

Diseño de sensor de alarma inalámbrico

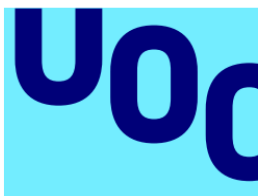
Transmisión en FSK. Banda ISM 868 MHz

Alumno: Ángel Rubén Montero Visent

Tutor: Carlos Gonzalo Moreno Soriano

Trabajo de Fin de Grado

Junio - 2020



Grado en Tecnologías de Telecomunicación
Mención en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación

Resumen

Actualmente, son muchos los dispositivos basados en **sensores**. La Electrónica facilita soluciones de implementación de estos “polifacéticos” componentes en **sistemas electrónicos**. Este Trabajo de Fin de Grado describe, paso a paso, el diseño y caracterización de un circuito, en que el sensor proporciona una señal modulada en el dominio temporal, concretamente la variación de la **temperatura**. La señal es digitalizada directamente por un **microcontrolador**, mediante un temporizador interno. Se analiza, en primer término, la conversión analógica-digital; seguidamente, se programa el “estado de activación y desactivación de **alarma**” (sirena y bombilla) al detectarse un valor determinado de temperatura; y finalmente, la comunicación con la “centralita receptora” se resuelve mediante transmisión digital **FSK** en la **banda ISM 868 MHz**. El trabajo incluye un estudio detallado de la **alimentación** del equipo, adaptando el suministro de la red doméstica a cada una de las etapas del circuito, básicamente, mediante dispositivos rectificadores. Se concluye con la **simulación**, el **montaje** y el **ensamblado** del dispositivo a través de herramientas de software enfocadas en la concepción, diseño y producción de circuitos electrónicos, tales como TINA-TI, MLPAB y EAGLE.

TAGS

Sensor, Microcontrolador, Sistemas electrónicos, FSK, Banda ISM 868 MHz

Abstract

Nowadays, many devices are based on sensors. Electronics provides implementation solutions on electronic systems with these components. This Final Degree Project describes the design and characterization of a circuit, in which the sensor supplies a modulated signal in the time domain, specifically the variation in temperature. The signal is digitized directly by a microcontroller, using an internal timer. Firstly, the analogue-digital conversion is analyzed. Secondly, the "alarm activation and deactivation state" (siren and bulb) are accurately programmed when a specific temperature value is detected. And, finally, FSK digital transmission in the ISM 868 MHz allows communication with the control module. The work includes a detailed study of the equipment's power supply, stepping down alternating voltage of the home network to each of the stages of the circuit using rectifying devices. Simulations and assembly of the invention conclude the work through software tools focused on the project, design and production of electronic circuits, such as TINA-TI, MLPAB y EAGLE.

KEYWORDS

Sensor, Microcontroller, Electronic system, FSK, Band ISM 868 MHz

Índice..... (página)

1. Introducción.....	1
1.1. Justificación y contexto del trabajo.....	1
1.2. Alcance.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Enfoque y método seguido.....	2
1.5. Planificación.....	3
2. Espectro electromagnético. Radiofrecuencia (RF).....	5
2.1. Integración espectral en sistemas electrónicos de comunicación.....	6
2.1.1. Análisis del espectro en sensores de alarma inalámbricos.....	6
2.1.2. Banda ISM. Normativa.....	6
2.2. Banda operacional para el sensor de alarma inalámbrico.....	7
3. Circuito de adaptación de temperatura.....	8
3.1. Etapa detección. Sensor de temperatura.....	8
3.1.1. Elección del sensor.....	8
3.2. Diseño del circuito.....	10
3.2.1. Etapa amplificadora. Componentes.....	11
3.2.2. Esquema básico circuito adaptación temperatura.....	11
4. Circuito de control de salidas.....	12
4.1. Consideraciones de diseño.....	12
4.2. Componentes de salida.....	14
4.3. Esquema básico circuito control de salidas.....	14
5. Microcontrolador.....	15
5.1. Elección del microcontrolador.....	15
5.1.1. Microcontroladores PIC de la compañía MICROCHIP Technology.....	15
6. Diseño de la fuente de alimentación.....	17
6.1. Sistema rectificador.....	17
6.2. Filtro.....	18
6.3. Estabilizador // Regulador de tensión.....	19
6.4. Transformador.....	20
6.4.1. Corriente de suministro.....	20
6.4.2. Elección del transformador.....	20
6.5. Esquema básico fuente de alimentación.....	21
7. Simulaciones.....	22
7.1. Simulación circuito adaptación temperatura.....	22
7.2. Simulación circuito control de salidas.....	23
7.2.1. Circuito de activación sirena.....	23
7.2.2. Circuito de activación bombilla.....	24
7.3. Simulación fuente de alimentación.....	25
7.3.1. Esquemas de simulación.....	25

8. Implementación programa de control.....	31
8.1. Monitoreo de la temperatura - Conversor A~D.....	32
8.1.1. Simulación.....	33
8.2. Activación y desactivación del estado de alarma.....	36
8.2.1. Reloj.....	36
8.2.2. Programa de control.....	37
8.3. Envío de información a la centralita.....	38
9. Módulo de Radiofrecuencia.....	39
9.1. Circuito de transmisión.....	39
9.2. Configuración del transmisor.....	40
9.3. Radiopropagación. Potencia, alcance, interferencias.....	41
9.4. Comunicación serial basada en FSK.....	42
9.4.1. Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK.....	42
9.5. Empaquetado y código de detección de errores.....	44
9.6. Encendido y configuración de pines.....	46
9.7. Antena.....	47
9.7.1. Tipo de antena.....	47
9.7.2. Parámetros de antena.....	47
9.7.3. Elección de la antena.....	48
9.7.4. Circuito de adaptación.....	48
10. Diseño del <i>layout</i> de la placa PCB.....	50
11. Conclusiones y ampliaciones.....	52

I. Bibliografía

II. Anexos

- Anexo I. Diagrama de Gantt
- Anexo II. Código en C para conversor Analógico Digital en MPLAB
- Anexo III. Código en C para Timer0 en MPLAB
- Anexo IV. Código en C para programa de control
- Anexo V. Esquemático circuito Sensor de alarma inalámbrico

Índice de figuras

Figura 1. Encapsulado TO-CAN sensor LM35AH.....	9
Figura 2. Configuración pines sensor LM35AH.....	9
Figura 3. Esquema básico sensor LM35AH.....	9
Figura 4. Voltaje de salida sensor LM35AH.....	9
Figura 5. Amplificador operacional no inversor.....	10
Figura 6. Seguidor de tensión.....	10
Figura 7. Encapsulado y configuración de pines serie LMx58.....	10
Figura 8. Esquema básico circuito adaptación Temperatura.....	11
Figura 9. Circuito con Relé.....	12
Figura 10. Relé electromecánico.....	12
Figura 11. Esquema básico conexión relé.....	13
Figura 12. Transistor BJT NPN.....	13
Figura 13. Diodo series SIA-SIM.....	14
Figura 14. Esquema básico circuito control de salidas.....	14
Figura 15. PIC12LF1840T39A compañía Microchip Technology.....	15
Figura 16. Distribución de pines.....	16
Figura 17. Etapas fuente de alimentación.....	17
Figura 18. Esquema básico puente de diodos.....	17
Figura 19. Puente de diodos gama MBIS a MB8S.....	18
Figura 20. Filtro con condensador.....	18
Figura 21. Condensador electrolítico de aluminio.....	19
Figura 22. Regulador de tensión fijo.....	19
Figura 23. Esquema básico regulador de tensión variable.....	19
Figura 24. Regulador de tensión variable.....	19
Figura 25. Transformador de 230 V a 12 V.....	21
Figura 26. Fusible de cristal.....	21
Figura 27. Esquema básico Fuente Alimentación.....	21
Figura 28. Simulación circuito adaptación para 20 °C.....	22
Figura 29. Simulación circuito activación sirena.....	23
Figura 30. Respuesta del circuito de salida.....	23
Figura 31. Simulación circuito activación bombilla.....	24
Figura 32. Comparativo voltaje entrada salida-bombilla.....	24
Figura 33. Transformador de tensión eficaz de 220 V a 12 V.....	25
Figura 34. Salida del transformador.....	26
Figura 35. Rectificador onda completa.....	26
Figura 36. Comparativa onda rectificada.....	26
Figura 37. Filtro.....	27
Figura 38. Salida filtro.....	27
Figura 39. Rizado.....	27
Figura 40. Bloque alimentación sensor temperatura de 5 V.....	28
Figura 41. Salida del regulador para sensor de temperatura.....	28
Figura 42. Bloque alimentación microcontrolador de 3.6 V.....	29
Figura 43. Salida del regulador para microcontrolador.....	29
Figura 44. Bloque de alimentación resto componentes de 3 V.....	30
Figura 45. Salida del regulador para el resto de los componentes.....	30
Figura 46. Grafo de transición de estados.....	31
Figura 47. Diagrama de flujo.....	32
Figura 48. Diagrama de bloques del ADC.....	32
Figura 49. Registro 10 bits.....	33
Figura 50. Registro ADCON0.....	33

Figura 51. Registro ADCONI.....	33
Figura 52. Registro PCFG de configuración de puertos.....	33
Figura 53. Registro ADCS.....	34
Figura 54. Valores ADCONO.....	34
Figura 55. Valores ADCONI.....	34
Figura 56. Parámetros de entrada - señal analógica.....	35
Figura 57. Representación gráfica niveles de voltaje entrada y salida.....	35
Figura 58. Tabla de salidas en binario para una entrada de 3 V.....	36
Figura 59. Registro OPTION_REG del TIMERO.....	36
Figura 60. Simulación TIMERO.....	37
Figura 61. Código generador de un segundo.....	37
Figura 62. Representación gráfica lectura en cambios de flanco.....	38
Figura 63. Activación señal de alarma en flanco de bajada.....	38
Figura 64. Diagrama de bloques módulo RF.....	39
Figura 65. Modulador FSK por conmutación.....	39
Figura 66. Registro SFR de configuración.....	40
Figura 67. Estatus de transmisión / reposo.....	40
Figura 68. Figuras de compromiso en un enlace de radiofrecuencia.....	41
Figura 69. DA4.....	41
Figura 70. Esquema básico FSK.....	42
Figura 71. Modulación FSK.....	43
Figura 72. Espectro de frecuencias FSK.....	43
Figura 73. Código en C de conversión.....	44
Figura 74. Trama de comunicación sensor-centralita.....	45
Figura 75. Código de paridad simple.....	45
Figura 76. Código en C de generación de la trama.....	45
Figura 77. Código de activación módulo RF.....	46
Figura 78. Código <i>main</i>	46
Figura 79. Antena de chip de cerámica.....	48
Figura 80. Red de adaptación en PI.....	49
Figura 81. Resultado simulación coeficiente de reflexión.....	49
Figura 82. Esquema básico circuito.....	50
Figura 83. LAYOUT.....	51

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de hitos.....	3
Tabla 2. Tabla de riesgos.....	3
Tabla 3. Designaciones de banda CCIR.....	5
Tabla 4. Designación frecuencial de bandas para alarmas inalámbricas.....	7
Tabla 5. Consumo estimado de corriente.....	20
Tabla 6. Resultado simulación.....	22
Tabla 7. Transiciones de estados y salidas.....	31
Tabla 8. Parámetros de evaluación.....	41
Tabla 9. Componentes red de adaptación.....	49

1. Introducción

TIC

Tecnologías de la Información y la comunicación

La mayoría de los textos del ámbito de la tecnología tienen la vocación de divulgar como la aplicación de conocimientos científicos es capaz de transformar una realidad inicial en un resultado de interés tecnológico. Dichas transformaciones se pueden desarrollar a través de un conjunto o secuencia de actividades planificadas e interrelacionadas. Todo ello, bajo el epígrafe de **proyecto TIC**.

Se pretende que el presente trabajo vaya más allá de un catálogo ordenado de etapas entre un interés inicial y un resultado concreto pero incierto. Se aspira a que constituya la concreción de una metodología que incluya esencialmente qué se hace, pero también, cómo se hace. En donde, se deben aunar los conocimientos adquiridos en los estudios de grado, con el propósito de desarrollar un dispositivo electrónico que se integre en un sistema de telecomunicaciones.

1.1. Justificación y contexto del trabajo

El objetivo fundamental de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información de un lugar a otro. El medio de transmisión (canal) puede ser guiado o de transmisión aérea (*wireless*: inalámbrico o no guiado). Los sistemas inalámbricos o de radiofrecuencia (RF) están basados en la radiación electromagnética y gracias a sus propiedades han experimentado un desarrollo exponencial en las últimas décadas.

Cualquier sistema RF está formado por diversos subsistemas que realizan funciones comunes, destinadas a generar una señal que el *transmisor* pueda enviar por el *canal* y el *receptor* pueda replicar con la mayor calidad posible. El transmisor tiene como funciones principales la formación de la señal a transmitir y su adaptación al canal de comunicación.

El presente trabajo pretende **diseñar un sensor de alarma contra incendios inalámbrico**. Se aspira a identificar los componentes necesarios y a integrarlos en un sistema electrónico capaz de captar una temperatura de alarma, y de generar y transmitir a una frecuencia determinada una señal de aviso susceptible de ser recibida por un dispositivo receptor.

1.2. Alcance

El transmisor de un sistema de comunicaciones constituye la fuente del mensaje¹, y se centra en el conjunto de dispositivos o circuitos electrónicos encargados de captar información y convertirla en una señal adecuada para su propagación.

Nuestro **transmisor**, por lo tanto, se va a descomponer en las siguientes partes:

Un *circuito de detección*, que se conformará, básicamente, de un sensor capaz de medir la temperatura y transformarla en una variable eléctrica.

El sistema deberá reaccionar ante un valor determinado de temperatura. Precisar, en consecuencia, de un *circuito de aviso* o alarma, acústico y luminoso.

La transmisión inalámbrica del aviso a la centralita receptora se hará mediante la propagación de una señal de radio. Será necesaria una sección de *Radio-Frecuencia* (RF) encargada de dicha comunicación.

⁽¹⁾ Manifestación física generada por la fuente de información, que puede ser analógica o digital

El control de todo el sistema se atribuye al *microcontrolador*, que se encargará de capturar la información del sensor, la activación de la señal de alarma (luz y sonido), así como, del procesamiento de la señal de aviso para su posterior transmisión.

Finalmente, todo sistema electrónico requiere de *alimentación*, mediante elementos que le confieran la energía necesaria para su correcto funcionamiento.

El proyecto, por lo tanto, se va a concretar en el estudio de la frecuencia de trabajo, el diseño del circuito de captación de temperatura, de la fuente de alimentación y la configuración del controlador. Además de proporcionar una visión global sobre el desarrollo de un proyecto TIC.

1.3. Objetivos

El trabajo debe reflejar, principalmente, la capacidad de desarrollo de un producto tecnológico por parte del alumno, resultado de las habilidades y conocimientos adquiridos en los estudios de Grado en Tecnologías de la Telecomunicación.

Indefectiblemente también, se requiere que se resuelva con la confección adecuada y detallada de un documento cuyo contenido refleje escrupulosamente todos los requerimientos, especificaciones y requisitos técnicos del producto final.

Por lo consiguiente a continuación, se introduce un *catálogo cerrado de objetivos* o tareas técnicas y secuenciales:

- Estudio de la frecuencia de trabajo. Normativa y características de la banda ISM 868 Mhz
- Diseño del circuito de adaptación de temperatura. Elección del sensor de temperatura
- Diseño del circuito de control de salidas (bombilla y sirena)
- Elección y programación del microcontrolador
- Diseño de la fuente de alimentación
- Diseño del *layout* de la placa PCB
- Confección de la documentación asociada al trabajo: memoria, video presentación, archivos fuente de la implementación y simulaciones realizadas

ISM

Industrial, Scientific
and Medical
frequency band

1.4. Enfoque y método seguido

A partir del resultado que se pretende (qué se va a hacer) se considera, como método de desarrollo óptimo de gestión de proyectos, la **metodología basada en objetivos**. El escenario (trabajo final de grado) requiere además una explicación detallada y consciente de cada tarea (cómo se va a hacer).

Cada uno de esos objetivos precisa un planteamiento previo, un análisis teórico, un desarrollo conceptual y una simulación por computadora, si se sugiere de interés. No se prevé, en ninguna de las fases o tareas, la implementación física, la fabricación o el montaje de componentes.

Objetivo

Meta medible del
proyecto

1.5. Planificación

En una metodología orientada a objetivos, planificar significa descomponer el trabajo en partes o paquetes de trabajo más pequeños y manejables², que permita lograr cada uno de los objetivos en tiempo y coste esperado en un escenario de riesgos eventuales. Todo ello recogido en planes de gestión:

Mediante un **plan de hitos**, se identifican las diferentes acciones, denominadas *hitos* o estados intermedios. Estos se alcanzan mediante *actividades* que, a su vez, se descomponen en unidades básicas de desarrollo o *tareas*.

Un **plan de tiempo** permite una estimación de la duración del trabajo, a través de un calendario o cronograma que incluya las diferentes acciones secuencialmente interrelacionadas.

Los posibles riesgos inherentes a cada proyecto deben ser identificados, evaluados y gestionados en el correspondiente **plan de riesgos**.

Se aplica en el presente trabajo:

- Plan de hitos

Hito	Fecha	Meta
Inicio proyecto Enunciado	20 de febrero de 2020	Concreción y Delimitación del trabajo realizada
PAC1 Planificación	09 de marzo de 2020	Plan de trabajo aprobado
PAC2 Desarrollo	06 de abril de 2020	Diseño dispositivo completado
PAC3 Entrega parcial	11 de mayo de 2020	Entrega del borrador al tutor
PAC4 Entrega final	15 de junio de 2020	Entrega final del trabajo

Tabla 1. Tabla de hitos

- Plan de tiempo

El diagrama de Gantt (**Anexo I**) deviene eficaz para representar gráficamente las diferentes tareas planificadas. En el eje vertical se muestran las actividades, mientras que, en el horizontal el tiempo de dedicación previsto.

- Plan de riesgos

Riesgo	Probabilidad			Evaluación	Gestión
	Bajo	Medio	Alto		
Definición insuficiente del plan del trabajo*	X	0	0	Grave	Revisión y aclaración de requerimientos y tiempos con el tutor
Documentación: búsqueda infructuosa	X	0	0	Leve	Consulta con el tutor de fuentes de documentación adecuadas
Incidencias hardware**	X	0	0	Grave	Multiplicidad de equipos. Plan de contingencia disponible
Incidencias software***	X	0	0	Grave	Software libre online y UOC
Complejidad científico técnica****	X	0	0	Grave	Replanteamiento de objetivos y de producto final
Perdida o destrucción de documentación	X	0	0	Muy grave	Almacenamiento en nube y copias de seguridad
Incidencia sobrevenida entorno personal o profesional	0	X	0	Muy grave	Reformulación del plan de trabajo: tiempo y alcance del proyecto

Tabla 2. Tabla de riesgos

⁽²⁾ En términos del PMBOK (*project management body of knowledge*) o cuerpo de conocimiento de gestión de proyectos

Un Hito debe:

- reflejar un punto de decisión
- ser concreto y medible
- ser relevante
- estar acotado en el tiempo

Diagrama de Gantt

Herramienta gráfica para planificar y programar tareas a lo largo de un periodo determinado. Permite realizar el seguimiento y control del progreso.

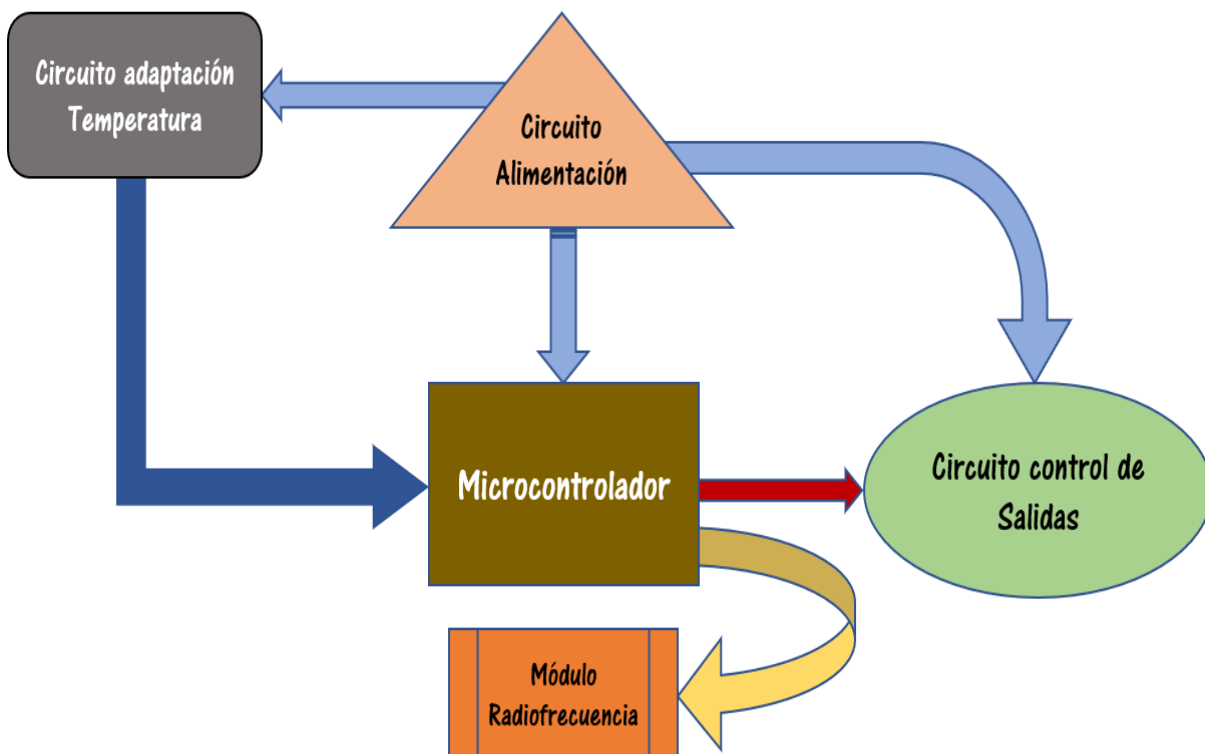
* Puede producirse una disociación entre el requerimiento inicial, en tiempo y forma, y el que se pretende realizar

** Avería de equipos informáticos y de telecomunicaciones, especialmente ordenador de mesa o dispositivo enrutador para acceso a Internet

*** Problemas con la instalación de programas y dificultad en su manejo

**** Aparición de barreras asociadas a conocimiento y habilidades del autor

*** Esquema básico del sistema: ***



2. Espectro electromagnético. Radiofrecuencia (RF)

Los sistemas electrónicos de comunicaciones transfieren información mediante energía electromagnética que se puede distribuir en bandas de frecuencia del espectro electromagnético. Cada banda tiene designado un nombre y sus límites. Dichas designaciones de banda permiten hacer una clasificación en función de sus propiedades y aplicaciones concretas.

Estas designaciones se recogen en la siguiente tabla³:

Número de banda	Intervalo de frecuencias*	Designación
2	30 Hz–300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz–3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz–30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 kHz–300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz–3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz–30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz–300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz–3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz–30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 GHz–300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz–3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz–30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz–300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz–3 PHz	Luz visible
16	3 PHz–30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz–300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz–3 EHz	Rayos gamma
19	3 EHz–30 EHz	Rayos cósmicos

*10⁰, hertz (Hz); 10³, kilohertz (kHz); 10⁶, megahertz (MHz); 10⁹ gigahertz (GHz); 10¹², terahertz (THz); 10¹⁵, petahertz (PHz); 10¹⁸ exahertz (EHz)

Tabla 3. Designaciones de banda CCIR

Las frecuencias del infrarrojo (bandas 12 a 14) no se consideran ondas de radio. La luz visible (banda 15) se usa en sistemas de fibra óptica. Mientras que, los rayos ultravioletas, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos (bandas 16 a 19) tienen poca aplicación en las comunicaciones electrónicas.

La porción menos energética del espectro electromagnético recibe el nombre de **Radiofrecuencia** (RF). Comprende el rango situado entre 30 Hz y 300 GHz (bandas 2 a 11). Sus principales aplicaciones en telecomunicaciones son⁴:

- ELF (*Frecuencias extremadamente bajas*). Señales de telemetría de baja frecuencia
- VF (*Frecuencias de voz*). Canales telefónicos y comunicaciones en minas
- VLF (*Frecuencias muy bajas*). Comunicaciones militares entre submarinos
- LF (*Frecuencias bajas*). Navegación marina y aeronáutica
- MF (*Frecuencias intermedias*). Emisiones comerciales de radio AM
- HF (*Frecuencias altas*). *Onda corta*. Radiocomunicaciones en dos sentidos. Radioaficionados. Banda civil (CB)
- VHF (*Muy altas frecuencias*). Radios móviles. Comunicaciones marítimas y aeronáuticas. Emisión comercial FM. Emisión en TV
- UHF (*Frecuencias ultra altas*). Emisión comercial TV. Radioaficionados. Telefonía móvil (GSM). Identificación por RFID
- SHF (*Frecuencias super altas*). Sistemas de radiocomunicaciones por microondas y satelitales
- EHF (*Frecuencias extremadamente altas*). Casi no se usan en radiocomunicaciones salvo aplicaciones especializadas como radioastronomía y radares de alta resolución

⁽³⁾ “Sistemas de comunicaciones electrónicas”. Wayne Tomasi. Ed. Pearson Educación. 4 ed. (2003). Pág. 6

CCIR

Comité consultivo internacional de radio. Actualmente, denominado UIT-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones)

HZ

El Hercio o hertz (HZ) es la unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades (SI)

⁽⁴⁾ Fuentes: “Sistemas de comunicaciones electrónicas”. Wayne Tomasi. Ed. Pearson Educación. 4 ed. (2003). Pág. 5 y [Wikipedia](#)

2.1. Integración espectral en sistemas electrónicos de comunicación

El rango de frecuencias del espectro electromagnético de aplicación a sistemas de comunicaciones es un recurso limitado. El diseñador debe, por lo tanto, seleccionar minuciosamente la banda destinada a manejar la transmisión, en función de sus propiedades de propagación y de la normativa administrativa referente a la concesión de licencias.

2.1.1 Análisis del espectro en sensores de alarma inalámbrico

El margen inferior de frecuencias está dominado cada vez más por la electrónica digital. Nuestro dispositivo **sensor** se debe alimentar con corriente alterna (CA) de propósito general para el suministro de energía eléctrica, la cual se encuentra en el rango ELF, con valores típicos de 50 y 60 Hz.

En cuanto al margen típico de RF⁵, se establece en el rango de 3 MHz a 3 GHz. La transmisión inalámbrica de la **señal de alarma de corto alcance** se pretende realizar mediante una banda libre de licencia (gratuita y sin autorización), respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. La banda ISM se utiliza en numerosas aplicaciones bajo determinados criterios de alcance, potencia, interferencias, precio y autonomía; por ejemplo, en domótica, seguridad, control industrial, ...

2.1.2 Banda ISM. Normativa

Las bandas ISM están definidas en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT. En su artículo 5, figura la tabla de asignaciones por regiones de frecuencias que pueden ser utilizadas en aplicaciones ISM. En la región 1, en la que se encuentra el continente europeo, el número 5.138 del RR establece las bandas no reguladas disponibles.

No obstante, el uso de estas bandas puede variar de una región a otra debido a las regulaciones específicas. En Europa, el ETSI es el organismo responsable de regular el uso de dispositivos de corto alcance, algunos de los cuales operan en banda ISM. La organización produce diversos documentos conocidos como estándares, entre los cuales, las denominadas **Normas Europeas, serie de telecomunicaciones (EN)**.

El estándar de armonización europea EN 300 220-3 establece un modelo específico para dispositivos de corto alcance (SRD) en el rango de frecuencia de funcionamiento de 25 MHz a 1000 MHz, que comprende las siguientes especificaciones:

- **EN 300 220-3-1** Compatibilidad electromagnética y criterios de espectro de radio (ERM); Dispositivos de corto alcance; Equipos de alta confiabilidad de ciclo de trabajo, equipos de alarmas sociales que operan en frecuencias designadas: 869.2 MHz a 869.25 MHz
- **EN 300 220-3-2** Compatibilidad electromagnética y criterios de espectro de radio (ERM); Dispositivos de corto alcance; **Alarmas inalámbricas** que funcionan en las bandas de frecuencia de LDC/HR designadas: 868.60 MHz a 868.70, 869.25 MHz a 869.40 MHz, 869.65 MHz a 869.70 MHz

Frecuencia de la red eléctrica

La frecuencia de la red eléctrica es de 50 Hz en la mayor parte del mundo. En Estados Unidos es de 60 Hz.

⁽⁵⁾ "Electrónica de comunicaciones". Sierra, M. Galocha, B. Fernández, J. Sierra, M. Ed. Pearson. Prentice Hall (2003). Pág. 7

ISM

Bandas de radio Industriales, Científicas y Médicas

ETSI

Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

2.2 Banda operacional para el sensor de alarma inalámbrico

La norma EN 300 220-3-2 especifica las características técnicas de los denominados equipos de alarma inalámbricos LDC/HR:

“Equipos integrados en radio sistemas de alarma de ciclo de trabajo y uso del espectro reducido y alta confiabilidad en bandas compartidas.”⁶

(6) Categoría definida por la Decisión de Ejecución 2013/752 EU de la Comisión Europea

Equipos que son capaces de operar en las siguientes bandas⁷:

(7) EN 300 220-3-2

Frequency Band	Maximum radiated power, e.r.p.	Channel access and occupation rules	OCW	Band number from EC Decision 2013/752/EU [i.2]	Class 1 sub-class number according Commission Decision 2000/299/EU [i.5]	
A	868,600 MHz to 868,700 MHz	10 mW e.r.p	≤ 1% duty cycle	100 kHz or 25 kHz	49	32
B	869,250 MHz to 869,300 MHz	10 mW e.r.p	≤ 0,1% duty cycle	25 kHz	52	33
C	869,300 MHz to 869,400 MHz	10 mW e.r.p	≤ 1% duty cycle	25 kHz	53	72
D	869,650 MHz to 869,700 MHz	25 mW e.r.p	≤ 10% duty cycle	25 kHz	55	34

Tabla 4. Designación frecuencial de bandas para alarmas inalámbricas

Para dispositivos incluidos en la denominada Clase 1, que corresponde a equipos disponibles en el mercado que pueden operar sin restricciones normativas⁸, la tabla muestra los **parámetros** más relevantes:

(8) Directiva europea 2014/53/EU sobre la comercialización de equipos radioeléctricos

- Potencia efectiva radiada (*e.r.p.*). Potencia de radiación evaluada en la dirección del máximo
- Ciclo de trabajo (*Duty Cycle*). Porcentaje acumulado de ocupación del canal (transmisión) en un periodo determinado de tiempo⁹
- Ancho de banda del canal de operación (*OCW*)

(9) Por defecto, el tiempo de observación es de una hora

A partir de los requerimientos del dispositivo que se pretende diseñar, se evalúa qué frecuencia entre las disponibles es la más adecuada. El **análisis** debe incluir:

- Cantidad de información que se va a enviar. Cada 10 segundos el sensor transmite a la centralita un byte de datos con el valor de la temperatura
- Potencia necesaria para alcanzar la centralita
- Entorno de operación. Especialmente, interferencias con otros dispositivos

La utilización de frecuencias no licenciadas incrementa la eventual interferencia entre dispositivos emitiendo en bandas suficientemente cercanas. No obstante, y a pesar de que algunos transmisores IoT operan en frecuencias ISM (*Zigbee* funciona en 900 MHz y 868 MHz, por ejemplo), el riesgo es débil debido a la baja potencia de salida de los equipos.

IoT

Internet de las Cosas. Numerosos dispositivos de baja potencia, corto alcance y velocidad de transferencia baja

Aun así, la modulación FSK puede proporcionar un grado adicional de fiabilidad, al presentar un buen comportamiento ante el ruido. FSK es una de las tecnologías más comunes en dispositivos de monitoreo y está disponible en numerosos microcontroladores. Requiere, eso sí, mayor ancho de banda que otras opciones.

FSK

Modulación por desplazamiento de frecuencia

La banda **868.600 – 868.700 MHz** (UHF) con +10 dBm de potencia radiada aparente máxima y 25 kHz de canalización, si bien pudiera utilizarse toda la banda (100 kHz) como canal único de datos a alta velocidad, y ciclo de trabajo máximo del 1%, se sugiere como opción idónea.

La elección nos permite atravesar obstáculos gracias a sus excelentes características de propagación, con consumos de corriente inferiores a la de los productos que utilizan la banda de 2.4 GHz, por ejemplo. Se pueden alcanzar hasta 800 metros con una antena de un cuarto de longitud de onda.

3. Circuito de adaptación de temperatura

La detección de un posible incendio se vincula a la temperatura del ambiente en el que se encuentra el sensor. Se precisa, en consecuencia, de un circuito electrónico capaz de captar la temperatura, transformarla en una señal analógica y adaptarla para que un microcontrolador pueda trabajar con ella, integrándola en un sistema de control.

3.1. Etapa detección. Sensor de temperatura

Un sensor es un objeto capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas mediante un transductor en variables eléctricas¹⁰. En nuestro dispositivo la magnitud física de interés es la temperatura, mientras que la corriente eléctrica configurará la señal analógica.

Existen diferentes tipos de sensores de temperatura. Los más comunes, en función de su comportamiento son:

- *Termopar*. Formado por dos metales. Basado en el efecto termoeléctrico¹¹. Son los más utilizados por ser económicos, sencillos y precisos, aunque de respuesta lenta
- *RTD*. Mide la variación en la resistencia con la temperatura del conductor que lo compone. Buen comportamiento en entornos industriales
- *Termistor*. Compuesto por materiales semiconductores que miden el calor mediante impulsos eléctricos. Tipo NTC para amplios rangos de medición. Tipo PTC para variaciones abruptas de temperatura. No son lineales

3.1.1 Elección del sensor

Las principales especificaciones de diseño son: **rango de medida** de 20 a 120 grados Celsius (°C) y **precisión** de 1 °C. La integración y posterior adaptación requerida de la señal al microcontrolador se resuelve con sensores *termopar*, que proporcionan voltaje de salida. Además, facilitan una respuesta **lineal**.

La gama de precisión LM35 del fabricante **Texas Instruments** proporciona un amplio catálogo de sensores *termopar* para circuitos integrados. Su salida es analógica, concretamente de voltaje linealmente proporcional a la temperatura en centígrados. Resultan sencillos de usar al carecer de etapa adicional de calibración. Características técnicas más destacables:

⁽¹⁰⁾ [Wikipedia](#)

Transductor

Dispositivo que transforma la energía de una naturaleza (eléctrica, mecánica, ...) a otra

⁽¹¹⁾ Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en tensión proporcional a la temperatura

Sensor. Características

- Rango. Valores que puede tomar la señal de entrada
- Precisión. Variación máxima entre salida real y teórica
- Linealidad. Relación constante entre salida y entrada

Características técnicas

- ✓ Tensión de salida proporcional a la entrada: de -55°C a 150°C con tensiones de -550 mV a 1500 mV
- ✓ Calibrado en grados Celsius y linealidad (factor de escala +10mV/°C)
- ✓ Precisión de 0.5°C a 25°C
- ✓ Baja impedancia de salida (Carga de 0.1 Ω por 1 mA)
- ✓ Baja corriente de alimentación (60 µA)
- ✓ Bajo coste
- ✓ Voltaje de trabajo entre 4 y 30V
- ✓ Amplia gama de encapsulados (TO-92, TO-46, TO-220, SO-8)

El encapsulado (forma, material y la distribución de pines) debe permitir la integración del componente en la placa PCB. La medición ambiental sin contacto sugiere como mejor opción la versión TO-CAN, compuesto metálico.

LM35AH

PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TO-CAN	4.699 mm × 4.699 mm



Figura 1. Encapsulado TO-CAN

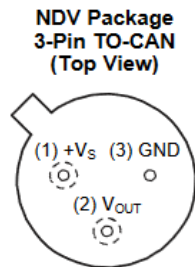


Figura 2. Configuración de pines

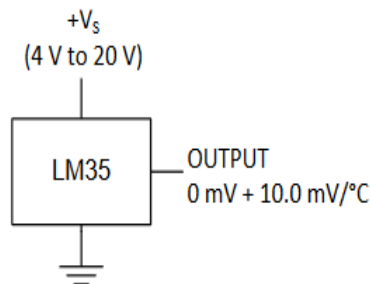


Figura 3. Esquema básico del sensor de temperatura rango 2 °C a 150 °C

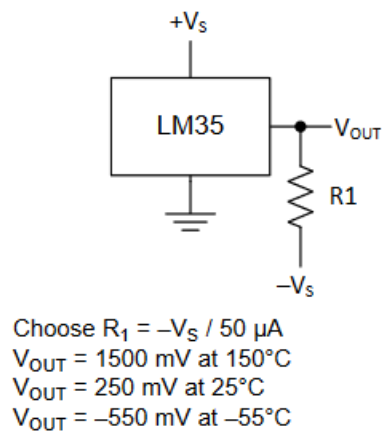


Figura 4. Voltaje de salida para el rango completo (con resistencia R1) de temperatura

3.2. Diseño circuito

La tensión de salida del sensor LM35AH se encuentra en el rango -550 mV – 1500 mV (*Figura 4*). Por lo que debemos adaptar dicha señal a los requerimientos del microcontrolador¹², con voltajes operacionales típicos de hasta 5 V. Necesitamos, en consecuencia, una **etapa de amplificación**.

Los amplificadores operacionales (AO) son circuitos basados en transistores y extensamente utilizados en electrónica. Un circuito amplificador es un bloque que tiene como función principal amplificar la señal de entrada, en este caso el voltaje de salida del sensor.

Una de las configuraciones disponibles del AO es el **amplificador no inversor**, cuyo esquema básico¹³ es el siguiente:

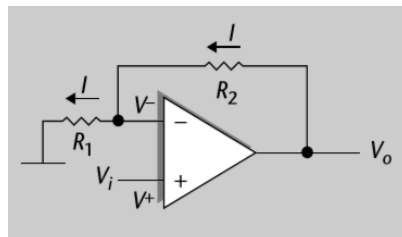


Figura 5. Amplificador Operacional no inversor

La relación entre la tensión de entrada V_i y la de salida V_o es la ganancia G que proporciona el circuito. Se puede expresar analíticamente como:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

El AO con realimentación negativa se puede usar para adaptar impedancias. Se denomina **seguidor de tensión** y su objetivo es evitar efectos de resistencia de cargas entre bloques adyacentes. Estos quedan aislados por la propiedad del AO de impedancia de entrada muy alta y baja en la salida. Su esquema básico¹⁴ es:

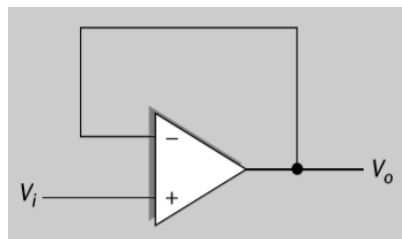


Figura 6. Seguidor de tensión

En donde,

$$V_i = V_o \quad (2)$$

Se suscita una configuración de dos amplificadores en cadena que proporcione las funcionalidades requeridas: adaptación de impedancias y amplificación de señal. El diseño se puede optimizar mediante un dispositivo encapsulado conformado por dos AO independientes, dispuestos para operar desde una sola fuente de alimentación en un amplio rango de voltaje.

(12) El presente trabajo utiliza un microcontrolador con voltaje operacional de 1.8 V a 3.6 V

AO ideal

- Características:
- Impedancia de entrada infinita
 - Impedancia de salida nula
 - No dependencia frecuencial

(13) (14) "Circuitos Electrónicos" UOC (2016). Marc Bara Iniesta. Módulo 4, pág. 19 y pág.20

El fabricante **Texas Instruments** dispone de los amplificadores operacionales duales de la gama LMx58. Ofrecen un rango de voltaje de alimentación entre 3 y 32 V, por lo que se pueden obtener sobradamente las salidas deseadas.

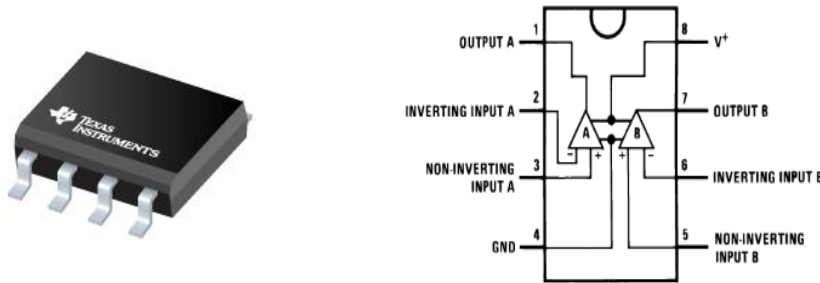


Figura 7. Encapsulado y configuración de pines serie LMx58

3.2.1. Etapa amplificadora. Componentes

El rango de temperatura que debe captar el sensor es de 20 a 120°C. Al valor superior le corresponde un voltaje de salida en el LM35 de $V_{OUT} = 1200\text{ mV}$. Se requiere, por lo tanto, una ganancia de 4 dB para alcanzar el valor de 3 V de tensión operacional en la entrada del microcontrolador.

A partir de la expresión (1), obtenemos los valores de las **resistencias** que compondrán el circuito amplificador. Para valores típicos de $R_2 = 1.5\text{ k}\Omega$ i $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, la ganancia G es el resultado esperado.

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{1.5\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} = 2.5\text{ (4 dB)} \quad (3)$$

El margen de tolerancia de las resistencias es del 1 %, aproximadamente.

3.2.2. Esquema básico circuito adaptación temperatura

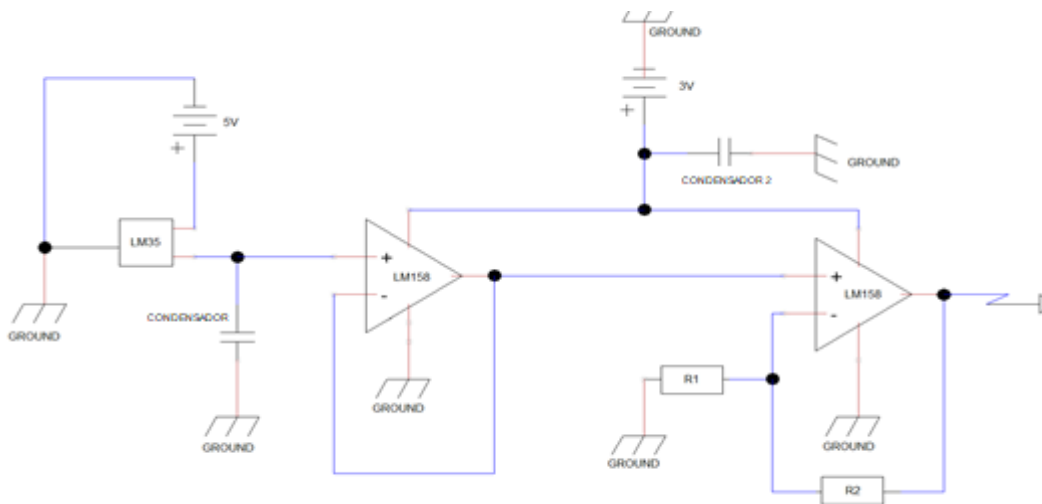


Figura 8. Esquema básico circuito adaptación Temperatura

Se añaden dos condensadores. Para evitar picos de fluctuación en la señal de entrada a los AO, un **Condensador 2** de $0.1\text{ }\mu\text{F}$. El ruido inherente a la salida en mV del sensor se evita mediante un **Condensador** de $10\text{ }\mu\text{F}$.

Condensador
Dispositivo pasivo capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

4. Circuito de control de salidas

El sistema transita a un **estado de alarma** si durante 10 segundos seguidos el sensor de temperatura detecta un valor superior a 60°C (detección termostática¹⁵). Se activa una salida acústica (sirena) y una luminosa (bombilla). Se sale de dicho estado, si durante 10 segundos seguidos la temperatura es inferior a 40°C.

El microcontrolador generará las diferentes señales de control, las cuales representaran la entrada al circuito. La sirena se activará mediante una fuente continua, mientras que la bombilla se controlará con una fuente alterna en ciclos de 1 segundo. Ambos componentes se alimentan de la red de 220 V.

4.1. Consideraciones de diseño

El proceso de activación y desactivación de la sirena y la bombilla sugiere un mecanismo lógico de conmutación en un circuito (analógico) que puede estar abierto o cerrado. En donde, la tensión de la señal de control sea substancialmente menor al voltaje de alimentación de los componentes de salida.

Se necesita, en consecuencia, un dispositivo que funcione como interruptor y que pueda ser controlado por una señal eléctrica. Por ejemplo, un **relé**. El propósito es **manejar** un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, que quedará aislado, protegiéndose componentes como el microcontrolador.

⁽¹⁵⁾ Se activa cuando la temperatura ambiente excede de un cierto valor durante un tiempo suficiente.

Relé
Dispositivo electromagnético compuesto de una bobina conectada a una corriente

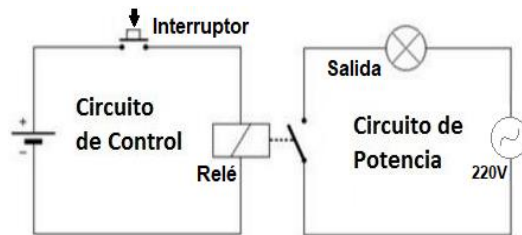


Figura 9. Circuito con Relé

Las dos soluciones de relés más implementadas en la industria son los electromecánicos (EMR) y los de estado sólido (SSR). Los SSR son más costosos y complejos, pero tienen mejores prestaciones (duración, consumo de energía, rápida conmutación, por ejemplo). No obstante, debido a la mayor sencillez del EMR y su buena adaptación al control de salida se resuelve como la solución ideal.

En el mercado encontramos, por ejemplo, el modelo IM08GR de bajo consumo del fabricante **TYCO Electronics**.

Características técnicas:



- ✓ Compatible con PCB
- ✓ Voltaje bobina de 2.4 VDC
- ✓ Resistencia bobina 41 Ω
- ✓ Corriente bobina de 59.5 mA
- ✓ Máxima tensión de interruptor de 250 VAC
- ✓ Tensión de encendido / apagado: 1.8 VDC / 0.24 VDC
- ✓ Tamaño 22.5x16.5x19 mm
- ✓ Consumo energía 140 mW

Figura 10. Relé electromecánico

El esquema básico de conexión de un relé (Figura 11) se compone de un **transistor**, que va a trabajar en conmutación mediante la salida del microcontrolador. Además, un **diodo**¹⁶ va a proteger el transistor de los picos de corriente o transitorios generados por el relé al desactivarse.

⁽¹⁶⁾ Diodo de enclavamiento o *clamp diode*.

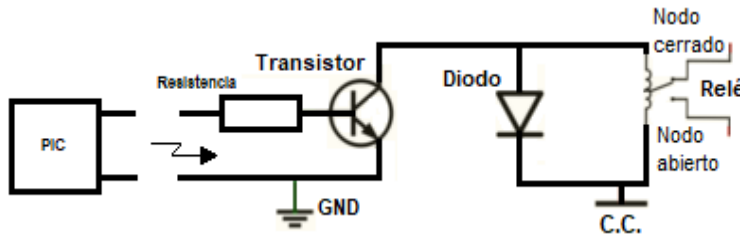


Figura 11. Esquema básico conexión relé

Los transistores **BJT** pueden emplearse como “interruptores” controlados eléctricamente. En modo *corte* opera como un circuito abierto, por lo que su corriente de colector I_C , que corresponde a la corriente de bobina, es nula. Mientras que, en modo *saturación* se asemeja a un cortocircuito.

El modelo BC547B del fabricante **FAIRCHILD** presenta las especificaciones siguientes:



Características técnicas:

- ✓ Polaridad NPN
- ✓ Tensión máxima de colector 45 V
- ✓ Corriente de colector 100 mA
- ✓ Ganancia de corriente, factor Beta, de 110hFE
- ✓ 3 pines
- ✓ Encapsulado TO-92

Figura 12. Transistor BJT NPN

BJT

Transistor de unión bipolar. Configuración NPN. Terminales: **Emisor, Colector y Base**

La tensión y la corriente de colector que es capaz de soportar superan ampliamente los valores operacionales, $I_C = 59.5 \text{ mA}$, $V_{DC} = 3 \text{ V}$. Valores que nos van a permitir calcular la **resistencia** de base R_B . La intensidad de base I_B es el valor de I_C reducido al factor h_{FE} del transistor elegido.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{59.5 \text{ mA}}{110} = 0.54 \text{ mA} \quad (4)$$

El valor habitual de tensión base-emisor V_{BE} es de 0.7 V , mientras que V_{in} es de 3.6 V , según la previsión de salida del microcontrolador. Por lo que:

$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} = \frac{3.6 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{0.00054 \text{ A}} \approx 5.5 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

Se asegura la operación en la región de saturación con una resistencia de **5.6 kΩ**.

Finalmente, en cuanto al diodo de enclavamiento, debido a la funcionalidad que se espera, se deben evaluar esencialmente sus **parámetros de bloqueo**. La tensión inversa de pico repetitivo (V_{RRM}) y no repetitiva (V_{RSM}), así como la tensión inversa continua (V_R).

Parámetros de bloqueo

V_{RRM} : tensión soportada en picos de 1 ms durante 10 ms

V_{RSM} : soportada una sola vez durante 10 ms

V_R : tensión continua soportada en bloqueo

Las series S1A-S1M del fabricante **DIODES Incorporated** proporcionan las siguientes especificaciones:



Top View



Bottom View

Características técnicas:

- ✓ V_{RRM} máxima de 1000 V
- ✓ V_{RSM} máxima de 700 V
- ✓ V_R máxima de 1000 V
- ✓ Dimensiones 2.5x1.7x4.6 mm
- ✓ Corriente de pico no repetitivo de 30 A
- ✓ Montaje en superficies SMA (Surface Mounted Assembly)

Figura 13. Diodo series S1A-S1M

4.2. Componentes de salida

La finalidad del circuito de salida es encender y apagar una bombilla y una sirena. Ambos elementos deben trabajar a 220 V. La norma UNE 23007-14/2009 establece el criterio técnico relativo a la colocación de los dispositivos de alarma, así como los niveles sonoros estandarizados.

Según la norma, el nivel mínimo de señal acústica debe ser de 65 dB. No pudiendo exceder de 120 dB a más de 1 metro de la fuente. En relación con la bombilla, no está sometida a requisitos técnicos específicos.

UNE
Una Norma Española. Conjunto unificado de normas tecnológicas que garantizan la calidad y seguridad de productos y servicios

4.3. Esquema básico circuito de control de salidas

Se subdivide en dos partes diferenciadas (salida: sirena y bombilla) que comparten la alimentación de red de 220 V. Activación mediante el respectivo relé.

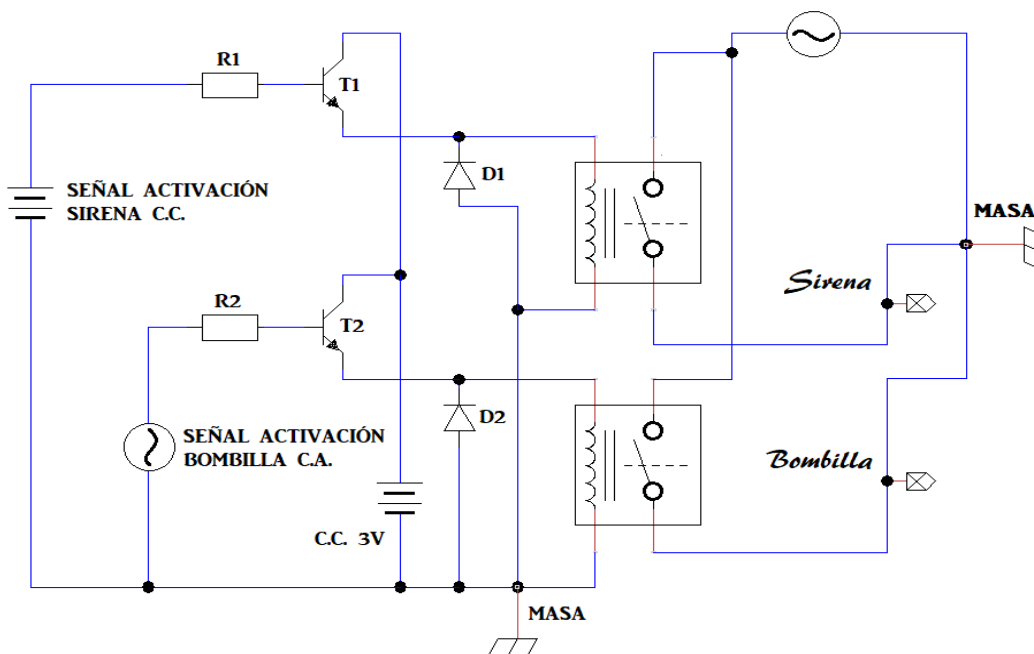


Figura 14. Esquema básico circuito de control de salidas

5. Microcontrolador

Los microcontroladores son la base de la electrónica industrial. Se utilizan típicamente en **sistemas de propósito específico** en los cuales la potencia de proceso no sea un factor importante, por ejemplo, en aplicaciones de monitoreo y registro de datos.

Son dispositivos capaces de ejecutar ordenes grabadas en su memoria. Contienen en un solo integrado todos los componentes básicos de un computador: unidad central de procesamiento (CPU), memoria¹⁷, puertos de entrada y salida y otros periféricos.

5.1. Elección del microcontrolador

El microcontrolador va a realizar dos subtareas:

I. monitorizar continuamente la temperatura proporcionada por el sensor, evaluarla y transitar al estado de alarma

El dispositivo recibirá la señal analógica de corriente directa del sensor de temperatura LM35. Los microcontroladores poseen la capacidad de leer niveles de voltaje de tipo **TTL**, en valores típicos entre 0 y 5 V, mediante pines de entrada analógicos y un circuito integrado Convertidor Analógico-Digital (ADC).

Las señales de voltaje generadas por el microcontrolador (señales de control) se construyen mediante un circuito Convertidor Digital-Analógico (DAC). La salida se produce a través de pines de analógicos, en el nivel adecuado para la activación de la señal de alarma.

II. enviar un byte de información a la centralita

El microcontrolador debe incorporar un módulo de comunicación RF con capacidad de operar en el rango de 868 MHz. Mediante un periférico, modulador de señal de datos (DSM), el dispositivo debe ser capaz de generar un esquema de modulación FSK.

5.1.1. Microcontroladores PIC de la compañía MICROCHIP Technology

La familia de controladores denominados PIC se caracteriza por su simplicidad y por su capacidad de procesamiento moderada, bajo consumo y pequeñas dimensiones. En función de las diferentes gamas (alta, media, baja), existen modelos con amplio margen de tensiones operativas y diferentes configuraciones en cuanto al número de pines, instrucciones, programación y aplicaciones.

Los PIC con tecnología **XLP** son ideales para equipos inalámbricos, entre ellos:

PIC12LF1840T39A

❖ 8-Bit Flash Microcontrolador con tecnología XLP de 14 pines

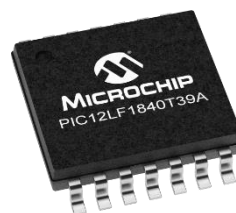


Figura 15. PIC12LF1840T39A compañía Microchip Technology

Sistemas de propósito específico

Sistemas diseñados para realizar una tarea concreta. Sus atributos son:

- Coste
- Potencia consumida
- Dimensiones
- Eficiencia

Los sistemas de **propósito general** abarcan un rango amplio de funcionalidades.

⁽¹⁷⁾ Memoria ROM, solo de lectura, y RAM, también de escritura.

TTL

Lógica transistor a transistor. Tecnología de construcción de circuitos integrados electrónicos digitales, basada en el uso de transistores bipolares

PIC

Circuito integrado programable

XLP

eXtrem Low Power. Ofrece baja corriente en modos operación y *standby*

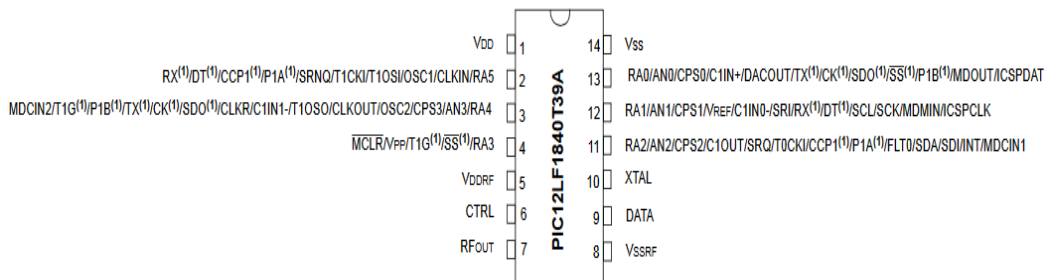


Figura 16. Distribución de pines

Características técnicas

- ✓ Memoria de programa tipo FLASH de 4 KB (*)
- ✓ Memoria de datos SRAM de 256 bytes (**)
- ✓ Memoria EEPROM de 256 bytes (***)
- ✓ Frecuencia máxima de operación de 32 MHz (Reloj interno) - 125 ns ciclo de instrucción (****)
- ✓ Instrucciones posibles en memoria, 49
- ✓ Pines de entrada salida (I/O): 6 - uno de ellos solo de entrada
- ✓ Canales de entrada analógico/digital (A/D): 4
- ✓ Canal de salida digital/analógico (D/A): 1
- ✓ Resolución conversión A/D de 10 bits (1024 muestras)
- ✓ Voltaje operativo de 1.8 V - 3.6 V (*****)
- ✓ Rango de frecuencias en 310, 433, 868 y 915 MHz
- ✓ Potencia de salida máxima configurable de + 10 dBm o 0 dBm
- ✓ Modulación en FSK operación de hasta 100 kbps // en OOK operación de hasta 10 kbps
- ✓ Corriente en *standby*:
 - 30 nA a 3.0 V en RF off
 - 530 nA a 3.0 V en RF sleep
- ✓ Corriente en operación:
 - 0.67 mA a 8 MHz, 3.0 V en RF off
 - 9.67 mA a 8 MHz, 3.0 V en RF on potencia transmisión de 0 dBm
 - 15.67 mA a 8 MHz, 3.0 V en RF on potencia transmisión de + 10 dBm

(*) La memoria Flash es aquella en la cual se almacena el código de programación. El contenido se puede escribir y borrar un número ilimitado de veces. Una vez compilado no puede sobrescribirse. Es de bajo consumo y no volátil.

(**) La SRAM¹⁸ es una memoria volátil utilizada en tiempo de ejecución en todos los procesos internos del microcontrolador. Almacena datos y resultados.

(***) La EEPROM¹⁹ es un tipo de memoria no volátil que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente. Almacena datos permanentes.

(****) La frecuencia de oscilación o velocidad de procesamiento de información. El oscilador interno incrementa el número de pines disponibles.

(*****) Indica el rango de voltaje que podemos aplicar a los pines de entrada/salida

(18) Memoria estática de acceso aleatorio

(19) Memoria ROM programable y borrrable eléctricamente

6. Diseño de la fuente de alimentación

El equipo se alimenta en tensión alterna de 220 V de **valor eficaz**, correspondiente a la red doméstica²⁰. El valor es adecuado para los componentes de salida (bombilla y sirena). No obstante, el resto de los bloques requieren una etapa adicional que transforme la corriente en continua y a tensiones bajas.

- *Corriente continua:* Una señal de entrada de tipo sinusoidal (corriente alterna) con valores positivos y negativos, se convierte en una salida positiva mediante un **sistema rectificador**. Se obtiene una corriente continua pulsante que se aplanan con un **filtro**. Las tensiones de rizado se resuelven con un **estabilizador**.
- *Tensiones bajas:* un **transformador** disminuye el valor de la tensión antes de llegar al circuito.

El siguiente esquema muestra las diferentes etapas de la fuente de alimentación:

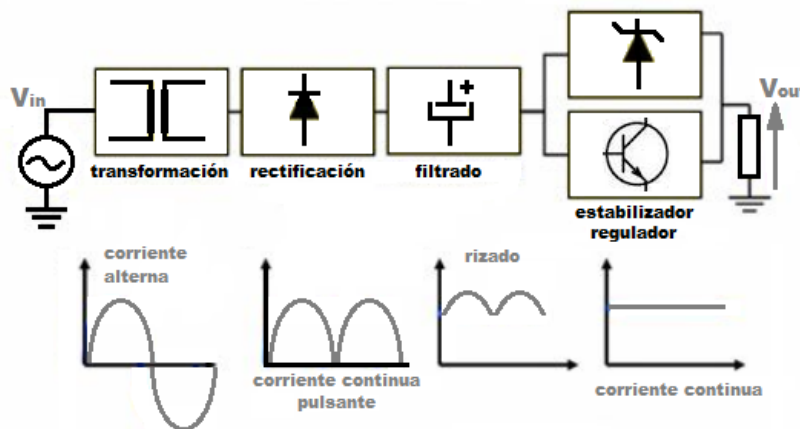


Figura 17. Etapas fuente de alimentación

6.1. Sistema rectificador

El rectificador de onda completa deja pasar las tensiones de entrada positivas, mientras que las negativas las transforma en positivas. Se obtiene, por lo tanto, en la salida (V_o) el valor absoluto de la tensión de entrada (V_i).

$$V_o = |V_i| \quad (6)$$

Se resuelve adecuadamente con un **punto de diodos** o puente rectificador. Dispositivo compuesto de 4 diodos conectados juntos, que podemos encontrar en el mercado integrados en un solo componente. La polaridad positiva y negativa son desviadas siempre a los terminales de salida.

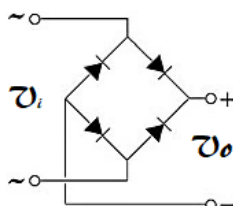


Figura 18. Esquema básico puente de diodos

Valor eficaz

En corriente alterna, corresponde al valor en continua que produce idéntica potencia sobre la misma resistencia

⁽²⁰⁾ Valor nominal en la región europea (y otras) con una tolerancia del 10 %


Corriente pulsante

Corriente continua de sentido constante, pero tensión variable

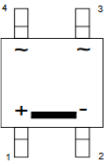
Diodo

Dispositivo electrónico no lineal de dos terminales que permite el flujo eléctrico en un solo sentido.

Los puentes rectificadores de la familia MB de **ON Semiconductor** ofrecen:



SOIC-4



Características técnicas:

- ✓ Gama MB1S – MB8S
- ✓ Corriente directa media pico de 0.5 A
- ✓ Capacidades de sobretensión en picos de 35 A
- ✓ Tensiones de hasta 1000 V
- ✓ Rango de temperaturas de – 55 °C a 150 °C
- ✓ Encapsulado SOIC
- ✓ Ideal para aplicaciones PCB
- ✓ Dimensiones 4.95 x 4.2 x 2.7 mm

Figura 19. Puente de diodos gama MB1S a MB8S

6.2. Filtro

La salida del rectificador no es una onda plana. Un condensador configurado en paralelo aplanar la salida (resistencia de carga R_L). Los ciclos de carga y descarga en alterna producen, no obstante, **tensión de rizado**.

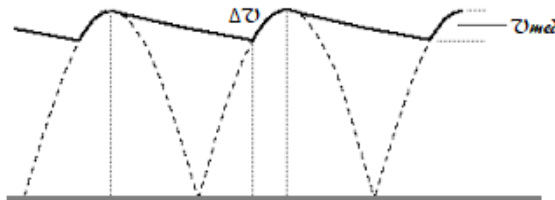


Figura 20. Filtro con condensador

Tensión de rizado Factor de rizado

Variación del voltaje ΔV en los terminales del condensador, debido a la carga y descarga de este en R_L . El Factor de rizado es la relación entre el valor eficaz de ΔV y la tensión media de salida V_{med}

La capacidad C del condensador se puede aproximar a partir de la expresión:

$$C = \frac{I_{m\acute{a}x}T}{\Delta V} = \frac{I_{m\acute{a}x}T}{V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}} \quad (7)$$

$V_{m\acute{a}x}$, tensión de entrada o valor pico del secundario del transformador (12 V); $V_{m\acute{i}n}$, tensión de entrada mínima que determinará el valor del rizado; T , periodo señal de red (10 ms²¹); y $I_{m\acute{a}x}$, intensidad máxima del secundario (0.5 A).

Se considera un valor de **factor de rizado** F_R óptimo²² por debajo del 10 %:

$$F_R = \frac{\Delta V}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V_{med}} = 0.1 \rightarrow Si, V_{med} = 12 V \rightarrow \Delta V = 3.39 V \quad (8)$$

Substituyendo en (7), el valor mínimo del condensador será:

$$C \approx 1472 \mu F \quad (9)$$

Estos componentes presentan una alta tolerancia, entorno a $\pm 20 - \pm 30$ de rango porcentual. Un condensador típico en estos circuitos es de **2200 μF** de capacitancia.

El fabricante **EPCOS/TDK** proporciona el siguiente dispositivo **electrolítico**, en el rango de voltaje deseado, por encima de 12 V:

⁽²¹⁾ La frecuencia de la red es de 50 Hz. En onda completa el periodo del rectificador es de 10 ms.

⁽²²⁾ Se trata de un valor de compromiso, puesto que al reducir el rizado el tiempo de conducción de diodo y transformador disminuye.

Condensador electrolítico

Dispositivo de gran capacidad, para circuitos eléctricos de alta corriente y baja frecuencia. Especialmente, para filtros de alimentación



Características técnicas:

- ✓ Capacitor electrolítico de aluminio
- ✓ Capacitancia de 2200 μF
- ✓ Tolerancia 20 %
- ✓ Voltaje máximo nominal 16 V
- ✓ Rango temperatura operación de $-55\text{ }^\circ\text{C}$ a $+125\text{ }^\circ\text{C}$
- ✓ Dimensiones 16 x 20 x 7.5 mm

Figura 21. Condensador electrolítico de aluminio

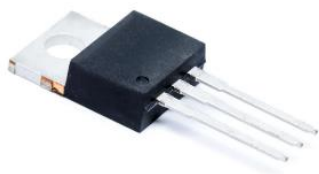
6.3. Estabilizador // Regulador de tensión

Mediante un **regulador de tensión**, se proporciona la corriente estable que necesitan los dispositivos que integran el sensor. Los 12 V disponibles en la salida del filtro se distribuyen entre el sensor de temperatura (5 V), el microcontrolador (3.6 V), los amplificadores operacionales y los transistores (3 V).

- ❖ La alimentación en el *sensor de temperatura* se resuelve con un regulador de tensión fijo. El fabricante **TEXAS Instruments** provee la familia de dispositivos LM78XX, que incluye el LM7805 con salida de 5V.

NOTA

Utilizar resistencias como divisor de tensión no es una solución eficiente debido a la gran cantidad de energía que disipan en forma de calor.



Características técnicas:

- ✓ Corriente de salida de hasta 1.5 A
- ✓ Salida de 5 V
- ✓ Máximo voltaje 25 V
- ✓ Temperatura de operación rango $0\text{ }^\circ\text{C}$ a $+125\text{ }^\circ\text{C}$
- ✓ Encapsulado TO-220
- ✓ Dimensiones 14.98 x 25.40 mm

Figura 22. Regulador de tensión fijo

- ❖ En cuanto al *microcontrolador*, se requiere de un regulador de tensión variable, que proporcione la tensión de 3.6 V. El modelo LM317 de **TEXAS Instruments** con la configuración siguiente permite obtener una salida V_o determinada:

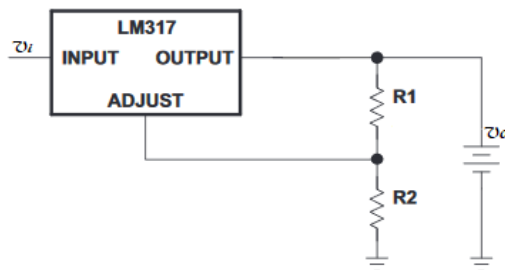
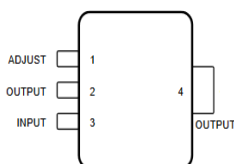
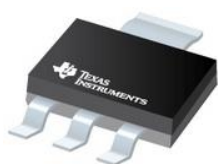


Figura 23. Esquema básico regulador tensión variable



Características técnicas:

- ✓ Corriente de salida de hasta 1.5 A
- ✓ Salida de voltaje regulable de 1.25 a 37 V
- ✓ Voltaje de referencia (*adjust*) de 1.25 V
- ✓ Temperatura de operación rango $-65\text{ }^\circ\text{C}$ a $+150\text{ }^\circ\text{C}$
- ✓ Encapsulado TO-223
- ✓ Dimensiones 6.5 x 3.5 mm

Figura 24. Regulador de tensión variable

El voltaje de referencia V_{REF} del LM317 es de 1.25 V, que junto con el divisor de tensión formado por las resistencias R_1 y R_2 , va a permitir alcanzar los 3.6 V deseados. La ecuación que proporciona el fabricante para el cálculo de V_o es:

$$V_o = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 \quad (10)$$

El valor típico de I_{ADJ} es 50 μA , *negligible* en la mayoría de aplicaciones. Mientras que, el valor habitual de R_1 es de 240 Ω . La variación del valor de R_2 permite obtener el valor requerido en cada caso.

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{V_o}{V_{REF}} - 1\right) = 240 \Omega \cdot \left(\frac{3.6 V}{1.25 V} - 1\right) = 451 \Omega \quad (11)$$

❖ Finalmente, la salida V'_o para los otros componentes de 3 V se obtiene siguiendo el mismo procedimiento. El valor de R'_2 será:

$$R'_2 = R_1 \cdot \left(\frac{V'_o}{V_{REF}} - 1\right) = 240 \Omega \cdot \left(\frac{3 V}{1.25 V} - 1\right) = 336 \Omega \quad (12)$$

6.4. Transformador

El primer elemento de la fuente de alimentación es siempre el transformador. Conectado a la red de 220 V, disminuye la tensión a 12 V. Cabe evaluar la **corriente de suministro** en el secundario, ya que el caudal debe ser suficiente para todos los componentes del sensor.

6.4.1. Corriente de suministro

Consumos previstos por los componentes del diseño; excepto diodos, condensadores y resistencias con valores despreciables en torno a los micro amperios²³. El máximo estimado, considerando los eventuales picos de operación:

Componente	Cantidad	Valor (mA)	Total (mA)
Sensor LM35AH	1	0.06	0.06
AD LM358	2	1	2
Transistores BC547B	2	100	200
PIC12LF1840T39A ²⁴	1	25	25
Regulador LM7805	1	8	8
Regulador LM317	2	10	20
Relé IM08GR	2	60	120
			375.06

Tabla 5. Consumo estimado de corriente

6.4.2. Elección del transformador

Con las especificaciones requeridas, la compañía **MYRRA** dispone de transformadores encapsulados para montaje en PCB, como el modelo 44231.

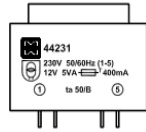
Transformador

Dispositivo compuesto por un par de bobinas (primaria y secundaria), con un número determinado de espiras y núcleo común, que permite aumentar o disminuir el voltaje o intensidad eléctrica, manteniendo constante la potencia.

⁽²³⁾ El consumo de un diodo, por ejemplo, está entorno de 10 μA .

⁽²⁴⁾ Incluye 15.67 mA de operación RF a 8 MHz y +10 dBm.

Características técnicas:



- ✓ Voltaje de entrada 230 V
- ✓ Frecuencia 50/60 Hz
- ✓ Voltaje nominal de salida 12V
- ✓ Potencia nominal 5 VA
- ✓ Corriente en el secundario de 417 mA
- ✓ Dimensiones 44 x 32 x 37 mm

Figura 25. Transformador 220 V a 12 V

El fabricante requiere colocar un **fusible** en el secundario para proteger el circuito de picos de corriente indeseadas. Tipo: cristal (5 x 12 mm) para montaje en circuitos integrados con sensibilidad de 400 mA.



Figura 26. Fusible de cristal

Fusible

Dispositivo de protección que se intercala en un punto determinado de un circuito electrónico, para que se funda el filamento que lo compone cuando la intensidad de corriente supere un valor pico.

6.5. Esquema básico Fuente Alimentación

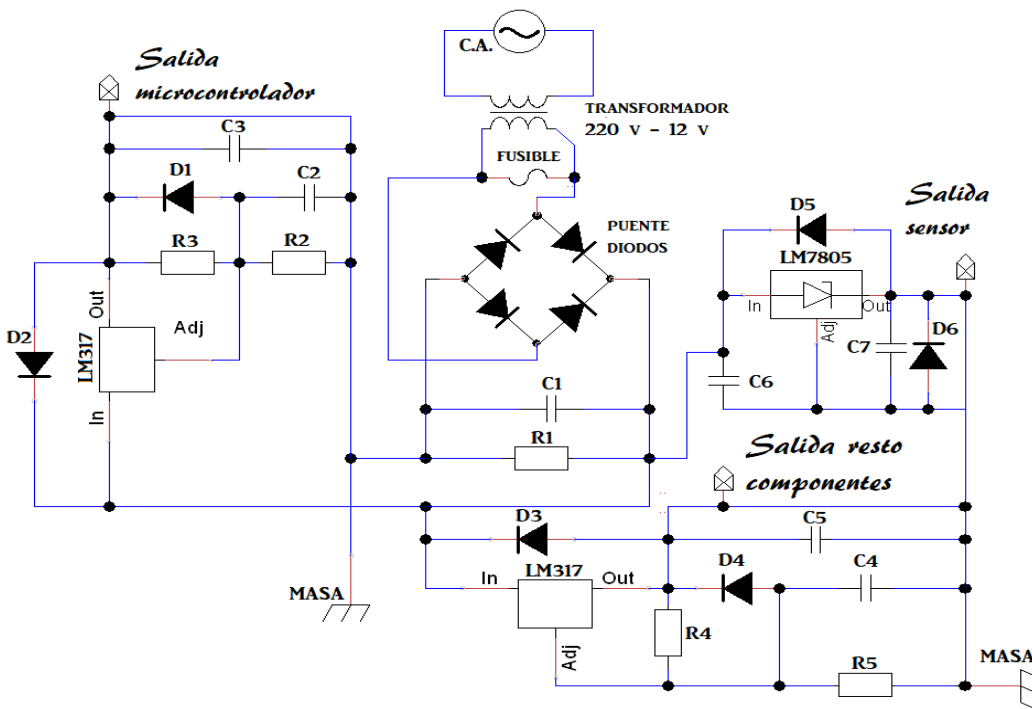


Figura 27. Esquema básico Fuente Alimentación

Se añaden diversos componentes con finalidades concretas:

- ✓ Protegemos los reguladores de tensión LM317 con diodos, que van a conducir la corriente de retorno de los *condensadores de mejora del transitorio*²⁵
- ✓ El regulador LM7805 se prevé lejos del filtro, por lo que necesitará un condensador. Se mejora la respuesta (transitorio) con otro condensador. Se protege el dispositivo y la salida con diodos²⁶

⁽²⁵⁾ Según especificaciones del fabricante, valores de 1 μF y 10 μF .

⁽²⁶⁾ El fabricante recomienda valores de 0.22 μF , y de 0.1 μF para el transitorio

7. Simulaciones

El comportamiento de cada uno de los bloques del diseño (adaptación de temperatura, control de salidas y fuente de alimentación) se puede evaluar mediante simulaciones por ordenador²⁷. Se pretende mostrar virtualmente el funcionamiento del dispositivo.

7.1. Simulación circuito adaptación temperatura

El sistema de captación y adaptación de temperatura, basado en el diseño descrito en el apartado 3, se divide en *dos fases* con funcionalidades diferentes:

Fase de captación

El sensor de temperatura provee valores que representarán, analíticamente, la señal de *entrada* del presente bloque, y también de todo el dispositivo. Rango de voltaje de 0 a 1.5 V

Fase de adaptación

El microcontrolador opera en un rango de valores determinados, por lo que, la *salida* requiere una previa adaptación. Una ganancia de 4 dB proporciona valores entre 0.5 V (20 °C) y 3 V (120 °C).

La simulación del circuito mediante TINA-TI:

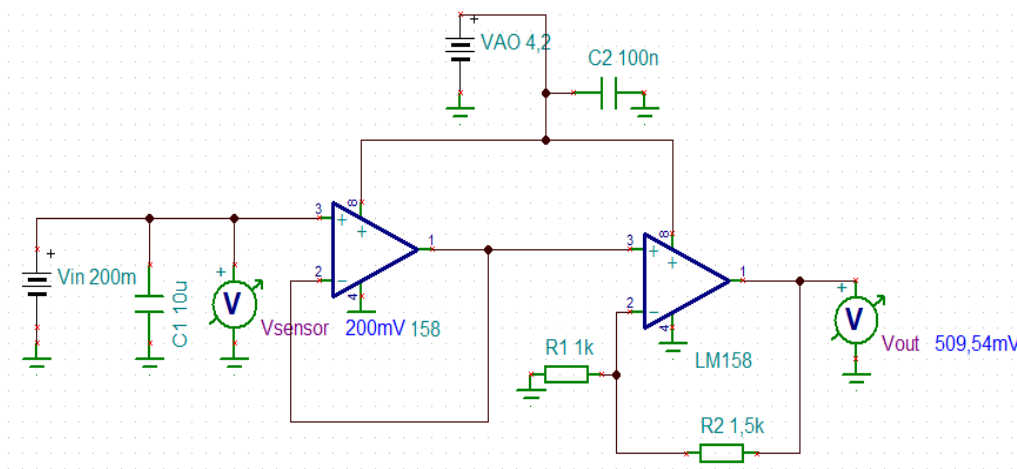


Figura 28. Simulación circuito adaptación para 20 °C

El resultado se muestra en la siguiente tabla:

Temperatura °C	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Valor teórico (V)
20	0.2	0.509	0.5
40	0.4	1.01	1
60	0.6	1.51	1.5
80	0.8	2.01	2
100	1	2.51	2.5
120	1.2	3.01	3

Tabla 6. Resultado simulación

⁽²⁷⁾ La compañía **TEXAS Instruments** proporciona, gratuitamente, **TINA-TI**. Potente y asequible paquete de software de simulador de circuitos y PCB, que permite analizar, diseñar y realizar pruebas en tiempo real

7.2. Simulación circuito control de salidas

El propósito del circuito de control de salidas es activar una sirena de manera continua, y encender y apagar una bombilla con una cadencia de 1 segundo.

7.2.1. Circuito activación sirena

Con la siguiente configuración de componentes en TINA-TI, se pretende simular la activación de la señal acústica de la sirena.

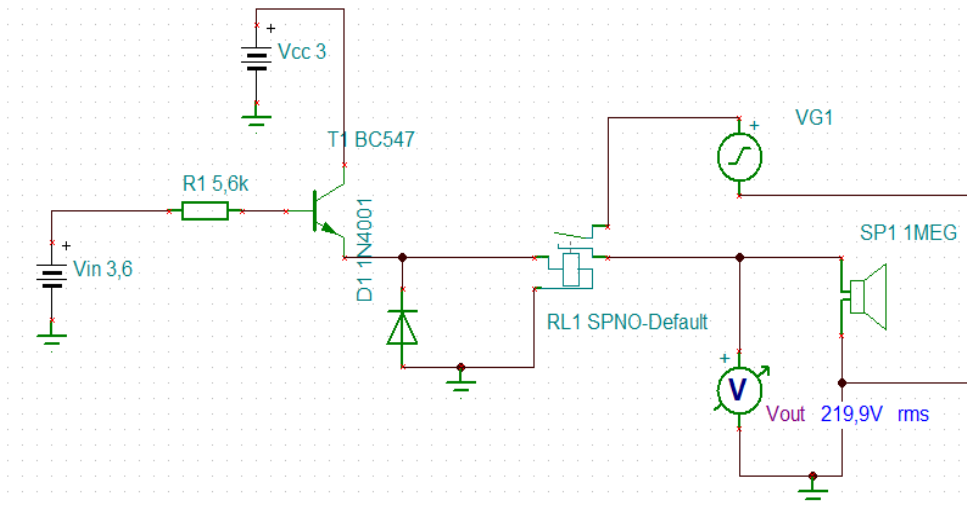


Figura 29. Simulación circuito activación sirena

NOTA

La tensión de control es independiente de la alimentación del relé. Nos permite aislar la entrada de la salida, así como, evitar interferencias generadas por la bobina del relé al desconectarse.

La señal de entrada corresponde a una corriente continua en la salida analógica del microcontrolador, entorno a los 3.6 V (V_{in}), dentro de su rango operacional. Se supera la tensión umbral⁽²⁸⁾ de la base del transistor, que transita al estado de conducción cerrando el circuito de la bobina del relé (*fase conmutación*).

⁽²⁸⁾ Entorno a los 0.7 V

La respuesta de salida se observa en el siguiente gráfico (TINA-TI):

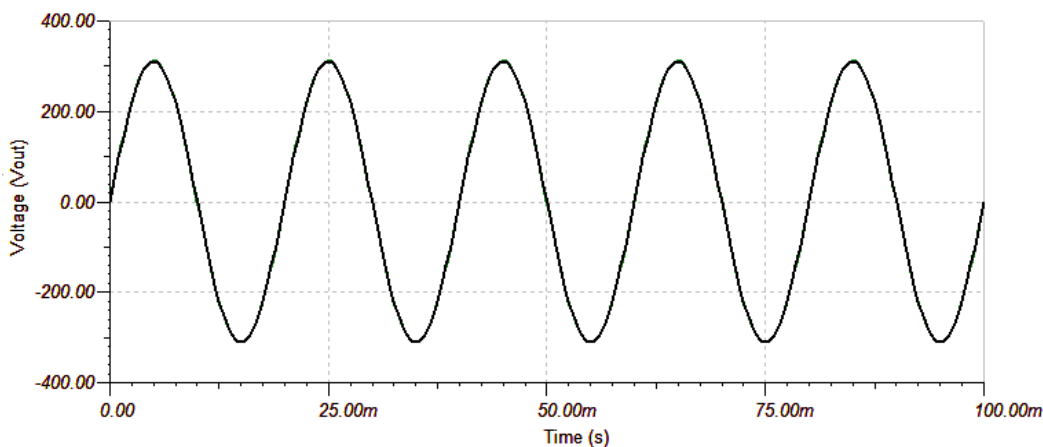


Figura 30. Respuesta del circuito de salida

Se constata una amplitud pico de 311.1 V, aprox., correspondiente a un valor de 220 de tensión eficaz (rms)⁽²⁹⁾. Mientras que, los cinco ciclos completos en 100 ms son coherentes con una frecuencia de señal de 50 Hz, propia de la red de alimentación doméstica.

⁽²⁹⁾ Root Mean Square:
 $220 \text{ V} \cdot \sqrt{2} = 311.12 \text{ V}$

7.2.2. Circuito de activación bombilla

Una señal discontinua que funcione como interruptor *encendido/apagado* en intervalos de un segundo, se genera fácilmente mediante una **señal cuadrada**. El sistema precisa de una amplitud de 1.8 V, **offset** de 1.8 V y frecuencia de 0.5 Hz.

La configuración de componentes en TINA-TI, similar a la salida de la sirena, incorpora una fuente en alterna (V_{in}). Para simular la salida (bombilla) se añade una resistencia con la misma carga que la bombilla (V_{out}).

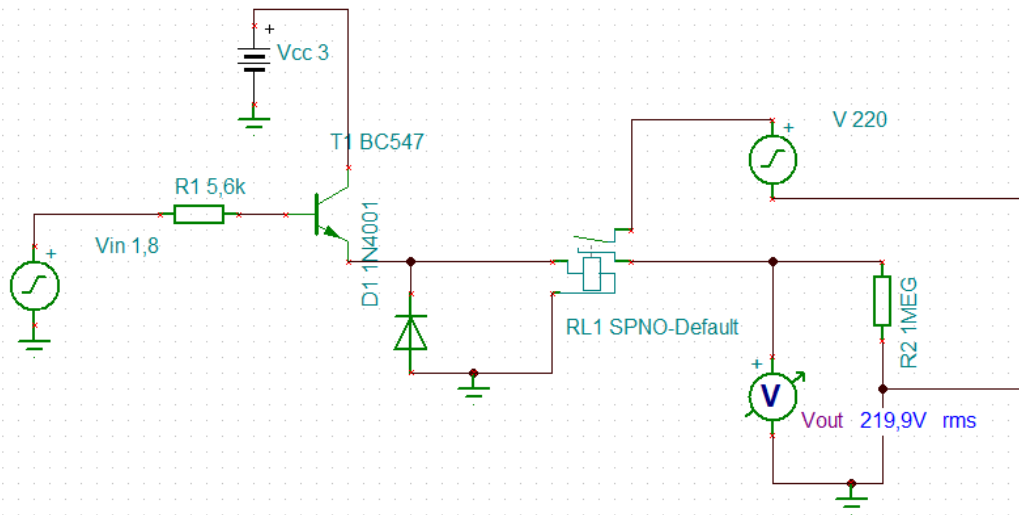


Figura 31. Simulación circuito activación bombilla

ONDA CUADRADA

Corriente alterna que combina dos valores sin pasar por sus intermedios. Por ejemplo, pulsos eléctricos de valor 1 o 0.

OFFSET

En una señal alterna, es el nivel de continua que se le suma. Si se pretende que la señal no tenga valores negativos, el offset deberá ser igual a su pico.

El funcionamiento basado en el transistor como interruptor (*fase conmutación*), permite, si es necesario, adaptar el voltaje a los requerimientos de encendido del relé (*fase de amplificación*). La alternancia implementada entre tensión alta y baja de la señal cuadrada resultara en el encendido y apagado de la bombilla.

El siguiente gráfico (TINA-TI) muestra el comportamiento del voltaje (red V_{220} , entrada V_{in} y bombilla V_{out}) en el dominio del tiempo, **tres segundos**.

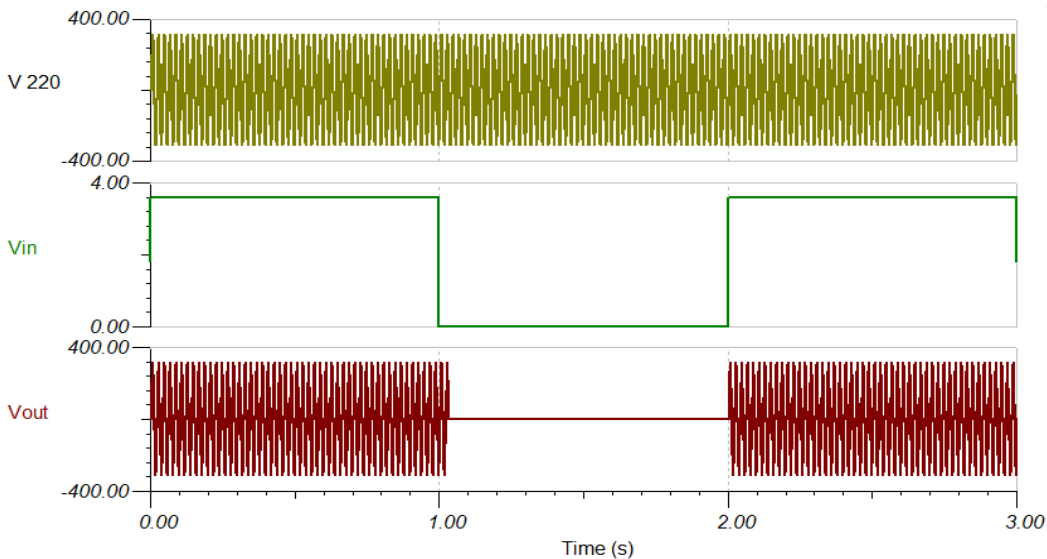


Figura 32. Comparativo voltaje entrada y salida-bombilla

7.3. Simulación fuente de alimentación

Las diferentes etapas de la fuente de alimentación se pueden individualizar en *esquemas*, fases independientes del circuito, con el propósito de evaluar las salidas correspondientes mediante TINA-TI. Se identifican, por lo tanto:

❖ *Fase transformadora (Esquema 1)*

Un transformador³⁰ reduce la tensión eficaz de 220 V (V_1) a 12 V (V_2). La relación de espiras en el primario N_1 y secundario N_2 , se puede expresar analíticamente en función de las tensiones de la siguiente manera:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (13)$$

⁽³⁰⁾ El voltaje depende de las vueltas en el devanado primario N_1 , secundario N_2 y el voltaje aplicado en el primario V_1 .

❖ *Fase de rectificación (Esquema 2)*

Para la simulación, el rectificador se monta con cuatro diodos, en la configuración presentada en la *figura 18*. El diodo rectificador 1N5404 proporciona un voltaje pico de 400 V (280 rms)³¹.

⁽³¹⁾ Datasheet fabricante **VISHAY**.

❖ *Fase de filtrado (Esquema 3)*

Aplanamiento de la curva, con la finalidad de aproximarla a una corriente continua. Se simula mediante un condensador de 2200 μF y una resistencia de 1 $k\Omega$ de carga.

❖ *Fase de estabilización y regulación (Esquema 4)*

Se requiere una tensión de suministro determinada. Esa es la función del regulador, que además reduce a un valor mínimo los eventuales picos de la onda

7.3.1. Esquemas de simulación

Esquema 1

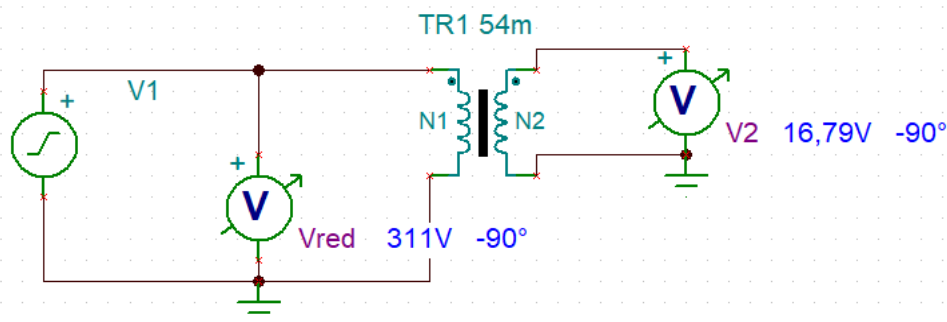


Figura 33. Transformador de tensión eficaz de 220 V a 12 V

La señal de entrada alterna corresponde a la tensión pico de 311 V. El transformador convierte dicho valor a 16.79 V, aproximadamente, 11.87 V de tensión eficaz.

El siguiente gráfico muestra la salida del transformador:

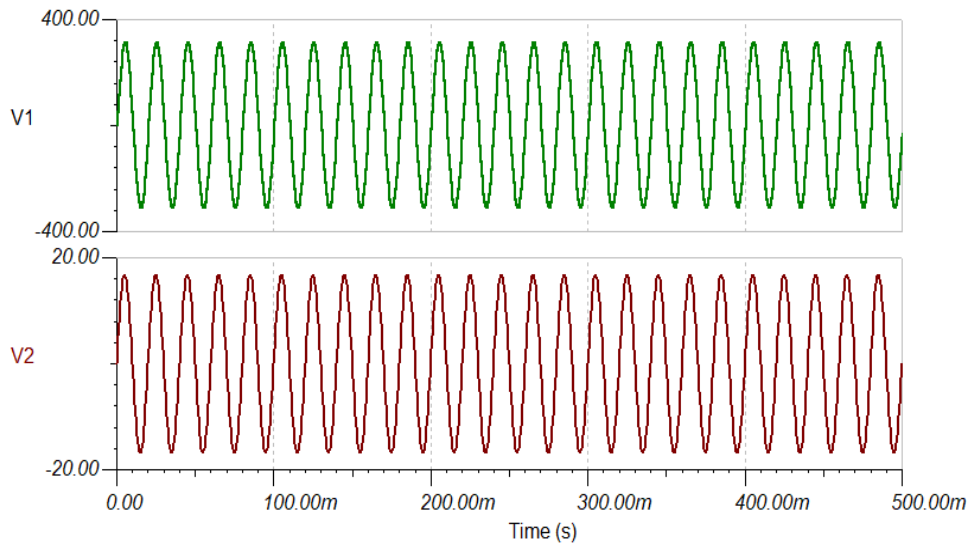


Figura 34. Salida del transformador

Esquema 2

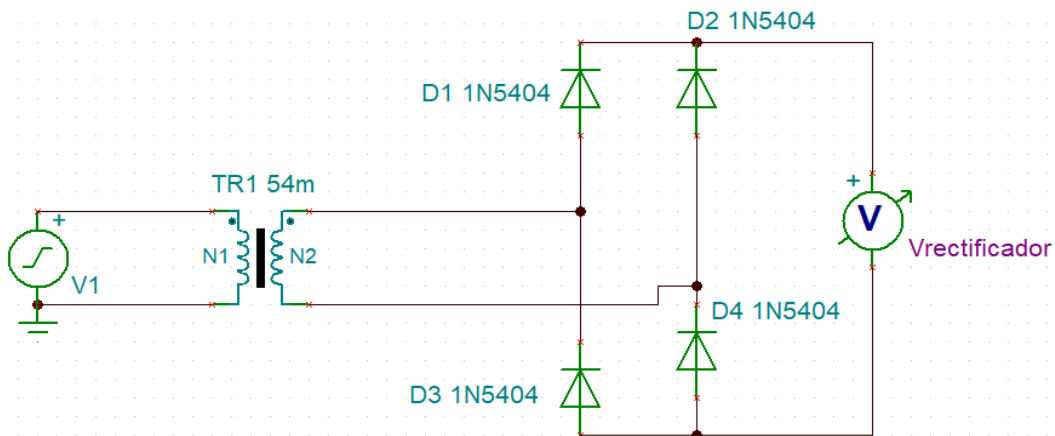


Figura 35. Rectificador de onda completa

La gráfica muestra el resultado. Onda rectificada ($V_{rectificador}$) con valores solo positivos.

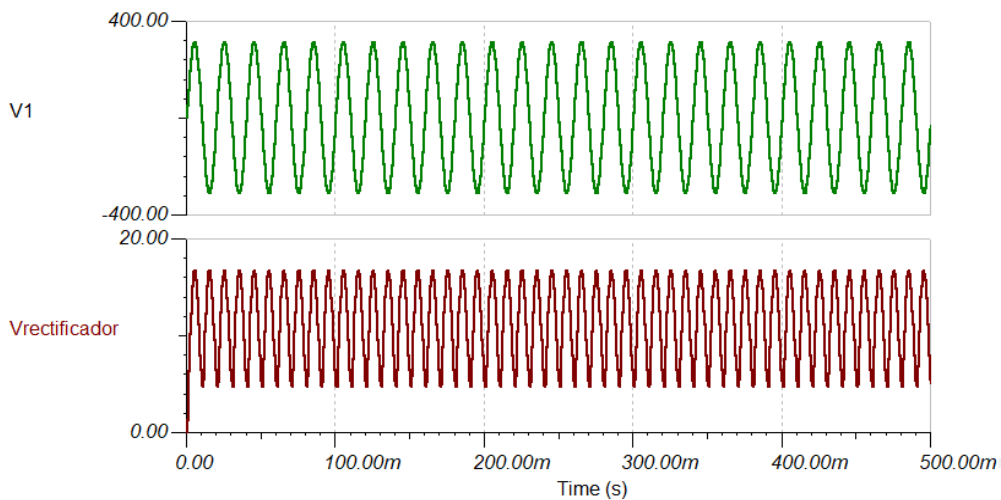


Figura 36. Comparativa onda rectificada

Esquema 3

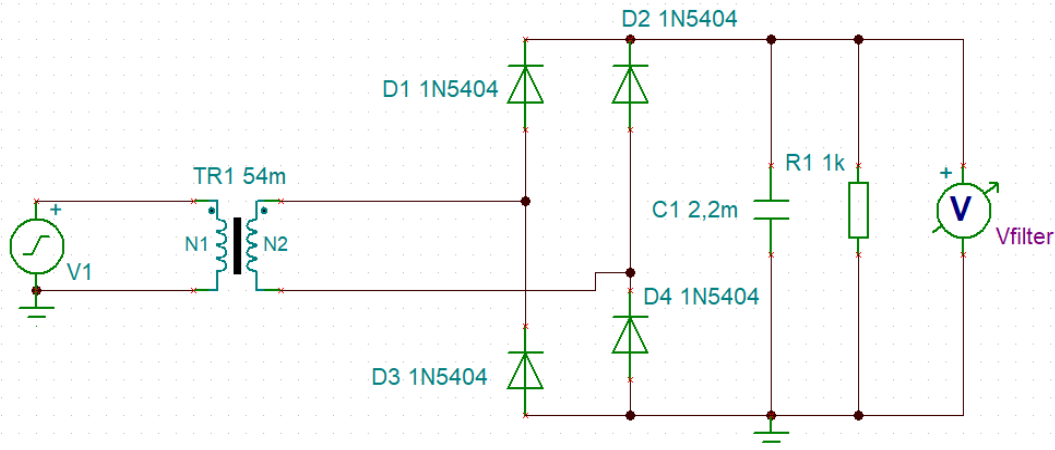


Figura 37. Filtro

Se observa en el grafico de salida como la tensión es prácticamente plana, asemejándose a una señal continua.

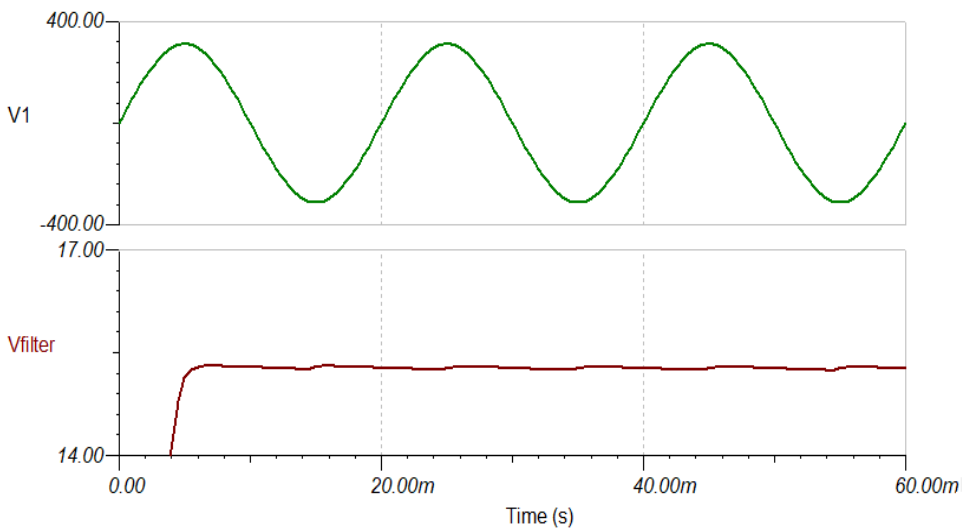


Figura 38. Salida filtro

El valor del rizado se encuentra en torno a los milivoltios. La siguiente figura muestra un valor de 34.3 mV, aproximado mediante TINA-TI.

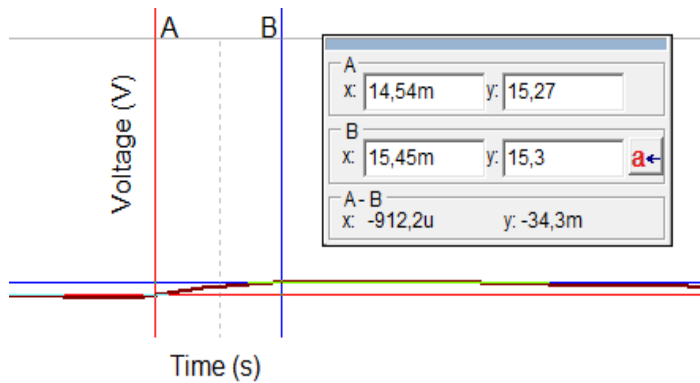


Figura 39. Rizado

Esquema 4

Alimentación Sensor Temperatura

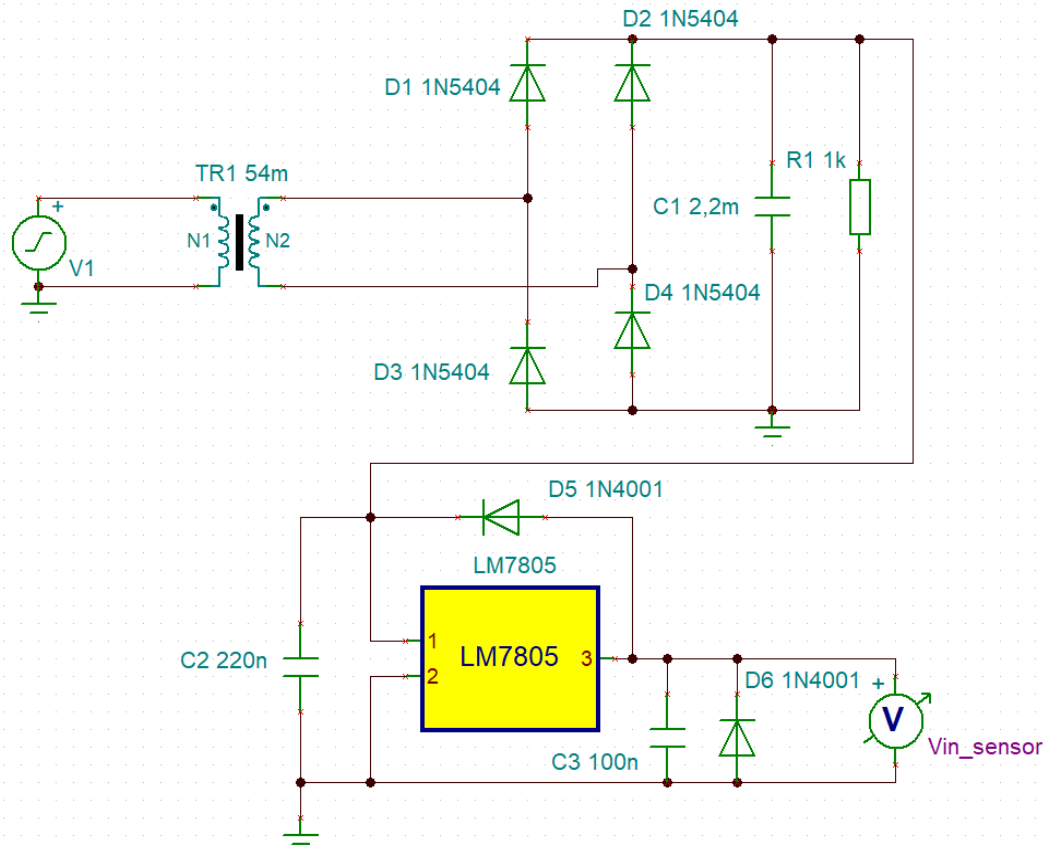


Figura 40. Bloque alimentación sensor temperatura de 5 V

El siguiente gráfico muestra como el regulador proporciona una tensión de 5 V. Los condensadores añadidos ($C2$, $C3$) mejoran el rizado. Mientras que, los diodos³¹ ($D5$, $D6$) protegen el rectificador del pico de descarga del condensador.

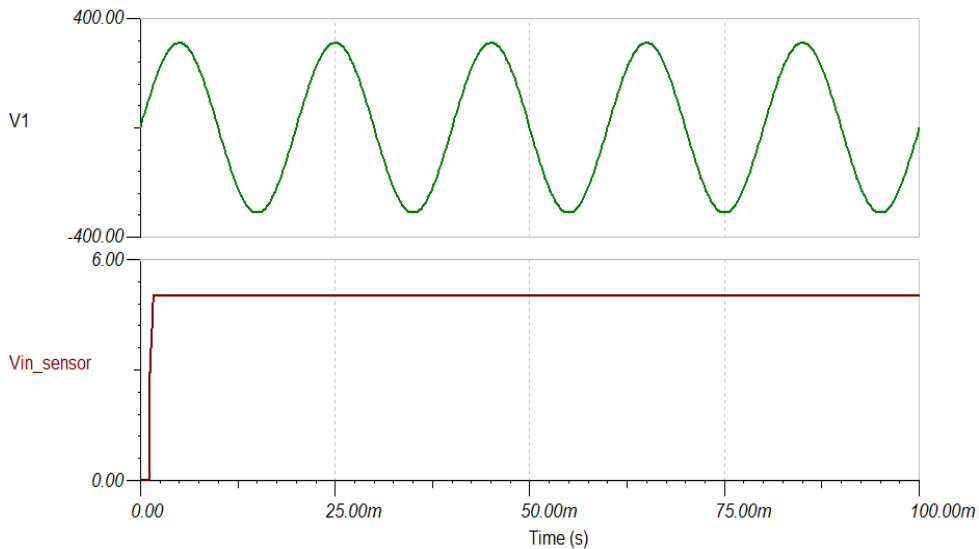


Figura 41. Salida del regulador para sensor temperatura

⁽³¹⁾ La familia de diodos del fabricante **FAIRCHILD** proporciona componentes de propósito general para rectificadores, con tensiones inversa repetitiva de entre 50 V para el 1N4001 a 1000 V para el 1N4007.

Alimentación Microcontrolador

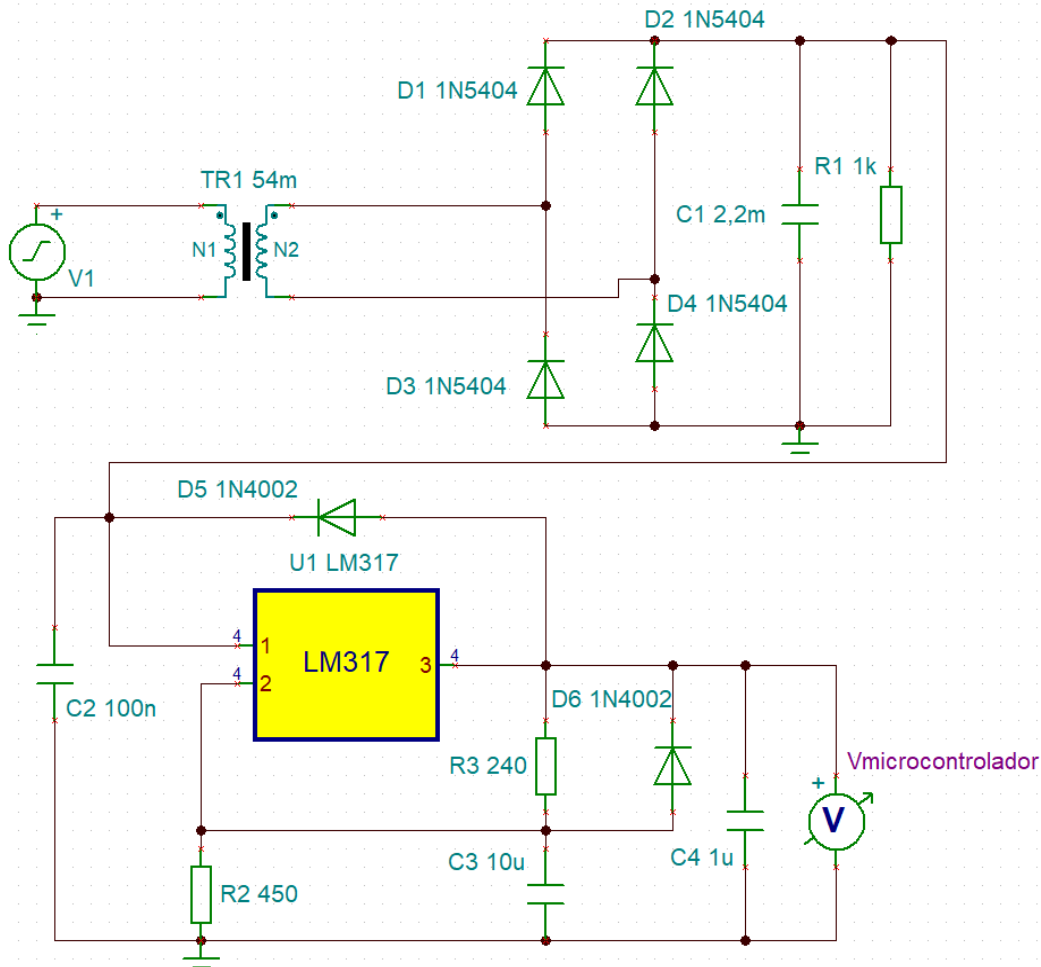


Figura 42. Bloque alimentación microcontrolador de 3.6 V

La tensión de 3.6 V, aproximadamente, proporcionada por el regulador LM317³² se muestra en el siguiente gráfico.

⁽³²⁾ El fabricante del regulador, **TEXAS INSTRUMENTS**, recomienda en este esquema el diodo 1N4002.

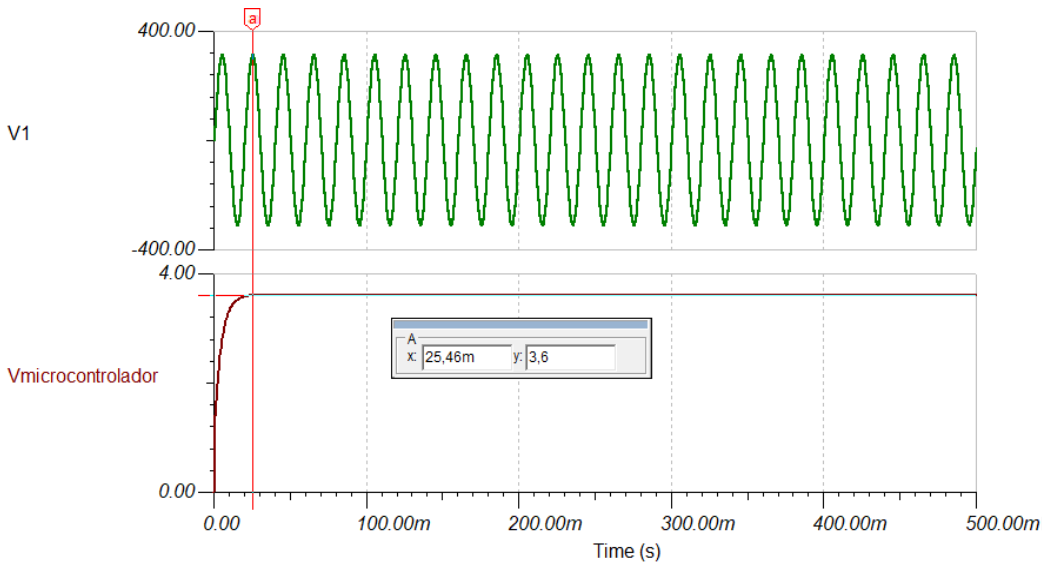


Figura 43. Salida del regulador para microcontrolador

Alimentación para amplificadores operacionales y transistores

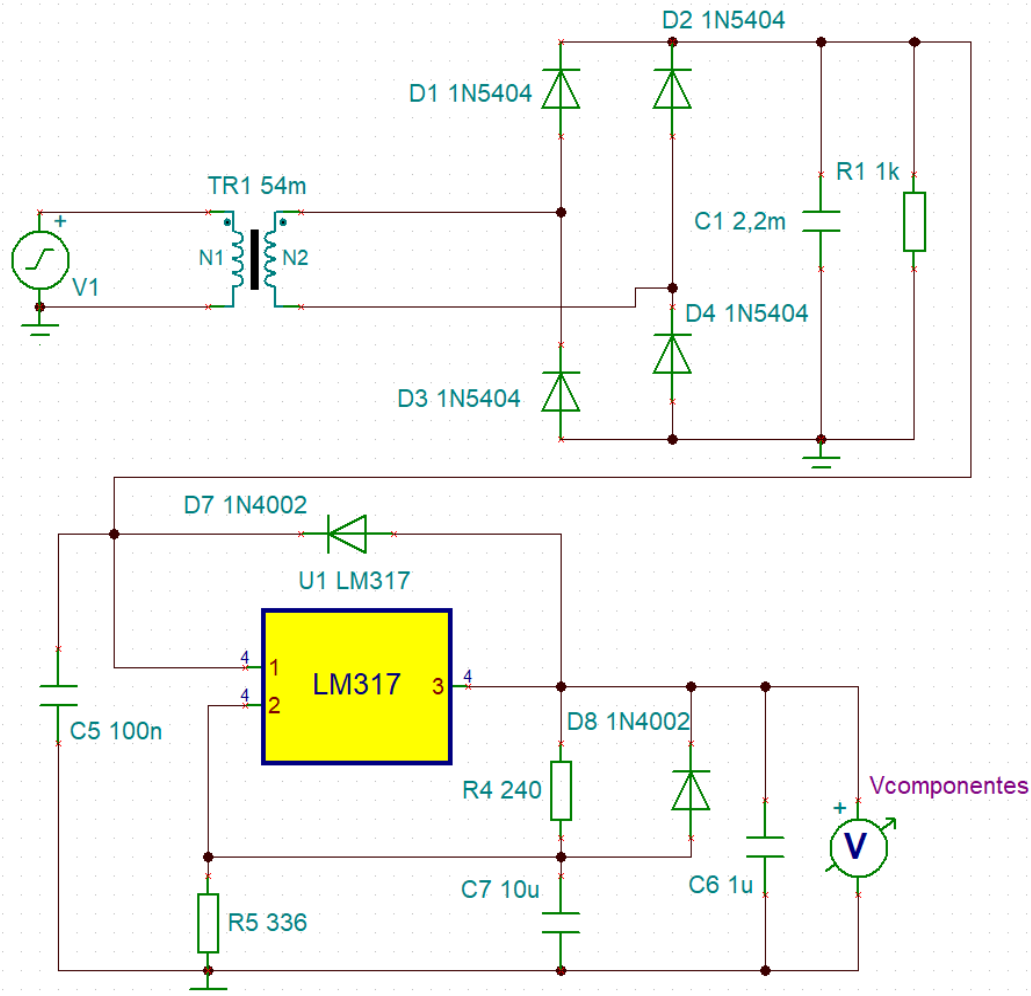


Figura 44. Bloque alimentación resto componentes de 3 V

Se mantienen la mayoría de los componentes, excepto la resistencia $R5$ (336Ω) que permite obtener el valor de salida deseado, 3 V.

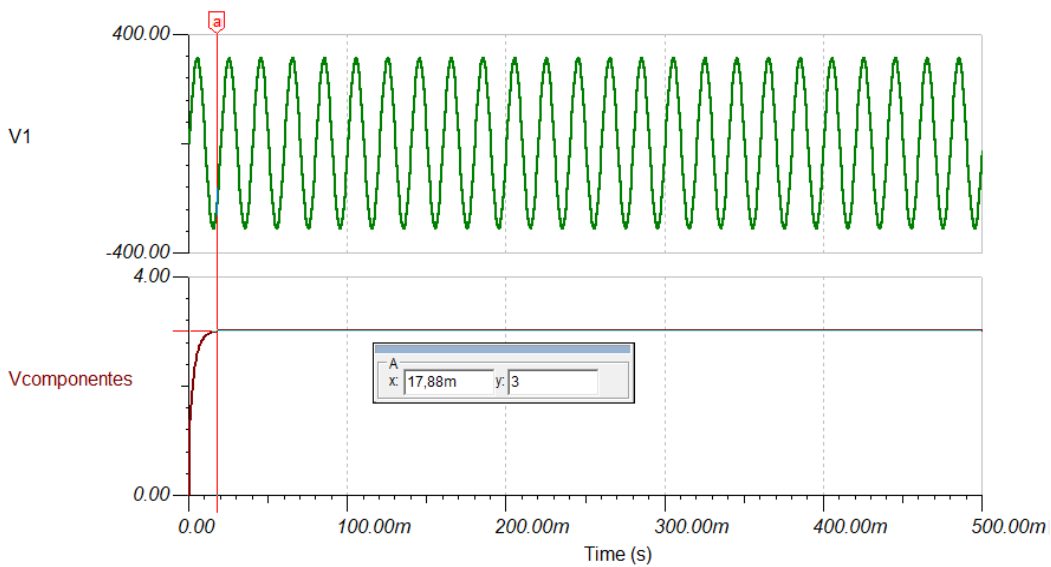


Figura 45. Salida del regulador para el resto de los componentes

8. Implementación del programa de control

El microcontrolador provee al sistema de tres respuestas predeterminadas:

1. *Monitoreo de la temperatura*
2. *Activa y desactiva el estado de alarma*
3. *Envía información a la centralita*

Dichas *tareas* de poco procesamiento computacional, con pocas instrucciones por segundo (**MIPS**), se encuentran cargadas en la memoria Flash del dispositivo³³ mediante código ejecutable.

El comportamiento del sensor de alarma se describe mediante un grafo de transición de estados. Las entradas son la temperatura que provee el sensor y las salidas³⁴ son valores numéricos. Ambas se codifican en binario.

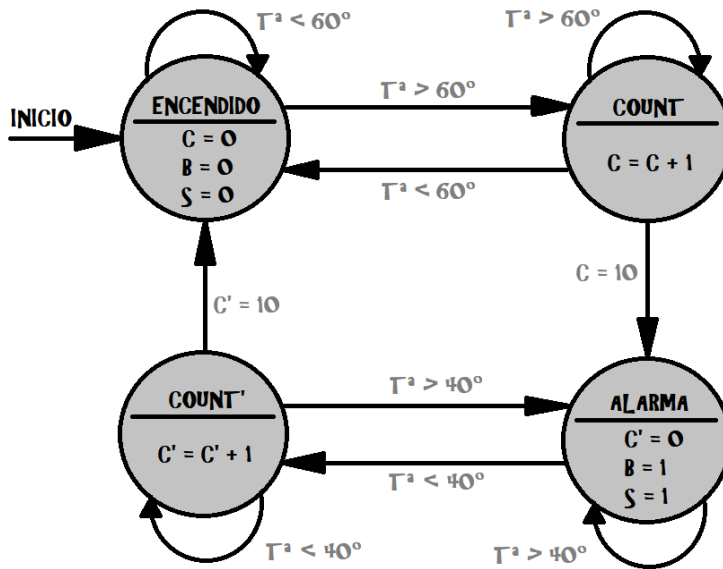


Figura 46. Grafo de transición de estados

A partir del grafo de estados se obtienen la tabla de transiciones de estados y la de salidas:

Estado actual	Entrada	Estado futuro
ENCENDIDO	$T^a < 60^\circ$	ENCENDIDO
ENCENDIDO	$T^a > 60^\circ$	COUNT
COUNT	$T^a > 60^\circ$	COUNT
COUNT	$T^a < 60^\circ$	ENCENDIDO
COUNT	$C = 10$	ALARMA
ALARMA	$T^a > 40^\circ$	ALARMA
ALARMA	$T^a < 40^\circ$	COUNT'
COUNT'	$T^a < 40^\circ$	COUNT'
COUNT'	$T^a > 40^\circ$	ALARMA
COUNT'	$C' = 10$	ENCENDIDO

Estado actual	Salida
ENCENDIDO	$C = 0; B = 0; S = 0$
COUNT	$C = C + 1$
COUNT'	$C' = C' + 1$
ALARMA	$C' = 0; B = 1; S = 1$

Tabla 7. Transiciones de estados y salidas

MIPS

Millones de Instrucciones Por Segundo. Es una forma de medir la potencia del procesador.

⁽³³⁾ El PIC12LF1840T39A dispone de 4 KB de memoria Flash, con 49 instrucciones disponibles y palabras de 8 bits.

⁽³⁴⁾ Salidas:

- Bombilla** (B = 0/1 apagada/encendida)
- Sirena** (S = 0/1 apagada/encendida)
- Contadores** (C, C' = valor en segundos)

La programación del microcontrolador, con el software **MPLAB**, requiere el desarrollo de un algoritmo en lenguaje de alto nivel⁽³⁵⁾. Los pasos o procesos se representan gráficamente en el siguiente diagrama de flujo⁽³⁶⁾:

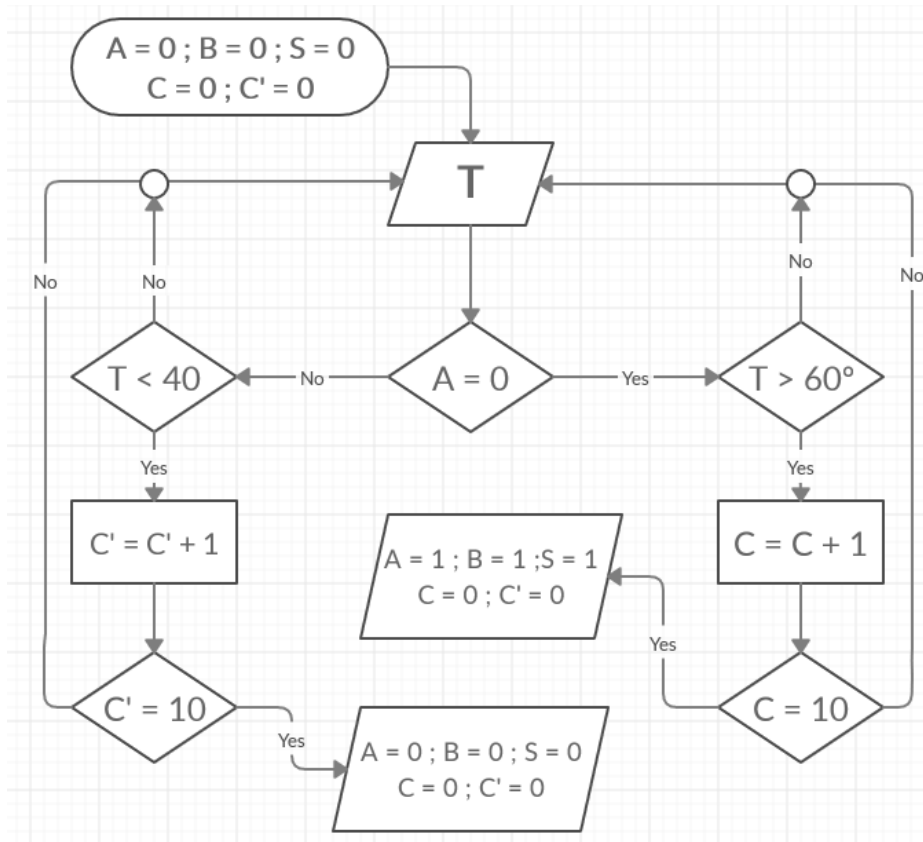


Figura 47. Diagrama de flujo

8.1. Monitoreo de la temperatura – Conversor A~D

El sensor de temperatura proporciona una señal analógica variable en voltaje. El microcontrolador cuenta con cuatro entradas analógicas (AN) y un módulo convertidor ADC⁽³⁷⁾.

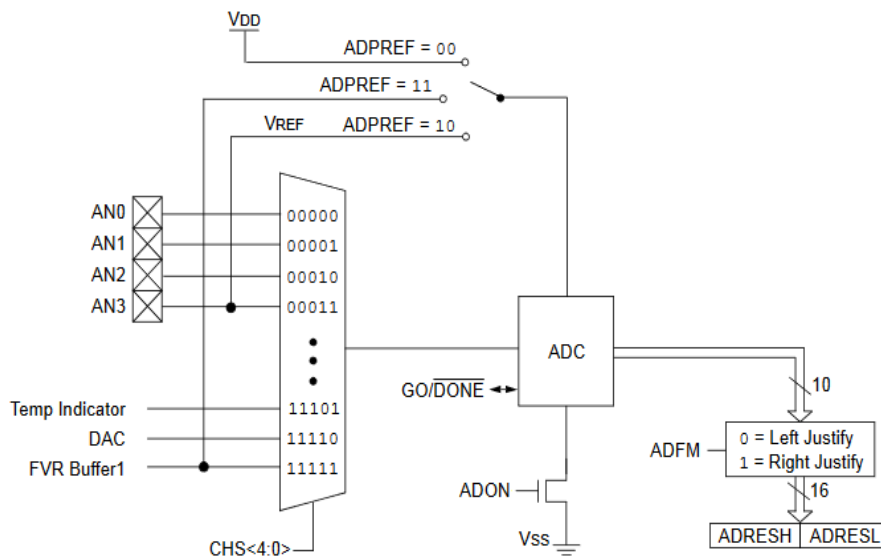


Figura 48. Diagrama de bloques del ADC⁽³⁸⁾

MPLAB

Es un entorno de desarrollo gratuito, destinado a la programación de dispositivos de la compañía **MICROCHIP**

(35) El compilador XC8 para lenguaje C de **MICROCHIP** produce código máquina para los PIC12, entre otros.

(36) Variables:
A alarma activada (1) desactivada (0)
T temperatura
B bombilla
S sirena
C/C' contadores

(37) El convertidor analógico-digital ADC del PIC12LF1840T39A tiene una resolución de 10 bits por canal.

(38) [Datasheet](#) PIC12LF1840T39A.

La conversión analógica-digital se basa en el *tiempo de adquisición* (TACQ)³⁹ de un condensador integrado, que determina el retardo entre cada operación. El *tiempo de conversión* (TC)⁴⁰ es el que ocupa el convertidor en obtener el valor digital de 10 bits, que se almacena en los **registros SFR** de 8 bits, *ADRESH* y *ADRESL*.

⁽³⁹⁾ **Tiempo de adquisición**, según el [Datasheet](#), para el PIC12LF1840T39A es de 5.1 µs.

⁽⁴⁰⁾ **Tiempo de conversión**, según el [Datasheet](#), para el PIC12LF1840T39A es de 18.4 µs.

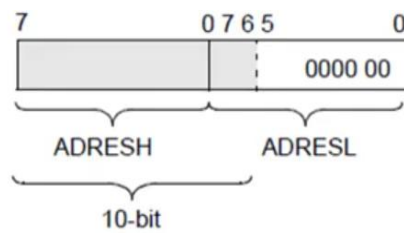


Figura 49. Registro 10 bits⁴¹

El módulo ADC cuenta con otros dos registros, uno de control, *ADCON0*; y el otro de configuración de pines, *ADCON1*.

ADCON0

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

Figura 50. Registro ADCON0

Los bits 7-6 permiten seleccionar el reloj de conversión, bits 5-3 el canal analógico de entrada, bit 2 (GO/DONE) activar la conversión (el hardware se encarga de ponerlo a 0 cuando el proceso ha acabado), bit 1 libre y bit 0 es el encendido.

ADCON1

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Figura 51. Registro ADCON1

El bit 7 permite justificar (derecha "1", izquierda "0") los registros *ADRESH* y *ADRESL*, el bit 6 selecciona el reloj de conversión, los bits 5-4 sin implementación y del 3-0 corresponden al registro PCFG de configuración de puertos.

8.1.1. Simulación

Conversión A~D:

- ✓ Selección de entradas analógicas

El registro PCFG del ADCON1 permite configurar las entradas mediante el valor <3:0> = <0000>, así como los *voltajes de referencia* del microcontrolador. Según *datasheet*.

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0

Figura 52. Registro PCFG de configuración puertos analógicos

REGISTRO SFR

Circuito electrónico de almacenamiento de instrucciones, predeterminadas por el fabricante, para manejar circuitos internos como temporizadores, convertidores A/D, entre otros.

⁽⁴¹⁾ Configuración con justificación a la izquierda, mediante el bit de control 0 en AADFM del registro ADCON1.

NOTA

Simular el convertor A/D requiere de 10 bits de salida del registro ADRESH/ADRESL. El PIC12LF1840T39A no dispone de puertos suficientes. Se implementa en simulación el PIC16F877A.

✓ Canal analógico de entrada

En el registro **ADCON0** se colocan los bits $\langle 5:3 \rangle = \langle 000 \rangle$ para seleccionar el canal **RA0**.

✓ Cálculo del tiempo de conversión (parámetro $TAD^{(42)}$)

El número de bits de conversión es de 10. Se deben añadir dos **TADs** más para la descarga del condensador. Por lo tanto:

$$T_{\text{tiempo conversión}} = TAD * (10 + 2) = 1.6 \mu s * 12 = 19.2 \mu s \quad (14)$$

⁽⁴²⁾ Tiempo de conversión de un solo bit. Según el fabricante para el PIC16F877A es de 1.6 μs .

✓ Selección de señal de conversión

El **TAD** se configura mediante los bits de los registros **ADCS0** y **ADCS1** de **ADCON0**, y el **ADCS2** del **ADCON1**. Debemos multiplicar el periodo de oscilación $T_{osc}^{(43)}$ por un factor.

$$TAD = \frac{1 * ADCS}{F_{osc}} = \frac{8}{4000000 \text{ Hz}} = 2 \mu s > 1.6 \mu s \quad (15)$$

⁽⁴³⁾ Se implementa en simulación un cristal externo de 4 MHz.

AD Clock Source (TAD)		Maximum Device Frequency
Operation	ADCS2:ADCS1:ADCS0	
2 T_{osc}	000	1.25 MHz
4 T_{osc}	100	2.5 MHz
8 T_{osc}	001	5 MHz

Figura 53. Registro ADCS

El factor que garantiza la conversión es de $8 T_{osc}$. La implementación se realiza mediante los bits de control $\langle 001 \rangle$.

Por lo tanto,

ADCON0							
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
0	1	0	0	0	0	—	1
bit 7							bit 0

Figura 54. Valores ADCON0

$$ADCON0: \text{binario} \sim \mathbf{0b01000001} \rightarrow \mathbf{0x41} \sim \text{hexadecimal} \quad (16)$$

Mientras que,

ADCON1							
R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
0	0	—	—	0	0	0	0
bit 7							bit 0

Figura 55. Valores ADCON1

$$ADCON1: \text{binario} \sim \mathbf{0b00000000} \rightarrow \mathbf{0x00} \sim \text{hexadecimal} \quad (17)$$

Mediante MPLAB (código Anexo II) y sus diferentes herramientas de simulación, se obtienen los resultados de conversión:

 **Stimulus**

Parámetros de entrada analógica del sensor de temperatura. Secuencia en bucle.

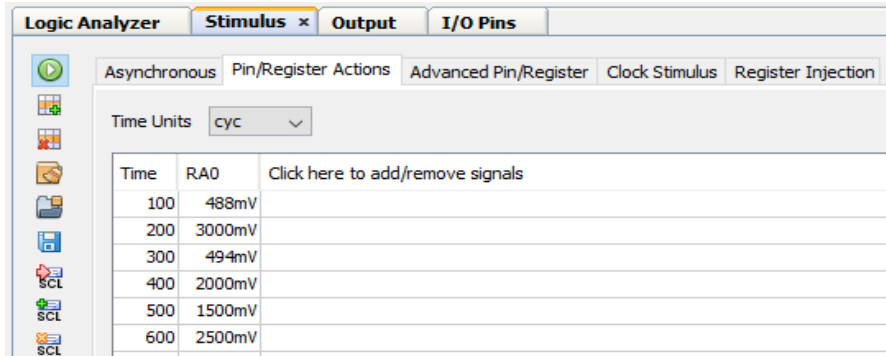


Figura 56. Parámetros de entrada – señal analógica

 **Logic Analyzer**

Respuesta del microcontrolador (salida binaria). Mediante código se configura la entrada en RA0 (última fila color rojo). Salidas en el puerto C, canales RC0, RC1, RC2, RC3, RC4, RC5, RC6, RC7 y puerto B, canales RB6, RB7.

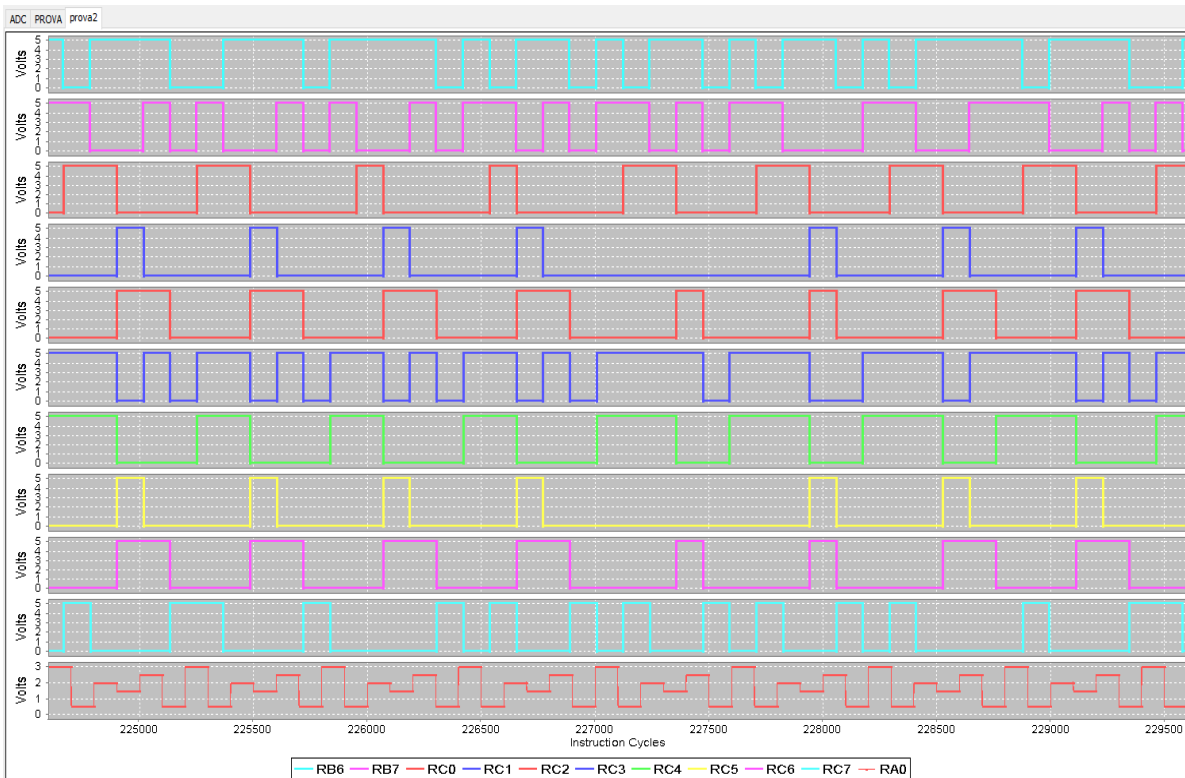


Figura 57. Representación gráfica niveles de voltaje entrada y salida

En las salidas, los niveles de voltaje alto corresponden a un “1” binario. Los bajos a un “0”.

 I/O Pins

Valor binario para las salidas del microcontrolador.

Pin	Mode	Value	Owner or Mapping
RA0	Ain	3.0V	RA0/AN0
RC0	Dout	0	RC0/T1OSO/T1CKI
RC1	Dout	0	RC1/T1OSI/CCP2
RC2	Dout	0	RC2/CCP1
RC3	Dout	1	RC3/SCK/SCL
RC4	Dout	1	RC4/SDI/SDA
RC5	Dout	0	RC5/SDO
RC6	Dout	0	RC6/TX/CK
RC7	Dout	0	RC7/RX/DT
RB6	Dout	1	RB6/PGC
RB7	Dout	1	RB7/PGD

Figura 58. Tabla de salidas en binario para una entrada de 3 V

La entrada analógica de 3V se resuelve con una salida binaria de 10 bits, entre los valores posibles⁴⁴, < 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 >

8.2. Activación y desactivación del estado de alarma

El estado de alarma y la activación de la bombilla requieren la temporización del sistema en intervalos de un segundo. Los microcontroladores permiten trabajar con tiempos mediante relojes de gran precisión.

8.2.1. Reloj

Los **TIMERS** permiten generar mediante código la salida cuadrada de un hercio que requiere la activación de la bombilla. El **TIMER0**⁴⁵ con 8 bits de resolución se puede configurar a partir de los siguientes parámetros:

- ✓ Periodo de trabajo T_c o ciclo de instrucción

$$T_c = \frac{4}{F_{osc}} = \frac{4}{32 \text{ MHz}} = 125 \text{ ns} \quad (18)$$

- ✓ **TICK**, tiempo contabilizado una vez aplicado el *prescaler*⁴⁶

$$TICK = T_c * prescaler = 125 \text{ ns} * 32 = 4 \mu\text{s} \quad (19)$$

- ✓ **TMRO**, contador configurable en función del tiempo de desbordamiento

$$TMRO = 256 - \frac{\text{tiempo desbordamiento}}{TICK} = 256 - \frac{1 \text{ ms}}{4 \mu\text{s}} = 6 \quad (20)$$

La carga inicial del registro **TMRO** deberá ser de 6, para contar 250 TICKS y generar un desbordamiento de 1 ms. La configuración del dispositivo se implementa mediante los bits < 5: 0 > en el registro **OPTION_REG**.

R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1
WPUEN	INTEDG	TMR0CS	TMR0SE	PSA		PS<2:0>	
bit 7							bit 0

Figura 59. Registro **OPTION_REG** del **TIMER0**

(44) El rango de precisión viene dado por los 5V de voltaje de referencia y las 1024 combinaciones posibles de 10 bits.

TIMER
Periférico capaz de trabajar con tiempos de gran precisión. Permite, por ejemplo, establecer tareas de ejecución en intervalos regulares.

(45) El **PIC12LF1840T39A** incorpora tres **TIMERS** con resoluciones de 8 o 16 bits.

(46) El *prescaler* permite modificar el tiempo de desbordamiento del registro **TMRO**. En este supuesto, el **TMRO** es negativo para un *prescaler* inferior a 32.

El registro TMR0CS, bit 5 a "0", se selecciona el reloj interno de 32 MHz (eventos internos o ciclos de instrucción); y los bits < 3:0 > se utilizan para seleccionar el *prescaler*. Para 64, el bit 3 debe estar a "0", y los bits < 2:0 >=*1 0 1* >.

La simulación mediante *Logic Analyzer* (código **Anexo III**) devuelve el siguiente resultado:

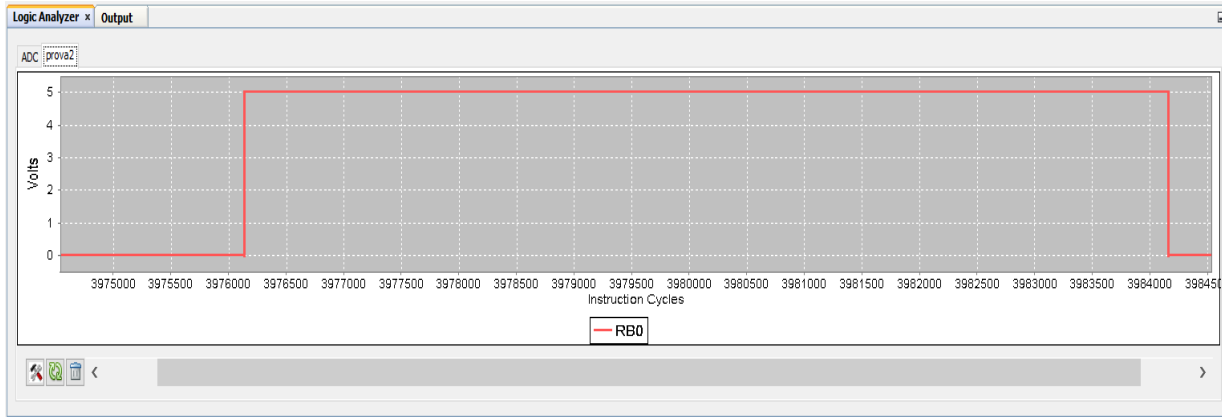


Figura 60. Simulación TIMER0

Se constata una salida en voltaje alto (5 V)⁴⁷ durante un intervalo de 8000 ciclos de instrucción:

⁽⁴⁷⁾ Configuración de voltaje de referencia por defecto.

$$8000 \text{ ciclos de instrucción} * 125 \text{ ns/ciclo} = 1000000 \text{ ns} \rightarrow 1 \text{ ms} \quad (21)$$

El temporizador se basa en interrupciones por desbordamiento, generadas mediante código cada microsegundo. Un contador que sume 1000 interrupciones permite obtener una señal cuadrada de un segundo.

```
void __interrupt() timer0(void){
    if(INTCONbits.TMR0IF==1){
        x++; //Se suma una interrupción
        if(x==1000){ //Un segundo, mil interrupciones
            PORTB=!PORTB; //Cambio de estado alto-bajo o bajo-alto
            x=0; //Contador a cero
        }
        TMR0=6; //Se reinician parámetros temporizador, registro
        INTCONbits.TMR0IF=0; //Se reinician parámetros temporizador, interrupción
    }
}
```

Figura 61. Código generador de un segundo

8.2.2. Programa de control

El reloj permite determinar el intervalo de tiempo entre **flancos** de la señal digital, y por lo tanto seleccionar el momento en que se realiza una lectura del sensor de temperatura.

Mediante *Logic Analyzer*, se constata que el sistema responde a los cambios de flanco, devolviendo una lectura por los puertos C y D del microcontrolador para la simulación PIC16F877A.

FLANCO
Transición entre dos estados lógicos. Cambio de nivel de tensión bajo al alto (flanco subida) o del alto al bajo (flanco bajada).

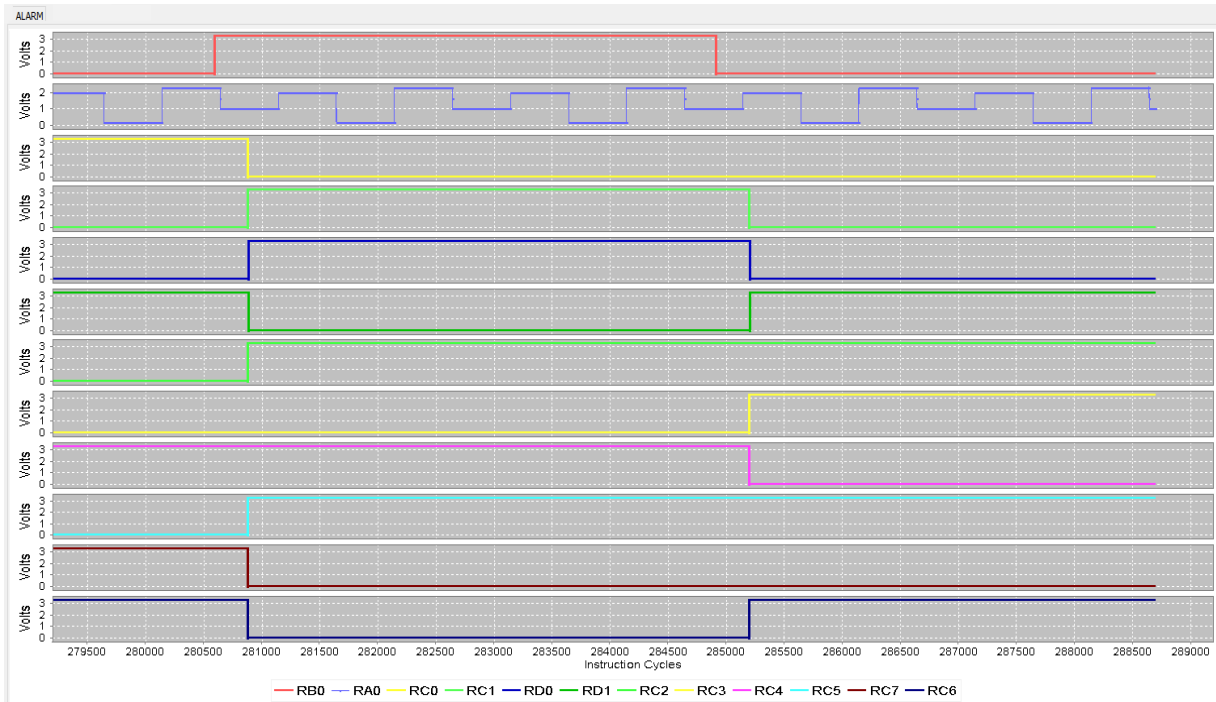


Figura 62. Representación gráfica lectura en cambios de flanco

El código (**Anexo IV**) permite evaluar el número de valores exigidos (10 lecturas) y responder con la transición de estado. Activación de la alarma con el nivel alto de tensión en las dos salidas (bombilla y sirena).

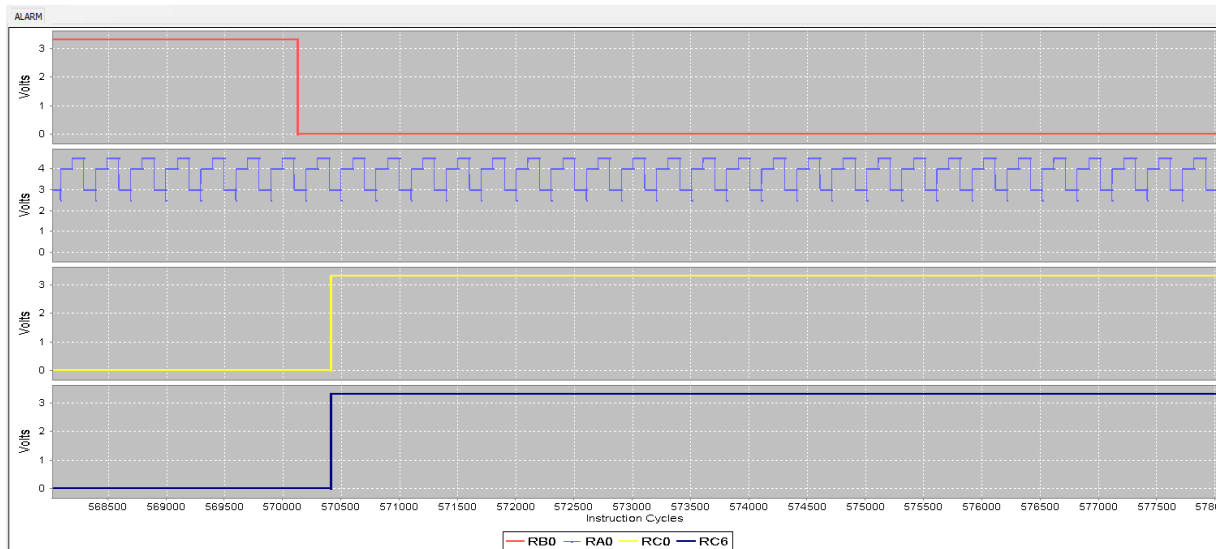


Figura 63. Activación señal de alarma en flanco de bajada

8.3. Envío de información a la centralita

El *PIC12LF1840T39A* incorpora un módulo de RF integrado y programable. El propósito es enviar una trama de un byte, mediante **comunicación serial**, a la centralita receptora (**capítulo 9**).

COMUN. SERIAL

Protocolo de envío de bits secuenciales, formando un empaquetado, sobre un canal de comunicación. Muy extendido en comunicaciones entre sistemas embebidos.

9. Módulo de Radiofrecuencia

El transmisor de RF integrado en el microcontrolador, capaz de operar en la frecuencia libre 868 MHz usando modulación FSK, permite la comunicación inalámbrica del sensor con la centralita. El diseño debe incluir una **antena** incorporada en el terminal.

9.1. Circuito de transmisión

El fabricante del PIC12LF1840T39A proporciona el siguiente diagrama de bloques del módulo de RF.

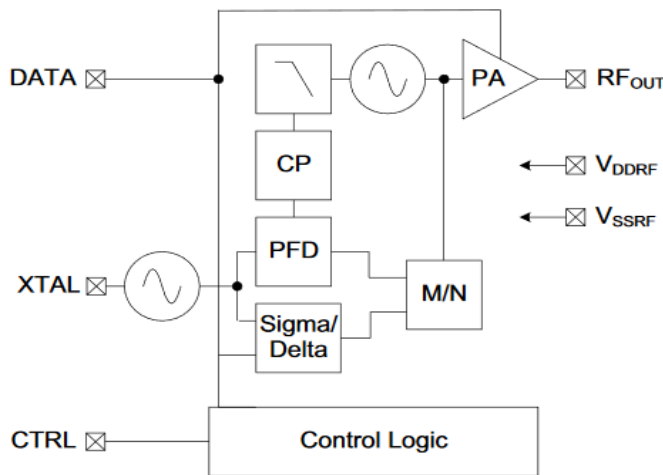


Figura 64. Diagrama de bloques módulo RF

En la modulación FSK⁴⁸, se usan dos circuitos PLL para generar dos frecuencias: $N \cdot f_r$ y $M \cdot f_r$. En donde, f_r es la frecuencia de referencia proporcionada por el cristal (XTAL). El selector, controlado por la moduladora (DATA), transfiere a la salida RF_{OUT} la señal amplificada (PA) del PLL adecuado.

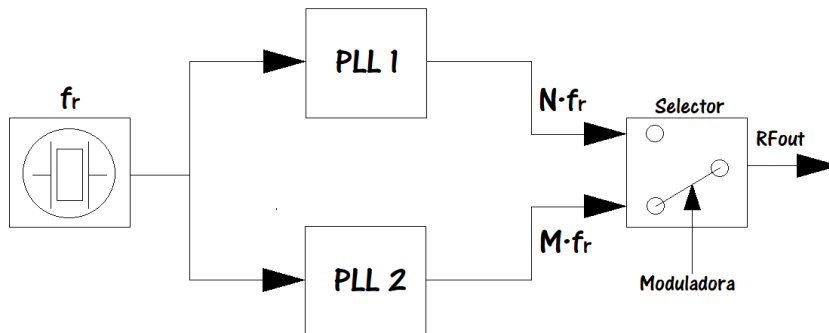


Figura 65. Modulador FSK por conmutación

El sintetizador PLL de frecuencia fraccional⁴⁹ proporciona, a partir de una f_r , un conjunto de frecuencias discretas (canal de transmisión) de gran precisión, estabilidad y pureza espectral.

El PLL se basa en un detector de fase y frecuencia (PFD), bomba de carga (CP), filtro pasa-bajo y oscilador de voltaje-controlado (VCO), con presencia de un divisor de frecuencia (**modulador Sigma/Delta**). El circuito se encarga de convertir la señal PFD en una corriente filtrada de control de oscilación del VCO.

ANTENA

Representa la parte del transmisor capaz de radiar ondas electromagnéticas. Punto de transición entre la línea de transmisión y el espacio libre.

PLL

Sistema retroalimentado que iguala la señal de salida, en fase y frecuencia, a la de referencia. Se aplica, por ejemplo, en demodulación, sincronización, multiplicación y división de frecuencia, o restauración de señales. Reducido tamaño y precio.

⁽⁴⁸⁾ El PIC12LF1840T39A puede operar en modulación OOK, activando y desactivando el amplificador de potencia (PA).

⁽⁴⁹⁾ A diferencia del sintetizador N-entero, en el N-fraccional la frecuencia de salida es un múltiplo fraccional (por ejemplo, un 10 %) de la f_r . La resolución mínima puede ser mucho menor.

MODULADOR S/D

Sistema retroalimentado que permite en sintetizadores fraccionales controlar el circuito divisor, eliminando la distorsión a bajas frecuencias.

9.2. Configuración del transmisor

Los pines DATA y CTRL permiten configurar los parámetros de transmisión, estableciendo instrucciones en tres registros SFR de 24 bits: *Aplicación*, *Frecuencia* y *Estatus*.

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Instruction	
0	0	0	0	0	0	0	0	DA<15:0>																Write	Application register
0	0	1	1	0	0	1	1	DA<15:0>																Read	
0	0	0	1	1	DF<18:0>																		Write	Frequency register	
0	1	0	0	0	1	0	0	DF<15:0>																	Read
0	1	0	1	0	1	0	1	DV<7:0>				DS<4:0>				DF<18:16>				Read	STATUS register				

Figura 66. Registro SFR de configuración

✓ Aplicación

Mediante los bits $DA < 15:0 >$ se selecciona el modo manual (transmisión continua sin modo SLEEP) o automático; la modulación (FSK o OOK); la banda de transmisión (860 – 870 MHz, por ejemplo); la potencia de salida; o la desviación de frecuencia (f_{DEV}) en FSK, según la expresión:

$$DA(12:5) = \frac{f_{DEV} * 8192}{f_{XTAL}} \rightarrow 10 \text{ kHz} < f_{DEV} < 200 \text{ kHz} \quad (22)$$

Donde, f_{XTAL} es la frecuencia de oscilación del cristal seleccionado.

✓ Frecuencia

Una vez seleccionada la banda de frecuencia, se escoge la frecuencia del cristal en función de las restricciones del fabricante. Por ejemplo, para la banda de operación de 860 – 870 MHz el valor de oscilación es de 22 MHz (f_{XTAL}).

Los bits del registro $DF < 18:0 >$ se establecen a partir del cálculo del valor de la señal de transmisión de RF (f_{RF}), según la expresión siguiente:

$$DF(18:0) = \frac{f_{RF} * 8192}{f_{XTAL}} \rightarrow 212992 < DF(18:0) < 344064 \quad (23)$$

✓ Estatus

El transmisor envía datos pasado el tiempo (t_{WAKE}) en que el pin DATA es un “1” lógico. Mientras que, se sitúa en modo SLEEP, cuando el pin DATA es un “0” lógico durante el periodo configurable de 2 o 20 ms (t_{OFFT}).

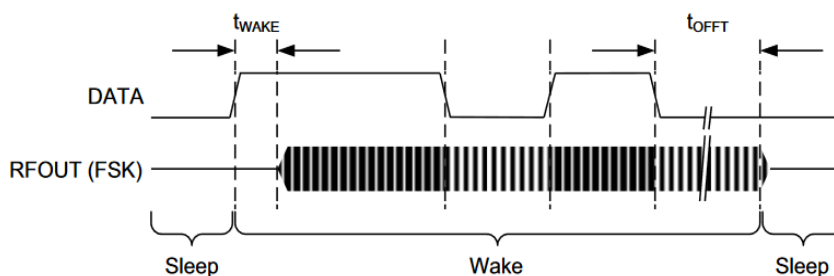


Figura 67. Estatus de transmisión / reposo

MODO SLEEP

El microcontrolador se sitúa en reposo, reduce el consumo, pero también las prestaciones.

9.3. Radiopropagación. Potencia, alcance, interferencias

La *potencia* entregada por el transmisor de RF puede ser de 0 dBm o +10 dBm, suponiendo un valor de 50 Ω de carga⁵⁰. Representa un valor de compromiso:

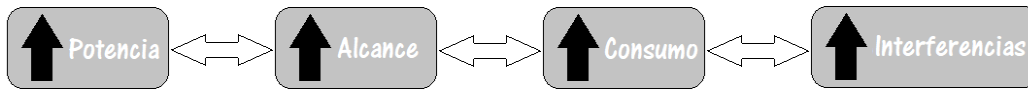


Figura 68. Figuras de compromiso en un enlace de radiofrecuencia

⁽⁵⁰⁾ La impedancia característica de la línea de transmisión a la cual va conectada la antena es de 50Ω.

Mediante el valor DA4 del registro de aplicación se selecciona el valor de salida:

DA4	Output Power	0	0 dBm
		1	10 dBm

Figura 69. DA4

El *alcance* se evalúa a partir de un supuesto común con los siguientes parámetros:

Parámetro	Valor (dB)	Atenuaciones	
Sensibilidad del receptor (P_r)	-100 dBm		
Ganancia del transmisor (G_T)	1.5 dB	Cantidad	Valor total
Ganancia del receptor (G_r)	1.5 dB		
Pérdida pared delgada (pladur) ⁵¹	2 dB	2	4 dB
Pérdida pared gruesa (ladrillo)	13.5 dB	1	13.5 dB
Techo (cemento armado)	20 dB	1	20 dB

Tabla 8. Parámetros de evaluación

⁽⁵¹⁾ Valores de atenuación en paredes y techos en: "Comunicaciones móviles" UOC (2012). Antonio Satué Villar. Módulo 1, pág. 34

El **modelo COST 231** permite calcular las pérdidas de propagación $L[dB]$:

$$L[dB] = L_0[dB] + 20 \cdot \log(d) + \sum_{i=1}^I K_{wi} \cdot L_{wi} \quad (24)$$

en donde, $L_0[dB]$ es la pérdida en trayectoria por el espacio libre:

$$L_0[dB] = 20 \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi}{\lambda} \right) = 20 \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi}{\frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{868 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}}} \right) = 31.21 \quad (25)$$

y,

d , es la distancia o alcance en metros.

I , el número de paredes o techos diferentes.

K , el número de paredes o techos en la trayectoria.

L , el factor de atenuación para la pared o techo.

Debiendo traspasar dos paredes de pladur, una de hormigón y un techo, el valor del alcance d es:

$$20 \cdot \log(d) = P_t[dBm] - P_r[dBm] + G_t + G_r - L_0[dB] - 4 - 13.5 - 20 \quad (26)$$

$$P_t = 0 \text{ dBm} \rightarrow d \approx 51 \text{ metros} \quad (27)$$

$$P_t = +10 \text{ dBm} \rightarrow d \approx 164 \text{ metros} \quad (28)$$

MODELO COST 231

Modelo predictivo empírico, basado en mediciones. Su especificación de segundo orden, para espacios interiores, incluye las atenuaciones de paredes y techos.

EFICIENCIA

La baja eficiencia de la antena de chip de cerámica reduce el alcance en más de un 40 %.

La *interferencia* de ondas de radio es la combinación de dos o más ondas electromagnéticas, con polarizaciones diferentes (diferencia de fase), que puede interrumpir o limitar el funcionamiento del sistema.

La transmisión radio 868 MHz tiene un riesgo de interferencia bajo, dado su uso específico, como por ejemplo comunicación entre sensores; y la potencia baja de operación de los equipos. No obstante, en sistemas de transmisión digital, se usan técnicas de corrección de errores para evitar la degradación de la comunicación.

9.4. Comunicación serial basada en FSK

La **información binaria** se puede transmitir en forma paralela, utilizando diversas líneas de transmisión, una por cada bit; o en serie ("serial"), con una única línea que proporciona menor velocidad y complejidad, pero mayor alcance.

La *configuración* de un circuito de comunicaciones puede ser de dos o múltiples puntos, con uno o varios transmisores y receptores interconectados en *topologías* o *arquitecturas* de diferentes formas (estrella, punto a punto, ...), en cuatro *modos de transmisión* posibles: símplex, semidúplex, dúplex y dúplex total/general⁵².

El sensor de alarma pretende transmitir a través de un canal en configuración serial, punto a punto y en modo semidúplex, de sensor a centralita (temperatura) y de centralita a sensor (detección de error y solicitud de reenvío).

9.4.1. Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK

La modulación angular varía la fase o la frecuencia instantánea de una portadora, proporcionalmente a una señal de modulación analógica, modulación de fase (PM) o de frecuencia (FM); o digital, modulación de fase (PSK) o de frecuencia (FSK).

En la modulación FSK, se transmite una señal sinusoidal de frecuencia $f_p + \Delta f$ ⁵³ si la moduladora es un "1" lógico y $f_p - \Delta f$ ⁵⁴ si es un "0". En donde, f_p es la frecuencia de la portadora⁵⁵, y Δf es la desviación de frecuencia (f_{DEV} en [22]).

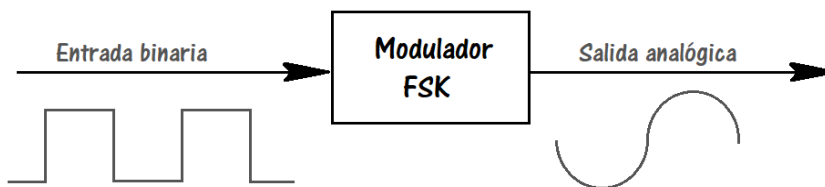


Figura 70. Esquema básico FSK

La ecuación general de la FSK binaria es

$$v_{fsk}(t) = V_p \cdot \cos\{2\pi \cdot [f_p + v_m(t) \cdot \Delta f] \cdot t\} \quad (29)$$

en donde,

$v_{fsk}(t)$ es la forma de onda binaria FSK.

V_p la amplitud de la portadora.

$v_m(t)$ es la moduladora o forma de onda binaria normalizada (± 1).

SISTEMA BINARIO

Sistema de numeración basado en la representación de dos valores: cero y uno, y mediante una señal eléctrica o magnética.

⁽⁵²⁾ En función de si la comunicación se produce en una sola dirección (símplex); en ambas, pero solo en una dirección a la vez (semidúplex); simultáneamente (dúplex); y no necesariamente entre las mismas dos ubicaciones (dúplex total).

⁽⁵³⁾ Frecuencia de marca, f_m .

⁽⁵⁴⁾ Frecuencia de espacio, f_s .

⁽⁵⁵⁾ Frecuencia de reposo.

Así, para la entrada de "1" lógico $v_m(t) = +1$

$$v_{fsk}(t) = V_p \cdot \cos\{2\pi \cdot [f_p + \Delta f] \cdot t\} \quad (30)$$

para el "0" lógico $v_m(t) = -1$

$$v_{fsk}(t) = V_p \cdot \cos\{2\pi \cdot [f_p - \Delta f] \cdot t\} \quad (31)$$

La modulación FSK se puede representar gráficamente⁵⁶,

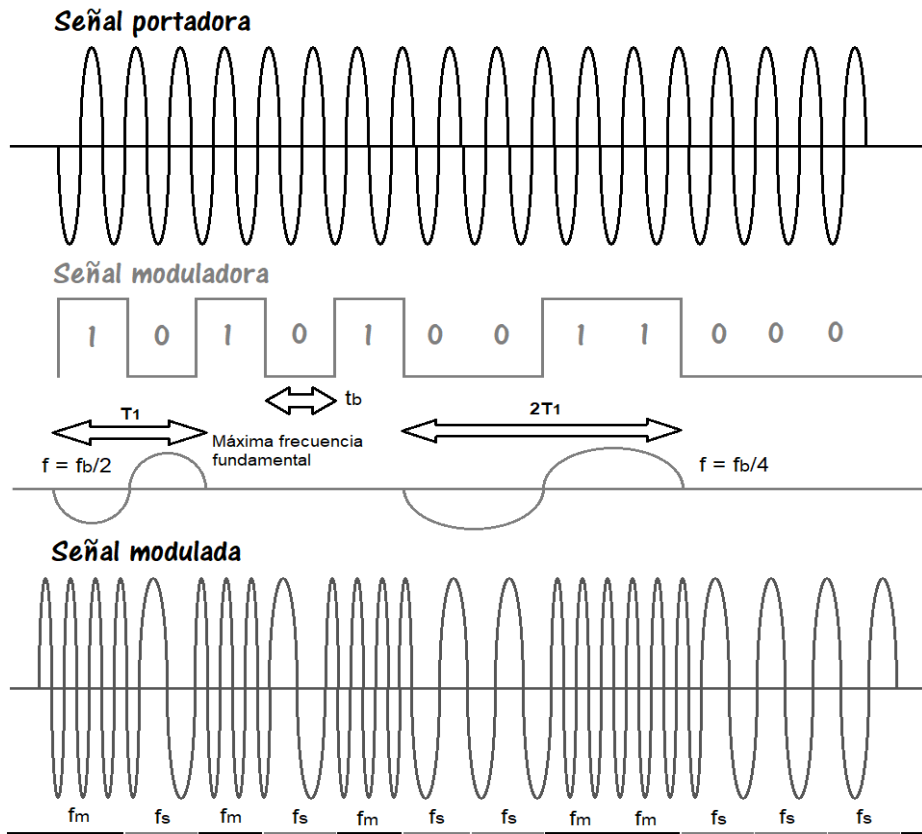


Figura 71. Modulación FSK

La rapidez de cambio de salida (*baudio* o t_b) es igual a la de entrada del modulador o *frecuencia de bits* f_b (*bps*). Siendo el valor máximo de frecuencia de la señal moduladora o fundamental f ,

$$f = f_b/2 \quad (32)$$

El valor de la desviación máxima de frecuencia Δf resulta de interés, puesto que determina el ancho de banda B consumido. Una desviación excesiva ocupa banda ineficientemente. Si es insuficiente, provoca interferencia *inter simbólica*⁵⁸.

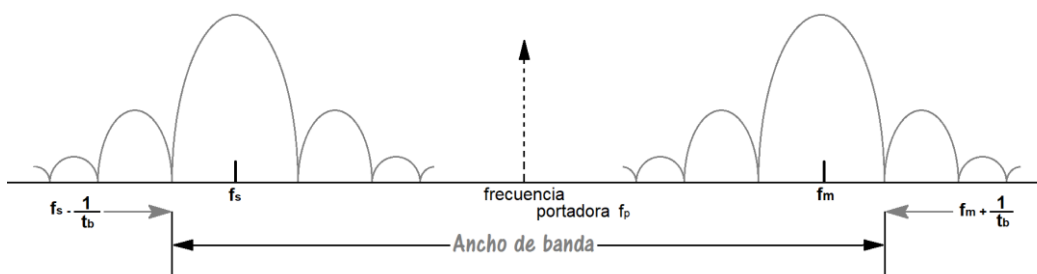


Figura 72. Espectro de frecuencias FSK

⁽⁵⁶⁾ FSK Coherente, misma fase, a partir de un único oscilador sobre el cual se efectúa el cambio de frecuencias.

⁽⁵⁷⁾ En FSK el baudio (símbolos por segundo), coincide con el tiempo de bit t_b .

⁽⁵⁸⁾ El receptor no identifica los símbolos debido a la escasa distancia entre f_m y f_s .

El ancho de banda B se puede expresar analíticamente como

$$B = 2 \cdot (\Delta f + f_b) \quad (33)$$

Para una correcta demodulación se requiere que Δf sea superior a la mitad de la velocidad de bit⁽⁵⁹⁾, por lo que estableceremos un supuesto de 50 kHz ⁽⁶⁰⁾.

$$B = 2 \cdot (50000 + 100000) = 300 \text{ kHz} \quad (34)$$

El ancho de banda permite calcular el valor de las frecuencias de marca f_m y de espacio f_s . A partir de la interpretación de la *figura 72*,

$$f_m + \frac{1}{t_b} = f_p + \frac{B}{2} \rightarrow f_m + \frac{1}{10^{-5}s} = 868000 \text{ kHz} + \frac{300 \text{ kHz}}{2}$$

$$\rightarrow f_m = 868050 \text{ kHz} \quad (35)$$

Mientras que, f_s

$$f_s - \frac{1}{t_b} = f_p - \frac{B}{2} \rightarrow f_s - \frac{1}{10^{-5}s} = 868000 \text{ kHz} - \frac{300 \text{ kHz}}{2}$$

$$\rightarrow f_s = 867950 \text{ kHz} \quad (36)$$

9.5. Empaquetado y código de detección de error

La *codificación de fuente* implica obtener una secuencia de bits que represente adecuadamente la información. El envío del byte requiere la identificación de la trama con bits de control, así como, transponer 10 bits del ADC a 8 bits de salida⁽⁶¹⁾.

A partir de la relación entre los 1024 valores posibles del ADC y los 120 de la temperatura, mediante código y redondeo se traspasan los dos valores:

$$\frac{1024}{120} = \frac{128}{15} \quad (37)$$

La función de conversión en lenguaje C recibe el valor del ADC. A sus 128 partes le corresponden 15 representados en 8 bits.

```
uint8_t conversor_byte(uint16_t temp_ADC) {
    uint8_t temp_byte=15;
    uint8_t redon;

    if(temp_ADC<=0) {
        //código error
        return -1;
    }else{
        //128 partes de la temperatura en 10 bits corresponden a 15 en 8 bit:
        redon=temp_ADC%128;
        temp_ADC=temp_ADC/128;
        //Se añade el resto obtenido
        temp_byte=(temp_byte*temp_ADC)+((redon+15)/8);
    }
    return(temp_byte);
}
```

Figura 73. Código en C de conversión

(59) La ratio de operación del PIC12LF1840T39A puede alcanzar los 100 kbps.

(60) Valor que se encuentra dentro del rango de la expresión [22].

(61) Con 1 byte = 8 bits, se pueden representar 256 valores.

Se añaden bits de control y paridad. La información se envía empaquetada en la siguiente *trama*,

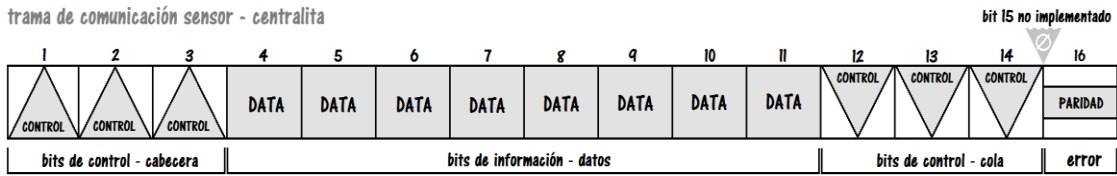


Figura 74. Trama de comunicación sensor-centralita

La *codificación de canal* protege la comunicación de eventuales degradaciones de la señal, incorporando redundancia de datos. Se implementa un **código de paridad simple**.

PARIDAD SIMPLE

Es un código simple de introducción de redundancia. Detecta como máximo un error en la transmisión.

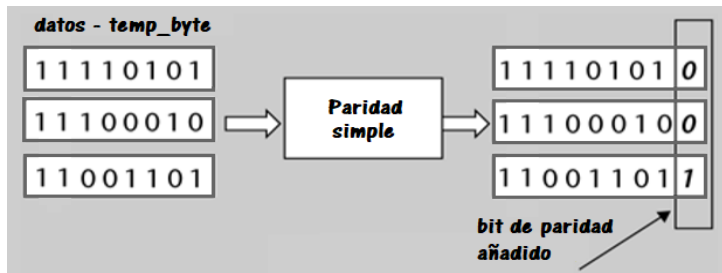


Figura 75. Código de paridad simple

Si en el byte de datos hay un número par de “1” se añade un “0”; si es impar, un “1”. El receptor espera recibir, por lo tanto, un número par de “1”.

El código en C que genera la trama,

```
uint16_t crea_trama(){
    uint16_t data_temp; //Variable para almacenar la temperatura del ADC
    uint16_t trama; //Variable para almacenar la trama final
    uint16_t paridad; //Variable para el bit de paridad
    uint16_t control_cabecera=57344; //En binario 0b1110000000000000
    uint16_t control_cola=0; //En binario 0b0000000000000000
    int contador; //Contador para el número par o impar de "1"

    data_temp = conversor_byte(temp_ADC); //Se almacena temperatura en variable

    while(data_temp!=0){ //Mientras el valor sea diferente de cero
        if(data_temp%2==1){ //Si el último bit es "1" es impar
            contador++; //Si es impar contamos un "1"
            data_temp=data_temp>>1; //Desplazamos la secuencia a la derecha
        } //El bit más significativo se rellena con "0"
    }
    if(contador%2==0){ //Tenemos número de "1" pares
        paridad=1; //Salida 0b0000000000000001
    }else{
        paridad=0; //Salida 0b0000000000000000
    }
    trama = control_cabecera+(data_temp<<5)+control_cola+paridad; //Trama final
    //Suma de valores de control (cabecera y cola, bits de datos y paridad)
    return (trama); //Trama de salida para enviar al módulo de RF
}
```

Figura 76. Código en C de generación de trama

9.6. Encendido y configuración de pines

El módulo RF del microcontrolador se debe encender antes del envío⁶²,

⁽⁶²⁾ Datasheet del fabricante.

```
#define APP_REG_PREFIX 0
#define FREQ_REG_PREFIX 0x18

void sendTxCommand (unsigned char cmd)//Envio bit a bit - secuencial
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<8;i++)//8 bits
    {
        if(cmd & 0x80) //0x80 en binario 0b10000000
            DATA_OUT = 1;//Pin de salida de datos a "1"
        else
            DATA_OUT = 0;

        CTRL_OUT = 1;//Pin destinado a control a "1"
        NOP(); //Función "No operación". Ocupa tiempo del microcontrolador
        NOP(); //un ciclo de instrucción cada una
        CTRL_OUT = 0;
        cmd = cmd << 1;//desplazamiento izquierda
    }
}

void TX_Init (void)//Encendido del módulo de RF
{
    unsigned char app_high = (T39A_APP_CONFIG & 0x00FF00) >> 8;
    unsigned char app_low = (T39A_APP_CONFIG & 0x0000FF);

    unsigned char f_upper = (T39A_APP_CONFIG & 0x70000) >> 16;
    unsigned char f_high = (T39A_APP_CONFIG & 0x0FF00) >> 8;
    unsigned char f_low = (T39A_APP_CONFIG & 0x000FF);

    sendTxCommand(APP_REG_PREFIX);
    sendTxCommand(app_high);
    sendTxCommand(app_low);

    sendTxCommand(FREQ_REG_PREFIX | f_upper);
    sendTxCommand(f_high);
    sendTxCommand(f_low);

    return;
}
```

Figura 77. Código activación módulo RF

Finalmente, la configuración de pines del microcontrolador y el código *main*,

```
void main()
{
    TRISAbits.TRISA4=0; //Pin RA4 como salida digital
    PORTA = 0; //Puerta A a cero
    ADC_Init(); //Inicio conversor
    do
    {
        temp_ADC = ADC_Read(0); //Conversión ADC
        trama_out = crea_trama(); //Creación de la trama
        PORTAbits.RA4 = trama_out; //Salida digital
    }while(1); //Bucle infinito
}
```

Figura 78. Código main

9.7. Antena

El diseño de la antena de un sistema de telecomunicaciones requiere evaluar los parámetros de transmisión y su integración en el dispositivo (adaptación de impedancias).

En la implementación de transceptores de RF embebidos, compactos, de alto rendimiento y bajo coste, el diseñador debe escoger entre diferentes tipos de antena; básicamente, entre las integradas en el PCB o las de chip de cerámica.

9.7.1. Tipo de antena

Las antenas de geometría planar⁶³ tienen unas dimensiones reducidas respecto a la longitud de onda de la frecuencia de operación (antena miniatura⁶⁴), por lo que son adecuadas en placas de dispositivos como sensores.

Las integradas en el PCB son complejas de diseñar, implementar y sintonizar. Proporcionan un buen ancho de banda, fiabilidad y potencia, pero ocupan mayor espacio y son más sensibles a interferencias que las de chip de cerámica.

El mayor coste, peor eficiencia y banda reducida de las antenas de chip, se compensa con un menor tamaño, mayor fiabilidad y gran variedad de configuraciones disponibles.

9.7.2. Parámetros de antena

Para integrar una antena en un sistema, deben determinarse sus parámetros de transmisión característicos⁶⁵.

✓ Impedancia

Se trata de un valor complejo selectivo en frecuencia. La parte imaginaria (reactancia) se anula para la frecuencia de resonancia, adaptación de impedancia: la transferencia de potencia del generador a la antena es máxima.

El valor de la relación de onda estacionaria (ROE) permite cuantificar la desadaptación. Valores de $ROE \leq 3$ se consideran adecuados para aplicaciones como teléfonos móviles o sensores de alarma.

✓ Eficiencia de radiación η_r y de antena η_a

La η_r evalúa las pérdidas óhmicas, en forma de calor especialmente en dispositivos pequeños. Mientras que, η_a relaciona la potencia radiada por la antena con la entregada por el generador.

$$\eta_a = \eta_r \cdot (1 - |S_{11}|^2) \quad (38)$$

En donde,

$(1 - |S_{11}|^2)$ son las pérdidas por desadaptación, a partir del coeficiente de reflexión S_{11} .

⁽⁶³⁾ Otros tipos de antena según su geometría son las de cable, de apertura, reflectores, lentes o agrupaciones.

⁽⁶⁴⁾ Según el IEEE, su tamaño se puede circunscribir en una esfera de radio $\lambda/2\pi$. En donde, λ es la longitud de onda de operación.

⁽⁶⁵⁾ La teoría de antenas describe los parámetros de transmisión y recepción; y los enlaza mediante la ecuación de transmisión.

✓ *Directividad D y Ganancia G*

La capacidad de radiar más potencia en una determinada dirección viene dada por la relación en como lo hace la antena isotrópica (mínima directividad). La ganancia establece una comparación con la potencia entregada a la antena.

$$G = D \cdot \eta_r \quad (39)$$

Referidos en (39) a su valor máximo. Directividades de 2 dB a 6 dB son típicas para antenas de dispositivos portátiles inalámbricos.

✓ *Ancho de banda de impedancia BW*

El funcionamiento óptimo de las antenas se produce en un determinado rango de frecuencias $[f_2 - f_1]$, en el cual la impedancia de la antena presenta una $ROE \leq S$. Anchos de banda a $ROE \leq 3$ del orden de 10 % – 25 % son típicos en comunicaciones inalámbricas.

$$BW(ROE \leq S, \%) = \frac{f_2 - f_1}{\frac{f_2 + f_1}{2}} \cdot 100 \quad (40)$$

9.7.3. Elección de la antena

El fabricante **JOHANSON TECHNOLOGY** ofrece antenas miniaturizadas de chip de cerámica para el mercado de las comunicaciones. Concretamente, el modelo P/N 0868AT43A0020 tiene las siguientes especificaciones:



Características técnicas:

- ✓ Banda 858 – 878 MHz
- ✓ Pérdida de retorno de 9.5 dB
- ✓ Ganancia pico - 1.0 dBi (plano XZ-total)
- ✓ Impedancia 50 Ω
- ✓ Potencia de entrada máxima 3 W
- ✓ Eficiencia de antena, entorno al 40 %
- ✓ Dimensiones 7.00 x 2.00 x 0.80 mm

Figura 79. Antena de chip de cerámica

Se caracteriza por su naturaleza omnidireccional (ganancia cercana a 0 dB), baja eficiencia (40 %) y ancho de banda (20 MHz). Pero también, por sus dimensiones reducidas.

9.7.4. Circuito de adaptación

El objetivo es conseguir la máxima transferencia de potencia entre generador y antena. Las redes de adaptación basadas en elementos concentrados⁶⁶ están compuestas por bobinas y condensadores.

Las configuraciones en PI⁶⁷, con tres componentes, añaden un alto grado de libertad para poder centrar el ancho de banda a la frecuencia deseada.

⁽⁶⁶⁾ las redes de adaptación pueden estar basadas en elementos distribuidos (líneas microstrip).

⁽⁶⁷⁾ Son también habituales las redes en T, basadas en tres componentes.

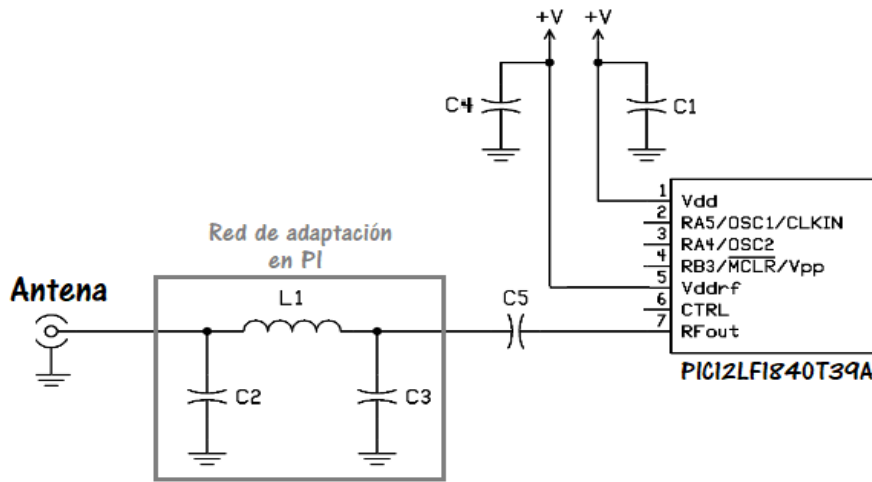


Figura 80. Red de adaptación en PI

El esquema incluye un condensador en serie de desacoplo en continua (C_5). Mientras que, los condensadores en paralelo (C_1, C_4) filtran los picos de frecuencia no deseada de la fuente (V_+)⁶⁸.

⁽⁶⁸⁾ Configuración y valores proporcionados por el fabricante del microcontrolador.

Componente	Valor
Impedancia Antena	50 Ω
C_1	0.1 μF
C_2	0.3 pF
C_3	3.9 pF
C_4	0.1 μF
C_5	1 pF
L_1	18 nH

Tabla 9. Componentes red adaptación

La simulación con el software **ADS** constata que el circuito de adaptación proporciona la mayor adaptación para la frecuencia deseada de 868 MHz. El coeficiente de reflexión S_{11} se sitúa en torno a los -23.116 dB.

ADS
Advanced Design System es un sistema de software de automatización de diseño electrónico producido por **Keysight Technologies**.

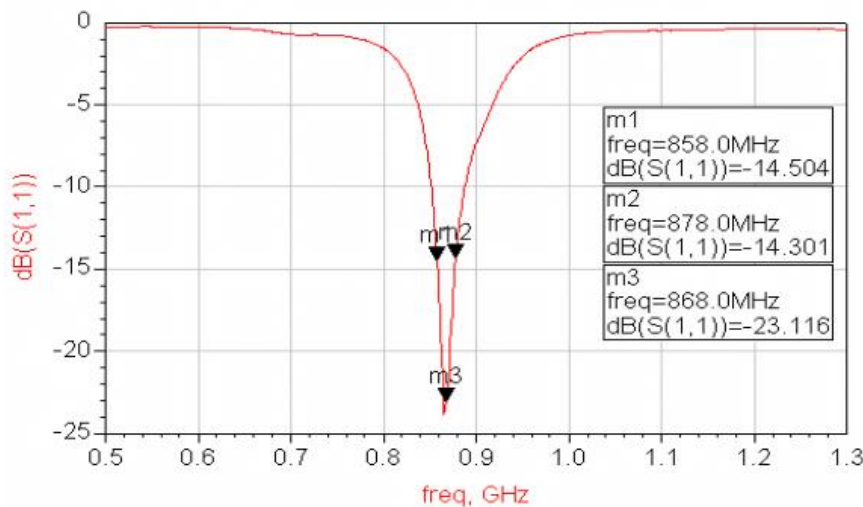


Figura 81. Resultado simulación coeficiente S_{11}

10. Diseño del *layout* de la placa PCB

El diseño de un circuito integrado, en términos de topología física del chip y no de su funcionamiento electrónico, se puede esquematizar en entornos EDA (diseño electrónico asistido por ordenador).

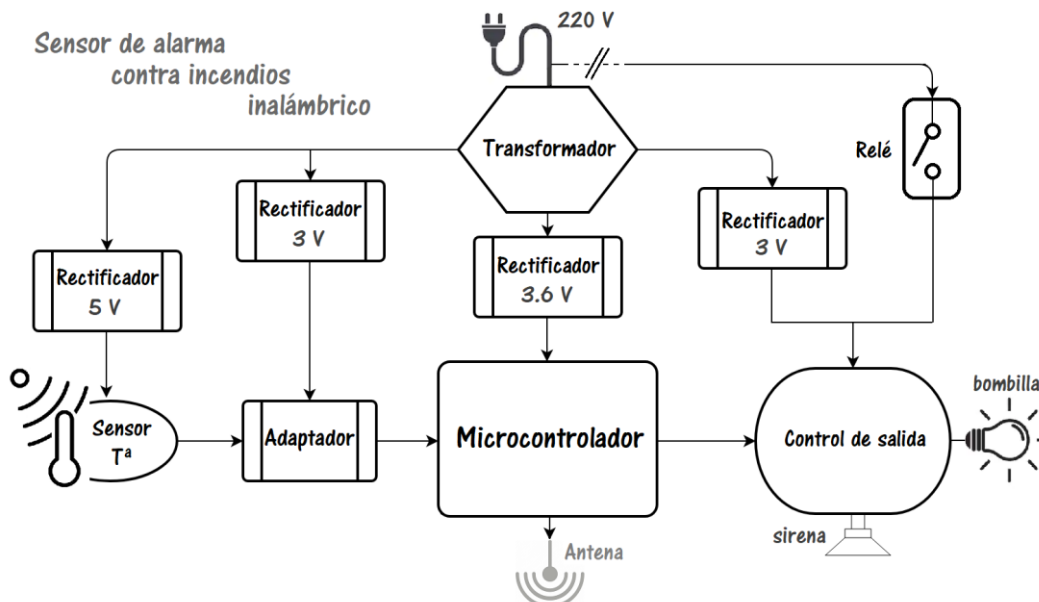


Figura 82. Esquema básico del circuito

Herramientas de software, como **EAGLE**, permiten generar un desarrollo óptimo en ahorro de espacio, peso y coste, junto a una mayor fiabilidad de las conexiones eléctricas.

Consideraciones de *diseño y ensamblado*:

- ✓ PCB de dos capas: TOP (pistas rojas) y BOTTOM (pistas azules)
- ✓ El *microcontrolador* debe estar en el centro de la placa
- ✓ La *antena* se sitúa aislada para evitar interferencias
- ✓ El *crystal de cuarzo* (oscilador externo) debe colocarse al lado de los pines del reloj⁶⁹
- ✓ Los *condensadores de desacoplo* se sitúan cerca de la fuente de alimentación
- ✓ El tamaño de las pistas depende del *flujo de corriente de circulación*
- ✓ Las *pistas de alimentación* presentan mayor grosor que las de *señal*
- ✓ Se deben evitar los ángulos rectos en las pistas
- ✓ Mediante *vías* se evita cortocircuitar pistas
- ✓ Se prioriza la tecnología de *montaje superficial*⁷⁰ (SMT)
- ✓ *Resistencias* VMTA55 de 10 mm de *grip*⁷¹ con acabado profesional
- ✓ Mediante *bornes* se conecta el dispositivo a la alimentación de 220 V

EAGLE

Programa de diseño de diagrama y PCB con licencia Freeware y gran cantidad de bibliotecas de componentes disponibles en la red. Compañía CADSOFT.

⁽⁶⁹⁾ El presente diseño utiliza el reloj interno de 32 MHz.

⁽⁷⁰⁾ En dispositivos de producción masiva, bajo consumo de energía y temperatura, y multi aplicaciones de tamaño reducido (sensores). En contraposición a la **tecnología de agujeros pasantes** (THT).

⁽⁷¹⁾ La anchura del componente debe seleccionarse en función del espacio disponible.

El paso previo al desarrollo del LAYOUT es el **esquemático (Anexo V)**, en el cual se representa gráficamente cada componente del equipo, los valores determinados para un correcto funcionamiento y las diferentes conexiones.

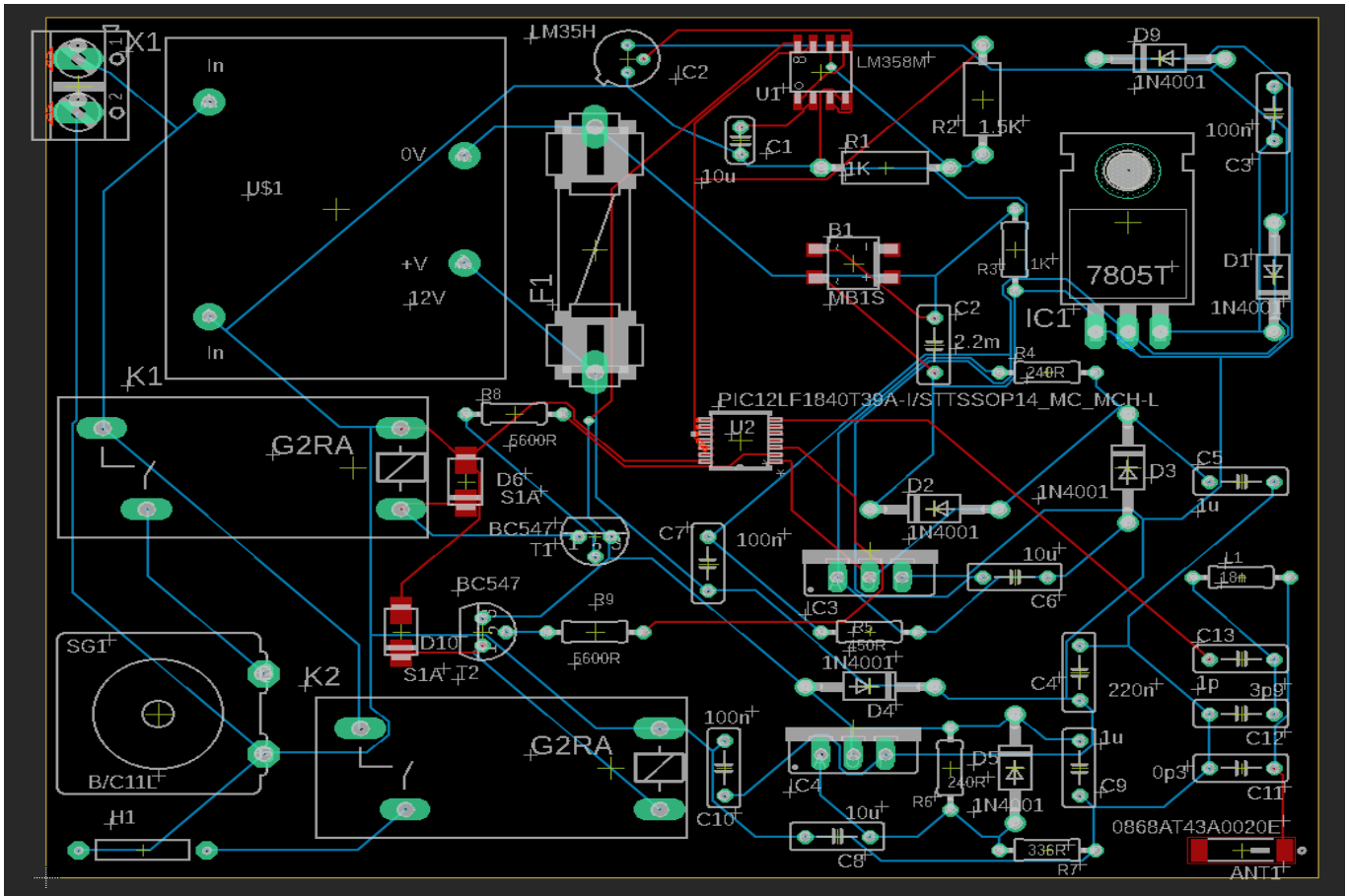


Figura 83. LAYOUT

11. Conclusiones y ampliaciones

Como si de un *hilo de Ariadna y la leyenda del Minotauro* se tratara, un catálogo de observaciones, argumentos y deducciones, debidamente relacionados, han llevado al alumno hasta la resolución de un problema complejo.

Asimismo, la metodología basada en objetivos le ha permitido descomponer el proyecto en tareas más simples, sin salirse de los márgenes del camino. Cada etapa se ha convertido en una proyección, de la propedéutica en el área de la ingeniería hasta dónde una heurística rigurosa ha conducido al autor. Indudablemente, todo ello con indefectible espíritu crítico.

Con mayor o menor fortuna, se sugiere un cumplimiento satisfactorio de todos los objetivos. El dispositivo electrónico (transmisor inalámbrico) se presenta íntegramente diseñado, incorporando los componentes necesarios y prestando las funcionalidades requeridas.

Se ha pretendido, sin embargo, expresar las capacidades y habilidades del alumno, adquiridas durante los estudios de grado, sin voluntad de resolver el proyecto en un marco comercial o empresarial. Un versado ojo crítico podría, fácilmente, inquirir en componentes o esquemas más adecuados en términos de espacio, eficiencia o coste.

Cabe añadir, no obstante, que un sistema de comunicaciones se compone, en esencia, de transmisor, canal y receptor. Un mensaje se envía con inexorable vocación de ser recibido. Otra intención, conduciría a un absurdo absoluto.

El diseño del receptor, entonces, proporcionaría de mayor sentido al propio transmisor. Aún más si ambos se integran en un sistema compuesto de una red de dispositivos, capaces de comunicarse e interactuar entre ellos.

La inquietud de experimentar, además, se satisface solamente al no seguir escrupulosamente el camino. Aunque éste conduzca, ciertamente, a un anhelado lugar conocido: comunicaciones más rápidas, eficientes y seguras.

I. Bibliografía

📖 Libros

- ✓ Sierra, M & Galocha, B & Fernández, J.L. & Sierra, M. (2010). *Electrónica de Comunicaciones* (1ª ed.). Madrid: Pearson - Prentice Hall
- ✓ Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas* (4ª ed.). Edo. de México: Pearson - Prentice Hall
- ✓ Oppenheim, A.V. (1997). *Señales y sistemas* (2ª ed.). Edo. de México

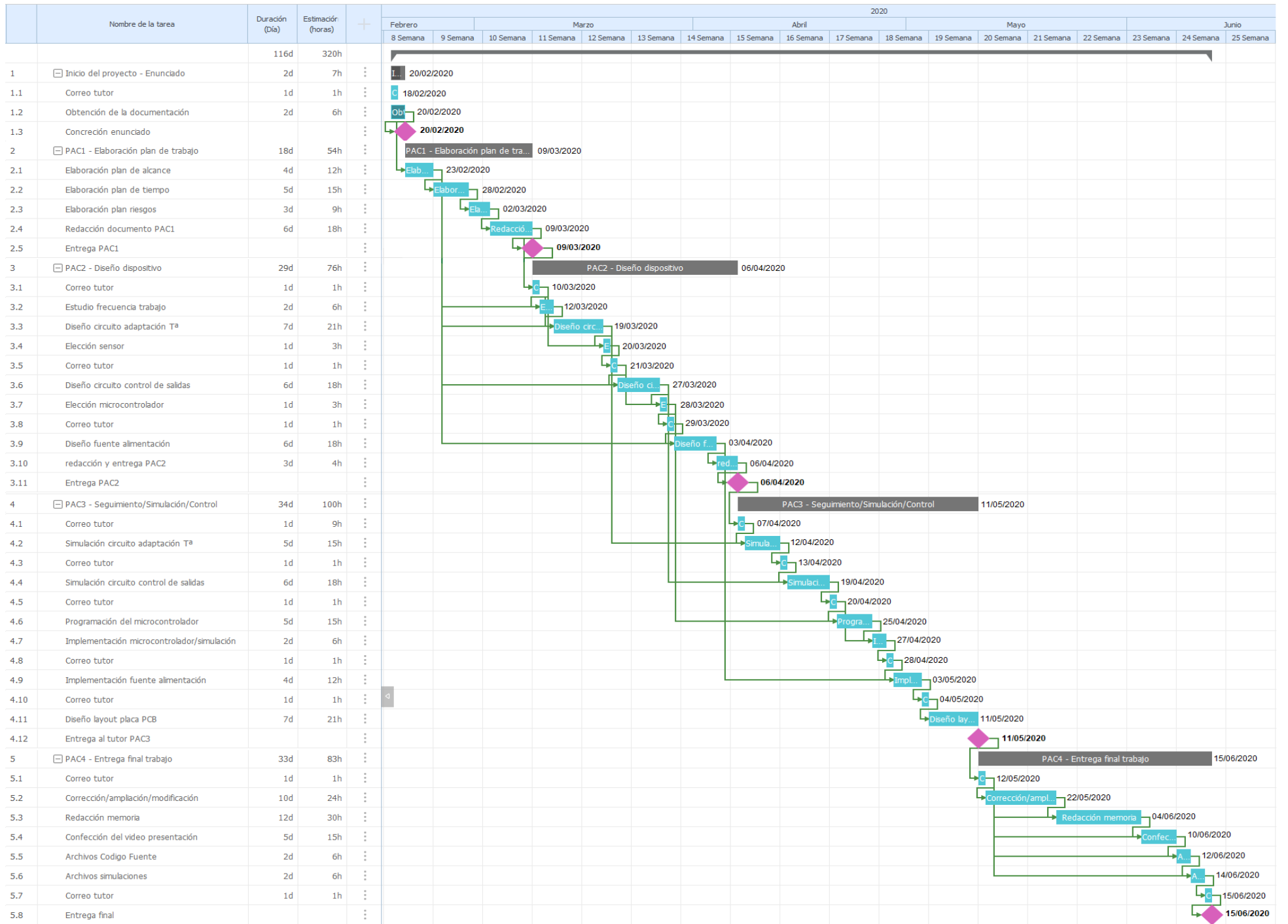
📖 Recursos UOC

- ✓ Rodríguez, J.R. & Mariné, P. (2014). *Gestió de projectes* (2ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Pérez, A. & Martínez, J.A. & Muñoz, O. (2014). *Teoria de circuits* (2ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Bara, M. & Escudero, A.M. & González, O. & Ibeas, A. (2016). *Circuits electrònics* (3ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Peiron, M. & Ribas, L. & Sánchez, F. & Velasco, A.J. & Costa, R. (2014). *Fonaments de computadors* (2ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Martínez, J.A. & Barà, M. (2014). *Electrònica digital* (2ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ López, E. & Martí, P. (2014). *Electrònica de comunicacions* (2ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Arnedo, J. & Riera, D. (2010). *Disseny i programació orientada a objectes* (1ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Cabrera, M. & Rey, F. & Tarrés, F. (2012). *Sistemes de comunicacions I* (1ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Andújar, A. & Anguera, J. (2018). *Antenes* (4ª ed.). Barcelona: UOC
- ✓ Gil, I. & Recasens, C. & Sánchez, A. (2019). *Circuits de microones* (2ª ed.). Barcelona: UOC

📖 Otros

- ✓ Componentes electrónicos para EAGLE: [Web](#)
- ✓ Tutorial EAGLE: [Web](#)
- ✓ Componentes electrónicos - tienda online: [Web](#)
- ✓ Sensor LM35: [Web](#)
- ✓ Regulador LM317: [Web](#)
- ✓ Regulador LM7805: [Web](#)
- ✓ Manual de microcontroladores PIC: [pdf](#)
- ✓ Componentes TEXAS INSTRUMENTS: [Web](#)
- ✓ Guía de uso de TINA-TI: [pdf](#)
- ✓ Introducción al uso de MLPAB: [pdf](#)
- ✓ Enciclopedia Wikipedia: [Web](#)

Anexo I. Diagrama de Gantt



Anexo II – Código en C para convertor Analógico Digital en MPLAB

```
#pragma config FOSC = HS      // Oscillator Selection bits (HS oscillator)
#pragma config WDTE = OFF     // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled)
#pragma config PWRTE = OFF    // Power-up Timer Enable bit (PWRT disabled)
#pragma config BOREN = OFF    // Brown-out Reset Enable bit (BOR disabled)
#pragma config LVP = OFF      // Low-Voltage (Single-Supply) In-Circuit Serial Programming Enable bit (RB3 is digital I/O, HV on MCLR must be used for programming)
#pragma config CPD = OFF      // Data EEPROM Memory Code Protection bit (Data EEPROM code protection off)
#pragma config WRT = OFF      // Flash Program Memory Write Enable bits (Write protection off; all program memory may be written to by EECON control)
#pragma config CP = OFF       // Flash Program Memory Code Protection bit (Code protection off)

#include <xc.h>
#include <pic16f877a.h>
#define _XTAL_FREQ 4000000    //Clock configuration

void ADC_Init()
{
    ADCON0 = 0x41;           //Turn ON ADC and Clock Selection
    ADCON1 = 0x00;           //All pins as Analog Input and setting Reference Voltages
}

unsigned int ADC_Read(unsigned char channel)
{
    if(channel > 7)          //Channel range is 0 ~ 7
        return 0;

    ADCON0 &= 0xC5;         //Clearing channel selection bits
    ADCON0 |= channel<<3;    //Setting channel selection bits
    _delay_us(25);          //Acquisition time to charge hold capacitor
    GO_DONE = 1;            //Initializes A/D conversion
    while(GO_DONE);         //Waiting for conversion to complete
    return ((ADRESH<<8)+ADRESL); //Return result
}

void main()
{
    unsigned int a;
    TRISA = 0xFF;           //Analog pins as Input
    TRISB = 0x00;           //Port B as Output
    TRISC = 0x00;           //Port C as Output
    ADC_Init();             //Initialize ADC

    do
    {
        a = ADC_Read(0);    //Read Analog Channel 0
        PORTB = a;          //Write Lower bits to PORTB
        PORTC = a>>8;       //Write Higher 2 bits to PORTC
    }while(1);              //Infinite Loop
}
```

Anexo III – Código en C para Timer0 en MPLAB

```
#pragma config FOSC = HS      // Oscillator Selection bits (HS oscillator)
#pragma config WDTE = OFF     // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled)
#pragma config FWRTE = OFF    // Power-up Timer Enable bit (PWRT disabled)
#pragma config BOREN = OFF    // Brown-out Reset Enable bit (BOR disabled)
#pragma config LVP = OFF      // Low-Voltage (Single-Supply) In-Circuit Serial Programming Enable bit (RB3 is digital I/O, HV on MCLR must be used for programming)
#pragma config CPD = OFF      // Data EEPROM Memory Code Protection bit (Data EEPROM code protection off)
#pragma config WRT = OFF      // Flash Program Memory Write Enable bits (Write protection off; all program memory may be written to by EECON control)
#pragma config CP = OFF       // Flash Program Memory Code Protection bit (Code protection off)

#include <xc.h>
#include <pic16f877a.h>
#define _XTAL_FREQ 32000000    //Configuración de reloj

int x=0; //Contador de interrupciones

void __interrupt() timer0(void){

    if(INTCONbits.TMR0IF==1){
        x++; //Se suma una interrupción
        if(x==1000){ //Un segundo, mil interrupciones
            PORTE=!PORTE; //Cambio de estado alto-bajo o bajo-alto
            x=0; //Contador a cero
        }
        TMR0=6; //Se reinician parámetros temporizador, registro
        INTCONbits.TMR0IF=0; //Se reinician parámetros temporizador, interrupción
    }
}

void main(void) {

    TRISB = 0x00; //Port B como salida
    //Configurar interrupciones
    INTCONbits.TMR0IE=1; //Habilita interrupción TMR0
    INTCONbits.TMR0IF=0; //Limpia flag de interrupción TMR0
    INTCONbits.GIE=1; //Habilita interrupción global

    //Configuración del Timer0
    OPTION_REGbits.T0CS=0; //Como temporizador
    OPTION_REGbits.T0SE=0; //Selección de flanco
    OPTION_REGbits.PSA=0; //Asigne prescaler
    OPTION_REGbits.PS=0b100; //1:32

    //Carga de temporización
    TMR0=6; // Desbordamiento cada 1 ms

    while(1);
    return;
}
```

Anexo IV – Código en C para programa de control

```
#pragma config FOSC = HS      // Oscillator Selection bits (HS oscillator)
#pragma config WDTE = OFF     // Watchdog Timer Enable bit (WDT disabled)
#pragma config PWRT = OFF     // Power-up Timer Enable bit (PWRT disabled)
#pragma config BOREN = OFF    // Brown-out Reset Enable bit (BOR disabled)
#pragma config LVP = OFF      // Low-Voltage (Single-Supply) In-Circuit Serial Programming Enable bit (RB3 is digital I/O, HV on MCLR must be used for programming)
#pragma config CPD = OFF      // Data EEPROM Memory Code Protection bit (Data EEPROM code protection off)
#pragma config WRT = OFF      // Flash Program Memory Write Enable bits (Write protection off; all program memory may be written to by EECON control)
#pragma config CP = OFF       // Flash Program Memory Code Protection bit (Code protection off)

#include <xc.h>
#include <pic16f877a.h>
#define _XTAL_FREQ 32000000 //Configuración de reloj

/***** VARIABLES GLOBALES *****/

unsigned int adc;
int alarm, contador60, contador40;
float temp, volt;

/***** CONVERTOR ADC *****/

void ADC_Init()
{
    ADCON0 = 0x41; //Encendido del ADC y selección del reloj
    ADCON1 = 0b1110; //Pines en analógico y voltaje de referencia
    ADCON1bits.ADFM=1; //Justificado a la derecha
}

unsigned int ADC_Read(unsigned char channel)
{
    if(channel > 7) //Channel range is 0 ~ 7
        return 0;

    ADCON0 &= 0xC5; //Clearing channel selection bits
    ADCON0 |= channel<<3; //Setting channel selection bits
    __delay_us(25); //Acquisition time to charge hold capacitor
    GO_nDONE = 1; //Initializes A/D conversion
    while(GO_nDONE); //Waiting for conversion to complete
    return ((ADRESH<<8)+ADRESL); //Return result
}

/***** CONTROL ALARMA *****/

void activar_alarm(){ //Función activación de alarma
    alarm=1;
    contador60=0;
    contador40=0;
    if(!PORTCbits.RC0){PORTCbits.RC1=1;} //Encender salida bombilla
    if(!PORTCbits.RC2){PORTCbits.RC2=1;} //Encender salida sirena
}

void desactivar_alarm(){
    alarm=0;
    contador60=0;
    contador40=0;
    if(PORTCbits.RC0){PORTCbits.RC1=0;} //Apagar salida bombilla
    if(PORTCbits.RC2){PORTCbits.RC2=0;} //Apagar salida sirena
}
```

.../

.../

```
/****** LECTURA TEMPERATURA CADA SEGUNDO *****/
int x=0; //Contador de interrupciones
void __interrupt() timer0(void){
    if(INTCONbits.TMR0IF==1){
        x++; //Se suma una interrupción
        if(x==1000){ //Un segundo, mil interrupciones
            x=0; //Contador a cero
            adc=ADC_Read(0); //Lectura canal analógico 0
            volt=adc*5.0/1024.0; //Valor del Voltaje
            temp=volt*100; //Temperatura en entero
            if(temp>60){ //Temperatura superior a 60 grados
                if(alarm=0){ //Estado de alarma
                    contador60++; //Suma contador
                    if(contador60==10){ //Contador a 10 segundos
                        activar_alarm(); //Activación de estado alarma
                        contador60=0; //Reinicio contador
                    }
                }
            }
            if(temp<40){ //Temperatura inferior a 40 grados
                if(alarm=1){ //Estado alarma
                    contador40++; //Suma contador
                    if(contador40==10){ //Contador a 10 segundos
                        desactivar_alarm(); //Desactivación estado alarma
                        contador40=0; //Reinicio contador
                    }
                }
            }
        } //Fin if(x=100)
        TMR0=6; //Se reinician parámetros temporizador, registro
        INTCONbits.TMR0IF=0; //Se reinician parámetros temporizador, interrupción
    }
}

/****** MAIN *****/
void main(void) {
    ADC_Init(); //Inicio ADC
    TRISA = 0b00000001; //R0 como entrada, los otros como salidas
    TRISC = 0b00000000; //Port C como salida

    /****** RELOJ *****/

    //Configurar interrupciones
    INTCONbits.TMR0IE=1; //Habilita interrupción TMR0
    INTCONbits.TMR0IF=0; //Limpia flag de interrupción TMR0
    INTCONbits.GIE=1; //Habilita interrupción global

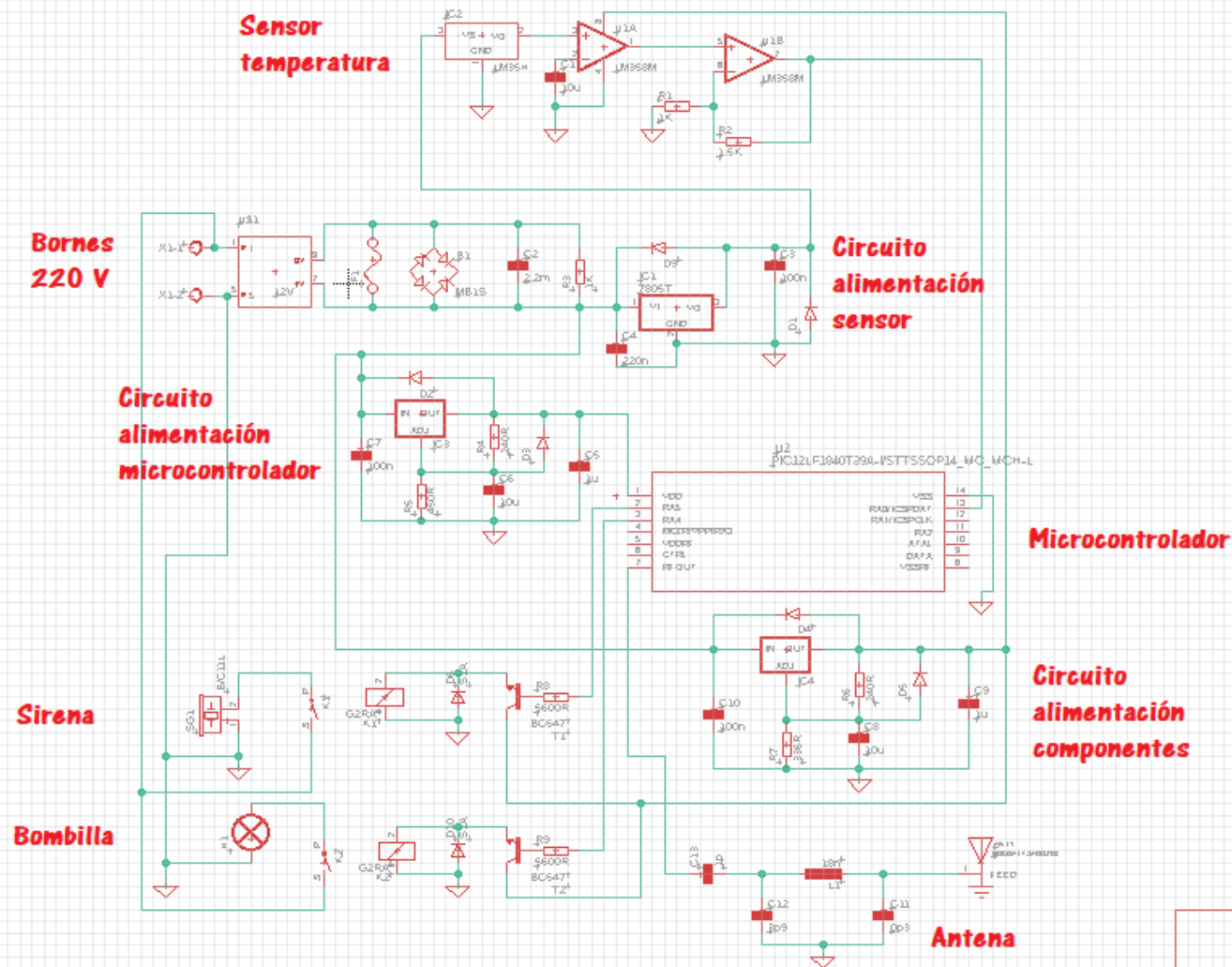
    //Configuración del Timer0
    OPTION_REGbits.TOCS=0; //Como temporizador
    OPTION_REGbits.TOSE=0; //Selección de flanco
    OPTION_REGbits.PSA=0; //Asignación prescaler
    OPTION_REGbits.PS=0b100; //1:32

    //Carga de temporización
    TMR0=6; //Desbordamiento cada 1 ms

    while(1); //Bucle infinito

    return;
}
```


ESQUEMÁTICO CIRCUITO SENSOR ALARMA



TITLE: LAYOUT	
Document Number:	REV:
Date: _not saved!	Sheet: 1/1