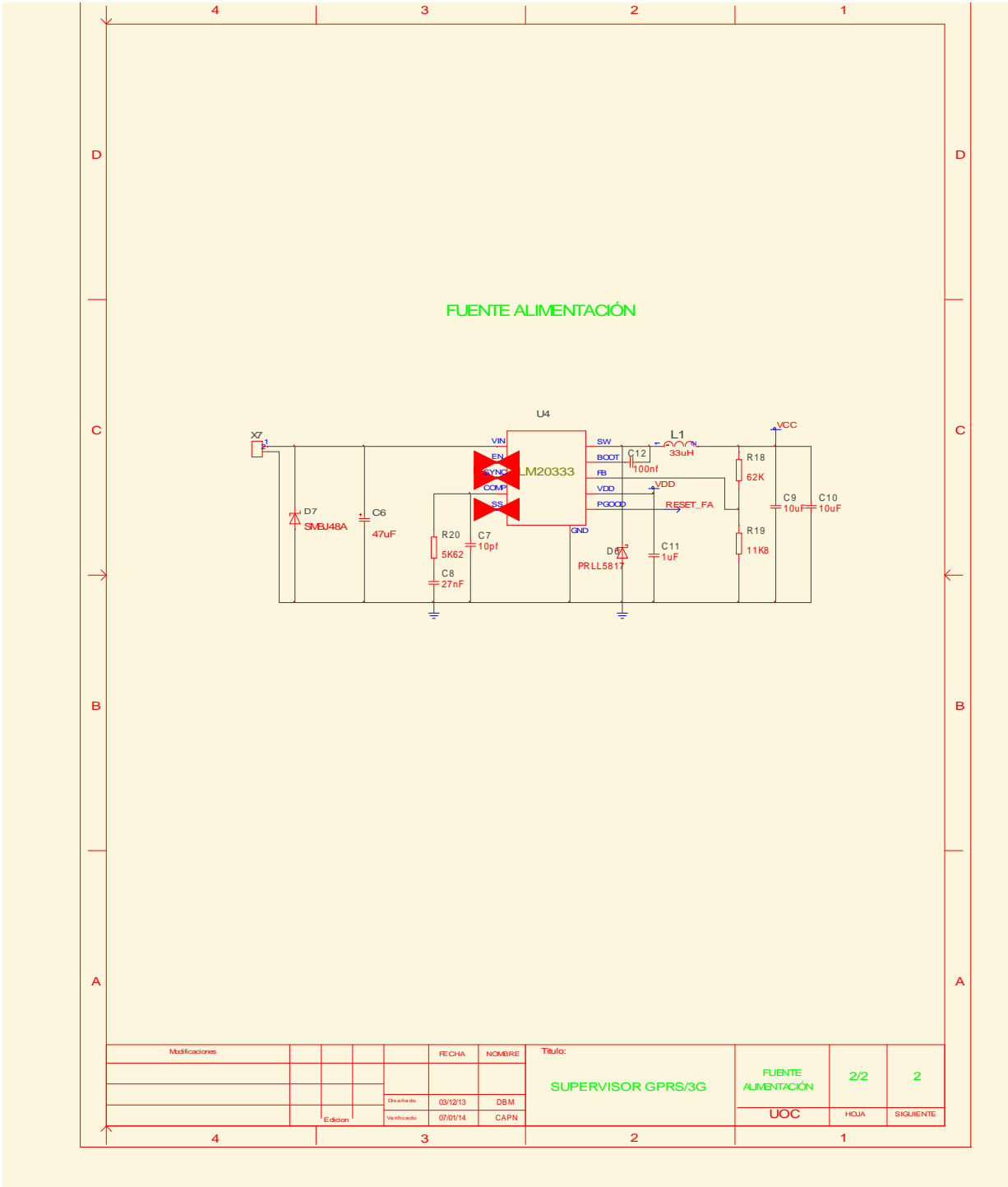
1. **Universitat Oberta de Catalunya.** Diseño de un supervisor remoto de señales vía GPRS/3G. *89.038- Trabajo Fin de Carrera - Aplicaciones Electromagnéticas y Electrónicas.* 2013-2014.
2. **Rodríguez, José Ramón y Mariné Jové, Pere.** *Gestión de proyectos.* s.l. : UOC. pid_00153547.
3. **Satué Villar, Antonio.** *Redes de Gran Alcance sin Hilos.* s.l. : UOC. P07/89015/00422.
4. **BandaAncha.st.** Frecuencias telefonía móvil. [En línea] Bandaancha.st, 11 de 05 de 2013. [Citado el: 05 de 10 de 2013.] http://wiki.bandaancha.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil.
5. **Multi-Tech System Inc.** *HSPA+ AT Commands Reference Guide.* s.l. : Multi-Tech System Inc., 2013. S000528C.
6. **Wikimedia Foundation, Inc.** Hayes command set. [En línea] Wikimedia Foundation, Inc., 31 de 08 de 2013. [Citado el: 07 de 10 de 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/Hayes_command_set.
7. **Mar, Canal Roselló.** *Aplicaciones electromagnéticas y electrónicas.* s.l. : Universitat Oberta de Catalunya. PID_00163586.
8. **Texas Instrument.** Micro-Power (50µA), Zero-Drift, Rail-to-Rail Out. *Instrumentation Amplifier.* [En línea] 10 de 2008. [Citado el: 21 de 10 de 2013.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina333.pdf>.
9. **Pérez Navarro, Antoni.** Introducción a las medidas y al cálculo de errores. [aut. libro] Antoni Pérez Navarro y Mar Roselló Canal. *Aplicaciones electromagnéticas y electrónicas e introducción al cálculo de errores.* Barcelona : Eureka media, SL, 2010.
10. **Chaves Campos, Pablo Antonio.** Sensores analógicos utilizados en la Automatización Industrial. [En línea] 12 de 2008. [Citado el: 22 de 10 de 2013.]
11. **Muñoz Medina, Olga.** Filtrado Analógico. *Fundamentos Tecnológicos II.* Barcelona : Eureka Media, SL, 2006.
12. **Fundación Wikimedia, Inc.** Adquisición de datos. [En línea] 15 de 05 de 2013. [Citado el: 24 de 10 de 2013.] http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos.
13. **Fairchild Semiconductor.** FDLL4148 Datasheet. [En línea] 2002. [Citado el: 23 de 10 de 2013.] <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/51379/FAIRCHILD/FDLL4148.html>.
14. **Microchip Technology Inc.** . Microchip Advanced Part Selector. [En línea] 2013. [Citado el: 05 de 11 de 2013.] <http://www.microchip.com/maps/microcontroller.aspx>.

15. **Microchip Technology Inc.** PIC16F87/88 Data Sheet. [En línea] 2005.
<http://ww1.microchip.com/downloads/jp/DeviceDoc/30487c.pdf>.
16. **Texas Instruments Incorporated.** LM20333 36V, 3A Synchronous Buck Regulator with Frequency Synchronization. [En línea] 2013.
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm20333.pdf>.
17. —. WEBENCH® Design Center. [En línea] Texas Instruments Incorporated.
<http://www.ti.com/ltds/ti/analog/webench/overview.page>.
18. **PRECI-DIP SA.** SPRING - LOADED CONNECTORS. [En línea]
<http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/preci-dip-1212/pdf/preci-dip-interconnect-components-catalogue.pdf?redirected=1>.
19. **Multi-Tech Systems, Inc.** Universal Socket Developer Guide. [En línea] 02 de 2013.
http://www.multitech.com/en_US/DOCUMENTS/Collateral/manuals/S000342R.pdf.
S000342R.

Capítulo 10. Anexos

A. Esquema Eléctrico





B. Serigrafía y capas eléctricas

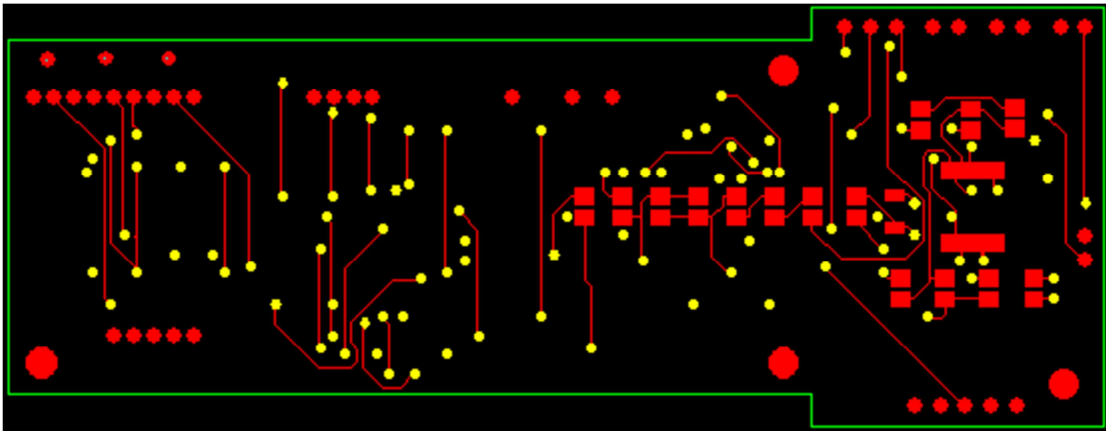


Ilustración 46. PCB bottom elec

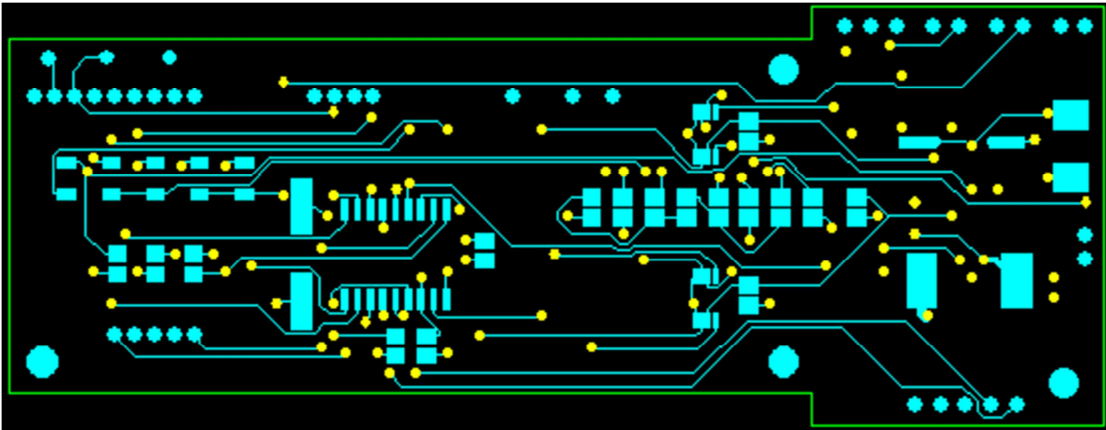


Ilustración 47. PCB top elec

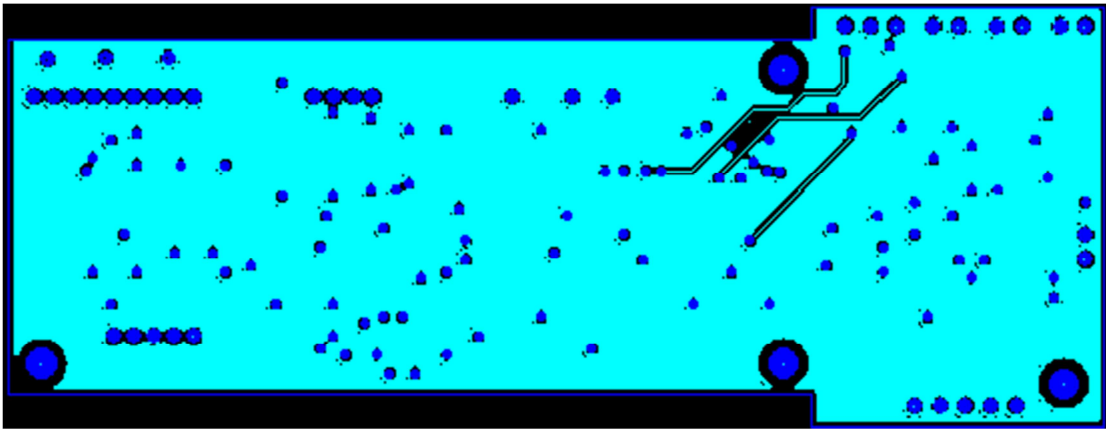


Ilustración 48. PCB gnd elec

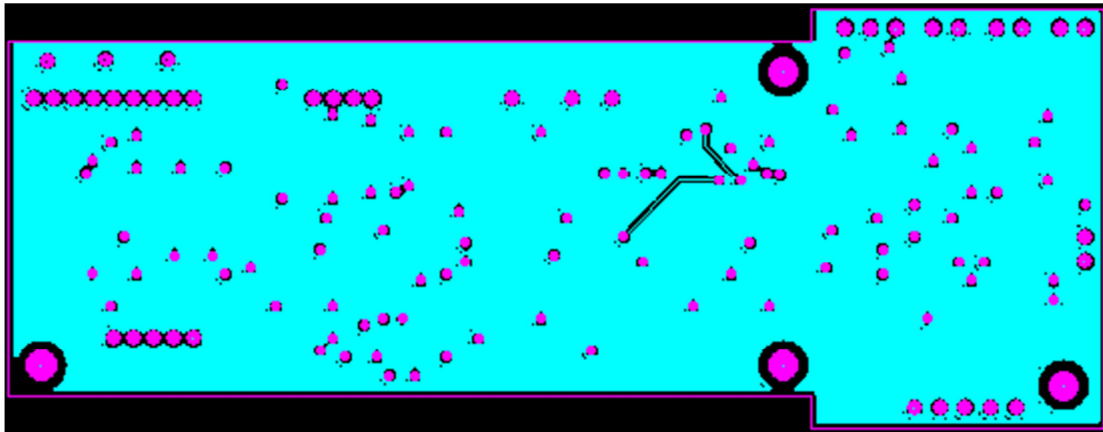


Ilustración 49. PCB vcc elec

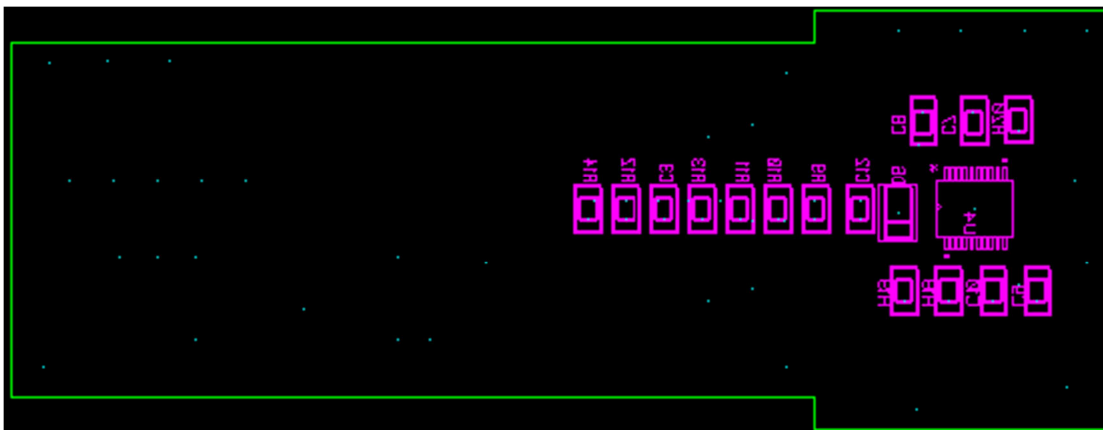


Ilustración 50. PCB bottom silk

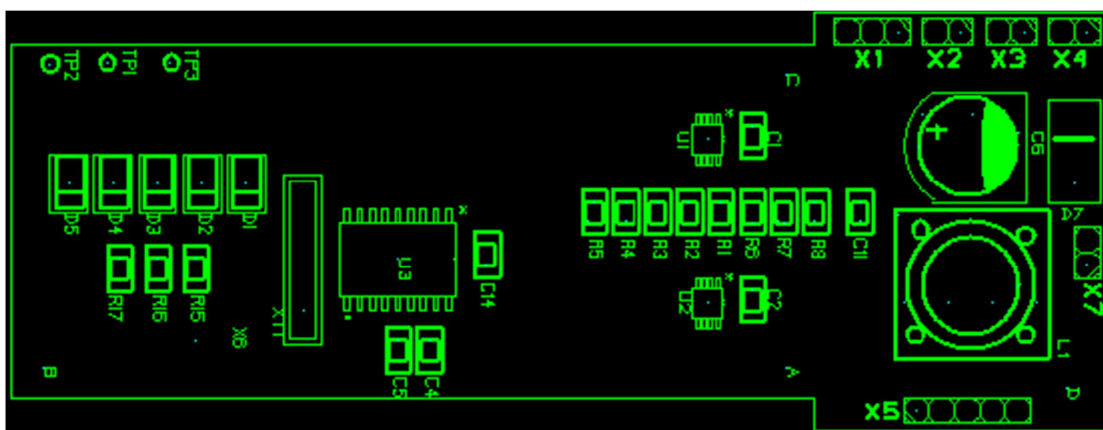


Ilustración 51. PCB top silk

C. Listado de componentes

Componente	Fabricante	Referencia	Precio	Descripción	Encapsulado
Temperatura					
R1	Panasonic	ERA6AEB1070V	0,31 €	107 ohm 0,1%, 0,125W	0805
R2	Panasonic	ERA6AEB1070V	0,31 €	107 ohm 0,1%, 0,125W	0805
R3	Panasonic	ERA6AEB1070V	0,31 €	107 ohm 0,1%, 0,125W	0805
R4	Panasonic	ERA6AEB2181V	0,28 €	2K18 ohm 0,1%, 0,125W	0805
R5	Panasonic	ERA6AEB2211V	0,25 €	2K21 ohm 0,1%, 0,125W	0805
R6	Bourns	CR0805-JW-102ELF	0,01 €	1K ohm 5%, 0,125W	0805
R7	Bourns	CR0805-JW-102ELF	0,01 €	1K ohm 5%, 0,125W	0805
R8	TE Connectivity	CPF0805B200RE	0,34 €	200 ohm 0,1%, 0,125W	0805
U1	Texas Instruments	INA333AIDGKTG4	4,07 €	Lo Power, Precision Instrument Amplifier	MSOP
C1	AVX	08055G104ZAT2A	0,04 €	100nF 50V	0805
Analógico 0-10 V					
R9	Vishay	CRCW08055M10FKEA	0,01 €	5M1 ohm 1%, 0,125W	0805
R10	Vishay	CRCW08055M10FKEA	0,01 €	5M1 ohm 1%, 0,125W	0805
R11	Vishay	CRCW08055M10FKEA	0,01 €	5M1 ohm 1%, 0,125W	0805
R12	Vishay	CRCW08055M10FKEA	0,01 €	5M1 ohm 1%, 0,125W	0805
R13	TE Connectivity	RN73C2A20R5BTDF	1,05 €	20K5 ohm 0,1%, 0,125W	0805
R14	TE Connectivity	CPF0805B200RE	0,34 €	200 ohm 0,1%, 0,125W	0805
U2	Texas Instruments	INA333AIDGKTG4	4,07 €	Lo Power, Precision Instrument Amplifier	MSOP
C2	AVX	08055G104ZAT2A	0,04 €	100nF 50V	0805
C3	AVX	08055G104ZAT2A	0,04 €	100nF 50V	0805
Digital					
R15	Panasonic	ERJT06J104V	0,09 €	100K ohm 5%, 0,125W	0805
D1	Fairchild Semiconductor	FDLL4148X	0,06 €	Diode Ultra Fast 100V 0.2A	LL 34
D2	Fairchild Semiconductor	FDLL4148X	0,06 €	Diode Ultra Fast 100V 0.2A	LL 34
Digital 2					
R16	Panasonic	ERJT06J104V	0,09 €	100K ohm 5%, 0,125W	0805
D3	Fairchild Semiconductor	FDLL4148X	0,06 €	Diode Ultra Fast 100V 0.2A	LL 34
D4	Fairchild Semiconductor	FDLL4148X	0,06 €	Diode Ultra Fast 100V 0.2A	LL 34
Control					
X1	AKER	CAA-3.6864-18-3050-X	0,50 €	Crystal SMD 3.6864MHz	HC-49-US
C4	Kemet	C0805C150J5GACTU	0,03 €	15pF 50V	0805
C5	Kemet	C0805C150J5GACTU	0,03 €	15pF 50V	0805
D5	Fairchild Semiconductor	FDLL4148X	0,06 €	Diode Ultra Fast 100V 0.2A	LL 34
U3	Microchip	PIC16F88-I/SO	1,59 €	PIC16F88-I/SO	SOIC-18

Componente	Fabricante	Referencia	Precio	Descripción	Encapsulado
Fuente Alimentación					
R17	Vishay	CRCW040249K9FKED	0,01 €	49K9 ohm 1%, 0,125W	0805
R18	Susumu Co Ltd	RR1220P-623-D	0,21 €	62K ohm 0,1% 0,125W	0805
R19	Vishay	CRCW040211K8FKED	0,21 €	11K8 ohm 0,1%	0805
R20	Vishay	CRCW04025K62FKED	0,02 €	5K62 ohm 1% 0,125W	0805
C6	Panasonic	EEE-FC1H470P	0,34 €	47uF 50V ESR	SM RADIAL G
C7	Yageo America	CC0805JRNPO9BN100	0,02 €	10pF 50V	0805
C8	Yageo America	CC0805KRX7R9BB273	0,02 €	27nF 50V	0805
C9	Kemet	C0805C106K8PACTU	0,06 €	10uF 50V ESR 3mohm	0805
C10	Kemet	C0805C106K8PACTU	0,06 €	10uF 50V ESR 3mohm	0805
C11	MuRata	GRM155R61A105KE15D	0,02 €	1uF 10V	0805
C12	AVX	08055G104ZAT2A	0,04 €	100nF 50V	0805
L1	Coilcraft	MSS1210-333MEB	0,81 €	33uH 5,9A DCR	MSS1210
U4	Texas Instruments	LM20333MH	1,85 €	Synchronous Buck Regulator	HTSSOP-20
D6	NXP	PRLL5817	0,31 €	Diodo Schottky	LL 34
D7	Vishay	SMBJ48A	0,29 €	Diodo Supresor	DO-214
Conectores					
X1	TE Connectivity	719-6492P	0,30 €	MTA-156 Vertical Pin Header, 3 way	
X2	TE Connectivity	719-6502P	0,20 €	MTA-156 Vertical Pin Header, 2 way	
X3	TE Connectivity	719-6502P	0,20 €	MTA-156 Vertical Pin Header, 2 way	
X4	TE Connectivity	719-6502P	0,20 €	MTA-156 Vertical Pin Header, 2 way	
X5	TE Connectivity	718-3749P	0,34 €	MTA-156 Vertical Pin Header, 5 way	
X6	PRECI-DIP	821-SS-016-30-015101	1,24 €	Spring-Loaded Connectors	
Módem	MultiTech System	MTSMC-H5 ³	199,46 €	Embedded Cellular Modems	
TOTAL			220,32 €		

³ Requiere conexión de antena mediante conector UFL no incluida.