

# Capítulo 2.

## Multiplexación de entradas para conexión de sensores PIR y magnéticos con salida

Hernán Darío Montenegro Zambrano<sup>1</sup>  
Jorge Andrés Chamorro Enríquez<sup>2</sup>

**Cítese como:** Montenegro-Zambrano, H. D. y Chamorro-Enríquez, J. A. (2023). Multiplexación de entradas para conexión de sensores PIR y magnéticos con salida. En F. C. Gómez-Meneses, E. M. Moncayo-Torres y T. M. Piamba (comps.), *Aplicaciones tecnológicas de la Ingeniería Mecatrónica y sus impactos al desarrollo socioeconómico* (pp. 26-40). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.214.c364>

### Resumen

Para un sistema de seguridad se requiere una conexión máxima de 32 sensores y mínimo ocho, entre los que se puede conectar sensores PIR o magnéticos, los cuales cuentan con dos pines de salida; uno de ellos emite una señal lógica si se detecta movimiento, en el caso del sensor PIR o, para el caso del sensor magnético, si detecta la apertura de una puerta o ventana. El otro pin, denominado TAMPER, emite una señal lógica alta permanentemente, que cambia a un estado bajo si se llega a manipular o cortar el cableado de los sensores, por lo que se requiere de dos pines de entrada por cada sensor, dando un total de 64 pines necesarios.

El controlador que se utilizó tiene disponibles nueve pines con los cuales se debía lograr controlar los 32 sensores. Dado que el número de sensores a conectar era mayor al número de pines disponibles, como solución se recurrió al uso de multiplexores, los cuales tienen una gran familia, pero, debido a los requerimientos, se optó por utilizar multiplexores de ocho canales de entrada a una salida, haciendo uso de un total de ocho para conexión de los sensores. La selección de canales se realizó a través de tres pines digitales del controlador, que generaron una configuración binaria entre 0 y 7, realizando así el barrido por cada uno de los canales. Como cada sensor requería de dos canales, se configuró dos multiplexores en paralelo, los cuales estarían leyendo los pines del sensor al mismo tiempo, como si fueran un solo multiplexor.

<sup>1</sup> Autor. Correo electrónico: hemontenegro@umariana.edu.co

<sup>2</sup> Coautor. Correo electrónico: jchamorro@umariana.edu.co

Los multiplexores cuentan con un pin denominado 'enable', el cual habilita o deshabilita el multiplexor, dependiendo del estado lógico. Para lograr el barrido del máximo de 32 sensores se necesitó cuatro pines del controlador, encargados de habilitar cada uno de los multiplexores. Para la salida del multiplexor fue preciso usar un pin de entrada en el controlador, que se encargó de capturar el estado lógico de la señal de los sensores y otro, de capturar la señal de TAMPER, dando así un total de nueve pines para lograr el control de los 32 sensores, cumpliendo los requerimientos y usando los recursos disponibles.

Como cada dos multiplexores conectan ocho sensores, si no se requiere la conexión de más de ocho, solo se usará dos multiplexores y el código de programación del controlador funcionará sin ningún problema.

*Palabras clave:* PIR; multiplexor.

## **Multiplexing of inputs for connection PIR and magnetic sensors with output**

### **Abstract**

A security system requires a maximum connection of 32 sensors and a minimum of eight, among which PIR or magnetic sensors can be connected, which have two output pins; one of them emits a logic signal if motion is detected, in the case of the PIR sensor or, in the case of the magnetic sensor, if it detects the opening of a door or window. The other pin, called TAMPER, outputs a permanently high logic signal, which changes to a low state if the sensor wiring is tampered with or cut, so two input pins are required for each sensor, giving a total of 64 pins needed.

The controller used had nine pins available to control the 32 sensors. Since the number of sensors to be connected was greater than the number of pins available, the solution was to use multiplexers, which have a large family, but, due to the requirements, it was decided to use multiplexers with eight input channels to one output, making use of a total of eight for the sensor connection. The channel selection was done through three digital pins of the controller, which generated a binary configuration between 0 and 7, thus making the sweep for each of the channels. As each sensor requires two channels, two multiplexers were configured in parallel, which will be reading the sensor pins at the same time, as if they were a single multiplexer.

Multiplexers have a pin called 'enable', which enables or disables the multiplexer, depending on the logic state. To sweep the maximum of 32

sensors, four controller pins were required to enable each of the multiplexers. For the output of the multiplexer, an input pin was required in the controller, which was responsible for capturing the logic state of the sensor signal, and another pin for capturing the TAMPER signal, thus giving a total of nine pins to be used for the control of the 32 sensors, meeting the requirements and using the available resources.

Since every two multiplexers connect eight sensors, if no more than eight sensors are required to be connected, only two multiplexers will be used and the controller programming code will work without any problems.

*Keywords:* PIR, multiplexers.

## **Multiplexação de entradas para conexão PIR e sensores magnéticos com saída**

### **Resumo**

Um sistema de segurança requer uma conexão máxima de 32 sensores e mínima de oito, entre os quais podem ser conectados sensores PIR ou magnéticos, que têm dois pinos de saída; um deles emite um sinal lógico se for detectado movimento, no caso do sensor PIR, ou, no caso do sensor magnético, se detectar a abertura de uma porta ou janela. O outro pino, chamado TAMPER, emite um sinal lógico permanentemente alto, que muda para um estado baixo se a fiação do sensor for adulterada ou cortada, de modo que são necessários dois pinos de entrada para cada sensor, totalizando 64 pinos necessários.

O controlador usado tem nove pinos disponíveis para controlar os 32 sensores. Como o número de sensores a serem conectados é maior do que o número de pinos disponíveis, a solução é usar multiplexadores, que têm uma família grande, mas, devido aos requisitos, optou-se por usar multiplexadores com oito canais de entrada para uma saída, utilizando um total de oito para a conexão do sensor. A seleção do canal é feita por meio de três pinos digitais do controlador, que geram uma configuração binária entre 0 e 7, fazendo assim a varredura para cada um dos canais. Como cada sensor requer dois canais, são configurados dois multiplexadores em paralelo, que estarão lendo os pinos dos sensores ao mesmo tempo, como se fossem um único multiplexador.

Os multiplexadores têm um pino chamado 'enable', que habilita ou desabilita o multiplexador, dependendo do estado lógico. Para varrer o máximo de 32 sensores, quatro pinos do controlador são necessários para ativar cada um dos multiplexadores. Para a saída do multiplexador, é necessário um pino de

entrada no controlador, que é responsável por capturar o estado lógico do sinal do sensor, e outro pino é responsável por capturar o sinal TAMPER, o que resulta em um total de nove pinos a serem usados para o controle dos 32 sensores, atendendo aos requisitos e usando os recursos disponíveis.

Como cada dois multiplexadores conectam oito sensores, se não for necessário conectar mais de oito sensores, serão usados apenas dois multiplexadores e o código de programação do controlador funcionará sem problemas.

*Palavras-chave:* PIR; multiplexador.

## Introducción

Esta investigación buscó dar solución a la limitada disponibilidad de pines en el hardware que presentan los controladores y el paquete de controladores de sistema en un chip (SOC). En esta ocasión, se requería remediar un sistema de seguridad que precisaba conectar múltiples sensores PIR y magnéticos que superaban el número de pines disponibles en el controlador.

Como solución al problema de la limitación en el hardware de los controladores y SOC se recurrió a los multiplexores, a los cuales se les debía efectuar un estudio de funcionamiento basado en una hoja de datos dada por el fabricante, con el fin de obtener parámetros de cómo se debía realizar la selección de canales, tiempo de respuesta mínimo en el cambio de canales, voltaje de entrada máximo, etc. Conocer su funcionamiento era muy importante, dado que así se tenía una idea de cómo estructurar el código de programación en el controlador.

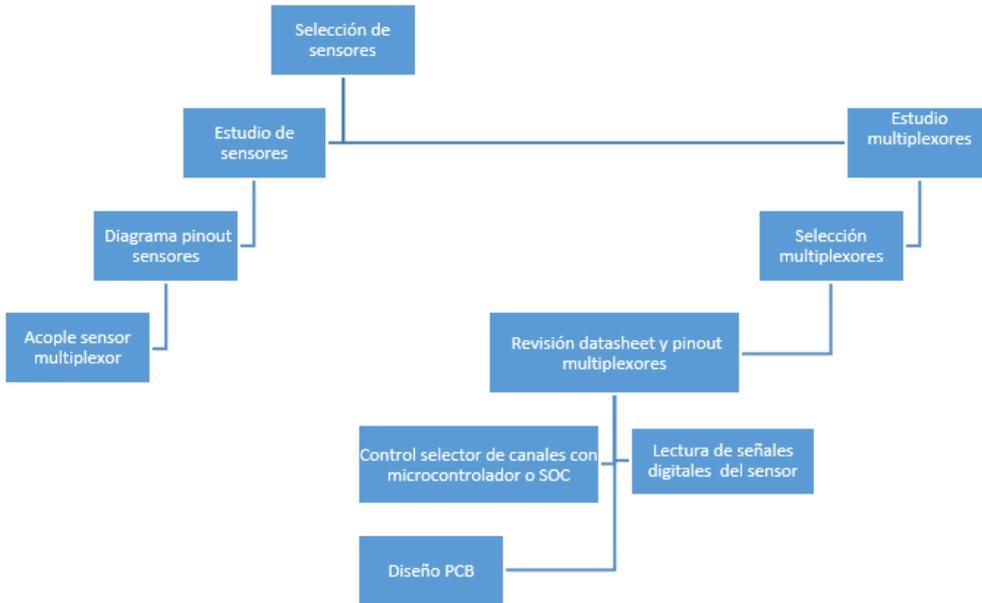
A los sensores a conectar también se les realizó el análisis de funcionamiento, tanto del voltaje de alimentación como de los pines con los cuales interactúa con el controlador, obteniendo así el *pinout* de los sensores y su voltaje de funcionamiento.

Conociendo los parámetros de funcionamiento tanto de los sensores como de los multiplexores, se hizo planos esquemáticos para lograr su óptimo funcionamiento, antes de realizar el diseño final; para ello se usó el software de simulación y montajes de pruebas para verificar el funcionamiento de los circuitos; también, el código de programación del controlador para el control y lectura de los multiplexores.

Como paso final, se elaboró un diseño de PCB (por sus siglas en inglés: placa de circuito impreso) en donde se tomó en cuenta todo lo necesario para un buen diseño y que, como resultado, el circuito tuviera un óptimo funcionamiento.

## Metodología

**Figura 1**  
*Metodología*



## Análisis del funcionamiento de sensores PIR y magnéticos

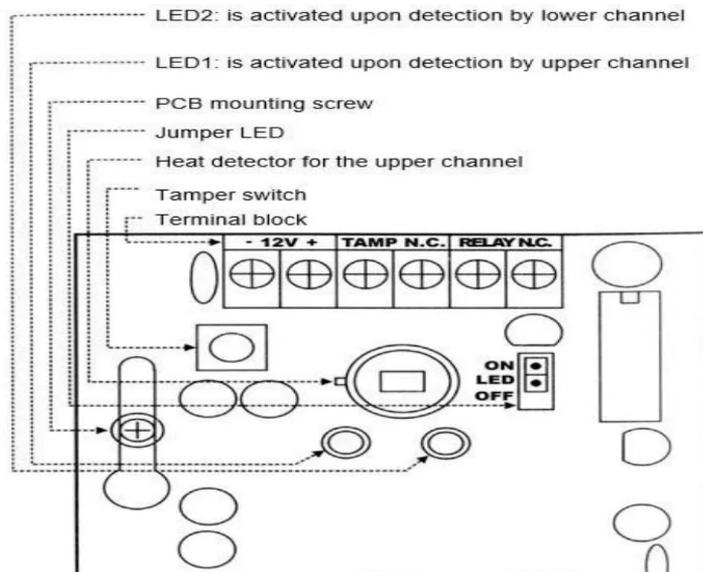
### Sensores PIR

Los sensores PIR necesitan para su funcionamiento, una fuente de voltaje de doce voltios; tienen un consumo de funcionamiento de 20 miliamperios en activación y diez miliamperios en desactivación. Estos sensores, al momento de detectar un cambio de radiación en la zona que tiene cubierta, activa un relé<sup>3</sup> que genera un estado lógico, el cual será alto si el sensor es normalmente abierto y bajo, si el sensor es normalmente cerrado.

Adicionalmente, los sensores cuentan con una protección que permite saber si el sensor es manipulado, ya sea que se haya cortado su cableado o abierto su carcasa. Cuando esto sucede, el sensor activa un relé que genera un estado lógico bajo, haciéndole saber al controlador que el sensor fue manipulado.

<sup>3</sup> Dispositivo electromagnético.

**Figura 2**  
*Pinout sensor PIR*



Fuente: Etiampro (2021).

### Sensor magnético

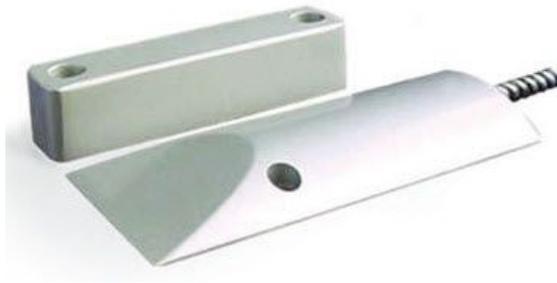
Tiene un funcionamiento un poco simple, ya que internamente cuenta con un interruptor magnético que se activa al acercarle un imán y se desactiva al alejarlo. Cuando se activa, retorna un voltaje de doce voltios, que se podría considerar un estado lógico alto, el cual será leído por el controlador.

Se compone de dos partes: una que contiene el interruptor magnético y la otra, el imán. Cuando se instala el sensor magnético en una puerta o una ventana, la parte con el cableado y el interruptor magnético deben ir instaladas en la parte fija y el imán, en la parte móvil de la puerta o ventana.

Cuando la puerta o ventana están cerradas, las partes que componen al sensor se encontrarán juntas, por lo que el sensor estará enviando un estado lógico que, al momento de abrir la puerta o ventana, cambiará. El consumo de corriente de este sensor lo definirá la resistencia de acople.

### Figura 3

*Sensor magnético*



Fuente: TECNOSeguro (s.f.).

### Figura 4

*Sensor magnético instalado en puerta*



Fuente: TECNOSeguro (s.f.).

### Multiplexor

Como solución al problema de tener múltiples señales de entrada y pocas entradas en el controlador, se recurrió al uso de multiplexores que, como sostiene Ingeniería Mecafenix (2020), son dispositivos electrónicos que sirven para hacer lecturas de datos de múltiples entradas a una salida.

Los multiplexores tienen una gran familia, pero, en esta ocasión, como se debía realizar la conexión mínima de ocho sensores y máximo de 32, para evitar el desperdicio de hardware cuando no estuvieran conectados los 32 sensores, se utilizó cuatro multiplexores de ocho entradas a una salida, los cuales debían ir leyendo ocho canales secuencialmente.

Como en el mercado hay una gran cantidad de referencias de multiplexores de 8 a 1, se preseleccionó las referencias de 74ls151 y 74hc4051, haciendo un comparativo con base en la hoja de datos de cada uno.

**Tabla 1**

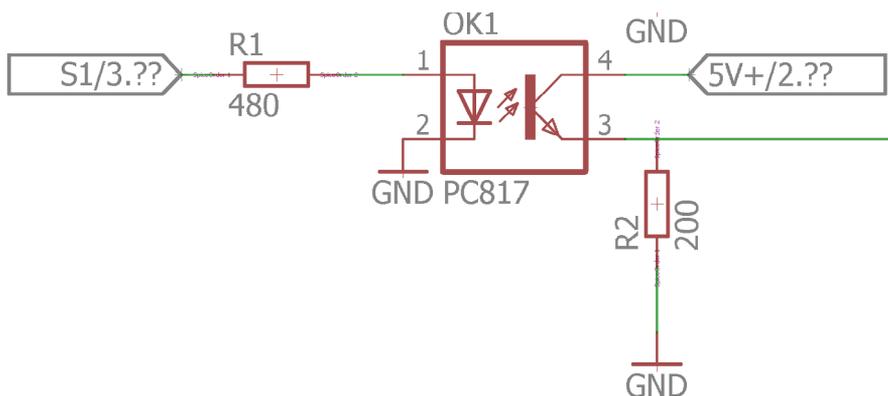
*Comparativo de referencias de multiplexores*

	74ls151	74hc4051
Voltaje de alimentación (VCC)	5v	5v en control digital
Voltaje de entrada	VCC	VCC
Remplazo	n/a	CD4051
Precio	3.2 USD 10 unids	1.85 USD unids

Los dos multiplexores tienen características muy similares, pero, debido al precio y a que el 74hc4051 tiene remplazo, se optó por elegir a este. Tener una fuente de alimentación de cinco voltios no es suficiente para soportar los doce voltios de entrada que generan los sensores, ya que este voltaje está por encima del voltaje nominal del multiplexor, por lo que se debe aislar esta señal, recurriendo al uso de optoacopladores de referencia pc817, donde este recibirá la señal de los sensores de doce voltios y entregará la señal al multiplexor de cinco voltios.

**Figura 5**

*Circuito optoacoplador*



Según la hoja de datos del pc817, este trabaja con una corriente máxima de 50 miliamperios tanto en la entrada como en la salida, por lo que se calcula resistencia de entrada y salida para obtener la corriente de trabajo deseada de 25 miliamperios, para no hacerlo trabajar al límite.

$$Resistencia = \frac{Voltaje}{corriente}$$

Resistencia de entrada para una corriente de 25 miliamperios

$$\frac{12V}{25ma} = 480\Omega$$

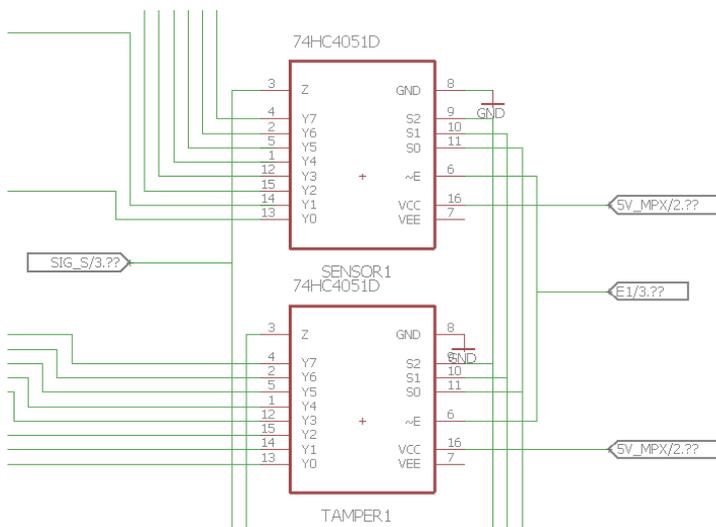
Resistencia de salida para una corriente de 25 miliamperios

$$\frac{5V}{25ma} = 200\Omega$$

Dado que los sensores requieren de dos entradas, una para la señal de detección de movimiento y la otra para la señal de TAMPER por sensor, se necesita hacer la lectura de estas señales al mismo tiempo, por lo que se debe configurar un circuito que permita que dos multiplexores trabajen en paralelo, razón por la cual se usó dos multiplexores por cada ocho sensores, usando así un total de ocho en la conexión de 32 sensores.

**Figura 6**

*Configuración en paralelo de multiplexores*



## Controlador

Se usó un microcontrolador PIC de referencia PIC18F2550, del cual solo se tenía disponibilidad de nueve pines, dado que los otros estaban siendo utilizados para tareas diferentes en el sistema de seguridad, por lo que se debía realizar un código de programación que permitiera controlar los ocho multiplexores, pero, debido a que cada dos multiplexores trabajan en paralelo, es como si solo se controlara cuatro. Los multiplexores cuentan con tres pines denominados S1, S2 y S3, que reciben la secuencia binaria que genera el controlador, que va en números decimales de 0 hasta 7; cada número representa un canal seleccionado.

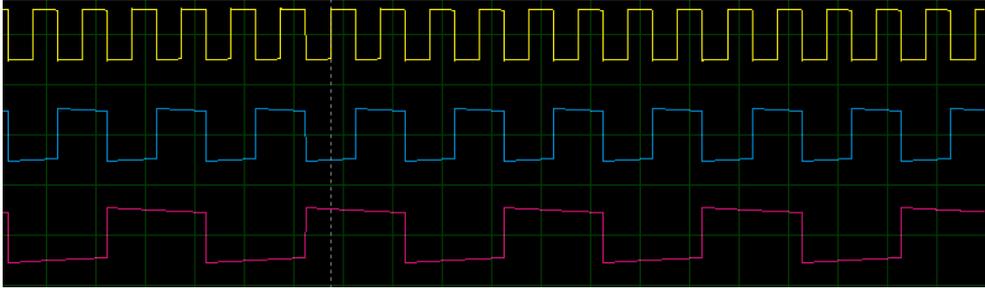
Los multiplexores, además de los pines de selección, necesitan tener su pin 'enable' en un estado lógico de cero, por lo que mientras el controlador hace la lectura de los sensores, este envía un estado lógico cero al multiplexor que está leyendo y, un estado lógico de alto a los otros multiplexores, para mantenerlos deshabilitados. El controlador irá seleccionando secuencialmente el multiplexor a leer; este barrido entre canales y multiplexores se realiza de manera tan rápida que, para la percepción humana, dará el efecto de que el controlador está leyendo los sensores simultáneamente, aunque esto no sea así.

**Tabla 2**

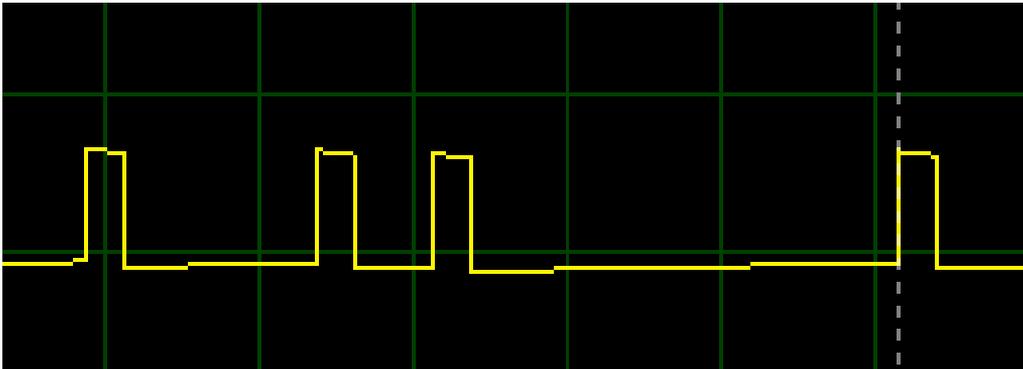
*Selección de canales*

Inhibit	Input States			"On" Channels		
	C	B	A	CD4051B	CD4052B	CD4053B
0	0	0	0	0	0X, 0Y	cx, bx, ax
0	0	0	1	1	1X, 1Y	cx, bx, ay
0	0	1	0	2	2X, 2Y	cx, by, ax
0	0	1	1	3	3X, 3Y	cx, by, ay
0	1	0	0	4		cy, bx, ax
0	1	0	1	5		cy, bx, ay
0	1	1	0	6		cy, by, ax
0	1	1	1	7		cy, by, ay
1	*	*	*	NONE	NONE	NONE

*Nota:* Don't care condition.

**Figura 7***Estados lógicos de selección de canal en osciloscopio*

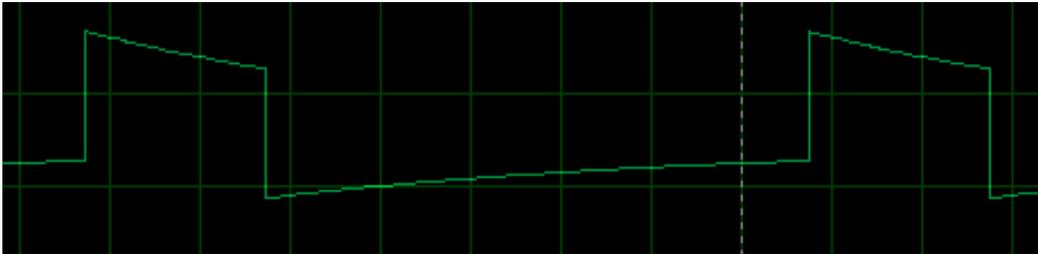
La línea amarilla hace referencia a la entrada A del multiplexor; la azul a la entrada B y la roja a la entrada C. Cada una de las salidas de señal de cada multiplexor va conectada a un mismo pin de entrada del controlador, pero, debido a que los sensores generan dos señales, se requiere de dos pines de entrada en el controlador: una entrada para la señal de movimiento y la otra para la señal de TAMPER.

**Figura 8***Señal obtenida en simulación de la lectura de señales con un sensor activo por multiplexor*

En la Figura 8 se observa que solo se genera cuatro estados lógicos altos, cada uno correspondiente a un sensor; si se tuviera más sensores activos se podría observar más estados lógicos altos en el osciloscopio.

## Figura 9

Señal de salida con ocho sensores activos en el primer multiplexor



Como se puede observar, los ocho sensores activos en el primer multiplexor generaron una salida de estado lógico alto. Debido al tiempo tan pequeño con el que se realizó el cambio de canal para lectura de los sensores, se observó una señal digital más amplia; si se hubiera hecho la lectura con un tiempo mayor, se lograría observar ocho estados lógicos separados.

### Circuitos reguladores de voltaje

Teniendo en cuenta el consumo y voltaje de cada uno de los sensores, multiplexores y optoacopladores, se tuvo que efectuar un circuito de reguladores que permitiera una salida de voltaje adecuada para cada componente y un paso de corriente suficiente para el funcionamiento de los circuitos.

La información que se tenía sobre los sensores PIR era de un consumo de 20 miliamperios, alimentados a 12v. Se hizo la suposición de que se iba a conectar 32 sensores PIR, ya que estos tienen un consumo más alto que los sensores magnéticos, para poder determinar el caso más extremo en consumo de corriente por parte de los sensores.

Para calcular el consumo de corriente total por parte de los sensores se debió multiplicar el número de sensores por el consumo individual:

$$\text{consumo corriente total} = n \text{ de sensores} * I \text{ individual}$$

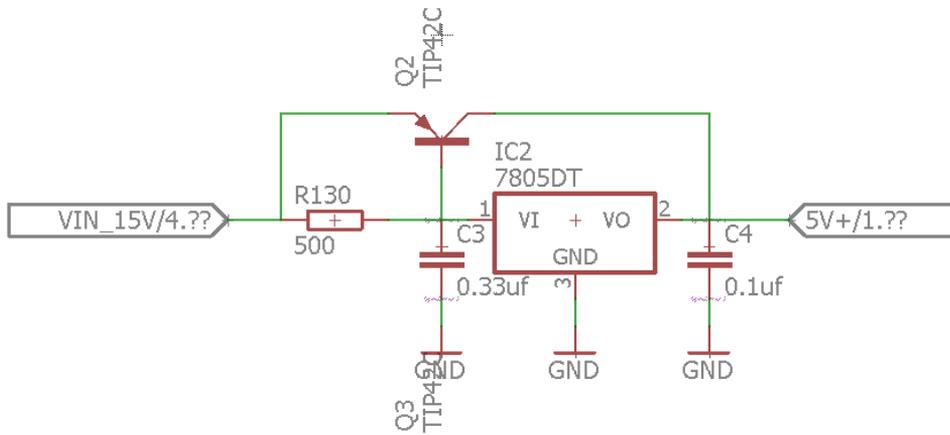
$$I \text{ total} = 32 * 20 \text{ miliamperios} = 0.64 \text{ amp}$$

A esta corriente se le tuvo que sumar los 25 miliamperios por cada salida del sensor. Como los sensores generaban dos señales, por cada señal se tendría un consumo de 50 miliamperios en la etapa de acoplamiento con el optoacoplador, por lo que se debía multiplicar 50 miliamperios por el número de sensores.



**Figura 11**

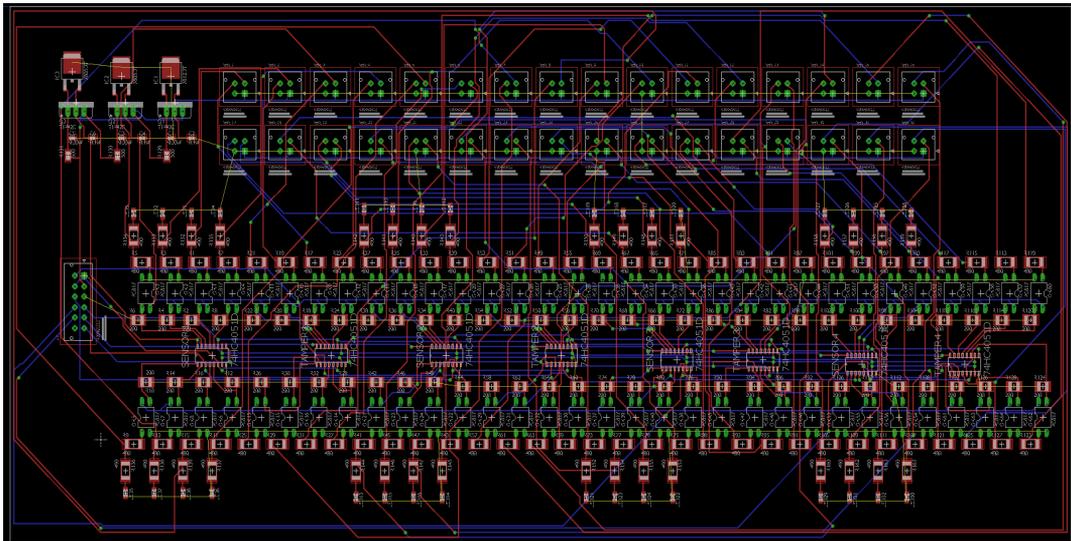
*Circuito regulador de cinco voltios con etapa de potencia*



## Diseño PCB

**Figura 12**

*Diseño PCB*



## Conclusiones

La multiplexación es una solución muy versátil para la cantidad limitada de pines en los microcontroladores, dado que se logra conectar múltiples sensores con solo nueve pines para controlar los multiplexores.

Calcular las corrientes de consumo en el circuito es esencial para determinar el ancho y el grosor de la pista en la PCB. Esta información también sirve para determinar la fuente de voltaje que alimentará el circuito.

La multiplexación se efectúa de manera tan rápida que, para la percepción humana, da el efecto de estar realizando la lectura de los sensores simultáneamente.

## Referencias

Etiapro. (2021). Etiapro Pir Sensor with double twin optics. User manual. <https://manuals.plus/etiapro/pir-sensor-withdoubletwinopticsmanual#axzz88UZieuyB>

Ingeniería Mecafenix. (2020). ¿Qué es un multiplexor, cómo funciona y qué tipos existen? <https://www.ingmecafenix.com/electronica/componentes/multiplexor/>

TECNOSeguro. (s.f.). ¿Qué es un detector magnético de apertura? <https://www.tecnoseguro.com/faqs/alarma/que-es-un-detector-magnetico-de-apertura>