

# Trabajo final de grado



**Matías J. Viada**

Sistema de recuperación de carga útil de un  
cohete



## Agradecimientos

En toda la carrera he tenido demasiadas personas que me han apoyado, tanto en lo estudiantil como lo emocional, sería casi imposible nombrar a todas aunque si las recuerdo. Principalmente quiero agradecer a mi familia por el aguante constante y la confianza en mí, a mis amigos tanto los de Villa del Rosario y los que me dio esta carrera por la comprensión de las diferentes situaciones vividas. A la familia del IUA que por trabajo me termino ayudando a estar en esta situación. Especialmente a Luciano Villareal por hacerme entender que lo que uno se propone lo puede realizar.

A mis compañeros de cursado por la paciencia en explicarme ejercicios y por dejar que les explique lo que creía saber. En este grupo entran mis amigos de Ing, aeronáutica que aunque no sepan por que vuelan los aviones son excelentes personas y espero no perder contacto con ninguno de ellos. A los profesores que después de tanta insistencia pudieron hacerme comprender cada campo de ingeniería. A mis amigos y compañeros de trabajo actual que me ayudaron a terminar este trabajo final de grado.

En fin, como mencione anteriormente, no puedo nombrarlos a todos pero fueron demasiadas personas las que de alguna u otra forma me ayudaron.

Muchas gracias a todos.



## Resumen

En este trabajo final de grado, se abordara la ingeniería de diseño y producción de un sistema encargado de gobernar la separación de la carga útil del motor de un cohete de combustible sólido, para su protección y posterior recuperación.

In this final degree, engineering design and production of a system responsible for governing the separation of the payload of a rocket engine solid fuel, for protection and recovery are addressed.



---

## Índice

### Tabla de contenido

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	2
Índice.....	3
Definiciones, acrónimos y abreviaturas.....	7
Capítulo I.....	8
Introducción.....	8
Justificación.....	8
Requerimientos.....	9
Objetivos.....	9
Objetivos generales.....	9
Objetivos.....	9
Hipótesis.....	9
Capitulo II.....	10
Vector sub-orbital.....	10
Carga Util.....	10
Sistema actual.....	11
Alimentación general.....	11
Baroswitch.....	11
Temporizador mecanico.....	12
Temporizador electronico.....	12
Funcionamiento del módulo de separación.....	13
Capitulo III.....	14
Propuesta tecnológica.....	14
Conceptos básicos.....	14
Estrategias para diseñar un sistema fiable.....	15
Objetivo:.....	15
Tolerancia a fallos.....	15



---

Sistemas redundantes .....	16
Redundancia en el hardware .....	16
Softwares utilizados .....	18
Soluciones propuestas.....	19
Explicación de bloques e interconexiones .....	20
Fuente de alimentación.....	20
Circuito de las fuentes de alimentación .....	20
Adquisición de presión .....	22
Sensor de presión.....	22
Protección de sobre tensiones y filtrado .....	22
Acondicionadores de señal redundados .....	24
Etapa referencia .....	24
Comparadores LM111 .....	25
Sistema votador de mayoría .....	26
Adquisición de temperatura .....	27
Adaptador de tensión para entrada comparador .....	28
Sistema de referencia y comparación.....	29
Funcionamiento .....	29
Sistema secuencial lógico.....	30
Temporizadores .....	31
Partes del temporizador.....	31
Oscilador, divisores de frecuencias y contadores.....	32
Codificador de banderas de tiempo .....	33
Circuitos lógicos secuenciales y microcontrolado .....	35
Máquinas de estado.....	37
Máquinas de estado Moore .....	37
Máquinas de estado de Mealy .....	37
Sistema lógico Moore.....	38
Sistema lógico Mealy .....	41
Sistema microcontrolado.....	43



---

Firmware .....	46
main.c .....	46
bsp.h .....	47
bsp.c .....	48
Sistema votador de mayoría lógica .....	50
Sistema de salida .....	50
Diseño de la PCB .....	52
Robustez ante EMC .....	52
Puesta a tierra .....	52
Diseño del circuito impreso y disposición de componentes .....	54
Selección del stack, materiales y dimensiones de la placa base .....	55
Esquemáticos y PCB de la placa .....	58
Documento puesta en marcha de la placa .....	60
PEM pasiva .....	60
Instrumentos .....	60
Materiales .....	60
Procedimiento .....	61
Configuración de jumpers .....	61
Mediciones activas .....	64
Procedimiento .....	64
Resumen del Ensayo .....	65
Resultado Final de Ensayo .....	65
Anexos .....	66
Anexo 1 .....	66
Diodos TVS PESD12VV1BL .....	66
Regulador de tensión LM 1117I .....	67
Ferrite Bead (núcleos de ferrita) ILBB-1210-ER-310-V .....	69
Comparadores LM111 .....	72
Compuerta OR de tres entradas SN54HC4075 .....	73
Sensor de temperatura LM35A .....	74



---

Doble flip-flop tipo D 74HC74 .....	76
Compuerta AND 4 entradas 54HC21 .....	77
Triple AND de tres entradas 74HC11 .....	79
Doble FLIP-FLOP tipo D CD4518.....	81
Contador binario CD4060 .....	83
Seis inversores Shmitt trigger 54HC14.....	85
Switch controlado de baja resistencia bajo carga TPS22929D.....	86
Conectores de alimentación, entrada y salida DF1E-2P-2.5C.....	88
Resistores metal film 0805 con tolerancia al 1% .....	90
Capacitor tantalio 7343 Bajo ESR .....	90
Capacitor cerámico multilayer 0805.....	91
Cristal de cuarzo encapsulado de bajo perfil .....	92
Anexo 2.....	92
Filtro RC acondicionador de presión.....	92
Conclusión.....	94
Bibliografía.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Trabajos citados.....	95



## Definiciones, acrónimos y abreviaturas

- **CIA:** Centro de Investigaciones Aplicadas
- **EMI:** Interferencia Electro Magnética
- **EMC:** Compatibilidad Electromagnética
- **IPC:** Association Connecting Electronics Industries
- **PCB:** Printed Circuit Board
- **CITEDEF:** Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa
- **ESR:** Resistencia Serie Equivalente
- **RC:** Filtro de Resistencia y Capacitor





## Capítulo I

### Introducción

La historia de la astronáutica en la Argentina es aquella crónica que engloba temas relacionados con la proyección, diseño y creación de los primeros vehículos aeroespaciales argentinos. Sus comienzos se pueden remontar en los años 40, cuando comenzaron los primeros ensayos de motores de cohetes, empleando diferentes combustibles.

Estos poseen la característica de estar conformados por dos partes bien diferenciadas, una de ellas es el motor propulsor y por otro lado la carga útil.

En esta última va integrada la electrónica que se encarga de recopilar los datos del ensayo del motor propulsor.

En pleno vuelo es necesario, luego de haberse producido la quema de combustible, recuperar la carga útil. Esto ocurre mediante una separación del tubo motor desechable y dicha carga, la cual está equipada con dos paracaídas, uno de estabilización y el otro de frenado, para evitar daños al impacto con el suelo.

En este proyecto de investigación lo que se pretende desarrollar es un sistema que brinde la señal de separación en el momento más conveniente, es decir, al ocurrir el evento en que la trayectoria del vehículo ha alcanzado el tiempo de apogeo calculado o al suceder un desperfecto inesperado.

### Justificación

Actualmente el sistema cuenta con un temporizador mecánico programable, que es quien toma la decisión de separar ambas partes. Este sistema es seguro y eficaz pero no es eficiente. Dicho proceso se lleva a cabo de una sola manera, teniendo como variable única el tiempo, que se elige con el temporizador luego de haberse calculado y aproximado. Pero no es capaz de detectar una falla en vuelo que requiera la separación o la interrupción del vuelo.



## Requerimientos

Los requerimientos solicitados por el CIA son:

- Diseñar un sistema electrónico que reemplace al sistema mecánico actual.
- El sistema tiene que contar con algún grado de tolerancia al fallo.
- Se recomienda el uso de circuitos lógicos.
- El sistema tiene que soportar temperaturas entre -20 a 100 °C.
- Gran tolerancia a las EMI.
- Debe soportar aceleraciones del orden de los 10 G.
- El largo máximo de la placa no debe extenderse más allá del diámetro del tubo contenedor de la carga útil.
- Que sea totalmente reproducible con tecnologías en el país.

## Objetivos

### Objetivos generales

Diseñar un sistema que permita controlar la separación del motor propulsor con la carga útil, con el fin de detectar posibles fallas y evitar daños en la carga de interés.

### Objetivos

- i. Desarrollar el módulo de adquisición de temperatura, presión y tiempo con sus respectivos sistemas redundantes.
- ii. Desarrollar el control de prioridad de las variables adquiridas.
- iii. Desarrollar un sistema de elección de sistemas redundantes.
- iv. Unificar los módulos desarrollados a fin de obtener el control automático del sistema.
- v. Realizar un informe de puesta en marcha para asegurar un buen funcionamiento luego de su poblado e integración.

## Hipótesis

Con el diseño e implementación de un sistema de recuperación, se pretende lograr aprovechar al máximo los recursos del motor propulsor y además no dañar la carga útil al encontrarse un desperfecto en el momento del vuelo.

## Capítulo II

En este capítulo se describe brevemente el vector utilizado y se analizan los conceptos básicos que permiten llevar a cabo esta investigación en los siguientes capítulos, explicando el funcionamiento del sistema actual.

### Vector sub-orbital

Para el desarrollo del vector, se incorporan modernas herramientas de diseño, y en su construcción se adopta el uso de materiales compuestos (por ejemplo, en su ojiva). Este vector posee módulo de telemetría, sistema de estabilización de la carga útil mediante chorros de nitrógeno (que le permitirá tomar fotografías en infrarrojo a gran altura), y carga útil recuperable.

### Carga Util

Es el elemento a recuperar, en él se monta toda la electrónica que se ocupa de tomar, procesar, guardar y transmitir toda la información de la experiencia. En la figura 1 se observa la carga útil con dimensiones reales.



Figura 1

Al ser un prototipo militar, la información detallada de todos los sistemas y funciones de la carga útil, no fue posible obtenerla, limitándose solo a la parte que es de interés para este trabajo final de grado.

## Sistema actual

### Alimentación general

Dicho sistema cuenta con una alimentación de una batería LiPo de 7.4 V 4000mA, que alimenta a todos los subsistemas que lo componen.

### Baroswitch

Son dispositivos capaces de actuar ante un cambio de altura, brindando una conexión o desconexión mediante un relé, que pueden ser normal abierta o normal cerrada. Aquí encontramos de 1500, 4000 y 6000 pies, esto significa que se encuentran en su estado normal abierto por debajo de esa altura y cuando se sobrepasa ese nivel pasan a su estado opuesto.

La figura 2 muestra una baroswitch.



Figura 2

### Temporizador mecánico

Es el elemento más importante del sistema, se trata de un dispositivo capaz de medir o contar el tiempo a partir de una señal, en este caso es el despegue del cohete. Una vez programado a un cierto tiempo, cuando se alcance el mismo, se alimentaran los relés internos que conectaran las entradas con las salidas de estos.

En la figura 3 se muestran dos temporizadores mecánicos montados en una base metálica de la carga útil.

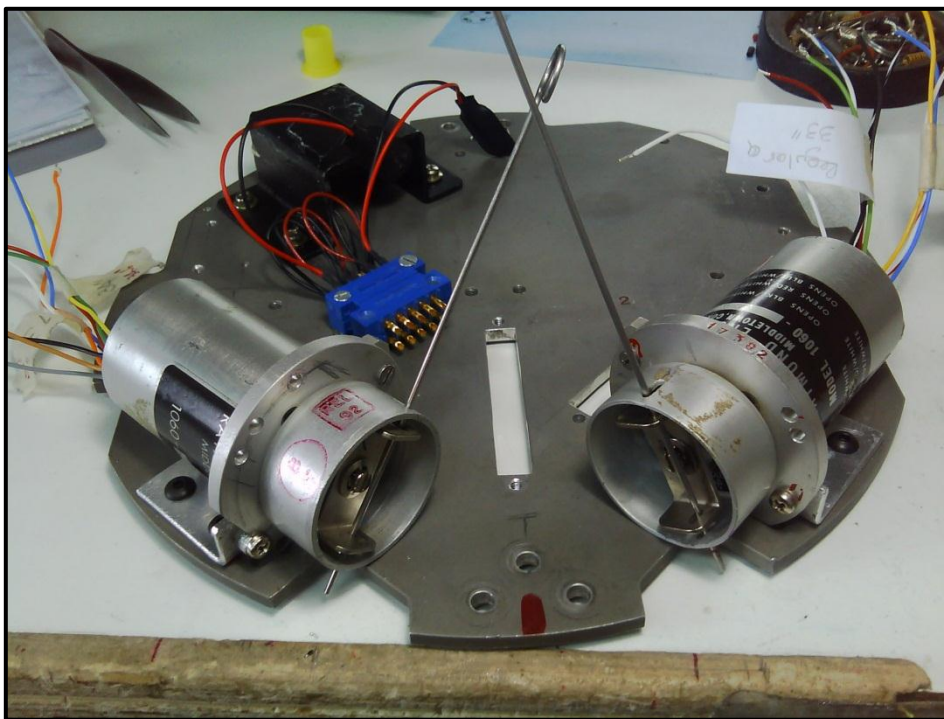


Figura 3

### Temporizador electrónico

Se trata de un temporizador comercial programado a tiempos predeterminados que servirán para separar, en tiempo, la apertura del paracaídas de estabilización con el principal, si se encuentra por encima de los 4000 pies de altura.



## Funcionamiento del módulo de separación

La batería de 7.4V está conectada por su terminal positivo a uno de los extremos de los relés internos del temporizador mecánico. Pero a su vez está gobernada por una baroswitch de 1500 pies normal abierta. Esta configuración indica que el sistema no va a procesar ninguna orden hasta que no se supere los 1500 pies de altura. Se utiliza como medida de seguridad, ya que si por algún problema se llegara a dar la orden de eyección a nivel de tierra, podría dañar al personal cercano al ensayo.

Una vez superado el tiempo programado y encontrándose la baroswitch de 1500 pies cerrada, se brinda la señal de separación y de apertura de los paracaídas. Esta última orden está condicionada por una baroswitch de 6000 pies en conexión normal cerrada, es decir, que si se encuentra por encima de dicha altura cortara la señal para ambos paracaídas no permitiendo su apertura.

Una vez cerrada la baroswitch de 6000 pies se abrirá el paracaídas de estabilización. Pero el paracaídas principal está comandado por un temporizador de 30 segundos y este a su vez se condiciona por una baroswitch de 4000 pies. Esta situación implica que si la carga útil se encuentra por encima de los 4000 pies, la apertura del paracaídas principal se realiza 30 segundos después de la apertura del de estabilización. Por lo contrario si dicha carga se encuentra por debajo de los 4000 pies, la expulsión del paracaídas principal es instantánea, luego de expulsar el de estabilización. El diagrama esquemático del sistema es el siguiente.

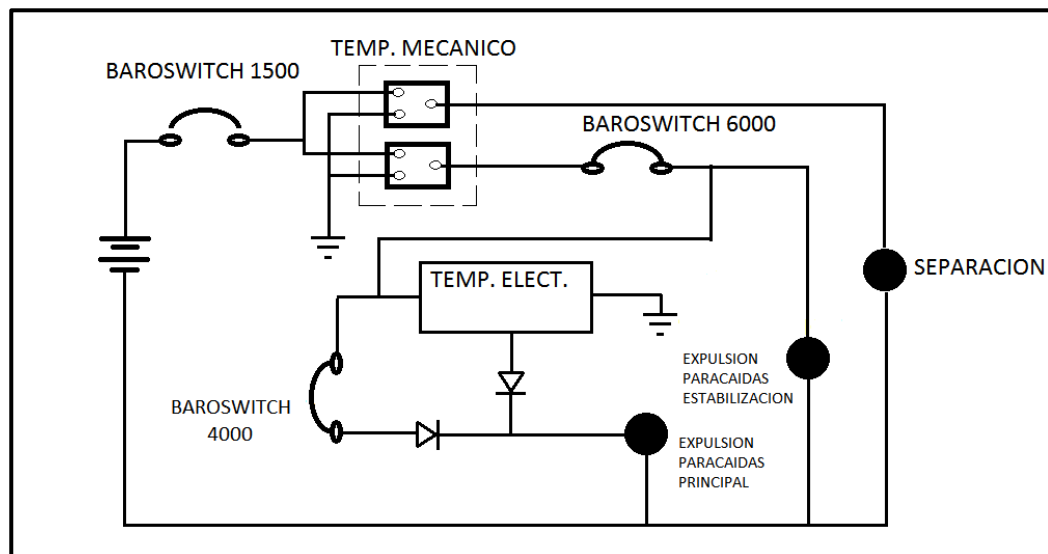


Figura 4



## Capítulo III

### Propuesta tecnológica

Como se observó en el capítulo anterior, el sistema actual es un mecanismo muy seguro pero no es fácilmente reproducible. Lo que llevo la conclusión de que se necesitaba repetir ese mecanismo de forma electrónica pero asegurando el mismo nivel de confiabilidad.

La redundancia es la mejor solución a la hora de aumentar la confiabilidad de los sistemas o hacerlos tolerantes a fallos.

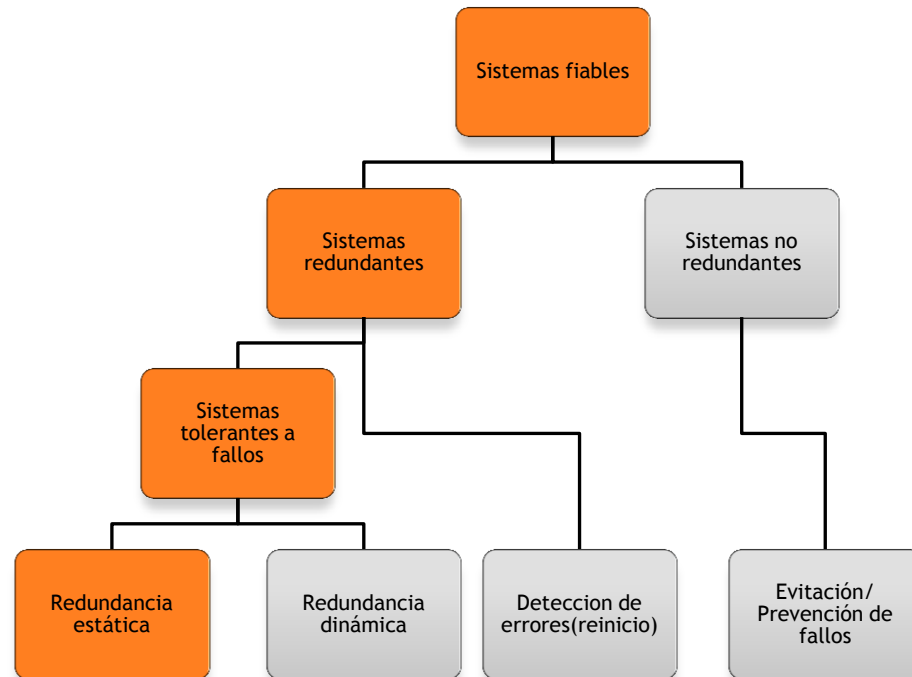
### Conceptos básicos

**Fiabilidad:** Es una medida de conformidad con una especificación aprobada de comportamiento.

**Avería:** es una desviación del comportamiento de un sistema respecto al especificado. Las averías se manifiestan en el comportamiento externo del sistema, pero son el resultado de **errores** internos.

**Fallos:** Son las causas mecánicas o algorítmicas de los errores.

## Estrategias para diseñar un sistema fiable



### Esquema 1

Como se observa en el diagrama anterior, existen diferentes posibilidades para lograr un sistema fiable. Cada uno representa un costo beneficio diferente, por lo que después de un análisis detallado de requerimientos, se optó por elegir el camino que forman las casillas coloreadas.

### Objetivo:

Maximizar la fiabilidad del sistema

Minimizar la redundancia del sistema

### Tolerancia a fallos

Son sistemas que poseen la capacidad interna de asegurar la ejecución correcta y continuada de un equipo, a pesar de la presencia de fallos de hardware o software.



## Sistemas redundantes

### Redundancia en el hardware

La duplicación física del hardware es la redundancia más frecuente en los sistemas digitales.

Existen tres formas básicas de redundancia:

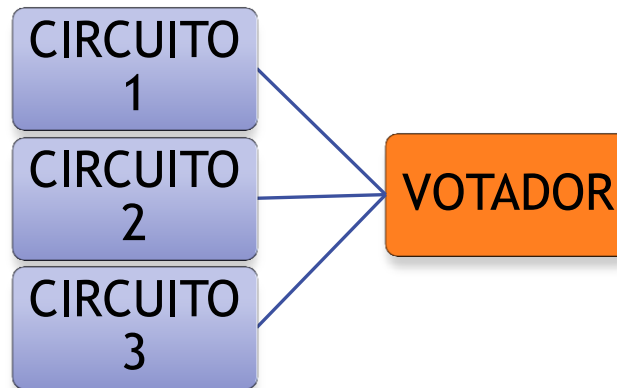
- ❖ Redundancia pasiva o estática
- ❖ Redundancia activa o dinámica
- ❖ Redundancia estática en cadena

En este trabajo se eligió utilizar la Redundancia pasiva o estática, teniendo en cuenta el siguiente diagrama:



### Esquema 2

Las técnicas de redundancia pasiva explotan el concepto de enmascaramiento de los fallos. El interés de estas técnicas radica en que no necesitan que se tome ninguna acción externa por parte del sistema. Puntualmente se escogió el sistema modular triple (TMR, triple modular redundancy).



Esquema 3

Como se observa en el diagrama anterior, la redundancia TMR tiene como concepto básico ejecutar tres copias del mismo circuito de manera que cada una de ellas realice individualmente todos los cálculos y genere una salida. Las tres salidas son procesadas por un selector de mayoría (o votador) que genera un único resultado (la salida será el valor de la entrada del votador que más se repita). De esta manera, si cualquiera de las tres copias del circuito falla, el error se puede corregir mediante las otras dos.

Esta técnica de redundancia no podría funcionar con una simple duplicidad de circuitos (sólo dos copias del circuito y el votador) ya que aunque se detectase un error por diferencia en las salidas no se sabría cuál de las dos es la salida correcta.

En general, la expresión de la fiabilidad de un sistema con redundancia n-modular es:

$$R_{TMR} = \sum_{i=0}^n \binom{N}{i} * (1 - R_M)^i * R_M^{(N-i)}$$

N= Número de módulos

n= Número de fallos

n=(N-1)/2



En el caso elegido, como el número de módulos es  $N=3$  se calcula fácilmente que este sistema tiene la capacidad de un fallo ( $n=1$ ).

Si se quisiera lograr una protección contra dos fallas el número de módulos se incrementaría a  $N=5$ , lo cual el sistema ya comienza a ser más complejo reduciendo la fiabilidad del mismo.

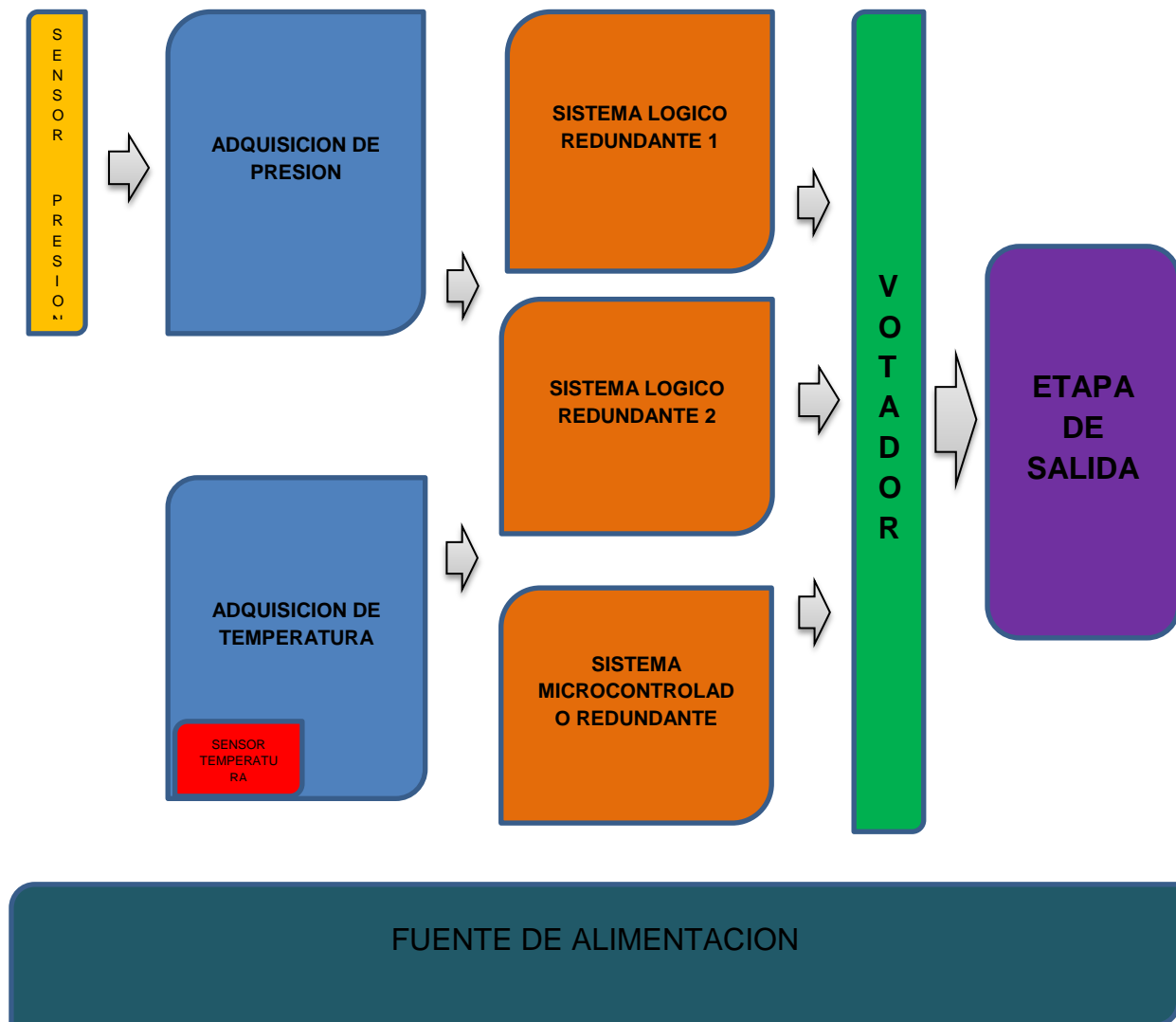
### Softwares utilizados

Para el diseño de todos los subsistemas se utilizaron dos tipos de softwares. Para la simulación se utilizó el programa Proteus 8.0, se escogió ya que los requerimientos no eran demasiados complejos, cuenta con modelos PSPICE y el entorno ya es probado y conocido. A lo que corresponde al diseño del PCB, la plataforma escogida es Altium Designer 10.0. Es un programa completo, compatible con muchas normas y estándares mundiales, capaz de transformarse en una herramienta potente y profesional para el diseño de PCB.

### Soluciones propuestas

Después de varios cambios y rediseños se optó por una combinación que equilibre seguridad y simplicidad del sistema completo, respetando los requerimientos solicitados.

En el siguiente diagrama se muestra la configuración escogida:



## Explicación de bloques e interconexiones

### Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es la encargada de proporcionar una tensión y corriente estable a cada sub sistema de la placa.

Por los diferentes módulos, que ya se explicaran a continuación, se realizaron dos estabilizaciones de tensión, una de 3.3V y la otra de 5V.

La tensión de 3.3V alimenta solamente a una parte del sistema micro controlado redundante. El resto de los sistemas se alimentan con 5V. El tipo de fuentes elegidas fueron lineales, por el bajo ruido, simplicidad en el diseño (pocos componentes) y fácil adquisición. Particularmente como la batería brinda una tensión de 7.4V, se decidió utilizar los reguladores de la familia LDO (Low Drop Out), ya que estos cuentan con la particularidad de poder funcionar con una baja diferencia de potencial entre la entrada y la salida regulada de tensión, asegurando el funcionamiento del equipo por más que esta última caiga a valores por debajo de los 7.0V, lo cual ya es peligroso para el equipo por el tipo de batería.

### Circuito de las fuentes de alimentación

Como se observa en la figura, la alimentación se ingresa por un conector e inmediatamente se coloca un diodo TVS (ver anexo 1) para asegurar que no se tendrán sobre tensiones transitorias en la entrada de la placa.

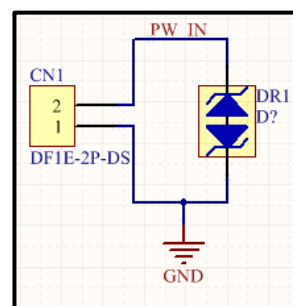


Figura 5

Tanto en las fuentes de alimentaciones de 3.3V y 5V se optó por redundar los reguladores LM1117 (ver anexo 1), siendo una situación muy crítica si no estuvieran duplicados ya que si fallara uno dejaría deshabilitado el sistema completo. El consumo extra por regulador no va a ser un problema, ya que las corrientes de mantenimiento no son muy altas (10mA).

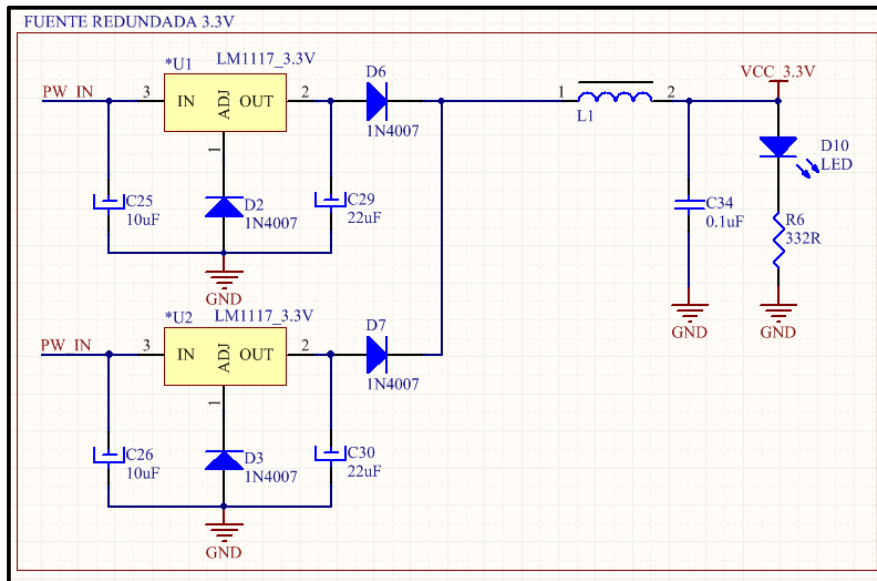


Figura 6

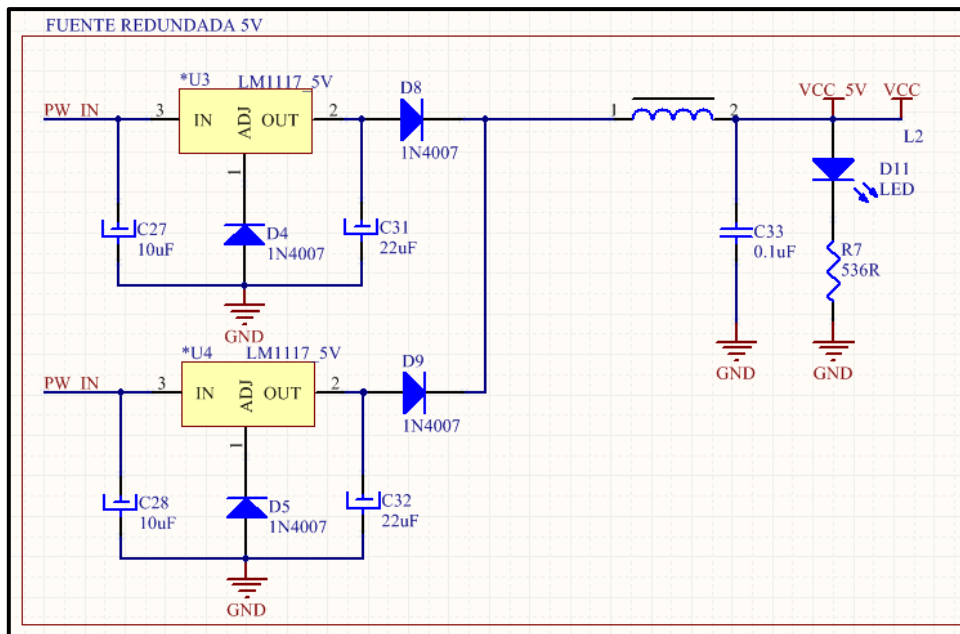


Figura 7

Como se observa en las figuras 6 y 7, la configuración utilizada en los reguladores de tensión es la recomendada por el fabricante. La diferencia radica en el diodo colocado en el ajuste de los reguladores (D2, D3, D4 y D5). El mismo se coloca para elevar la tensión de referencia del regulador, que compensa la caída de tensión de los diodos en serie a la salida de estos (D6, D7, D8 y D9). Como se explicó anteriormente, se utilizan fuentes redundadas, lo cual hace necesario desacoplar las salidas de los reguladores. Si alguno llega a fallar y se cortocircuita

a masa, el diodo en serie no se polariza y deja que el otro regulador continúe alimentando la placa.

La bobina se choque ILBB-1210 (ver anexo 3) se colocó para funcionar como filtro pasa bajos para frecuencias del orden de 100MHz, ya que el ambiente de donde se encuentra está rodeado de transmisores de RF con frecuencias cercanas a ésta. Aparte de la frecuencia, se tuvo en cuenta la corriente máxima que tiene que soportar y las tensiones de aislación de la bobina.

Por último, se vio muy necesario la colocación de un diodo led que indique cuando la placa esta energizada correctamente.

### Adquisición de presión

#### Sensor de presión

El cohete cuenta con un sensor de presión en la cámara de combustión, que luego es acondicionado por una sistema interno. La señal resultante de este sistema es una variación de tensión de 0 a 10V.

#### Protección de sobre tensiones y filtrado

Como ya se explicó en el desarrollo de la fuente de alimentación, las señales pueden llegar a la placa muy ruidosa y con posibles picos que pueden dañarla o provocar un mal funcionamiento.

Por ello se implementa un diodo TVS inmediatamente después del conector, eliminando los picos de tensión peligrosos, luego se le adiciona un filtro RC pasa bajos para atenuar picos de más de 10Hz (ver anexo 2).

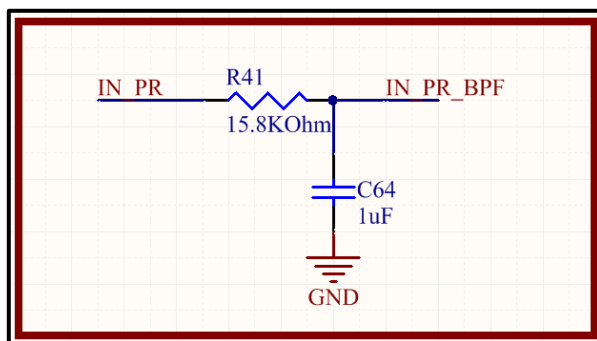


Figura 8

La elección de esta frecuencia surge de la siguiente captura de pantalla.

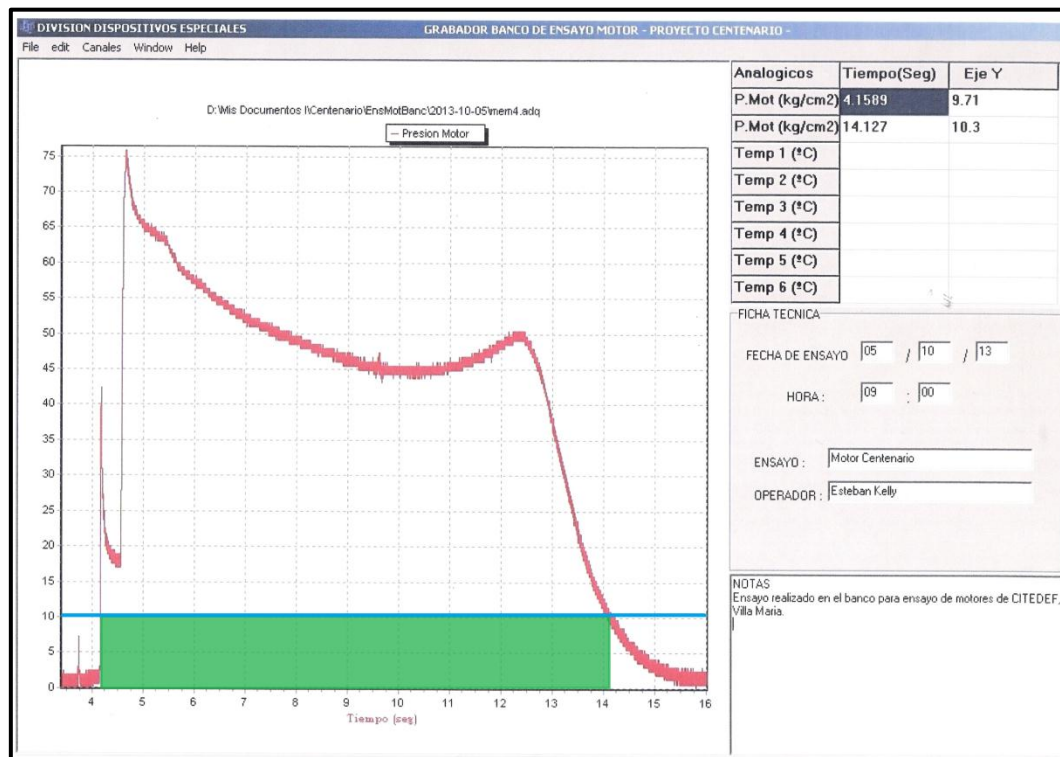


Figura 9

La figura 9 es una captura de pantalla del software del banco de ensayos de motores del CITEDEF. La cual muestra una curva presión vs tiempo, desde que se inicia la combustión del motor hasta que se termina de consumir todo el combustible.

La sección de interés en este desarrollo, es el rectángulo verde que se encuentra en la parte inferior del gráfico. Como se explicó anteriormente, la placa recibe una tensión de 4.1V cuando la presión alcanza los valores que aseguren el correcto funcionamiento del motor, en el tiempo de funcionamiento a pleno. La línea azul divide el grafico en dos fracciones, siendo de inferior la de interés. Analizando la figura, al comienzo, en el lapso de 2 segundos aproximadamente se observa un pico indeseado. Este pico puede ser el causante de un falso disparo provocando fallas en el sistema. El filtro pasa bajos es justamente el encargado de eliminar esos posibles pulsos rápidos que serían fácilmente detectables por la lógica interna. Se tomó como referencia los 10 Hz aproximadamente ya que el tiempo máximo de perdida de información seria 0.1 segundos, lo que no representa un problema a la hora se asegurar la ventana donde se ejecuta la combustión.



### Acondicionadores de señal redundados

Una vez que se encuentre la señal limpia de sobre tensiones o falsos disparos, se puede proceder a acondicionar la señal para decidir si es válida o no.

El esquema utilizado está comprendido por una etapa de referencia que actúa conjuntamente con una etapa de comparación.

### Etapa referencia

Todas las etapas de comparación constan de dos entradas básicas, la señal a comparar y la referencia de comparación. Como se vio anteriormente, la señal se “acondiciona” para que el comparador no tome falsas muestras. A lo que se refiere a la referencia, tiene que ser estable ante cambios de tensión de alimentación, estable a cambios de temperatura y de tamaño reducido por el espacio disponible en la placa.

En el mercado existen muchas ofertas que cumplan con los requerimientos nombrados anteriormente, pero se optó elegir el LM4040im3x-4.1 en la configuración siguiente (ver anexo 1).

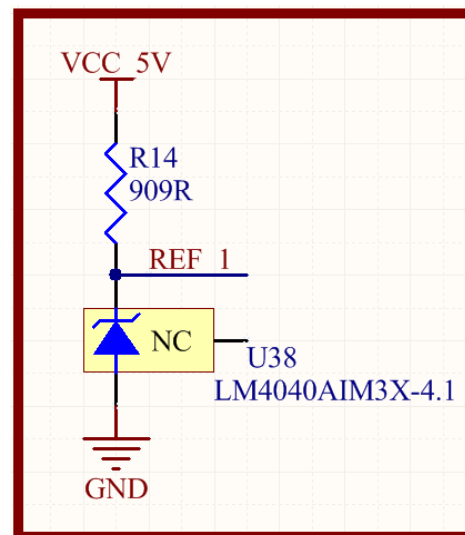


Figura 10

La resistencia se calculó para polarizar el circuito integrado con 1mA, lo que es un nivel más que seguro y no provoca que se caliente en integrado, generando un error extra.

$$R_{ref} = \frac{V_{cc} - V_{ref}}{i_{ref}} = \frac{5 - 4.1}{0.001} = 900 \text{ ohm} \approx 909 \text{ohm } 1\%$$

## Comparadores LM111

Como se explicó anteriormente, los sistemas comparadores constan de dos entradas, en este caso, adaptadas para la entrada directa del circuito comparador. El circuito integrado elegido fue el LM111 (ver anexo 1), el cual se adapta a las necesidades de diseño y está creado para este tipo de empleos. La configuración utilizada es provista por el fabricante, colocando la resistencia de 10Kohm como pull-up y la resistencia de 2.21Mohm para estabilizar la salida.

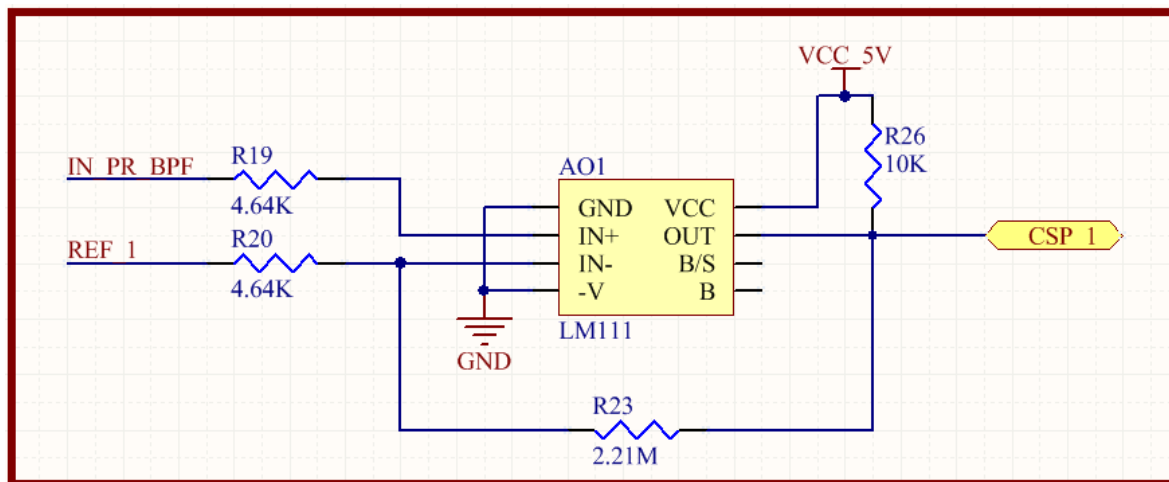


Figura 11

Al ser una parte esencial del circuito y estar tan expuesto a un conector externo de la placa, se decidió redundar la toma de datos de presión con el sistema de redundancia TMR (explicado en el capítulo II). Esto conlleva a que se triplicaran las configuraciones de referencia como las de comparación que, como se explica a continuación, se definen en un sistema votador de mayoría.

## Sistema votador de mayoría

Este módulo define, según la teoría de TMR, cuales señales son las correctas. Lo hace tomando las primeras dos de tres señales iguales.

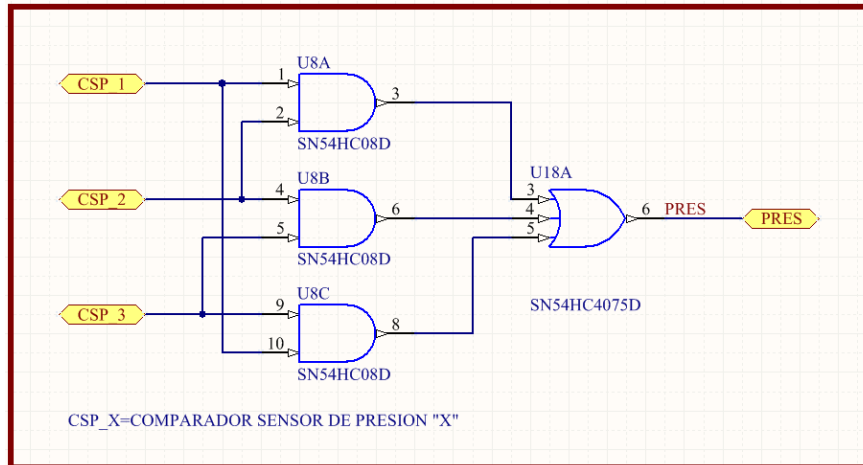


Figura 12

Como se observa en la figura, se trata de un sistema lógico sencillo pero seguro, escogiendo para hacer este trabajo los integrados SN54HC08-SP y SN54HC4075-SP (ver anexos 1).

El funcionamiento del conjunto de acondicionamiento de presión se puede representar en los siguientes pasos:

1. Cuando la presión comienza a aumentar, la placa acondicionadora externa eleva la tensión y ésta se refleja en el conector de entrada.
2. Como las entradas a referenciar de los comparadores se encuentran unidas, la tensión es idéntica y si esta supera a la tensión de referencia de los mismos, brindan un "1 lógico" a cada una de sus salidas.
3. Este valor es leído por el modulo votador de mayoría que cuando llegue a tener dos de tres decisiones iguales, habilita un "1 lógico" a su salida para su posterior procesamiento.



### Adaptador de tensión para entrada comparador

Como se puede ver en el anexo del LM35A, la función de transferencia de este es  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ , lo que es una relación que no se adapta a la referencia seleccionada. Para lograr este cometido se diseña la siguiente etapa adaptadora.

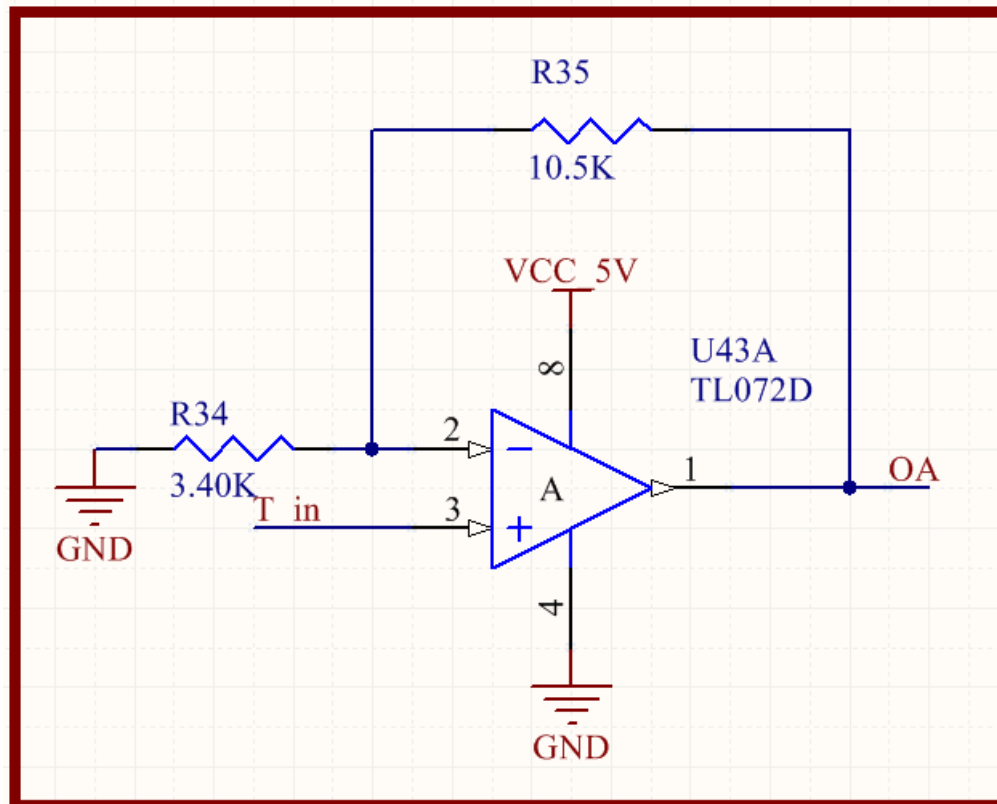


Figura 14

Como se observa en la figura anterior, es un amplificador operacional TL072D en configuración de amplificador realimentado no inversor. Se escogió este amplificador ya que la familia TL07X está diseñada para ser de bajo ruido, siendo ideal para el problema planteado (ver anexo 1). La ganancia esperada El cálculo de las resistencias es:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10.5K}{3.4K} = 4.088$$



### Sistema de referencia y comparación

Al igual que en el acondicionador de presión, se re utilizan los circuitos tanto de referencia como de comparación, utilizando el LM4040AIM3X-4.1 y el LM311.

### Funcionamiento

El principio de funcionamiento es el siguiente:

1. El sensor censa la temperatura de su encapsulado, brindando un tensión de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  medidos.
2. La señal se inyecta al amplificador operacional, adaptándola con una ganancia de 4.088 veces a la salida. Básicamente cuando la temperatura medida por el sensor sea aproximadamente  $100^{\circ}\text{C}$  a la entrada del amplificador operacional se va a tener  $1\text{V}$  y a la salida  $4.088\text{V}$ .

$$10\text{mV} * 100^{\circ}\text{C} = 1\text{V} * 4.088 = 4.088\text{V}$$

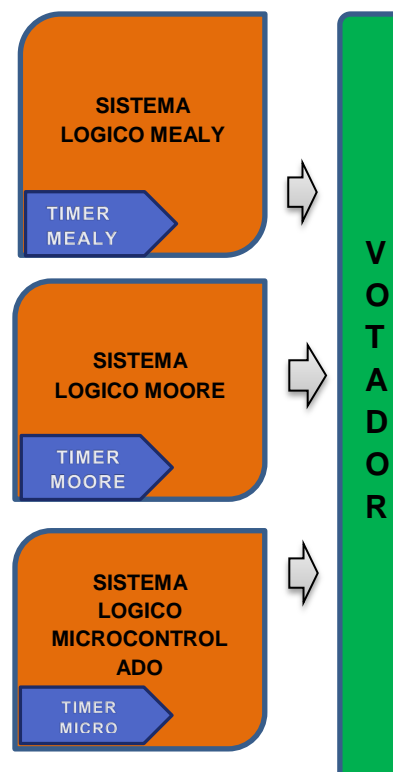
3. La salida del amplificador operacional está conectada directamente con el circuito comparador explicado anteriormente, cuando la tensión sobrepase a los  $4.096\text{V}$  (temperatura  $100.19^{\circ}\text{C}$ ), el comparador cambiara de estado colocando a su salida un "1 lógico" encendiéndose conjuntamente un diodo led.

### Sistema secuencial lógico

Para realizar el procesamiento de todas las señales que brindan los sensores, es necesario que exista un sistema que sea capaz de garantizar una correcta respuesta a su salida. Para aumentar la seguridad en esta respuesta, se utiliza la misma configuración a prueba de fallos TMR (triple redundancia modular) utilizada en el acondicionador de la señal de presión.

En la configuración TMR es recomendable que cada módulo independiente, realice las tareas de procesamiento de diferentes formas, esto ayuda a aislar fallos en diferentes situaciones problemáticas que se puedan presentar en el análisis de situación del cohete. Como el sistema votador de mayoría solo actúa cuando le llegan 2 de 3 señales iguales, las señales tendrían que aplicarse al mismo tiempo. Al tomar la decisión de diseñar módulos que procesen la señal de una forma diferente, los tiempos cambian. Pero se aceptó esta posible diferencia ya que es como mínimo  $10^{-6}$  veces menor que los tiempos manejados en el sistema.

A continuación se puede observar la configuración general de los sistemas lógicos.



Esquema 4



## Temporizadores

En la elección de temporizadores para esta placa, se tuvo en cuenta la estabilidad y la lógica utilizada, como se ve en los requerimientos se trató de no utilizar microcontroladores para generar los tiempos deseados.

Como se verá en el desarrollo de los módulos secuenciales y microcontrolados, se necesitan implementar tiempos para las diferentes etapas. Los cuales son:

- 1 Segundo
- 10 Segundos
- 60 Segundos
- 80 Segundos
- 100 Segundos

Los cuales se utilizan en diferentes etapas. Tanto el modulo secuencial Mealy como el Moor llevan el mismo tipo de temporizador.

## Partes del temporizador

### *Base de tiempo*

Para la base de tiempo se escogió un oscilador de cristal de cuarzo de 32768Hz (ver anexo 1). Al manejar tiempos que se requieren bastante estables y precisos, se decidió colocar osciladores a cristal ya que son los que más tolerancia tienen ante cambios de temperatura. Como esta placa va dentro de un cohete, las aceleraciones y vibraciones no son despreciables, pero como se observa en la hoja de datos, los cristales tienen una desviación de frecuencia poco apreciable a menos de 20G, siendo que los requerimientos están en 10G. Esto da un margen aceptable para utilizar estos componentes.

A continuación se exponen los circuitos utilizados para los sistemas lógicos.



### Oscilador, divisores de frecuencias y contadores

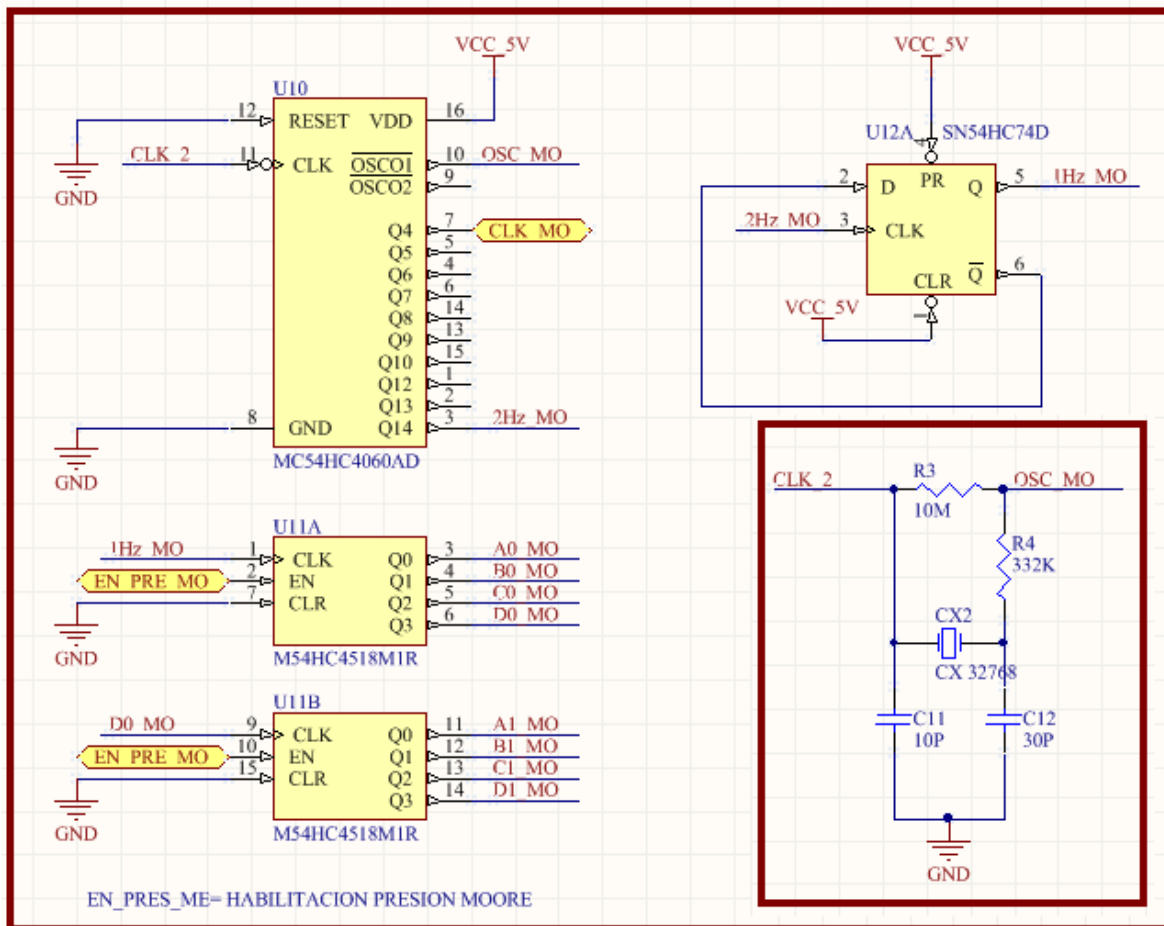


Figura 15

Como se observa en la figura, el timer cuenta con un oscilador a cristal con la configuración recomendada por el fabricante del MC54HC4060AD (ver anexo 1). Este circuito integrado es un divisor/contador de frecuencias, en este caso se utiliza la división de frecuencias para obtener 2Hz a la salida Q14. Esto se calcula:

$$f[Hz] = \frac{f_{cx}[Hz]}{2^{Q14}} = \frac{32768[Hz]}{2^{14}} = 2[Hz]$$

Como la frecuencia que se necesita es 1Hz, se colocó el SN54HC74D que es un flip flop tipo D para realizar esta última división de frecuencia necesaria (ver anexo 1).

Una vez obtenido el clock de 1HZ, se dispone a utilizar las dos partes de un contador BCD M54HC4518. La función del mismo es contar los pulsos de 1Hz y pasarlo a binario en paralelo, para luego utilizar estos datos en el codificador que



proporciona los tiempos requeridos. La habilitación de las dos partes del contador viene dado por el circuito lógico que se explicara más adelante.

### Codificador de banderas de tiempo

Para la obtener las diferentes banderas de tiempo, se toman las salidas del contador bcd y se codifican con las siguientes combinaciones lógicas.

$$B_{10seg} = (A_0 * \bar{B}_0 * \bar{C}_0 * D_0)$$

$$B_{60seg} = (\bar{A}_1 * B_1 * C_1 * \bar{D}_1)$$

$$B_{80seg} = (\bar{A}_1 * \bar{B}_1 * \bar{C}_1 * D_1)$$

$$B_{100seg} = (A_0 * \bar{B}_0 * \bar{C}_0 * D_0) + (A_1 * \bar{B}_1 * \bar{C}_1 * D_1)$$

Lo que da como resultado el siguiente circuito lógico:

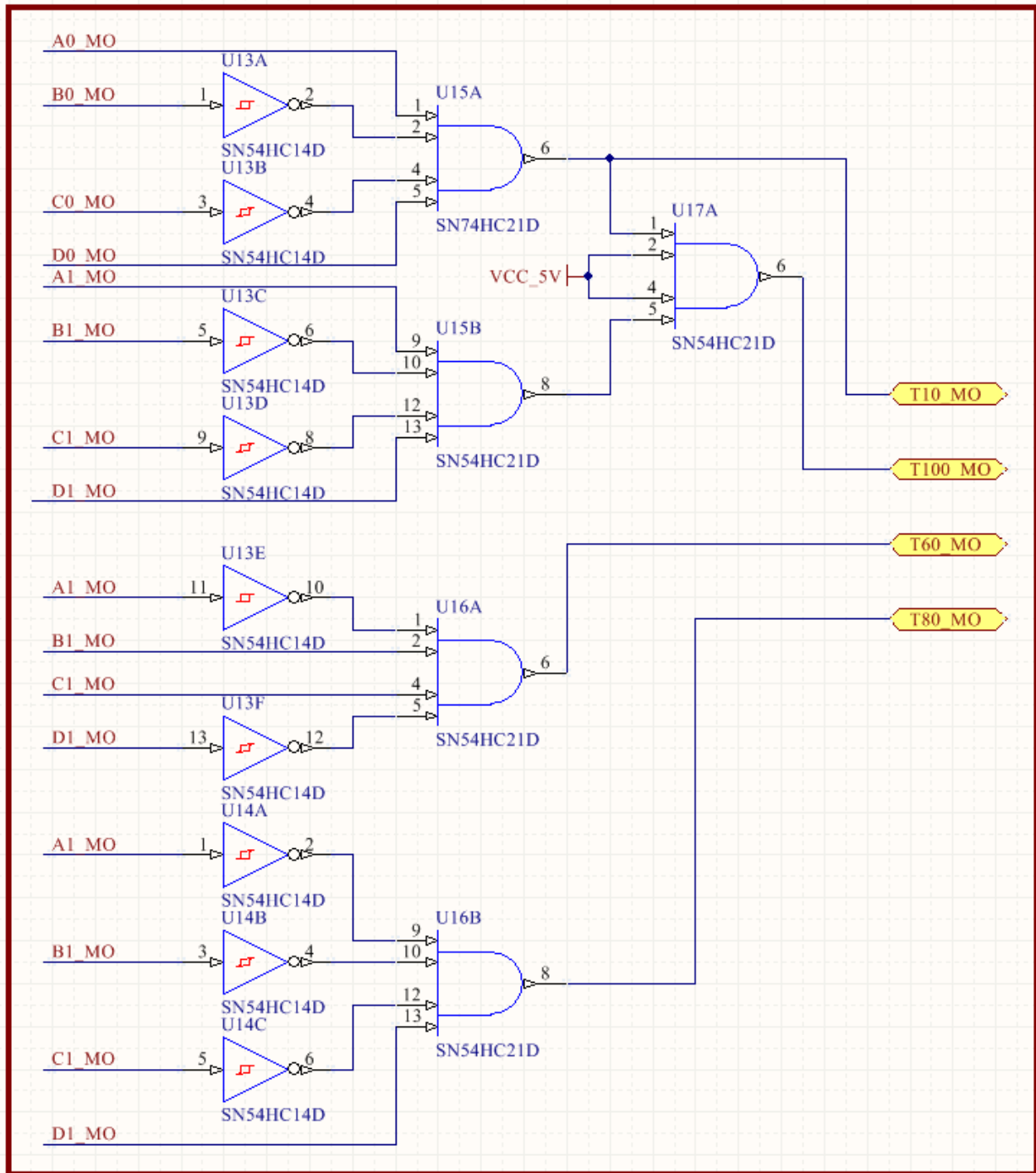
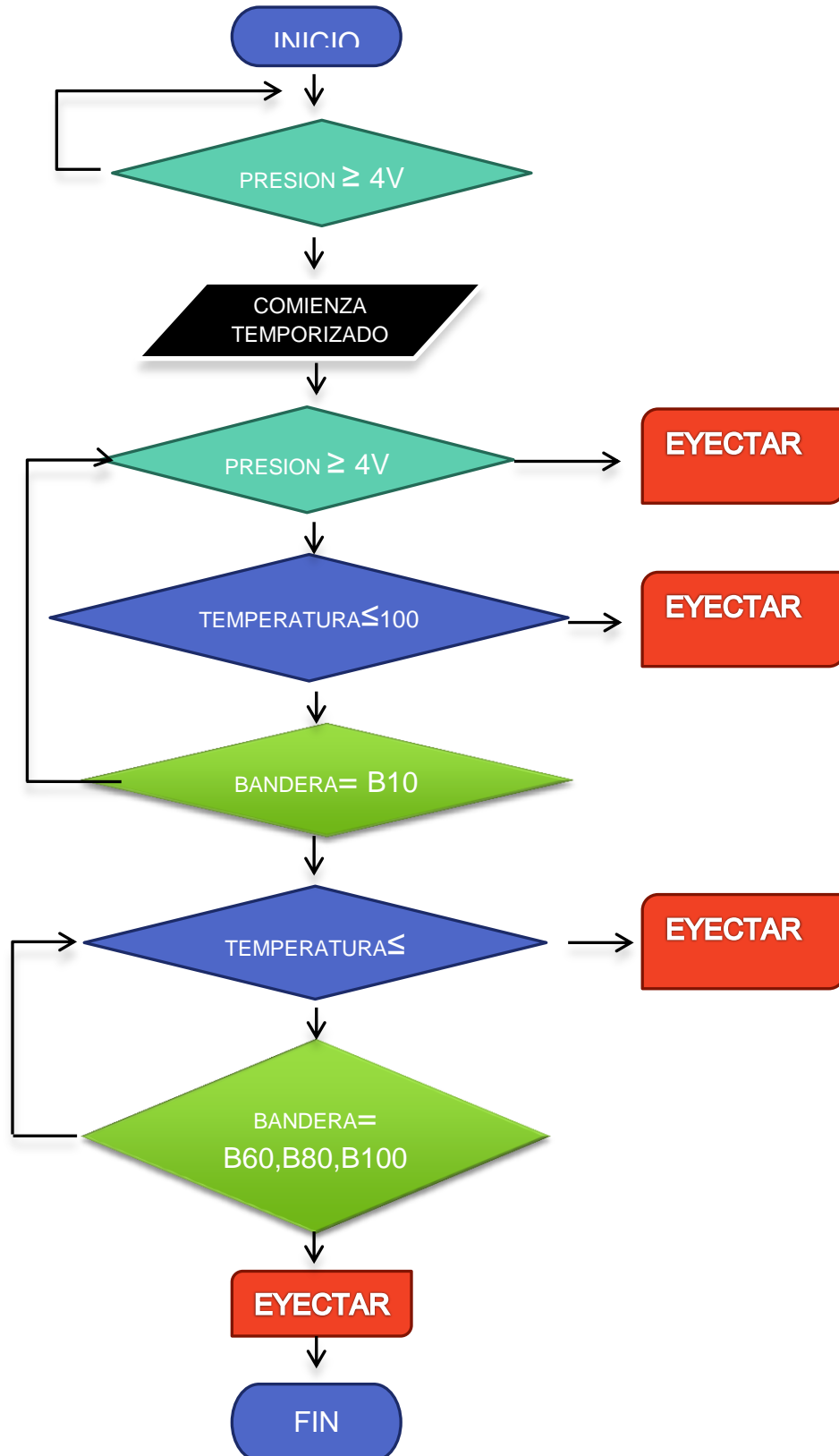


Figura 16

Como se observa en el circuito anterior se utilizaron los circuitos integrados SN54HC14D y SN54HC21D (ver anexo 1). Estos se eligieron Schmitt trigger para asegurar un disparo seguro y sin posibles oscilaciones.

## Circuitos lógicos secuenciales y microcontrolado





En el gráfico anterior, se aprecia como es la secuencia de pasos hasta llegar a una eyección segura de la carga útil.

#### Explicación

1. Se energizan todos los sistemas del cohete.
2. El cohete despegando aumentando la presión del cilindro del motor principal.
3. Si la presión hace que el sensor sobrepase los 4.091V comienza a contar el temporizador, si no se queda esperando a que sobrepase.
4. Una vez disparado el temporizador comienza la ventana más crítica. Aquí la tensión del sensor de presión tiene que aumentar sobrepasando el umbral de 4.091V para luego mantenerse arriba de ésta. Si eso no sucediera, significa que la cámara de combustión se fisuró y está perdiendo presión. Lo que a continuación se sigue por una explosión del motor completo, estropeando la carga a proteger.
5. Conjuntamente con la presión se está censando la temperatura de la placa, si los circuitos fueran expuestos a más de 100°C, los circuitos integrados que componen la misma están muy cerca de dejar de garantizar un buen nivel de confiabilidad.
6. Desde que se dispara el temporizador, hasta que se dispara la bandera de 10 segundos, B10, que es la duración mínima del motor, el sistema se puede disparar por pérdidas de presión o aumentos peligrosos de temperatura en la carga útil.
7. Una vez terminada la combustión del combustible y disparada la bandera B10, se deja de lado la presión y se enfoca en la temperatura de la placa. En ese momento el cohete sigue elevándose por inercia.
8. El último paso es disparar la bandera con alguno de los tiempos pre configurados, estos pueden ser 60, 80 y 100 segundos. Correspondiéndose las banderas B60, B80 y B100 respectivamente. Cuando se dispare alguna de ellas el sistema eyecciona la carga útil del motor.

Para realizar la lógica expuesta por el gráfico anterior, se estudiaron diferentes tipos de soluciones y se decidió por utilizar dos módulos con máquinas de estado y uno microcontrolado.

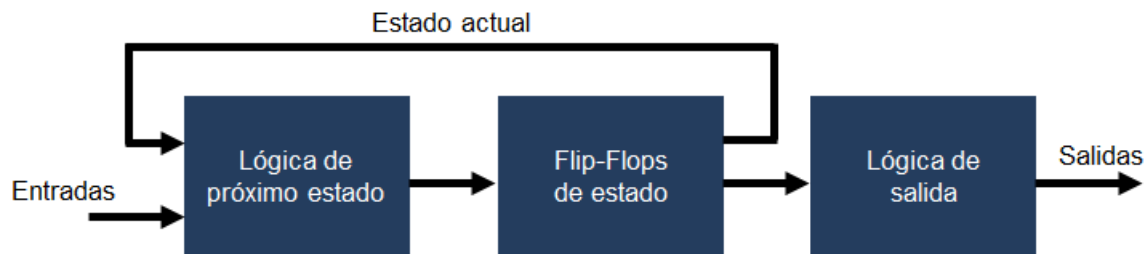
### Máquinas de estado

Como para hacer una rápida introducción, una máquina de estado puede ser síncrona o asíncrona, en este proyecto se utilizan las síncronas del tipo Moore y Mealy y a continuación se describen sus características:

- No puede estar en más de un estado a la vez.
- El estado en el que se encuentra se denomina estado actual.
- El cambio de un estado a otro se denomina transición y se dispara con el reloj del circuito.

### Máquinas de estado Moore

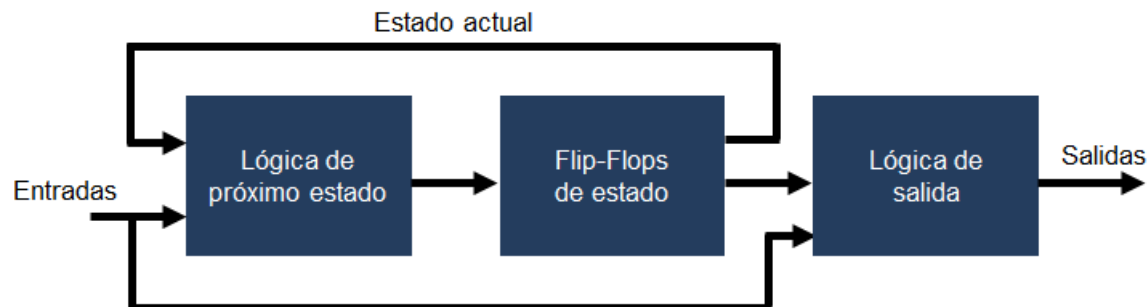
Las salidas son independientes de las entradas, dependen solo del estado.



Esquema 5

### Máquinas de estado de Mealy

Las salidas dependen del estado y de las entradas.

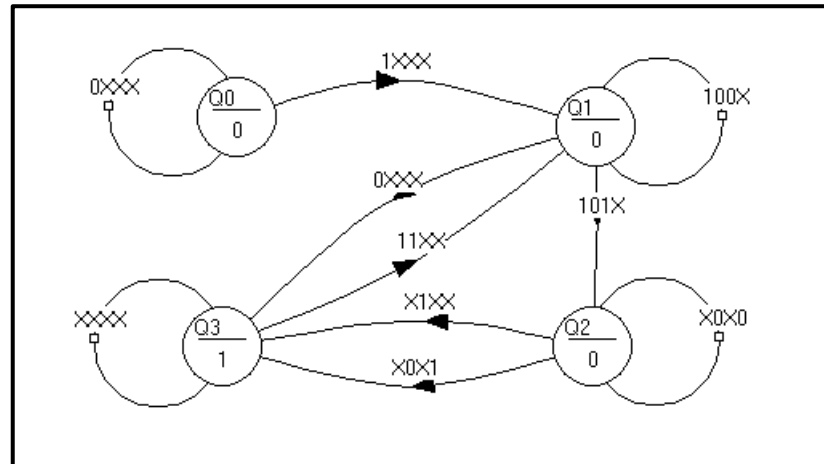


Esquema 6

## Sistema lógico Moore

A continuación se realizara el desarrollo del circuito utilizado para completar el modulo lógico Moore.

El diagrama de transición construido desde el diagrama de flujo es:



Esquema 7

Luego se realiza un análisis detallado realizando las tablas de verdad, las cuales no fueron colocadas en este trabajo por su extensión, pero si colocando las ecuaciones resultantes de las mismas.

$$D_0 = (Q_0 * \bar{E}_3) + (Q_1 * Q_0) + (E_0 * Q_1) + (E_2 * Q_1) + (E_3 * \bar{Q}_1 * \bar{Q}_0) + (E_3 * \bar{E}_1 * \bar{Q}_1)$$

$$D_1 = (Q_0 * \bar{E}_3) + (Q_1 * \bar{Q}_0) + (\bar{E}_2 * Q_1) + (E_1 * \bar{E}_2 * Q_0)$$

$$S_0 = (Q_1 * Q_0)$$

Circuito sistema secuencial Moore

Al contar con las ecuaciones anteriores se puede materializar el respectivo circuito, el cual se encuentra a continuación.

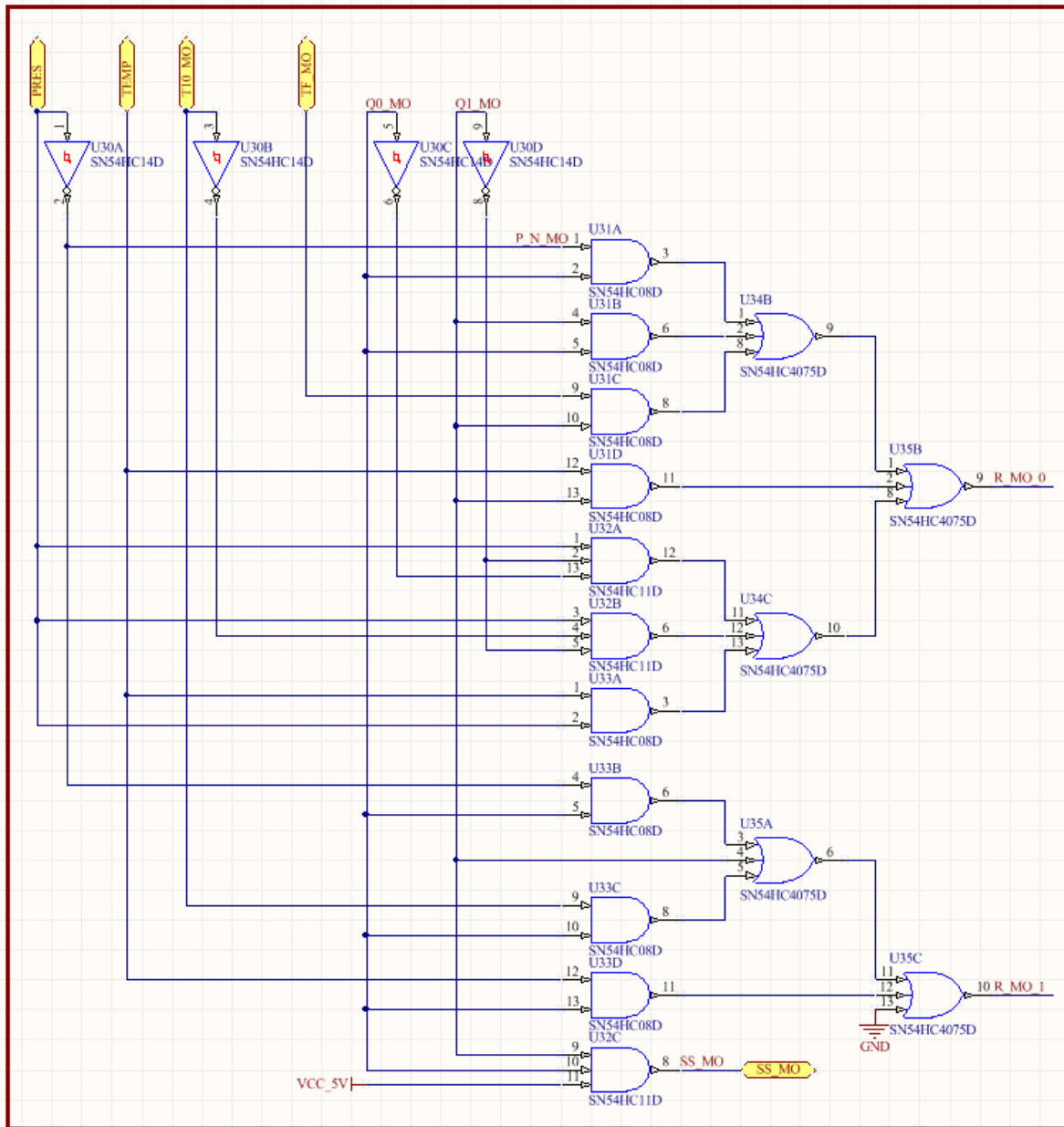


Figura 17



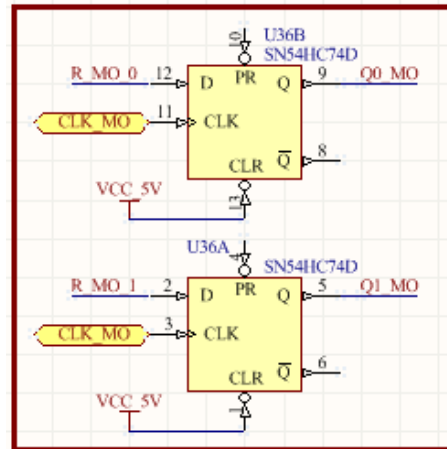


Figura 18

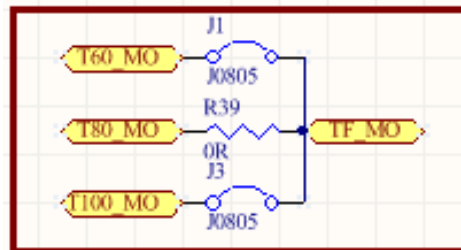


Figura 19

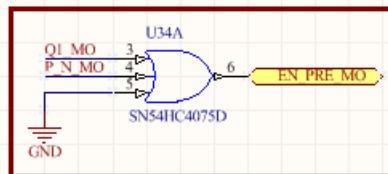
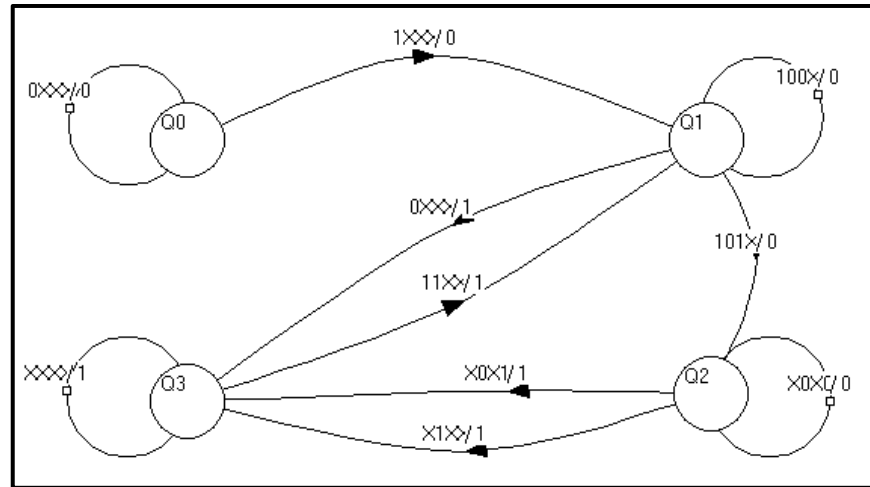


Figura 20

En las figuras expuestas, se observa el circuito descrito por las ecuaciones antes descritas. En la figura 19 se encuentra el seleccionador de bandera de tiempo, el cual por seguridad, se tiene que soldar una resistencia de 0ohm en el lugar correspondiente. La siguiente figura 20 muestra el circuito que permite disparar el comienzo del temporizador.

## Sistema lógico Mealy



Esquema 8

A continuación se dedujeron las ecuaciones que lo gobiernan:

$$D_0 = (Q_0 * \bar{E}_3) + (Q_1 * Q_0) + (E_0 * Q_1) + (E_2 * Q_1) + (E_3 * \bar{Q}_1 * \bar{Q}_0) + (E_3 * \bar{E}_1 * \bar{Q}_1)$$

$$D_1 = (Q_0 * \bar{E}_3) + (Q_1 * \bar{Q}_0) + (\bar{E}_2 * Q_1) + (E_1 * \bar{E}_2 * Q_0)$$

$$S_0 = (Q_0 * \bar{E}_3) + (Q_1 * Q_0) + (E_2 * Q_1) + (E_0 * Q_1)$$

Al igual que en el análisis de Moore solo se colocan las ecuaciones.

A continuación el circuito resultante de las ecuaciones:

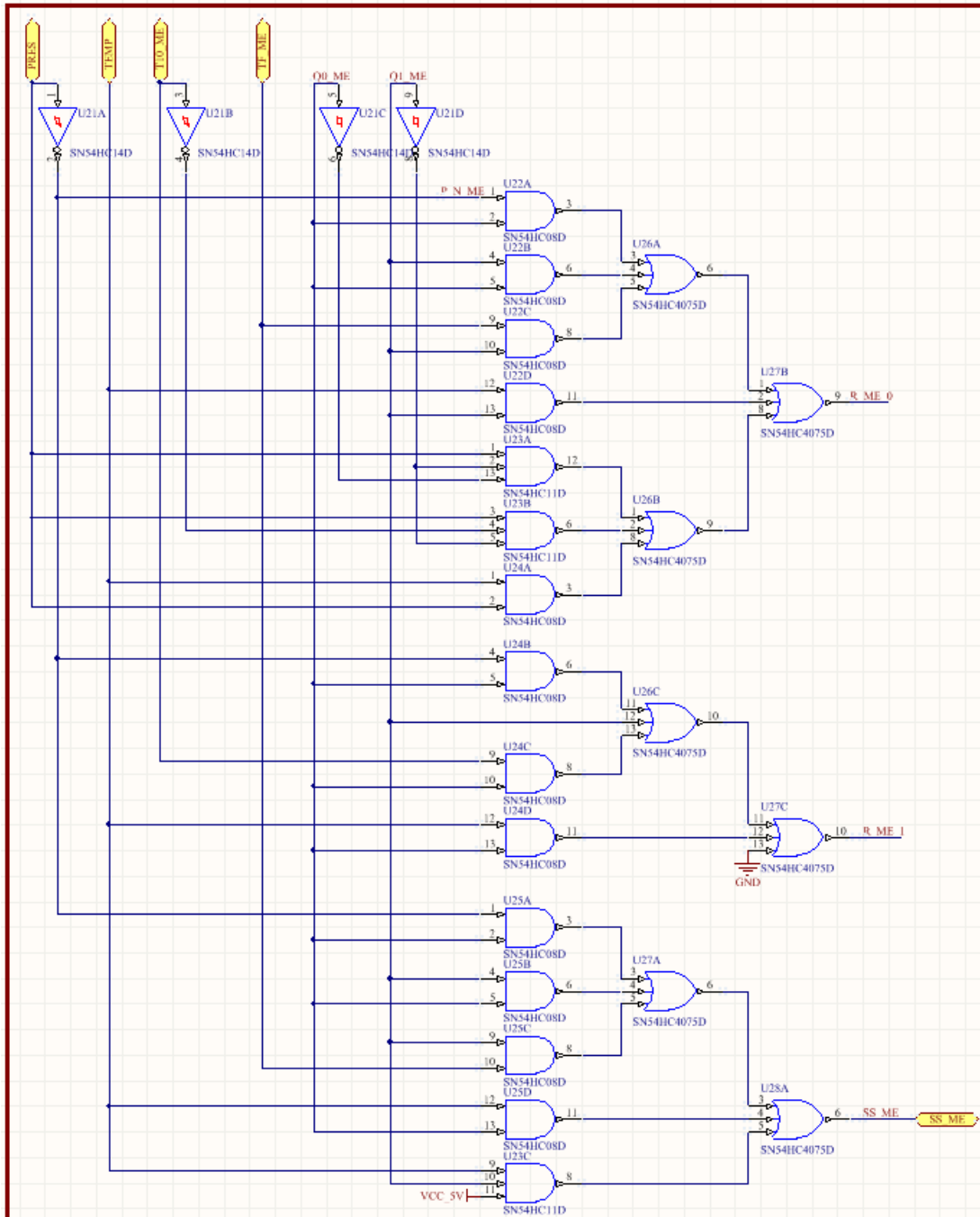


Figura 21

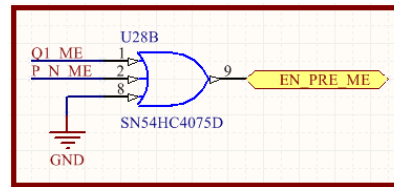


Figura 22

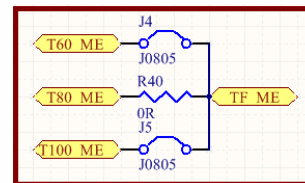


Figura 23

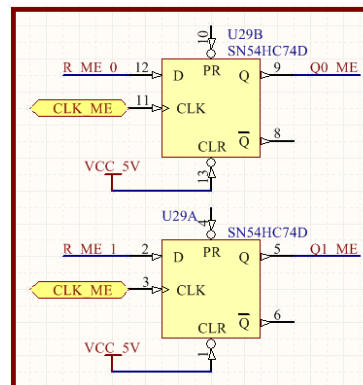


Figura 24

Al igual que el circuito desarrollado para el autómata de Moore, en las figuras anteriores se observa el circuito principal y el selector de banderas de tiempos para la elección del tiempo final.

### Sistema microcontrolado

El ultimo modulo del sistema redundante, es conformado esencialmente por el microcontrolador MSP430F2274 (ver anexo 1) y algunos periféricos. En este caso la cantidad de componentes en juego es mucho menor en comparación con los módulos lógicos de Mealy y Moore, por ser éste un solo componente discreto. En los requerimientos del sistema, se pedía no confiar solo en estos microcontroladores ya que tienen un grado de libertad más de falla que es el software. Por ello la decisión de realizar dos módulos lógicos y uno microcontrolado.

A continuación se detalla el circuito:

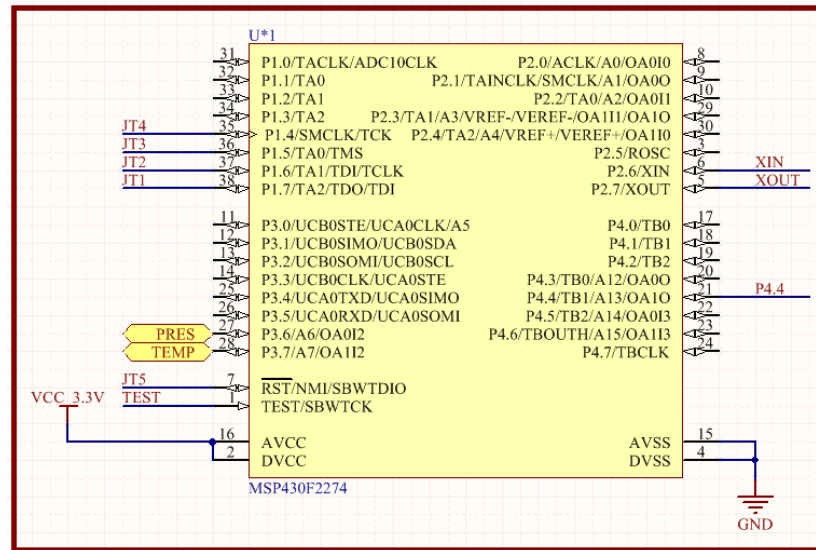


Figura 25

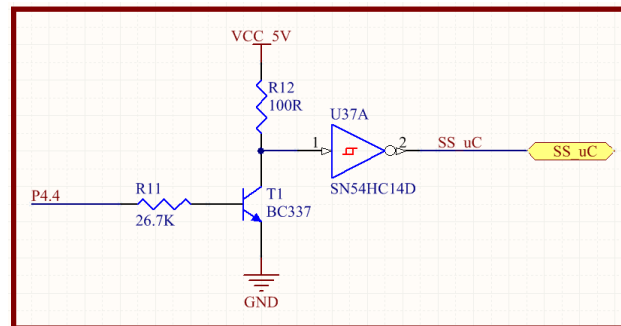


Figura 26

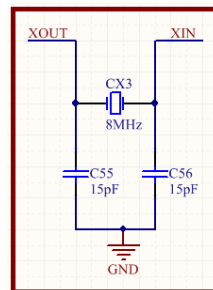


Figura 27

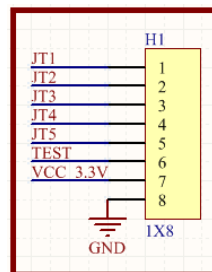


Figura 26

Se escogió este microcontrolador ya que se han tenido buenos resultados, tiene una estructura muy confiable y no es difícil conseguirlo en el país.

La base de tiempo escogida fue, como en los módulos lógicos, un cristal de cuarzo pero en este caso se utilizó una frecuencia de 8 MHz. Las configuraciones de



alimentación, filtrado y salidas se tomaron de las recomendaciones del fabricante. Para adaptar la salida del pin a niveles CMOS, se utilizó el circuito de la figura 27. Este consta de un transistor BC337, con su respectiva polarización en emisor común que a su vez dispara una compuerta inversora Schmitt trigger para realizar una inversión de señal y asegurar valores aptos a la salida del módulo microcontrolado.

El conector es colocado con la única misión de poder cargar el programa del microcontrolador a través del protocolo JTAG, en caso que se necesite seleccionar algún tiempo final diferente al elegido anteriormente.



## Firmware

A continuación se describe el código utilizado para programar el sistema microcontrolado. El programa se desarrolla en base al mismo diagrama de flujo expuesto anteriormente. El código es grabado en el microcontrolador mediante el programador MSP-FET430UIF a través de la tira de pines torneados H1.

Para mejorar la prolijidad del código, se lo segmentó en las partes que involucran hardware de la aplicación misma:

### main.c

```
#include "msp430f2274.h"

#include "bsp.h"

#define LED1 BIT3 //P4.3

int P;
int Te;
int Ti;

int main( void )
{
    // Stop watchdog timer to prevent time out reset
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;
    BCSCCTL1 = CALBC1_8MHZ;
    DCOCTL = CALDCO_8MHZ;
    bsp_init(); //configurar puertos
    bsp_check_presion();//leo la presion
    SMCLKInit();//configuro el SMCLK a la misma fr del DCO y lo divido x 8
    __enable_interrupt();
    while(!(P)){
        bsp_check_presion();//leo la presion
    }
    TIMER_Init();//inicio la cuenta con el timer
```



```
while(!(Ti>9)){
    bsp_check_presion();//leo la presion
    if(!(P)){
        bsp_salida();
    }
    bsp_check_temp();//leo temp
    if(Te){
        bsp_salida();
    }
}
while(!(Ti>=60)){
    if(Te){
        bsp_salida();
    }
}
bsp_salida();
}
#pragma vector = TIMERA0_VECTOR
__interrupt void COUNT_UP_DOWN(void)
{
    TACTL &=~ TAIFG;
    P4OUT ^= LED1;
    Ti++;
}
```

**bsp.h**

```
#ifndef __BSP_H__
```





```
#define __BSP_H__  
void bsp_init(void);  
void SMCLKInit(void);  
void TIMER_Init(void);  
void bsp_check_presion(void);  
void bsp_check_temp(void);  
void bsp_salida(void);  
#endif
```

### bsp.c

```
#include "msp430f2274.h"  
#include "bsp.h"  
#define LED1 BIT3 //P4.3  
#define SALIDA BIT4 //P4.4  
#define PRES BIT6 //P3.6  
#define TEMP BIT7 //P3.7  
extern int P;  
extern int Te;  
void bsp_init(void){  
    P4DIR = 0XFF;  
    P4SEL = 0X00;  
    P3DIR = 0X00;  
    P3SEL = 0X00;  
    P3REN = 0XFF;  
    P3OUT = 0X00;  
    P4OUT &=~ SALIDA;  
    P4OUT &=~ LED1;
```



```
}  
void SMCLKInit(void){  
    BCSCTL2 &=~ SELS;//selecciono DCO como fuente  
    BCSCTL2 = DIVS_3;//divido x 8  
}  
void TIMER_Init(void){  
    TACTL = (TASSEL_2 + ID_3 + MC_3);//fuente SMCLK, divido x 8 y up/down  
mode  
    TACCTL0 = CCIE;//interrupt enabled del ccr0  
    TACCR0 = 62500;  
    //TACTL = TAIE;  
    //TACTL &=~ TAIFG;  
}  
void bsp_check_presion(void){  
    if(P3IN & PRES){//presion alta  
        P = 1;  
    }  
    if(!(P3IN & PRES)){ //presion baja  
        P = 0;  
    }  
}  
void bsp_check_temp(void){  
    if(P3IN & TEMP){//temp alta  
        Te = 1;  
    }  
    if(!(P3IN & TEMP)){ //temp baja  
        Te = 0;
```

```
}  
}  
void bsp_salida(void)  
P4OUT |= SALIDA;  
}
```

### Sistema votador de mayoría lógica

El este sistema es idéntico al utilizado en sistema votado de mayoría de presión. El cual resulta ser robusto y cuenta con pocos componentes lo que lo hace que también sea aplicable a esta sección.

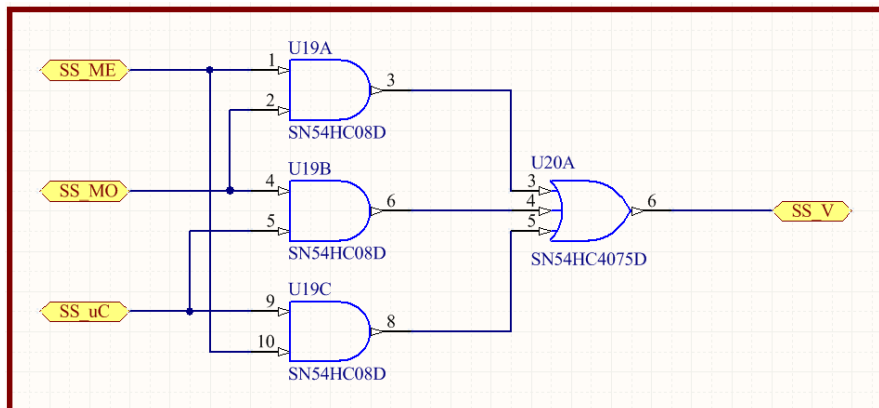


Figura 27

### Sistema de salida

Uno de los requisitos del sistema, es que sea capaz de entregar un pulso estable y preciso a la hora de brindar una salida.

La solución propuesta es utilizar el circuito integrado TPS22929 (ver anexo 1), es un switch preparado para manejar cargas resistivas con control de encendido que permite conmutar de forma segura la salida del sistema.

A continuación se expone el circuito completo utilizado:

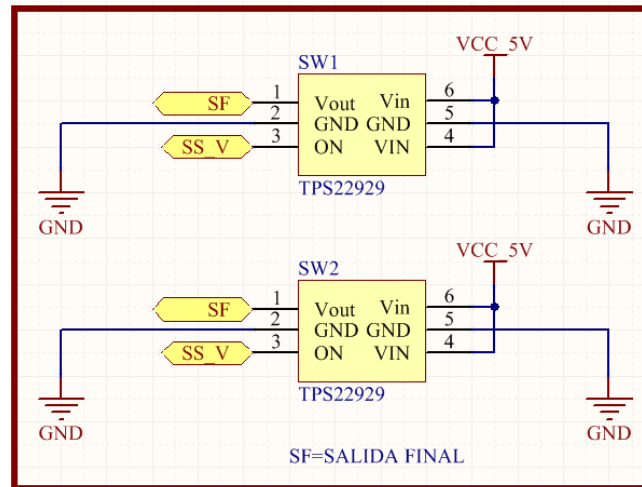


Figura 28

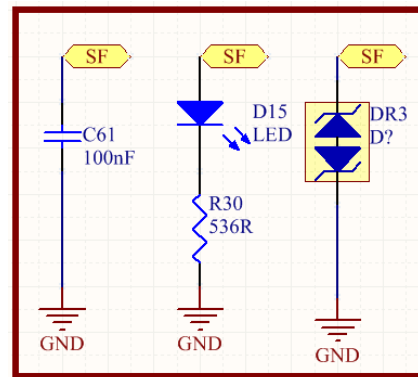


Figura 29

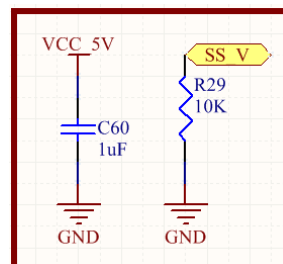


Figura 30

Como se observan las figuras 30, 31 y 32, el circuito recomendado por el fabricante es simple y conciso. Al ser esta una etapa sensible al resultado a todo el sistema, y manejar algo de potencia se decide colocar dos circuitos en paralelo por si alguno llega a fallar. El diodo TVS se coloca con el mismo propósito que en el resto de los sistemas, proteger a los circuitos internos de la placa de posibles



picos o sobretensiones que puede llegar a tener el cable de comunicación con la placa que le continúa.

Para indicar el estado de la salida, cuenta con un led rojo que se enciende en caso de tener un “1 lógico”.

### Diseño de la PCB

Para el diseño de la PCB se tuvieron en cuenta varios factores, a continuación se nombran los más importantes:

- Robustez ante EMI y ESD
- Robustez mecánica y tratamientos superficiales

### Robustez ante EMC

#### Puesta a tierra

Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta para evitar las irradiaciones indeseadas son los métodos de puesta a tierra. A continuación se enumeran algunas técnicas utilizadas en este trabajo.

- Elegir un punto sólido de puesta a tierra.
- Utilizar una puesta a tierra de baja impedancia de un solo punto para evitar lazos de tierra.
- Los caminos de tierra de continua son a menudo tierras de alta impedancia para radiofrecuencias.
- Utilizar planos de tierra siempre que sea posible.
- Mantener los caminos de tierra tan cortos como sea posible.
- Evitar el uso de cables delgados como tierras.

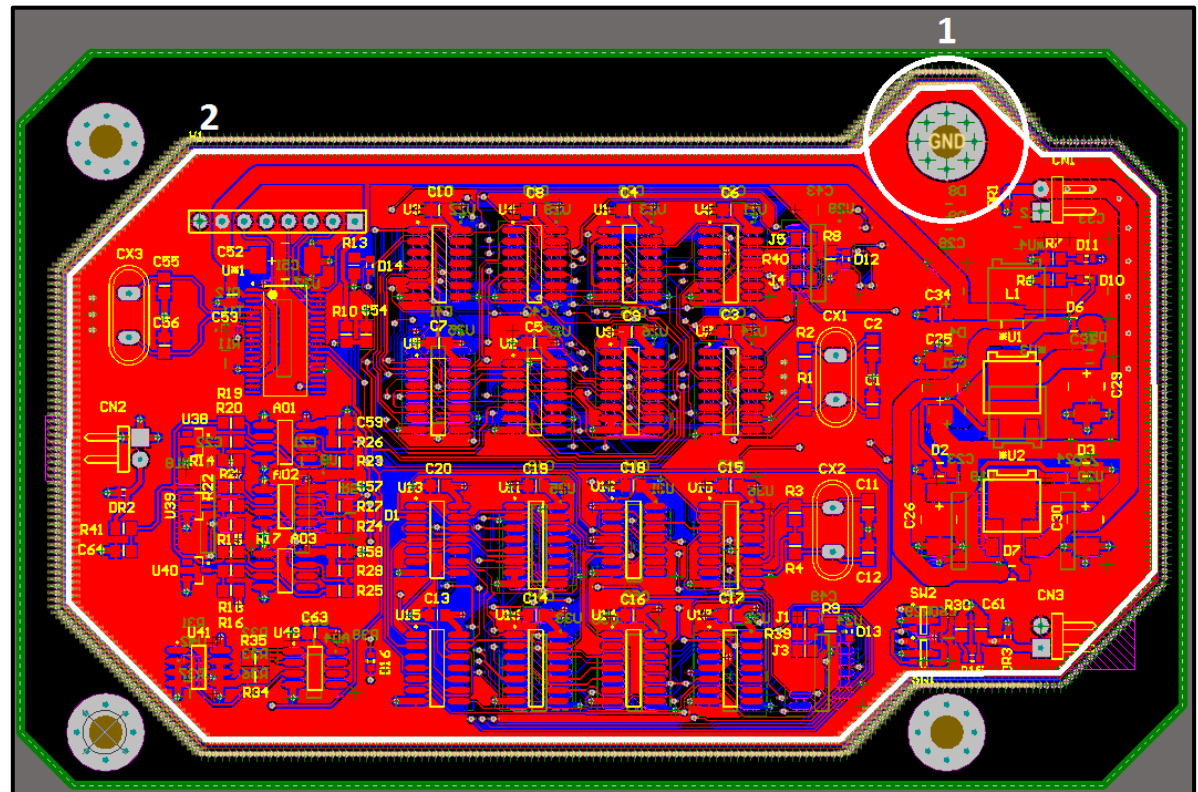


Figura 31

- 1- Punto solido de puesta a tierra.
- 2- Plano de masa en toda la placa y en ambas caras.

### Diseño del circuito impreso y disposición de componentes

- Usar circuitos impresos multicapa siempre donde sea posible.
- Usar capacitores de desacople.
- Desacoplar las corrientes de RF y los circuitos de tierra de RF.
- Usar trazas cortas.
- Evitar esquinas agudas en las trazas del PCB.
- Evitar entradas y salidas no terminadas.
- Usar entradas filtradas.
- Evitar trazas en forma de lazo de las señales reloj.
- Evitar islas de cobre sin conectar al plano de tierra.
- Colocación de vías de shilding.

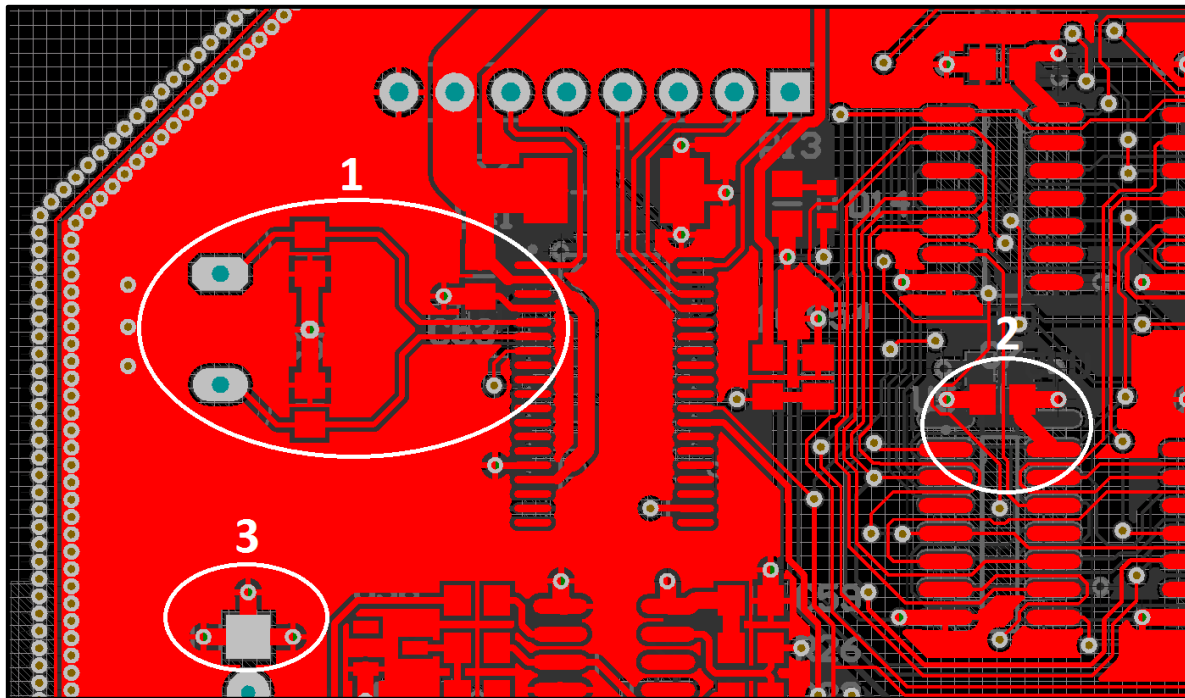


Figura 32

- 1- Líneas de reloj que no se cruzan con otros trazos.
- 2- Capacitores de desacople muy cerca del CI.
- 3- Donde se requiere buena puesta a masa es colocada más de una vía.

### Selección del stack, materiales y dimensiones de la placa base

Para la selección del stack, se tuvo en cuenta las prestaciones de aislamiento de EMI que requeriría la placa y la densidad de componentes que esta contaría.

Se optó por diseñarla sobre un stack de 4 capas conductoras, distribuidas como se observa a continuación:

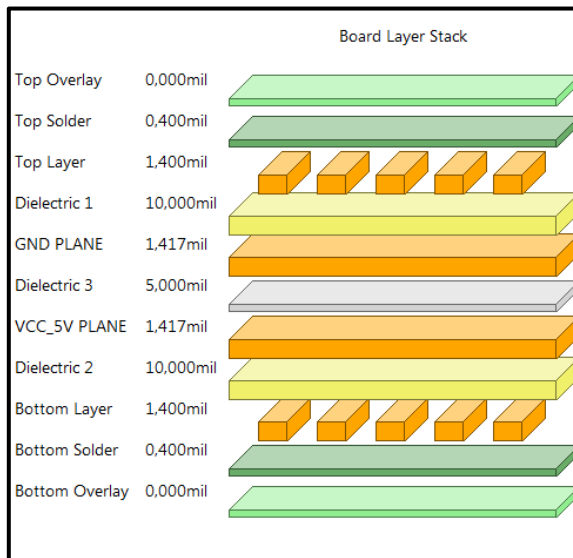


Figura 33

Esta configuración es un estándar en las aplicaciones donde se requieran protecciones eficientes contra las EMI.

#### Material de la placa base

El material de la placa base elegido fue el FR-4, ya que las frecuencias, temperaturas y rigidez mecánica que va a ser expuesta es esta dentro de los parámetros de este material.

#### Espesor total de la placa

En total el stack completo es de 1.6mm, utilizando un espesor de cada capa de cobre de 35  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Para el tamaño de la placa y la disposición de los postes de anclaje, este espesor es el ideal en cuanto relación peso y rigidez. No dejando de lado que es un material de fácil adquisición.



### Dimensiones finales de la placa

Como se especificó al comienzo del informe, uno de los requerimientos fue que el tamaño fuera menor al diámetro del tubo donde se contiene la carga útil. Ese tubo tiene un diámetro de 28 cm.

Las dimensiones finales de la placa son

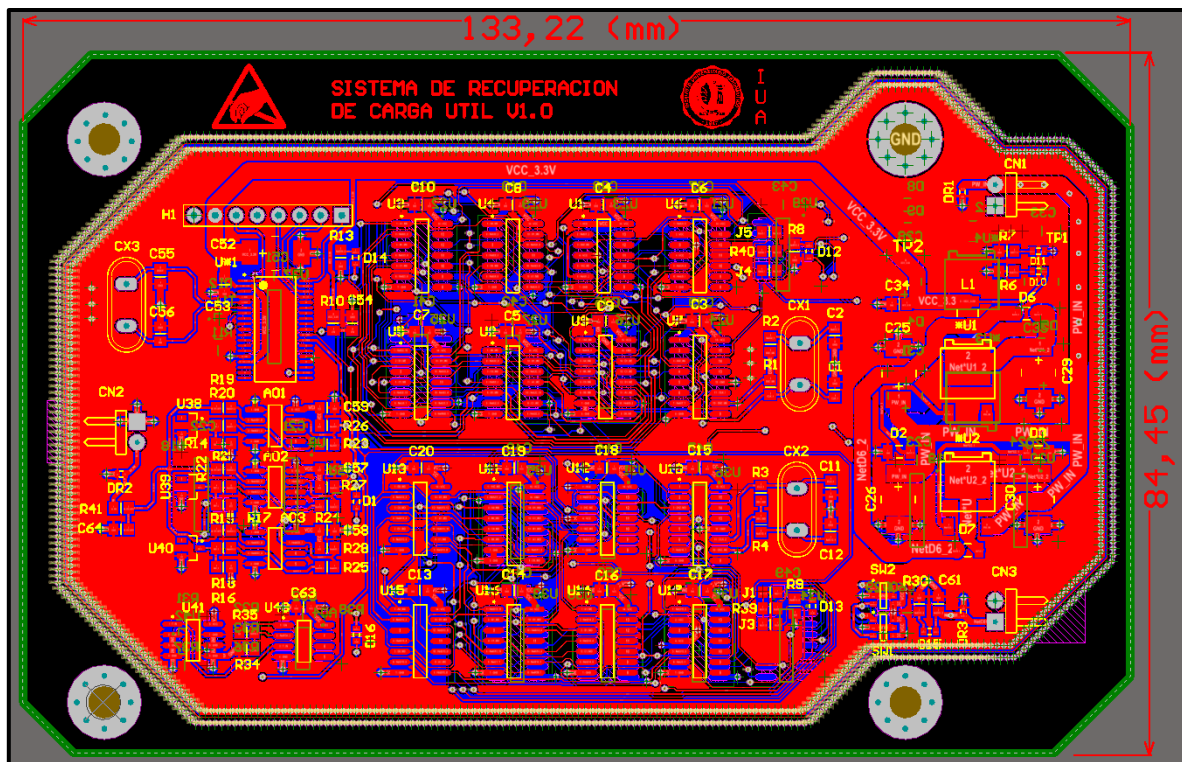


Figura 34

Alto 84,45mm Ancho 133,22mm

### Anclajes

Para la sujeción de la placa se optó por cuatro postes hexagonales de bronce niquelado de 10mm de alto. Estos son de la marca nacional Marufo.



Figura 35

Tienen la particularidad de que son muy resistentes a las vibraciones y son de medidas y roscas estándares.

Para asegurar una mejor rigidez en los anclajes del PCB, se implementó colocar vías pasantes (through hole) sobre el pad de anclaje. Esta solución ayuda a evitar que la placa tienda a quebrar o separar las capas de FR-4 por la presión de ajuste producida por los sujetadores a de más de proteger que la EMI interfiera capas internas del stack.

## PCB de la placa

A continuación se presentan imágenes de las capas superior e inferior de la placa desarrollada, solo con el motivo de tener un panorama más limpio del ruteado de superficies.

### Top Layer

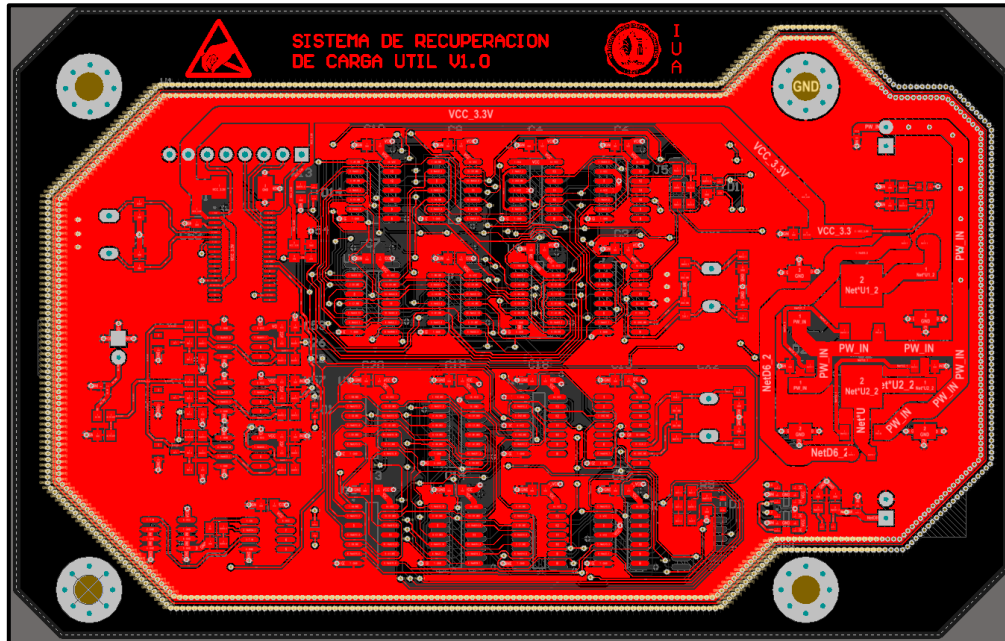


Figura 36

### Bottom layer

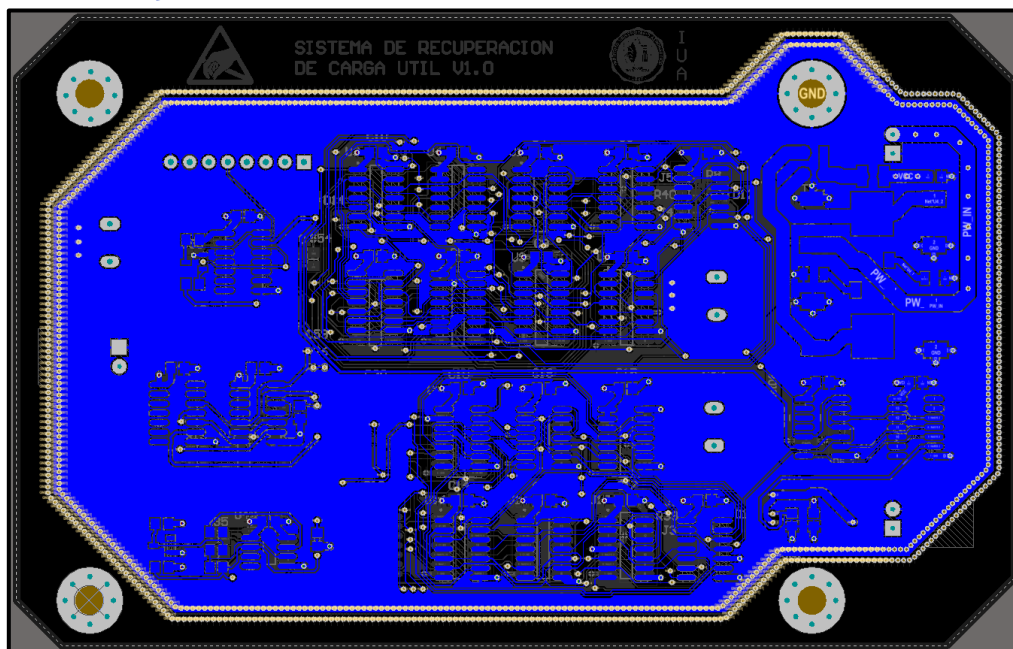


Figura 37

### Vista 3D

A continuación se observan figuras de perfil del PCB poblado.

#### *Vista perfil 3D Top layer*

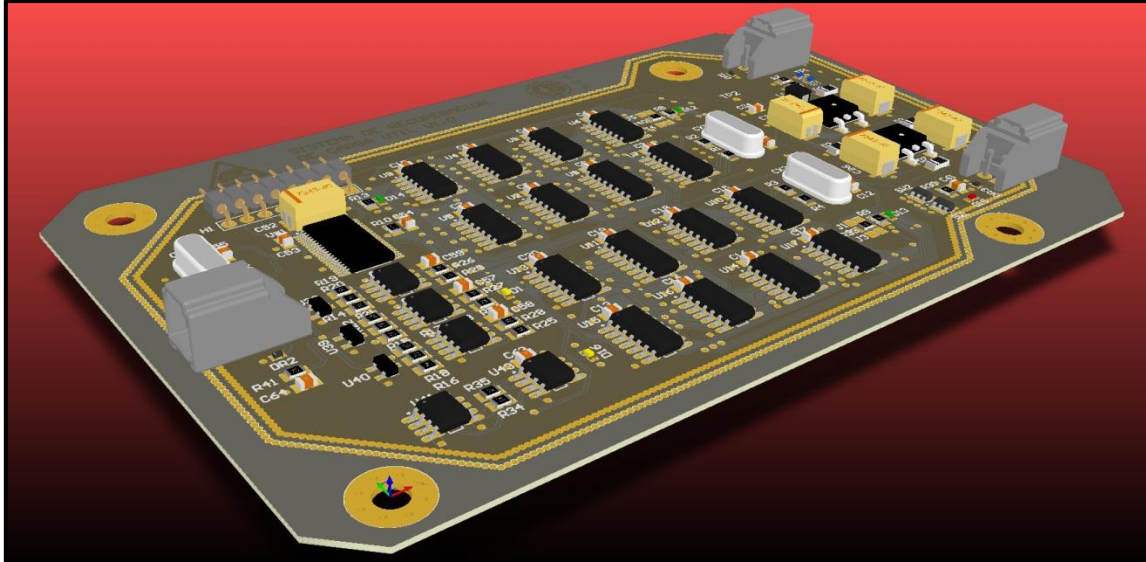


Figura 38

#### *Vista perfil 3D Bottom layer*

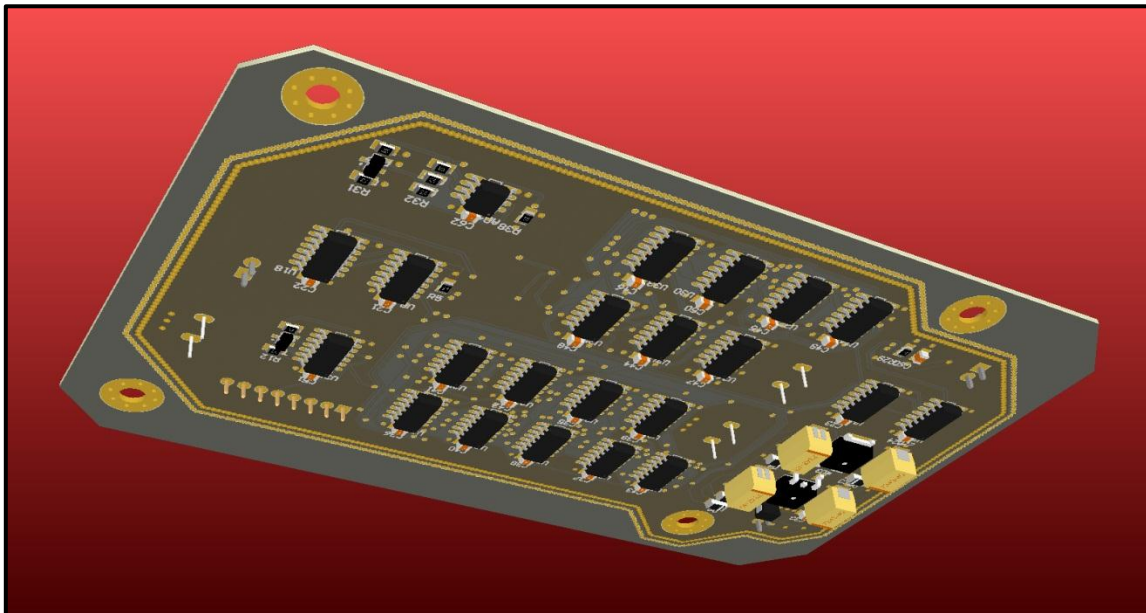


Figura 39

Como se observa en las imágenes anteriores, la placa cuenta con un perfil delgado, haciéndola apta para espacios reducidos en altura y robusta ante vibraciones y aceleraciones.



### Documento puesta en marcha de la placa

En esta sección se describe como tiene que ejecutarse la puesta en marcha de la placa para asegurar un correcto funcionamiento a la hora de la conexión.

Este proceso se divide en dos secciones bien definidas, PEM pasiva y PEM activa.

#### PEM pasiva

Consiste en realizar mediciones con un multímetro en la escala de óhmetro y medir diferentes puntos de prueba seleccionados. La función principal de este ensayo es verificar que no existan cortocircuitos ni componentes quemados en la placa.

Materiales e instrumentos necesarios

#### Instrumentos

- Multímetro digital con escala de óhmetro y juego de puntas del mismo con opción de colocarles pinzas cocodrilo.
- Fuente de alimentación regulada de 7.4V a 10V, 100 mA máximo.

#### Materiales

Cable estañado en una de sus puntas y en la restante un socket correspondiente al conector DF1E-2P-2.5D se sugiere colocarle un espagueti termo contraíble como se ve en la siguiente figura.



## Procedimiento

### Configuración de jumpers

Para poder realizar las puestas en marcha, es necesario que se configure el tiempo final de separación. Esta maniobra se realiza soldando una resistencia de 0 Ohms en alguno de los tres estados disponibles. En la siguiente figura se observan las posibles disposiciones.

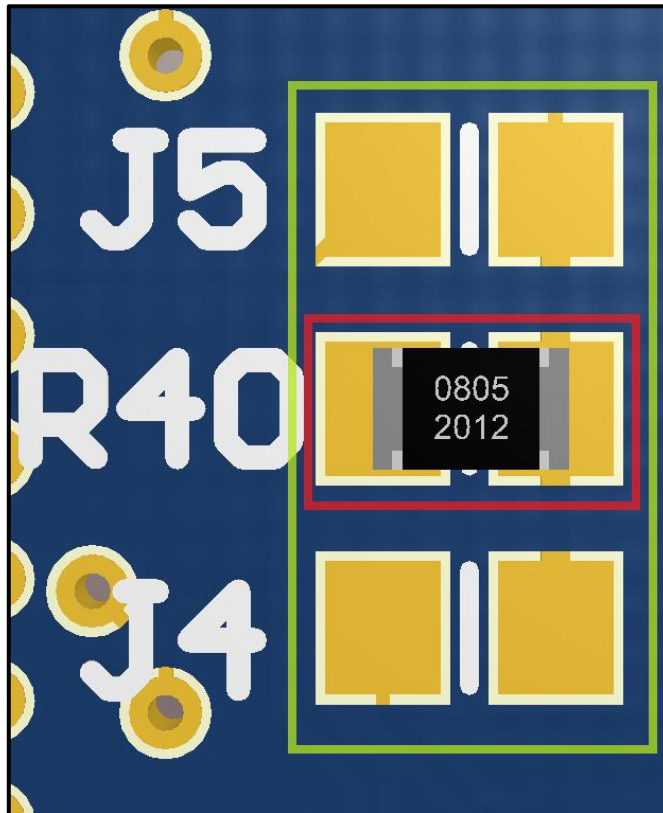


Figura 40

Esta configuración se tiene que setear de manera tal que el tiempo seleccionado se aplique a ambos sistemas lógicos, Moore y Mealy. En la figura anterior se puede ver que dentro del recuadro verde se encuentran las tres posibles ubicaciones de tiempos, correspondientes a 60, 80 y 100 segundos de arriba hacia abajo. Como ejemplo se encuentra soldada la resistencia R40 de 0Ohm, seteando 80 segundos como tiempo final.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--



Unas veces soldadas la resistencia de selección de tiempo final, se procede a realizar la puesta en marcha pasiva.

1. Mediante la utilización de un multímetro en modo óhmetro con escala automática si se tuviera, se medirán las impedancias de los distintos conectores registrando los valores en las tablas de las secciones siguientes.

Conector de alimentación CN1

	1	2	GND
1			
2			

En las celdas celdas libres de la tabla verificar:

No realizar medición

La medición tiene que dar OL ó  $>1\text{M}\Omega$

La medición tiene que dar continuidad ó  $<1\Omega$

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--



Conector de alimentación CN2

	1	2	GND
1			
2			

En las celdas celdas libres de la tabla verificar:

No realizar medición

La medición tiene que dar OL ó  $>1\text{M}\Omega$

La medición tiene que dar continuidad ó  $<1\Omega$

Verificación [✓/✗]

Conector de alimentación CN3

	1	2	GND
1			
2			

En las celdas celdas libres de la tabla verificar:

No realizar medición

La medición tiene que dar OL ó  $>100\text{k}\Omega$

La medición tiene que dar continuidad ó  $<1\Omega$

Verificación [✓/✗]





## Mediciones activas

### Procedimiento

1. Se conecta la fuente de alimentación al conector CN1, seteada con una tensión de 7.4v a 10V y limitación en corriente de 100mA. La fuente debe permanecer apagada.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

2. Se coloca a la entrada la fuente de alimentación restante al conector CN2, seteada con una tensión de 3V y una limitación de corriente de 100mA. La fuente debe permanecer apagada.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

3. Se coloca la carga de 120 Ohm en el conector CN3, sin tener en cuenta las polaridades.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

4. Una vez conectadas las dos fuentes, encenderlas comenzando por la vinculada al conector CN1 y luego la ligada al CN2.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

5. Verificar que los diodos D10 y D11 esten encendidos.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

6. Verificar que las tensiones en los puntos de prueba se corresponden con los de la tabla [ $\pm 5\%$ ]:

	TENSION [V]
TP1	5
TP2	3.3



Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

7. Para comenzar la prueba de la secuencia de disparo, verificar que solo se encuentran iluminados los diodos leds D10 y D11.

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

8. Una vez que comienza la secuencia de disparo no se puede detener hasta que la misma se completa.

- 1- Elevar la tensión de la fuente conectada al CN2 a 5V.  
Se tiene que encender el led D1 (amarillo).
- 2- Pasados 10 segundos mas el tiempo de separación final seleccionado con los jumpers anteriormente seleccionados, se tienen que encender los diodos leds D12, D13 y D14 (verdes).
- 3- Inmediatamente verificar que se enciende el diodo led D15.
- 4- En paralelo a la carga conectada al conector CN3 verificar que el voltaje sea de  $5V \pm 10\%$ .

Verificación [✓/✗]	
--------------------	--

### Resumen del Ensayo

Paso N°	Descripción	Resultado	Comentarios
1	Configuración de Jumpers	<input type="checkbox"/> Pass <input type="checkbox"/> Fail	
2	Mediciones Pasivas	<input type="checkbox"/> Pass <input type="checkbox"/> Fail	
3	Mediciones Activas	<input type="checkbox"/> Pass <input type="checkbox"/> Fail	

Tabla - Resumen del Ensayo.

### Resultado Final de Ensayo

Resultado del Procedimiento	Comentarios
<input type="checkbox"/> Pass <input type="checkbox"/> Fail	..... ..... ..... ..... .....

Tabla - Resultado Final del Ensayo.

## Anexos

### Anexo 1

#### Diodos TVS PESD12V1BL

Los diodos TVS son supresores para transitorios de voltaje (TVS, Transient-Voltage-Suppression) que se emplean, además, para neutralizar, minimizar o anular (en el caso ideal) las descargas electrostáticas (ESD, Electrostatic Discharge) a las que pueden estar expuestas algunos circuitos electrónicos. Este tipo de dispositivos funciona por derivación (hacia GND o Tierra) de un exceso de corriente cuando el voltaje inducido en la línea donde se halla conectado, supera el potencial de ruptura por avalancha. Los puede haber unidireccionales o bidireccionales, en este caso se utiliza uno bidireccional. En la siguiente figura se muestra grafica que compara tensión y corriente del diodo elegido.

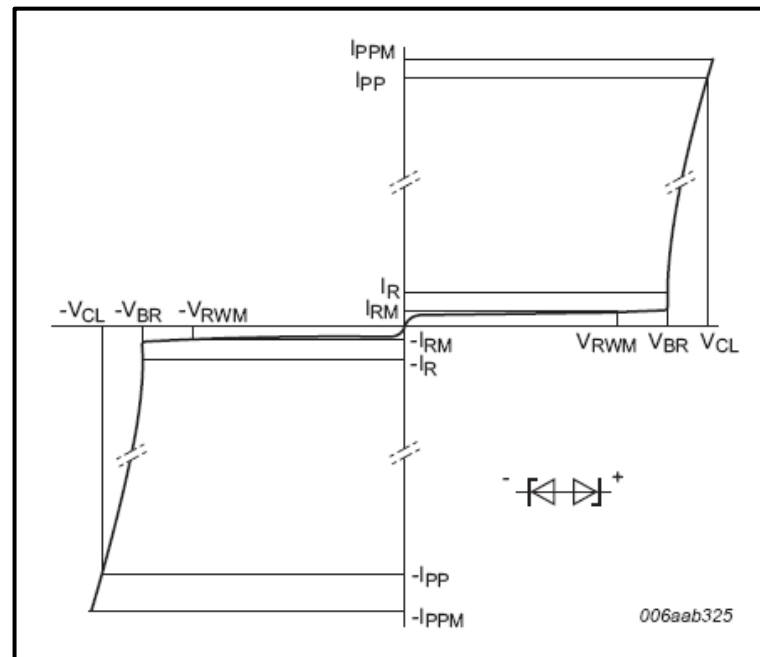


Figura 41

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{RWM}$	reverse standoff voltage		-	-	12	V
$I_{RM}$	reverse leakage current	$V_{RWM} = 12\text{ V}$	-	< 1	10	nA
$V_{BR}$	breakdown voltage	$I_R = 5\text{ mA}$	14.6	15.7	16.8	V
$C_d$	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}; V_R = 0\text{ V}$	-	17	25	pF
$V_{CL}$	clamping voltage	$I_{PP} = 1\text{ A}$	[1]	-	22	V
		$I_{PPM} = 7.8\text{ A}$	[1]	-	38	V
$r_{dyn}$	dynamic resistance	$I_R = 10\text{ A}$	[2]	-	0.7	$\Omega$

[1] Device stressed with 8/20  $\mu\text{s}$  exponential decay waveform according to IEC 61000-4-5 and IEC 61643-321.  
[2] Non-repetitive current pulse, Transmission Line Pulse (TLP)  $t_p = 100\text{ ns}$ ; square pulse; ANS/IESD STM5-1-2008.

Figura 42

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit	
$P_{PPM}$	rated peak pulse power		[1]	-	290	W
$I_{PPM}$	rated peak pulse current	$t_p = 8/20\ \mu\text{s}$	[1]	-	7.8	A
$T_j$	junction temperature		-	150	$^{\circ}\text{C}$	
$T_{amb}$	ambient temperature		-55	+150	$^{\circ}\text{C}$	
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	$^{\circ}\text{C}$	

[1] Device stressed with ten non-repetitive current pulses (8/20  $\mu\text{s}$  exponential decay waveform according to IEC 61000-4-5 and IEC 61643-321).

Figura 43

Particularmente se buscó este diodo por su tensión de corte, ya que más tensión podría arruinar los circuitos internos de la placa.

### Regulador de tensión LM 1117I

Como se mencionó en el desarrollo del informe, el tipo de fuente de alimentación elegido fue el lineal. Particularmente como la alimentación proviene de una batería, se optó por la familia LDO (low drop out) o sea que poseen una caída de tensión relativamente baja entre la entrada y la salida. Poseen protecciones de sobre corriente y temperatura. Particularmente, para este proyecto se buscó la mayor amplitud térmica de uso posible, el LM1117I va de  $-40$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ . Para lograr una buena relación de compromiso entre disipación de temperatura y tamaño se eligió el package TO-252.

En las siguientes figuras se observan algunas características eléctricas de interés.

LM1117-N ELECTRICAL CHARACTERISTICS							
Typicals and limits appearing in normal type apply for $T_J = 25^\circ\text{C}$ . Limits appearing in <b>Boldface</b> type apply over the entire junction temperature range for operation, $0^\circ\text{C}$ to $125^\circ\text{C}$ .							
Symbol	Parameter	Conditions	Min <sup>(1)</sup>	Typ <sup>(2)</sup>	Max <sup>(1)</sup>	Units	
$V_{REF}$	Reference Voltage	LM1117-N-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $V_{IN}-V_{OUT} = 2\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.238	1.250	1.262	V	
		$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$ , $1.4\text{V} \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 10\text{V}$	<b>1.225</b>	1.250	<b>1.270</b>	V	
$V_{OUT}$	Output Voltage	LM1117-N-1.8 $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $V_{IN} = 3.8\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$ , $3.2\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	1.782	1.800	1.818	V	
			<b>1.746</b>	1.800	<b>1.854</b>	V	
		LM1117-N-2.5 $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $V_{IN} = 4.5\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$ , $3.9\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	2.475	2.500	2.525	V	
			<b>2.450</b>	2.500	<b>2.550</b>	V	
		LM1117-N-2.85 $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $V_{IN} = 4.85\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$ , $4.25\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 600\text{mA}$ , $V_{IN} = 4.10\text{V}$	2.820	2.850	2.880	V	
			<b>2.790</b>	2.850	<b>2.910</b>	V	
			<b>2.790</b>	2.850	<b>2.910</b>	V	
		LM1117-N-3.3 $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $V_{IN} = 5\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$ , $4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$	3.287	3.300	3.333	V	
			<b>3.235</b>	3.300	<b>3.365</b>	V	
		LM1117-N-6.0 $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $V_{IN} = 7\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$ , $6.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 12\text{V}$	4.950	5.000	5.050	V	
			<b>4.900</b>	5.000	<b>5.100</b>	V	
		$\Delta V_{OUT}$	Line Regulation <sup>(3)</sup>	LM1117-N-ADJ $I_{OUT} = 10\text{mA}$ , $1.5\text{V} \leq V_{IN}-V_{OUT} \leq 13.75\text{V}$		0.035	0.2
LM1117-N-1.8 $I_{OUT} = 0\text{mA}$ , $3.2\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$				1	6	mV	
LM1117-N-2.5 $I_{OUT} = 0\text{mA}$ , $3.9\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$				1	6	mV	
LM1117-N-2.85 $I_{OUT} = 0\text{mA}$ , $4.25\text{V} \leq V_{IN} \leq 10\text{V}$				1	6	mV	
LM1117-N-3.3 $I_{OUT} = 0\text{mA}$ , $4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$				1	6	mV	
LM1117-N-6.0 $I_{OUT} = 0\text{mA}$ , $6.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 15\text{V}$				1	10	mV	
$\Delta V_{OUT}$	Load Regulation <sup>(3)</sup>	LM1117-N-ADJ $V_{IN}-V_{OUT} = 3\text{V}$ , $10 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		0.2	0.4	%	
		LM1117-N-1.8 $V_{IN} = 3.2\text{V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV	
		LM1117-N-2.5 $V_{IN} = 3.9\text{V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV	
		LM1117-N-2.85 $V_{IN} = 4.25\text{V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV	
		LM1117-N-3.3 $V_{IN} = 4.75\text{V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	10	mV	
		LM1117-N-6.0 $V_{IN} = 6.5\text{V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		1	15	mV	
$V_{IN}-V_{OUT}$	Dropout Voltage <sup>(4)</sup>	$I_{OUT} = 100\text{mA}$		1.10	1.20	V	
		$I_{OUT} = 500\text{mA}$		1.15	1.25	V	
		$I_{OUT} = 800\text{mA}$		1.20	1.30	V	

(1) All limits are ensured by testing or statistical analysis.  
(2) Typical Values represent the most likely parametric normal.  
(3) Load and line regulation are measured at constant junction room temperature.  
(4) The dropout voltage is the input/output differential at which the circuit ceases to regulate against further reduction in input voltage. It is measured when the output voltage has dropped 100mV from the nominal value obtained at  $V_{IN} = V_{OUT} + 1.5\text{V}$ .

4 [Submit Documentation Feedback](#) Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Figura 44

La configuración usada es la que cuenta con un diodo de referencia que limita la tensión de ajuste del regulador. En la figura siguiente una configuración recomendada por el fabricante.

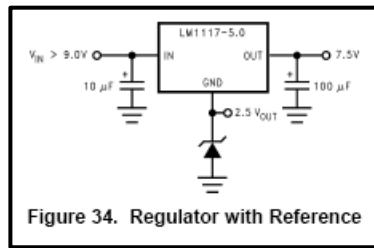


Figura 45

### Ferrite Bead (núcleos de ferrita) ILBB-1210-ER-310-V

Son inductores que se conectan en serie, atenuando las señales de RF que pueda llegar a tener la pista que se quiera filtrar. Los parámetros a tener en cuenta en su elección fueron, la frecuencia de filtrado, impedancia y corriente máxima que soportan.

En este caso se escogieron las siguientes características eléctricas.

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS			
PART NUMBER	Z ± 25 % AT 100 MHz (Ω)	DCR MAX. (Ω)	RATED DC CURRENT (mA)
ILBB-1210	31	0.30	400
	60	0.30	400
	90	0.30	400
ILBB-1806	80	0.30	400
	100	0.30	300
ILBB-1812	150	0.50	200
	70	0.40	200
	120	0.40	200

Figura 46

En la siguiente figura se muestra como varía la impedancia de acuerdo como varia la frecuencia.

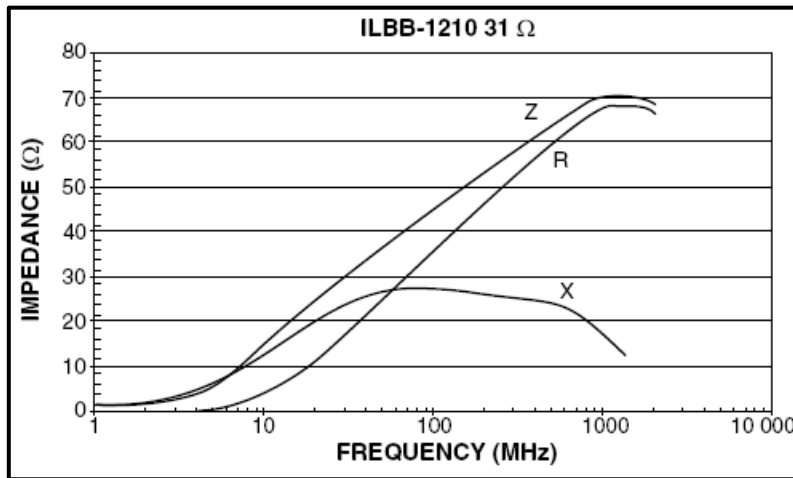


Figura 47



### Referencias de tensión LM4040AIM3X-4.1

este circuito integrado cumple con los requerimientos antes numerados. A continuación se enmarcan en imágenes, las características de interés de este proyecto.

**6.14 Electrical Characteristics: 4.1-V LM4040-N  $V_R$  Tolerance Grades 'A' And 'B'; Temperature Grade 'I'**

all other limits  $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$ . The grades A and B designate initial Reverse Breakdown Voltage tolerances of  $\pm 0.1\%$  and  $\pm 0.2\%$ , respectively.

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN <sup>(1)</sup>	TYP <sup>(2)</sup>	MAX <sup>(1)</sup>	UNIT
$V_R$	Reverse Breakdown Voltage	$I_R = 100 \mu\text{A}$			4.096		V
	Reverse Breakdown Voltage Tolerance <sup>(3)</sup>	$I_R = 100 \mu\text{A}$	LM4040AIM3 LM4040AIZ	$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$		$\pm 4.1$	mV
				$T_A = T_J = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$		$\pm 31$	
			LM4040BIM3 LM4040BIZ LM4040BIM7	$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$		$\pm 8.2$	
			$T_A = T_J = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$			$\pm 35$	
$I_{\text{RMIN}}$	Minimum Operating Current		$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$		50	68	$\mu\text{A}$
			$T_A = T_J = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$			73	
$\Delta V_R / \Delta T$	Average Reverse Breakdown Voltage Temperature Coefficient <sup>(3)</sup>	$I_R = 10 \text{ mA}$			$\pm 30$		ppm/ $^\circ\text{C}$
		$I_R = 1 \text{ mA}$	$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$		$\pm 20$		
			$T_A = T_J = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$			$\pm 100$	
	$I_R = 100 \mu\text{A}$				$\pm 20$		
$\Delta V_R / \Delta I_R$	Reverse Breakdown Voltage Change with Operating Current Change <sup>(4)</sup>	$I_{\text{RMIN}} \leq I_R \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$		0.5	0.9	mV
			$T_A = T_J = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$			1.2	
		$1 \text{ mA} \leq I_R \leq 15 \text{ mA}$	$T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$		3	7	
			$T_A = T_J = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$			10	

(1) Limits are 100% production tested at 25°C. Limits over temperature are ensured through correlation using Statistical Quality Control (SQC) methods. The limits are used to calculate AOQL.

(2) Typicals are at  $T_J = 25^\circ\text{C}$  and represent most likely parametric norm.

(3) The (overtemperature) limit for Reverse Breakdown Voltage Tolerance is defined as the room temperature Reverse Breakdown Voltage Tolerance  $\pm[(\Delta V_R / \Delta T)(\text{max}\Delta T)(V_R)]$ . Where,  $\Delta V_R / \Delta T$  is the  $V_R$  temperature coefficient,  $\text{max}\Delta T$  is the maximum difference in temperature from the reference point of 25°C to  $T_{\text{MIN}}$  or  $T_{\text{MAX}}$ , and  $V_R$  is the reverse breakdown voltage. The total overtemperature tolerance for the different grades in the industrial temperature range where  $\text{max}\Delta T = 65^\circ\text{C}$  is shown below:  
 A-grade:  $\pm 0.75\% = \pm 0.1\% \pm 100 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 65^\circ\text{C}$   
 B-grade:  $\pm 0.85\% = \pm 0.2\% \pm 100 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 65^\circ\text{C}$   
 C-grade:  $\pm 1.15\% = \pm 0.5\% \pm 100 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 65^\circ\text{C}$   
 D-grade:  $\pm 1.98\% = \pm 1.0\% \pm 150 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 65^\circ\text{C}$   
 E-grade:  $\pm 2.98\% = \pm 2.0\% \pm 150 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 65^\circ\text{C}$   
 The total overtemperature tolerance for the different grades in the extended temperature range where  $\text{max}\Delta T = 100^\circ\text{C}$  is shown below:  
 C-grade:  $\pm 1.5\% = \pm 0.5\% \pm 100 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C}$   
 D-grade:  $\pm 2.5\% = \pm 1.0\% \pm 150 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C}$   
 E-grade:  $\pm 3.5\% = \pm 2.0\% \pm 150 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \times 100^\circ\text{C}$   
 Therefore, as an example, the A-grade 2.5-V LM4040-N has an overtemperature Reverse Breakdown Voltage tolerance of  $\pm 2.5\text{V} \times 0.75\% = \pm 19 \text{ mV}$ .

(4) Load regulation is measured on pulse basis from no load to the specified load current. Output changes due to die temperature change must be taken into account separately.

Figura 48



## Comparadores LM111

El comparador mencionado, cuenta con las características enmarcadas en las siguientes imágenes.

**6.6 Electrical Characteristics**  
at specified free-air temperature,  $V_{CC4} = \pm 15\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A$ (1)	LM111 LM211 LM211Q			LM311			UNIT
			MIN	TYP (2)	MAX	MIN	TYP (2)	MAX	
$V_{IO}$	Input offset voltage	See (3)	25°C	0.7	3	2	7.5		mV
			Full range		4		10		
$I_{IO}$	Input offset current	See (3)	25°C	4	10	6	50		nA
			Full range		20		70		
$I_{IB}$	Input bias current	$1\text{ V} \leq V_{IO} \leq 14\text{ V}$	25°C	75	100	100	250		nA
			Full range		150		300		
$I_{LIS}$	Low-level strobe current (4)	$V_{I(strobe)} = 0.3\text{ V}$ , $V_{IO} \leq -10\text{ mV}$	25°C		-3		-3		mA
$V_{ICR}$	Common-mode input-voltage range (2)	Lower range			-14.7	-14.5	-14.7	-14.5	V
		Upper range	Full range	13	13.8	13	13.8		
$A_{VD}$	Large-signal differential-voltage amplification	$5\text{ V} \leq V_{IO} \leq 35\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$	25°C	40	200	40	200		V/mV
$I_{OH}$	High-level (collector) output leakage current	$I_{I(strobe)} = -3\text{ mA}$ , $V_{IO} = 5\text{ mV}$	25°C		0.2	10			nA
		$V_{IO} = 5\text{ mV}$ , $V_{CC4} = 35\text{ V}$	Full range		0.5				$\mu\text{A}$
			25°C			0.2	50		nA
$V_{OL}$	Low-level (collector-to-emitter) output voltage	$I_{OL} = 50\text{ mA}$	25°C		0.75	1.5			V
		$V_{IO} = -5\text{ mV}$	25°C			0.75	1.5		
		$V_{IO} = -10\text{ mV}$	25°C						
		$V_{CC4} = 4.5\text{ V}$ , $V_{CC4} = 0\text{ V}$ , $I_{OL} = 8\text{ mA}$	Full range	0.23	0.4				
		$V_{IO} = -10\text{ mV}$	Full range			0.23	0.4		
$I_{CC+}$	Supply current from $V_{CC-}$ output low	$V_{IO} = -10\text{ mV}$ , No load	25°C	5.1	6	5.1	7.5		mA
$I_{CC-}$	Supply current from $V_{CC+}$ output high	$V_{IO} = 10\text{ mV}$ , No load	25°C	-4.1	-5	-4.1	-5		mA

(1) Unless otherwise noted, all characteristics are measured with BALANCE and BAL/STRB open and EMIT OUT grounded. Full range for LM111 is -55°C to 125°C, for LM211 is -40°C to 85°C, for LM211Q is -40°C to 125°C, and for LM311 is 0°C to 70°C.  
 (2) All typical values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .  
 (3) The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the collector output up to 14 V or down to 1 V with a pullup resistor of 7.5 k $\Omega$  to  $V_{CC+}$ . These parameters actually define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and input impedance.  
 (4) The strobe must not be shorted to ground; it must be current driven at -3 mA to -5 mA (see Figure 18 and Figure 31).

Figura 49

## Compuerta cuádruple, de 2 entradas positivas SN74HC08-SP

En la siguiente imagen se observa su tabla de verdad y esquema lógico

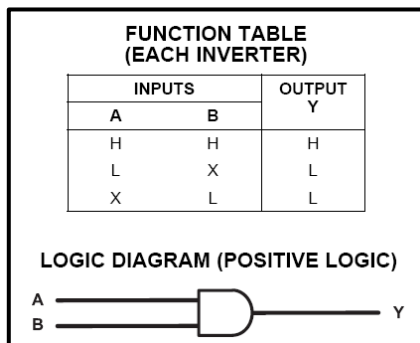


Figura 50

A continuación se describen las condiciones de funcionamiento recomendadas por el fabricante del CI:

			SN54HC08			SN74HC08			UNIT
			MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$	Supply voltage		2	5	6	2	5	6	V
$V_{IH}$	High-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$	1.5			1.5			V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	3.15			3.15			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$	4.2			4.2			
$V_{IL}$	Low-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$				0.5			V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$				1.35			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$				1.8			
$V_I$	Input voltage		0		$V_{CC}$	0		$V_{CC}$	V
$V_O$	Output voltage		0		$V_{CC}$	0		$V_{CC}$	V
$\Delta t/\Delta v$	Input transition rise or fall rate	$V_{CC} = 2\text{ V}$				1000			ns
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$				500			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$				400			
$T_A$	Operating free-air temperature		-55		125	-40		85	°C

(1) All unused inputs of the device must be held at  $V_{CC}$  or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.

Figura 51

## Compuerta OR de tres entradas SN54HC4075

Diagrama lógico y tabla de verdad

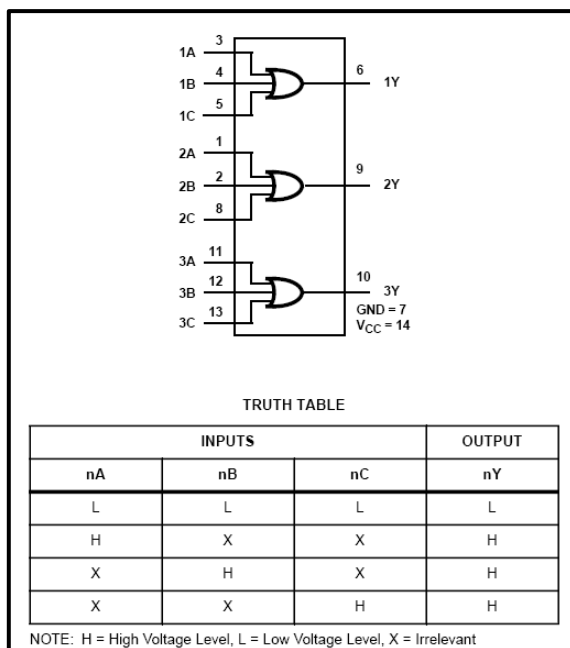


Figura 52

## Especificaciones eléctricas

DC Electrical Specifications												
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V <sub>I</sub> (V)	I <sub>O</sub> (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
<b>HC TYPES</b>												
High Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>	-	-	2	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V
				4.5	3.15	-	-	3.15	-	3.15	-	V
				6	4.2	-	-	4.2	-	4.2	-	V
Low Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>	-	-	2	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V
				4.5	-	-	1.35	-	1.35	-	1.35	V
				6	-	-	1.8	-	1.8	-	1.8	V
High Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V
			-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads			-4	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-5.2	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads			4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			5.2	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I <sub>I</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-	6	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	µA
Quiescent Device Current	I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0	6	-	-	2	-	20	-	40	µA

Figura 53

## Sensor de temperatura LM35A

La configuración utilizada es:

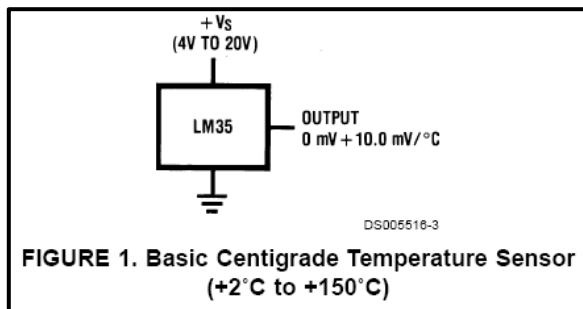


Figura 54

Las características eléctricas son:

Electrical Characteristics								
(Notes 1, 6)								
Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$			$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$	$\pm 1.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		$+10.0$		$+9.9,$ $+10.1$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5\text{V}$	105		131	91		114	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		133	91.5		116	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	0.5		2.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.5$	$+0.39$		$+0.5$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

Figura 55

Gráfico de tensión de alimentación mínima vs temperatura

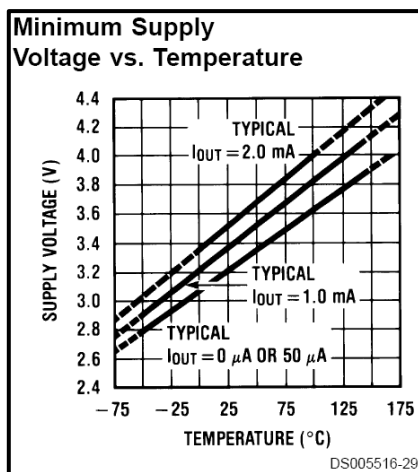


Figura 56

## Doble flip-flop tipo D 74HC74

Diagrama lógico, asignación de pines y tabla de verdad

Diagrama logico

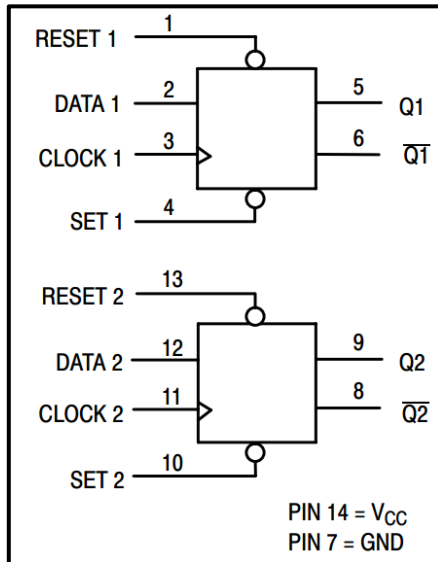


Figura 57

Tabla de verdad

FUNCTION TABLE					
Inputs				Outputs	
Set	Reset	Clock	Data	Q	$\bar{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	$\nearrow$	H	H	L
H	H	$\searrow$	L	L	H
H	H	L	X	No Change	No Change
H	H	H	X	No Change	No Change
H	H	$\curvearrowright$	X	No Change	No Change

Figura 58

Especificaciones eléctricas

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)							
Symbol	Parameter	Test Conditions	V <sub>CC</sub> (V)	Guaranteed Limit			Unit
				- 55 to 25°C	≤ 85°C	≤ 125°C	
V <sub>IH</sub>	Minimum High-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = 0.1 V or V <sub>CC</sub> - 0.1 V  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	1.5	1.5	1.5	V
			3.0	2.1	2.1	2.1	
			4.5	3.15	3.15	3.15	
			6.0	4.2	4.2	4.2	
V <sub>IL</sub>	Maximum Low-Level Input Voltage	V <sub>out</sub> = 0.1 V or V <sub>CC</sub> - 0.1 V  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	0.5	0.5	0.5	V
			3.0	0.9	0.9	0.9	
			4.5	1.35	1.35	1.35	
			6.0	1.8	1.8	1.8	
V <sub>OH</sub>	Minimum High-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5	4.4	4.4	4.4	
			6.0	5.9	5.9	5.9	
		V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 2.4 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 4.0 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 5.2 mA	3.0	2.48	2.34	2.2	
			4.5	3.98	3.84	3.7	
			6.0	5.48	5.34	5.2	
V <sub>OL</sub>	Maximum Low-Level Output Voltage	V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 20 μA	2.0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5	0.1	0.1	0.1	
			6.0	0.1	0.1	0.1	
		V <sub>in</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>  I <sub>out</sub>   ≤ 2.4 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 4.0 mA  I <sub>out</sub>   ≤ 5.2 mA	3.0	0.26	0.33	0.4	
			4.5	0.26	0.33	0.4	
			6.0	0.26	0.33	0.4	
I <sub>in</sub>	Maximum Input Leakage Current	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6.0	±0.1	±1.0	±1.0	μA
I <sub>CC</sub>	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V <sub>in</sub> = V <sub>CC</sub> or GND I <sub>out</sub> = 0 μA	6.0	2.0	20	80	μA

NOTE: Information on typical parametric values can be found in Chapter 2 of the ON Semiconductor High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

Figura 59

### Distribución de pines

PIN ASSIGNMENT			
RESET 1	1 •	14	V <sub>CC</sub>
DATA 1	2	13	RESET 2
CLOCK 1	3	12	DATA 2
SET 1	4	11	CLOCK 2
Q1	5	10	SET 2
Q̄1	6	9	Q2
GND	7	8	Q̄2

Figura 60

### Compuerta AND 4 entradas 54HC21

#### Esquema lógico

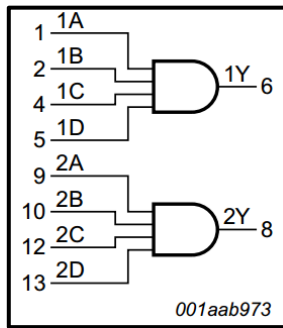


Figura 61

Tabla de verdad

INPUTS				OUTPUT
nA	nB	nC	nD	nY
L	X	X	X	L
X	L	X	X	L
X	X	L	X	L
X	X	X	L	L
H	H	H	H	H

**Notes**  
1. H = HIGH voltage level  
L = LOW voltage level  
X = don't care

Figura 62

Características eléctricas

**Table 6. Static characteristics**  
At recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

Symbol	Parameter	Conditions	25 °C			-40 °C to +85 °C		-40 °C to +125 °C		Unit
			Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
V <sub>IH</sub>	HIGH-level input voltage	V <sub>CC</sub> = 2.0 V	1.5	1.2	-	1.5	-	1.5	-	V
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V	3.15	2.4	-	3.15	-	3.15	-	V
		V <sub>CC</sub> = 6.0 V	4.2	3.2	-	4.2	-	4.2	-	V
V <sub>IL</sub>	LOW-level input voltage	V <sub>CC</sub> = 2.0 V	-	0.8	0.5	-	0.5	-	0.5	V
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V	-	2.1	1.35	-	1.35	-	1.35	V
		V <sub>CC</sub> = 6.0 V	-	2.8	1.8	-	1.8	-	1.8	V
V <sub>OH</sub>	HIGH-level output voltage	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>								
		I <sub>O</sub> = -20 μA; V <sub>CC</sub> = 2.0 V	1.9	2.0	-	1.9	-	1.9	-	V
		I <sub>O</sub> = -20 μA; V <sub>CC</sub> = 4.5 V	4.4	4.5	-	4.4	-	4.4	-	V
		I <sub>O</sub> = -20 μA; V <sub>CC</sub> = 6.0 V	5.9	6.0	-	5.9	-	5.9	-	V
		I <sub>O</sub> = -4.0 mA; V <sub>CC</sub> = 4.5 V	3.98	4.32	-	3.84	-	3.7	-	V
V <sub>OL</sub>	LOW-level output voltage	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>								
		I <sub>O</sub> = 20 μA; V <sub>CC</sub> = 2.0 V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I <sub>O</sub> = 20 μA; V <sub>CC</sub> = 4.5 V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I <sub>O</sub> = 20 μA; V <sub>CC</sub> = 6.0 V	-	0	0.1	-	0.1	-	0.1	V
		I <sub>O</sub> = 4.0 mA; V <sub>CC</sub> = 4.5 V	-	0.15	0.26	-	0.33	-	0.4	V
I <sub>I</sub>	input leakage current	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or GND; V <sub>CC</sub> = 6.0 V	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA
		V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or GND; I <sub>O</sub> = 0 A; V <sub>CC</sub> = 6.0 V	-	-	2.0	-	20	-	40	μA
C <sub>I</sub>	input capacitance		-	3.5	-	-	-	-	pF	

Figura 63

Distribución de pines

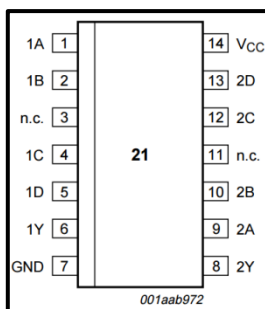


Figura 64

Triple AND de tres entradas 74HC11  
Esquema lógico y distribución de pines



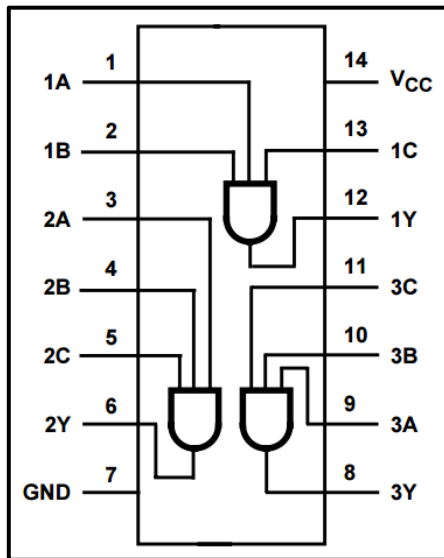


Figura 65

Tabla de verdad

INPUTS			OUTPUT
nA	nB	nC	nY
L	L	L	L
L	L	H	L
L	H	L	L
L	H	H	L
H	L	L	L
H	L	H	L
H	H	L	L
H	H	H	H

Figura 66

Especificaciones eléctricas



PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS			25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V <sub>I</sub> (V)	I <sub>O</sub> (mA)	V <sub>CC</sub> (V)	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
<b>HC TYPES</b>												
High Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>	-	-	2	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V
				4.5	3.15	-	-	3.15	-	3.15	-	V
				6	4.2	-	-	4.2	-	4.2	-	V
Low Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>	-	-	2	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V
				4.5	-	-	1.35	-	1.35	-	1.35	V
				6	-	-	1.8	-	1.8	-	1.8	V
High Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V
			-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V
			-4	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-5.2	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low Level Output Voltage	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V
			4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			5.2	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I <sub>I</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-	6	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA

Figura 67

### Doble FLIP-FLOP tipo D CD4518

Esquema lógico y distribución de pines

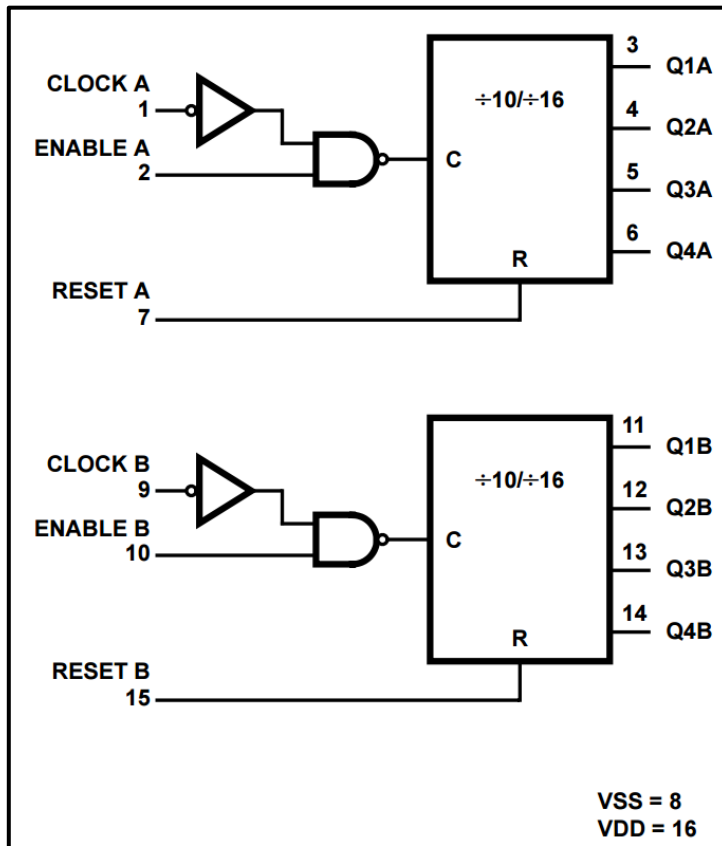








Figura 68

Tabla de verdad

CLOCK	ENABLE	RESET	ACTION
	H	L	INCREMENT COUNTER
L		L	INCREMENT COUNTER
	X	L	NO CHANGE
X		L	NO CHANGE
	L	L	NO CHANGE
H		L	NO CHANGE
X	X	H	Q1 THRU Q4 = 0

X : Don't Care

Figura 69

Características eléctricas en DC



Symbol	Parameter	Test Condition				Value						Unit	
		V <sub>I</sub> (V)	V <sub>O</sub> (V)	I <sub>O</sub>   (μA)	V <sub>DD</sub> (V)	T <sub>A</sub> = 25°C			-40 to 85°C		-55 to 125°C		
						Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.
I <sub>L</sub>	Quiescent Current	0/5			5		0.04	5		150		150	μA
		0/10			10		0.04	10		300		300	
		0/15			15		0.04	20		600		600	
		0/20			20		0.08	100		3000		3000	
V <sub>OH</sub>	High Level Output Voltage	0/5		<1	5	4.95			4.95		4.95		V
		0/10		<1	10	9.95			9.95		9.95		
		0/15		<1	15	14.95			14.95		14.95		
V <sub>OL</sub>	Low Level Output Voltage	5/0		<1	5		0.05			0.05		0.05	V
		10/0		<1	10		0.05			0.05		0.05	
		15/0		<1	15		0.05			0.05		0.05	
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage		0.5/4.5	<1	5	3.5			3.5		3.5		V
			1/9	<1	10	7			7		7		
			1.5/13.5	<1	15	11			11		11		
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage		4.5/0.5	<1	5			1.5	1.5		1.5		V
			9/1	<1	10			3	3		3		
			13.5/1.5	<1	15			4	4		4		
I <sub>OH</sub>	Output Drive Current	0/5	2.5	<1	5	-1.36	-3.2		-1.1		-1.1		mA
		0/5	4.6	<1	5	-0.44	-1		-0.36		-0.36		
		0/10	9.5	<1	10	-1.1	-2.6		-0.9		-0.9		
		0/15	13.5	<1	15	-3.0	-6.8		-2.4		-2.4		
I <sub>OL</sub>	Output Sink Current	0/5	0.4	<1	5	0.44	1		0.36		0.36		mA
		0/10	0.5	<1	10	1.1	2.6		0.9		0.9		
		0/15	1.5	<1	15	3.0	6.8		2.4		2.4		
I <sub>I</sub>	Input Leakage Current	0/18	Any Input		18		±10 <sup>-5</sup>	±0.1		±1		±1	μA
C <sub>I</sub>	Input Capacitance		Any Input				5	7.5					pF

The Noise Margin for both "1" and "0" level is: 1V min. with V<sub>DD</sub>=5V, 2V min. with V<sub>DD</sub>=10V, 2.5V min. with V<sub>DD</sub>=15V

Figura 70

### Contador binario CD4060

Esquema lógico y distribución de pines

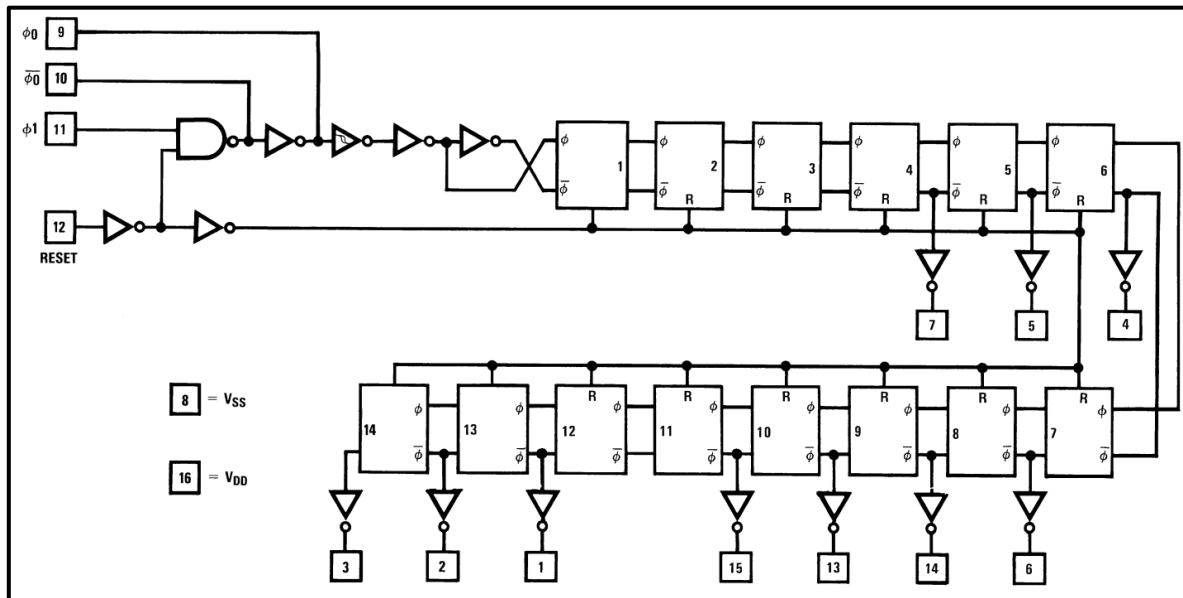


Figura 71

Oscilador a cristal utilizado

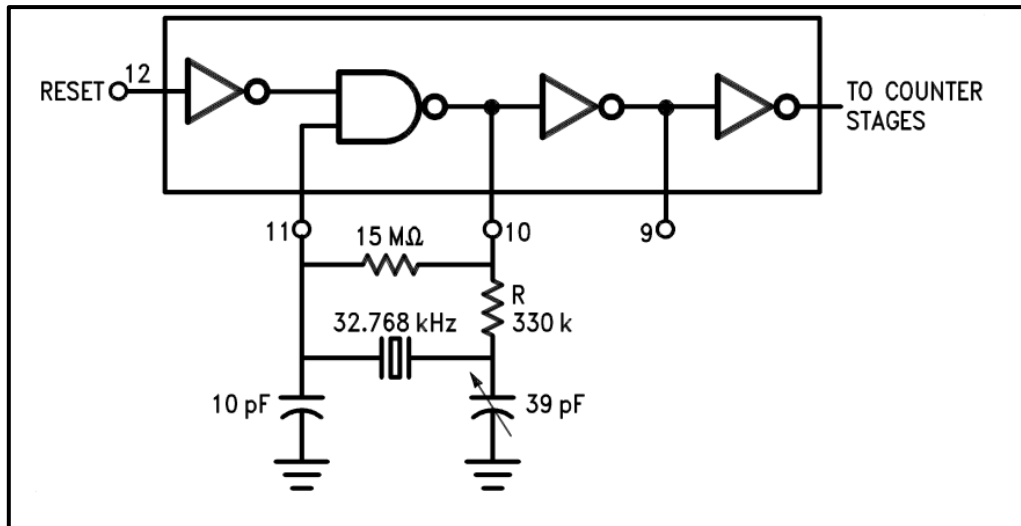


Figura 72

Características eléctricas DC

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD} \text{ or } V_{SS}$		5			5	150	$\mu A$	
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD} \text{ or } V_{SS}$		10		10	300			
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD} \text{ or } V_{SS}$		20		20	600			
$V_{OL}$	LOW Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05	0.05	V	
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05	0.05		
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05	0.05		
$V_{OH}$	HIGH Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95	V	
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95		
$V_{IL}$	LOW Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V \text{ or } 4.5V$		1.5		2	1.5	1.5	V	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V \text{ or } 9.0V$		3.0		4	3.0	3.0		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V \text{ or } 13.5V$		4.0		6	4.0	4.0		
$V_{IH}$	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V \text{ or } 4.5V$	3.5		3.5	3		3.5	V	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V \text{ or } 9.0V$	7.0		7.0	6		7.0		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V \text{ or } 13.5V$	11.0		11.0	9		11.0		
$I_{OL}$	LOW Level Output Current <sup>(3)</sup>	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36	mA	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		
$I_{OH}$	HIGH Level Output Current <sup>(3)</sup>	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36	mA	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		$-10^{-5}$	-0.1	-1.0	$\mu A$	
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		$10^{-5}$	0.1	1.0		

Figura 73

### Seis inversores Shmitt trigger 54HC14

Esquema logico y disposicion de pines

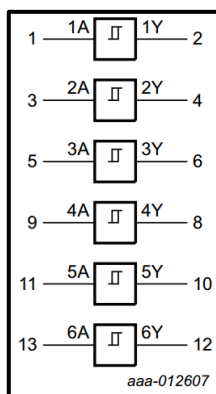


Figura 74

Tabla de verdad

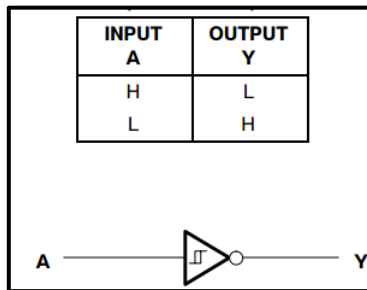


Figura 75

### Características eléctricas en DC

PARAMETER	TEST CONDITIONS	V <sub>CC</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C			SN54HC14		SN74HC14		UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V <sub>T+</sub>		2 V	0.7	1.2	1.5	0.7	1.5	0.7	1.5	V
		4.5 V	1.55	2.5	3.15	1.55	3.15	1.55	3.15	
		6 V	2.1	3.3	4.2	2.1	4.2	2.1	4.2	
V <sub>T-</sub>		2 V	0.3	0.6	1	0.3	1	0.3	1	V
		4.5 V	0.9	1.6	2.45	0.9	2.45	0.9	2.45	
		6 V	1.2	2	3.2	1.2	3.2	1.2	3.2	
V <sub>T+</sub> - V <sub>T-</sub>		2 V	0.2	0.6	1.2	0.2	1.2	0.2	1.2	V
		4.5 V	0.4	0.9	2.1	0.4	2.1	0.4	2.1	
		6 V	0.5	1.3	2.5	0.5	2.5	0.5	2.5	
V <sub>OH</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	I <sub>OH</sub> = -20 μA	2 V	1.9	1.998		1.9	1.9	V	
			4.5 V	4.4	4.499		4.4	4.4		
		6 V	5.9	5.999		5.9	5.9			
		I <sub>OH</sub> = -4 mA	4.5 V	3.98	4.3		3.7	3.84		
I <sub>OH</sub> = -5.2 mA	6 V	5.48	5.8		5.2	5.34				
V <sub>OL</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	I <sub>OL</sub> = 20 μA	2 V		0.002	0.1		0.1	V	
			4.5 V		0.001	0.1		0.1		
			6 V		0.001	0.1		0.1		
		I <sub>OL</sub> = 4 mA	4.5 V		0.17	0.26		0.4		0.33
		I <sub>OL</sub> = 5.2 mA	6 V		0.15	0.26		0.4		0.33
I <sub>I</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or 0	6 V		±0.1	±100		±1000	±1000	nA	
I <sub>CC</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or 0, I <sub>O</sub> = 0	6 V			2		40	20	μA	
C <sub>i</sub>		2 V to 6 V		3	10		10	10	pF	

Figura 76

### Switch controlado de baja resistencia bajo carga TPS22929D

#### Distribución de pines

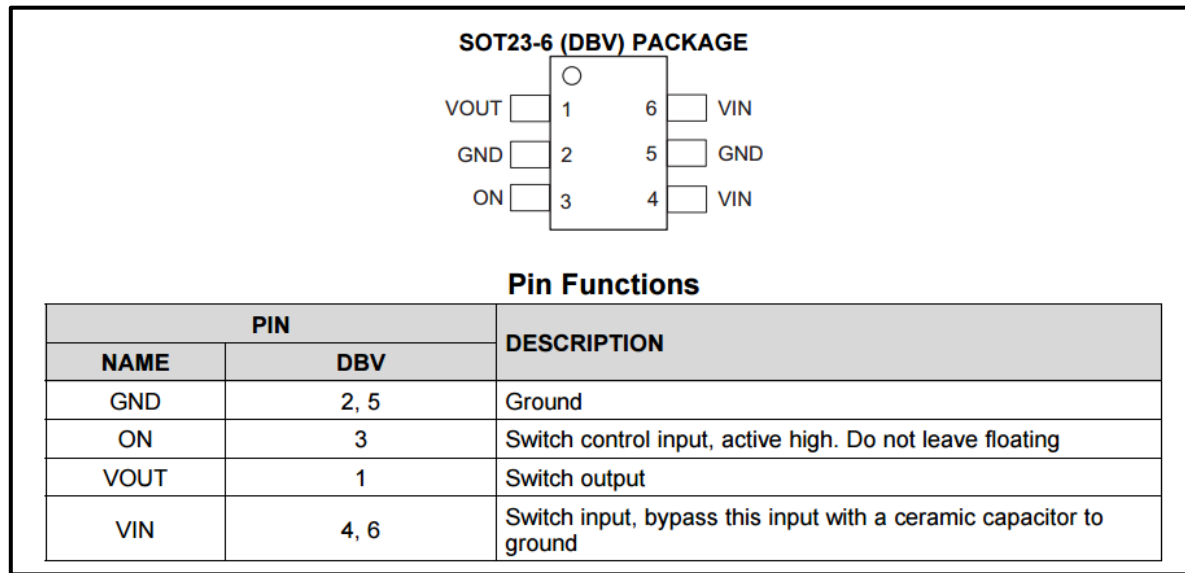


Figura 77

Características eléctricas



PARAMETER		TEST CONDITIONS	T <sub>A</sub>	MIN	TYP	MAX	UNIT
I <sub>IN</sub>	Quiescent current	I <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = V <sub>ON</sub> = 5.25 V	Full		2.2	10	μA
		I <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = V <sub>ON</sub> = 4.2 V			2.1	7.0	
		I <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = V <sub>ON</sub> = 3.6 V			2.0	7.0	
		I <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = V <sub>ON</sub> = 2.5 V			1.0	5.0	
		I <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = V <sub>ON</sub> = 1.5 V			0.8	5.0	
I <sub>IN(off)</sub>	Off supply current	V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = Open, V <sub>IN</sub> = 5.25 V	Full		0.8	10	μA
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = Open, V <sub>IN</sub> = 4.2 V			0.3	7.0	
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = Open, V <sub>IN</sub> = 3.6 V			0.2	7.0	
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = Open, V <sub>IN</sub> = 2.5 V			0.2	5.0	
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = Open, V <sub>IN</sub> = 1.5 V			0.1	5.0	
I <sub>IN(Leakage)</sub>	Leakage current	V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = 5.25 V	Full		0.8	10	μA
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = 4.2 V			0.3	7.0	
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = 3.6 V			0.2	7.0	
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = 2.5 V			0.2	5.0	
		V <sub>ON</sub> = GND, V <sub>OUT</sub> = 0, V <sub>IN</sub> = 1.5 V			0.1	5.0	
r <sub>ON</sub>	On-resistance	V <sub>IN</sub> = 5.25 V, I <sub>OUT</sub> = -200 mA	25°C		115	150	mΩ
			Full			175	
		V <sub>IN</sub> = 5.0 V, I <sub>OUT</sub> = -200 mA	25°C		115	150	
			Full			175	
		V <sub>IN</sub> = 4.2 V, I <sub>OUT</sub> = -200 mA	25°C		115	150	
			Full			175	
		V <sub>IN</sub> = 3.3 V, I <sub>OUT</sub> = -200 mA	25°C		115	150	
			Full			175	
V <sub>IN</sub> = 2.5 V, I <sub>OUT</sub> = -200 mA	25°C		118	155			
	Full			180			
V <sub>IN</sub> = 1.5 V, I <sub>OUT</sub> = -200 mA	25°C		129	170			
	Full			200			
RPD	Output pull down resistance	V <sub>IN</sub> = 3.3 V, V <sub>ON</sub> = 0, I <sub>OUT</sub> = 30 mA	25°C		150	200	Ω
UVLO	Under voltage lockout	V <sub>IN</sub> increasing, V <sub>ON</sub> = 3.6 V, I <sub>OUT</sub> = -100 mA	Full			1.4	V
		V <sub>IN</sub> decreasing, V <sub>ON</sub> 3.6 V, R <sub>L</sub> = 10 Ω			0.50		
I <sub>ON</sub>	ON input leakage current	V <sub>ON</sub> = 1.4 V to 5.25 V or GND	Full			1	μA
V <sub>RVP</sub>	Reverse Current Voltage Threshold				77		mV
t <sub>DELAY</sub>	Reverse Current Response Delay	V <sub>IN</sub> = 5V			10		μs

Figura 78

### Conectores de alimentación, entrada y salida DF1E-2P-2.5C

Se seleccionó este tipo de conector por su simpleza y las excelentes prestaciones ante vibraciones y aceleraciones en todos los ejes. Como se observa en la siguiente figura, la serie cuenta con un sistema de bloqueo para aumentar la seguridad ante golpes o aceleraciones inesperadas.

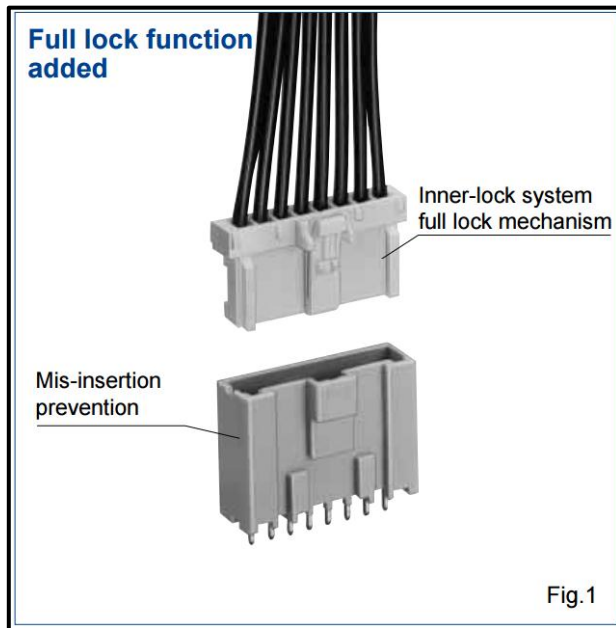


Figura 79

### Características eléctricas y físicas

UL, C-UL Rating		
Rating	Current rating	20 to 22 AWG : 3A 24 to 28 AWG : 1A 30 AWG : 0.5A
	Voltage rating	30V AC

Figura 80

Item	Specification	Condition
1. Contact Resistance	30mΩ max.	Measured at 20mV max. and 1mA
2. Insulation Resistance	1000MΩ min.	500V DC
3. Withstanding voltage	No flashover or insulation breakdown.	650V AC/1 minute
4. Single Insertor/Extraction Force	MIN 0.29N, MAX 4.41N	Measured at the square steel pin with 0.635±0.002
5. Durability (Mating/un-mating)	30mΩ max	30 cycles
6. Vibration	No electrical discontinuity of 1μs or more	Frequency : 10 to 55 Hz, single amplitude of 0.75 mm, 2 hours in each of the 3 directions.
7. Shock	No electrical discontinuity of 1μs or more	Acceleration of 490 m/s <sup>2</sup> , 11 ms duration, sine half-wave waveform, 3 cycles in each of the 3 axis
8. Humidity (Steady state)	30mΩ max	96 hours at temperature of 40±2°C and humidity of 90% to 95%
9. Temperature Cycle	30mΩ max.	(-55°C : 30 minutes-> 5 to 35°C : 5 minutes-> 85°C : 30 minutes-> 5 to 35°C : 5 minutes) 5 cycles
10. Resistance to Soldering heat	No deformation of components affecting performance.	Flow : 260°C for 10 seconds Manual soldering : 300°C for 3 seconds

Note 1 : Current rating of header is 3A.

Note 2 : Includes temperature rise caused by current flow.

Note 3 : The term "storage" refers to products stored for long period of time prior to mounting and use. Operating Temperature Range and Humidity range covers non conducting condition of installed connectors in storage, shipment or during transportation.

Figura 81

## Resistores metal film 0805 con tolerancia al 1%

### Especificaciones eléctricas

TECHNICAL SPECIFICATIONS				
DESCRIPTION	MCS 0402 AT	MCT 0603 AT	MCU 0805 AT	MCA 1206 AT
Imperial size	0402	0603	0805	1206
Metric size code	RR1005M	RR1608M	RR2012M	RR3216M
Resistance range	2.43 $\Omega$ to 221 k $\Omega$ ; 0 $\Omega$	1 $\Omega$ to 511 k $\Omega$ ; 0 $\Omega$	1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ ; 0 $\Omega$	1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ ; 0 $\Omega$
Resistance tolerance	$\pm 1\%$ , $\pm 0.5\%$			
Temperature coefficient	$\pm 50$ ppm/K; $\pm 25$ ppm/K			
Rated dissipation $P_{85}^{(1)}$	0.100 W	0.150 W	0.200 W	0.400 W
Operating voltage, $U_{max}$ , AC <sub>RMS</sub> or DC	50 V	75 V	150 V	200 V
Permissible film temperature, $\vartheta_{F max}^{(1)}$	175 $^{\circ}$ C			
Operating temperature range <sup>(1)</sup>	-55 $^{\circ}$ C to 175 $^{\circ}$ C			
Insulation voltage:				
1 min; $U_{ins}$	75 V	100 V	200 V	300 V
Failure rate: FIT <sub>observed</sub>	$\leq 0.1 \times 10^{-9}/h$			

Figura 82

## Capacitor tantalio 7343 Bajo ESR

### Características eléctricas y constructivas








SOLID TANTALUM CAPACITORS - MOLDED CASE						
SERIES	293D	793DX-CTC3-CTC4	593D	TR3	TP3	TL3
PRODUCT IMAGE						
TYPE	Surface mount TANTAMOUNT™, molded case					
FEATURES	Standard industrial grade	CECC approved	Low ESR	Low ESR	High performance, automotive grade	Very low DCL
TEMPERATURE RANGE	-55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C					
CAPACITANCE RANGE	0.1 $\mu$ F to 1000 $\mu$ F	0.1 $\mu$ F to 100 $\mu$ F	1 $\mu$ F to 470 $\mu$ F	0.47 $\mu$ F to 1000 $\mu$ F	0.1 $\mu$ F to 470 $\mu$ F	0.1 $\mu$ F to 470 $\mu$ F
VOLTAGE RANGE	4 V to 75 V	4 V to 50 V	4 V to 50 V	4 V to 75 V	4 V to 50 V	4 V to 50 V
CAPACITANCE TOLERANCE	$\pm 10\%$ , $\pm 20\%$					
LEAKAGE CURRENT	0.01 CV or 0.5 $\mu$ A, whichever is greater					0.005 CV or 0.25 $\mu$ A, whichever is greater
DISSIPATION FACTOR	4 % to 30 %	4 % to 6 %	4 % to 15 %	4 % to 30 %	4 % to 15 %	4 % to 15 %
CASE CODES	A, B, C, D, E, V	A, B, C, D	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E, V, W	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E
TERMINATION	100 % matte tin standard, tin / lead available					

Figura 83

## Capacitor cerámico multilayer 0805

### Surface Mount Multilayer Ceramic Chip Capacitors MIL Qualified, Type CDR



**FEATURES**

- **Military qualified products**
- Federal stock control number, CAGE CODE 2770A
- High reliability tested per MIL-PRF-55681
- Tin / lead termination codes "Z" and "U"
- Lead (Pb)-free termination codes "W", "Y", "M"
- Wet build process
- Reliable Noble Metal Electrode (NME) system
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)

**Note**

\* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non-RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details.

**APPLICATIONS**

- Avionic systems
- Sonar systems
- Satellite systems
- **Missiles applications**
- Geographical information systems
- Global positioning systems




Figura 84

### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

**Note**

- Electrical characteristics at +25 °C unless otherwise specified

**Operating Temperature:** -55 °C to +125 °C

**Capacitance Range:** 1.0 pF to 470 nF

**Voltage Range:** 50 V<sub>DC</sub> to 100 V<sub>DC</sub>

**Temperature Coefficient of Capacitance (TCC):**

BP: 0 ppm/°C ± 30 ppm/°C from -55 °C to +125 °C, with 0 V<sub>DC</sub> applied

BX: ± 15 % from -55 °C to +125 °C, with 0 V<sub>DC</sub> applied

BX: +15 %, -25 % from -55 °C to +125 °C, with 100 % rated V<sub>DC</sub> applied

**Dissipation Factor (DF):**

BP: 0.15 % maximum

BX: 2.50 % maximum

Test frequency:

1 MHz ± 50 kHz for BP capacitors ≤ 1000 pF and for BX capacitors ≤ 100 pF

All other BP and BX at 1 kHz ± 50 Hz

**Aging Rate:**

BP: 0 % maximum per decade

BX: 1 % maximum per decade

**Insulation Resistance (IR):**

at +25 °C and rated voltage 100 000 MΩ minimum or 1000 ΩF, whichever is less

**Dielectric Strength Test:**

performed per method 103 of EIA-198-2-E.


Applied test voltages:

≤ 100 V<sub>DC</sub>-rated: 250 % of rated voltage

Figura 85


## Cristal de cuarzo encapsulado de bajo perfil

### Low Profile Holder Type Crystal Units



**FEATURES**

- Low cost
- Industry standard
- Wide frequency range
- Excellent aging
- 100 % Lead (Pb)-free and RoHS compliant



This part is a miniature AT cut strip crystal unit with a low profile package. It is with resistance weld.

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS						
PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	UNIT	MIN	TYPICAL	MAX
Frequency Range	F <sub>O</sub>		MHz	3.200		66.000
Frequency Tolerance	ΔF/F <sub>O</sub>	at 25 °C	ppm	± 10	± 30	± 50
Temperature Stability	TC	ref to 25 °C	ppm	± 10	± 30	± 50
Operating Temperature Range	T <sub>OPR</sub>		°C	- 20		+ 70
Storing Temperature Range	T <sub>STG</sub>		°C	- 40		+ 85
Shunt Capacitance	C <sub>O</sub>		pF			7
Load Capacitance	CL	Customer Specified	pF	10		Series
Insulator Resistance	IR	100 V <sub>DC</sub>	MΩ	500		
Drive Level	DL		μW		100	500
Aging (first year)	Fa	at 25 °C, per year	ppm	- 5.0		+ 5.0

Figura 86

## Anexo 2

### Filtro RC acondicionador de presión

Para evitar que se filtren picos de alta frecuencia, se confeccionó un filtro pasa bajos con elementos pasivos.

El requerimiento es dejar pasar frecuencias menores a 10 Hz.

Para ello se escogió un capacitor de 1μF y se calculó la resistencia

$$R = \frac{1}{2\pi C f_c} = 15.96k\Omega$$

Utilizando una resistencia normalizada al 1% es R=15.8 kΩ.

A continuación se traza el diagrama de Bode (amplitud):

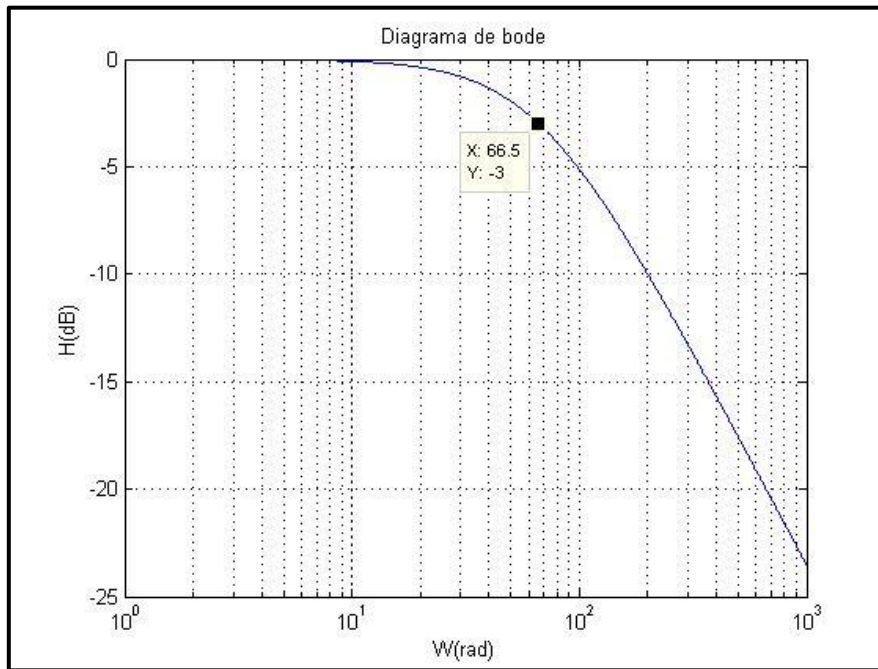


Figura 87



## Conclusión

Como conclusión se puede afirmar que se obtuvo el objetivo propuesto a pesar de no haberse podido materializar la placa en sí misma. Esta decisión se tomó en base a que en medio del diseño de este subsistema, el proyecto por parte de la Nación fue suspendido. Esta situación llevo a un análisis práctico de si se debería implementarse o no, la decisión fue negativa ya que como si se tratase de una empresa, no cuenta con ningún sentido materializar un prototipo con terminaciones profesionales y muy cuidadas para luego no tener ninguna clase de aplicación.

A lo que refiere a la ingeniería de diseño, fueron tenidos en cuenta muchos factores, desde el diseño de la placa y componentes que sean de rápida adquisición en el país, pero a su vez que cuenten con las características especificadas en los requerimientos.



## Bibliografía

- Gatti, I. E. (n.d.). *Técnicas de Diseño en Compatibilidad Electromagnética*. Retrieved from Instituto Nacional de Tecnología Industrial: [www.inti.gob.ar](http://www.inti.gob.ar)
- S/D. (n.d.). *Técnicas de diseño para Compatibilidad Electromagnética*. Retrieved from UBA:  
<http://materias.fi.uba.ar/6610/Apuntes/Tecnicas%20de%20diseño%20en%20EMC.pdf>
- Wong, T. S. (n.d.). *Choosing and Using Bypass Capacitors Application Note 1325*. Retrieved from Intersil :  
<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/an13/an1325.pdf>

## Trabajos citados

- Gatti, I. E. (s.f.). *Técnicas de Diseño en Compatibilidad Electromagnética*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Industrial: [www.inti.gob.ar](http://www.inti.gob.ar)
- S/D. (s.f.). *Técnicas de diseño para Compatibilidad Electromagnética*. Obtenido de UBA:  
<http://materias.fi.uba.ar/6610/Apuntes/Tecnicas%20de%20diseño%20en%20EMC.pdf>
- Wong, T. S. (s.f.). *Choosing and Using Bypass Capacitors Application Note 1325*. Obtenido de Intersil :  
<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/an13/an1325.pdf>