



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Nombre del Centro

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE MÓDULO ENTRADA Y SALIDAS PARA USO INDUSTRIAL BASADO EN COMUNICACIÓN I2C

Alumno: Sergio Ortega Moya

Tutor: Alejandro Sánchez García
Dpto: Ingeniería de sistemas y automática

Septiembre, 2020



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Departamento de Ingeniería de sistemas y automática

Don ALEJANDRO SÁNCHEZ GARCÍA, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: DISEÑO DE MÓDULO ENTRADA Y SALIDAS PARA USO INDUSTRIAL BASADO EN COMUNICACIÓN I2C , que presenta SERGIO ORTEGA MOYA, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, SEP de 2020

El alumno:

Los tutores:

SERGIO ORTEGA MOYA

ALEJANDRO SÁNCHEZ GARCÍA

Índice

1. INTRODUCCION.....	7
Resumen solución adoptada:	7
2. ANTECEDENTES	8
2.1 automatización industrial.....	8
3. Protocolo comunicación I2C	8
3.1 Estudio del funcionamiento de I2C.....	9
3.2 Topologías de comunicación I2C	13
3.2.1 Un Maestro y varios Esclavos I2C.	13
3.2.2 Varios maestros y varios esclavos.....	14
3.3 Comunicación I2C en el microprocesador ATmega328.....	14
3.3.1 Configuración de registros para I2C ATmega 328.	17
4. Módulo de entradas.....	24
4.1 implementación módulo de entradas.....	25
4.2 Componentes para PCB entradas	27
Tabla resumen de elementos utilizados en PCB entradas.....	27
4.4 Diseño PCB entradas.	28
Tamaño PCB.....	28
Distribución de los elementos de las diferentes etapas en la PCB de entradas.....	28
Ruteo de PCB de entradas.....	33
Fijación de PCB entradas al PLC	35
Aspecto final PCB entradas.....	35
5 Modulo salidas.	35
5.1 Implementación del módulo de salidas	37
5.2 Componentes para PCB salidas	41
Tabla resumen de elementos utilizados en PCB entradas.....	41
5.3 Diseño PCB salidas.....	41
Tamaño PCB.....	41
Distribución de los elementos de las diferentes etapas en la PCB de entradas.....	41
Ruteo de PCB de salidas.	45
Fijación de PCB salidas al PLC.	49
Aspecto final PCB salidas.	49
6. Carcasa PLC.....	50

INTRODUCION

6.1 Requisitos de carcasa PLC.....	50
6.2 Solución propuesta.	50
Carcasa inferior.....	50
Carcasa superior.....	52
6.3 Conjunto	52
7.Conclusión.	55
Bibliografía.	56
ANEXO 1: Cálculos Justificativos	57
Cálculos justificativos circuito entradas.....	57
Cálculos justificativos circuito de salidas.....	60
ANEXO 2 : Simulaciones.....	69
Simulación placa de entradas:	69
Simulación placa salidas.....	72
ANEXO 3: Selección de componentes.	74
Selección componentes placa de entradas:.....	74
Selección componentes placa de salidas:.....	86
ANEXO 4 : Diseño librería Eagle.....	90
ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.....	103
Perfil de impresión.	103
Laminado de piezas.....	107
Anexo 6 : Ejemplos de conexión.	114
Conexión de un sensor de 3 hilos.....	114
Conexión motor DC	115
Anexo 7: Circuitos eléctricos y planos.	116

Indice de ilustraciones.

Figura 1 Grafica de lenguajes de programación más utilizados en 2008	8
Figura 2 Esquema básico I2C.	9
Figura 3 Composición mensaje I2C.....	10
Figura 4 Comunicación I2C envío condición de inicio a 3 esclavos..	10
Figura 5 Comunicación I2C envío de trama de dirección 01011101.	11
Figura 6 Comunicación I2C Esclavo enviando bit ACK.....	11
Figura 7 Comunicación I2C Envío o recepción de 1 byte de información y confirmación de esta con un bit ACK.....	12
Figura 8 Comunicación I2C bit stop para finalizar comunicación esclavo 3.	12
Figura 9 Comunicación I2C comportamiento de SCL y SDA en el envío completo de un mensaje.	13
Figura 10 Esquema conexión un maestro y varios esclavos en protocolo de comunicación I2C	13
Figura 11 Esquema conexión de varios maestro y varios esclavos en protocolo de comunicación I2C.....	14
Figura 12 Encapsulado Microcontrolador ATmega328 con SDA y SCL marcados.	16
Figura 13 Esquema general del conjunto TWI o I2C en ATmega328.	18
Figura 14 Registro TWBR microprocesador ATmega 328.	19
Figura 15 Registro TWCR microprocesador ATmega 328.....	19
Figura 16 Registro TWSR de Procesador ATmega328.	19
Figura 17 Registros TWAR y TWAMR de microprocesador ATmega328.	23
Figura 18 PCB entradas dimensión placa virgen.	28
Figura 19 PCB entradas: Vista de planta de la posición de los conectores externos.....	29
Figura 20 PCB entradas: Vista frontal de la posición de los conectores externos.....	29
Figura 21 PCB entradas: Elementos acondicionamiento de señal en vista isométrica.....	30
Figura 22 PCB entradas: Elementos de acondicionamiento de señal de una sola entrada...31	
Figura 23 PCB entradas: Posición elementos aislantes (Optoacopladores).	31
Figura 24 PCB entradas Componentes del circuito de comunicación.....	32
Figura 25 PCB entradas+ arduino: Perspectiva superior con todos los elementos (sin pistas)	33
Figura 26 PCB entradas+ arduino: Perspectiva inferior con todos los elementos (sin pistas)	33
Figura 27 PCB entradas + arduino : Aspecto final.	35
Figura 28 Circuito de salidas, esquema de comunicación.	38
Figura 29 Circuito salidas: red polarización.	39
Figura 30 Circuito salidas: Conjunto	40
Figura 31 Placa salidas: Elementos de evaluación.....	42
Figura 32 Placa salidas: Elementos de Comunicación.	43
Figura 33 Placa salidas: Elementos de activación.	44
Figura 34 Placa salidas: Todos los elementos (Sin rutear).	45
Figura 35 Placa salidas: Configuración DRC Eagle.....	46
Figura 36 Placa salidas: Ruteo.....	47
Figura 37 Placa salidas: Ruteo Cara TOP.....	48
Figura 38 Placa salidas: Ruteo cara BOTTOM.....	48
Figura 39 Placa salidas: Aspecto final.	49
Figura 40 Carcasa inferior vista en perspectiva.	51

INTRODUCION

Figura 41 Carcasa inferior: Vista hacia extrusiones.....	51
Figura 42 Carcasa Superior: Vista perspectiva.....	52
Figura 43 Conjunto PLC Vista explosionada.....	53
Figura 44 Conjunto PLC: diferentes vistas.....	54
Figura 45 Circuito selector voltaje para entradas.....	57
Figura 46 Circuito individual selección entradas.....	58
Figura 47 Circuito individual selección entradas.....	58
Figura 48 Circuito individual selección entradas.....	59
Figura 49 Circuito polarización transistor.....	60
Figura 50 Circuito polarización transistor , sustituyendo transistor por voltímetro leyendo VGS	61
Figura 51 Circuito polarización modelo equivalente saturación.	62
Figura 52 Circuito polarización transistor modelo equivalente tródo.	64
Figura 53 Malla formada por RDS , R1 y V2 (en Circuito polarización en modelo tródo)	65
Figura 54 Circuito polarización transistor , sustituyendo transistor por voltímetro leyendo VGS	66
Figura 55 Circuito polarización transistor , en su equivalente en zona de corte.....	67
Figura 56 Circuito entradas + Arduino + Virtual terminal conectado para simular	71
Figura 57 resultado mostrados en virtual termina en simulación circuito entradas.....	71
Figura 58 Circuito polarización transistor para simulación.	72
Figura 59 Grafica obtenida en simulación transistor modo switch	73
Figura 60 Formato 16-DIP (0.300", 7.62mm), en Chip PCF8574AN.....	76
Figura 61 Formato SOIC - 2.65 mm en chip PCF8574APWR	77
Figura 62 HCPL-181-00BE dimensiones y forma del package.	79
Figura 63 Encabezado de 390088-2 en digikey.....	80
Figura 64 medida de los conectores 390088-2.....	81
Figura 65 Encabezado de 87224-3 en digikey.....	82
Figura 66 Resistencias de la serie CF14J forma y dimensión.....	83
Figura 67 Array resistencias CAT25 datos básicos	84
Figura 68 Conector 1726202 forma y dimensiones.	85
Figura 69 Conector 1726202 distribución taladros para PCB	85
Figura 70 Información básica STP16NF06L	87
Figura 71 Medidas y dimensiones de TIR1X5A14.	88
Figura 72 Formato librería Eagle	90
Figura 73 Conector 1726202.....	90
Figura 74 Device Conector 1726202	91
Figura 75 Croquis perforaciones Conector 1726202	91
Figura 76 Footprint Conector 1726202 y coordenadas de perfotaciones.....	92
Figura 77 Conector 193538197	92
Figura 78 Device conector 193538197	92
Figura 79 Corquis taladros para conector 193538197.	93
Figura 80 Footprint Conector 193538197 y coordenadas de los taladros	93
Figura 81 Optoacoplador HCLP-181-00BE.....	93
Figura 82 device Optoacoplador HCLP-181-00BE.	94
Figura 83 Package Optoacoplador HCLP-181-00BE.....	94
Figura 84 Footprint Optoacoplador HCLP-181-00BE	95
Figura 85 Device PCF8574APWR.....	95
Figura 86 Croquis perfiles soldadura de PCF8574APWR.....	96

INTRODUCION

Figura 87 Footprint PCF8574APWR.....	96
Figura 88 Devices 87224-6	97
Figura 89 Footprint 872246-6 Todos en línea.....	98
Figura 90 Footprint 872246-6 Conectores 3 paralelo 3.....	98
Figura 91 Device Pin arduino.	98
Figura 92 Footprint Pin arduino.	99
Figura 93 STP16NF06L.....	99
Figura 94 Device STP16NF06L.....	100
Figura 95 Plano medidas STP16NF06L TO-220.	101
Figura 96 Footprint STP16NF06L TO-220.....	102
Figura 97 Forma de la base de impresión.	103
Figura 98 Carcasa Inferior en PusaSlicer.	107
Figura 99 Prusa Slicer boton "Laminar ahora".....	107
Figura 100 Leyenda tipo de función Prusa Slicer.....	108
Figura 101 Prusa slicer relleno rectilíneo 20%.....	108
Figura 102 Detalle laminado en perimetros.	109
Figura 103 Detalle de puente en laminado.	110
Figura 104 Prusa slicer leyenda Velocidad.....	110
Figura 105 Carcasa inferior vista de velocidades.	111
Figura 106 Detalle en vista de velocidad de un puente.....	112
Figura 107 Prusa slicer botón " Exportar código G"-	112
Figura 108 Conexión sensor 3 hilos PLC	114
Figura 109 Conexión motor DC en PLC	115

1. INTRODUCION

Debido a la necesidad de automatización de procesos para ser competente en todos los ámbitos, ya no solo de la gran industria sino también en la pequeña industrial, sustituyendo procesos manufacturados evitando así los defectos que pueda crear el error humano.

De esta necesidad surge la idea de este proyecto de diseño de un PLC que cumpla las siguientes características:

- Ha de ser de bajo coste
- con posibilidad de ser expansible para poder cumplir con todas las necesidades de comunicación con sensores y actuadores que puedan requerir los diferentes procesos a automatizar.
- Debe de ser programable en un lenguaje que conozca el máximo número de usuarios posible.

Ante estos requisitos en nuestro proyecto optamos por la siguiente solución:

Resumen solución adoptada:

Se creará un PLC a partir del procesador Atmega 328 ya que este viene preparado para una comunicación serie tipo I2C , lo que permitirá hacer expansible el PLC. Para crear el PLC basado en Atmega 328 se desarrollarán 2 placas electrónicas que de aquí en adelante llamaremos Placa entradas y Placa salidas.

- Placa entradas: Placa electrónica a la que podremos conectar 8 entradas que nos aportaran información de campo, se comunicara con procesador con comunicación I2C. Tendrá la función de adaptar el tipo de tensión de la entrada que va a recibir el PLC pudiendo ser estas de 5V, 12V y 24V pudiendo hacer que por ejemplo la entrada 0 sea un sensor a 5v , la entrada 2 sea un pulso a 24v y el resto trabajen a 12 voltios. Esto nos aporta una gran flexibilidad ya que con nuestro PLC podremos usar casi todos los sensores disponibles en el mercado, no reduciendo la utilidad de este a lo de un único tipo del voltaje.
- Placa de salidas: Placa electrónica a la que podemos conectar 8 actuadores que trabajen a 12V , se comunicara con el procesador mediante una comunicación I2C y tendrá preparado unos pines de salida que contienen el bus de alimentación y datos de la comunicación serie por si fuese necesario expandir el PLC.

Para hacer más fácil la programación de este PLC utilizaremos un placa Arduino uno que contiene el procesador Atmega 328 pero esta se programa a través de software Arduino IDE que admite los lenguajes de programación C y C++, estos son unos de los lenguajes de programación más comunes por lo que la programación de nuestro PLC estaría accesible a un gran número de usuarios sin necesidad de una formación extra.

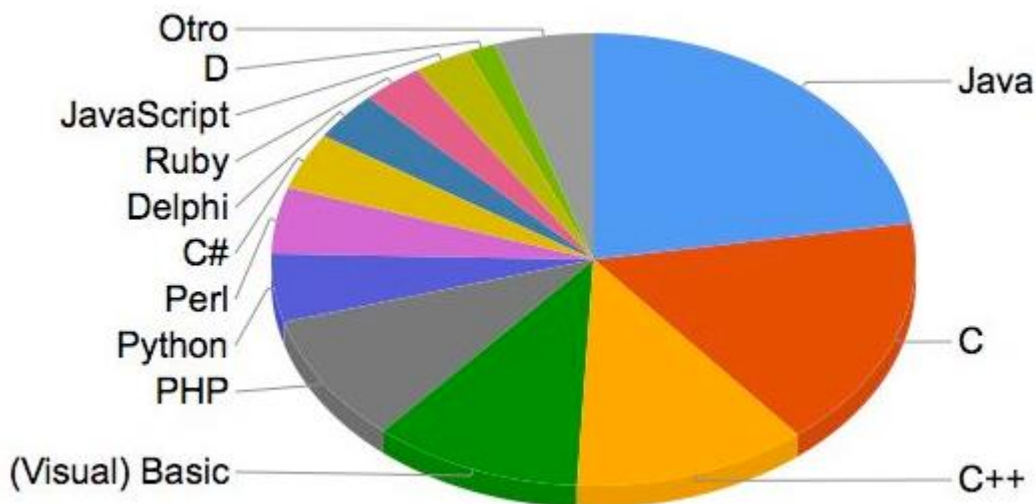


Figura 1 Gráfica de lenguajes de programación más utilizados en 2008

Como muestra la gráfica de la Figura 1 sacada de un estudio realizado por Daniel G. Blázquez, en C y C++ se programan más de un 25% de las aplicaciones a nivel global por lo que es un lenguaje que se estudia en casi cualquier tipo de formación, por este motivo decidimos que sea el lenguaje con el que se programará nuestro PLC.

Para finalizar el desarrollo del PLC se diseñará una carcasa imprimible en 3D mediante depositado de filamento caliente, este requisito es un requisito añadido ya que con esto lo que buscamos es que no necesitemos una gran infraestructura para poder fabricar el PLC.

2. ANTECEDENTES

Los antecedentes más importantes sobre los que nos apoyamos para el diseño del PLC son el avance de la automatización industrial, las placas arduino y el protocolo de comunicación I2C.

2.1 automatización industrial

La automatización industrial es el uso de sistemas computarizados y electro mecanismos para el control de un proceso industrial.

El gran avance en la automatización industrial se da en la segunda mitad del siglo XX en la conocida como segunda revolución industrial, el avance más notable a la hora del incremento de la automatización de procesos se da con la incorporación y evolución de computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea.

3. Protocolo comunicación I2C

I2C (Inter-Integrated circuit) fue desarrollado por Phillips semiconductor en 1982. Se trata de un bus serie de datos, fue desarrollado con el fin de controlar varios chips en televisores de manera sencilla.

3. Protocolo comunicación I2C

Con el desarrollo de la electrónica y el paso del tiempo se han ido actualizando de manera que el funcionamiento es el mismo, pero cambia la capacidad de este, es decir cambia la velocidad y el número de nodos con el que es capaz de comunicarse, la versión más rápida sacada hasta ahora es la V.4 que contempla un Ufm (Modo ultrarrápido) que da capacidad de velocidad de comunicación de hasta 5Mbps , en abril de 2014 se presentó la última versión V.6 que aunque no mejora la velocidad de la V.4 si que corrige algunos errores de este modelo.

3.1 Estudio del funcionamiento de I2C

Después de conocer un poco la historia del desarrollo del protocolo de comunicación I2C vamos a hacer un estudio del funcionamiento de este.

Con el I2C podemos tener a varios maestros controlando uno o múltiples esclavos. El I2C utiliza sólo dos vías o cables de comunicación, así como también lo hace el protocolo UART.

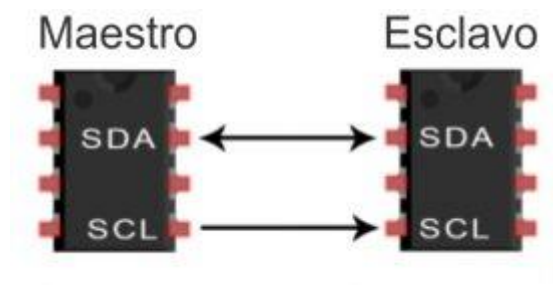


Figura 2 Esquema básico I2C.

SDA – Serial Data. Es la vía de comunicación entre el maestro y el esclavo para enviarse información.

SCL – Serial Clock. Es la vía por donde viaja la señal de reloj.

Tan solo viendo el tipo de conexión que tiene podemos llegar a dos de las más importantes características de la comunicación I2C:

- Se trata de un Bus serie de datos, observamos que los datos solo son enviados por SDA, de modo de que estos son enviados bit a bit de forma que la comunicación es una comunicación serie como ya hemos indicado antes.
- Es un protocolo síncrono, esto quiere decir que el envío de datos a través del bus SDA esta sincronizado por una señal reloj que comparten tanto el maestro como el esclavo a través del SCL.

Los datos más característicos los podemos condensar en la siguiente tabla:

Número de vías	2
Velocidad máxima Modo estándar (Sm)	100kbs
Velocidad máxima Modo rápido (Fm)	400kbs
Velocidad máxima Modo alta velocidad (Fm+)	3.4Mbps
Velocidad máxima Modo ultra rápido (Ufm)	5Mbps
Síncrono o Asíncrono	Síncrono
Paralelo o serie	Serie

3. Protocolo comunicación I2C

Número máximo de Maestros	Ilimitado
Número máximo de Esclavos	1008

■ Composición de un mensaje enviado a través de I2C

Vamos a describir la forma de un mensaje enviado por I2C, y como se comportan en este mensaje tanto la línea SDA como SCL.



Figura 3 Composición mensaje I2C.

- Condición de inicio: "Start" La vía SDA cambia de un nivel alto a un nivel bajo antes de que SCL cambien de alto a nivel bajo. Esta información es enviada a todos los esclavos.

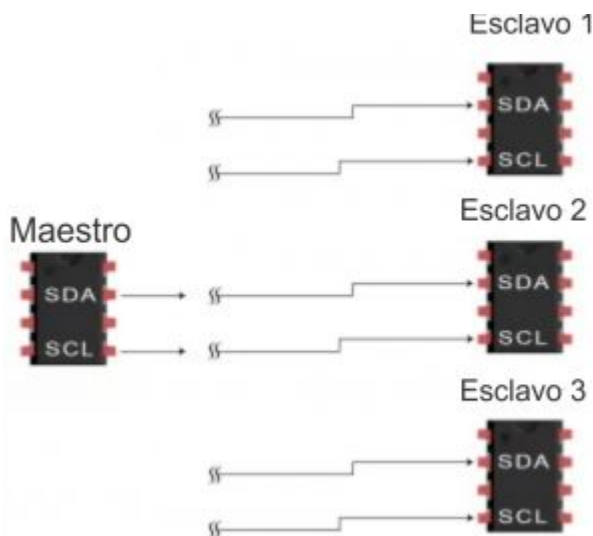


Figura 4 Comunicación I2C envío condición de inicio a 3 esclavos..

- Trama de dirección: Es una secuencia de 7 a 10 bit que se envía a cada esclavo y va a identificar al esclavo con el que se quiere comunicar el Maestro.
- Leeremos la dirección que estamos mandando cada vez que el SCL , es decir el reloj este en alto el valor que tiene el SDA.

3. Protocolo comunicación I2C

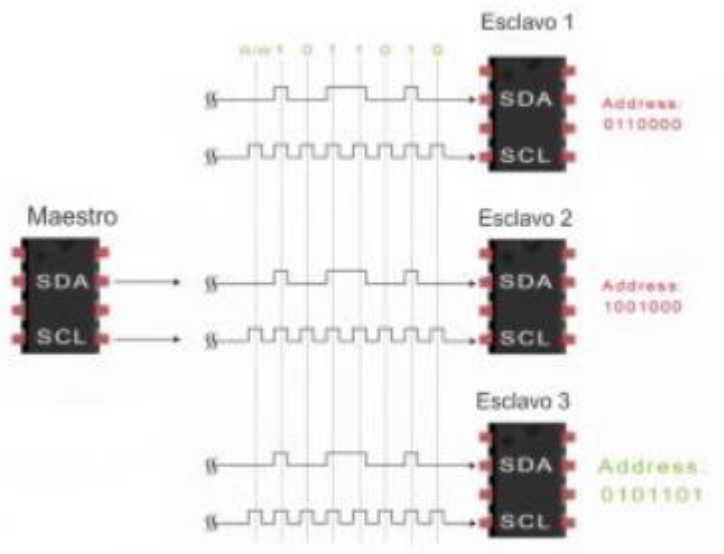


Figura 5 Comunicación I2C envío de trama de dirección 01011101.

- Vemos que la dirección enviada es 01011101 por lo que este esclavo es con el que el maestro se quiere comunicar. Este ha de enviar un bit ACK para indicarle al maestro que la comunicación con la que se quiere comunicar existe, si la comunicación no fuese de ningún esclavo ninguno enviaría el bit ACK.
- El bit ACK se envía poniendo SDA a nivel bajo.

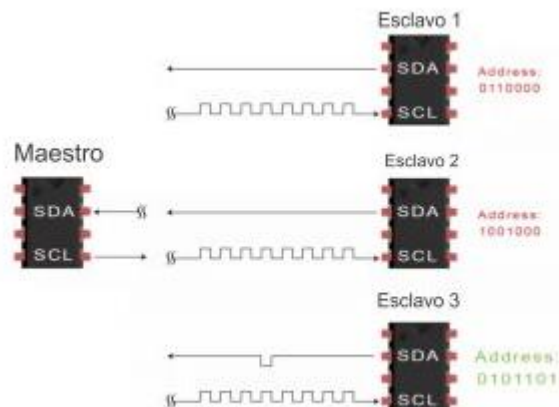


Figura 6 Comunicación I2C Esclavo enviando bit ACK.

- Bit de lectura/Escritura – “R/W bit”: Después de la dirección con el esclavo que se quiere comunicar el maestro envía un Bit indicando si lo que este quiere es escribir información o leer información. Si el Maestro quiere enviarle información al Esclavo (Escribir), entonces manda un Bajo. Si el Maestro quiere solicitar información al Esclavo (Leer), el bit Read/Write será de nivel Alto.

3. Protocolo comunicación I2C

- Byte de información: Después de que el Maestro recibe el bit ACK del Esclavo, el primer byte de información está lista para ser enviada al Esclavo o recibirlo de este, el orden de envío del byte es de bit más significativo a menos significativo. Inmediatamente después del envío del byte de información independientemente de si lo envía el maestro o el esclavo se espera un bit ACK para confirmar que la información ha llegado a su destino.

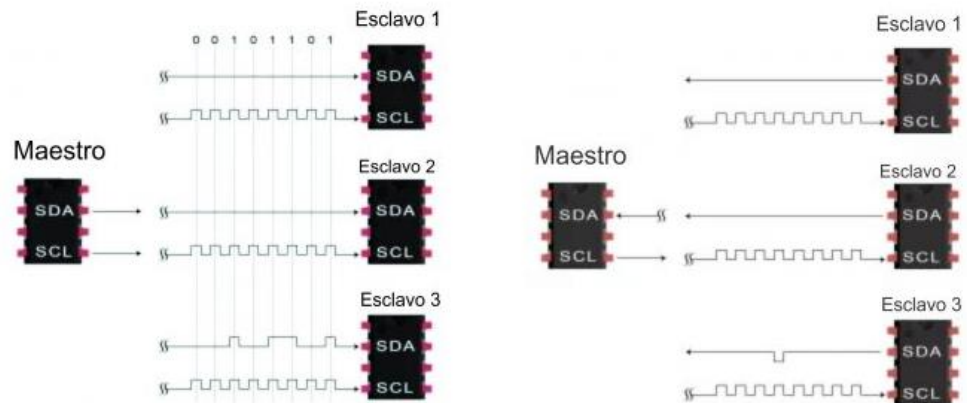


Figura 7 Comunicación I2C Envío o recepción de 1 byte de información y confirmación de esta con un bit ACK.

- Bit Stop: Una vez recibida o enviada toda la información el maestro debe de detener la comunicación, esto lo hace con el bit de stop, esto es una condición de paro, físicamente es un cambio de voltaje de nivel bajo a nivel alto en SDA y se activa cuando SCL pasa de un nivel bajo a uno alto (El bus SCL, posteriormente, permanecerá en Alto).

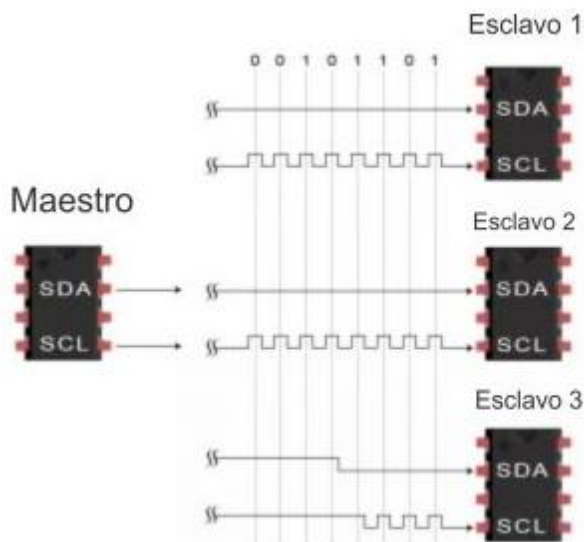


Figura 8 Comunicación I2C bit stop para finalizar comunicación esclavo 3.

3. Protocolo comunicación I2C

De esta forma el protocolo I2C permite la comunicación. En la siguiente imagen se muestra como es el proceso completo de comunicación.

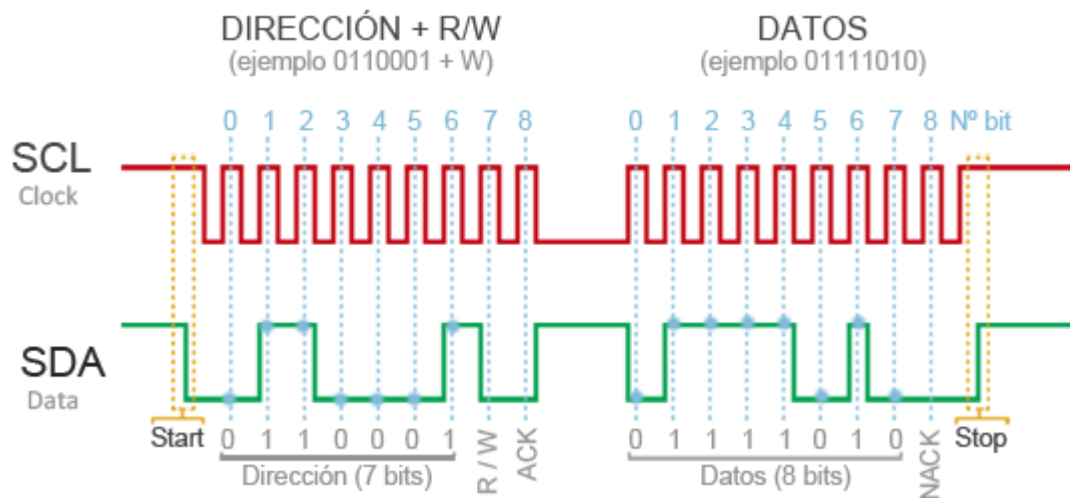


Figura 9 Comunicación I2C comportamiento de SCL y SDA en el envío completo de un mensaje.

3.2 Topologías de comunicación I2C

Podemos encontrar principalmente 2 topologías de trabajo en comunicación I2C , un maestro con varios esclavos y varios maestro con varios esclavos.

3.2.1 Un Maestro y varios Esclavos I2C.

Es lo más frecuente que podemos encontrar, ya que su configuración es fácil y cualquier dispositivo preparado para comunicación I2C está preparado para esta topología.

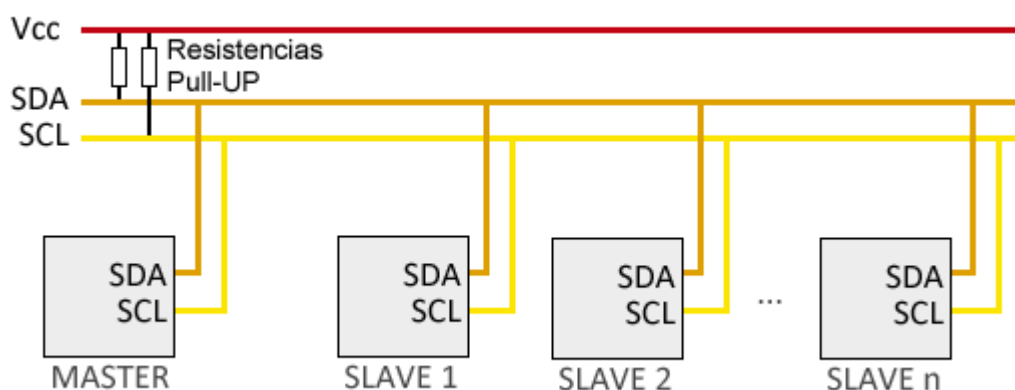


Figura 10 Esquema conexión un maestro y varios esclavos en protocolo de comunicación I2C

Cada dispositivo dispone de una dirección que se suele configurar mediante hardware con unos jumper o interruptores, normalmente solo se modifican los 3 bit de la dirección.

En general, cada dispositivo conectado al bus debe tener una dirección única. Si tenemos varios dispositivos similares tendremos que cambiar la dirección o, en caso de no ser posible, implementar un bus secundario.

3. Protocolo comunicación I2C

Solo un dispositivo puede ser el maestro y el cambio de maestro es muy complejo por lo que no es algo frecuente.

Las resistencias pull-up son necesarias y estas suelen tener valores de 1k a 4.7k , estas resistencias no pueden ser más bajas por que unas resistencias más bajas implicaría que el flanco de subida de SDA y SCL fuese más lento , esto provocaría que la velocidad de comunicación sería más pequeña y esto lo debemos limitar ya que la velocidad de comunicación es una de las limitaciones del I2C.

3.2.2 Varios maestros y varios esclavos.

Esta configuración es poco frecuente ya que para este tipo de comunicación no vale cualquier dispositivo preparado para comunicación I2C , ya que para esta topología el maestro debe de tener la capacidad de leer si el bus SDA se encuentra en nivel bajo o alto , ya que un nivel alto nos indicaría que otro maestro está enviando información , ocupando el bus, debe de esperar a que el SDA se encuentre a nivel alto para poder comenzar su transmisión de datos.

Para conectar múltiples maestros el esquema de montaje seria el siguiente:

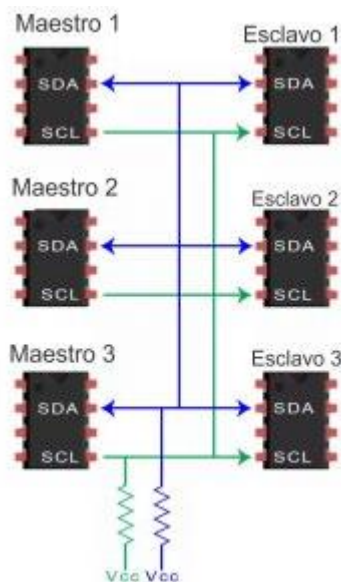


Figura 11 Esquema conexión de varios maestro y varios esclavos en protocolo de comunicación I2C.

3.3 Comunicación I2C en el microprocesador ATmega328.

En los μ Cs AVR esta interfaz se denomina TWI (two-wire interface), por cuestiones de patentes.

Para estudiar cómo funciona la comunicación I2C en el microprocesador ATmega328 lo primero que debemos de hacer es ir a las características que nos proporciona el mismo fabricante.

3. Protocolo comunicación I2C

Buscamos los pines que hacen la función de SDA y SCL en el procesador, para esto buscamos la tabla que nos proporciona el fabricante de función multiplexada de cada pin del procesador ATmega 328.

(32-pin MLF/TQFP) Pin#	(28-pin MLF) Pin#	(28-pin PIPD) Pin#	PAD	EXTINT	PCINT	ADC/AC	OSC	T/C #0	T/C #1	USART 0	I2C 0	SPI 0
1	1	5	PD[3]	INT1	PCINT19			OC2B				
2	2	6	PD[4]		PCINT20			T0		XCK0		
3	3	7	VCC									
4	4	8	GND									
5	-	-	VCC									
6	-	-	GND									
7	5	9	PB[6]		PCINT6		XTAL1/ TOSC1					
8	6	10	PB[7]		PCINT7		XTAL2/ TOSC2					
9	7	11	PD[5]		PCINT21			OC0B	T1			
10	8	12	PD[6]		PCINT22	AIN0		OC0A				
11	9	13	PD[7]		PCINT23	AIN1						
12	10	14	PB[0]		PCINT0		CLKO	ICP1				
13	11	15	PB[1]		PCINT1			OC1A				
14	12	16	PB[2]		PCINT2			OC1B				SS0
15	13	17	PB[3]		PCINT3			OC2A				MOSI0
16	14	18	PB[4]		PCINT4							MISO0
17	15	19	PB[5]		PCINT5							SCK0
18	16	20	AVCC									
19	-	-	ADC6			ADC6						
20	17	21	AREF									
21	18	22	GND									
22	-	-	ADC7			ADC7						
23	19	13	PC[0]		PCINT8	ADC0						
24	20	24	PC[1]		PCINT9	ADC1						
25	21	25	PC[2]		PCINT10	ADC2						
26	22	26	PC[3]		PCINT11	ADC3						
27	23	27	PC[4]		PCINT12	ADC4					SDA0	
28	24	28	PC[5]		PCINT13	ADC5					SCL0	
29	25	1	PC[6]/ RESET		PCINT14							
30	26	2	PD(0)		PCINT16					RXD0		

3. Protocolo comunicación I2C

31	27	3	PD(1)		PCINT17					TXD0		
32	28	4	PD(2)	INT0	PCINT18							

Observamos que el pin del microprocesador ATmega238 que tiene la función de SDA es el pin 27 mientras que el que cumple la función de SCL es el pin 28.

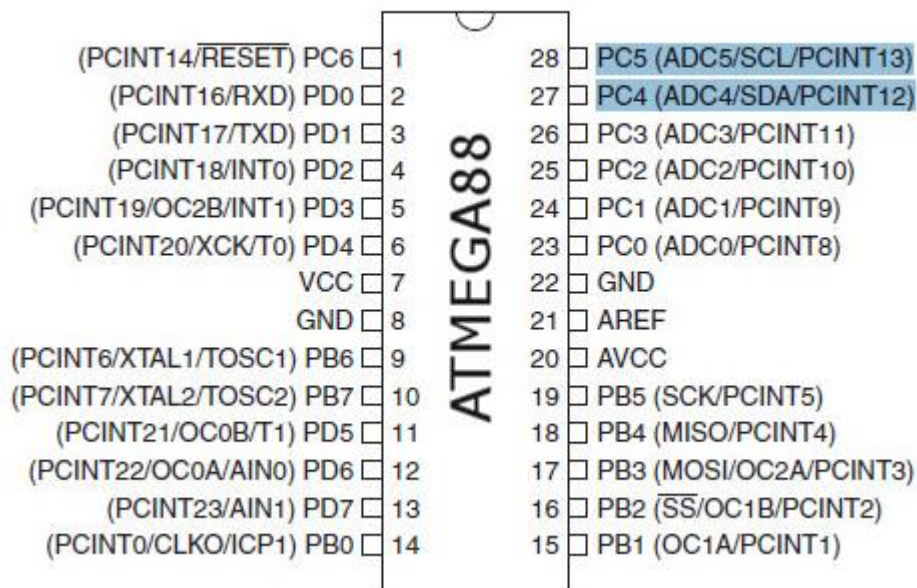


Figura 12 Encapsulado Microcontrolador ATmega328 con SDA y SCL marcados.

Otra característica importante que nos aporta el fabricante es como activar la función de interrupción por cambios en el bus de comunicación serie, lo buscamos en la tabla de interrupciones de ATmega238 para conocer cuál es su dirección para activar este tipo de interrupción.

Vector No	Program Address ⁽²⁾	Source	Interrupts definition
1	0x0000 ⁽¹⁾	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset and Watchdog System Reset
2	0x0002	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x0004	INT1	External Interrupt Request 0
4	0x0006	PCINT0	Pin Change Interrupt Request 0
5	0x0008	PCINT1	Pin Change Interrupt Request 1
6	0x000A	PCINT2	Pin Change Interrupt Request 2
7	0x000C	WDT	Watchdog Time-out Interrupt
8	0x000E	TIMER2_COMPA	Timer/Counter2 Compare Match A
9	0x0010	TIMER2_COMPB	Timer/Coutner2 Compare Match B

3. Protocolo comunicación I2C

10	0x0012	TIMER2_OVF	Timer/Counter2 Overflow
11	0x0014	TIMER1_CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
12	0x0016	TIMER1_COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
13	0x0018	TIMER1_COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
14	0x001A	TIMER1_OVF	Timer/Counter1 Overflow
15	0x001C	TIMER0_COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A
16	0x001E	TIMER0_COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B
17	0x0020	TIMER0_OVF	Timer/Counter0 Overflow
18	0x0022	SPI STC	SPI Serial Transfer Complete
19	0x0024	USART_RX	USART Rx Complete
20	0x0026	USART_UDRE	USART Data Register Empty
21	0x0028	USART_TX	USART Tx Complete
22	0x002A	ADC	ADC Conversion Complete
23	0x002C	EE READY	EEPROM Ready
24	0x002E	ANALOG COMP	Analog Comparator
25	0x0030	TW1	2-wire Serial Interface (I2C)
26	0x0032	SPM READY	Store Program Memory Ready

La disección asociada a esta interrupción es 0x0030. Estos bits han de estar activos para habilitar el funcionamiento de esta interrupción.

3.3.1 Configuración de registros para I2C ATmega 328.

El siguiente esquema muestra los módulos de los que se forma el conjunto TWI o I2C .

3. Protocolo comunicación I2C

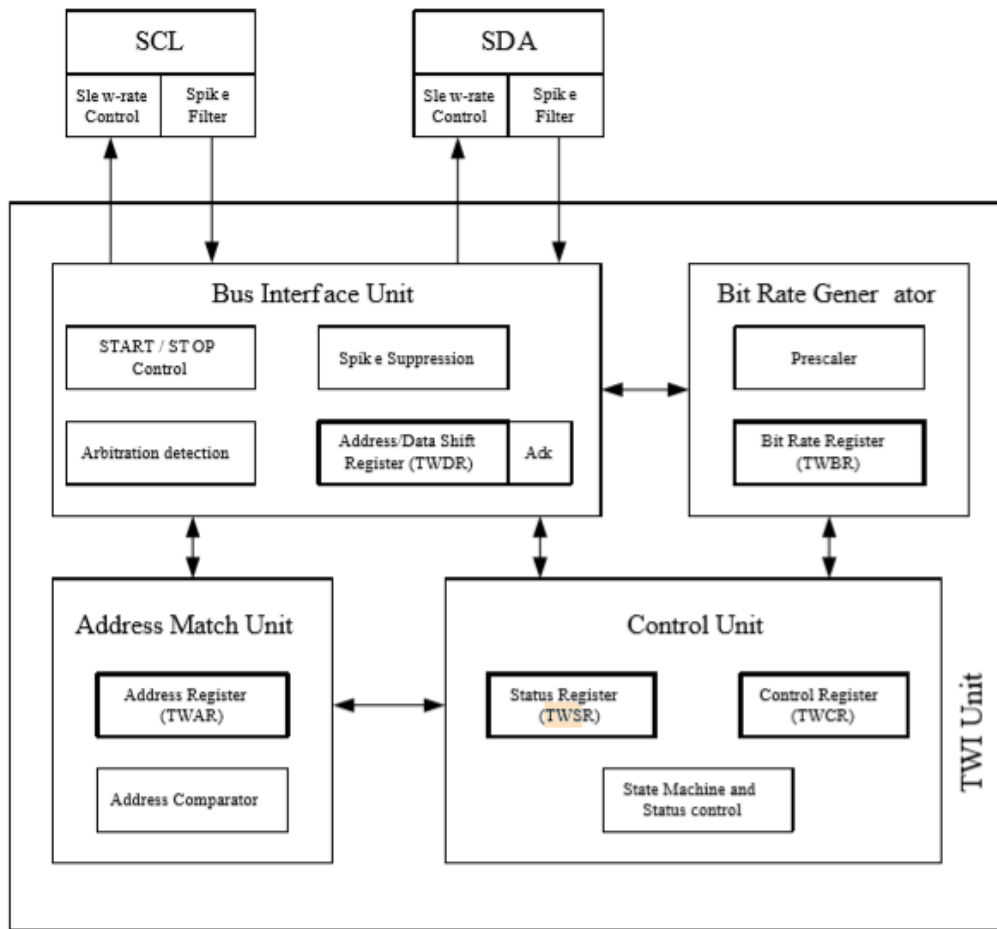


Figura 13 Esquema general del conjunto TWI o I2C en ATmega328.

Para comenzar debemos tener en cuenta que tener activo el protocolo I2C incrementa el consumo de energía del microprocesador por esto lo primero que debemos de hacer es desactivar el registro de reducción de energía para que se habilite la interfaz TWI. Para desactivar la reducción de energía ponemos a '0' el Bit PRTWI.

TWBR: El primer registro asociado a la comunicación es el TWBR, el cual establece la frecuencia de SCL, es decir la velocidad de comunicación. Esto se configura cuando el microprocesador va a estar en modo maestro.

Calculo de TWBR lo podemos hacer a partir de la siguiente formula:

$$TWBR = \frac{\frac{F_{CPU}}{F_{SCL}} - 16}{2 \cdot (Prescaler\ value)}$$

De modo que queda únicamente en función de constantes como la frecuencia del microprocesador, el valor de péscala y la única variable es la frecuencia que le queramos dar al reloj.

3. Protocolo comunicación I2C

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
(0xB8)	TWBR7	TWBR6	TWBR5	TWBR4	TWBR3	TWBR2	TWBR1	TWBR0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 14 Registro TWBR microprocesador ATmega 328.

TWCR: El registro de control asociado a la comunicación es el TWCR, cada bit tiene su función.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
(0xBC)	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 15 Registro TWCR microprocesador ATmega 328.

- TWINT: Flag de interrupción. Se setea cuando la comunicación ha terminado una tarea, y no se vuelve automáticamente a 0. Mientras este bit está seteado, se estira el período de estado bajo de SCL. Todos los accesos al registro de datos, de estado o de dirección deben hacerse antes de apagar este bit, ya que al apagarlo comienza su próxima tarea.
- TWEA: Bit de habilitación del pulso de “acknowledge”
- TWSTA: Condición de START.
- TWSTO: Condicion de STOP
- TWWC: Detector de colisión, muy importante activar para cuando se usa una topología con varios maestros.
- TWEN: Habilita la comunicación I2C
- TWIE: Habilita la interrupción I2C

TWSR: Se trata del registro de estado.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
(0xB9)	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W
Initial Value	1	1	1	1	1	0	0	0

Figura 16 Registro TWSR de Procesador ATmega328.

Los Bit 0 y 1 nos indican el valor del preescalado para el cálculo del SCL.

TWPS1:0	PRESCALE VALUE
00	1
01	4
10	16
11	64

3. Protocolo comunicación I2C

De los bit 3 al 7 reflejan el estado de los dos hilos del bus y la lógica de comunicación según la siguiente tabla:

Status Code (TWSR) Prescaler Bits are 0	Status of the 2-wire Serial Bus and 2-wire Serial Interface Hardware	Application Software Response					Next Action Taken by TWI Hardware
		To/from TWDR	To TWCn				
			STA	STO	TWINT	TWEA	
0x08	A START condition has been transmitted	Load SLA+W	0	0	1	X	SLA+W will be transmitted; ACK or NOT ACK will be received
0x10	A repeated START condition has been transmitted	Load SLA+W or	0	0	1	X	SLA+W will be transmitted; ACK or NOT ACK will be received
		Load SLA+R	0	0	1	X	SLA+R will be transmitted; Logic will switch to Master Receiver mode
0x18	SLA+W has been transmitted; ACK has been received	Load data byte or	0	0	1	X	Data byte will be transmitted and ACK or NOT ACK will be received
		No TWDR action or	1	0	1	X	Repeated START will be transmitted
		No TWDR action or	0	1	1	X	STOP condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset
		No TWDR action	1	1	1	X	STOP condition followed by a START condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset

3. Protocolo comunicación I2C

0x20	SLA+W has been transmitted; NOT ACK has been received	Load data byte or	0	0	1	X	Data byte will be transmitted and ACK or NOT ACK will be received
		No TWDR action or	1	0	1	X	Repeated START will be transmitted
		No TWDR action or	0	1	1	X	STOP condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset
		No TWDR action	1	1	1	X	STOP condition followed by a START condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset
0x28	Data byte has been transmitted; ACK has been received	Load data byte or	0	0	1	X	Data byte will be transmitted and ACK or NOT ACK will be received
		No TWDR action or	1	0	1	X	Repeated START will be transmitted
		No TWDR action or	1	0	1	X	STOP condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset
		No TWDR action	1	1	1	X	STOP condition followed by a START condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset

3. Protocolo comunicación I2C

0x30	Data byte has been transmitted;	Load data byte or	0	0	1	X	Data byte will be transmitted and ACK or NOT ACK will be received
	NOT ACK has been received	No TWDR action or	1	0	1	X	Repeated START will be transmitted
		No TWDR action or	0	1	1	X	STOP condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset
		No TWDR action	1	1	1	X	STOP condition followed by a START condition will be transmitted and TWSTO Flag will be reset
0x38	Arbitration lost in SLA+W or data bytes	No TWDR action or	0	0	1	X	2-wire Serial Bus will be released and not addressed Slave mode entered
		No TWDR action	1	0	1	X	A START condition will be transmitted when the bus becomes free

TWAR y TWAMR: Estos registros se usan solo cuando el microcontrolador está en modo esclavo.

- Los 7 bit más significativos de TWAR guardan la dirección del esclavo.
- El registro TWAMR sirve de mascara para la dirección del esclavo.

3. Protocolo comunicación I2C

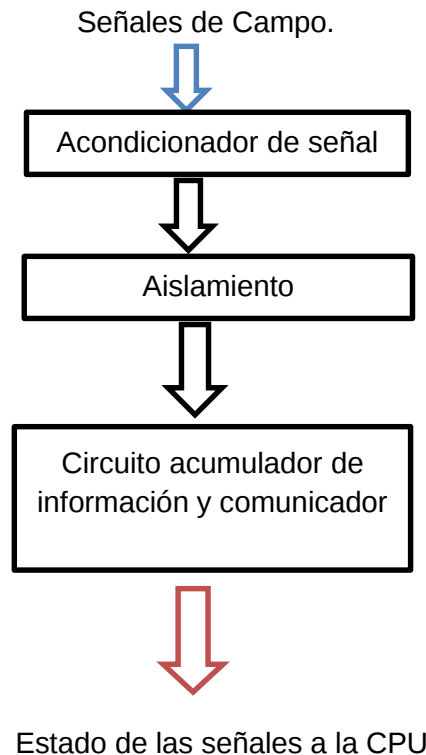
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xBA)	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	TWAR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	1	1	0	
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0xBD)	TWAM[6:0]							–	TWAMR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 17 Registros TWAR y TWAMR de microprocesador ATmega328.

TWDR: Es el byte que contiene el próximo dato a transmitir o el último dato recibido, según el modo de operación. Este mantiene su dato estable el tiempo que dura la interrupción asociada a I2C.

4.Módulo de entradas

En este punto vamos a desarrollar el diseño de un módulo de entradas preparado para los estándares de comunicación industriales. El funcionamiento del módulo de entradas puede quedar condensado en el siguiente esquema.



La flecha azul representa información externa que llega a nuestro modulo, esta información es tratada por los diferentes procesos de acondicionamiento, Aislamiento, llega al chip con capacidad de comunicación y la flecha roja representa la salida de información del módulo hacia el exterior, en este caso hacia el microprocesador.

- Señales de campo: Señales recogidas por los instrumentos de medida, sensores magnéticos, ópticos...
- Acondicionamiento de señal: Es el proceso de acondicionar la señal de las diferentes tensiones que podemos recibir como señal de entrada digital 5v,12v,24v y que nuestro módulo de entradas funcione igual independientemente de esta.
- Aislamiento: Aislamos la entrada del resto de componentes para en caso de una sobretensión externa el daño causado no afecte a todo el sistema.
- Circuito acumulador de información comunicador: Circuito capaz de comunicarse con el procesador, enviara toda la información acumulada de las entradas cuando el microprocesador a partir de comunicación I2C se lo requiera.

4.1 implementación módulo de entradas

Una vez visto el funcionamiento general del módulo de entradas se describirá la solución adoptada para cada uno de los requisitos del módulo de entradas:

- Acondicionamiento de señal:

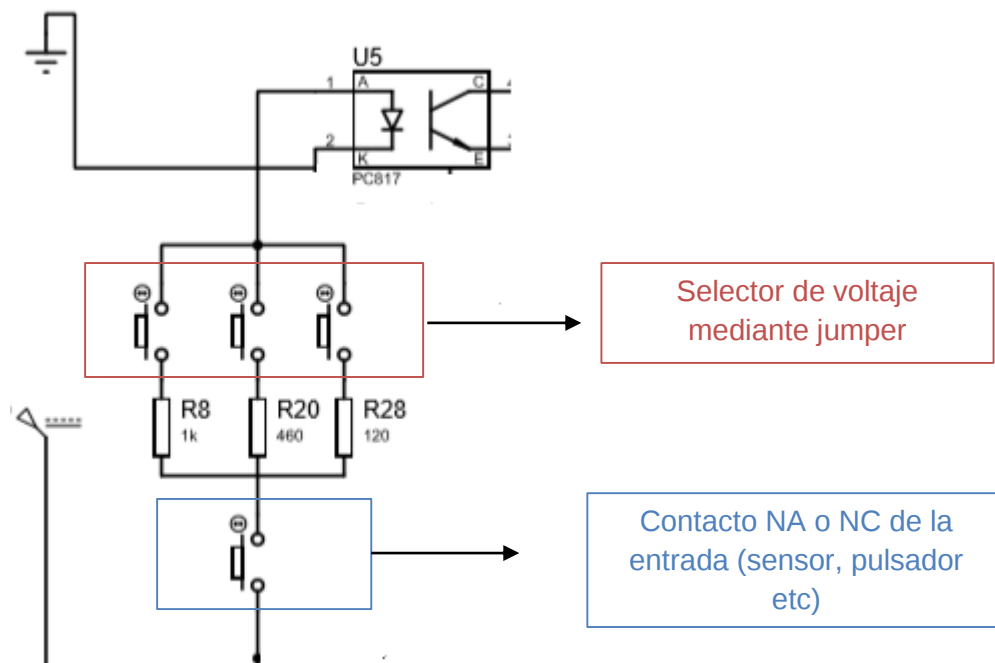
Para el acondicionamiento se parte de la base de que los dispositivos receptores de información más comunes trabajan a 5, 12 o 24v por esto se adapta el modulo para trabajar con estas tensiones.

La selección de tensión de trabajo se realiza mediante jumpers conector a unas resistencias de diferentes valores para que caiga la tensión necesaria para que funciones el siguiente paso (aislamiento) de manera correcta.

Calculamos las resistencias necesarias para cada tipo de entrada:

Tipo de entrada	Resistencia necesaria
24v	1k Ω
12v	460 Ω
5v	120 Ω

Una vez tenemos esto para cada entrada nos quedaría el siguiente circuito:



4. Módulo de entradas

■ Aislamiento :

Para proteger el módulo de entradas tanto como los circuitos que están comunicados con este lo que se hace es aislarlo físicamente, para esto se usan optoacopladores donde el único contacto entre las dos partes del circuito es el haz de luz que envía el led interno del optoacoplador para excitar el transistor interno.

Usando optoacopladores para aislamiento conseguimos resistencias de aislamiento de los circuitos del orden de $M\Omega$

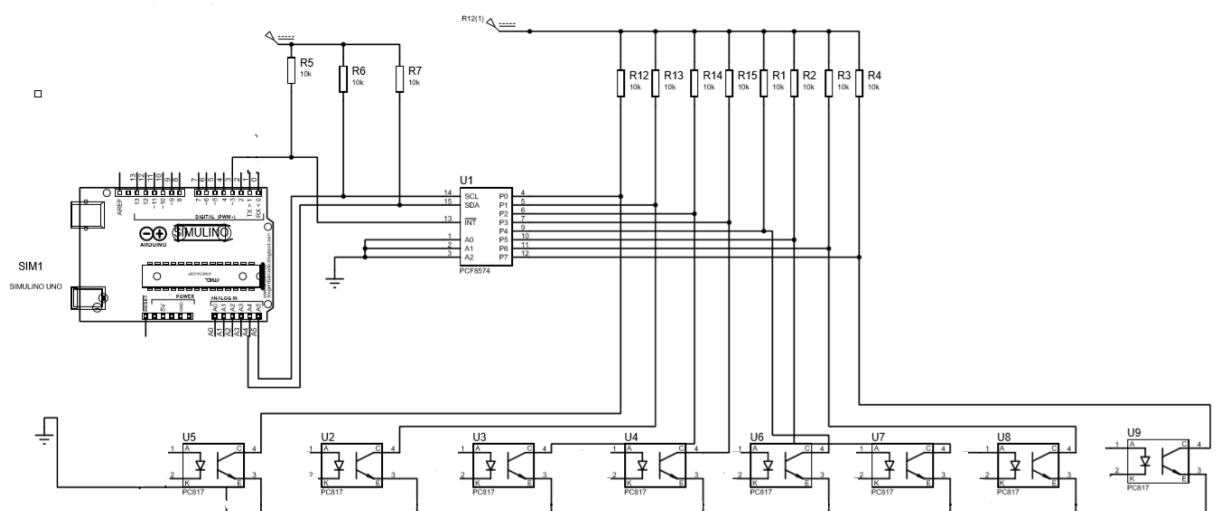
■ Circuito acumulador de información y comunicador

Esta función es realizada básicamente por el Chip PCF8574 , este chip es una expansión de entradas y salidas digitales a través de comunicación I2C.

Funcionamiento del sistema, tenemos la salida de la etapa de aislamiento, que lo que hace es o abrir el circuito en caso de que el sensor este en 0 lógico y cerrar el circuito en caso de que sensor este a 1 lógico , al cerrar circuito lo que hacemos es conectar con GND.

Cuando no se cierra el circuito como el circuito está abierto no circula intensidad por las resistencias por lo que a los pines de entrada del PCF8574 llegan los 5V pero cuando se cierra el circuito ya puede circular intensidad por el resistencias por lo que en ellas cae todo el voltaje y llegan 0V al pin de entradas.

Luego a través de los dos pines de SCL y SDA realiza la comunicación I2C por lo que toda la información la puede llevar al microprocesador cuando este se lo solicite.



4.2 Componentes para PCB entradas

Los componentes seleccionados quedan resumidos en la siguiente tabla:

Tabla resumen de elementos utilizados en PCB entradas

Elemento	Modelo utilizado	Cantidad utilizada
PCF8574	PCF8574APWR (SOIC-2.56mm)	1
OPTOACOPLADOR	HCPLC-191-00BE	8
Resistencia 10K	CF14J10k0	11
Resistencia 1k	CF14J1k00	8
Resistencia 460	CFJ14470R	8
Resistencia 120	CFJ14120R	9
Conector Exterior	1726202	2
pin Conector	87224-6	10
Jumper	390088-2	11

4.4 Diseño PCB entradas.

Tamaño PCB

Lo primero que se establece en el diseño de la PCB es el tamaño de esta, el tamaño de esta es limitado para que el PLC se encuentre dentro los tamaños estándar de los PLCs industriales. El tamaño que establecemos es de 100x150 mm

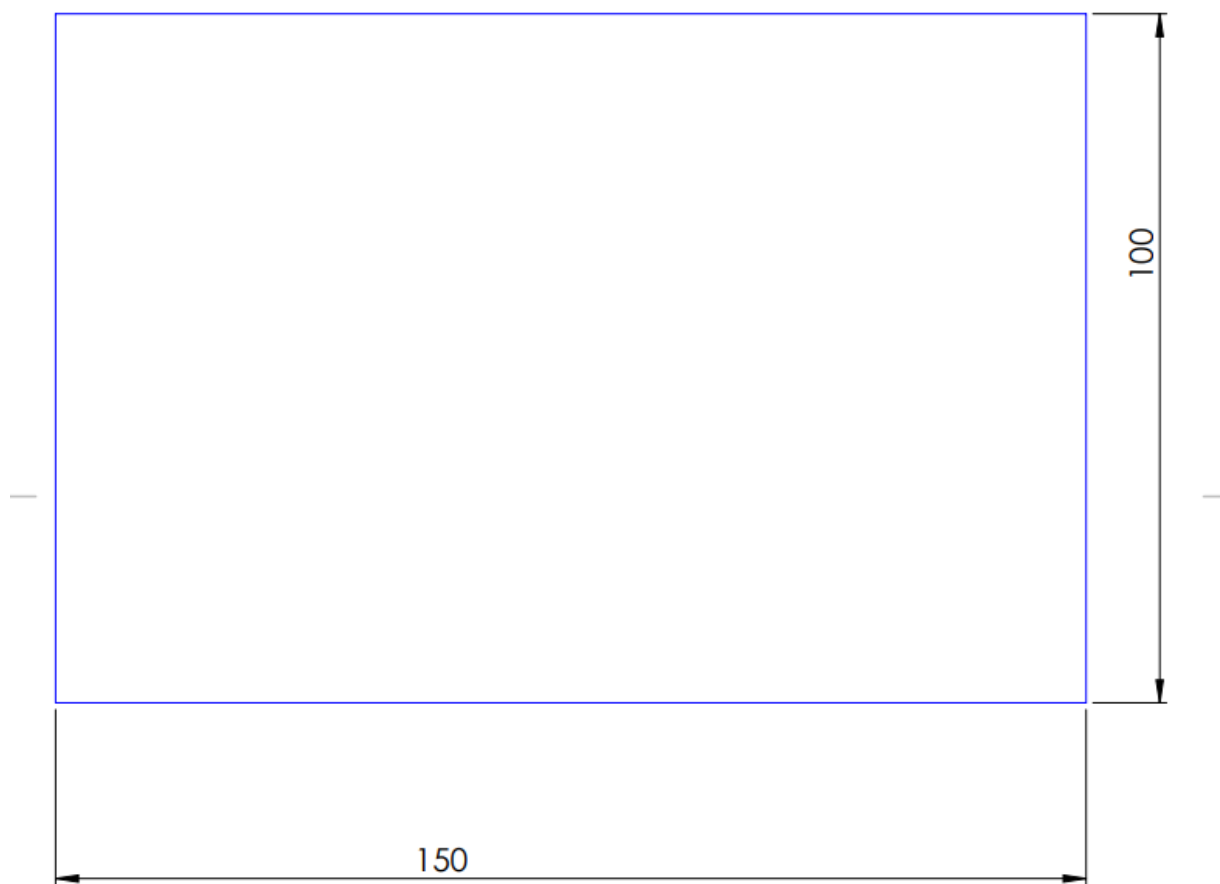


Figura 18 PCB entradas dimensión placa virgen.

Distribución de los elementos de las diferentes etapas en la PCB de entradas.

4. Módulo de entradas

NOTA: En las imágenes de este apartado todos los elementos van colocados en la parte superior del PCB para una mejor representación, pero realmente los elementos de orificio pasante van colocados en la parte inferior.

En este apartado se explicará la distribución tomada para colocar los elementos del circuito de entradas en la PCB.

■ Elementos para conexión de elementos exteriores

Los elementos necesarios para la conexión de elementos exteriores (Sensores, pulsadores, interruptores...) son los conectores, estos han de ir conectados la parte exterior inferior de la placa ya que deben de estar ahí para quedar en una posición cómoda para la conexión.



Figura 19 PCB entradas: Vista de planta de la posición de los conectores externos

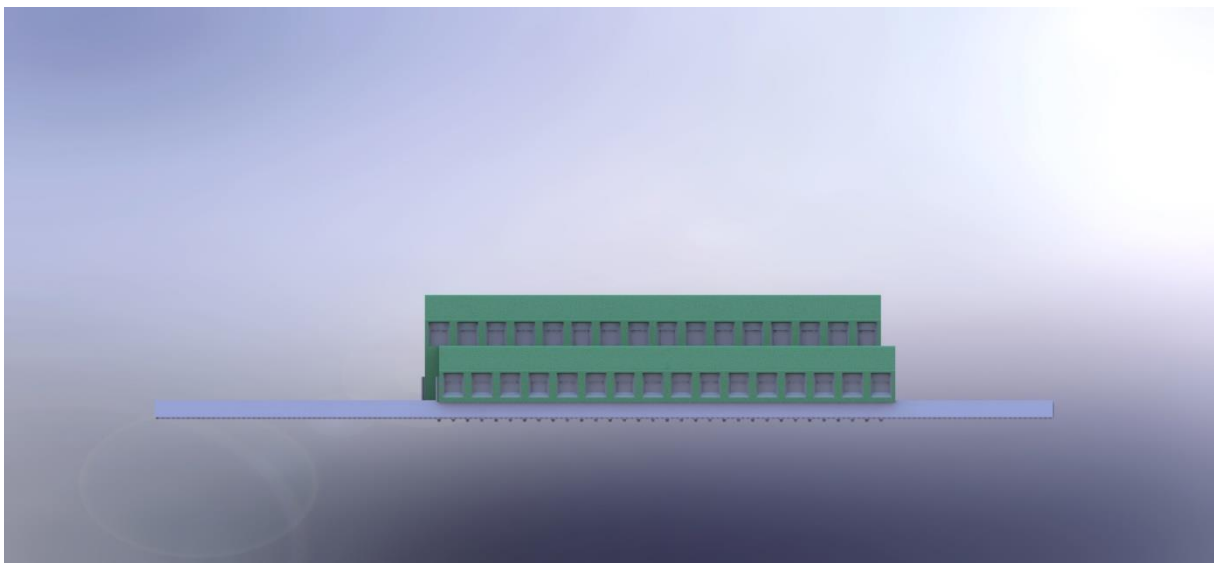


Figura 20 PCB entradas: Vista frontal de la posición de los conectores externos

4. Módulo de entradas

■ Elementos para acondicionamiento de señal.

Los elementos encargados del acondicionamiento de señal como ya se ha desarrollado en el apartado 4.1 son las resistencias de $1k\Omega$, 460Ω y 120Ω , los selectores de voltaje que están formados por los conectores en los cuales mediante jumper seleccionamos el voltaje con el que trabaja el elemento conectado en la respectiva entrada.

Estos elementos han de estar en una posición en la que sea cómoda su manipulación ya que aunque una vez funcionando en un proceso el PLC no se modificaran, en momentos de desarrollo de un proyecto puede que se cambie el voltaje de trabajo de los sensores que se conectan por las diferentes entradas por lo que tendríamos que estar cambiando de posición los jumpers.

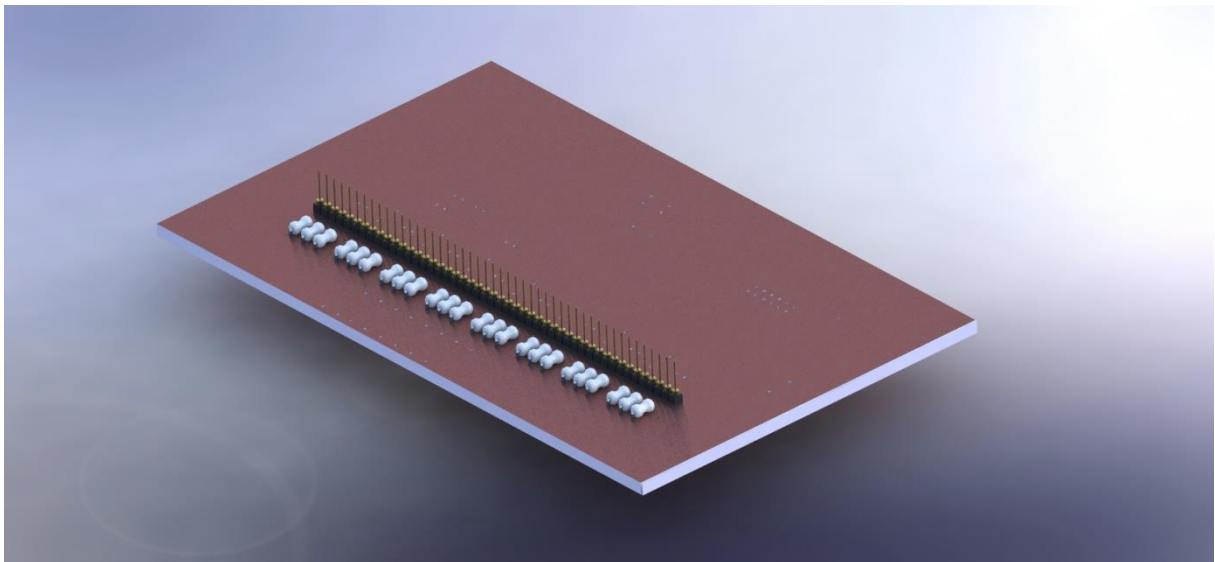


Figura 21 PCB entradas: Elementos acondicionamiento de señal en vista isométrica.

Se puede apreciar que para cada resistencia hay 2 conectores, esto es que cada resistencia tiene un "circuito abierto que cerrar", así se hace la selección de voltaje dependiendo del elemento que se va a conectar a la entrada.

4. Módulo de entradas



Figura 22 PCB entradas: Elementos de acondicionamiento de señal de una sola entrada.

■ Elementos aislantes del circuito.

Los elementos aislantes del circuito que se encarga de separar la parte externa del circuito de la parte interna son los optoacopladores como se desarrolla en el apartado 4.1.

En estos elementos no es relevante la posición que ocupan en el PCB pero finalmente se colocan seguidos de los componentes de acondicionamiento de señal para facilitar el camino que han de seguir las pistas de conexión.

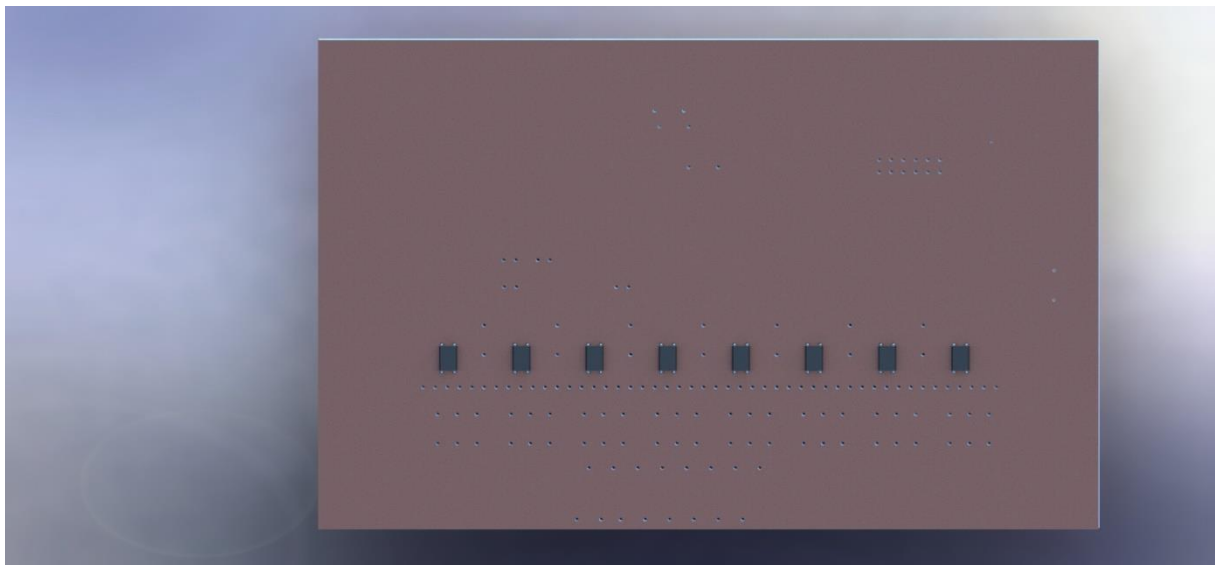


Figura 23 PCB entradas: Posición elementos aislantes (Optoacopladores).

4. Módulo de entradas

■ Componentes del circuito de comunicación y captador de información.

Estos componentes son los siguientes:

- Resistencias pull up.
- Chip lógico PCF8574.
- Pines para selección dirección PCF8574
- Pines de línea de comunicación en serie.

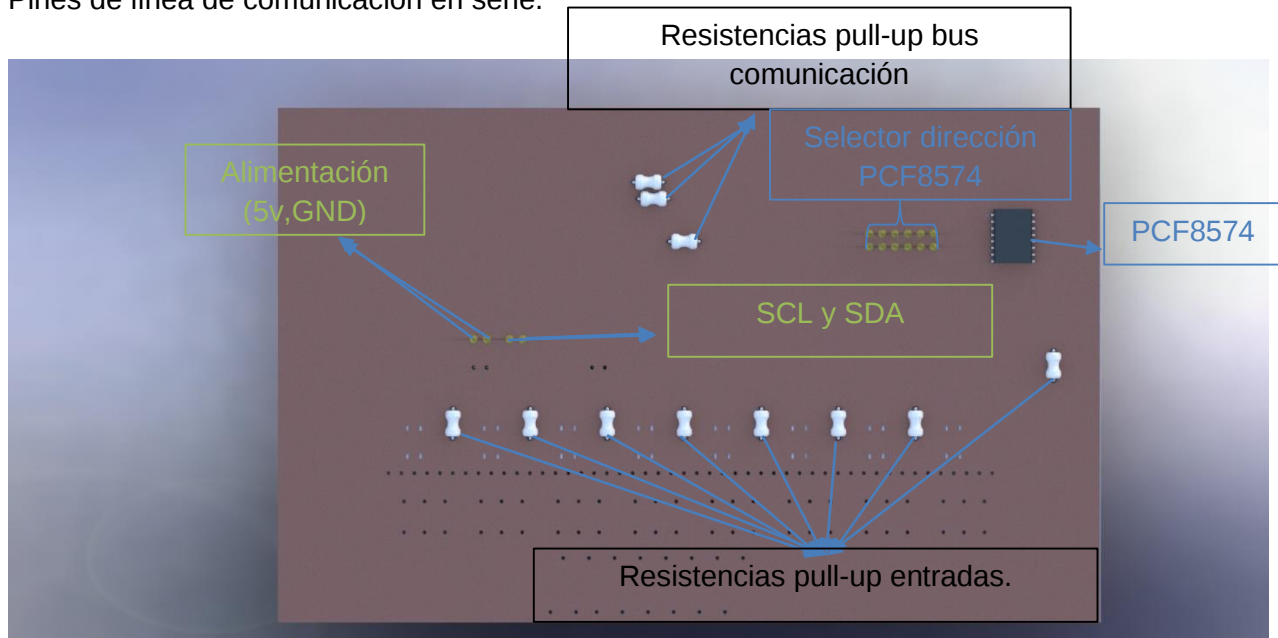


Figura 24 PCB entradas Componentes del circuito de comunicación.

■ Placa con todos los componentes.

Elementos colocados en su posición real.

Visión en perspectiva de la cara superior:

4.Módulo de entradas

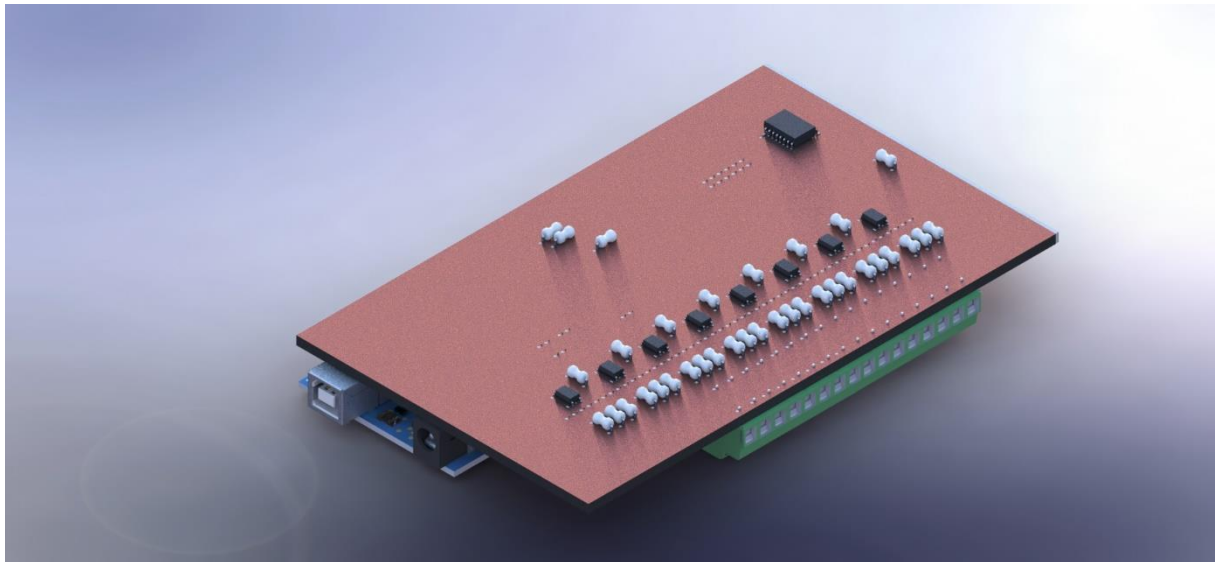


Figura 25 PCB entradas+ arduino: Perspectiva superior con todos los elementos (sin pistas)

Visión en perspectiva de la cara inferior:

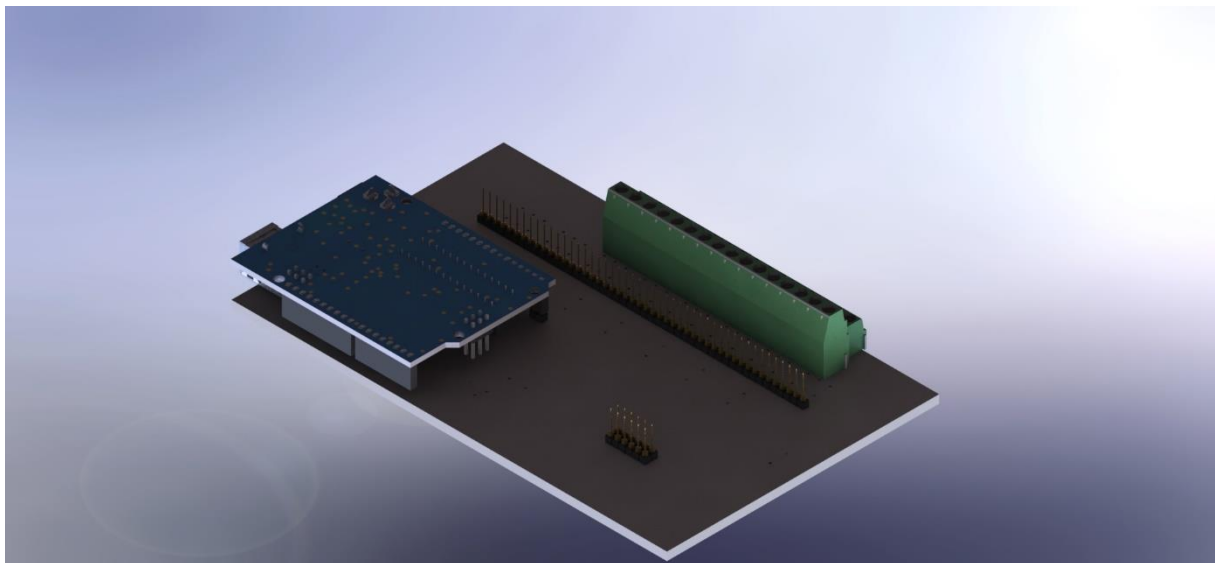


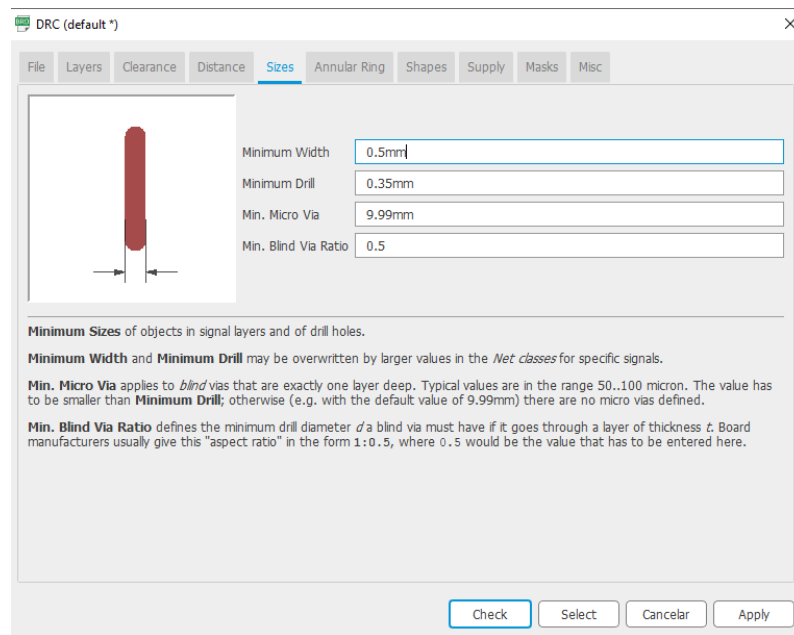
Figura 26 PCB entradas+ arduino: Perspectiva inferior con todos los elementos (sin pistas)

Ruteo de PCB de entradas

Una vez conocida la posición que ocuparan todos los componentes en la placa se puede proceder con el ruteo de esta.

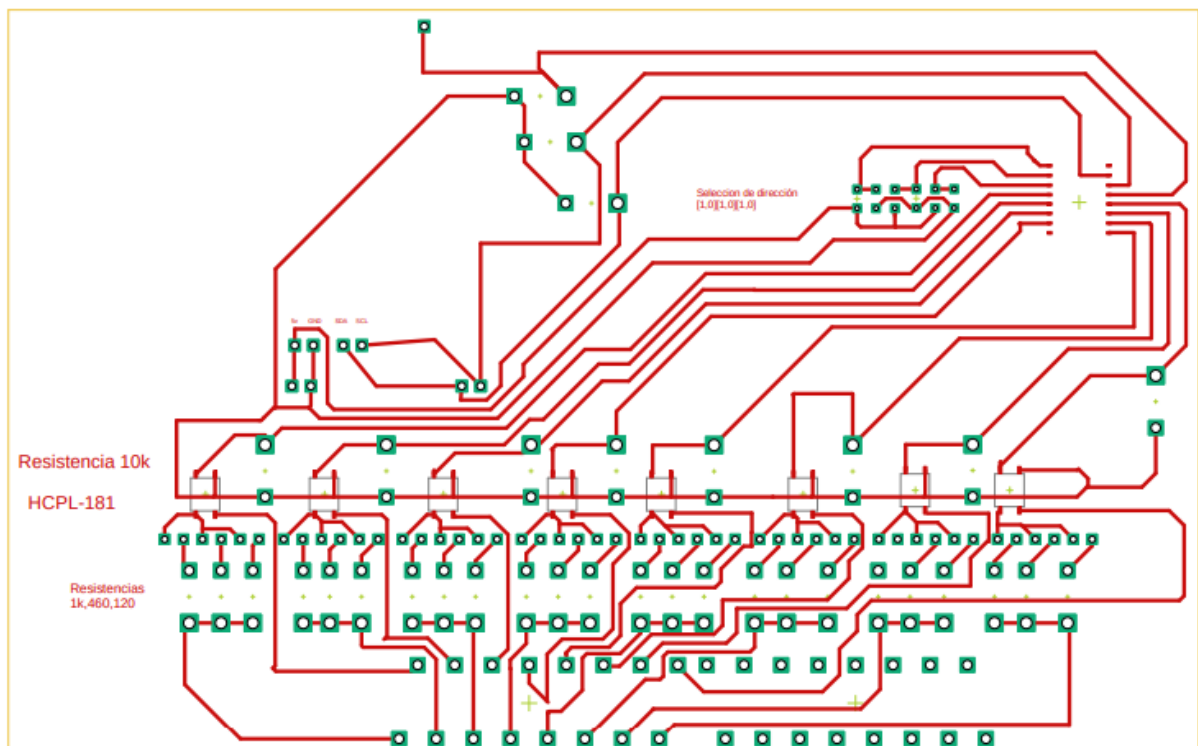
Lo primero que se hace es definir las características de las pistas a partir del menú “DCR”.

4. Módulo de entradas



Al no ser pistas de daremos un grosor de 0.5mm a las pistas y al ser un circuito relativamente sencillo y un tamaño de la placa amplio lo hacemos en una única cara para reducir la complejidad de fabricación conllevando esto una reducción de costes.

Finalmente, el ruteo nos queda:



Fijación de PCB entradas al PLC

Ahora añadimos perforaciones en las esquinas de la placa para poder fijar esta placa a la carcasa del PLC y que quede libre de posibles movimientos y golpes, hacemos dos taladros para tornillo de métrica 3 ($\varnothing 3.19$), haremos dos taladros en diagonal, las coordenadas de los taladros son (15.2-97.75) y (5-155)

El taladro en (15.2-97.75) coincide con el taladro para fijación del arduino por lo que quedaran ambas placas fijadas.

Tomando como origen de coordenadas la esquina inferior izquierda.

Aspecto final PCB entradas.

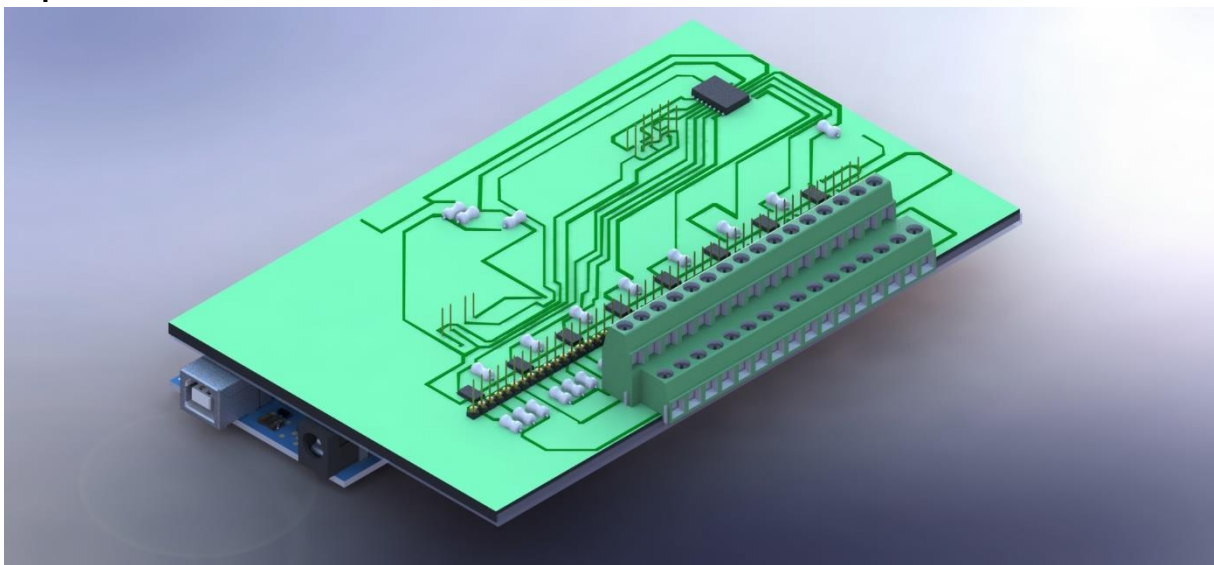
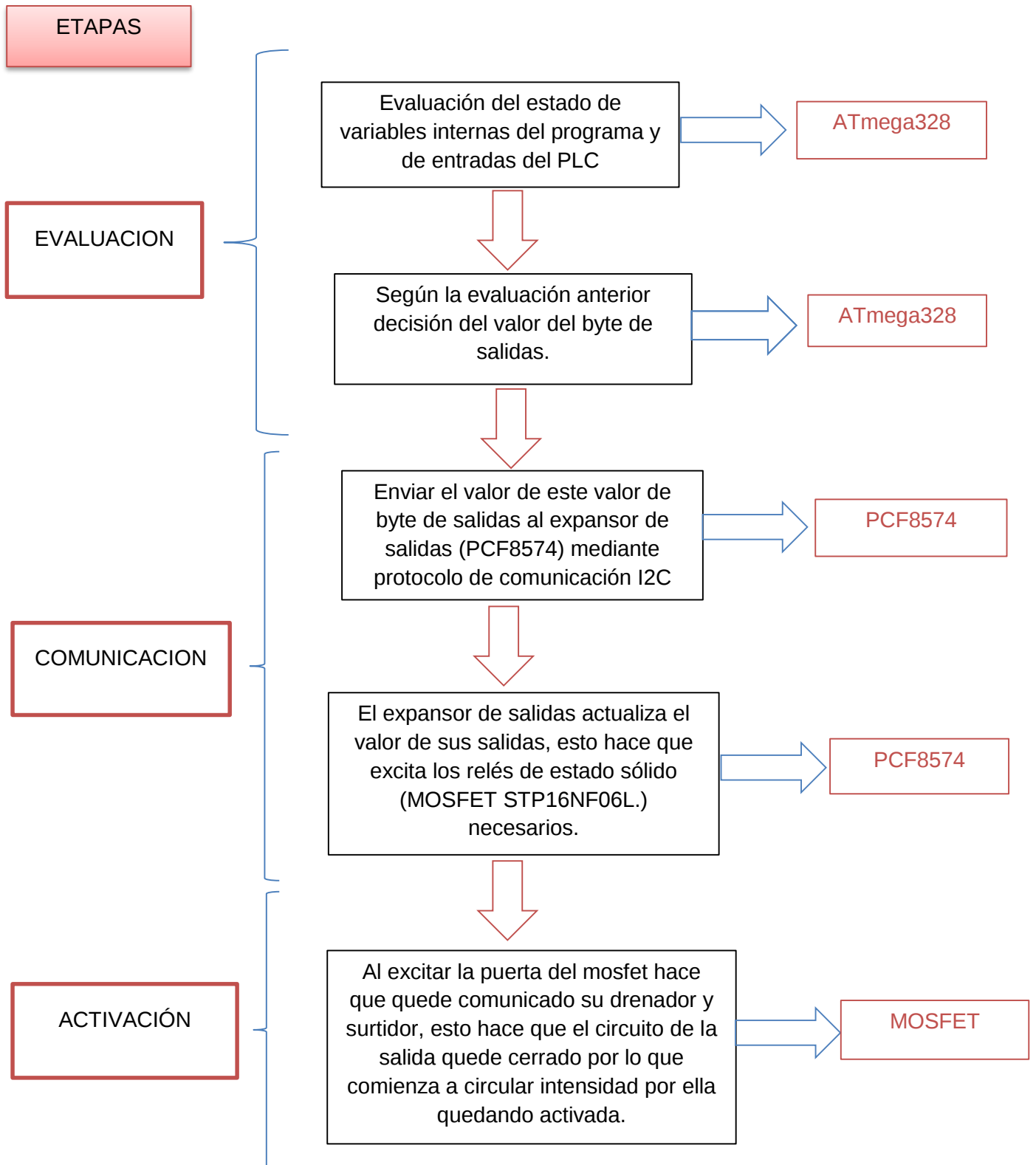


Figura 27 PCB entradas + arduino : Aspecto final.

5 Modulo salidas.

En este punto vamos a desarrollar el diseño de un módulo de salidas preparado para los estándares de salidas de PLC industriales, funciona con salidas 12v (Constara de conectores para 2 fuentes de alimentación, la primera alimenta la salida 0,1,2y 3 y la segunda las salidas 4,5,6 y 7). El funcionamiento del módulo de salidas queda condensado en el siguiente esquema:

En la parte izquierda de la tabla se sitúan las estepas en las que consiste el proceso, en la parte central un pequeño desarrollo de los procesos que se realizan en cada etapa y en la izquierda se indica cual es el componente principal encargado de realizar cada componente.

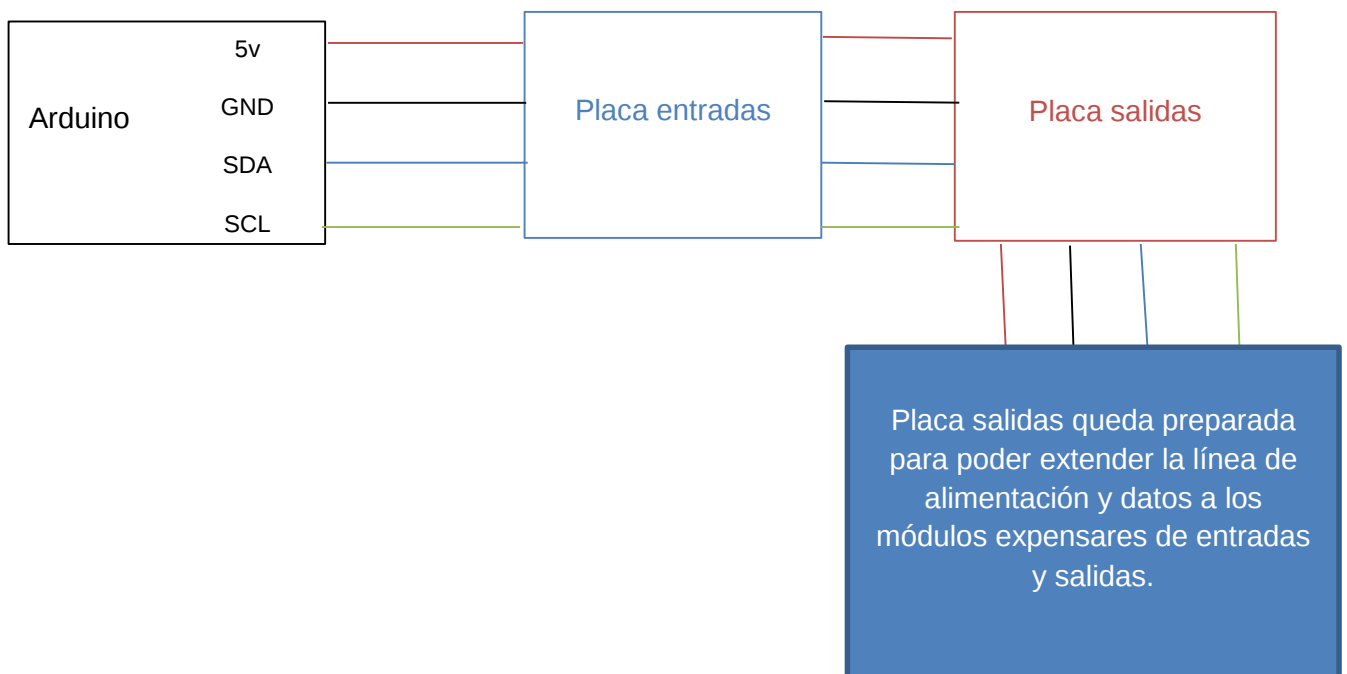


5.1 Implementación del módulo de salidas

A continuación se mostrara una breve explicación de cómo se ido implementando cada una de las partes del esquema anteriormente expuesto.

■ Implementación etapa de evaluación

Para la implementación del módulo de salidas se tiene de tener en cuenta que el proceso de evaluación es un proceso que dependerá de la acción a automatizar y se adaptara el código con el que trabaja el procesador para esta acción, por lo que electrónicamente los proceso que implementamos es la comunicación de esta placa con el procesador, al no tener conexión directa esta placa con el procesador lo que se hace es crear una línea de alimentación (5v-GND) y una línea de datos (SCL- SDA) que es llevada desde la placa de entradas hasta la placa de salidas teniendo así ya lista la circulación de datos entre la placa de salidas y el procesador.



5 Modulo salidas.

■ Implementación etapa de comunicación

Esta etapa consiste en la alimentación del módulo PCF8574 y comunicación a través del bus de datos, las salidas de este módulo quedaran listas para la excitación de la etapa de activación.

Además en esta etapa se ha de poder fijar la dirección de comunicación que va a tener el elemento PCF8574 , al igual que en la placa de entradas los haremos con unos jumpers que podrán conectar a 5v o a 0v cada uno de los pines de dirección.

El circuito que representa esta etapa es el siguiente:

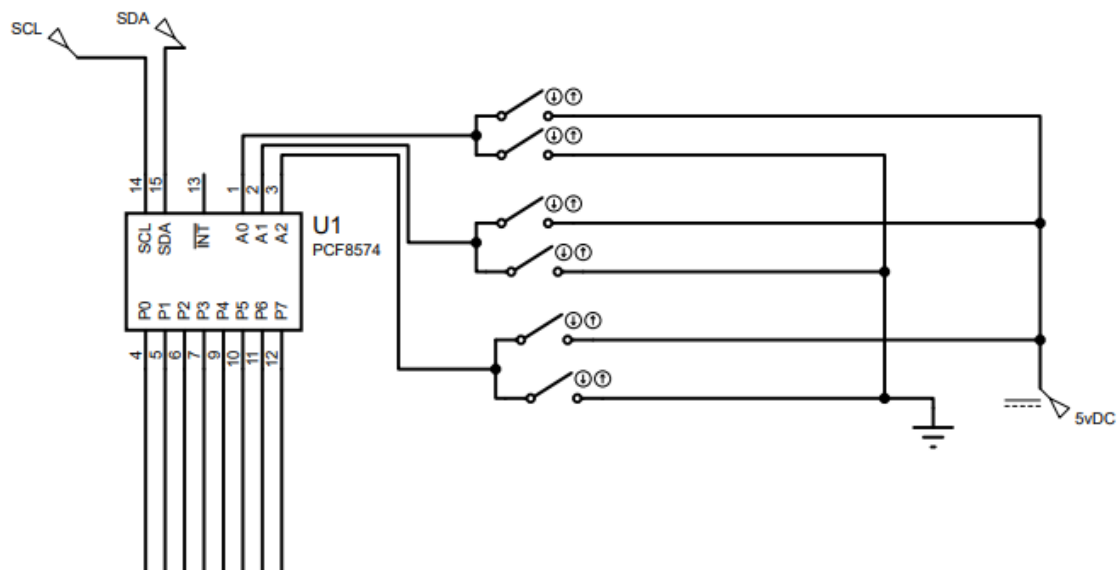


Figura 28 Circuito de salidas, esquema de comunicación.

Aquí podemos ver como tenemos tanto la línea de alimentación como la línea de datos (proviene de placa entradas), los selectores de dirección y las salidas del módulo PCF8574 quedan listos para la excitación del transistor en etapa de activación.

■ Implementación de etapa de activación.

Para la implementación de esta etapa lo primero que se debe de preparar es la red de polarización del transistor, el transistor que utilizaremos es STP16NF06L . La red de polarización (Desarrollado en Anexo Cálculos justificativos) para que trabaje en modo interruptor nos queda:

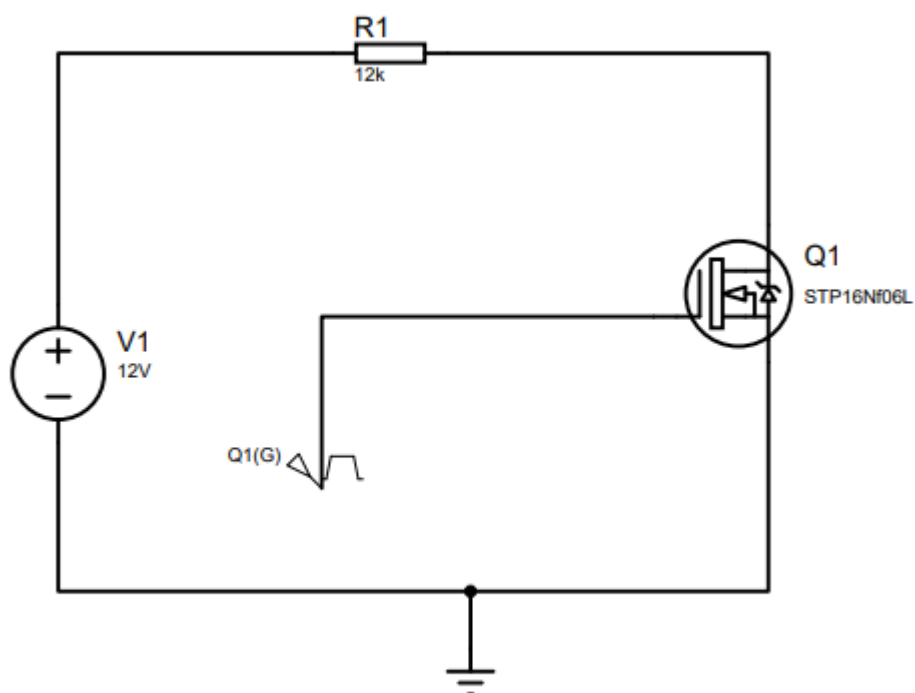


Figura 29 Circuito salidas: red polarización.

La función pulso descrita en la red de polarización hace referencia a una salida del módulo PCF8574.

- Conjunto del módulo de salidas y funcionamiento.

El conjunto del módulo de salidas es el siguiente:

5 Modulo salidas.

□

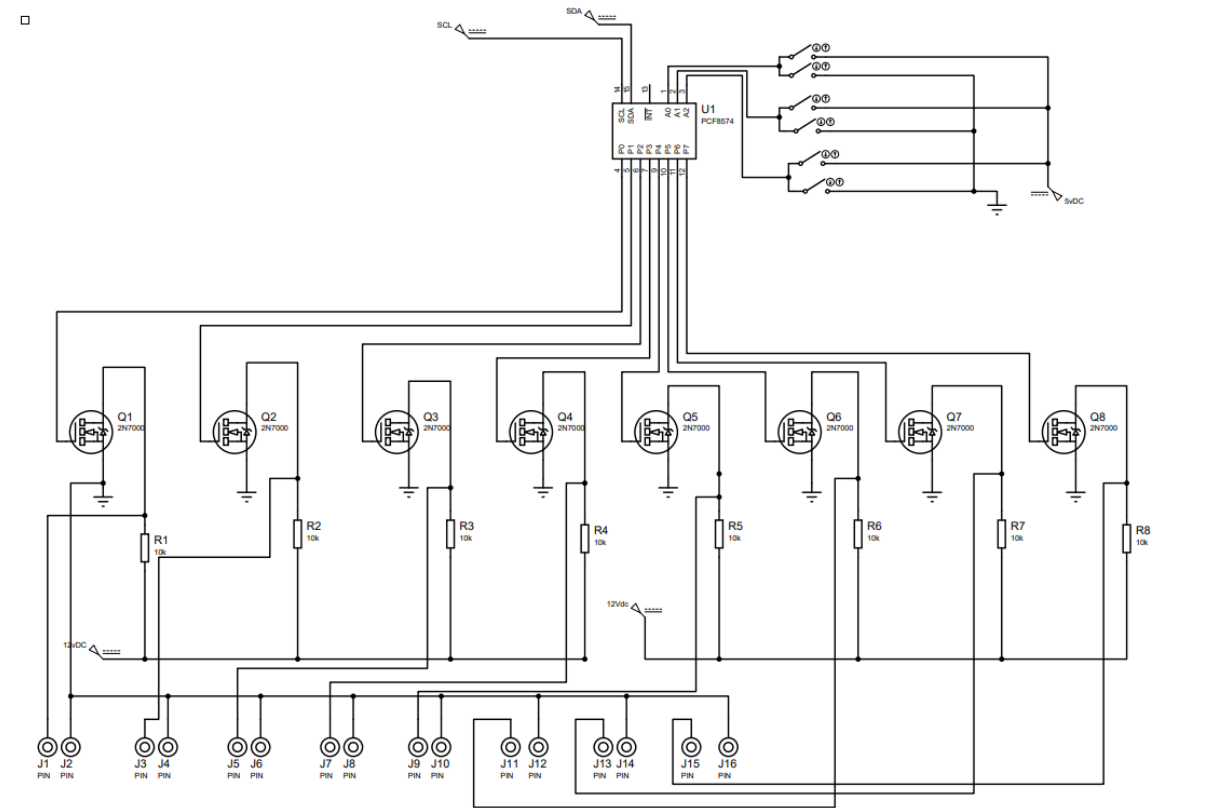


Figura 30 Circuito salidas: Conjunto

El funcionamiento es el siguiente:

- A través de la comunicación serie indicamos al módulo PCF8574 que ponga una de sus salidas a 0V
- Al ponerse una de sus salidas a 0 el transistor entra en zona de corte por lo que las salidas se alimentan a 12V
- El elemento conectado a los bornes de esta salida de excitaría a 12V activando así su funcionamiento ejemplo excitar un solenoide de una electroválvula neumática.

5.2 Componentes para PCB salidas

Los componentes seleccionados quedan resumidos en la siguiente tabla:

Tabla resumen de elementos utilizados en PCB entradas

Elemento	Modelo utilizado	Cantidad utilizada
PCF8574	PCF8574APWR (SOIC-2.56mm)	1
Transistor MOS	STP16NF06L	8
Resistencia 12k	CF14JT12K0	8
Pin conector	87224	16 , utilizaremos 4 87224-4
Pin conector hacia exterior	TIR1X5A14	4
Conector exterior salidas	1726202	1
Conector exterior alimentación	1935187	1

5.3 Diseño PCB salidas

Tamaño PCB

Lo primero a establecer en el diseño de la PCB es el tamaño de esta, se debe limitar el tamaño de esta para que puedan entrar en una zona del PLC inferior al PCB de entradas y al arduino , siendo esta la primera placa que entrara en el PLC , escogemos un tamaño más reducido ya que al tener menos componentes nos lo permite. El tamaño finalmente seleccionado es de 100mmx105mm.

Distribución de los elementos de las diferentes etapas en la PCB de entradas.

■ Elementos para evaluación

Como elementos para evaluación son considerados los pines de traer la línea de alimentación y datos desde PCB entradas hasta PCB salidas y los pines para llevar estas líneas a módulos de expansión.

5.3 Diseño PCB salidas

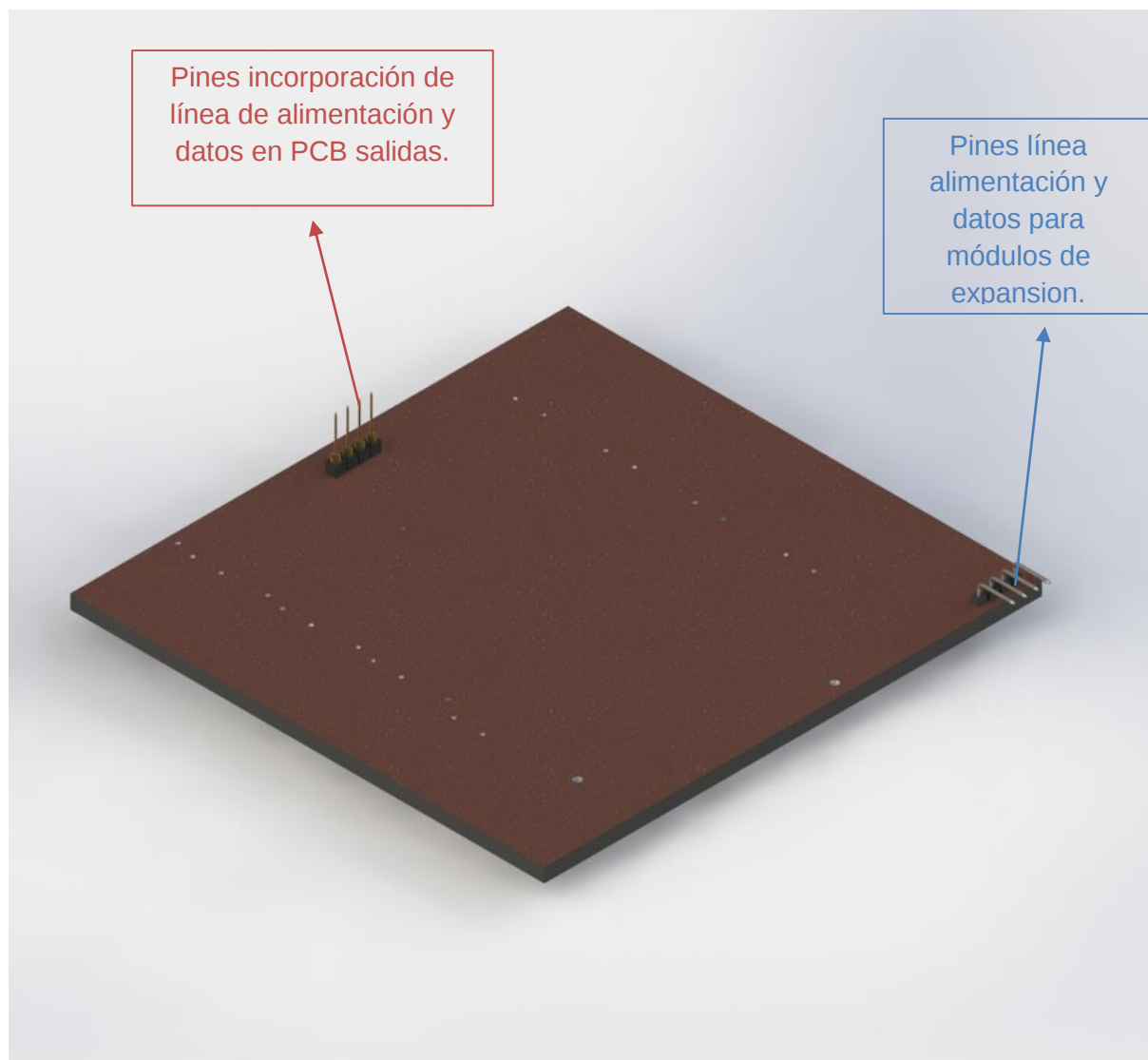


Figura 31 Placa salidas: Elementos de evaluación

■ Elementos para comunicación.

Los elementos de comunicación son el módulo PCF8574 y los pines de dirección de este.

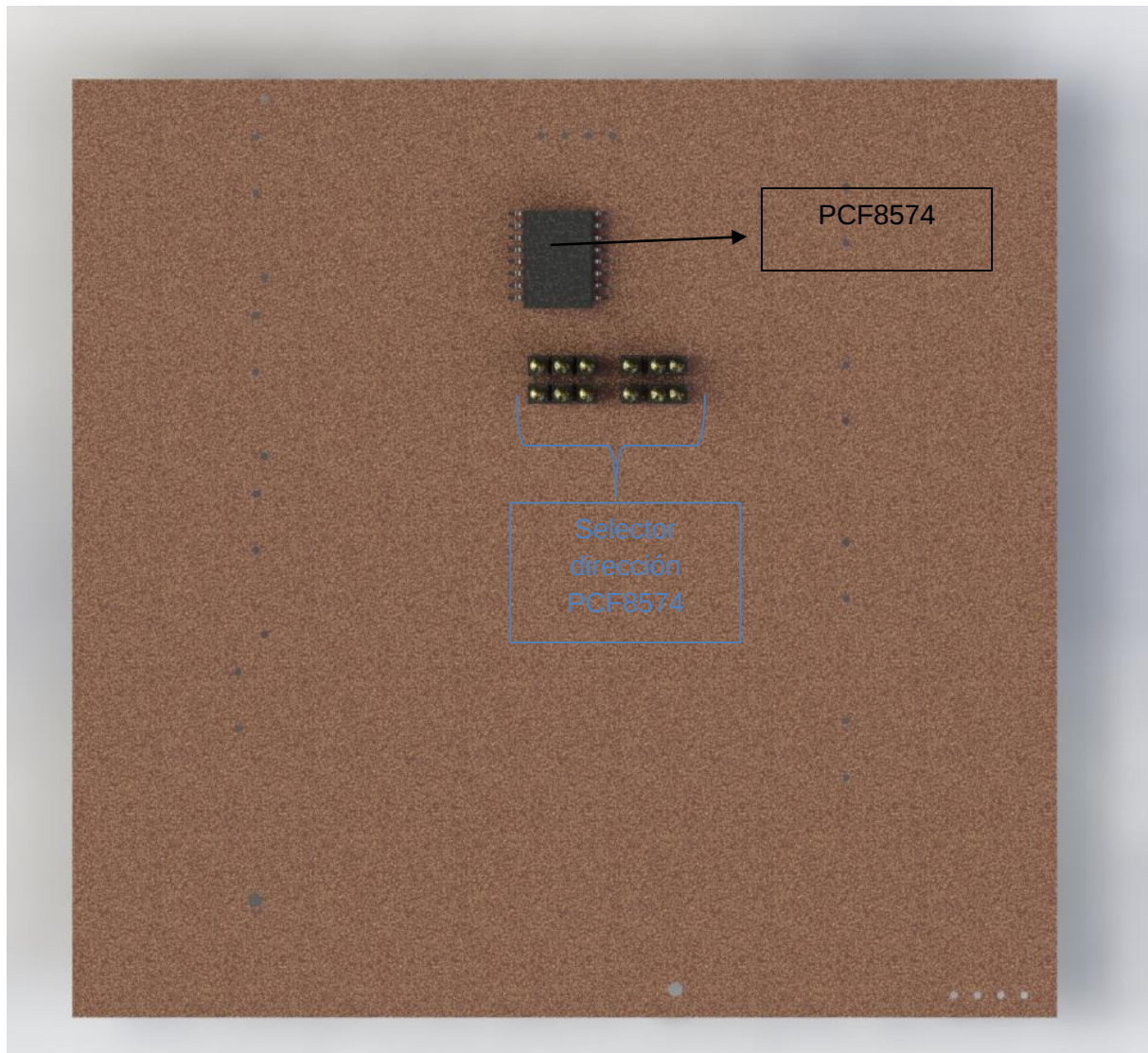


Figura 32 Placa salidas: Elementos de Comunicación.

■ Componentes etapa de activación.

Los elementos que conforman esta etapa son los mismos que conforman la red de polarización y el transistor.

- Conexión externa para líneas de 12V
- Conexión externa para salidas
- Transistor
- Resistencias de polarización

5.3 Diseño PCB salidas

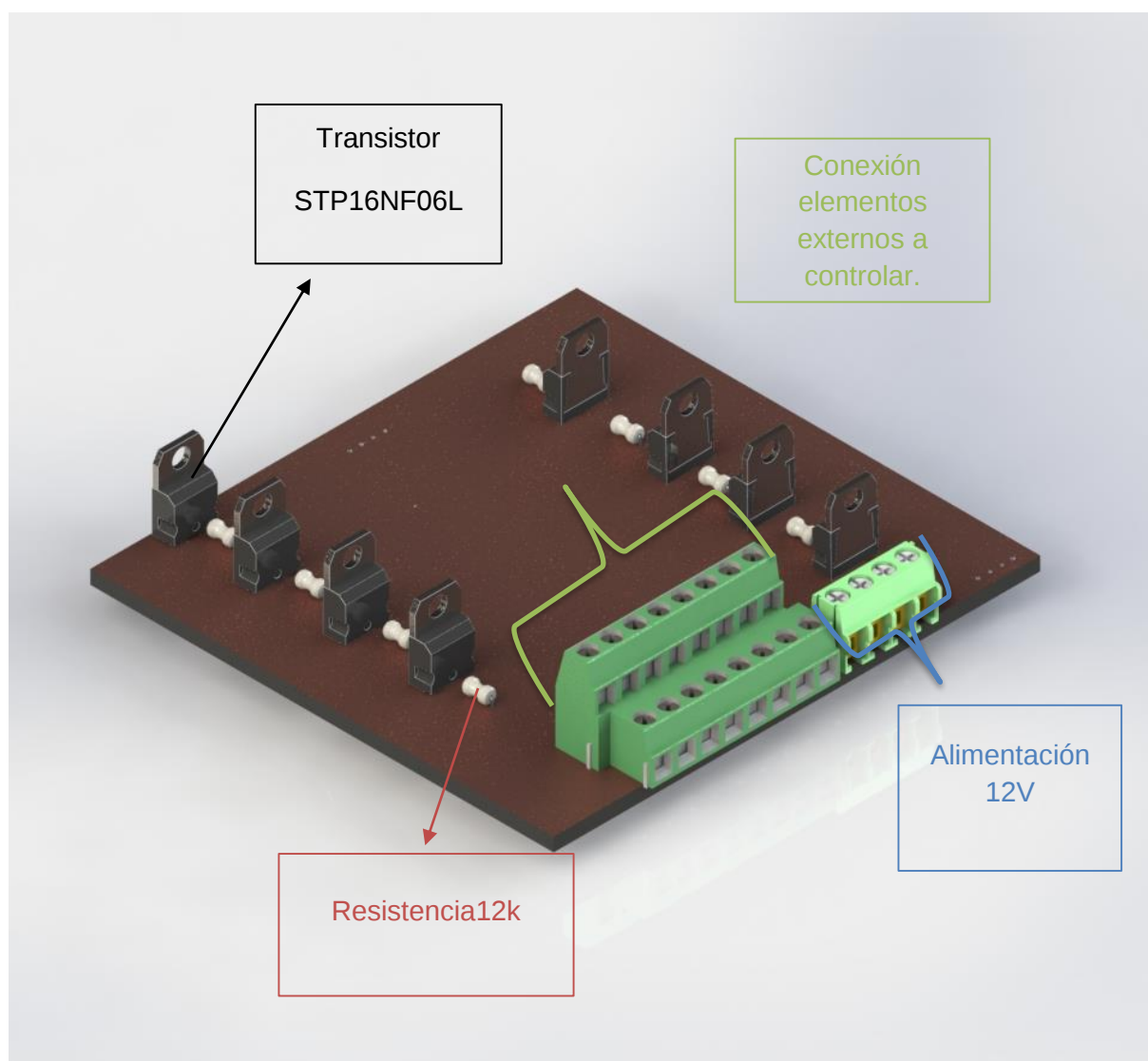


Figura 33 Placa salidas: Elementos de activación.

- Placa con todos los componentes:

La distribución total de los elementos es la siguiente:

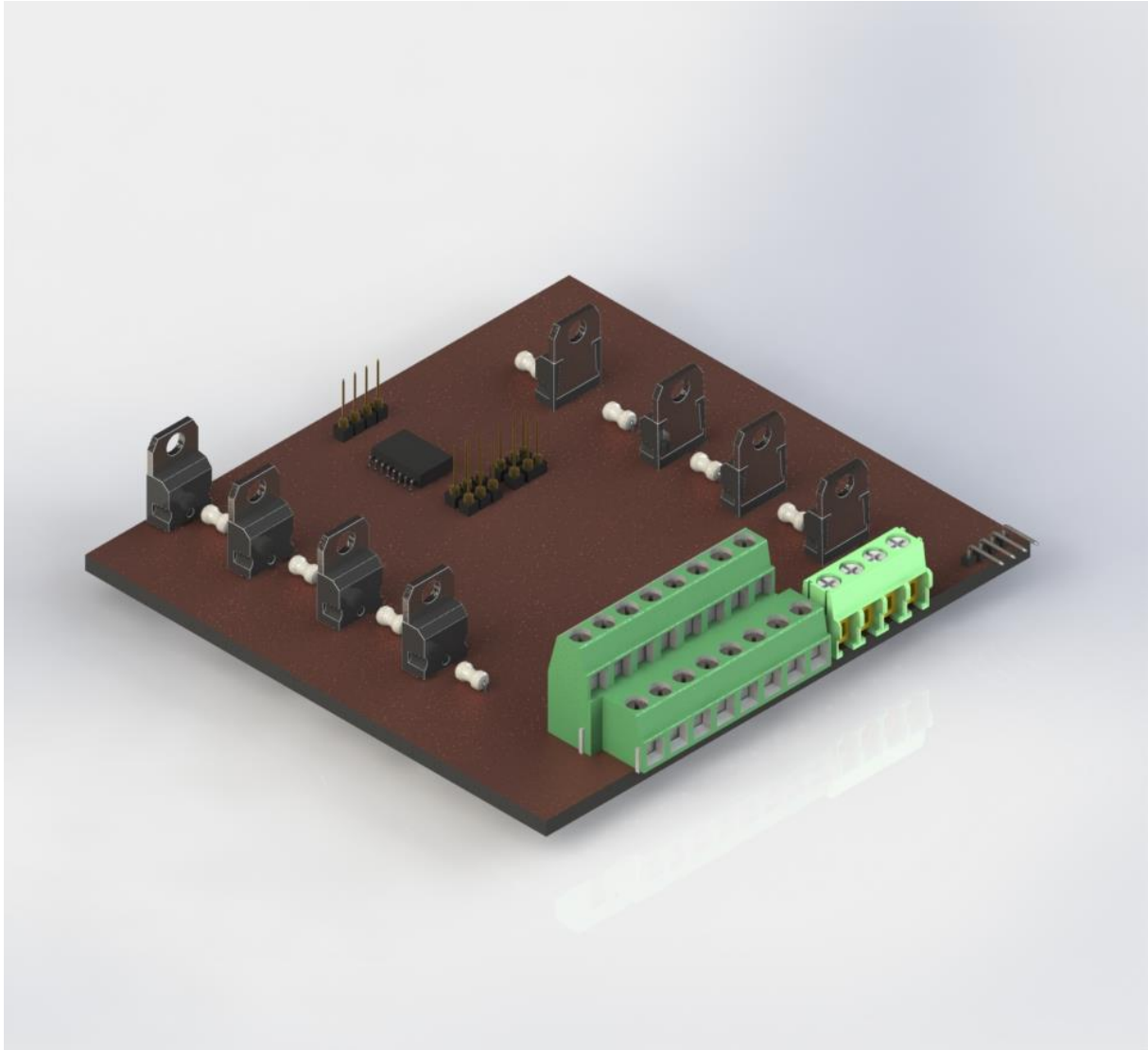


Figura 34 Placa salidas: Todos los elementos (Sin rutear).

Ruteo de PCB de salidas.

Una vez conocida la posición que ocuparan todos los componentes en la placa procedemos con el ruteo de esta.

Lo más importante a tener en cuenta en el ruteo de esta PCB es que hay líneas de datos y líneas de potencia, a estas le haremos una distinción, ya que al ser de potencia aumentamos su grosor hasta 2 mm mientras que las rutas de datos siguen siendo de 0.5mm.

5.3 Diseño PCB salidas

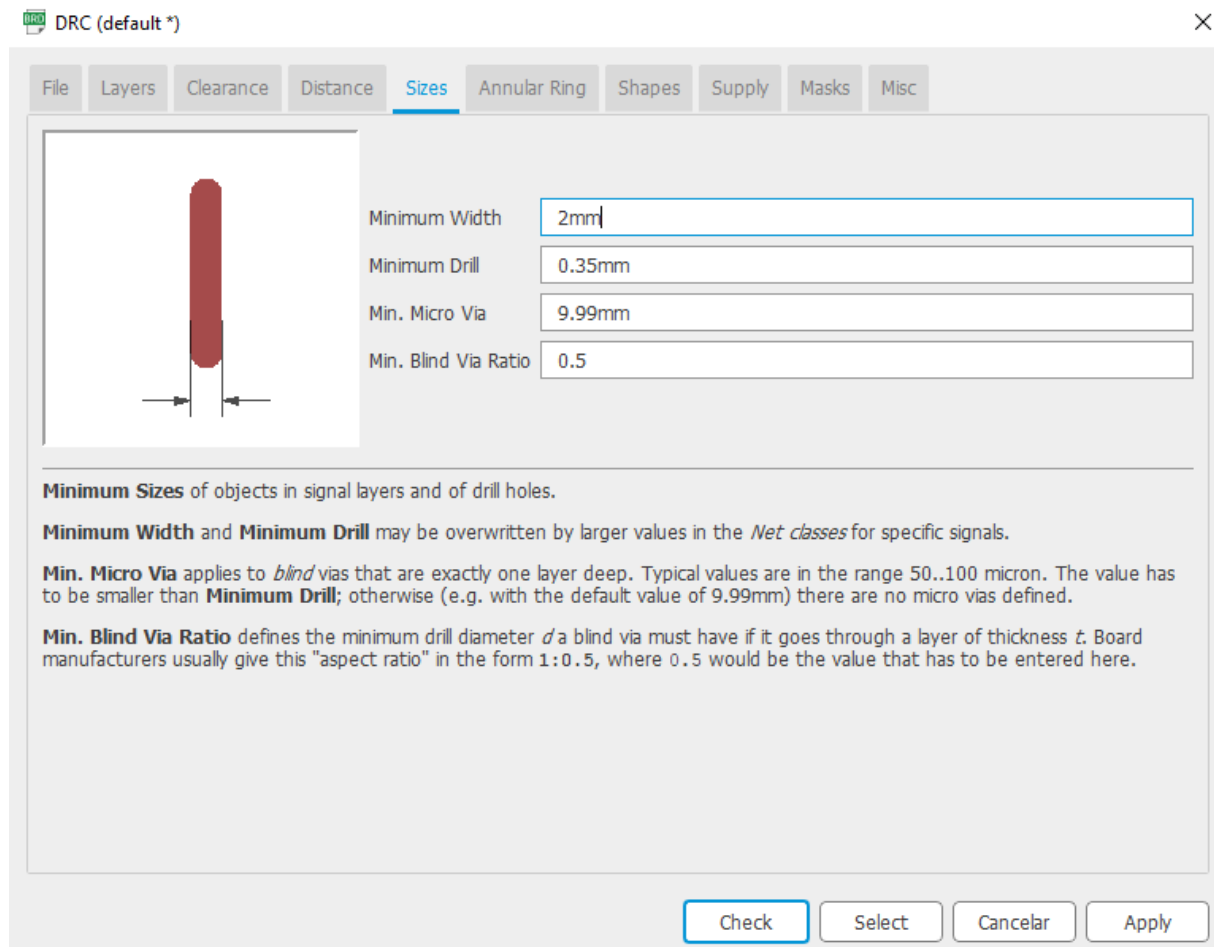


Figura 35 Placa salidas: Configuración DRC Eagle.

Por las conexiones que tienen los componentes decidimos hacer la PCB en 2 capas, el resultado es el siguiente:

5.3 Diseño PCB salidas

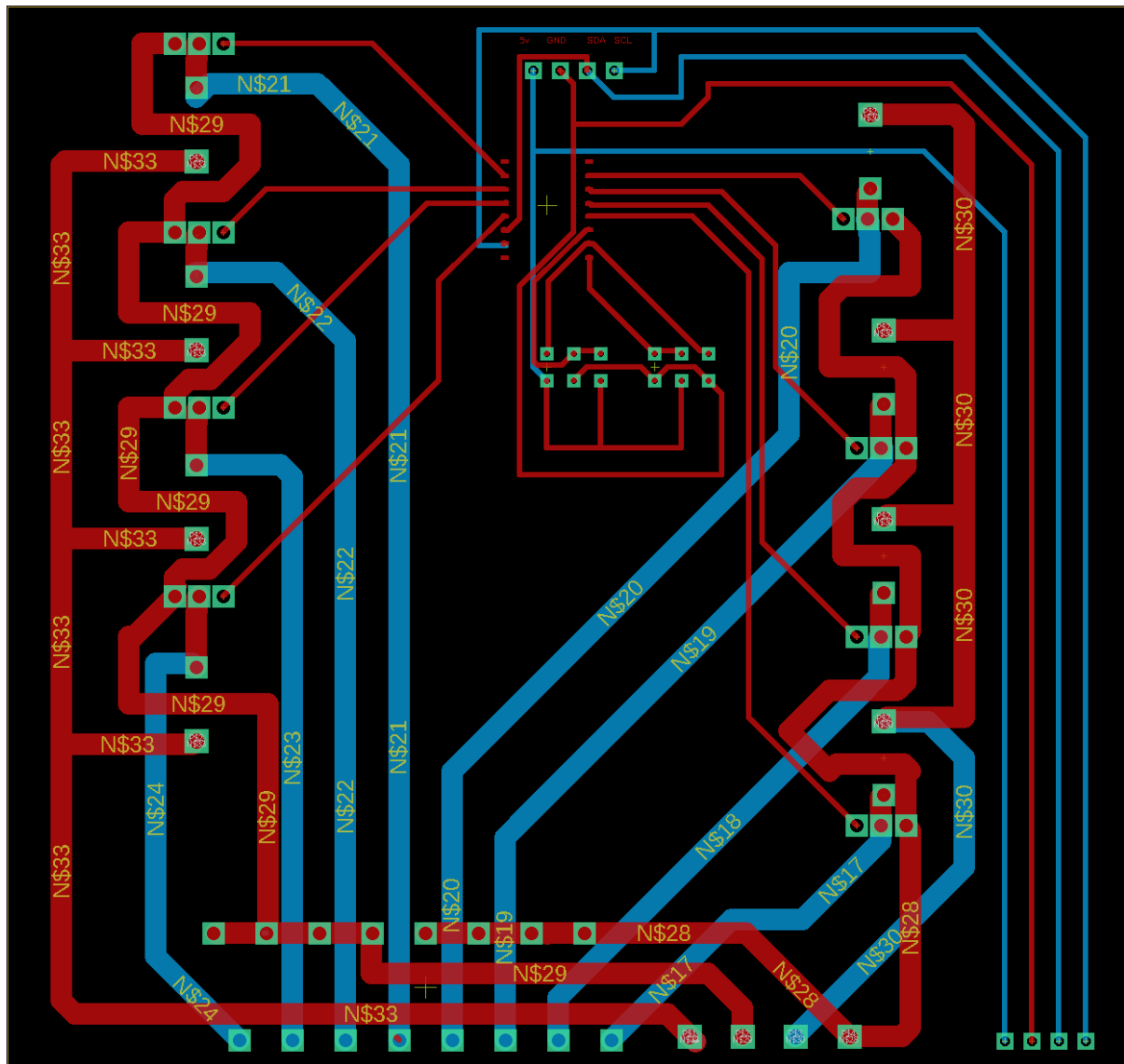


Figura 36 Placa salidas: Ruteo.

Siendo el ruteado en la parte TOP:

5.3 Diseño PCB salidas

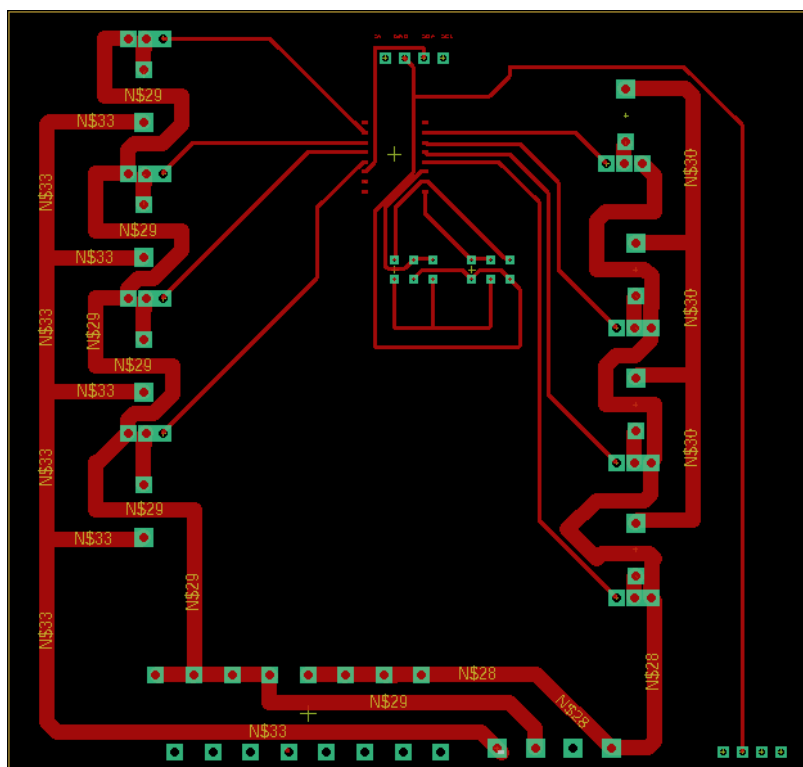


Figura 37 Placa salidas: Ruteo Cara TOP.

Siento la parte Bottom:

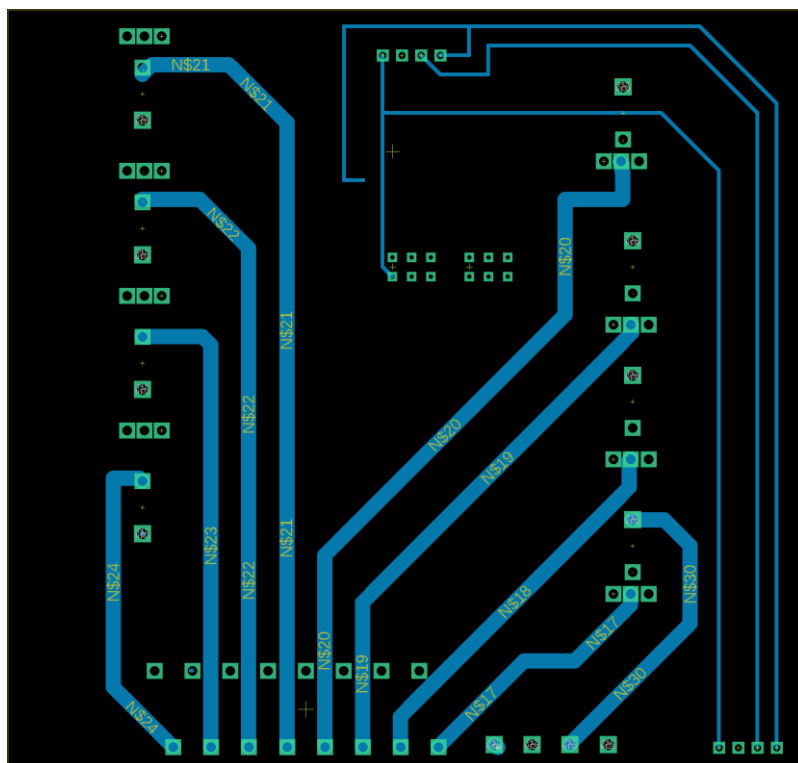


Figura 38 Placa salidas: Ruteo cara BOTTOM.

Fijación de PCB salidas al PLC.

Son añadidas perforaciones en las esquinas de la placa para poder fijar esta placa a la carcasa del PLC y que quede libre de posibles movimientos y golpes, se hacen 3 taladros para tornillo de métrica 3 ($\varnothing 3.19$), se harán los tres taladros en diagonal, las coordenadas de los taladros son (5-95), (3-5) y (100-95).

Tomando como origen de coordenadas la esquina inferior izquierda.

Aspecto final PCB salidas.

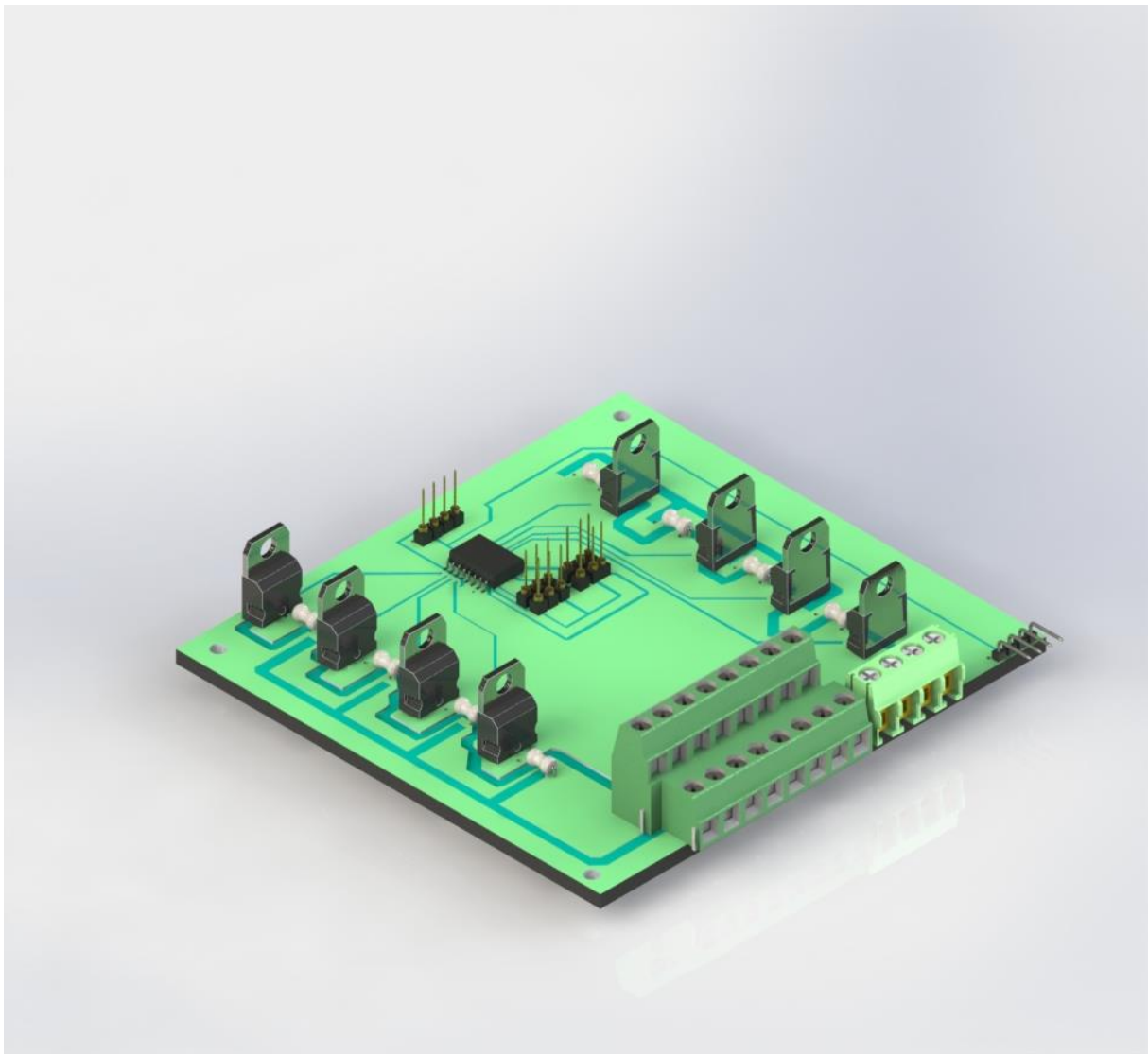


Figura 39 Placa salidas: Aspecto final.

6. Carcasa PLC.

Es necesario diseñar una carcasa capaz de recoger todos los elementos que conforman el PLC de manera que todos los puertos sean accesibles una vez montada la carcasa.

6.1 Requisitos de carcasa PLC.

Se necesita que la carcasa diseñada cumpla con los siguientes requisitos:

- Los puertos de alimentación y comunicación del arduino deben ser accesibles y no se deben mezclar con los puertos de entrada y salida del propio PLC.
- Todos los puertos de entrada deben ser accesibles y no se deben de mezclar con los puertos de salida ni de alimentación y comunicación del arduino.
- Todos los puertos de salidas deben ser accesibles y no se deben de mezclar con el resto de puertos.
- El espacio interior de la carcasa debe ser el apropiado para alojar el arduino , la placa de entradas y la placa de salidas, teniendo en cuenta como estas placas se conectan entre sí.
- Dado que la solución aportada dispone de un puerto para expansión de dispositivos I2C la placa debe dejar disponible los pines de conexión de la línea de datos y alimentación de dicho bus alojado en la placa de salidas.
- EL diseño de la carcasa ha de estar preparado para no dar problemas en un proceso de fabricación a partir de impresión 3D por depositado de filamento caliente (FDM).
- Debemos tener el diseño más compacto posible.
- El montaje y desmontaje de la carcasa y todas las placas ha de ser rápido y sencillo.

6.2 Solución propuesta.

Dados los requisitos anteriormente listados se opta por un diseño en el que la carcasa está dividida en 2 partes, una inferior que todo lo necesario para la sujeción de placas y orificios para un fácil acceso al cableado de los puertos y otra superior cuya única función es el cierre de todo el conjunto. Estas partes se unen entre ellas por 8 tornillos de m3x15mm, todos los elementos irán atornillados a la carcasa inferior utilizando tornillos M3x10mm.

Para poder usar tornillos de m3 en las piezas impresas se hará uso de injertos de latón para roscas M3x5mm que nos proporcionan un perfecto funcionamiento de los tornillos como elemento de fijación.

Carcasa inferior

Se trata de una pieza cubica de dimensiones 180 x140 x 60 mm sin el cierre superior a la que se le han realizado diversos cortes para alojar los puertos de entrada y salida de las placas, estos cortes son:

- Corte en la parte superior frontal para las entradas y alimentación de estas.
- Corte en la parte inferior posterior para las salidas y alimentación de estas.
- Corte en la parte inferior posterior para la línea de alimentación 5v y comunicación serie.
- Corte en la parte lateral izquierda para USB de datos de arduino.

6. Carcasa PLC.

- Corte en la parte lateral izquierda para Jack de alimentación del arduino.

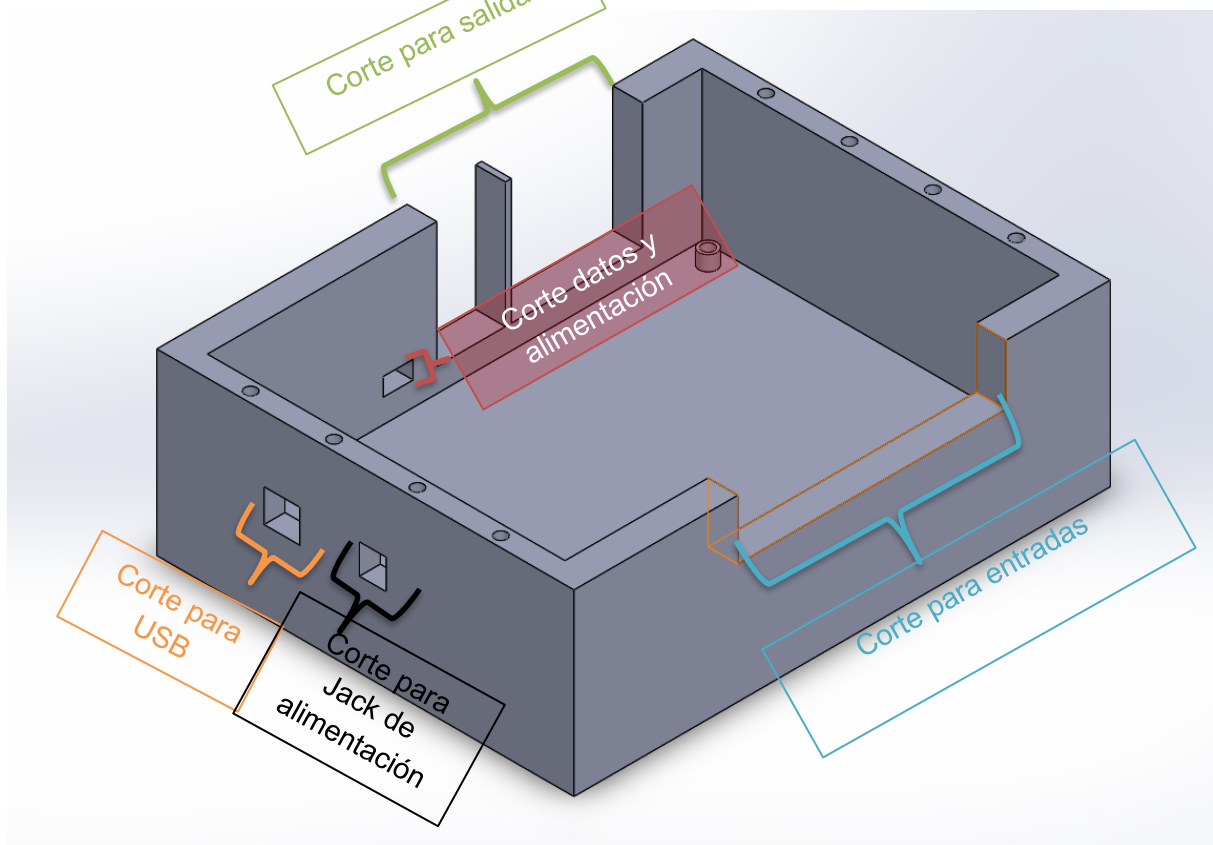


Figura 40 Carcasa inferior vista en perspectiva.

Con esta distribución de los cortes se logra que el diseño cumpla con los requisitos que establecían que las conexiones de entradas, salidas y los propios del arduino queden separados y accesibles, además gracias a esta distribución al usar el PLC en un cuadro eléctrico se podrá hacer una mejor distribución del cableado ya que se tendrá acceso tanto por la parte frontal, posterior y lateral.

Como mecanismo para la sujeción de las placas se han realizado 6 extrusiones cilíndricas de 6mm de diámetro con un hueco interior de 4mm de diámetro y a diferentes alturas pensadas para la fijación de las placas mediante tornillos de M3x10mm. De estas extrusiones las más bajas (5mm de altura) son para la Placa de salidas, las intermedias (15mm) fijan tanto el arduino como la placa de entradas y la más alta (28mm) fija la placa de entradas únicamente.

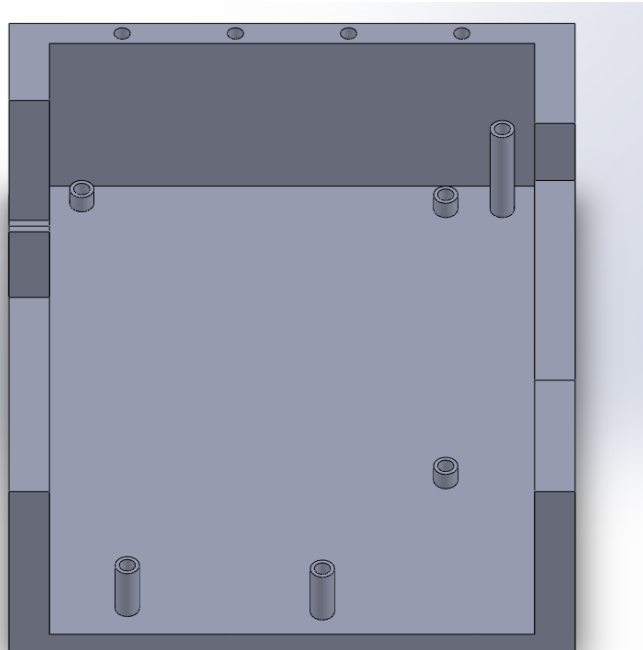


Figura 41 Carcasa inferior: Vista hacia extrusiones.

6. Carcasa PLC.

Por ultimo están los orificios para la inserción de injertos de M3x5mm en la parte superior de la pieza cuya función es la unión de la parte inferior de la carcasa con la parte superior.

Se ha optado por no redondear y no hacer biseles en la pieza para facilitar la impresión 3D de esta.

Carcasa superior.

Se trata de una pieza plana de dimensiones 180 x140 x 10 mm a la que se le han realizado diversos cortes y extrusiones para cerrar los huecos abiertos para el posicionamiento de los conectores en la carcasa inferior.

- Corte para dejar visibles conectores de salidas.
- Corte para dejar accesibles conectores de entradas.
- Extrusión para cerrar el hueco que se quedaría tras los conectores de salidas.

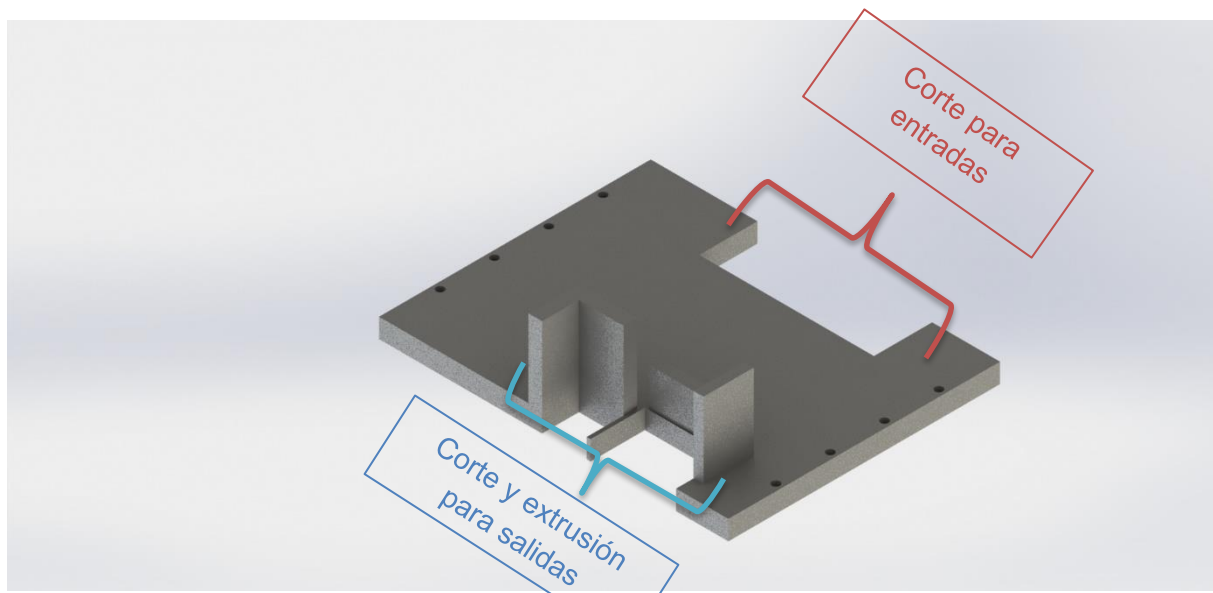


Figura 42 Carcasa Superior: Vista perspectiva.

Igual que en el caso anterior cuenta con 8 orificios para atornillar a la carcasa inferior.

6.3 Conjunto

El conjunto completo del PLC consta de las siguientes partes :

- Carcasa inferior
- Carcasa superior
- Placa salidas
- Placa entradas
- Arduino
- 8x Tornillo M3x15mm

6. Carcasa PLC.

- 6x Tornillo M3x10mm
- 22x Injerto M3x5mm

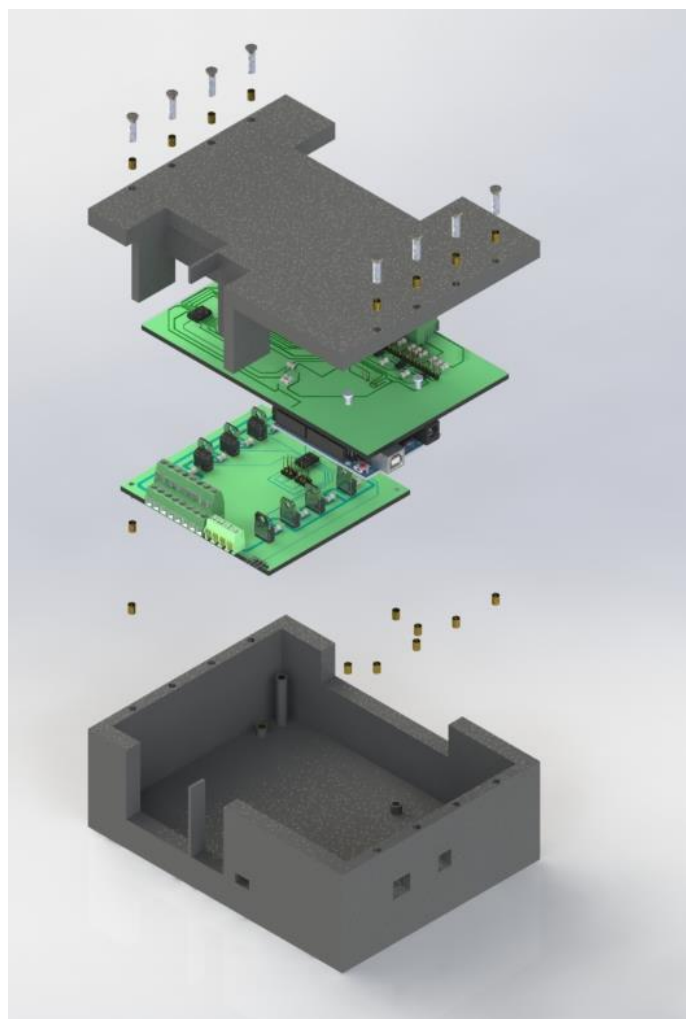


Figura 43 Conjunto PLC Vista explosionada.

Una vez montado todo el conjunto con las instrucciones anteriormente indicadas el conjunto quedaría de la siguiente manera.

6. Carcasa PLC.

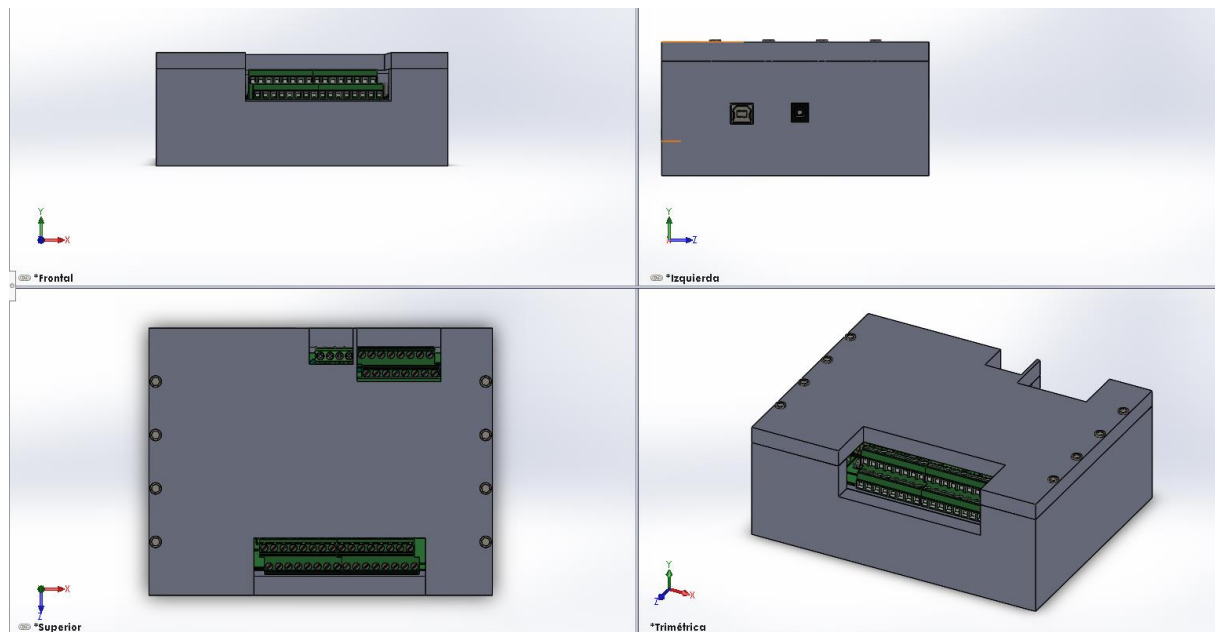


Figura 44 Conjunto PLC: diferentes vistas.

7.Conclusión.

Como conclusión final tras el desarrollo de ambas placas se llegan a las siguientes conclusiones.

Se puede desarrollar un PLC a partir del procesador Atmega328 con pocos recursos y a un precio aceptable , los puntos positivos del PLC desarrollado serán que puede ser programado por casi cualquier persona con un mínimo conocimiento de programación al ser programable en C y C++ , el software de programación será gratuito , al tratarse de Arduino IDE hay una infinidad de librerías desarrolladas para utilizar en este dispositivo a la vez que hay una gran cantidad de información en internet sobre programación en este software.

Para realizar los módulos de expansión se podrían basar en las placas desarrolladas (placa entradas para modulo entradas y placa salidas para modulo salidas) y el único cambio que se debería de hacer sería la colocación de unos pines de entrada de la línea de datos y línea de alimentación y unos pines para salida también para ambas líneas, con estos cambios ya tendríamos todas las expansiones que necesitamos para el PLC.

Bibliografía.

- <http://www.exelweiss.com/blog/521/lenguajes-de-programacion-mas-populares-2008/>
Estudio sobre lenguajes de programación más populares
- <https://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C> *Información en general e historia de I2C.*
- <https://teslabem.com/nivel-intermedio/fundamentos/> *Funcionamiento I2C*
- Datasheet ATmega328 *Manual ATmega328*

ANEXO 1: Cálculos Justificativos

Cálculos justificativos circuito entradas.

Calculo de resistencia para selección de voltaje de entrada:

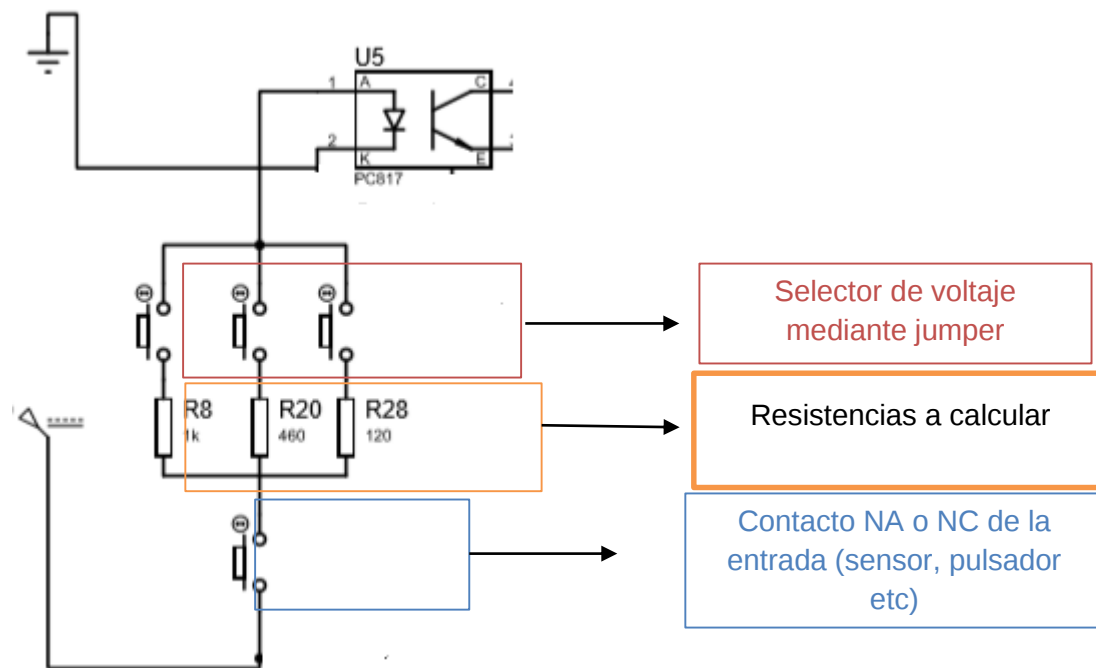


Figura 45 Circuito selector voltaje para entradas

Analizando los circuitos independientemente, cerrando un contacto en cada ejemplo nos quedan los siguientes circuitos:

Entradas de 24V:

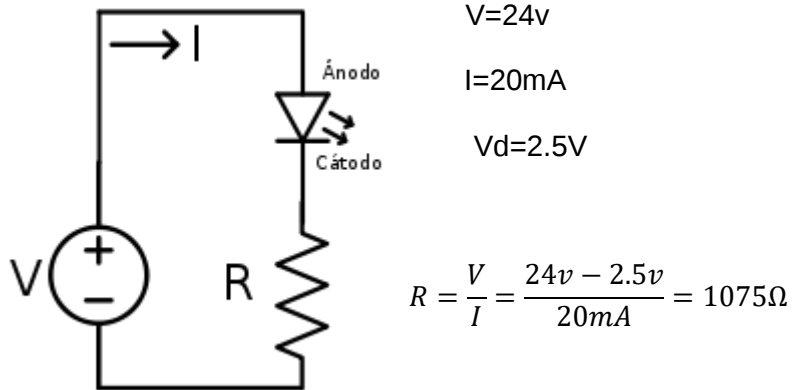


Figura 46 Circuito individual selección entradas.

Se usará la resistencia comercial de $1k\Omega$ en la que
Pasaría una intensidad de 21.5mA por el led.

Entradas de 12V:

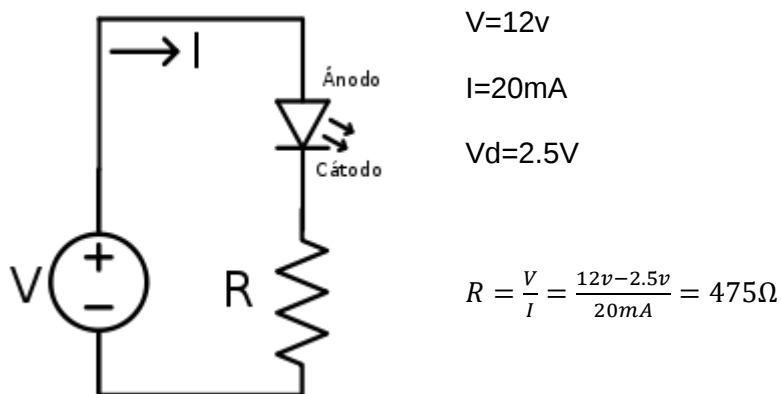


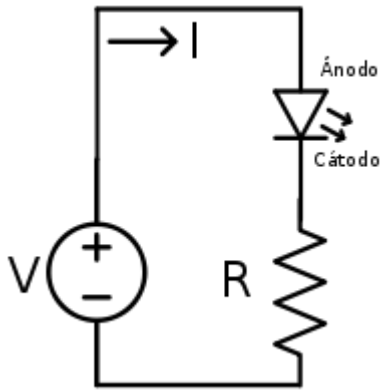
Figura 47 Circuito individual selección entradas.

Se usará la resistencia comercial de 460Ω en la que

ANEXO 1: Cálculos Justificativos

Pasaría una intensidad de 20.6mA por el led.

Entradas de 5V:



$$V=5v$$

$$I=20mA$$

$$V_d=2.5V$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5v-2.5v}{20mA} = 125\Omega$$

Figura 48 Circuito individual selección entradas.

Se usará la resistencia comercial de 120Ω en la que

Pasaría una intensidad de 20.8mA por el led.

Cálculos justificativos circuito de salidas

Circuito para funcionamiento switch con mosfet.

Circuito interruptor:

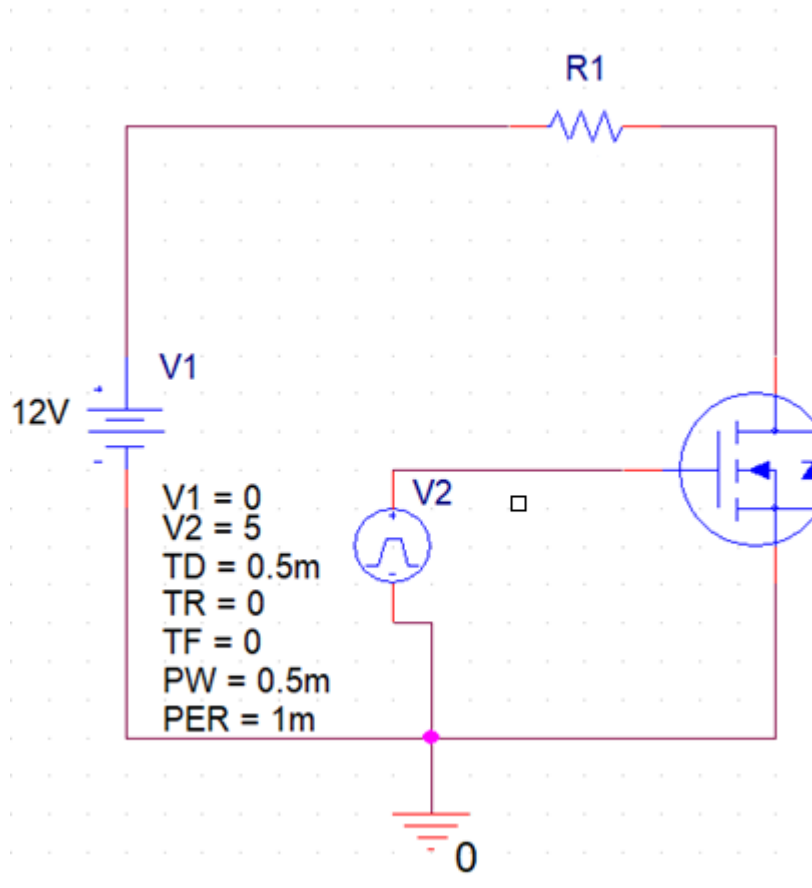


Figura 49 Circuito polarización transistor.

En la puerta del transistor se conecta una tensión pulsada entre 0 V y 5V.

Tensión continua V1 de 12V conectada al drenador a través de la resistencia de polarización R1.

Características del Transistor MOS:

$$k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}^2$$

$$V_t = 4 \text{ V}$$

Analizando los diferentes casos:

Caso A: V2=5v

Sustituido el transistor por un voltímetro y medimos VGS se puede ver como tenemos polarizado el transistor en este caso.

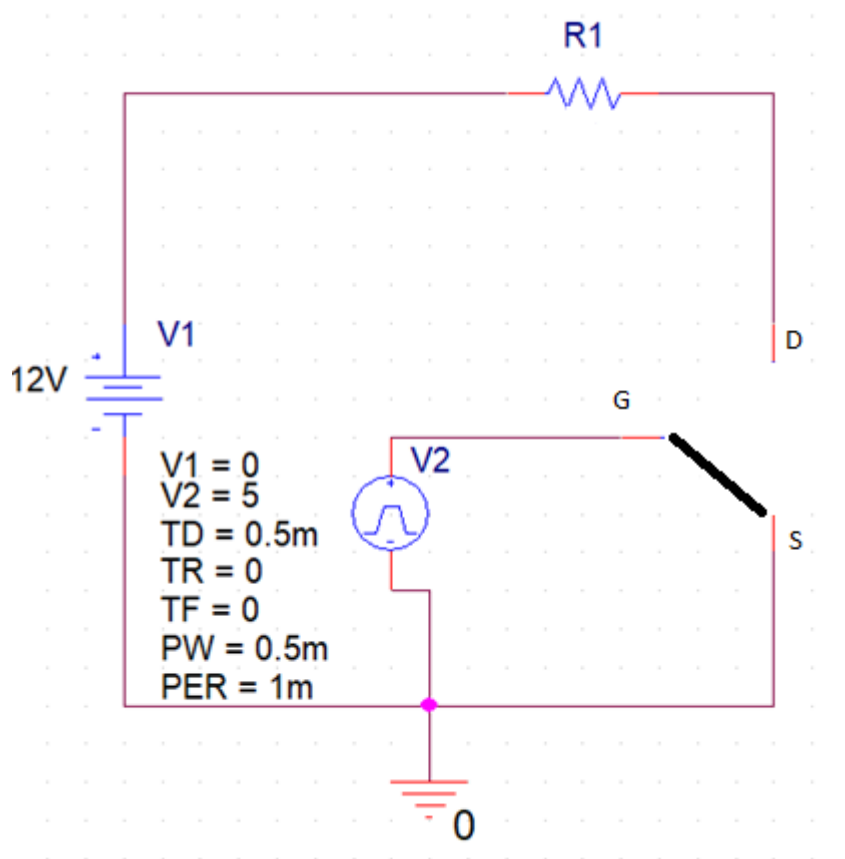


Figura 50 Circuito polarización transistor , sustituyendo transistor por voltímetro leyendo VGS

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

ANEXO 1: Cálculos Justificativos

Se observa que la tensión puerta surtidor es igual a la tensión aplicada en puerta, es decir a V_2

$$V_{GS} = V_2 = 5V$$

Como V_{GS} es mayor que V_t sabemos que el transistor puede estar en zona trío o zona de saturación

Suponemos saturación y sustituimos por su modelo equivalente en saturación

Modelo equivalente en saturación:

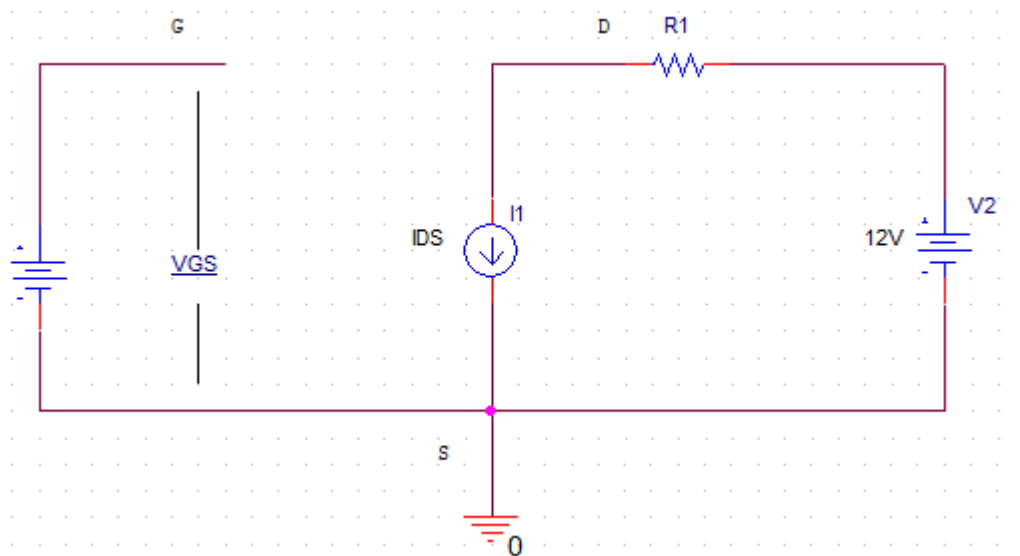


Figura 51 Circuito polarización modelo equivalente saturación.

Se calcula la intensidad drenador- surtidor a partir de su fórmula:

$$I_{DS} = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} (5 - 4)^2 = 1mA$$

Se sabe que la tensión de salida ha de ser menos que la tensión puerta-surtidor menos tensión umbral (V_t) para evitar estar en saturación.

ANEXO 1: Cálculos Justificativos

$$V_{out} = V_{DS} = V_1 - I_{DS} * R_1$$

$$V_{DS} < (V_{GS} - V_t)$$

Por lo que la tensión de salida ha de ser menos a 1V (5-4)

Calculamos una R1 que cumpla esta condición

$$1v = 12v - 1mA * R1$$

$$R_1 = \frac{11V}{1mA} = 11k\Omega$$

La resistencia para no estar en la zona saturación ha de ser mayor a 11kΩ por lo que usaremos el valor comercial de 12kΩ.

Se calcula la potencia máxima que disipara esta resistencia para elección de resistencias a la hora de montaje del circuito:

$$P = I^2 \cdot R = 0.012W$$

Como ya se sabe que no estamos en zona saturación trabajaremos con el modelo equivalente en zona tródo.

Modelo equivalente zona de funcionamiento tródo:

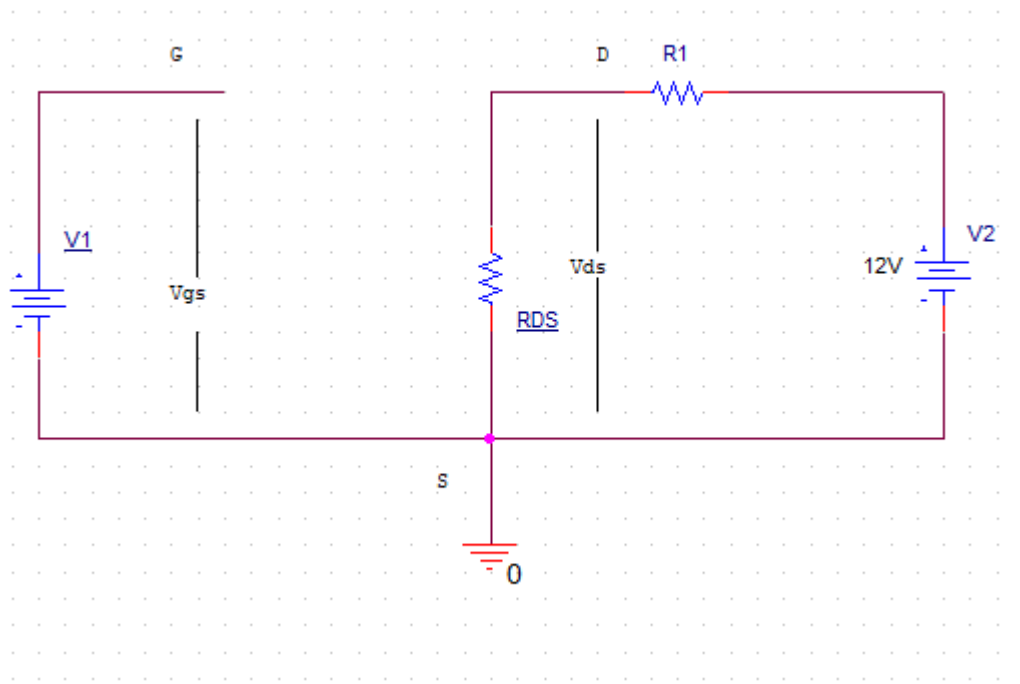


Figura 52 Circuito polarización transistor modelo equivalente trío.

La tensión puerta surtidor sigue siendo la misma:

$$V_{GS} = 5V$$

Calculando el valor de resistencia R_{DS}

$$R_{DS} = \frac{1}{k \cdot (V_{GS} - V_t)} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}(5 - 4)} = 500\Omega$$

Conociendo el valor de esta resistencia ya podemos calcular por las leyes de Kirchhoff aplicando nudos en la malla que queda formada:

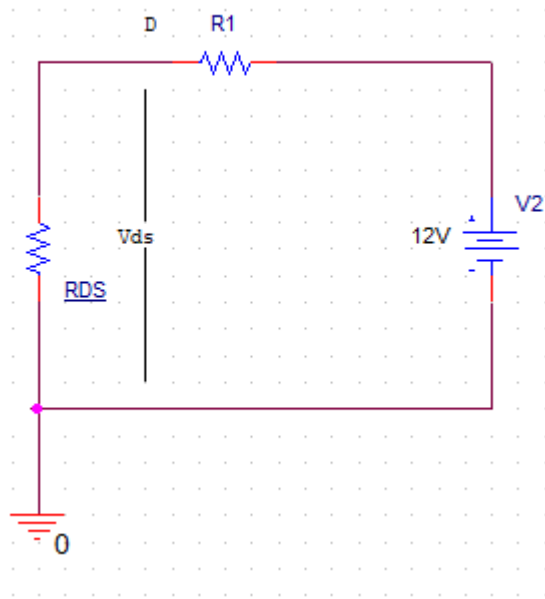


Figura 53 Malla formada por R_{DS} , R_1 y V_2 (en Circuito polarización en modelo trío)

$$I_{DS} = \frac{V_1}{(R_D + R_{DS})} = \frac{12V}{12.5k\Omega} = 0.9mA$$

Teniendo la I_{DS} que pasa ya podemos saber la tensión de salida.

$$V_{out} = R_{DS} \cdot I_{DS} = 0.45V$$

Por lo que se puede concluir que con una resistencia de polarización (R_1) con un valor de 12k en el caso A tensión de pulso igual a 5V obtenemos una tensión de salida de 0.45V.

-Caso B: $V_2 = 0V$

Igual que en el caso A lo primero que debemos de hacer es medir la tensión puerta surtidor:

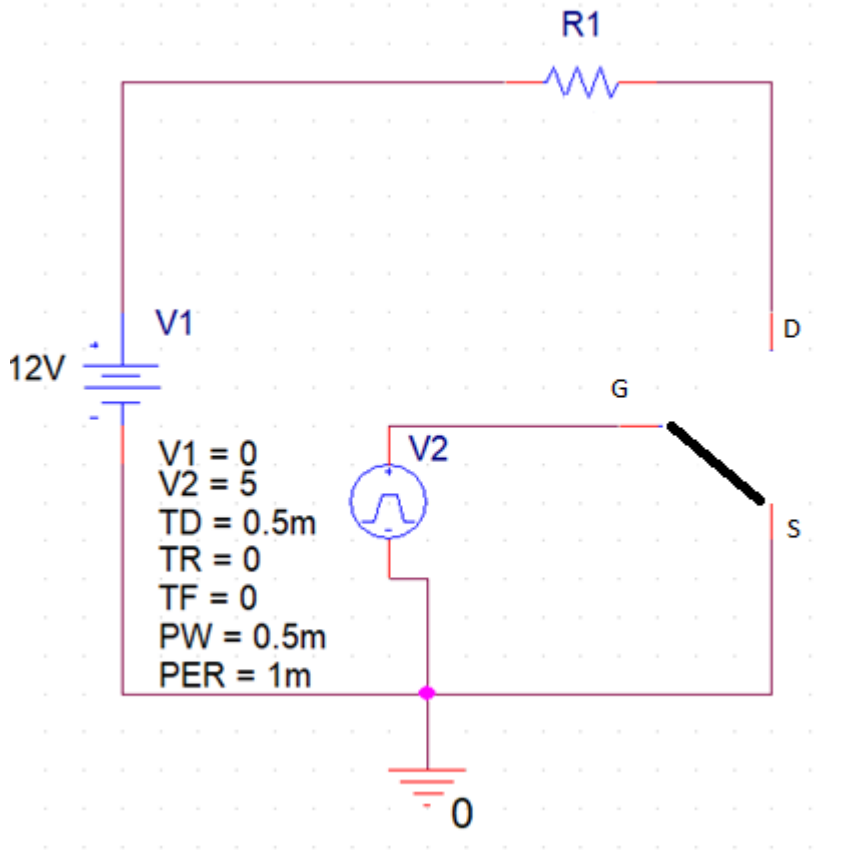


Figura 54 Circuito polarización transistor , sustituyendo transistor por voltímetro leyendo VGS

pero ahora al ser $V2=0V$ la tensión puerta surtidor es de $0V$

$$V_{GS} = 0V$$

$$V_{GS} < V_t$$

Al ser la tensión puerta surtidor de $0V$ se cumple que la tensión es menor que la tensión umbral del transistor por lo que tenemos que estar en la zona de corte.

Para trabajar en zona de Corte se desarrolla el equivalente en esta zona:

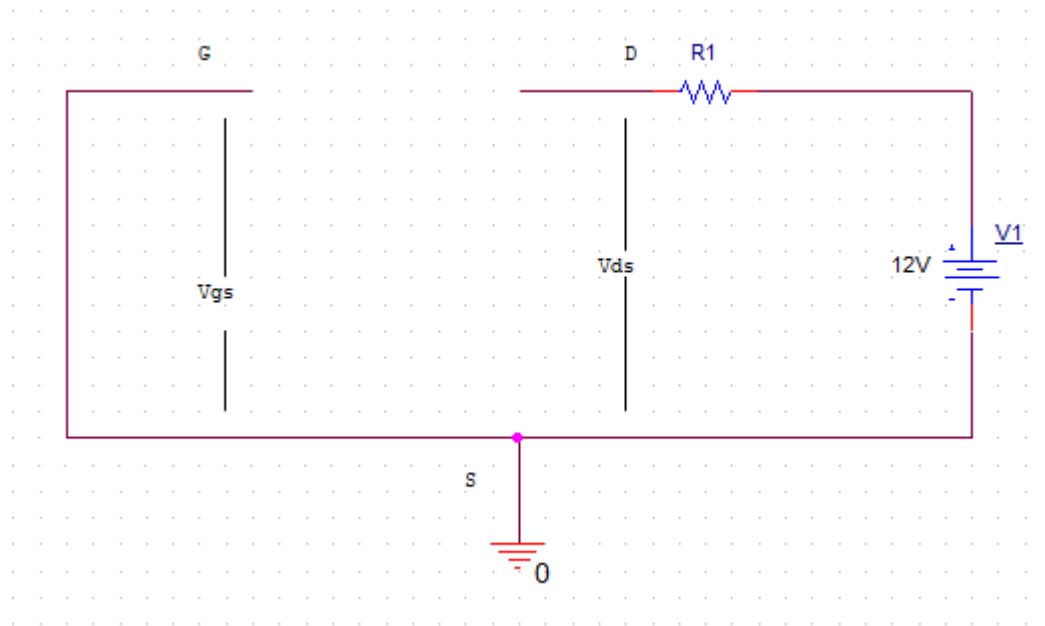


Figura 55 Circuito polarización transistor , en su equivalente en zona de corte.

Directamente vemos:

la tensión puerta surtidor es 0V $V_{GS} = 0V$

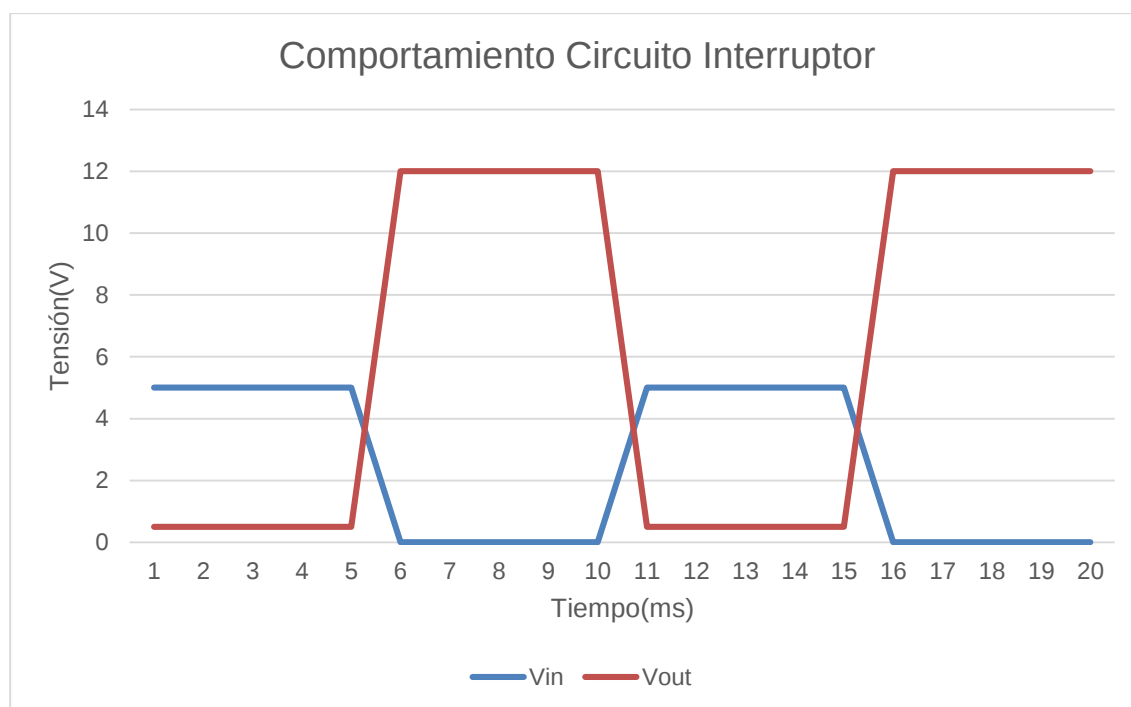
la intensidad drenador surtido es 0A $I_{DS} = 0mA$

por lo que la tensión de salida V_{out} será igual a la tensión V1

$$V_{out} = V_{GS} = 12V$$

Por lo que finalmente igual que en la simulación queda que el régimen de trabajo del circuito sería el siguiente:

ANEXO 1: Cálculos Justificativos



Nota: Es una gráfica a modo de ejemplo, los tiempos de subida y bajada no se corresponden con los tiempos reales de cambio de tensión del transistor.

ANEXO 2 : Simulaciones.

Simulación placa de entradas:

4.2 Simulación del módulo de entradas

En esta simulación se comprobará que las entradas del circuito de entradas son leídas por el arduino(ATmega328) correctamente, para esto lo que haremos es un programa que escriba el valor del byte de entradas a través del puerto serie, todo esto simulado en Proteus.

El programa usado es el siguiente:

```
#define DIRECCION_PCF8574 32 // 0B01000000
#define DIRECCION_PCF8574A 64 // 0B01000000

#include <Wire.h>

const byte interruptPin = 3;
//En la variable lectura guardamos lo leído a través del bus I2c
byte lectura=0;
//Valor es el complemento a 1 ya que las entradas llevan lógica negativa y es
el que buscamos representar
byte valor=0;
bool estado=true;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
    pinMode(interruptPin, INPUT);
    // definimos el pin3 como pin para interrupción
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), isr, FALLING );
}

void loop()
{
    /**
     *En el loop haremos que cada vez que estado se encuentra a 1 escribiremos en
    el puerto serie el valor que tiene
    *el puerto de entradas.
    */

    if (estado){
        Wire.requestFrom(DIRECCION_PCF8574,1);
        if(Wire.available())
        {
```

```
    lectura=Wire.read();
    valor=~lectura;
    Serial.println(valor);
    estado=false;

}
}
}
void isr(){
    /**
     *Cada vez que estamos en la interrupción ponemos el valor estado a 1, a esta
    interrupción entraremos cada vez
     *que se produzca un cambio en las entradas, ya que el interruptPin lo hemos
    asociado a pin INT de PCF8574
     */
    estado=true;

}
```

cargando este programa al arduino de nuestro circuito "circuito para entradas" y conectamos un "virtual terminal" para leer los datos del puerto serie , se pueden ir activando las entradas y observar como el valor mostrado en el puerto serie va cambiando correctamente.

Haciendo la serie de activación de las entradas de menos significativa a más significativa y desactivar de más significativa a menos significativa.

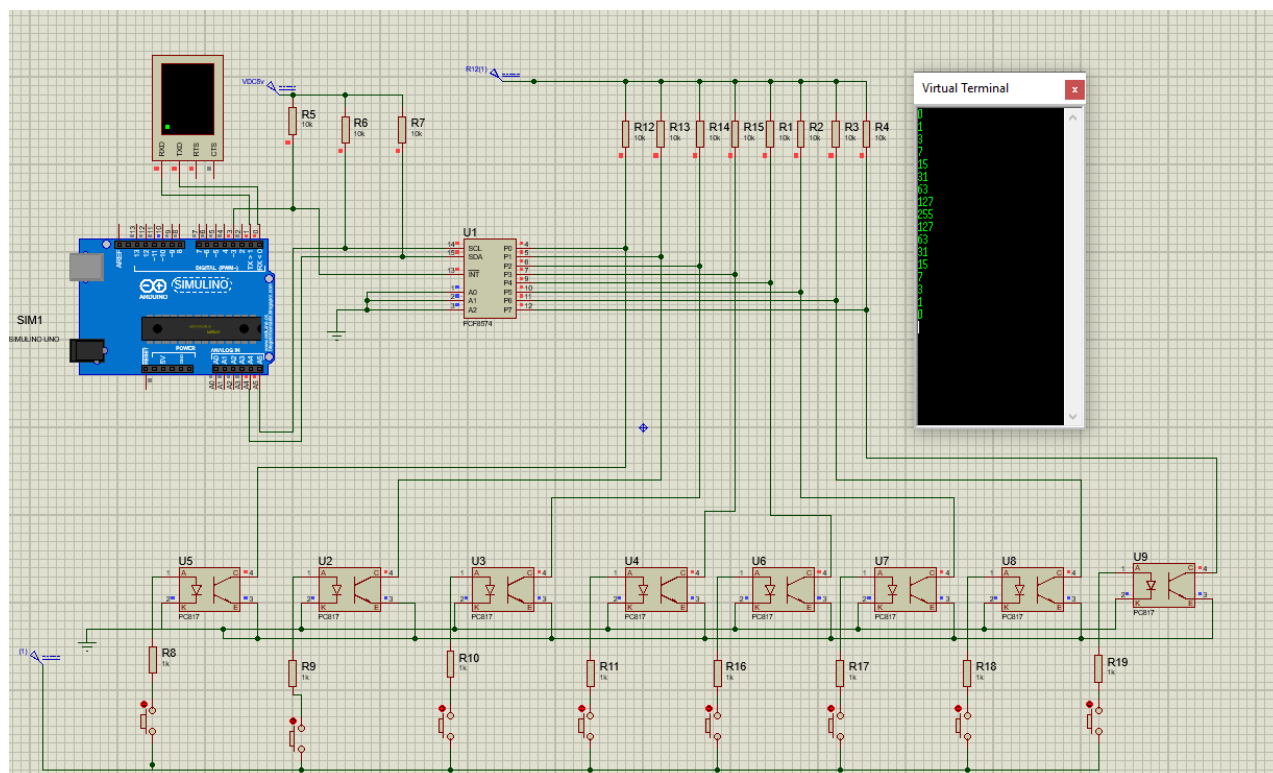


Figura 56 Circuito entradas + Arduino + Virtual terminal conectado para simular

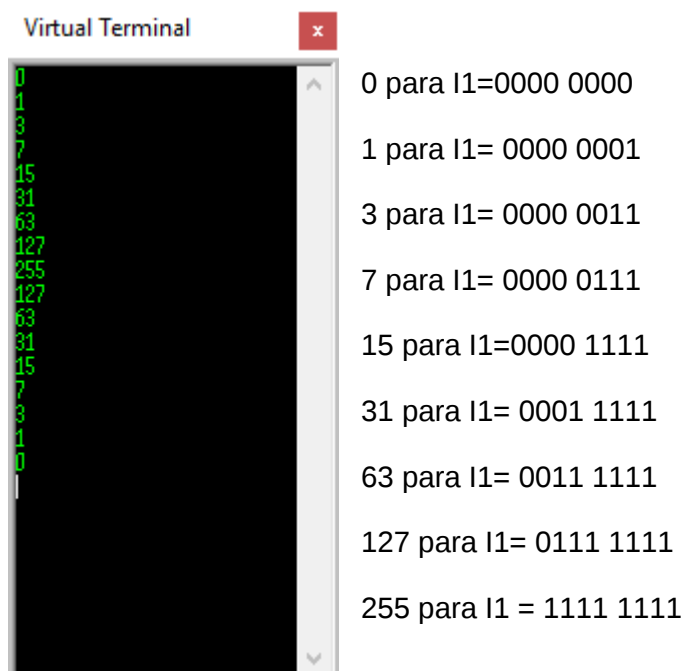


Figura 57 resultado mostrados en virtual termina en simulación circuito entradas

Por lo que se puede afirmar que con este circuito tenemos un correcto control de las entradas de 24v (Estándar en automática) a través del bus I2C del arduino.

Simulación placa salidas.

■ Circuito MOSFET

Nota: Como el transistor utilizado para nuestro proyecto no se encuentra en las librerías de Orcad ni en las librerías de Proteus utilizamos uno de características similares para esta simulación.

Lo primero a simular es el funcionamiento del circuito creado para que el transistor MOSFET trabaje como switch.

El circuito a simular es el siguiente:

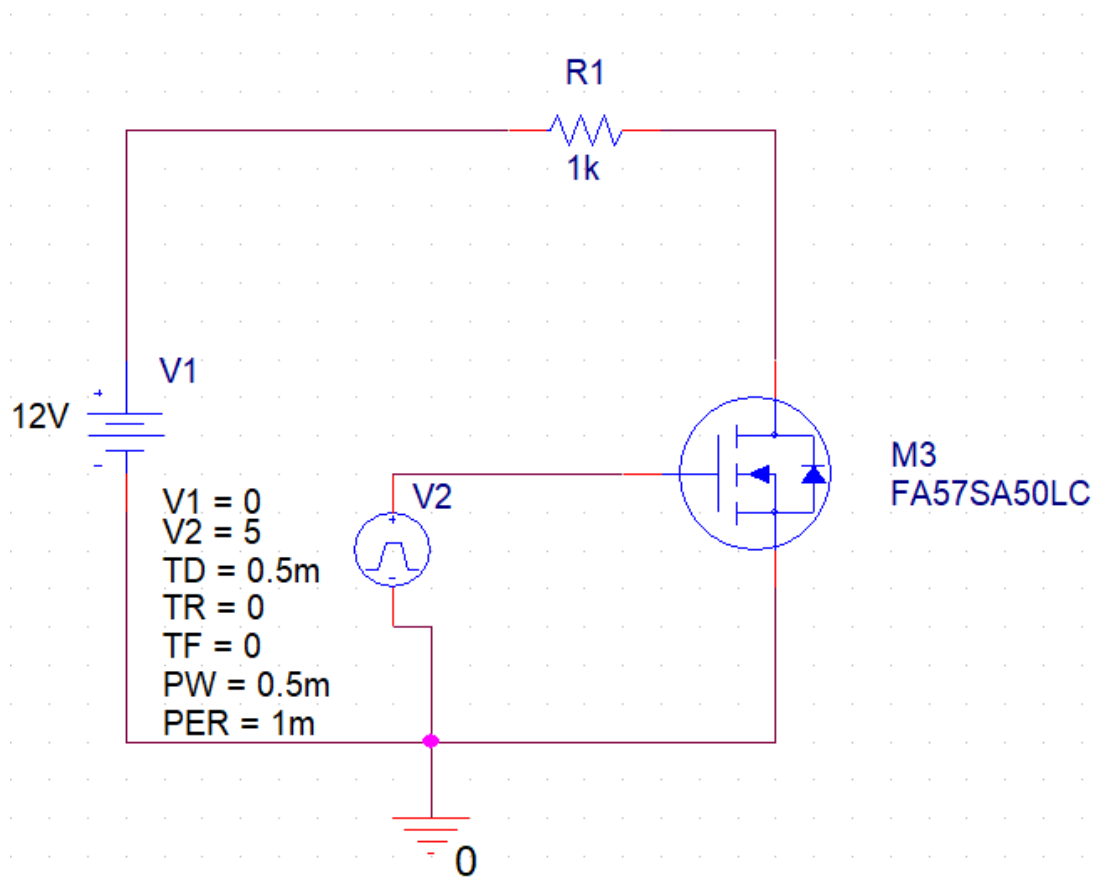


Figura 58 Circuito polarización transistor para simulación.

ANEXO 2 : Simulaciones.

Observamos como a la puerta del transistor se a coenctado conectado una fuente pulse que hace pulsos de 0.5ms a 5V o 0.5ms a 0V , en el circuito completo de la placa de entradas esta señal pulse será sustituida por un pulso que nos aportara PCF8574.

Simulamos y analizamos el resultado aportado por la simulación:

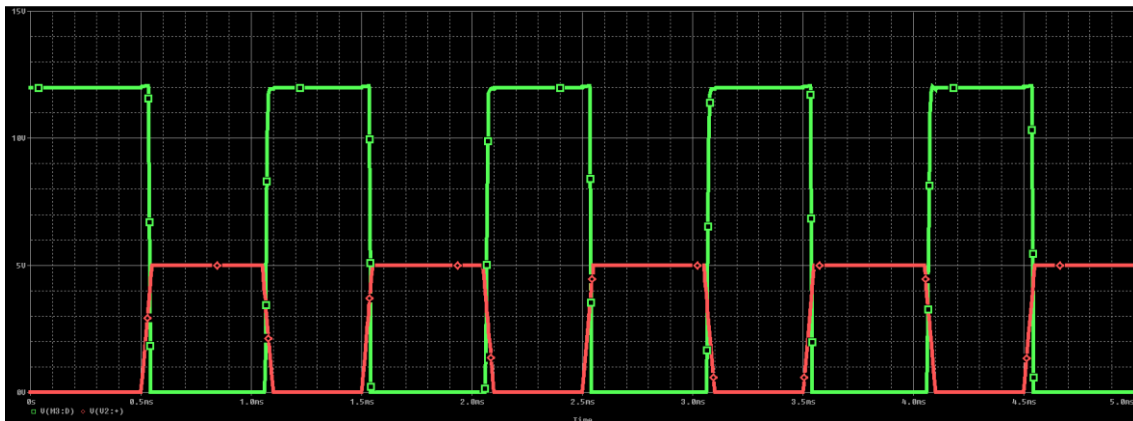


Figura 59 Grafica obtenida en simulación transistor modo switch

La línea verde representa la “salida del circuito” es decir , estamos midiendo entre drenador y surtidor y la línea roja representa el voltaje en la puerta del transistor.

El funcionamiento del circuito es correcto, solo hay que tener en cuenta que se trabaja con lógica inversa.

V_{Gate}	V_{D-s}
0V	15V
5V	0V

ANEXO 3: Selección de componentes.

Selección componentes placa de entradas:

Una vez que conocido cual va a ser el esquema del circuito de entradas, se hace la elección de los componentes físicos que se van a usar, la elección se basa en varias características para decidir cuál será el mejor componente a elegir entre los disponibles, algunas de estas características son precio, disponibilidad, tamaño, facilidad de montaje etc.

■ PCF8574

Se oferta una gran variedad de chips por varios fabricantes a un precio similar y con unas características de funcionamiento muy similares o casi iguales por lo que a la hora de decidir que chip es el que usaremos en nuestro sistema de entradas será la forma física de este.

Al ver lo que nos ofrecen los fabricantes hacemos una preselección y quedan seleccionados con los siguientes modelos:

PCF8574AT/3,518

Número de pieza de Digi-Key	568-1074-1-ND
Fabricante	NXP USA Inc.
Número de pieza del fabricante	PCF8574AT/3,518
Descripción	IC I/O EXPANDER I2C 8B 16SOIC
Plazo estándar del fabricante	12 semanas
Descripción detallada	Expansores de E/S 8 I ² C 100kHz 16-SO

PCF8574AN

Número de pieza de Digi-Key	296-13106-5-ND
Fabricante	Texas Instruments
Número de pieza del fabricante	PCF8574AN
Descripción	IC I/O EXPANDER I2C 8B 16DIP
Plazo estándar del fabricante	6 semanas
Descripción detallada	Expansores de E/S 8 I ² C 100kHz 16-PDIP

PCF8574APWR

Número de pieza de Digi-Key	296-13107-1-ND
Fabricante	Texas Instruments
Número de pieza del fabricante	PCF8574APWR
Descripción	IC I/O EXPANDER I2C 8B 20TSSOP
Plazo estándar del fabricante	6 semanas
Descripción detallada	Expansores de E/S 8 I ² C 100kHz 20-TSSOP

ANEXO 3: Selección de componentes.

- Comparativa económica:

Primero se comparará precio de adquisición de los siguientes chips , todos estos datos son proporcionados por el vendedor digikey, todos los precios son en euros y sin iva incluido.

PCF8574AT/3,518		PCF8574AN		PCF8574APWR	
Escala de precios	Precio unitario	Escala de precios	Precio unitario	Escala de precios	Precio unitario
1	1,31	1	1,14	1	1,16
10	1,169	10	1,018	10	1,037
25	1,1096	25	0,9666	25	0,984
100	0,8519	100	0,7416	100	0,7557
250	0,75288	250	0,6554	250	0,6678
500	0,71324	500	0,62088	500	0,63266

Por motivos puramente económicos decidimos eliminar el chip ofrecido por el fabricante NXP ISA (PCF8574AT/3,518) ya que en comparación de precios este oscila en un 15% mas caro que los otros dos componentes preseleccionados que tienen un precio muy similar.

- Comparativa por forma componente

Se comparará los dos Chips que nos quedan en cuanto a su forma y cuál de estos nos será más útil a la hora del diseño de nuestra PCB.

PCF8574AN su forma es un estándar 16-DIP (0.300", 7.62mm), el fabricante nos aporta un plano completo del formato en la hoja de características del producto:

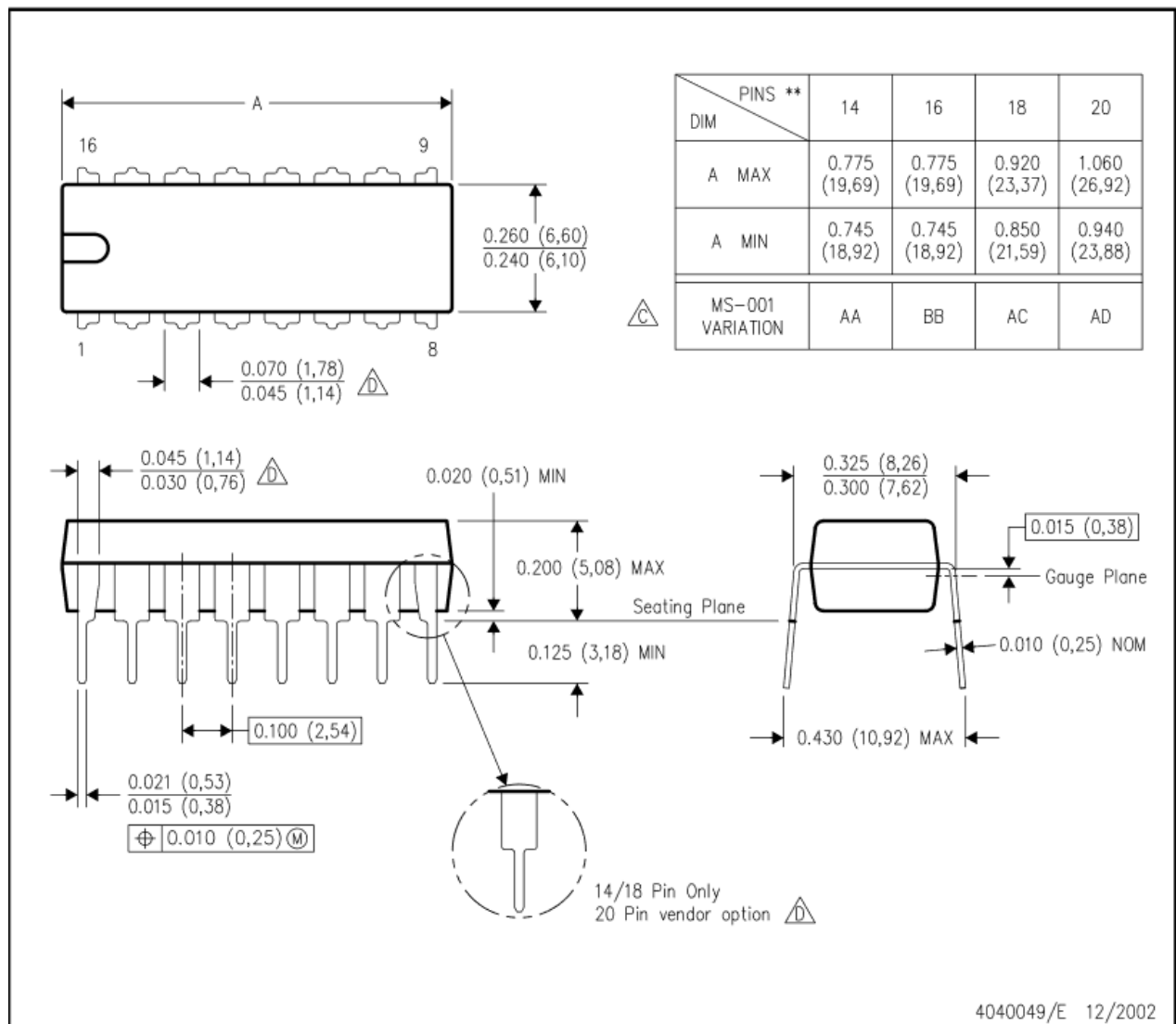


Figura 60 Formato 16-DIP (0.300", 7.62mm), en Chip PCF8574AN.

Este tipo de empaquetado es un empaquetado muy común, pero es necesario para su utilización hacer un taladro por cada patilla, es decir 16 taladros lo que haría que el tiempo de producción de la PCB se viese aumentado lo que aumentaría el precio de esta al encargar su fabricación a un fabricante externo.

PCF8574APWR su formato es el estándar SOIC - 2.65 mm el fabricante nos aporta los siguientes datos en su hoja de características:

ANEXO 3: Selección de componentes.

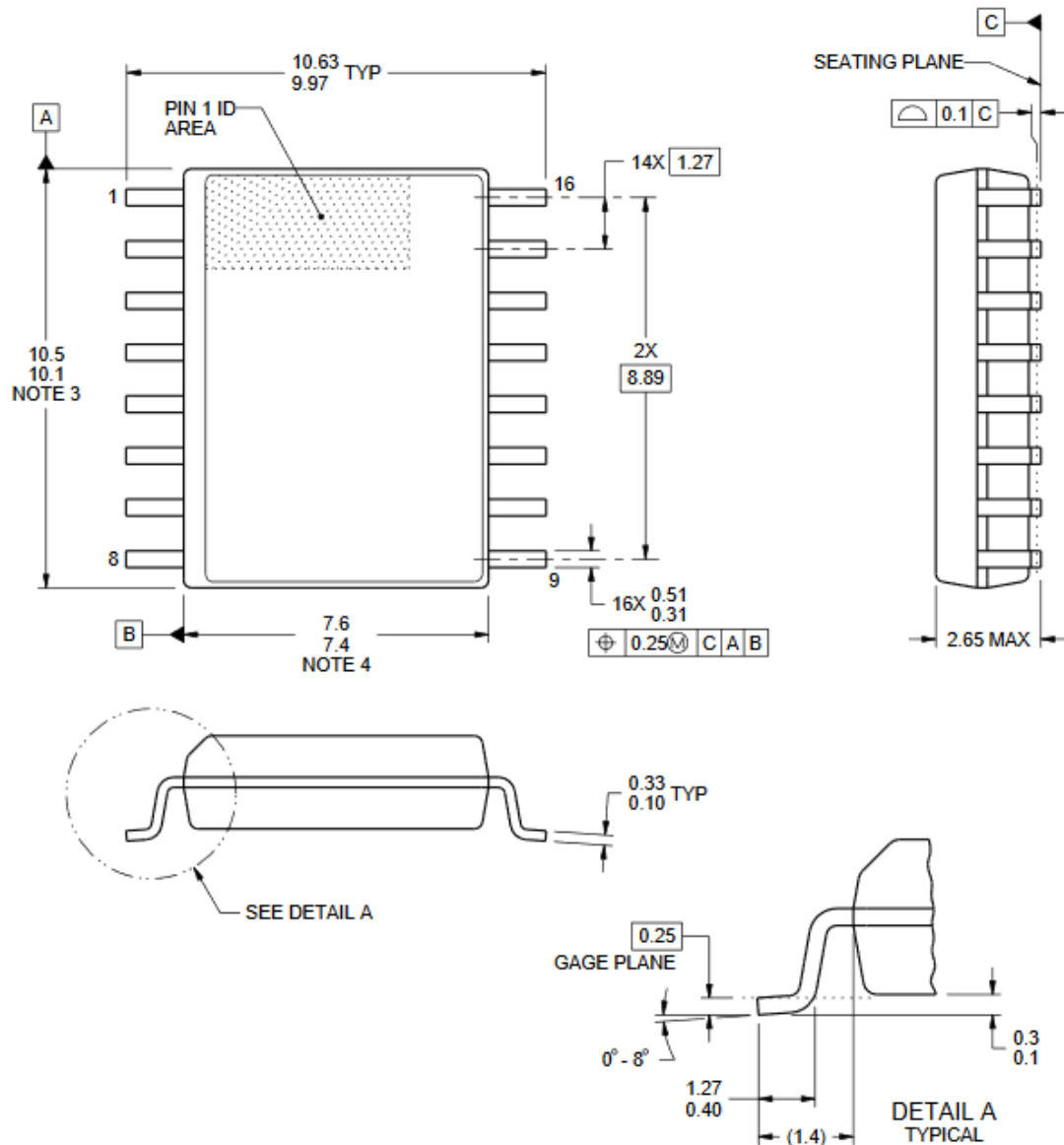


Figura 61 Formato SOIC - 2.65 mm en chip PCF8574APWR .

Se trata de un componente tipo SMD por lo que no sería necesario la perforación de la placa para la incorporación de este CHIP , por este motivo seleccionamos este Chip como nuestro dispositivo PCF8574 para el circuito de entradas.

Finalmente el Chip seleccionado para la funcionalidad de PCF8574 es el PCF8574APWR del fabricante Texas instrument , este chip tiene una muy alta disponibilidad además de un precio competitivo y lo que finalmente nos hizo tomar este decisión es su formato, ya que este esta diseñado para montaje superficial.

■ OPTOACOPLADOR

En cuanto a optoacopladores se tienen un sinfín de posibilidades ya que además de las grandes posibilidades de elección según lo que nos ofrecen los distintos fabricantes tenemos la posibilidad de usar un chip optoacoplador de 1,2,3 o 4 canales.

La primera decisión que se se debe de tomar es de cuantos canales vamos a usar los chips, esto va a ser una decisión puramente económica ya que problemas de espacio en la PCB no tenemos y se podrían usar 16 optoacopladores de un canal (ocuparían un máximo espacio) o 4 optoacopladores de 4 canales (ocuparían mínimo espacio).

Basándonos en los precios medios que nos ofrecen los fabricantes tenemos las siguientes opciones:

- Configuración con 8 optoacopladores de 1 canal, el precio estaría entre a 7€ y 10 €.
- Configuración 4 optoacopladores de 2 canales, el precio estaría entre 14 € y 16 €.
- Configuración 2 optoacopladores de 4 canales , el precio rondaría los 15 €.

Por lo que la configuración más económica es la utilización de 16 opto acopladores de 1 canal.

Una vez comenzamos a diseñar la distribución del circuito vemos que no tenemos problemas de espacio por lo que podemos optar por la opción más económica de 8 optoacopladores de 1 canal.

El optoacoplador seleccionado es el **HCPL-181-00BE** ya que económicamente es muy competitivo, tiene un package para montaje y superficial y además este optoacoplador esta diseñado para cumplir la función de I/O por lo que las características se juntan perfectamente a lo que necesitamos.

Tiene un tiempo de respuesta bajo, siendo la media del tiempo de respuesta de 4 μ s.

Especificaciones electrónicas HCPL-181-00BE a 25°C:

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
Forward Voltage	V_F	—	1.2	1.4	V	$I_F = 20 \text{ mA}$
Reverse Current	I_R	—	—	10	μA	$V_R = 4\text{V}$
Terminal Capacitance	C_t	—	30	250	pF	$V = 0, f = 1 \text{ kHz}$
Collector Dark Current	I_{CEO}	—	—	100	nA	$V_{CE} = 20\text{V}$
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV_{CEO}	80	—	—	V	$I_C = 0.1 \text{ mA}, I_F = 0$
Emitter-Collector Breakdown Voltage	BV_{ECO}	6	—	—	V	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_F = 0$
Collector Current	I_C	2.5	—	30	mA	$I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5\text{V}$
Current Transfer Ratio ^a	CTR	50	—	600	%	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	—	—	0.2	V	$I_F = 20 \text{ mA}, I_C = 1 \text{ mA}$
Response Time (Rise)	t_r	—	4	18	μs	$V_{CC} = 2\text{V}, I_C = 2 \text{ mA}$
Response Time (Fall)	t_f	—	3	18	μs	$R_L = 100\Omega$
Isolation Resistance	R_{iso}	5×10^{10}	1×10^{11}	—	Ω	DC 500V, 40% ~ 60% RH
Floating Capacitance	C_f	—	0.6	1.0	pF	$V = 0, f = 1 \text{ MHz}$

ANEXO 3: Selección de componentes.

Package de HCPL-181-00BE: El fabricante nos ofrece el siguiente plano en la hoja de características:

HCPL-181-000E

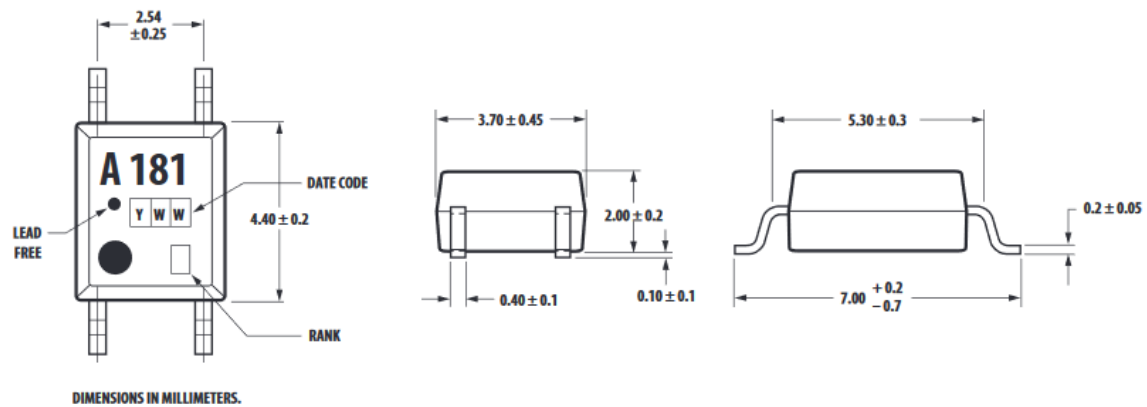


Figura 62 HCPL-181-00BE dimensiones y forma del package.

Escala de precios de HCPL-181-00BE en digikey.

ESCALA DE PRECIOS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	0,48000	0,48 €
10	0,36800	3,68 €
100	0,23590	23,59 €
500	0,20282	101,41 €
1.000	0,15660	156,60 €

■ Jumper

Para la elección de voltaje de la entrada, se hará la selección mediante jumper, como la tensión y corriente que van a pasar por ellos no es muy elevada nos va a servir casi cualquiera así que la decisión de qué tipo de jumper elegir será por motivos de disponibilidad del componente y comodidad a la hora de trabajar con este.

- Conector hembra

El tipo de conector elegido es el 390088-2:



390088-2

Número de pieza de Digi-Key	390088-2-ND
Fabricante	TE Connectivity AMP Connectors
Número de pieza del fabricante	390088-2
Descripción	CONN SHUNT DUAL BEAM 15AU PCB
Plazo estándar del fabricante	16 semanas
Descripción detallada	2 (1 x 2) Conector de derivación de posiciones Negro Parte superior abierta 0.100" (2.54mm) Oro

Figura 63 Encabezado de 390088-2 en digikey

ANEXO 3: Selección de componentes.

Los precios de los conectores 390088-2 quedan establecidos en la siguiente tabla:

ESCALA DE PRECIOS	PRECIO UNITARIO
10	0,60100
30	0,56600
50	0,54260
100	0,51900
250	0,47184
500	0,42464
1.000	0,37747
2.500	0,34208
5.000	0,33028

El fabricante proporciona las siguiente medidas de los conectores:

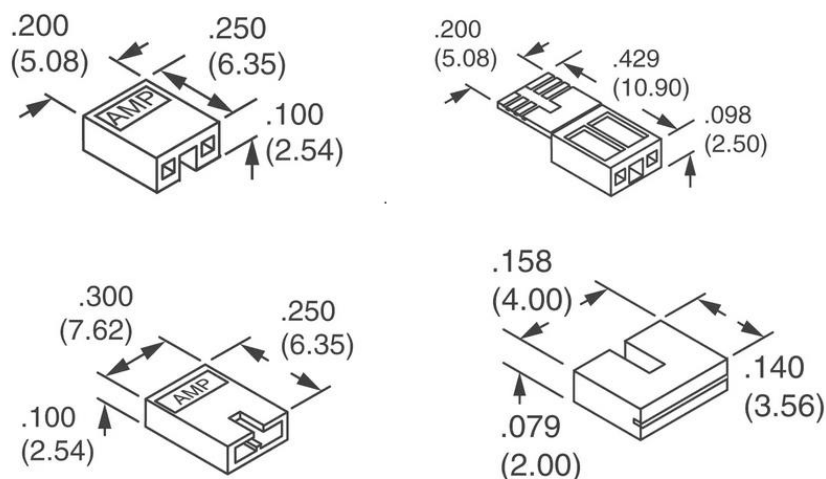


Figura 64 medida de los conectores 390088-2

- Conector clavija macho:

Se buscará un conector que se adapte al paso del conector hembra, es decir 0.100”(2.54mm).

El conector que usaremos en la placa de entradas finalmente será el conector 87224-3



87224-3

Número de pieza de Digi-Key	A26545-ND
Fabricante	TE Connectivity AMP Connectors
Número de pieza del fabricante	87224-3
Descripción	CONN HEADER VERT 3POS 2.54MM
Plazo estándar del fabricante	21 semanas
Descripción detallada	Cabezal de conector Orificio pasante 3 posiciones 0.100" (2.54mm)

Figura 65 Encabezado de 87224-3 en digikey

Los precios de los conectores 87224-3 quedan establecidos en la siguiente tabla:

ESCALA DE PRECIOS	PRECIO UNITARIO
1	1,07000
10	0,93900
100	0,80990
500	0,66268
1.000	0,58905
5.000	0,51542
10.000	0,48965

■ Resistencias:

Para las resistencias de la fase de acondicionamiento de señal(120Ω,460Ωy1kΩ) se usan resistencias en función de la caída de tensión, que hace que la potencia que disipa sea mayor. No utilizamos resistencias de montaje superficial ya que estas no están diseñadas para soportar la disipación de una gran potencia.

ANEXO 3: Selección de componentes.

La resistencia que más caída potencia ha de disipar es la de $1k\Omega$ que disipa una potencia de 0.05 W , por lo que usando resistencias de 0.25W no tendremos problema ninguno por sobrecalentamiento de estas.

Resistencia $1k\Omega$: Se utilizarán el modelo CF14JT1K00 del fabricante Stackpole Electronics.

Resistencia 460Ω : Se utilizarán el modelo CF14JT470R del fabricante Stackpole Electronics.

Resistencia 120Ω : Se utilizarán el modelo CF14JT120R del fabricante Stackpole Electronics.

El fabricante nos aporta el siguiente plano con las dimensiones de las resistencias de esta serie:

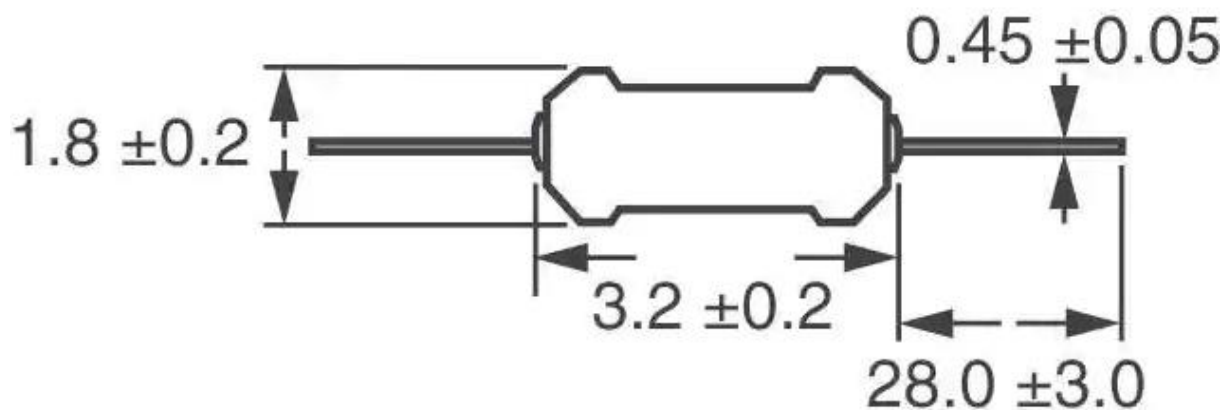
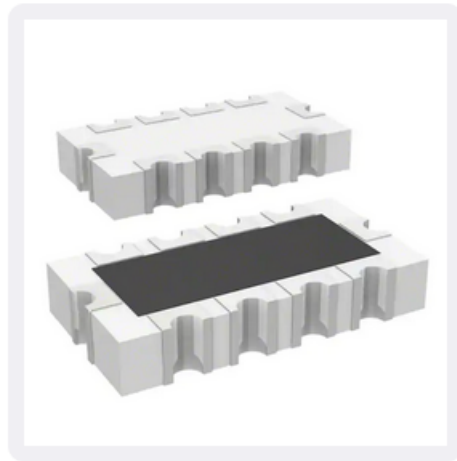


Figura 66 Resistencias de la serie CF14J forma y dimensión

Resistencias pull-up: en un principio SE PLANTEÓ la utilización de resistencias de montaje superficial, o ya que la intensidad que va a pasar por ellas es mínima por lo que la potencia que disipa también es mínima. Encontrado un modelo que se ajusta a nuestras necesidades CAT25-103JALF, pero finalmente es descartada la idea porque la forma que tienen estos arrays de resistencias hacia que el diseño en la placa de circuito fuese imposible de realizar en una cara.



CAT25-103JALF

Número de pieza de Digi-Key	CAT25-103JALFCT-ND
Fabricante	Bourns Inc.
Número de pieza del fabricante	CAT25-103JALF
Descripción	RES ARRAY 8 RES 10K OHM 1608
Plazo estándar del fabricante	14 semanas
Descripción detallada	10k Ohm $\pm 5\%$ 62.5mW Potencia por elemento Conductor común Redes de resistencias, matrices $\pm 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 1608, cóncavo, terminales de lado largo

Figura 67 Array resistencias CAT25 datos básicos

Una vez descartado el montaje de un array de resistencia de montaje superficial, se opta por resistencia de orificio pasante individuales.

Resistencia 10k Ω : Utilizaremos el modelo CF14JT10K0 del fabricante Stackpole Electronics.

■ Conectores:

La función de los conectores es la conexión de los elementos exteriores a la placa con los elementos internos de la placa, debemos de buscar unos conectores que se adapten por espacio a la placa desarrollada, buscaremos que conexión se haga a 180° respecto la tarjeta para que esta quede donde más espacio tenemos libre.

Se busca que estos conectores estén en 2 alturas para poder aprovechar aún más el espacio y para que la conexión de los elementos de medida que conectaremos posteriormente sea lo más cómoda posible.

Buscando los elementos que cumplen estos 2 requisitos llegamos al conector que oferta el fabricante Phoenix Contact **TERM BLK 8P SIDE ENT 5.08MM PCB** con el numero de fabricante 1726202.

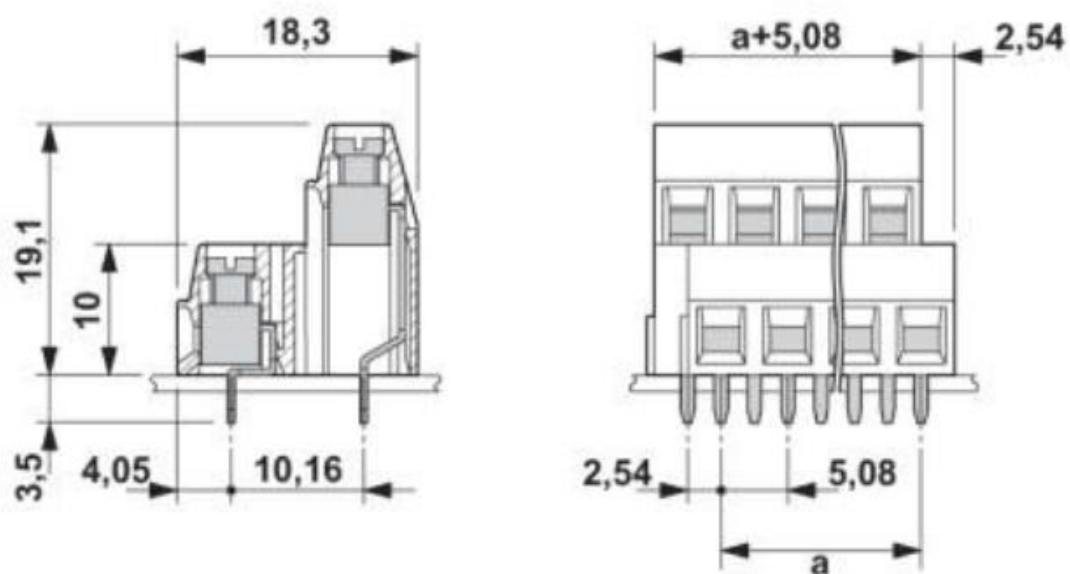


Figura 68 Conector 1726202 forma y dimensiones.

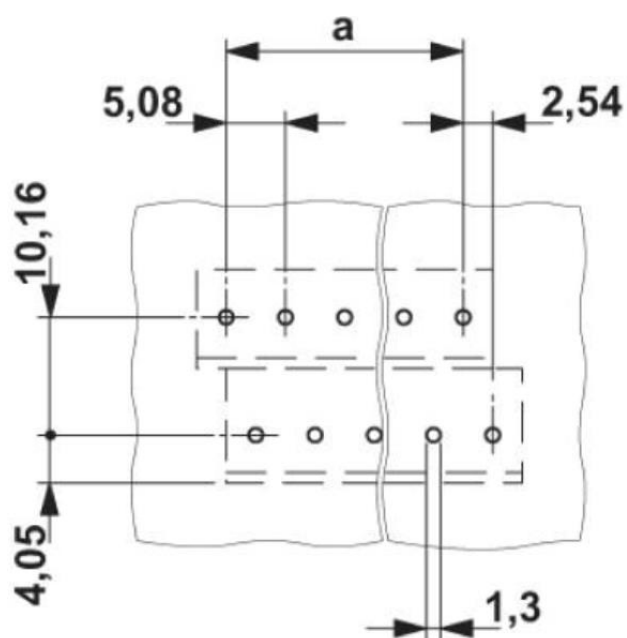


Figura 69 Conector 1726202 distribución taladros para PCB

Selección componentes placa de salidas:

Una vez conocemos el funcionamiento y tenemos diseñado el esquema de salidas se procede con la elección de los componentes que vamos a utilizar para este:

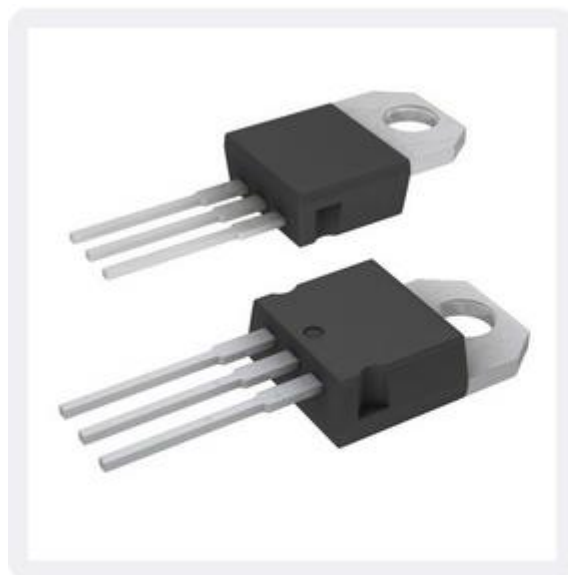
■ PCF8574

Utilizaremos el mismo componente que en la placa de entradas por las mismas razones **PCF8574APWR** su formato es el estándar SOIC - 2.65 mm

■ MOSFET

En transistores Mosfet hay una amplia variedad de elementos , para escoger un elemento que se amolde a la función que va a realizar en este circuito buscamos que puedan disipar una potencia aceptable y que el precio no sea muy elevado.

El elemento escogido es **STP16NF06L** con empaquetado tipo TO-220, este es un buen elemento ya que $I_{D(max)} = 16A$ a 25°C que es el régimen de temperaturas sobre el que trabajara , pero si aumentase la temperatura hasta 100°C la intensidad de drenador máxima solo bajaría a 11A.



STP16NF06L

Número de pieza de Digi-Key	497-2765-5-ND
Fabricante	STMicroelectronics
Número de pieza del fabricante	STP16NF06L
Descripción	MOSFET N-CH 60V 16A TO-220
Plazo estándar del fabricante	12 semanas
Descripción detallada	Canal N Orificio pasante 60V 16 A (Tc) 45W (Tc) TO-220AB

Figura 70 Información básica STP16NF06L

Sus características más importantes se resumen en la siguiente tabla:

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		STP16NF06L	STP16NF06LFP	
V_{DS}	Drain-source Voltage ($V_{GS} = 0$)	60		V
V_{DGR}	Drain-gate Voltage ($R_{GS} = 20 \text{ k}\Omega$)	60		V
V_{GS}	Gate- source Voltage	± 16		V
I_D	Drain Current (continuous) at $T_C = 25^\circ\text{C}$	16	11(*)	A
I_D	Drain Current (continuous) at $T_C = 100^\circ\text{C}$	11	7.5(*)	A
$I_{DM}(\bullet)$	Drain Current (pulsed)	64	44(*)	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_C = 25^\circ\text{C}$	45	25	W
	Derating Factor	0.3	0.17	W/ $^\circ\text{C}$
dv/dt (1)	Peak Diode Recovery voltage slope	23		V/ns
E_{AS} (2)	Single Pulse Avalanche Energy	127		mJ
V_{ISO}	Insulation Withstand Voltage (DC)	-----	2500	V
T_{stg}	Storage Temperature	-55 to 175		$^\circ\text{C}$
T_j	Operating Junction Temperature			

($\bullet$) Pulse width limited by safe operating area.

(*) Current Limited by package's thermal resistance

(1) $I_{SD} \leq 16\text{A}$, $di/dt \leq 210\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$, $T_j \leq T_{JMAX}$.

(2) Starting $T_j = 25^\circ\text{C}$, $I_D = 8\text{A}$, $V_{DD} = 30\text{V}$

■ Resistencias.

Como las resistencias tienen que disipar una potencia de 0.012w se tienen que usar resistencias genéricas capaces de disipar ¼ de W por lo que usamos la misma serie que en la placa de entradas.

Resistencia 12k Ω : Utilizaremos el modelo CF14JT12K0 del fabricante Stackpole Electronics.

■ Pines alimentación y línea de datos.

Al no estar esta placa conectada directamente al arduino debemos de traer la línea de alimentación (5V y GND) y la línea de comunicación (SCL y SDA) de la placa de entradas, estas líneas serán conectadas mediante un cable con conector para pines en los 4 pines puestos en la placa con este objetivo.

Al igual que en la placa de entradas los pines que usamos son **87224-3**

■ Pines alimentación y línea de datos exterior.

Al buscar que el PLC diseñado sea ampliable con módulos de entradas y salida a través de una comunicación I2C debemos de tener unos pines que se quede en la parte externa del PLC para llevar al línea de alimentación (5V y GND) y la línea de datos (SCL y SDA) a los módulos que se conectaran posteriormente, esta línea se encuentra en la placa de salidas:

Los pines que usamos han de estar a 90 grados para una fácil conexión.

Utilizaremos los pines **TIR1X5A14**

Que nos aportan las siguientes dimensiones:

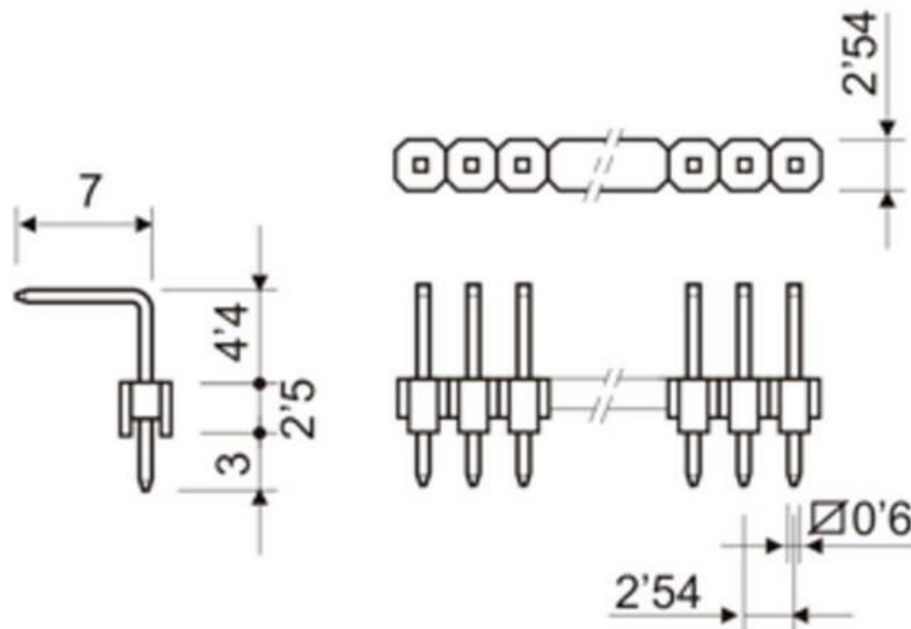


Figura 71 Medidas y dimensiones de TIR1X5A14.

ANEXO 4 : Diseño librería Eagle

Para poder crear los circuitos y PCBs necesarios para las shields es necesario tener los componentes en las librerías, al ser componentes “pocos comunes” no están disponibles en las librerías que incluye el Eagle de manera predeterminada, por lo que se debe de crear una librería con los componentes necesario para nuestros circuitos. Para esto Eagle ofrece la herramienta de creación de librerías.

Las librerías en Eagle son presentas de la siguiente manera:

Device	Footprint	3D Package	Symbol
1726202-CONECTOR	20-TSSOP		1935187
1935187	87224-6		ARRAYDERESISTENCIAS
CAT25-103JALF	1726202		CONECTOR16PIN
HCPL181-000E	CAT25-103		HCPL181-000E
PCF8574APWR	HCPL181-000E		PCF8574
PIN187224-6	PINARDUINO		PIN87224-6
PINARDUINO	PINESJUMPERVERTICAL		PINARDUINO
RESISTENCIA	PRUEBAPIN		RESISTOR
STP16NF06L	PT1.5-5		SC06140F
TLP116A	RESISTENCIA		
	TO-220		
	TOSHIBA11-4L1		

Figura 72 Formato librería Eagle

Devieces hace referencia al elemento completo, un elemento está formado por un symbol , que es la forma simbólica de este elemento por el cual será representado en el circuito esquemático y uno o varios footprint que hace referencia al package que tiene el elemento en su elemento físico real el fabricante nos puede ofrecer para el mismo elemento varios package por que un Device de un elemento puede tener varios Footprint.

- 1726202 – Conector.



Figura 73 Conector 1726202

ANEXO 4 : Diseño librería Eagle

Se crea un symbol con 8 pines y asociamos footprint creado:

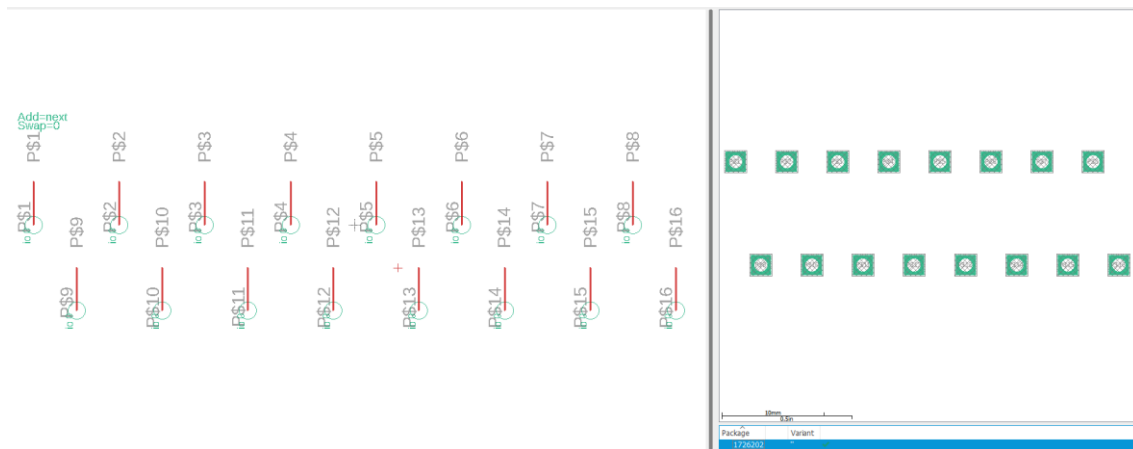


Figura 74 Device Conector 1726202

Para crear el footprint hay que basarse en los datos que nos aporta en el datasheet el fabricante :

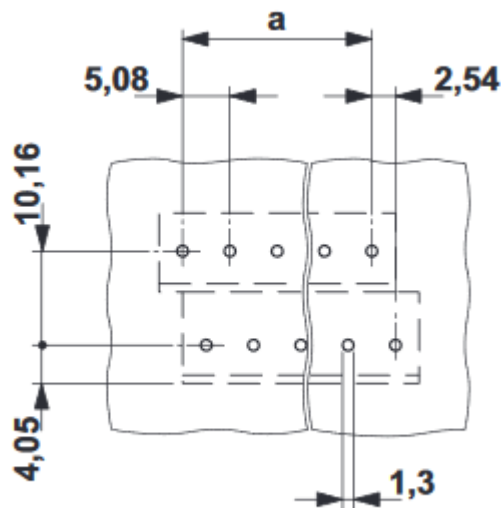


Figura 75 Croquis perforaciones Conector 1726202

Quedando el footprint y la posición de todos los talados:

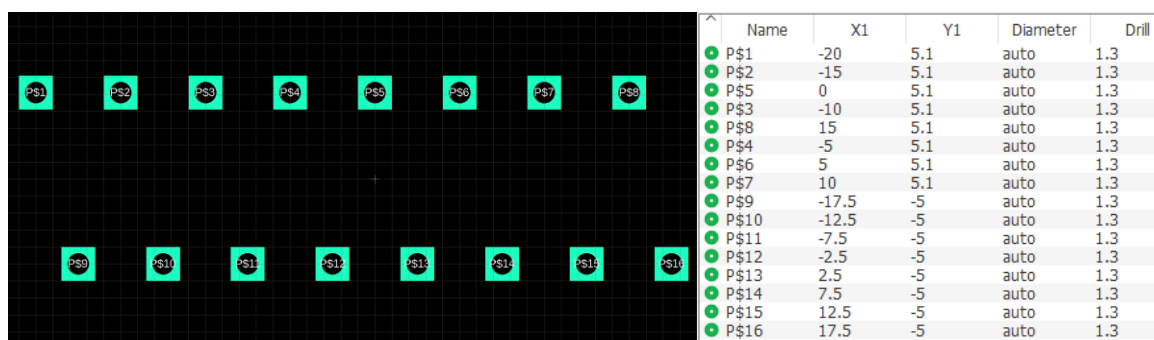


Figura 76 Footprint Conector 1726202 y coordenadas de perforaciones.

■ Conector 193538197



Figura 77 Conector 193538197

En este caso el symbol consta solo de 4 pines:

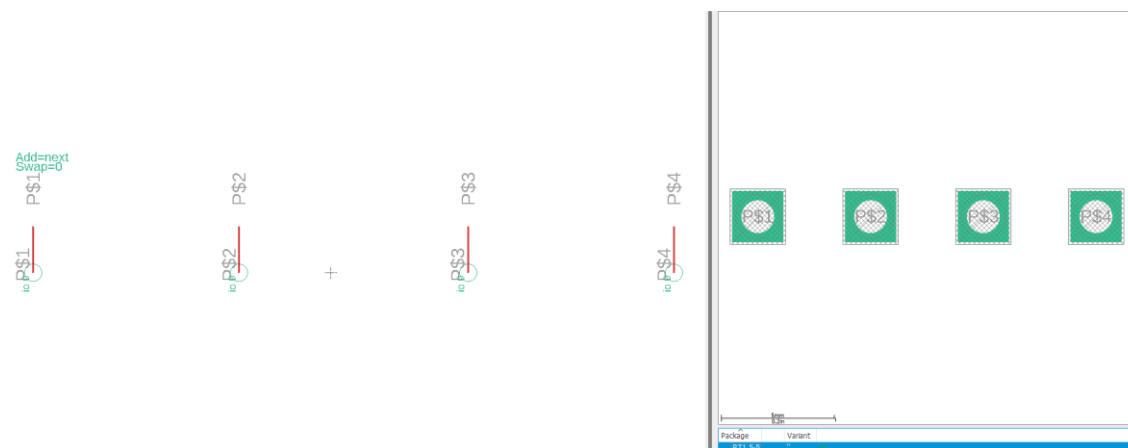


Figura 78 Device conector 193538197

El fabricante aporta el siguiente croquis para la realización del footprint:

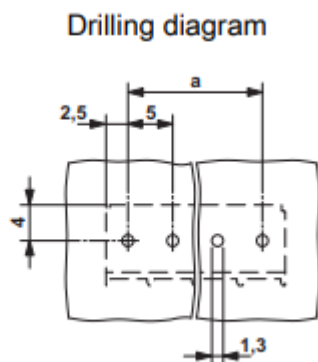


Figura 79 Corquis taladros para conector 193538197.

El footprint generado es el siguiente:

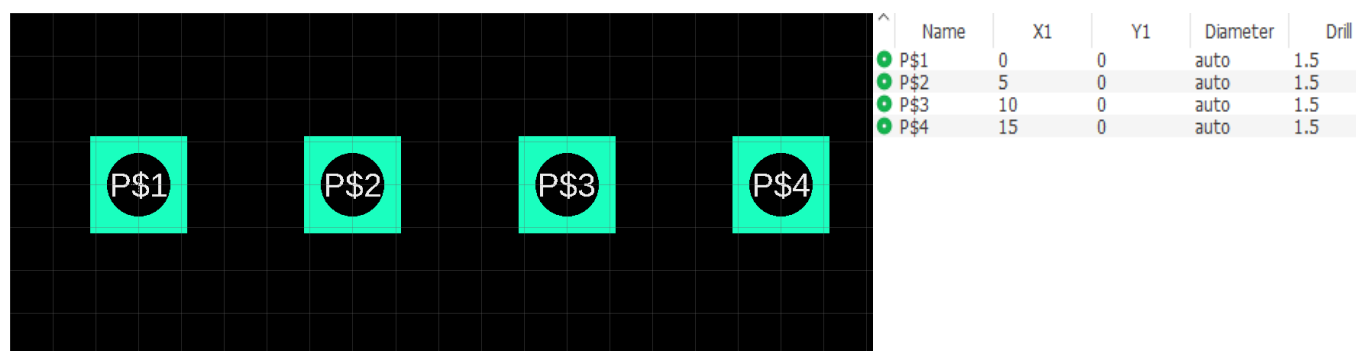


Figura 80 Footprint Conector 193538197 y coordenadas de los taladros

■ HCLP-181-00BE



Figura 81 Optoacoplador HCLP-181-00BE

El device queda:

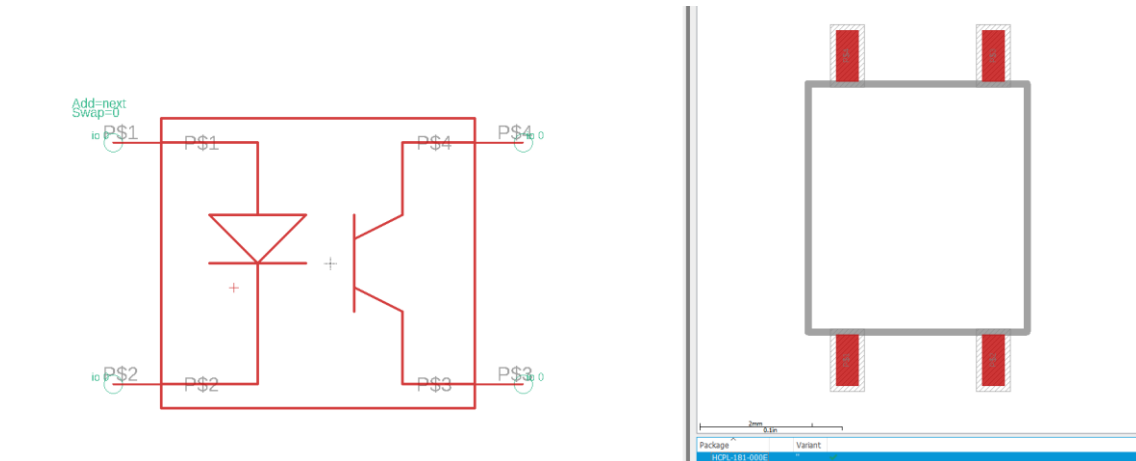


Figura 82 device Optoacoplador HCLP-181-00BE.

Al ser un componente SMD el fabricante no proporciona un “drilling diagram ” porque no hay perforaciones que hacer así que para general el footprint hay que basarse en el plano del componente:

HCPL-181-000E

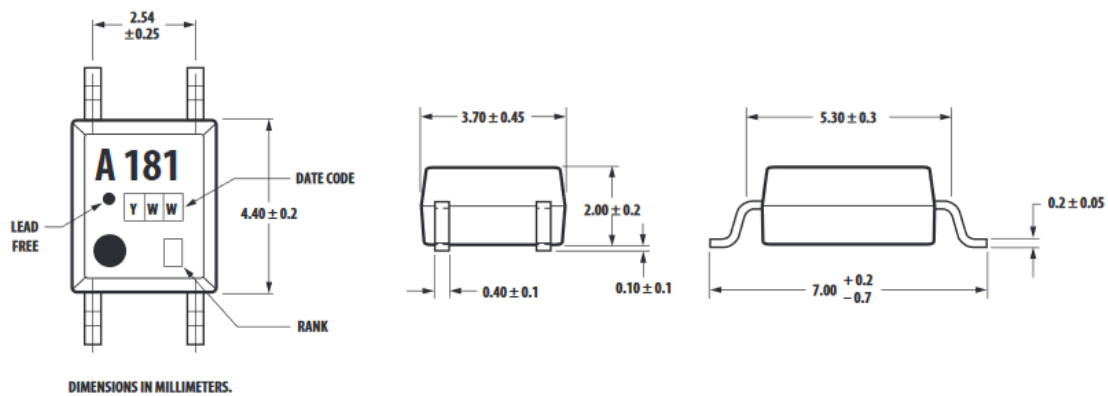


Figura 83 Package Optoacoplador HCLP-181-00BE.

El footprint resultante es:

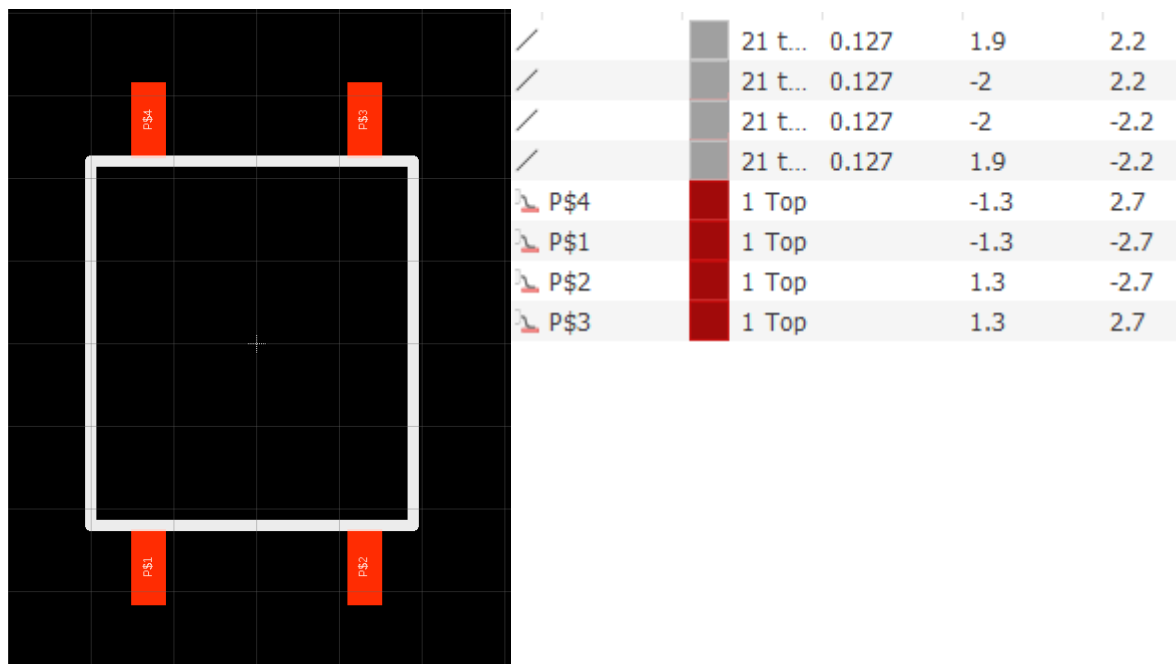


Figura 84 Footprint Optocoplador HCLP-181-00BE .

■ PCF8574APWR

En este caso es un empaquetado estándar el que tiene el componente pero decidimos añadirlo también a la librería para mayor comodidad de trabajo:

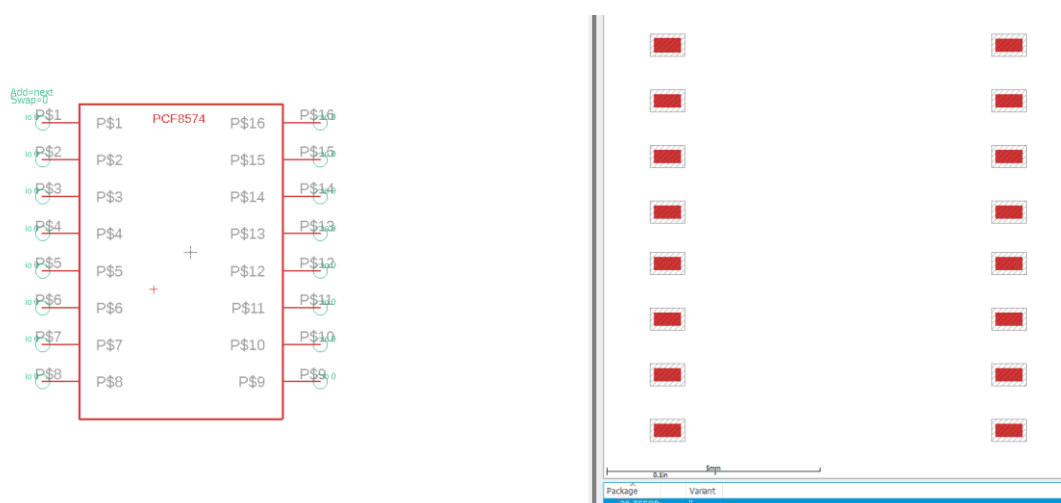


Figura 85 Device PCF8574APWR

ANEXO 4 : Diseño librería Eagle

En este caso el fabricante nos dice como ha de ser el footprint, por lo que lo generamos a partir de estos datos:

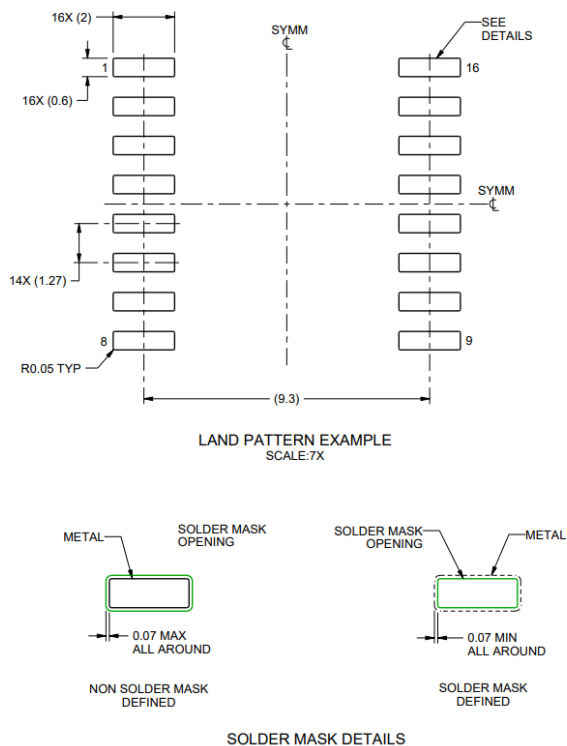


Figura 86 Croquis perfiles soldadura de PCF8574APWR.

Pasamos estos datos a Eagle y nos queda:

Name	Layer	X1	Y1	Smd Size
P\$1	1 Top -4	4.9	0.6064 x 0.32...	
P\$7	1 Top -4	-2.8	0.6096 x 0.3048	
P\$2	1 Top -4	3.6	0.6096 x 0.3048	
P\$6	1 Top -4	-1.5	0.6096 x 0.3048	
P\$3	1 Top -4	2.3	0.6096 x 0.3048	
P\$4	1 Top -4	1	0.6096 x 0.3048	
P\$5	1 Top -4	-0.2	0.6096 x 0.3048	
P\$8	1 Top -4	-4.1	0.6096 x 0.3048	
P\$9	1 Top 4	-4.1	0.6096 x 0.3048	
P\$11	1 Top 4	-1.5	0.6096 x 0.3048	
P\$10	1 Top 4	-2.8	0.6096 x 0.3048	
P\$12	1 Top 4	-0.2	0.6096 x 0.3048	
P\$13	1 Top 4	1	0.6096 x 0.3048	
P\$14	1 Top 4	2.3	0.6096 x 0.3048	
P\$15	1 Top 4	3.6	0.6096 x 0.3048	
P\$16	1 Top 4	4.9	0.6096 x 0.3048	

Figura 87 Footprint PCF8574APWR

■ 87224-6

ANEXO 4 : Diseño librería Eagle



Como la función que se le va a dar a estos pines en los circuitos a diseñar es de “interruptor” usando unos jumpers en el symbols de este componente los he marcado como interruptores:

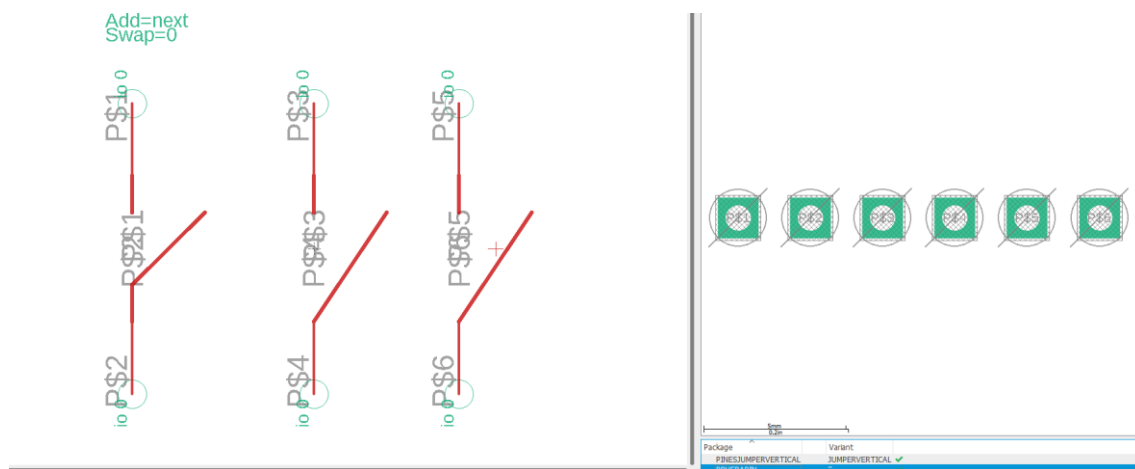
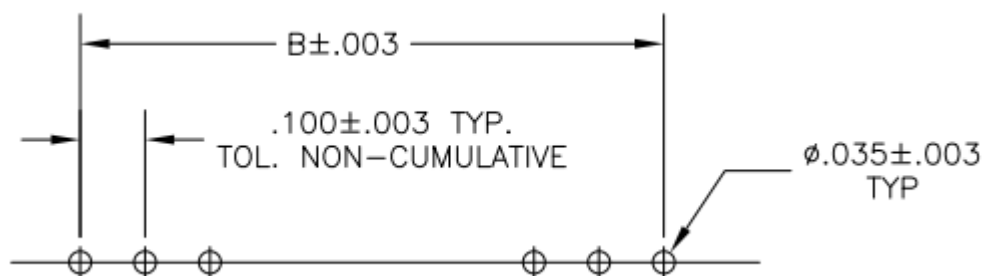


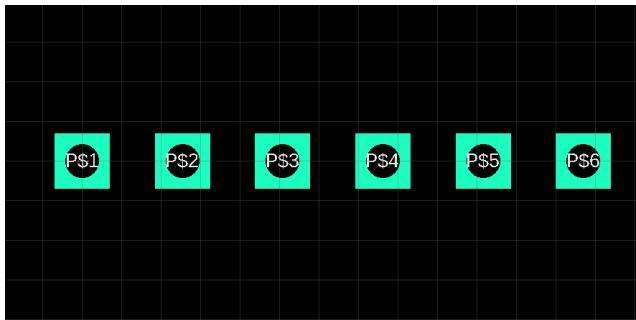
Figura 88 Devices 87224-6

El fabricante aporta las dimensiones de los taladros y la distancia entre estos en su datasheet:



El footprint generado es el siguiente:

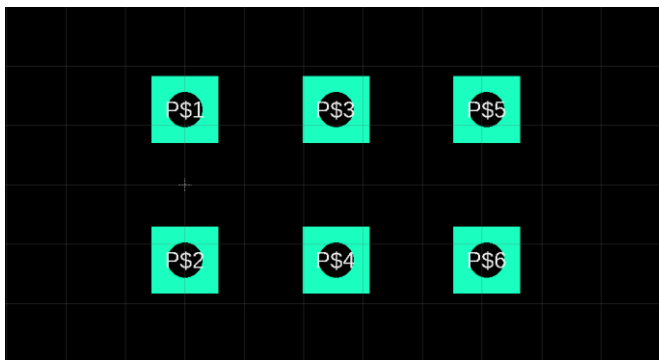
ANEXO 4 : Diseño librería Eagle



Name	X1	Y1	Diameter	Drill
P\$1	0	0	auto	0.889
P\$2	2.54	0	auto	0.889
P\$4	7.62	0	auto	0.889
P\$3	5.08	0	auto	0.889
P\$5	10.16	0	auto	0.889
P\$6	12.7	0	auto	0.889

Figura 89 Footprint 872246-6 Todos en línea.

Como para el diseño del PCB a veces nos vendrá mejor conectar los jumpers en vertical generamos el siguiente footprint , para usar este footprint se deberán de cortar de 2 en 2 los pines antes de su conexión.



Name	X1	Y1	Diameter	Drill
P\$1	0	1.27	auto	0.6
P\$2	0	-1.27	auto	0.6
P\$3	2.54	1.27	auto	0.6
P\$5	5.08	1.27	auto	0.6
P\$4	2.54	-1.27	auto	0.6
P\$6	5.08	-1.27	auto	0.6

Figura 90 Footprint 872246-6 Conectores 3 paralelo 3.

■ PIN ARDUINO

Es un único taladro que generaremos para conectar un pin en la posición correspondiente del arduino:

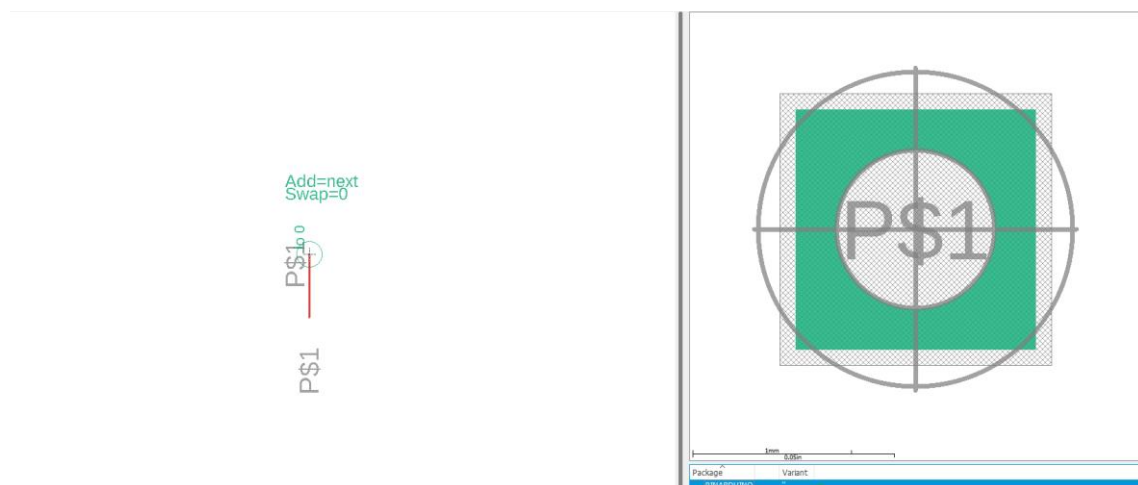


Figura 91 Device Pin arduino.

ANEXO 4 : Diseño librería Eagle

El footprint que genramos es el siguiente:

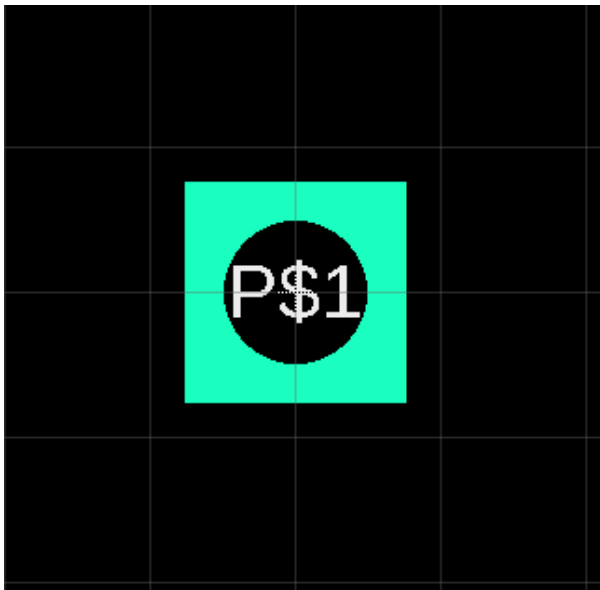


Figura 92 Footprint Pin arduino.

■ STP16NF06L



Figura 93 STP16NF06L

Se genera el symbol correspondiente y asociamos a su footprint:

ANEXO 4 : Diseño librería Eagle

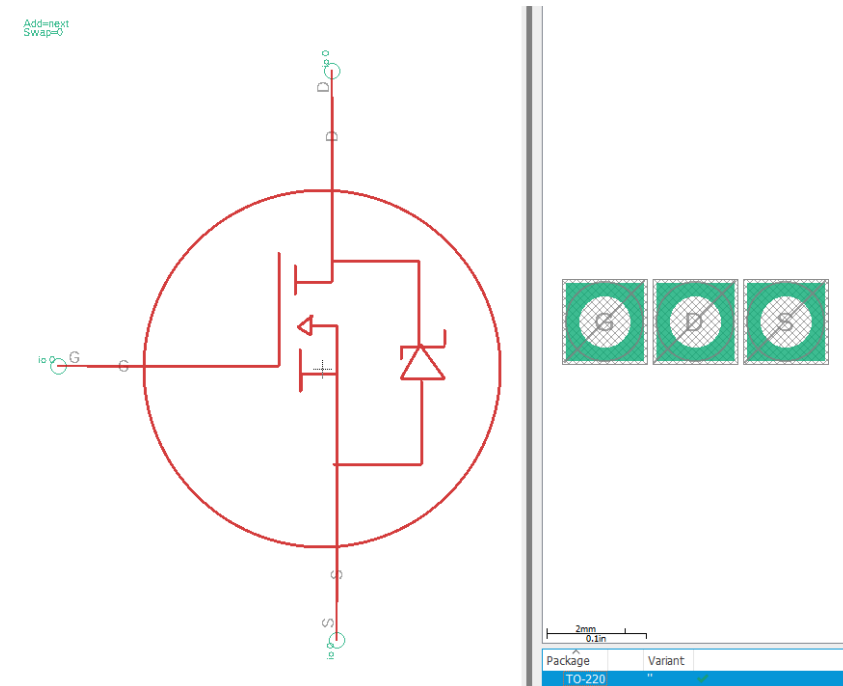


Figura 94 Device STP16NF06L

El fabricante nos aporta:

TO-220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151

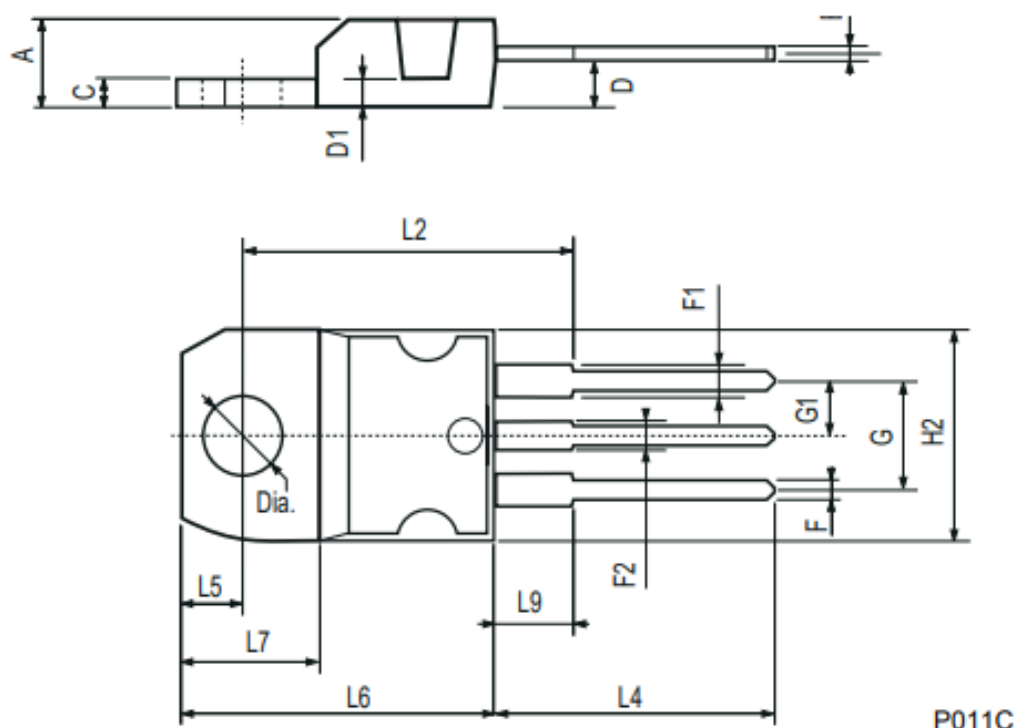


Figura 95 Plano medidas STP16NF06L TO-220.

A partir de esta información generamos el siguiente footprint:

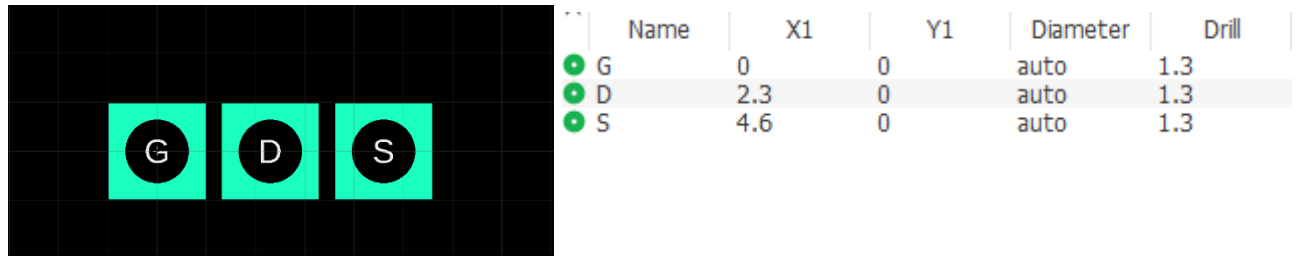


Figura 96 Footprint STP16NF06L TO-220.

ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.

Perfil de impresión.

■ Configuración de la máquina.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Tamaño eje x	300	mm	Depende de la impresora utilizada.
Tamaño eje y	300	mm	Depende de la impresora utilizada.
Máxima altura de impresión (eje z)	400	mm	Depende de la impresora utilizada.

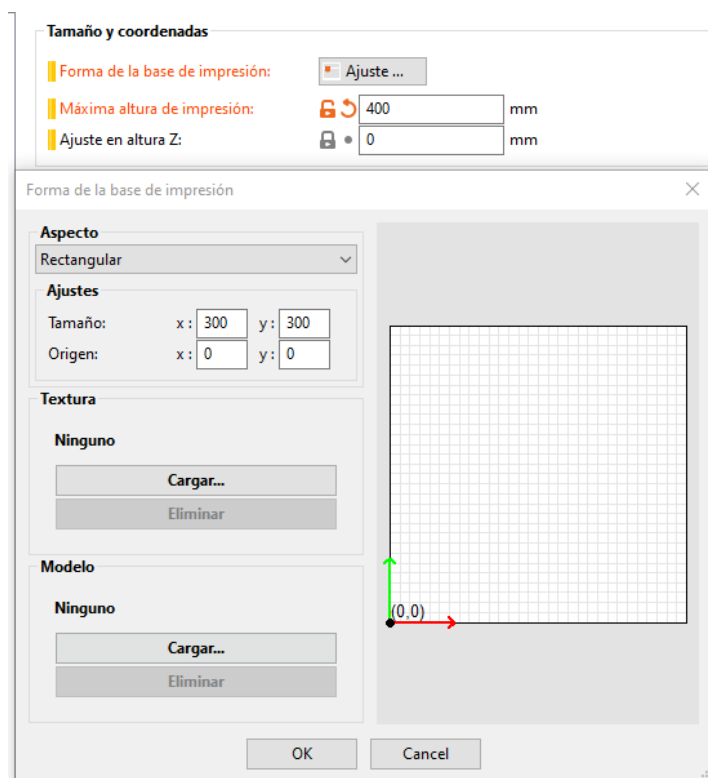


Figura 97 Forma de la base de impresión.

■ Configuración del extrusor.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Numero de extrusores	1	Ud	N/A.
Diámetro de la boquilla	0.4	mm	N/A.
Limite altura de capa	0.1	mm	Altura de capa mínima capaz de imprimir con este extrusor.
Distancia de retracción	0.8	mm	Distancia de filamento que se extrae del cabezal cuando hay un

ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.

			movimiento sin extrusión de plástico.
Levantar Z durante retracción	1	mm	Distancia que se levanta el cabezal respecto a la pieza durante las retracciones.
Velocidad de retracción	35	mm/s	Velocidad a la que se retrae el plástico durante las retracciones.
Distancia mínima después de retracción.	2	mm	Distancia mínima del siguiente recorrido de extrusión para que se realice una retracción.
Retracción en cambio de capa	NO	N/A	No es necesario retraer al cambiar de capa en el perfil creado ya que las capas son lo suficientemente grandes.

■ Configuración del filamento.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Diámetro	1.75	mm	N/A
Densidad	1.24	g/cm ²	Densidad del Material utilizado, Ácido poliláctico .
Temperatura extrusión en la primera capa	205	°C	La primera capa se imprime a una temperatura mayor que el resto para mejorar la adhesión a la base de impresión.
Temperatura de extrusión después de la primera capa	195	°C	N/A
Temperatura de la base en la primera capa	60	°C	La primera capa se imprime a una temperatura mayor que el resto para mejorar la adhesión a la base de impresión.
Temperatura de la base después de la primera capa	50	°C	N/A
Velocidad del ventilador de capa	0%	N/A	

ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.

en la primera capa de impresión.			
Velocidad del ventilador de capa tras la impresión de la primera capa.	100%	N/A	N/A

■ Configuración estructural

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Altura de primera capa.	0.25	mm	La primera capa se imprime a una altura mayor que el resto para mejorar la adhesión a la base de impresión.
Altura de capa tras la primera capa.	0.2	mm	N/A
Número mínimo de perímetros	3	ud	Numero de perímetros que se harán en las caras exteriores de la pieza.
Capas solidas inferiores y superiores	3	ud	Numero de capas con relleno al 100% que se hará en las caras de cierre tanto inferior como superiormente.
Perímetros adicionales si es necesario.	Si	N/A	Si el laminador detecta que debe rellenar una zona demasiado pequeña en lugar de hacer el relleno añadirá petiteros hasta cerrar la zona.

■ Falda de la pieza

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Bucles mínimos	2	ud	Perímetros que se harán rodeando la pieza antes de comenzar con la primera capa con el objetivo de purgar el extrusor.
Longitud mínima de filamento extruido en la falta	50	mm	En caso de que con el mínimo de bucles establecido no se llegue a esta cantidad

ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.

			de filamento extruido se añadirán más bucles a la falda.
Distancia de falda al objeto	10	mm	Distancia de los perímetros de falda al objeto.
Altura en capas de falda	1	ud	N/A

■ Material de soporte.

Todas las opciones de material de soporte han sido deshabilitadas debido a que las piezas han sido diseñadas para ser impresas sin necesidad de soportes.

■ Velocidades de impresión.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Velocidad de la primera capa.	40	mm/s	N/A
Perímetros	40	mm/s	N/A
Perímetros pequeños	35	mm/s	N/A
Perímetros externos	35	mm/s	N/A
Relleno	60	mm/s	N/A
Relleno sólidos	35	mm/s	N/A
Puentes	60	mm/s	N/A

■ Configuración del relleno.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Densidad relleno	15%	N/A	Cantidad de material que se deposita en las partes internas de la pieza.
Patrón de relleno	Rectilíneo	N/A	N/A

Laminado de piezas

El laminado de las piezas se realiza usando el software PrusaSlicer versión 2.1.1. Para ello una vez configurados los parámetros descritos anteriormente importamos los ficheros STL de las piezas a laminar y el modelo aparecerá en la pantalla principal del programa.

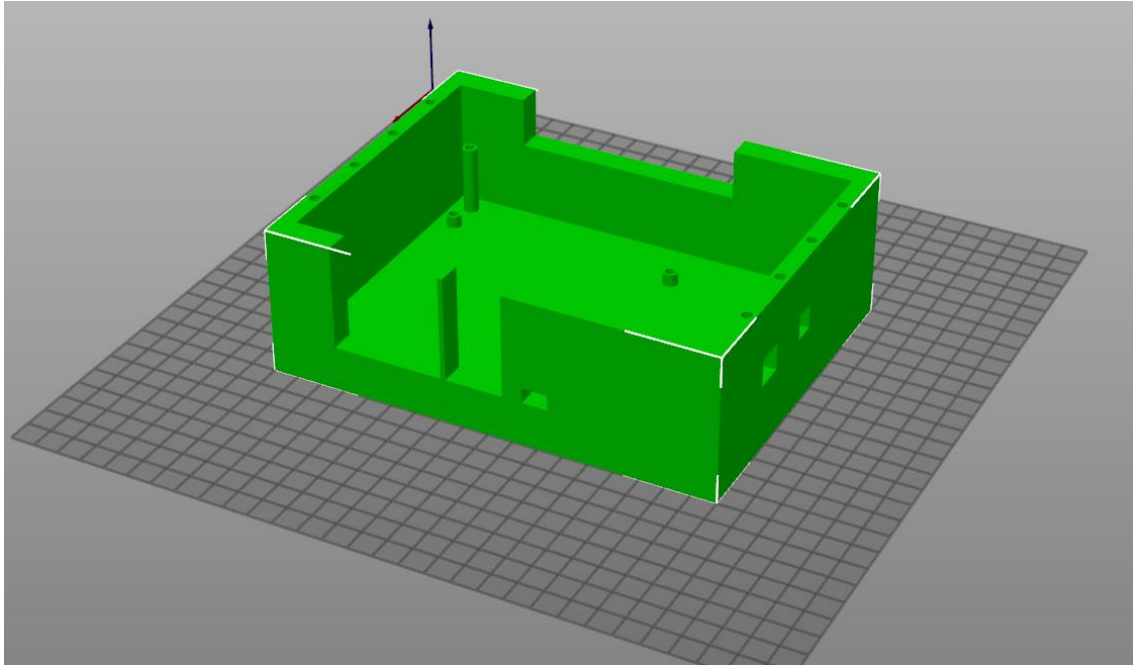


Figura 98 Carcasa Inferior en PusaSlicer.

Con el modelo insertado en el programa y una vez que ha sido orientado de manera correcta sobre la base de impresión se puede proceder a laminar pulsando sobre el botón "laminar ahora"

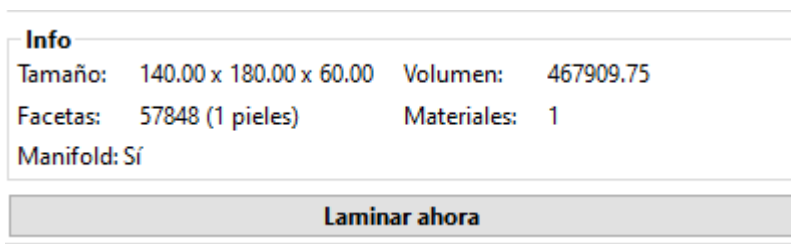


Figura 99 Prusa Slicer boton "Laminar ahora"

Una vez laminada la pieza se tiene acceso a una nueva vista, "previsualizacion" en la cual se verá el proceso de impresión de cada una de las capas coloreando cada segmento según su función, velocidad, caudal volumétrico...

Cuando seleccionamos la vista según su función el programa muestra la siguiente leyenda de color:

ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.

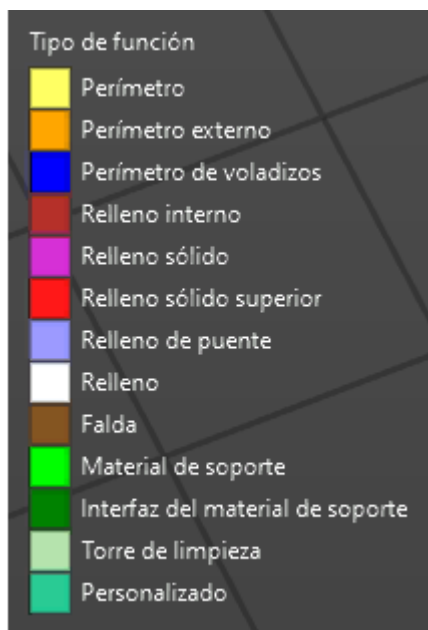


Figura 100 Leyenda tipo de función Prusa Slicer.

Estando en esta vista se ven algunos detalles significantes que nos ayudaran a asegurarnos de que la impresión tendrá el resultado esperado, por ejemplo:

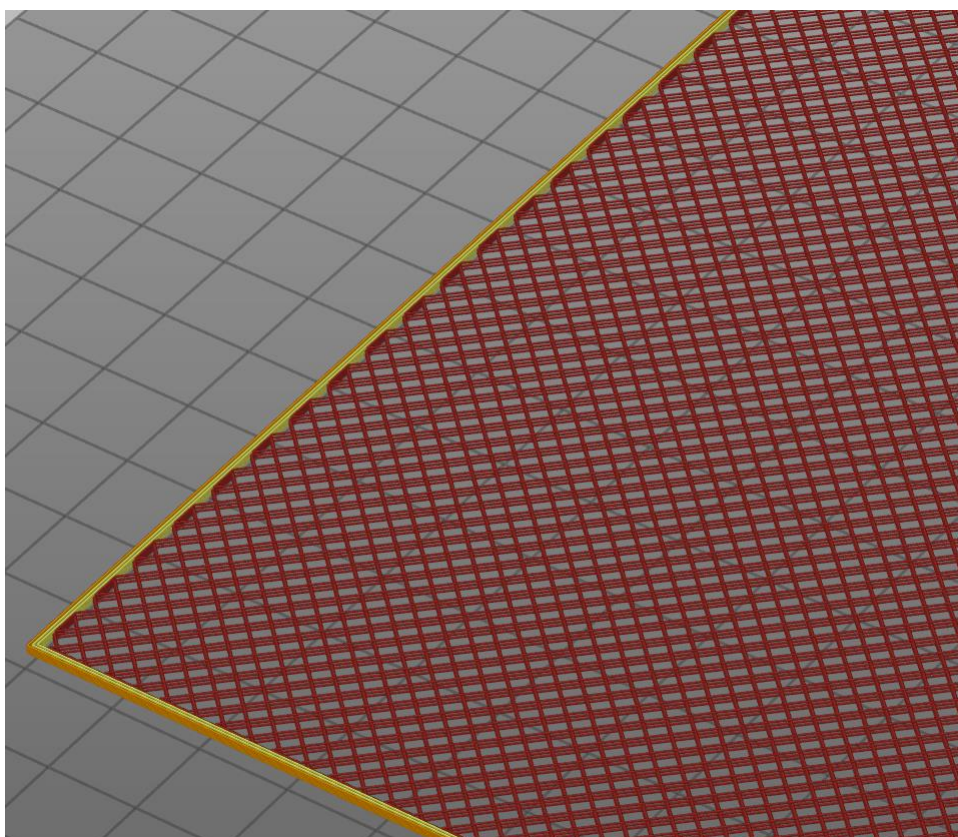


Figura 101 Prusa slicer relleno rectilíneo 20%

El relleno es suficiente.

Los perímetros y el relleno se imprimirán de forma correcta.

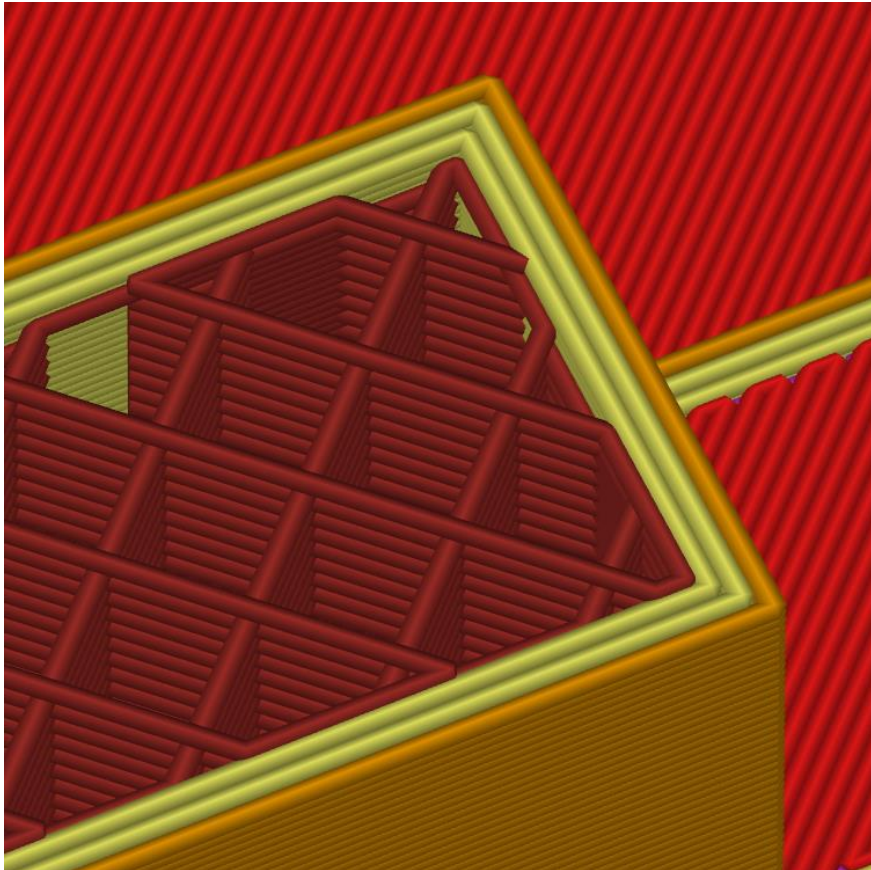


Figura 102 Detalle laminado en perímetros.

El laminador ha detectado los puentes y los trata como tal.

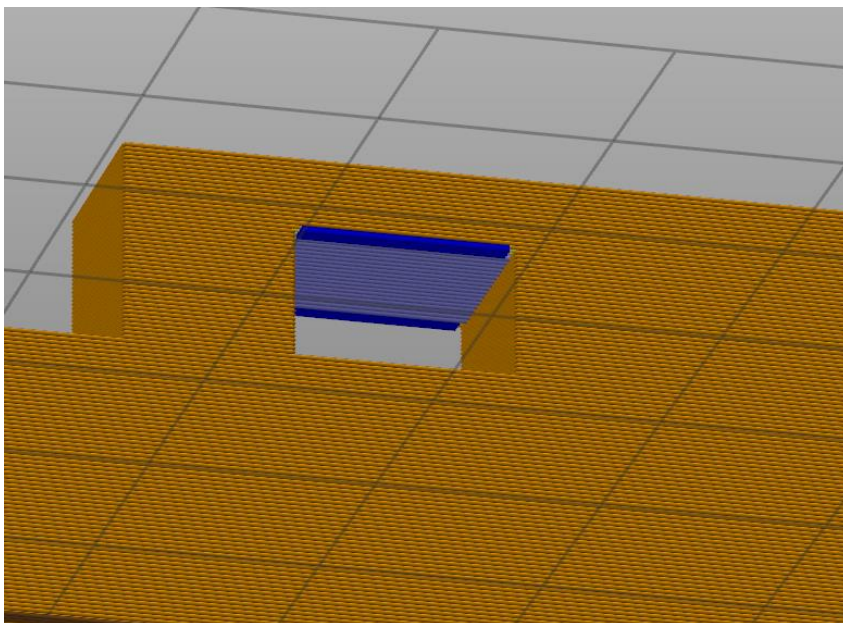


Figura 103 Detalle de puente en laminado.

Cambiando el modo de vista a velocidad se puede extraer otro tipo de información relevante, el programa nos vuelve a aportar una leyenda de colores:

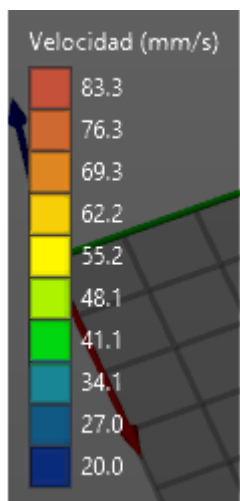


Figura 104 Prusa slicer leyenda Velocidad.

Podemos apreciar como el relleno se hace a una velocidad superior a la de los perímetros y las capas de cierre.

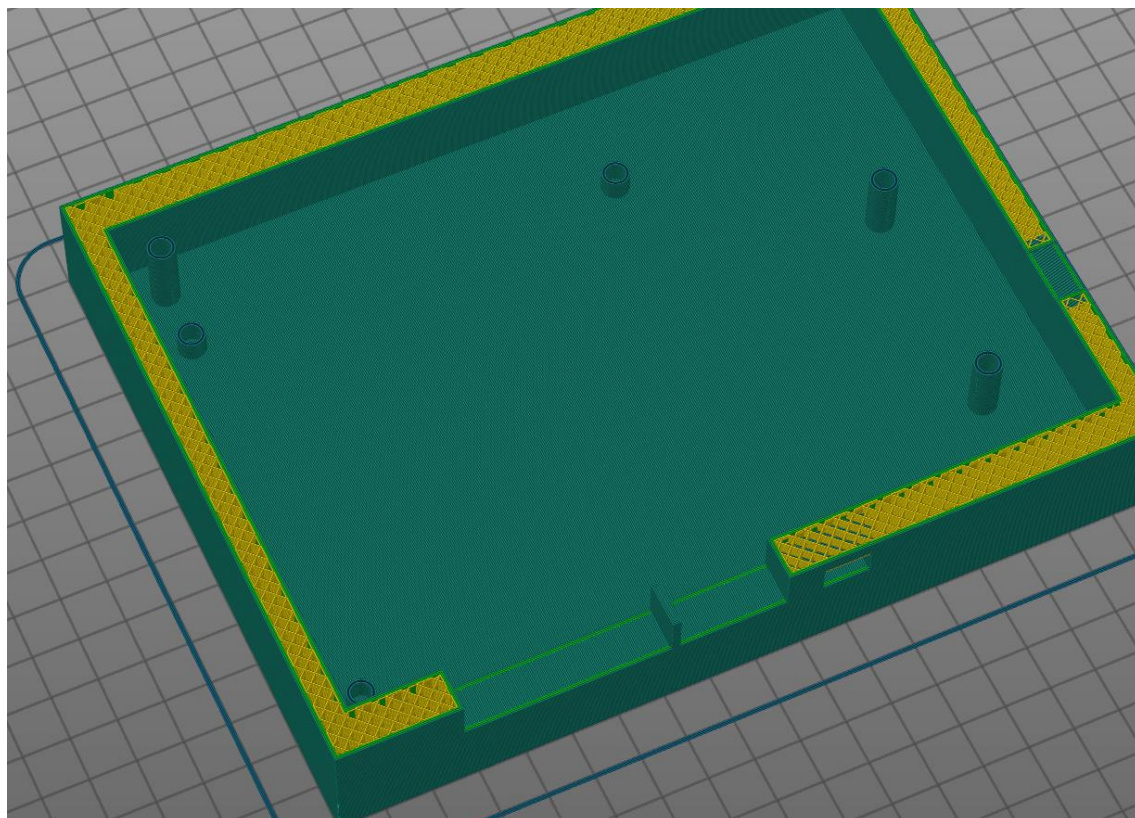


Figura 105 Carcasa inferior vista de velocidades.

Del mismo modo los puentes (Impresión al aire) se hacen a gran velocidad para evitar que el material se combe demasiado cambiando la estructura de la pieza.

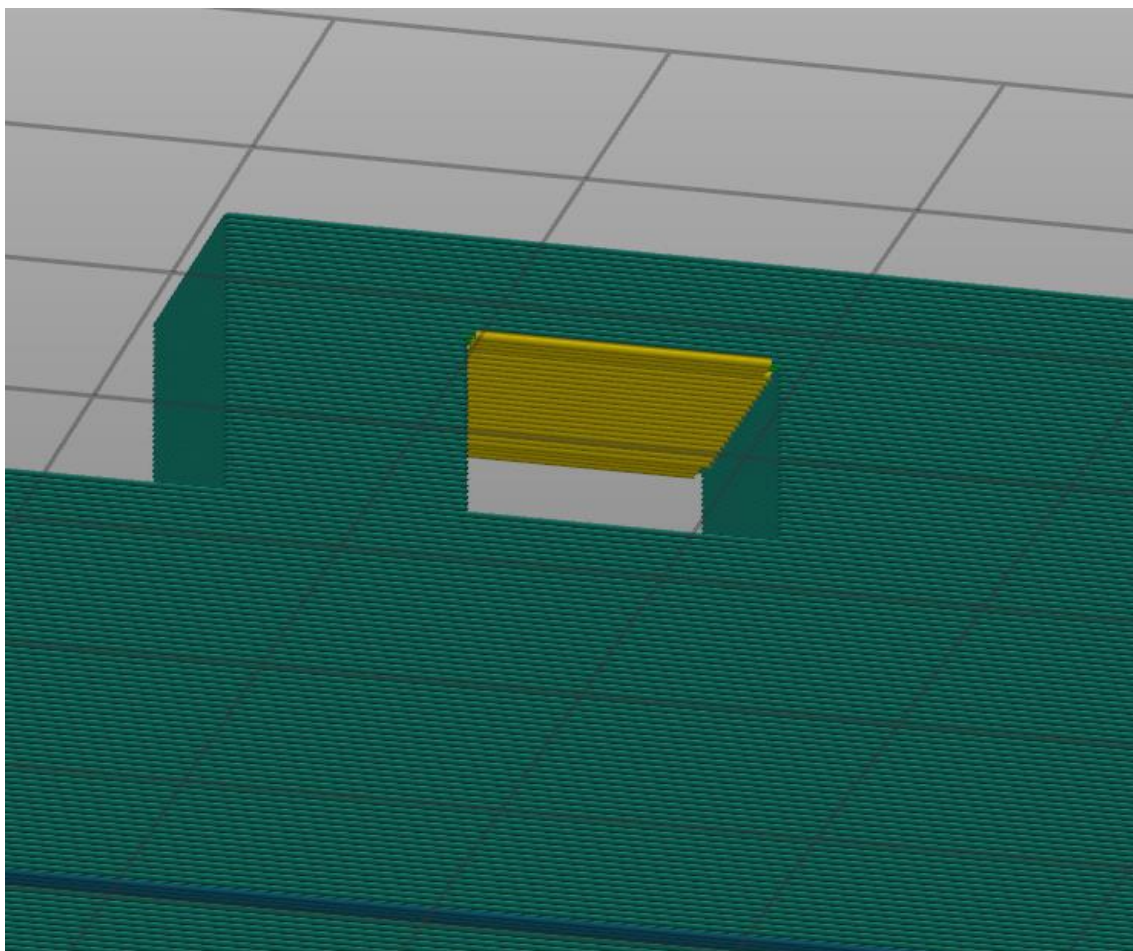


Figura 106 Detalle en vista de velocidad de un puente.

Una vez el resultado del laminado realizado es el deseado podemos exportar el fichero con las ordenes Gcode que usaremos en la impresora para realizar la impresión, pulsado sobre el botón "exportar código G" en la parte inferior derecha del programa.

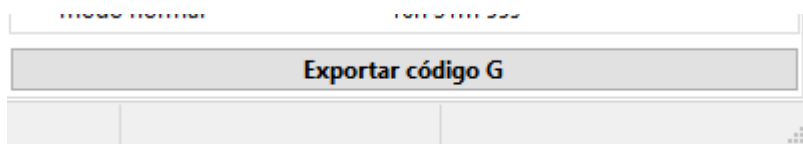


Figura 107 Prusa slicer botón " Exportar código G"-

ANEXO 5: Perfil impresión 3D y laminado.

Información del laminado de la pieza carcasa Inferior.

Info	
Tamaño:	140.00 x 180.00 x 60.00 Volumen: 467909.75
Facetas:	57848 (1 pieles) Materiales: 1
Manifold: Sí	
Información del laminado	
Filamento usado (m)	67.02
Filamento usado (mm ³)	161213.35
Filamento usado (g)	199.90
Coste	0.00
Tiempo estimado de impresión :	
- modo normal	16h 31m 55s

Información del laminado de la pieza carcasa superior.

Info	
Tamaño:	180.00 x 50.00 x 140.00 Volumen: 231080.03
Facetas:	23266 (1 pieles) Materiales: 1
Manifold: Sí	
Información del laminado	
Filamento usado (m)	31.13
Filamento usado (mm ³)	74876.63
Filamento usado (g)	92.85
Coste	0.00
Tiempo estimado de impresión :	
- modo normal	7h 21m 32s

Anexo 6 : Ejemplos de conexión.

Conexión de un sensor de 3 hilos.

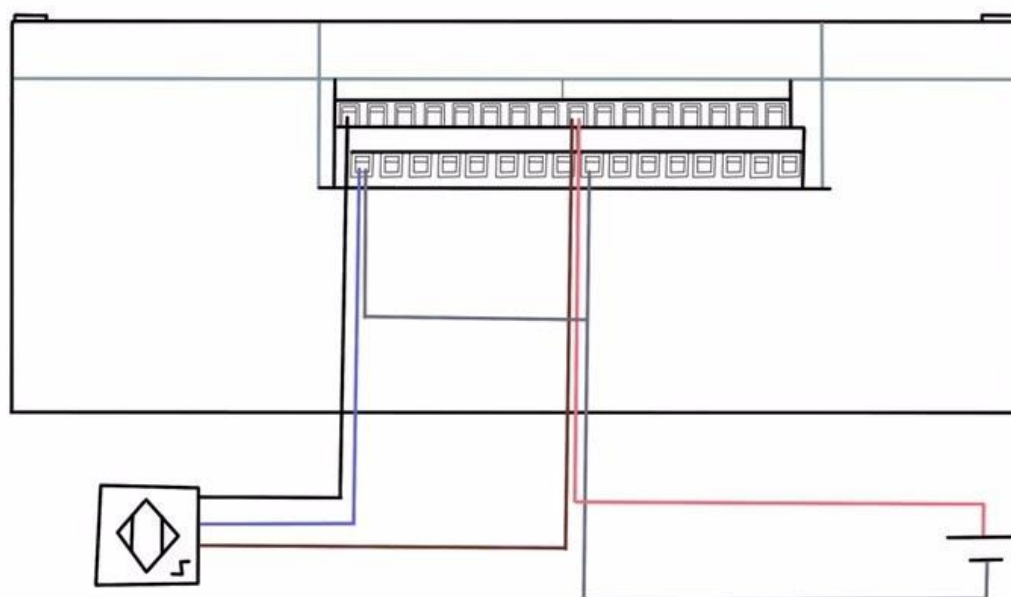


Figura 108 Conexión sensor 3 hilos PLC

Conexión motor DC

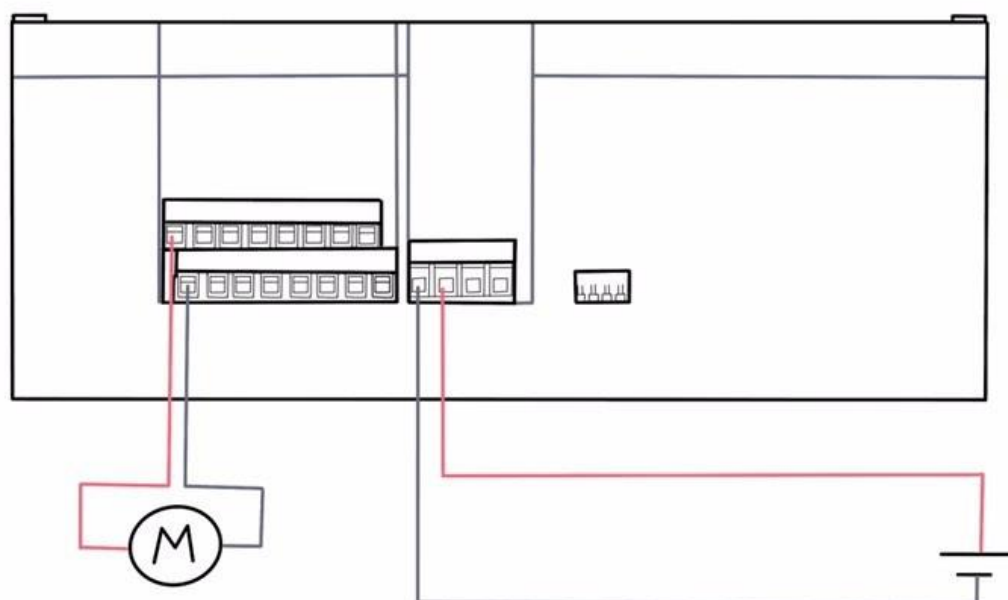
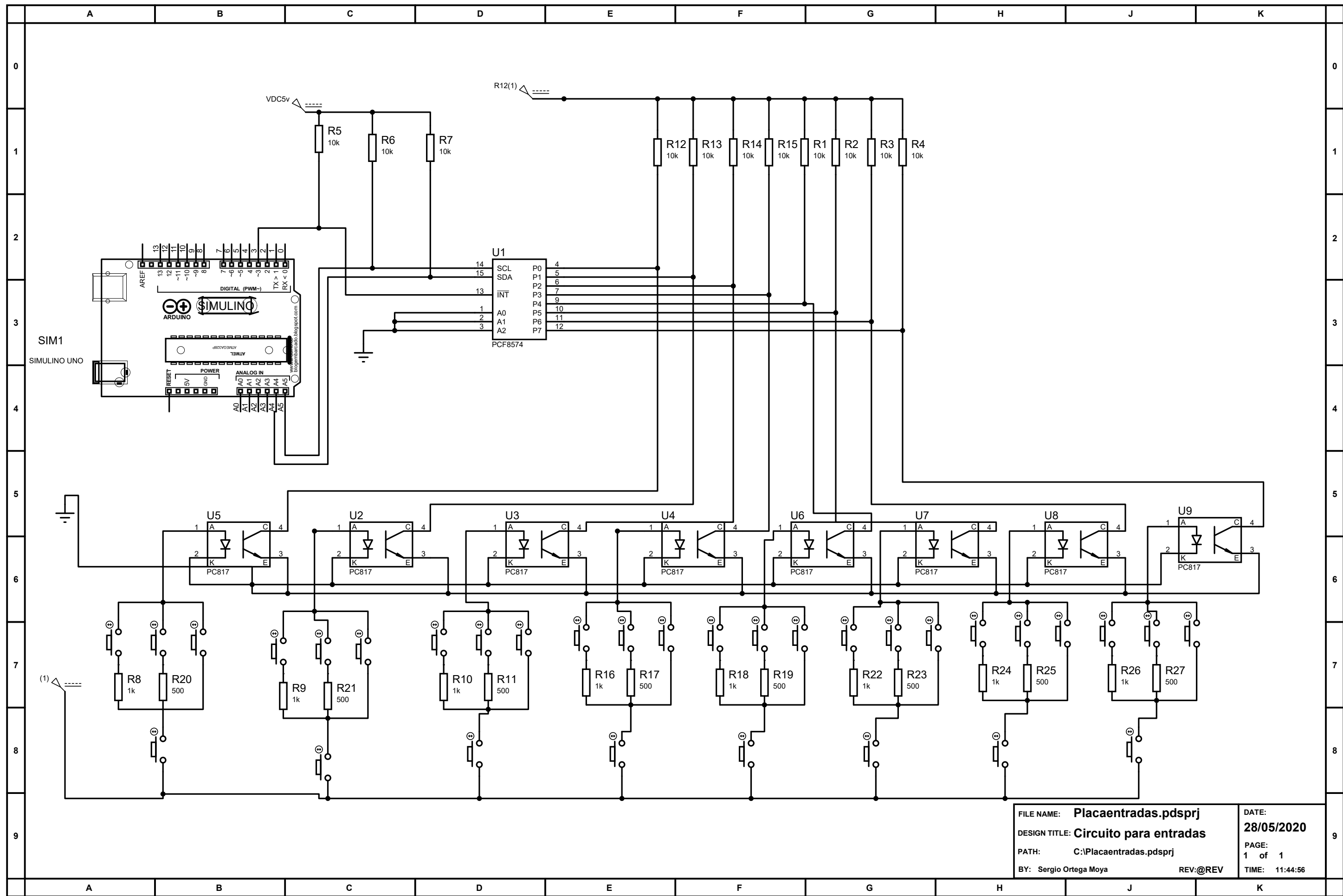
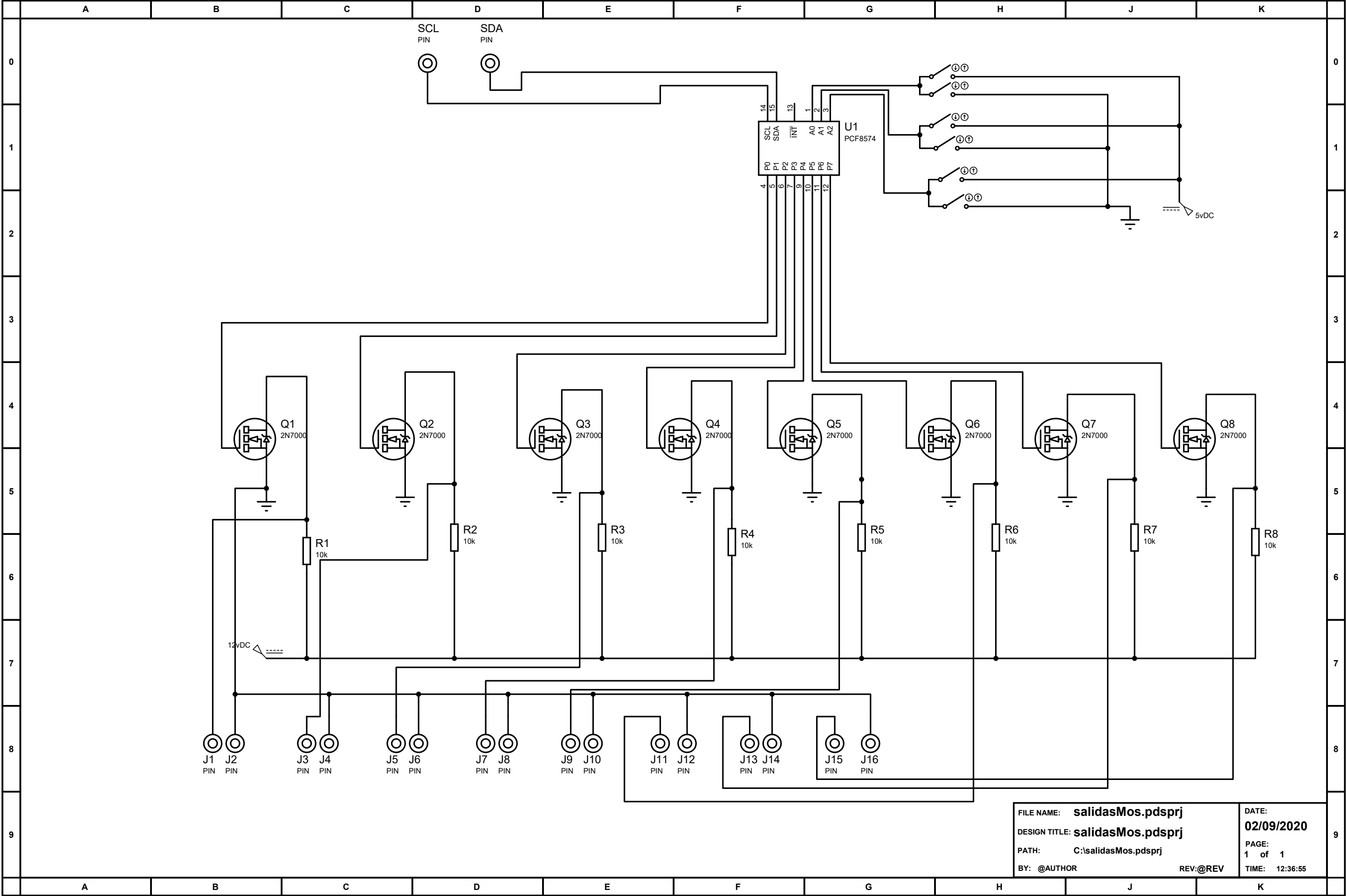


Figura 109 Conexión motor DC en PLC

Anexo 7: Circuitos eléctricos y planos.

Anexo 7: Circuitos eléctricos y planos.





FILE NAME: salidasMos.pdsprj

DESIGN TITLE: salidasMos.pdsprj

PATH: C:\salidasMos.pdsprj

BY: @AUTHOR

DATE:

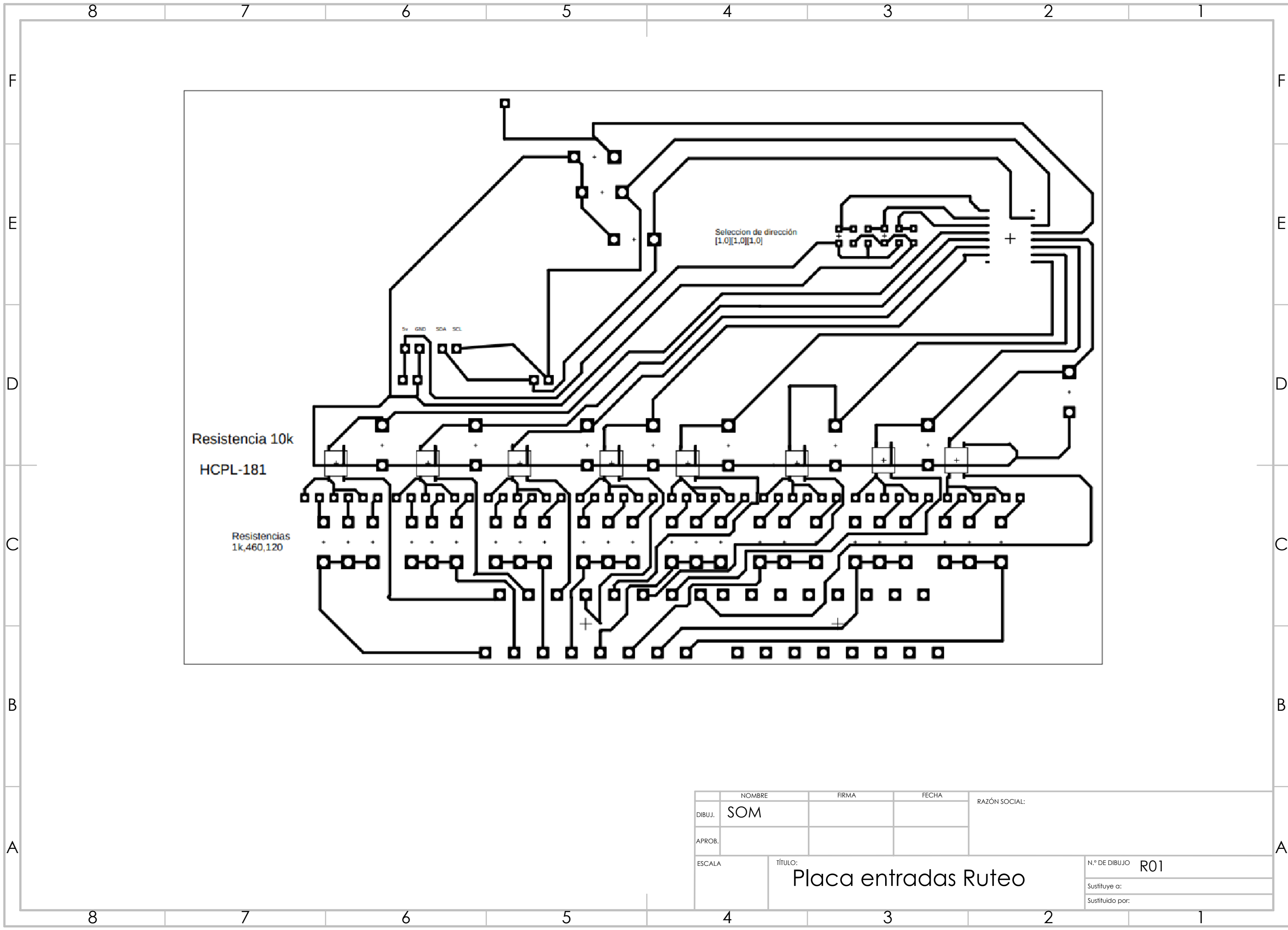
02/09/2020

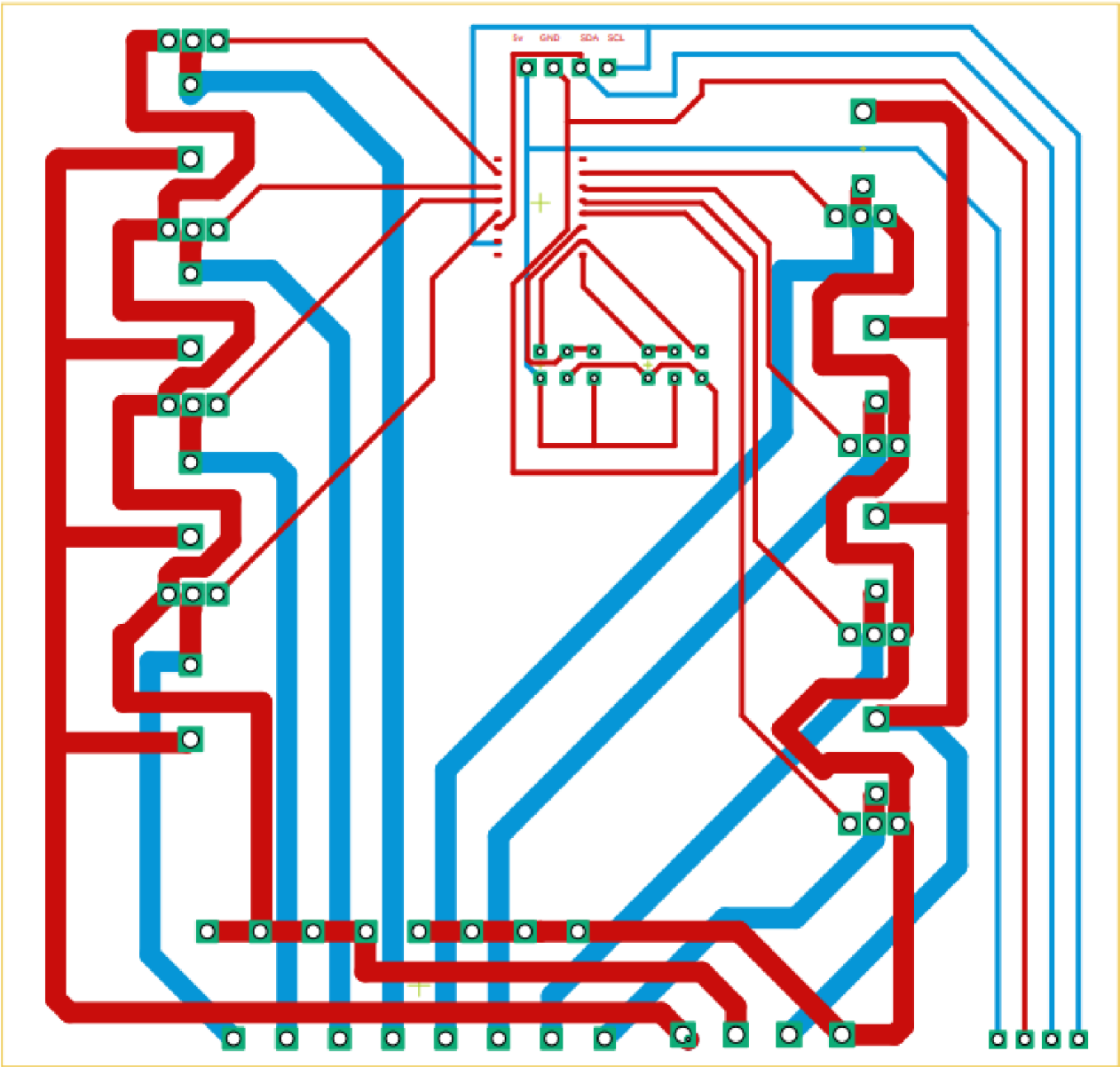
PAGE:

1 of 1

TIME: 12:36:55

REV:@REV





NOMBRE		FIRMA	FECHA
DIBUJ.	SOM		
APROB.			

RAZÓN SOCIAL:

ESCALA

TÍTULO:

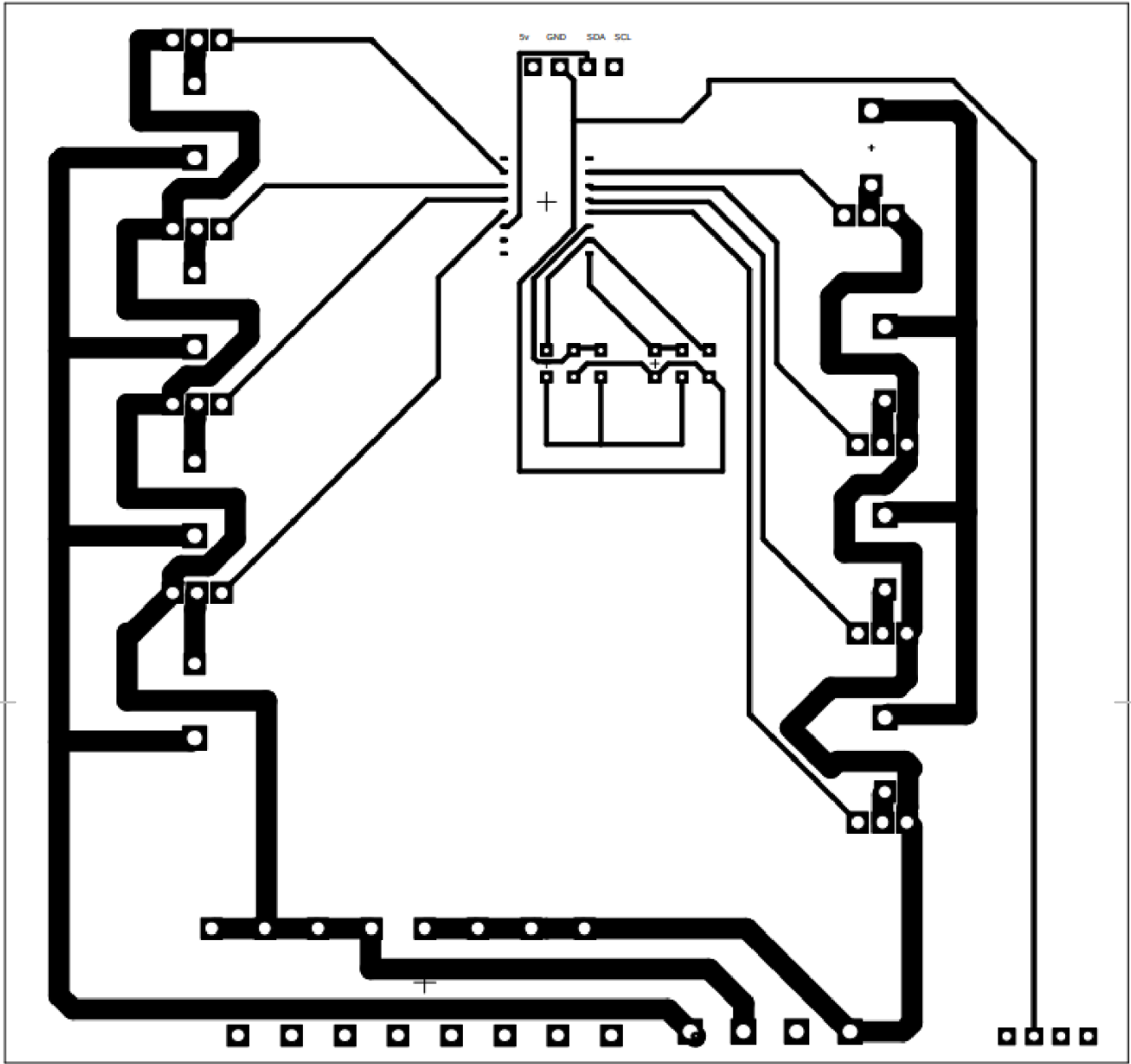
Ruteo Placa Salidas

N.º DE DIBUJO

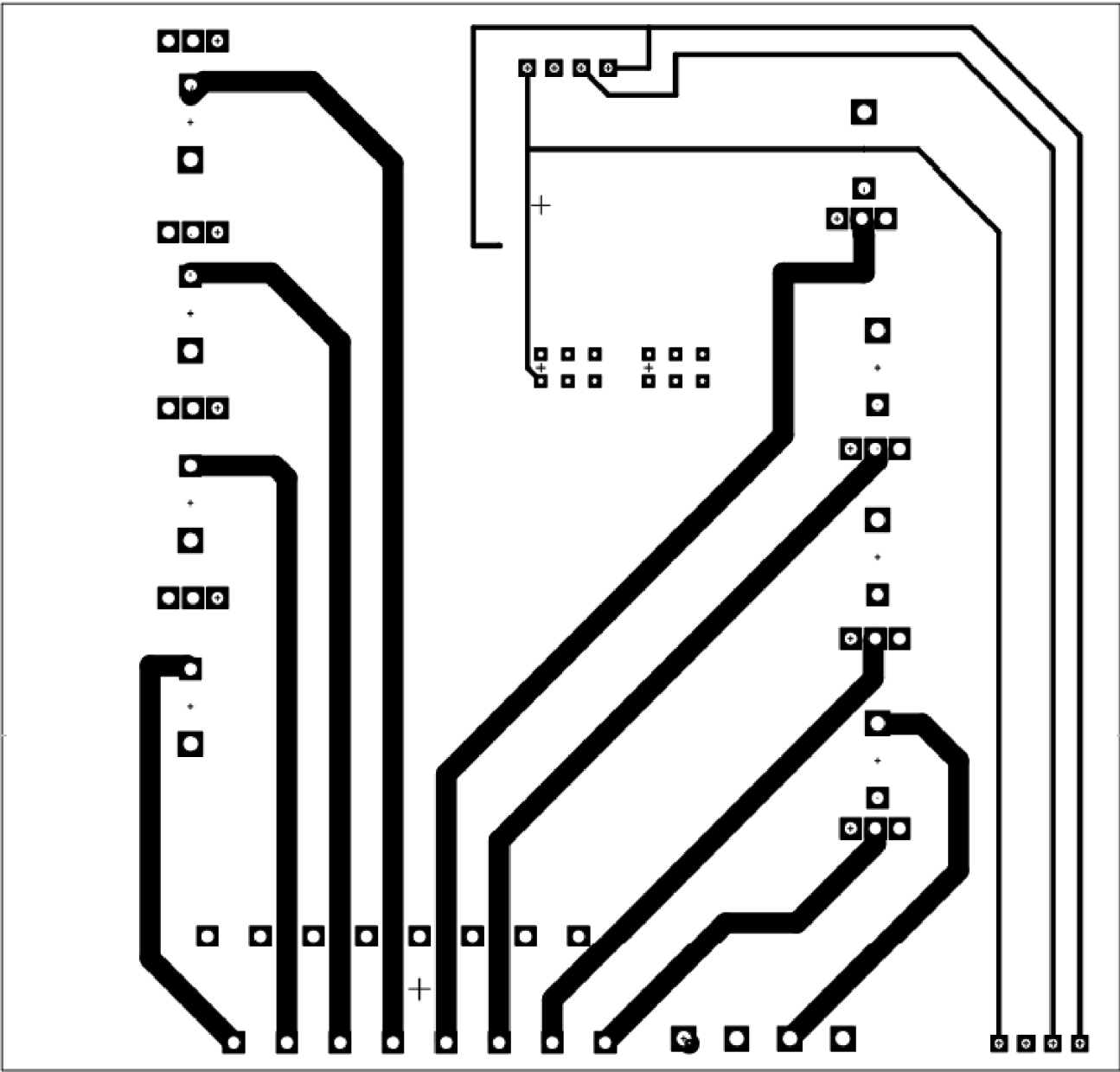
R02

Sustituye a:

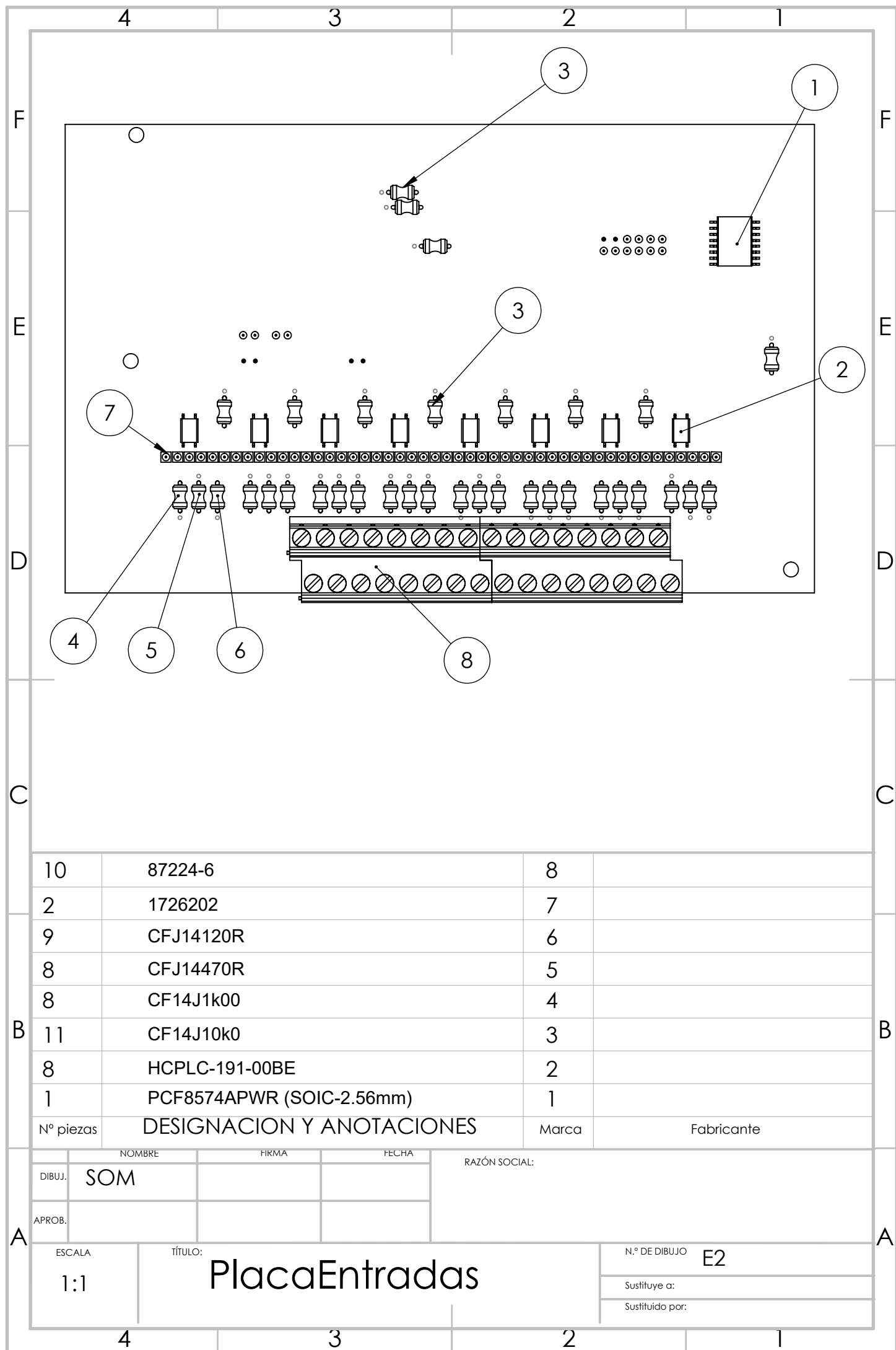
Sustituido por:



NOMBRE		FIRMA		FECHA		RAZÓN SOCIAL:	
DIBUJ.	SOM						
APROB.							
ESCALA		TÍTULO:				N.º DE DIBUJO	
3:2		Placa salidas cara TOP				P03	
						Sustituye a:	
						Sustituido por:	

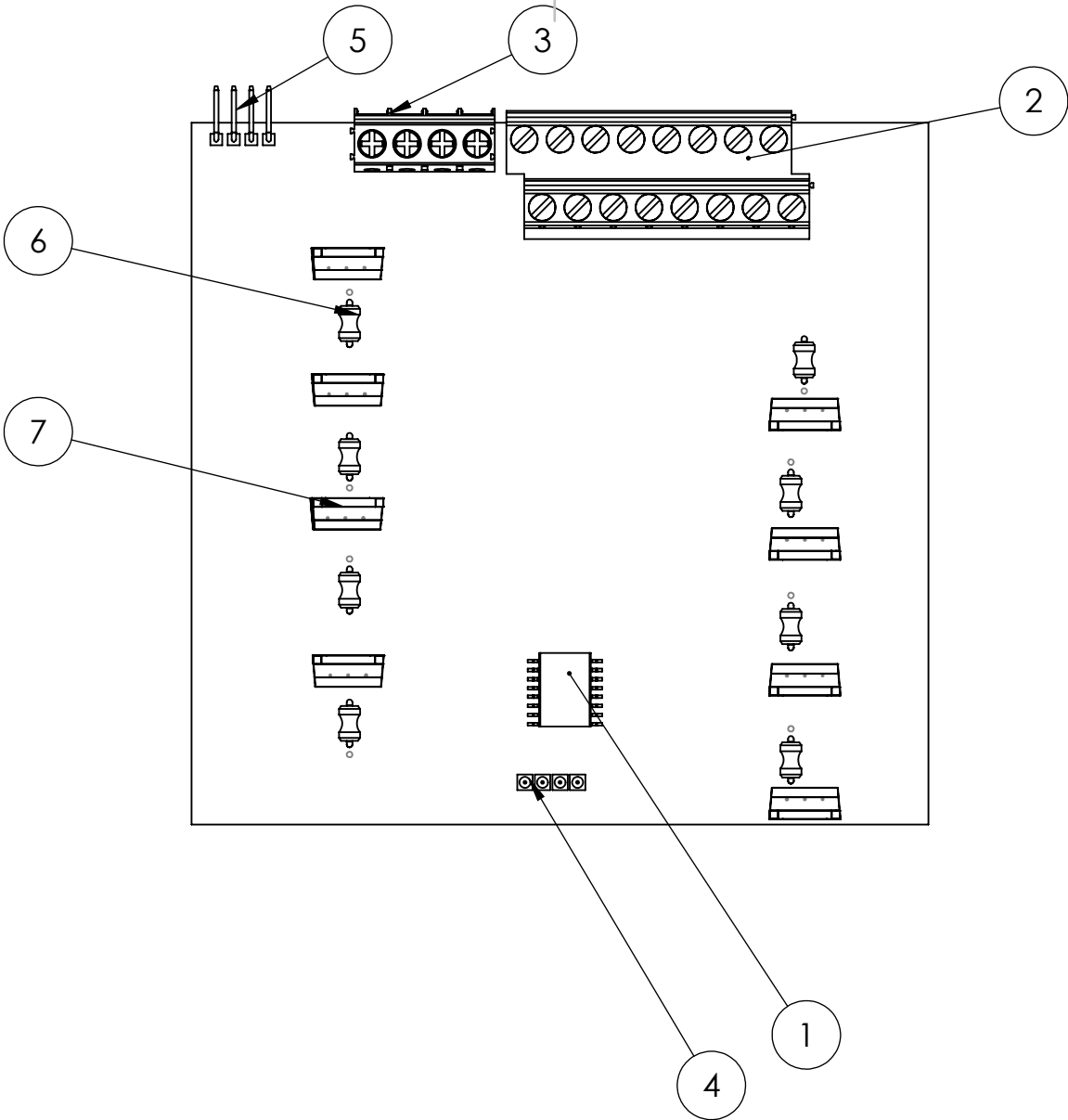


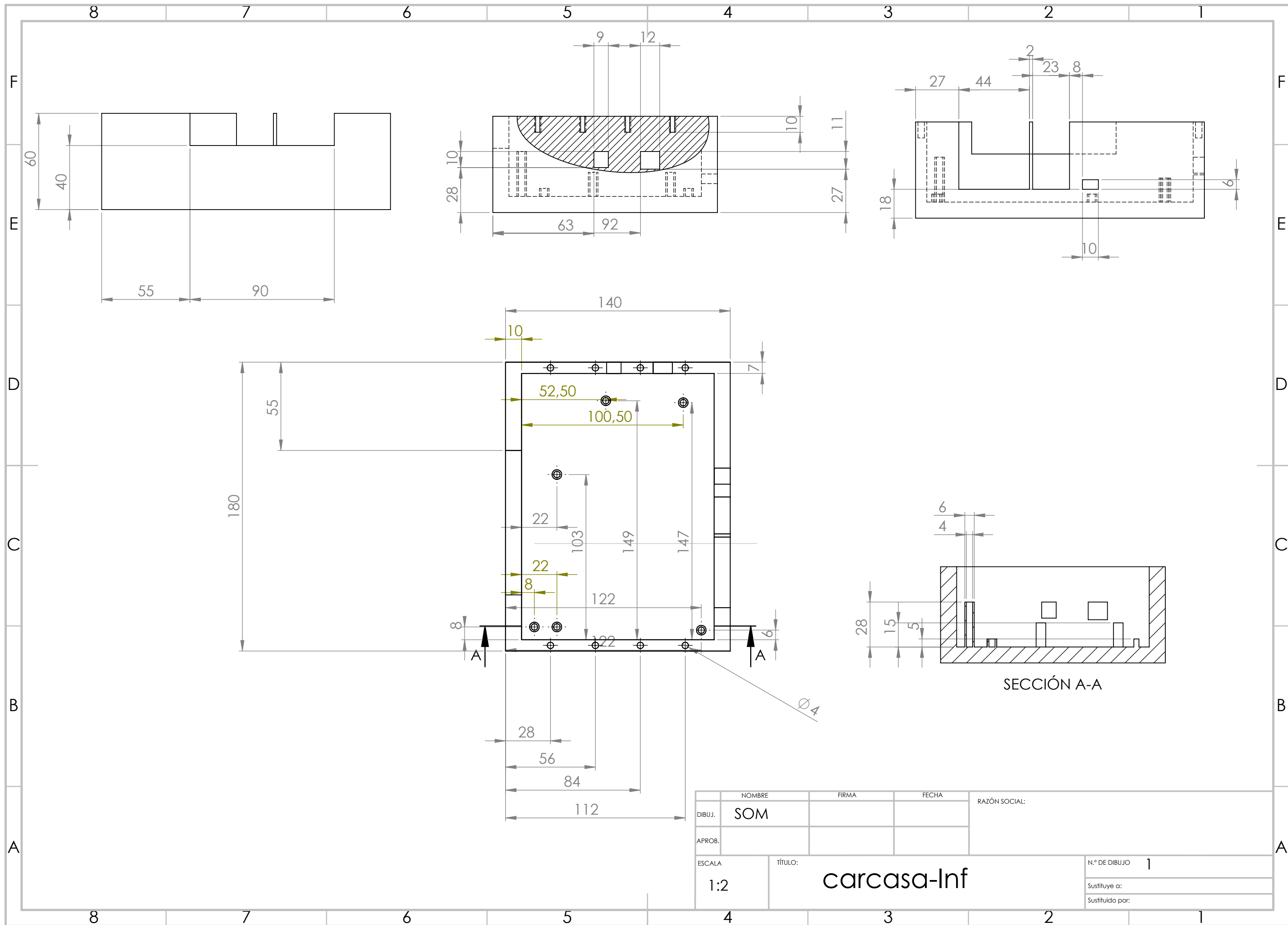
NOMBRE		FIRMA		FECHA	RAZÓN SOCIAL:
DIBUJ.	SOM				
APROB.					
ESCALA		TÍTULO:			N.º DE DIBUJO
3:2		Placa Salidas cara Bottom			P04
					Sustituye a:
					Sustituido por:

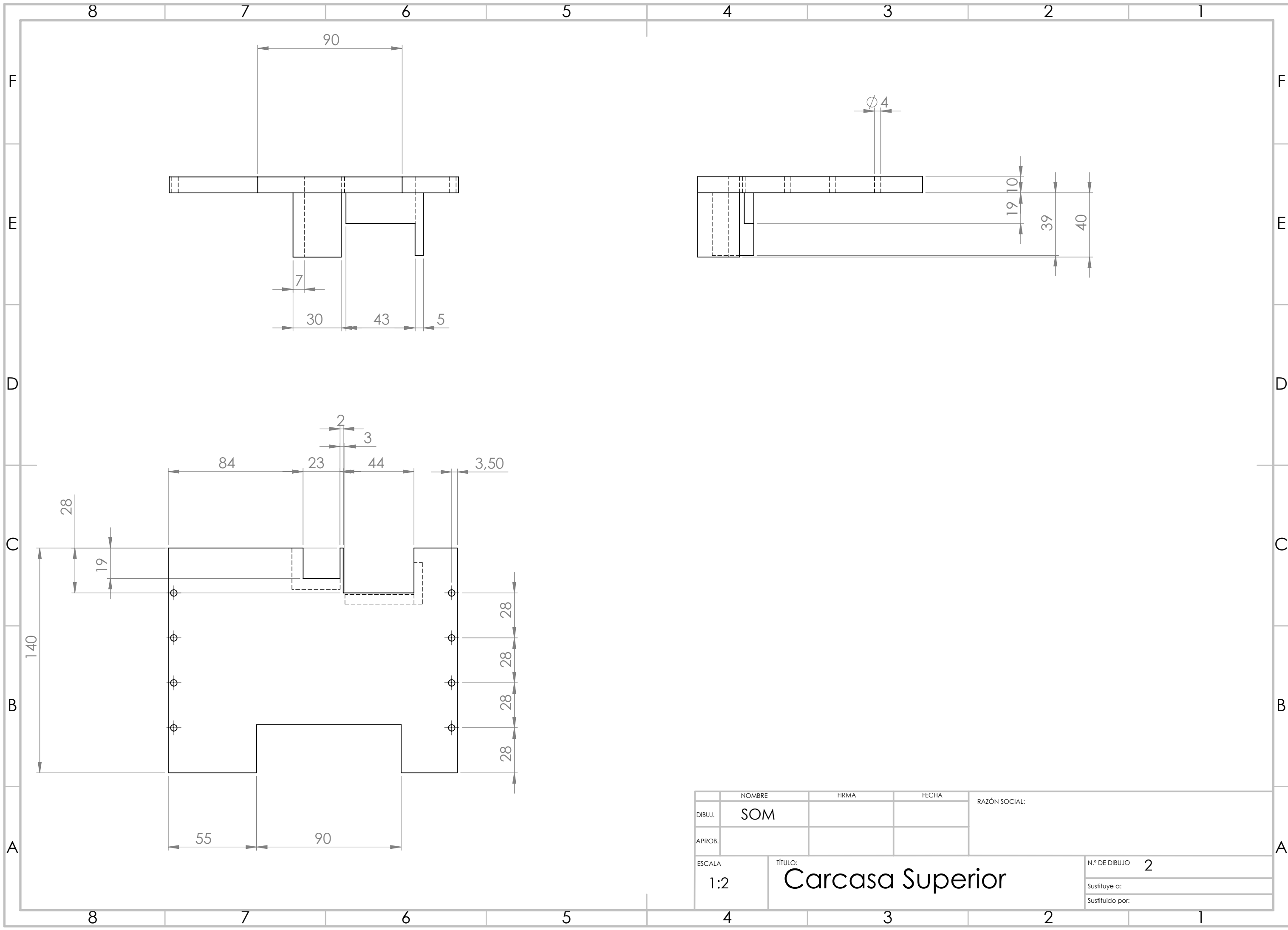


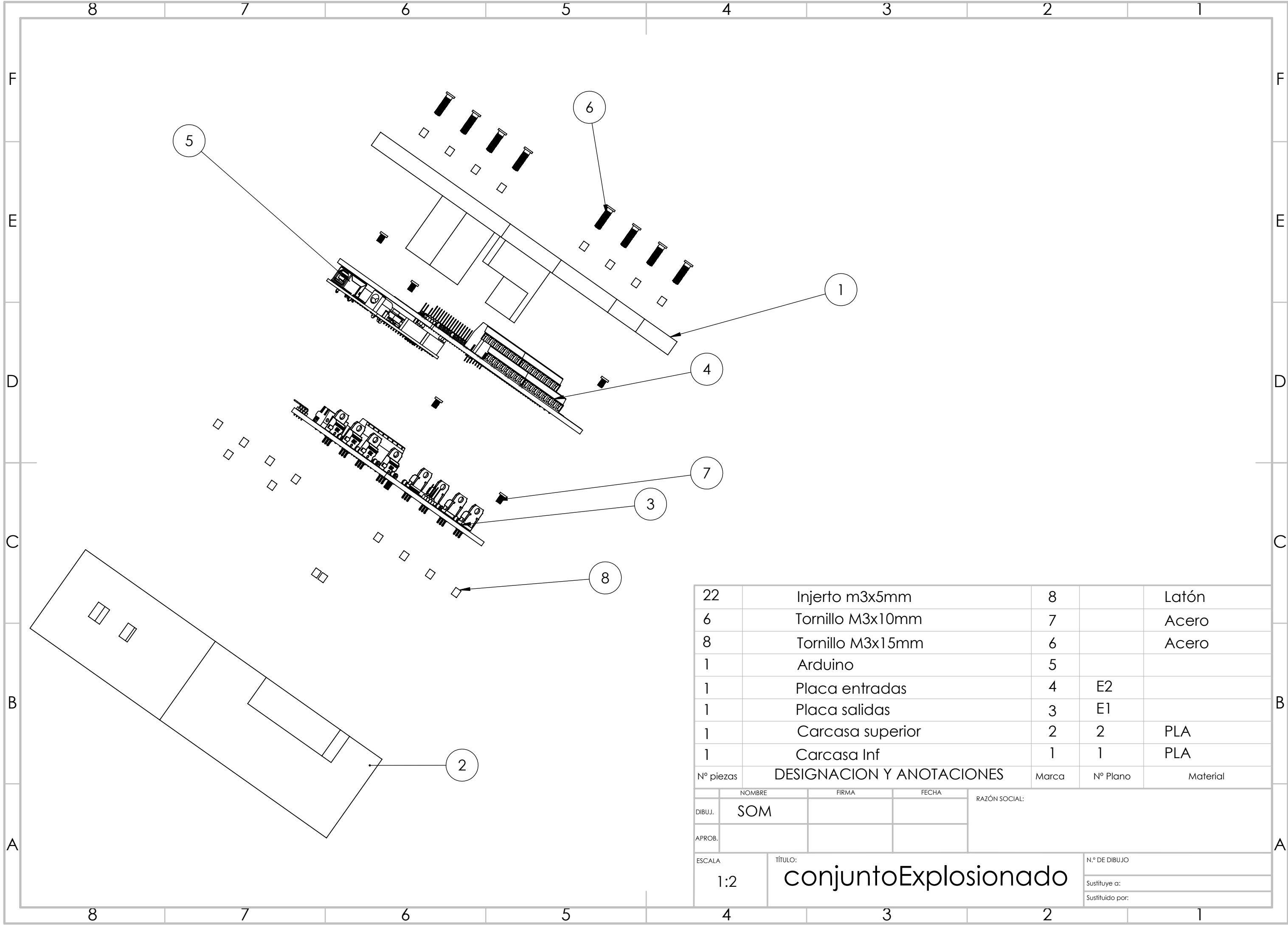
10	87224-6	8	
2	1726202	7	
9	CFJ14120R	6	
8	CFJ14470R	5	
8	CF14J1k00	4	
11	CF14J10k0	3	
8	HCPLC-191-00BE	2	
1	PCF8574APWR (SOIC-2.56mm)	1	
Nº piezas	DESIGNACION Y ANOTACIONES	Marca	Fabricante

NOMBRE		FIRMA		FECHA		RAZÓN SOCIAL:	
DIBUJ.	SOM						
APROB.							
ESCALA		TÍTULO:				N.º DE DIBUJO	
1:1		PlacaEntradas				E2	
						Sustituye a:	
						Sustituido por:	

4		3		2		1	
F							
E							
D							
C							
B	8	STP16NF06L TO-220				7	
	8	CF14JT12K0				6	
	4	TIR1X5A14				5	
	1	TIR1X5A14				4	
	1	87224-4				3	
	1	1726202 (TERM BLK 8P SIDE ENT 5.08mm)				2	
	1	PCF8574APWR SOIC - 2.65 mm				1	
	Nº piezas	DESIGNACION Y ANOTACIONES				Marca	Fabricante
	A	NOMBRE		FIRMA		FECHA	
DIBUJ.							
APROB.							
ESCALA		TÍTULO:				N.º DE DIBUJO	
		PlacaSalidas				Sustituye a:	
						Sustituido por:	
4		3		2		1	







22	Injerto m3x5mm	8		Latón
6	Tornillo M3x10mm	7		Acero
8	Tornillo M3x15mm	6		Acero
1	Arduino	5		
1	Placa entradas	4	E2	
1	Placa salidas	3	E1	
1	Carcasa superior	2	2	PLA
1	Carcasa Inf	1	1	PLA
Nº piezas	DESIGNACION Y ANOTACIONES	Marca	Nº Plano	Material
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	RAZÓN SOCIAL:
DIBUJ.	SOM			
APROB.				
ESCALA	TÍTULO:	N.º DE DIBUJO		
1:2	conjuntoExplosionado	Sustituye a:		
		Sustituido por:		