

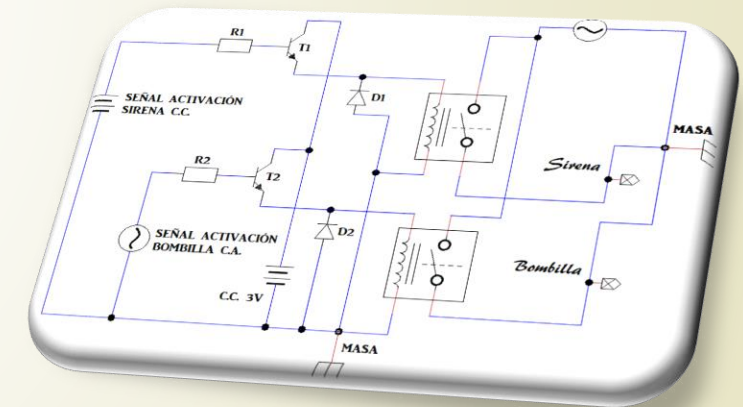
Trabajo de Fin de Grado

Diseño de sensor de alarma inalámbrico

Transmisión en FSK. Banda ISM 868 MHz

Alumno: Ángel Ruben Montero Visent

Tutor: Carlos Gonzalo Moreno Soriano

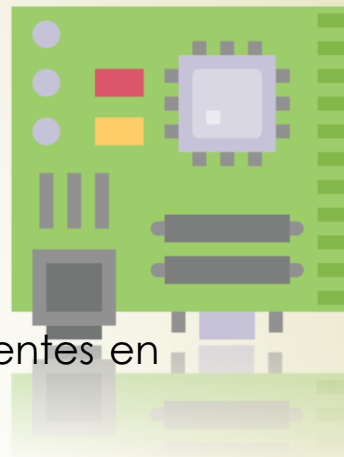


Junio - 2020

Grado en Tecnologías de Telecomunicación

Mención en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación

Resumen



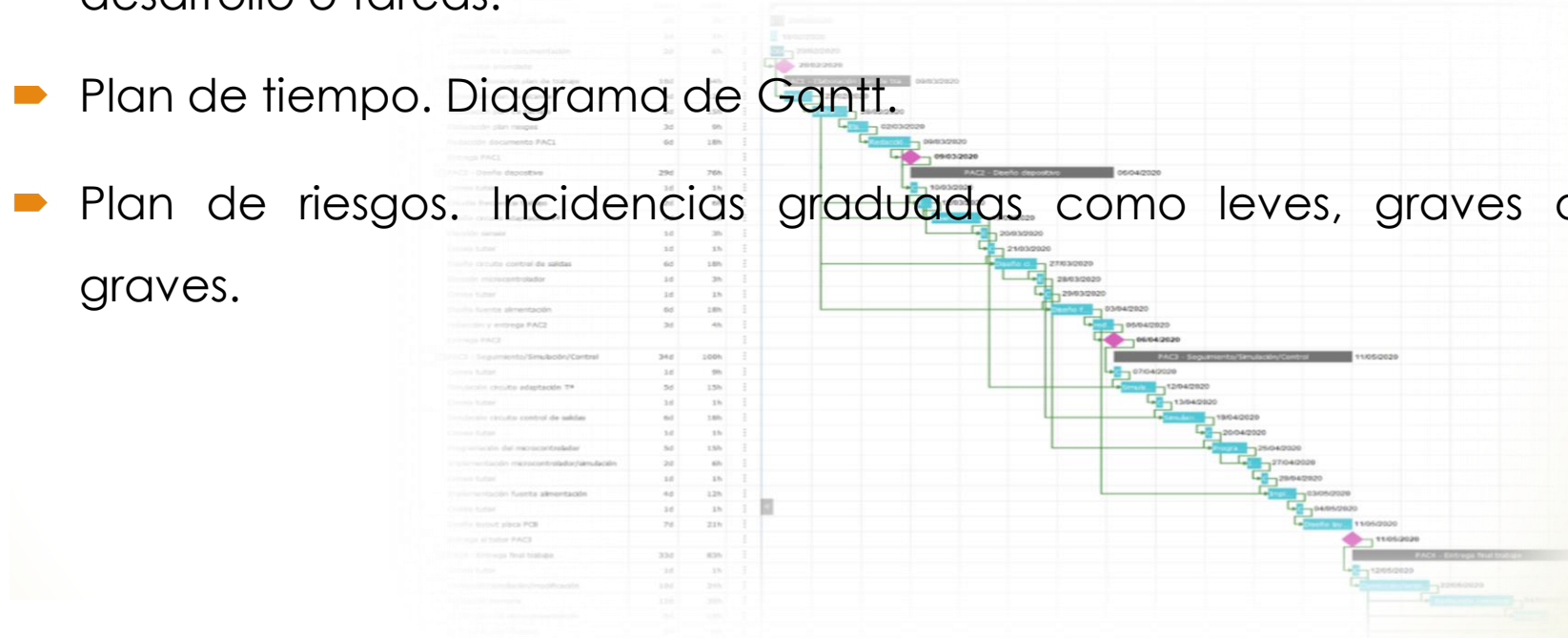
- Actualmente, son muchos los dispositivos basados en **sensores**.
- La **Electrónica** proporciona las herramientas necesarias para integrar dichos componentes en variados sistemas electrónicos.
- En este **Trabajo de Fin de Grado**, se diseña un circuito en el cual el sensor proporciona una señal correspondiente a la **temperatura** captada.
- Un **microcontrolador** digitaliza la señal para que pueda ser procesada y tratada.
- Se pretende que el sistema reaccione a un valor de **temperatura** dado en un determinado intervalo de tiempo (10 segundos). Activando y desactivando una **alarma**.
- La alarma es de tipo acústico y luminoso, mediante una **sirena** y una **bombilla**.
- El modulo de **Radiofrecuencia** se diseña para enviar información a una centralita de control. Se utiliza tecnología digital **FSK** en la **banda ISM 868 MHz**.
- El trabajo incluye el estudio detallado de la **alimentación** del equipo, básicamente, mediante dispositivos rectificadores.
- Se realizan las correspondientes **simulaciones** con herramientas de software.



PLANIFICACIÓN

La **metodología basada en objetivos** permite descomponer el trabajo en partes más simples y manejables, con asignación de tiempo y previsión de riesgos eventuales. Todo ello recogido en planes de gestión:

- Plan de hitos. Los estados intermedios o hitos se alcanzan mediante actividades, que a su vez se descomponen en unidades básicas de desarrollo o tareas.
- Plan de tiempo. Diagrama de Gantt.
- Plan de riesgos. Incidencias graduadas como leves, graves o muy graves.



Objetivos (1)

Se establece un catálogo cerrado de objetivos o tareas técnicas y secuenciales. La parte **electrónica** del trabajo incluye:

- Diseñar el circuito de adaptación de temperatura.
- Diseñar el circuito de control de salidas.
- Elección y programación del microcontrolador.
- Diseño de la fuente de alimentación
- Diseño del *layout* de la placa
- Simulación de cada una de las etapas



Objetivos (2)

En cuanto a la etapa de **Radiofrecuencia** se pretende:

- ▶ Analizar la banda ISM 868 MHz, en el marco del espectro radioeléctrico.
- ▶ Programación del módulo de Radiofrecuencia del microcontrolador.
- ▶ Tecnología de transmisión digital FSK. Contexto y evaluación.
- ▶ Diseño y programación de la trama y del código de detección de errores.
- ▶ Elección de la antena.
- ▶ Diseño del circuito de adaptación de la antena.



Circuito de adaptación de temperatura (1)

El **sensor** provee de valores de entrada al sistema. Sus funciones serán:

- ▶ Captar la temperatura.
- ▶ Generar una señal analógica para que pueda ser, posteriormente, procesada por el programa de control.

Elección del sensor. **Parámetros:**

- ▶ Gama LM35 del fabricante Texas Instruments
- ▶ Sensores termopar para circuitos integrados
- ▶ Encapsulado TO-CAN
- ▶ Rango de temperaturas de -55 °C a 150 °C
- ▶ Precisión de 0.5 °C
- ▶ Valor de conversión de 10 mV cada °C



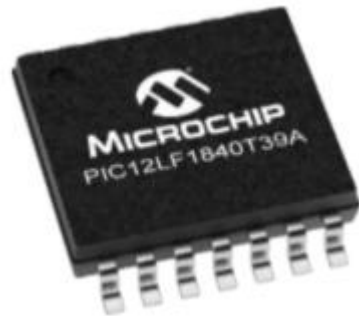
Microcontrolador

El microcontrolador va a realizar dos subtareas:

- ▶ Monitorizar la temperatura proporcionada por el sensor, evaluarla y transitar al estado de alarma.
- ▶ Enviar un bit de información a la centralita de control.

Elección del componente:

- ▶ La familia de los controladores PIC se caracteriza por su simplicidad, procesamiento moderado, bajo consumo y dimensiones reducidas.
- ▶ La tecnología XLP es ideal para equipos inalámbricos.



- ▶ PIC12LF1840T39A.
- ▶ Microcontrolador de 8-bits con 14 pines.
- ▶ Módulo de RF. Compatible con 868 MHz.
- ▶ Modulación FSK.
- ▶ Reloj interno de 32 MHz.
- ▶ 49 instrucciones en 4 KB de memoria Flash.

Circuito control de salidas (1)

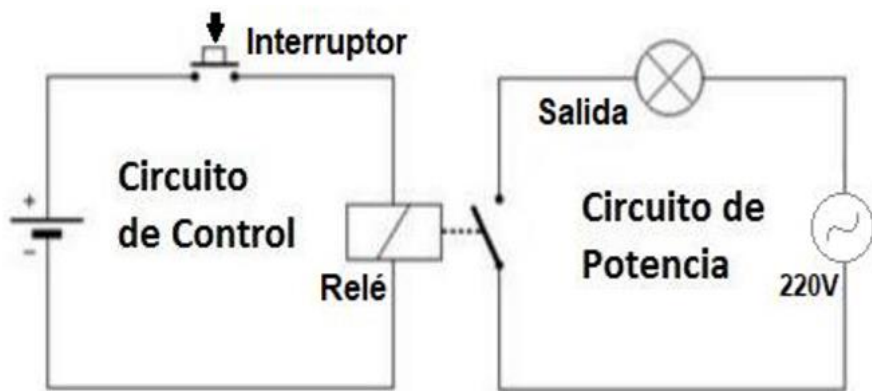
El sistema transita a un estado de alarma (activación) si durante 10 segundos la temperatura captada es superior a 60 °C.

Se desactiva si se captan 40 °C durante 10 segundos seguidos en alarma.

Estado de **alarma**:

- ▶ Se enciende y apaga una bombilla en alternancia de un segundo.
- ▶ Se activa una señal continua acústica de una sirena.

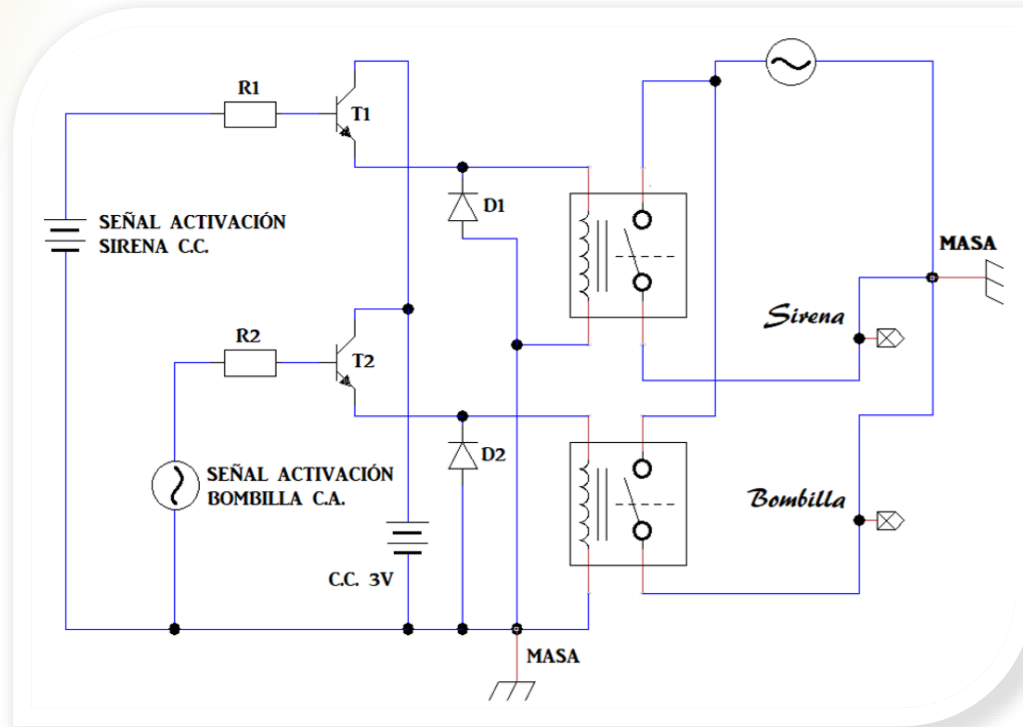
Consideraciones de diseño:



- ▶ La bombilla y la sirena se alimentan de la red doméstica de 220 V.
- ▶ El microcontrolador proporciona una señal eléctrica de control.
- ▶ El relé funciona como un interruptor controlado por dicha señal.

Circuito control de salidas (2)

El esquema del circuito de control de salidas es el siguiente:



- El microcontrolador provee dos señales diferentes de activación.
- Una señal continua activa la sirena.
- Una señal alterna activa la bombilla.
- Los transistores operan en conmutación con la salida del microcontrolador.
- Resistencias de $5,6\text{ k}\Omega$ garantizan la operación en la región de saturación de los transistores.
- Proveen la corriente necesaria para la activación de los relés.

- Los diodos van a proteger a los transistores de los picos de corriente generados al desconectar los relés.

Fuente de alimentación (1)

El equipo se alimenta con la fuente alterna de 220 V de la red doméstica:

- ▶ La bombilla y la sirena se conectan directamente a los 220 V.
- ▶ El microcontrolador necesita una fuente de 3.6 V de corriente continua (C.C.).
- ▶ El sensor, 5 V de C.C.
- ▶ Y el resto de componentes, amplificadores operacionales y transistores, 3 V de C.C.

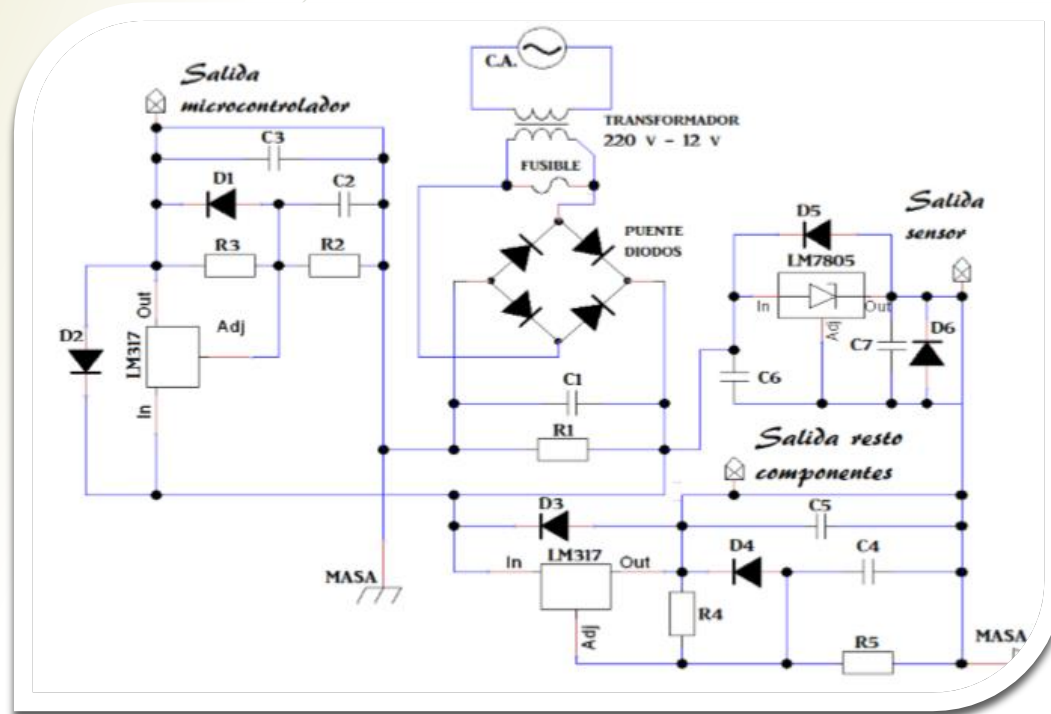
Mediante un transformador se disminuye el valor de la tensión de 220 V a 12 V.

Seguidamente, se transforma en una señal continua:

- ▶ Con un sistema rectificador, se obtiene una señal con valores únicamente positivos.
- ▶ Un filtro, aplanar la curva.
- ▶ Finalmente, un estabilizador resuelve las tensiones de rizado.

Fuente de alimentación (2)

Circuito de alimentación:

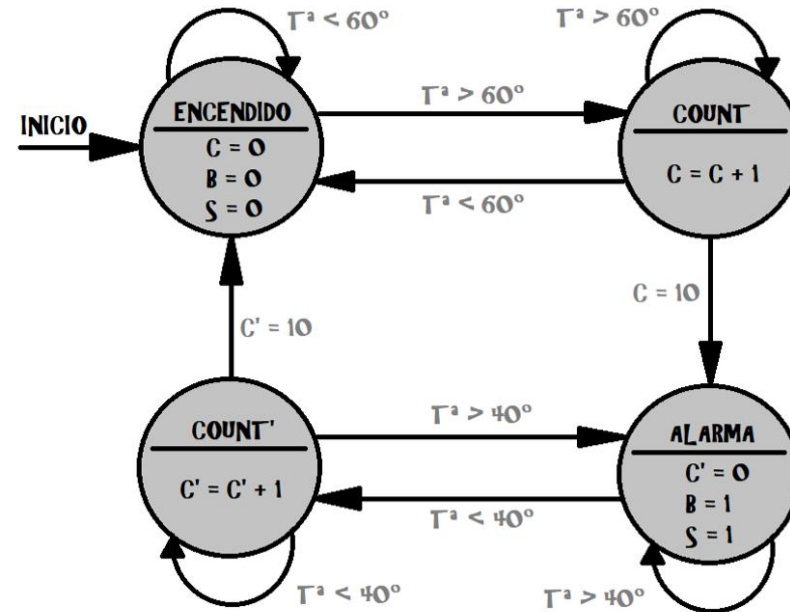


- Una etapa inicial y común, se configura con un transformador, un fusible, un puente de diodos, un condensador y una resistencia.
- El puente de diodos conforma la etapa de rectificación.
- El condensador electrolítico de 2200 μF en paralelo aplanar la salida.
- Esta se carga en la resistencia.
- La alimentación del sensor requiere un regulador de tensión LM7805.

- Para el microcontrolador y el resto de componentes, se implementa un LM317.
- Las resistencias permiten determinar el voltaje de salida, 3 o 3.6 V.
- Los diodos protegen de tensiones de retorno y los condensadores mejoran la respuesta transitoria.

Programa de control (1)

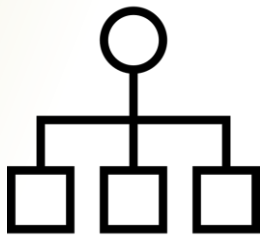
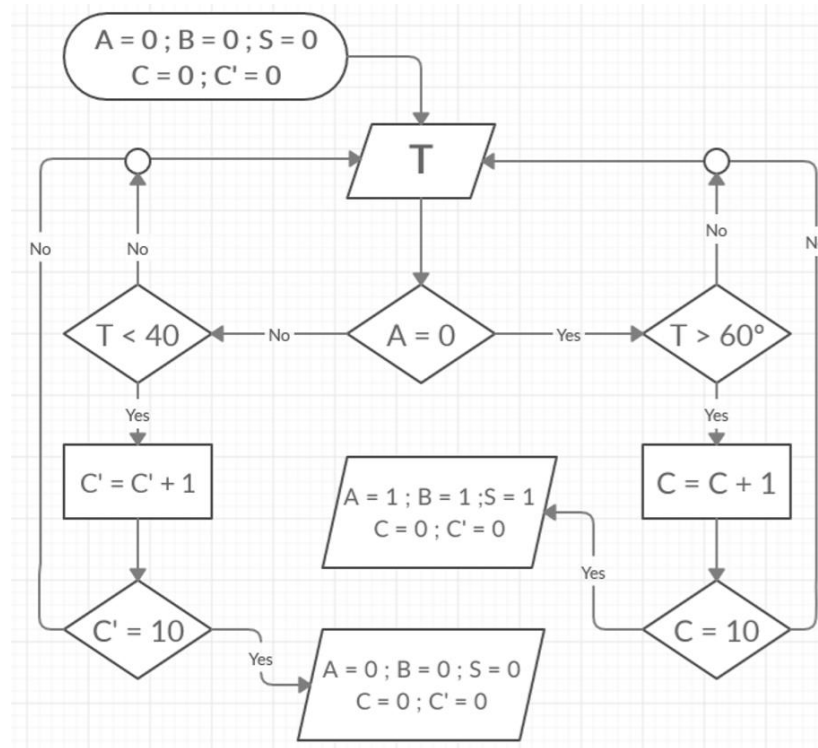
La activación y desactivación del sensor se describe mediante un **grafo de estados**:



Los círculos representan los posibles estados y sus correspondientes salidas, mientras que las flechas son las transiciones.

Programa de control (2)

La programación del microcontrolador se puede estructurar a través de un **diagrama de flujo**:



Se representan las entradas (T), los bloques condicionales (rombos), sentencias (rectángulo), y las salidas (romboides).

Programa de control (3)

- ▶ Conversor analógico-digital

El sensor proporciona una señal analógica variable en voltaje que el microcontrolador convierte en digital. Se basa en el tiempo de carga y descarga de un condensador.

El resultado es un valor de 10 bits que se almacena en dos registros de 8 bits, ADRESH y ADRESL.

- ▶ Activación y desactivación del señal de alarma

El programa requiere un temporizador. Se utilizan los TIMERS del microcontrolador para obtener voltaje alto durante 8000 ciclos de reloj (1 ms). Un contador que suma 1000 interrupciones proporcionará la señal necesaria de un segundo.

El reloj permite, entonces, determinar el tiempo entre flancos de la señal digital y, por lo tanto, seleccionar el momento de lectura el sensor de temperatura (cada segundo).

Programa de control (4)

La simulación del **convertor analógico-digital** del microcontrolador se muestra en la siguiente secuencia:

Time	RA0	Click h
100	488mV	
200	3000mV	
300	494mV	
400	2000mV	
500	1500mV	
600	2500mV	

- Mediante la herramienta **Stimulus** de MPLAB introducimos diferentes entradas analógicas (voltaje en mV) en bucle.

- La respuesta del microcontrolador se observa en la salida digitalizada, valores de 1 o 0.

Pin	Mode	Value
RA0	Ain	3.0V
RC0	Dout	0
RC1	Dout	0
RC2	Dout	0
RC3	Dout	1
RC4	Dout	1
RC5	Dout	0
RC6	Dout	0
RC7	Dout	0
RB6	Dout	1
RB7	Dout	1

Programa de control (5)

Mediante código de alto nivel en C, se programa la salida deseada:

```

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)
}

```

- Se almacena el valor de la temperatura en la variable **temp**.
- Por cada lectura captada superior a 60 °C se ejecuta la instrucción **contador60++**.
- Cuando se alcanzan 10 lectura se activa la alarma, mediante la función **activar_alarm()**.
- La desactivación funciona de manera análogo, esta vez ejecutando **contador40++** y llamando a la función **desactivar_alarm()**.

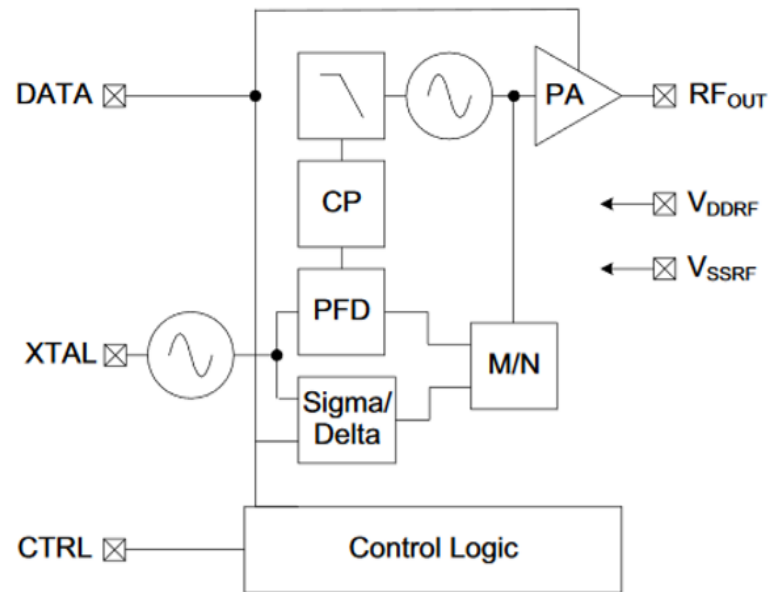


Radiofrecuencia (1)

El objetivo es enviar un byte de información cada segundo a una centralita de control.

El transmisor RF integrado en el microcontrolador es capaz de operar en la banda **ISM 868 MHz** usando modulación **FSK**.

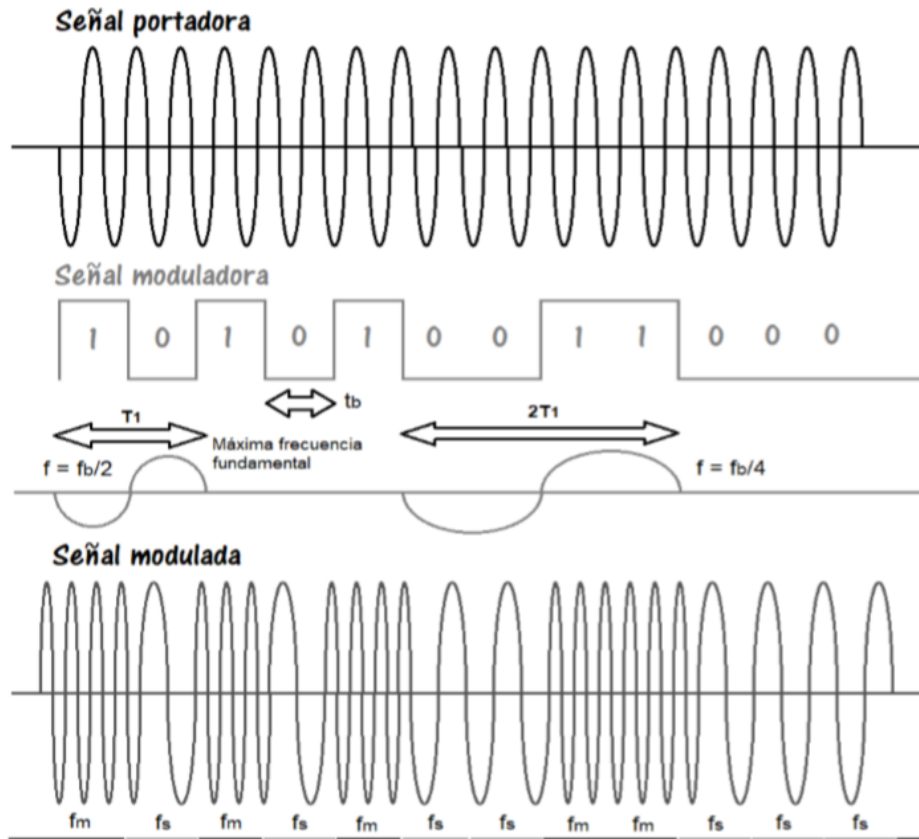
Circuito de transmisión:



- ▶ El microcontrolador proporciona un módulo RF.
- ▶ Mediante un PLL, lazo de seguimiento de fase, se construye la señal de salida RFout.
- ▶ La salida se compone de dos frecuencias diferenciadas en función del valor (binario, 1 o 0) que se quiere transmitir.

Radiofrecuencia (2)

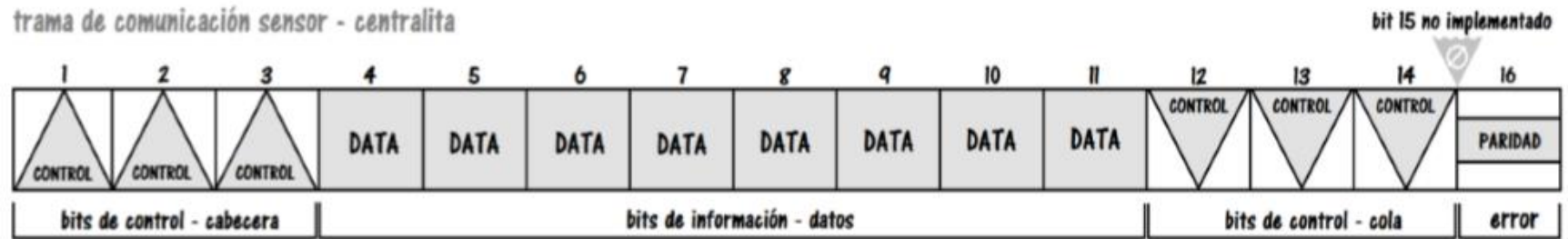
La modulación FSK se puede representar gráficamente de la siguiente manera.



- La señal **portadora** de la transmisión opera en 868 MHz.
- La señal **moduladora** corresponde a los bits de información que se quieren transmitir (1 o 0).
- Finalmente, la señal **modulada**, que finalmente se envía, viene determinada por variaciones en la frecuencia en función del bit de dato que se está enviando.

Radiofrecuencia (3)

El mensaje se envía empaquetado en una **trama** que incluye, cabecera y cola, datos y código de detección de errores.



Distribución de bits:

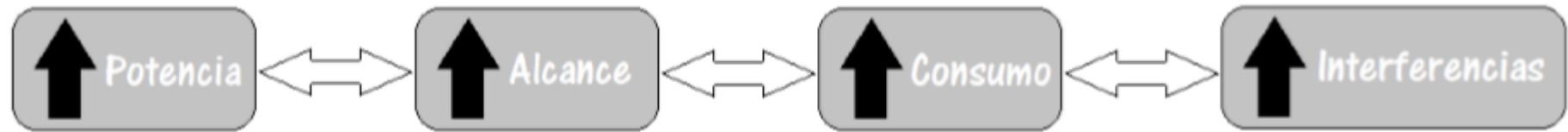
- Tres bits de **cabecera**. Codificación: 111
- Ocho bits de **datos**. Corresponde al valor decimal de la temperatura.
- Tres bits de **cola**. Codificación: 111
- El bit 15 no se implementa.
- Finalmente, un bit de **detección de errores**. Concretamente, de paridad simple.



Radiofrecuencia (4)

El estudio de la radiopropagación permite evaluar el alcance efectivo de la transmisión.

Mayor **potencia** de transmisión implica un mayor **consumo**, mayor **alcance** pero Incrementa el riesgo de generar **interferencias**.



El modelo **COST 231** permite calcular, aproximadamente, el alcance del sistema.

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

$$P_t = 0 \text{ dBm} \rightarrow d \approx 51 \text{ metros}$$

$$P_t = +10 \text{ dBm} \rightarrow d \approx 164 \text{ metros}$$

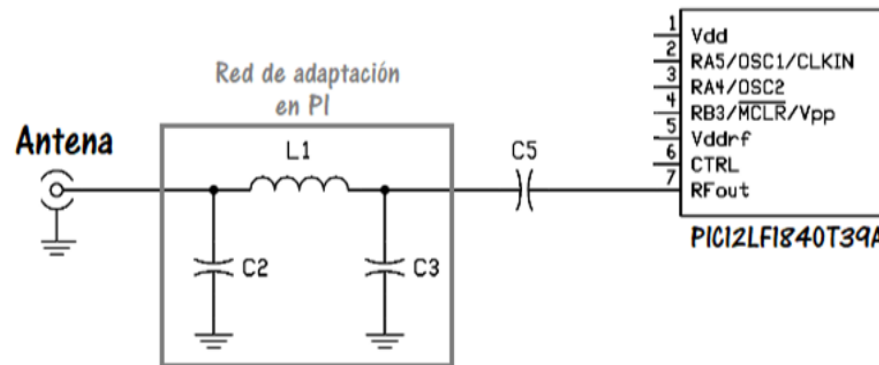
El cálculo se basa en las dos potencias de salida disponibles para el microcontrolador, en las atenuaciones de propagación en espacio libre y el traspaso de paredes y techos.

Antena

Es la parte del sistema capaz de radiar ondas electromagnéticas. Las antenas de chip de cerámica (tamaño y fiabilidad) son ideales para circuitos integrados.

La antena, no obstante reduce la eficiencia del sistema en un 40 por ciento. El alcance, en consecuencia, será mucho menor al calculado.

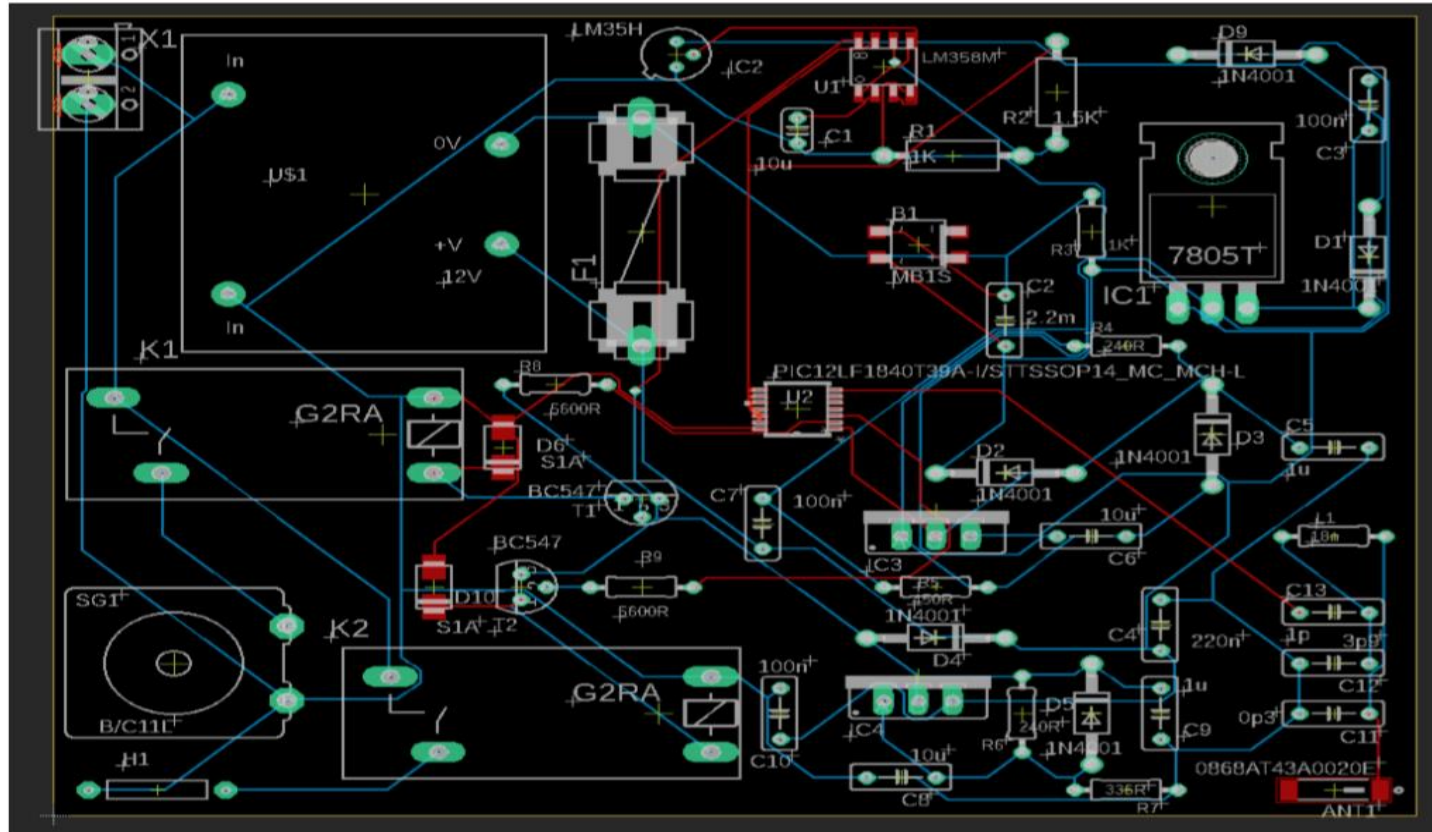
Para conseguir una transferencia máxima entre el generador y la antena, es necesario implementar un **circuito de adaptación**.



- Configuración en PI.
- Dos condensadores en paralelo.
- Una bobina en serie.

Layout

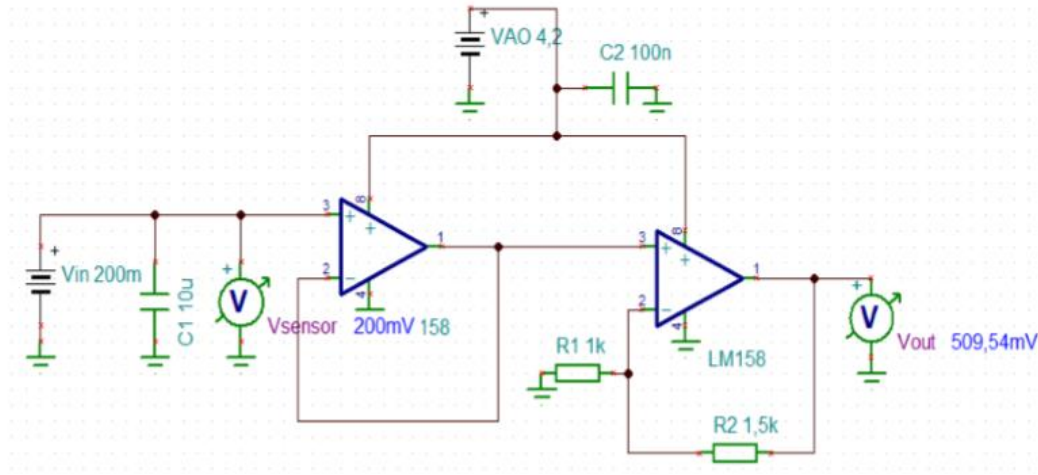
El diseño del circuito integrado, en términos de topología física del chip y no de su funcionamiento electrónico, se puede esquematizar mediante el LAYOUT.



Simulaciones (1)

El **comportamiento** de cada uno de los bloques del diseño se simula mediante herramientas de software.

- Circuito de adaptación de temperatura.



← Esquema circuito

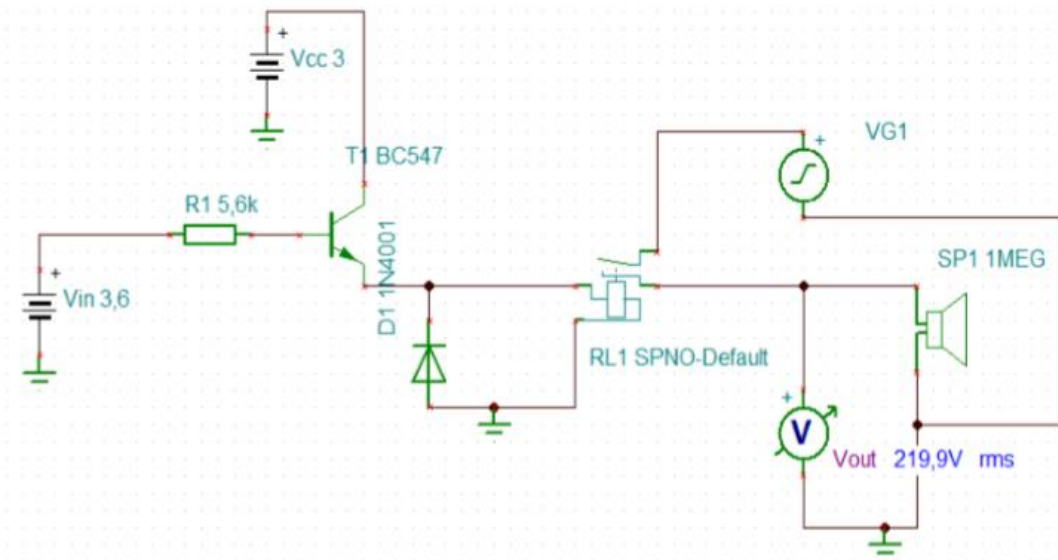
Tabla de **resultados** →

Temperatura °C	Vin (V)	Vout (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

Simulaciones (2)



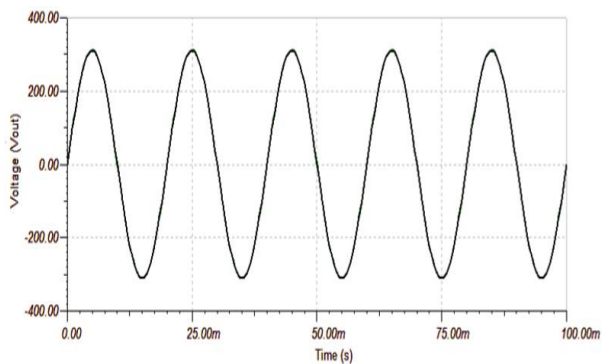
- Circuito de control de salidas: activación sirena/bombilla.



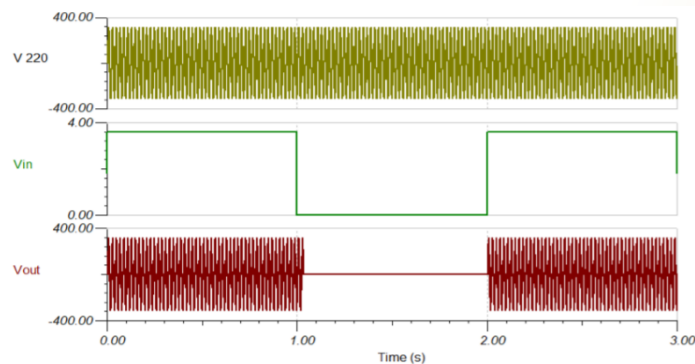
Esquema circuito



Sirena



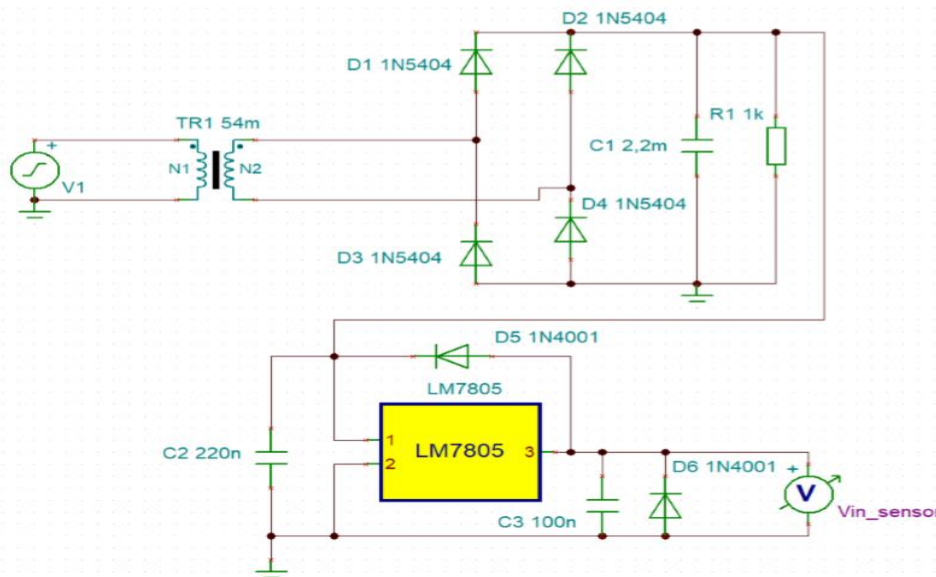
Bombilla



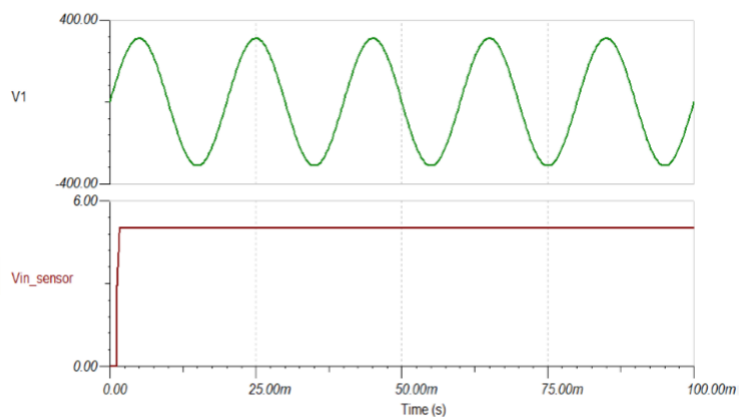
Simulaciones (3)



- Fuente de alimentación. Sensor temperatura.



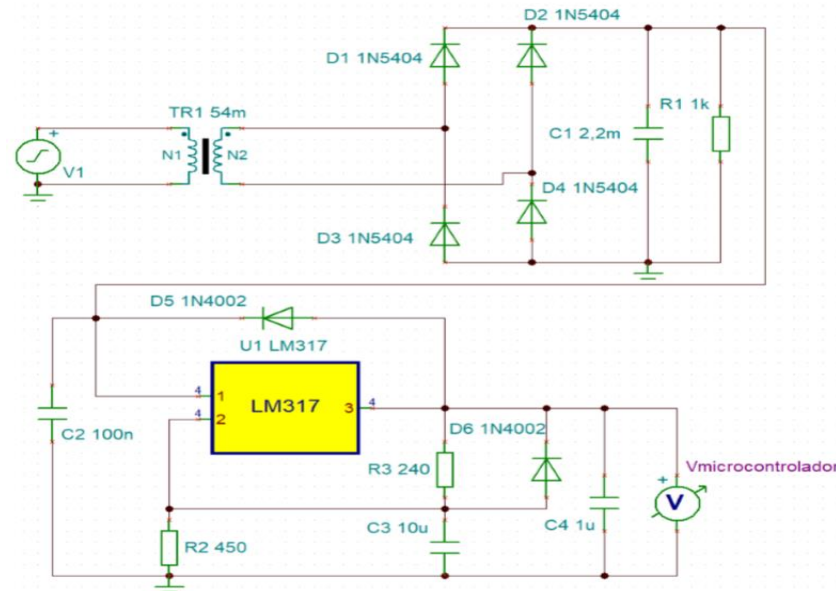
← Circuito con regulador **LM7805**



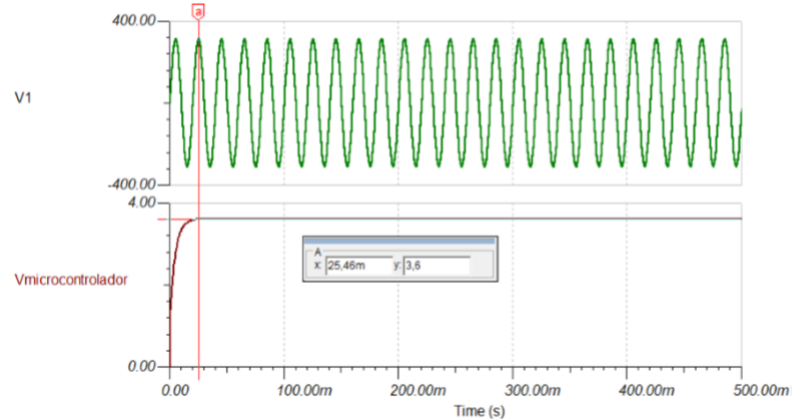
← Entrada 311 V
Salida 5 V

Simulaciones (4)

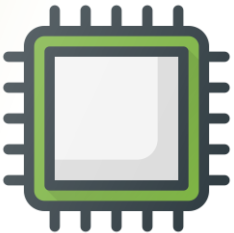
- Fuente de alimentación. Microcontrolador.



← Circuito con regulador **LM317**

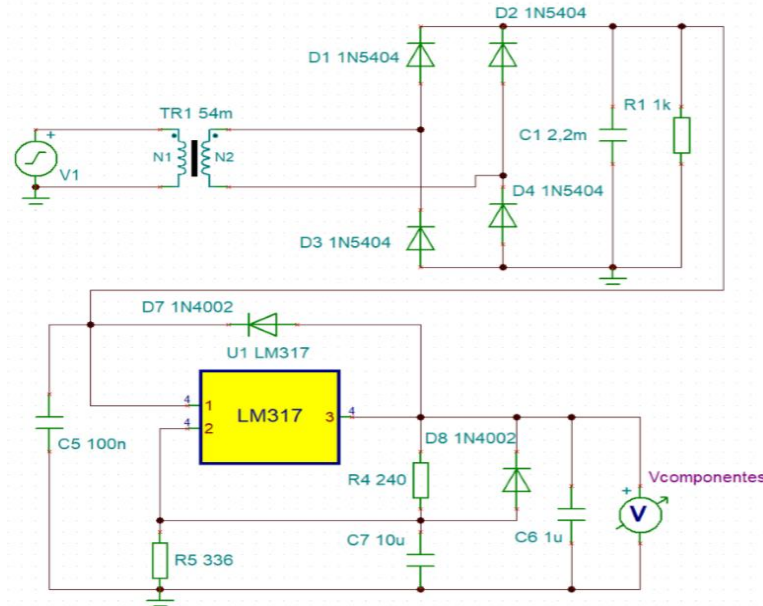


← Entrada 311 V
Salida 3.6 V

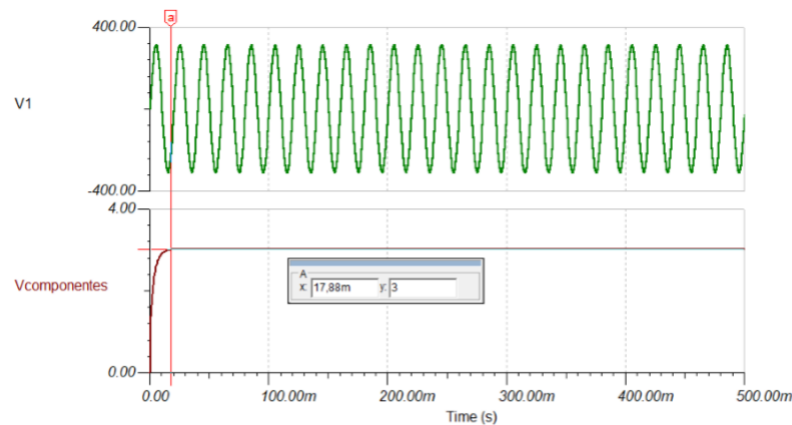


Simulaciones (5)

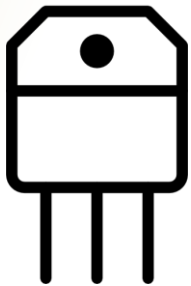
- Fuente de alimentación. Amplificadores operacionales y transistores.



← Circuito con regulador **LM317**



← Entrada 311 V
Salida 3 V



Conclusiones

- ▶ Se entrega completo el diseño del equipo de captación de temperatura, procesado de la información y transmisión de datos a una centralita.
- ▶ Las simulaciones han dado los resultados esperados.
- ▶ El estudio de la transmisión de datos, evalúa la tecnología FSK en la banda ISM 868 MHz. Se concluye como satisfactoria.
- ▶ No obstante, se sugiere que el sistema resta incompleto sin el receptor del mensaje.
- ▶ Los equipos deberían, además, poderse integrar en una red de dispositivos, capaces de interactuar entre ellos.

Mi más sincero agradecimiento a la **UOC**: profesores, equipo de gestión y estudiantes.

