



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Máster

Detección de Fuentes de Calor Mediante  
Bolómetro Integrado de SiGe.

Autor

Héctor Fuentes Jiménez

Director

Santiago Celma Pueyo

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2011

**TÍTULO:** DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe.

**RESUMEN DEL PROYECTO:**

El objetivo del trabajo consiste en la detección fuentes de calor mediante un sensor bolométrico integrado de silicio-germanio.

El bolómetro que se empleará es de tipo resistivo y se caracteriza por disminuir su resistencia eléctrica ante la presencia de radiación infrarroja con las longitudes de onda típicas producidas por un incendio.

Se propone desarrollar un sistema electrónico de acondicionado de la señal del sensor basado en puentes resistivos y amplificadores de instrumentación de baja tensión de alimentación.

Inicialmente se caracterizará el comportamiento del sensor bajo estudio mediante ensayos con diferentes intensidades de calor que provocarán diferentes valores de radiación IR, midiendo de esta manera la respuesta del bolómetro.

Posteriormente se diseñará el circuito de acomodo, adecuando los diferentes valores y prestaciones de los componentes a la característica del sensor, manteniendo en todo momento las condiciones iniciales de bajo consumo, baja tensión de alimentación y bajo coste del sistema. Finalmente el sistema de medida y acondicionado se controlará a través de un microcontrolador de bajo coste y reducidas prestaciones, en el que también se incorporará lógica para la interpretación de las medidas en caso de que los recursos hardware disponibles lo permitan. El sistema completo dispondrá de un protocolo de comunicaciones I2C que facilite su integración en sistemas multisensor portátiles como los empleados en las redes inalámbricas de sensores.

**PALABRAS CLAVE.**

BOLÓMETRO, SiGe, SENSORES INTEGRADOS, INCENDIOS, ACONDICIONADO DE SENSORES

## ÍNDICE:

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 RADIACIÓN INFRARROJA. ....	1
1.2. BOLÓMETROS.....	2
<b>2. OBJETIVO. ....</b>	<b>7</b>
<b>3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....</b>	<b>9</b>
3.1. DISPOSITIVO SENSOR (MICROBOLÓMETRO). ....	9
3.2. FUENTE DE ALIMENTACIÓN. ....	16
3.3. ELEMENTOS DE CONMUTACIÓN. ....	18
3.4. AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTACIÓN.....	21
3.5. MICROCONTROLADOR. ....	22
3.6. PCB.....	26
<b>4. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>29</b>
4.1. SISTEMA DE MEDICIÓN. ....	29
4.2. CONTROL DE POTENCIA.....	29
4.3. LÁMPARA IR. ....	32
4.4. SENSOR. ....	33
4.5. MULTÍMETRO. ....	33
4.6. PC. ....	33
4.7. RESULTADOS. ....	33
<b>5. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>39</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>7. GLOSARIO DE TÉRMINOS/ACRÓNIMOS. ....</b>	<b>43</b>
<b>8. ANEXOS. ....</b>	<b>45</b>
8.1. AO INSTRUMENTACIÓN. INA-321 .....	45
8.2. MICROCONTROLADOR RS08KA8. ....	50
8.3. ESQUEMÁTICO PCB. ....	59
8.4. SOFTWARE MICROCONTROLADOR.....	61
8.5. LÁMPARA IR. ....	66
8.6. SOFTWARE MATLAB .....	68
8.7. MEDIDAS DE LOS PUENTES. ....	70



## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. RADIACIÓN INFRARROJA.

La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética cuya longitud de onda es mayor que la de las microondas y menor que la luz visible roja (Fig. 1). Se encuentra por lo tanto fuera del espectro de ondas visibles por el ser humano.

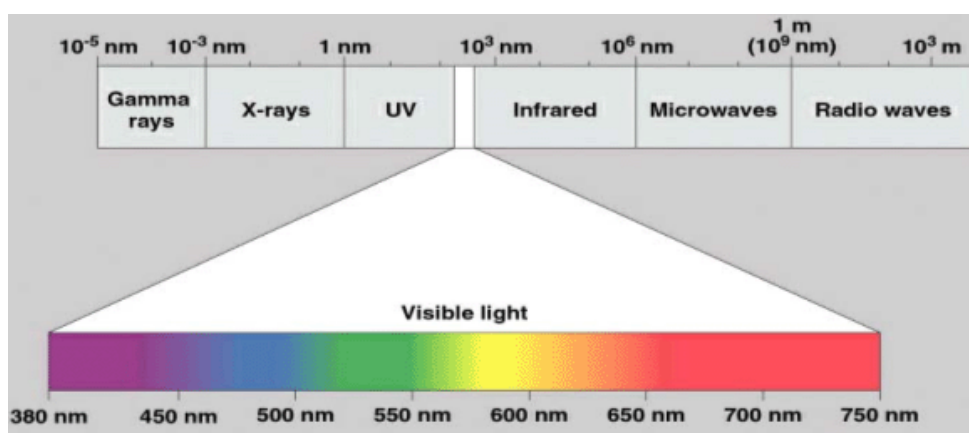


Fig. 1 Espectro Electromagnético

Este tipo de radiación se divide según su longitud de onda en tres tipos [1]:

- Infrarrojo cercano:  $\lambda = (0.78-1.1\mu\text{m})$ , más cercano a luz visible.
- Infrarrojo medio:  $\lambda = (1.1-15\mu\text{m})$ .
- Infrarrojo lejano:  $\lambda = (15-100\mu\text{m})$ , más cercano a las microondas.

La radiación infrarroja es emitida por cualquier materia por encima de 0°K y está producida por el calor de dicho cuerpo. A mayor temperatura, mayor es la cantidad de energía irradiada como onda electromagnética y mayor la frecuencia a la que se emite [1]. Así pues, la longitud de onda a la que un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a su temperatura (ley de Wien).



Este tipo de onda fue descubierta por el alemán William Herschel en 1800. La descomposición de la luz mediante un prisma de cristal permite comprobar que la mayor temperatura se alcanza en las inmediaciones de la luz roja, donde no se aprecia ningún color. De ahí viene la antigua denominación "rayos calóricos".

La detección de este tipo de radiación ha dado lugar a múltiples aplicaciones tales como visión nocturna, comunicación por fibra óptica, mandos a distancia, telescopios, etc.

## 1.2. BOLÓMETROS.

Una forma de detectar la radiación IR incidente es mediante un dispositivo llamado bolómetro. Esta palabra proviene del griego "bolé" que significa rayo de luz y "metron", medida. Fue inventado por el astrónomo Samuel Pierpont Langley en 1878. La luz IR incide en un material que absorbe la energía del haz, produciéndose un calentamiento en el mismo. Este material ha de estar unido a un disipador de calor, idealmente de conductividad térmica infinita, para mejorar la sensibilidad del dispositivo. Por el contrario, el bolómetro en sí debe tener una conductividad térmica mínima para maximizar el aumento de temperatura en el elemento sensor. Por medio de distintas técnicas se puede detectar este aumento y así cuantificar la radiación recibida [2].

Un microbolómetro, a diferencia de un bolómetro estándar, opera a temperatura ambiente, mientras que otros tipos de bolómetros suelen utilizar métodos de enfriamiento complejos como líquidos criogénicos o enfriadores de ciclo Stirling.

Su integración se realiza mediante tecnología de micromecanizado de silicio. Este tipo de construcción permite obtener valores muy pequeños de conductividad térmica del elemento sensor al elemento soporte,



minimizando la pérdida de calor prácticamente al valor de pérdidas por radiación. Esta técnica está ampliamente estudiada, por lo que los resultados son de calidad y bajo coste.

Normalmente, los sensores bolométricos en microbolómetros se agrupan en vectores o matrices de sensores, dando lugar a FPAs (Focal Plane Array), vector de plano focal (Fig. 2).

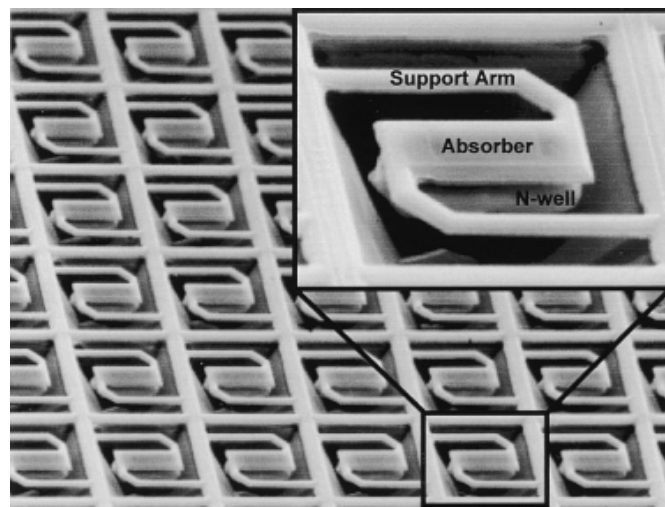


Fig. 2 FPA pozo n.

Estas características, junto al hecho de que no necesitan del troceado (chopping\*) de la radiación incidente hacen que sean aptos para su uso en aplicaciones embebidas de bajo coste.

### Aspectos constructivos.

Los diferentes microbolómetros existentes pueden estar compuestos de silicio policristalino, aleaciones amorfas de silicio y metales u óxidos metálicos. Cada tipo tiene sus propias ventajas e inconvenientes desde el punto de vista de las características térmicas y eléctricas. El óxido de vanadio tiene un alto coeficiente TCR\*, su resistencia varía mucho con la temperatura, pero su integración en obleas de silicio no es un proceso común [3]. El silicio policristalino tiene una baja conductividad térmica, mientras que los compuestos amorfos tienen una buena variación de la



resistencia con la temperatura pero les afecta más el ruido a frecuencias  $1/f$  del haz incidente [2],[3], [4].

Los procesos de fabricación de microbolómetros varían en función de cada material. A continuación se describe un proceso ilustrativo [3], [5], [6]:

- i) Disposición de un compuesto con las siguientes capas, de abajo a arriba: capa de conexionado de las distintas celdas, por ejemplo pozo n de silicio, capa de material a sacrificar, cuyo objetivo es ser removido para crear un espacio de aire que aisle térmicamente las otras dos capas, y capa de material con resistividad sensible a la radiación IR.
- ii) Deposición del elemento absorbente sobre material a sacrificar. Dependiendo del tipo de bolómetro, SiGe, Poly Si, etcétera, se utilizan distintas técnicas de deposición, tales como deposición epitaxial\*, HWCVD\*, LPCVD\*...
- iii) Micromecanizado o ataque químico para la separación de cada celda sensora.
- iv) Eliminación de la capa intermedia, material a sacrificar.

Además, el sustrato suele tener una cavidad óptica, llamada estructura de Fabry-Perot, o bien un espejo de infrarrojos, situado a  $\lambda/4$  del material absorbente [4]. Como éste es muy fino, se dispone dicha cavidad para la reflexión de la onda incidente y así maximizar la absorción de IR, Fig. 3.

Muchos diseños de microbolómetros comerciales utilizan como sustrato un pozo de silicio dopado tipo N para integrar electrónica de acondicionamiento al lado del sensor, lo que permite un diseño más compacto[5].



# DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe

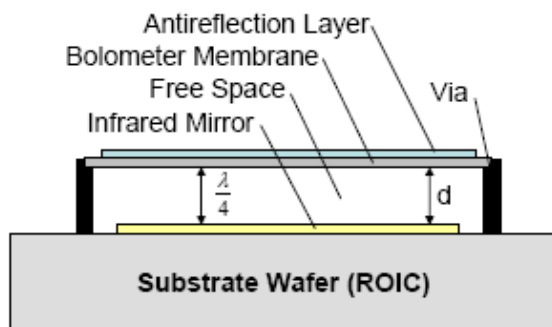


Fig. 3 Diseño de espejo IR.







## 2. OBJETIVO.

El objetivo del siguiente estudio es implementar una solución para la detección de focos de calor mediante microbolómetro.

Este trabajo se engloba en la serie de diseños de circuitos de acondicionamiento de sensores para su aplicación en redes de sensores inalámbricas que se lleva a cabo en la Universidad de Zaragoza, concretamente en el Grupo de Diseño Electrónico, perteneciente al Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A).

Características indispensables en el diseño de la solución son el bajo coste y bajo consumo de energía que estas redes han de mostrar. Además de esto se pretende desarrollar un protocolo de comunicación entre el circuito de sensado y acondicionado y el nodo de la red inalámbrica al que está conectado. Para cumplir con el último requisito se implementará una comunicación serie síncrona tipo I2C a tres hilos con jerarquía maestro-esclavo compatible con los protocolos implementados en los nodos sensores desarrollados por el grupo.

Puesto que en redes de sensores inalámbricas los nodos han de operar a baterías durante el máximo periodo de tiempo posible, los elementos electrónicos deben permitir su desconexión o entrada en modo de bajo consumo.

Ligado al concepto anterior de eficiencia energética, es conveniente que el módulo diseñado cuente con cierta capacidad de procesamiento de la señal del transductor para aliviar la carga computacional del nodo wireless sobre el que se instalará.

Tras la realización del diseño se ha de caracterizar el comportamiento del sistema para verificar la validez del mismo y valorar los resultados obtenidos.





### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA.

El sistema que se propone para la implementación de un detector de IR en la red de sensores inalámbrica se muestra en la Fig. 4. La parte dentro del cuadro es la que se trata en este trabajo, además de la comunicación con el nodo sensor. A continuación se describe cada bloque razonando el diseño elegido.

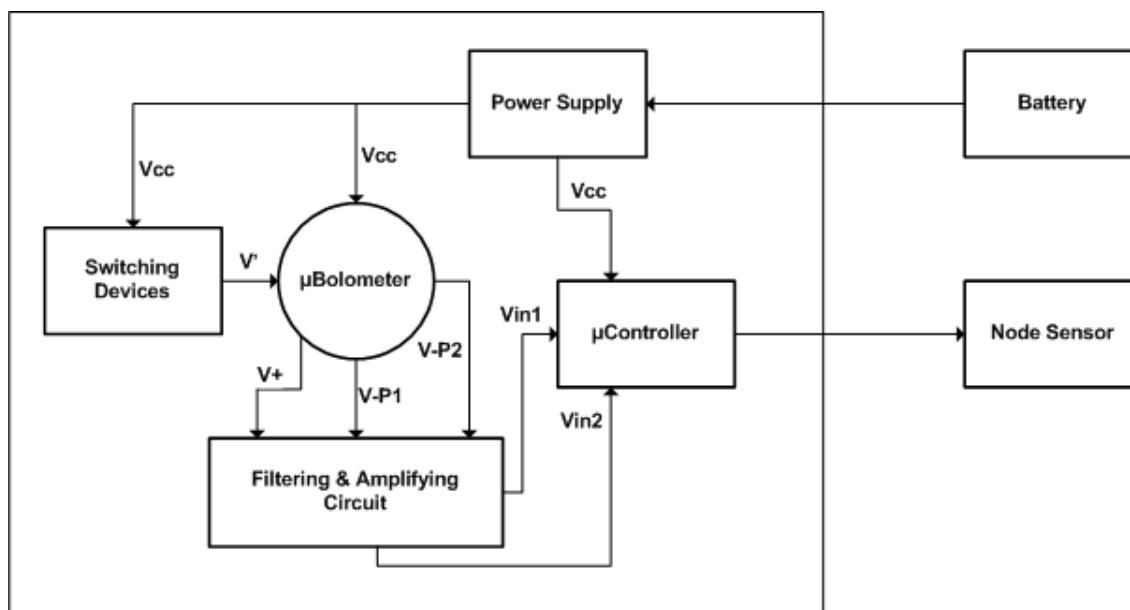


Fig. 4 Diagrama de Bloques del Sistema.

#### 3.1. DISPOSITIVO SENSOR (MICROBOLÓMETRO).

El bolómetro en el que se va a trabajar ha sido fabricado en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE), situado en Puebla, México. Está constituido por un vector en una dimensión de 32 píxeles de SiGe amorfo hidrogenado, dopado con boro ( $\alpha$ -SiGe:H,B). El aspecto del dispositivo se muestra en la Fig. 5.

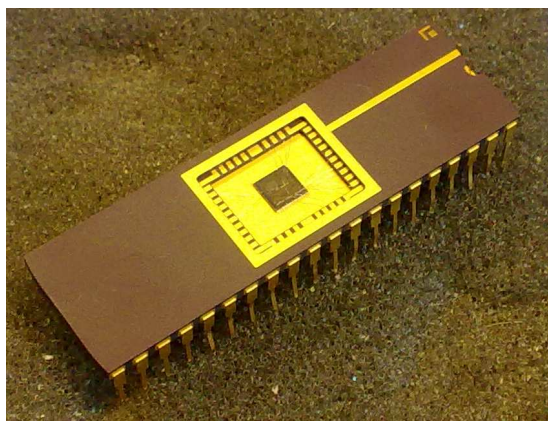


Fig. 5. Microbolómetro Empleado.

Ciertas celdas del bolómetro no se encuentran operativas, tal y como se muestra en el esquemático (Fig. 6), facilitado por el INAOE.

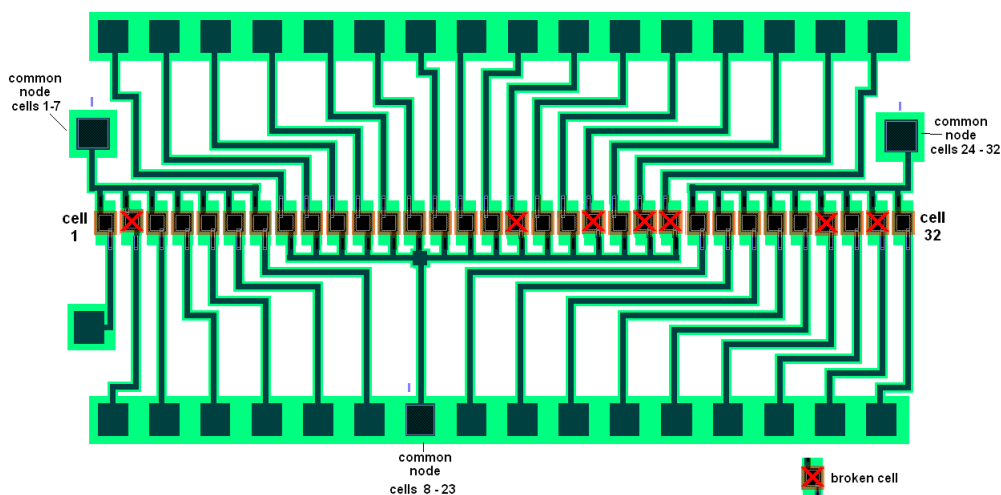


Fig. 6. Celdas del microbolómetro.

Tras una comprobación midiendo resistencias mediante un multímetro se estimaron como celdas en buen estado:



CELDA	PIN	RESISTENCIA
1	1	3.59 MΩ
7	8	3.96 MΩ
8	39	2.99 MΩ
9	38	3.25 MΩ
10	37	5.33 MΩ
13	34	2.85 MΩ
18	29	1.83 MΩ
19	28	1.92 MΩ
20	25	1.82 MΩ
21	26	1.81 MΩ
22	27	1.49 MΩ
23	28	1.65 MΩ

Tabla I. Celdas disponibles del bolómetro.

También fue facilitada información relativa a la resistencia que mostraban dichas celdas y su capacidad de respuesta (*responsivity*) (Figs. 7, 8 y 9), característica fundamental en este tipo de dispositivo que indica la señal generada por unidad de potencia incidente [2]. Ésta depende de características constructivas de acuerdo con:

$$\mathfrak{R} = \frac{|\alpha|\eta VR_b R_L}{G(R_b + R_b + R_b)^2 \sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 \tau^2}} \quad (1)$$

Donde:

- $\mathfrak{R}$  capacidad de respuesta;
- $\alpha$  TCR definido como  $(1/R_b)(dR_b/dT)$ ;
- $\tau$  constante térmica del bolómetro dada por  $C/G$ ;
- $\eta$  capacidad de emisión del bolómetro;
- $C$  capacidad térmica del bolómetro;
- $R_b$  resistencia del bolómetro;
- $R_L$  carga en la rama del bolómetro;
- $R_S$  resistencia serie de los conductores;
- $f$  frecuencia de modulación de la señal;
- $G$  conductividad térmica.

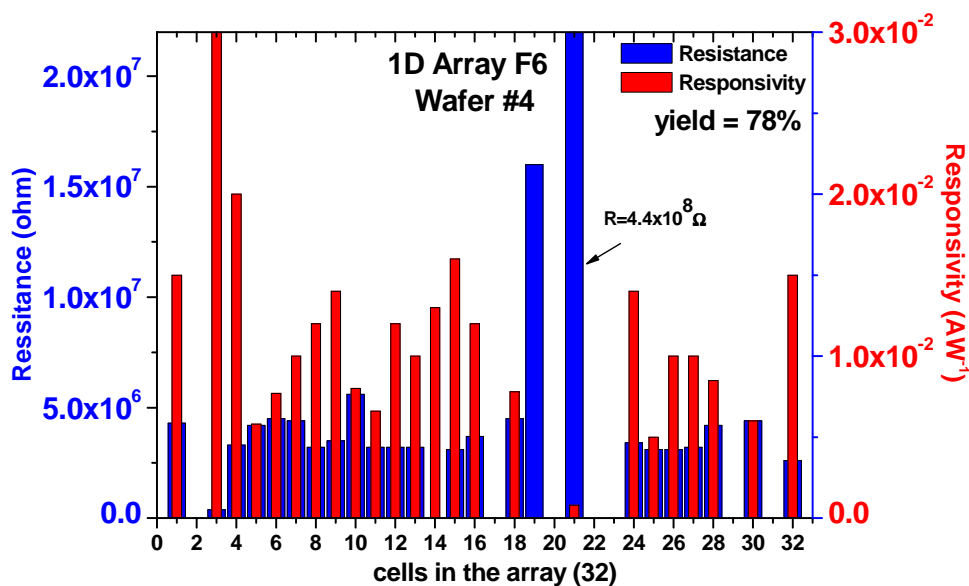


Fig. 7. Resistencia y capacidad de respuesta por píxel.

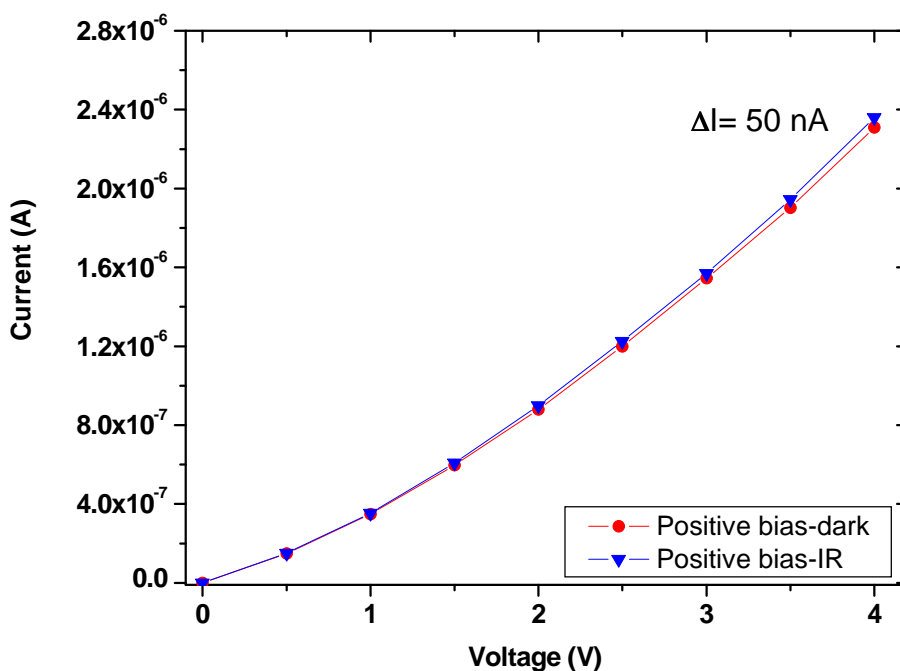


Fig. 8. Respuesta típica (I/V) del bolómetro en oscuridad (rojo) y frente a una fuente de IR (azul).

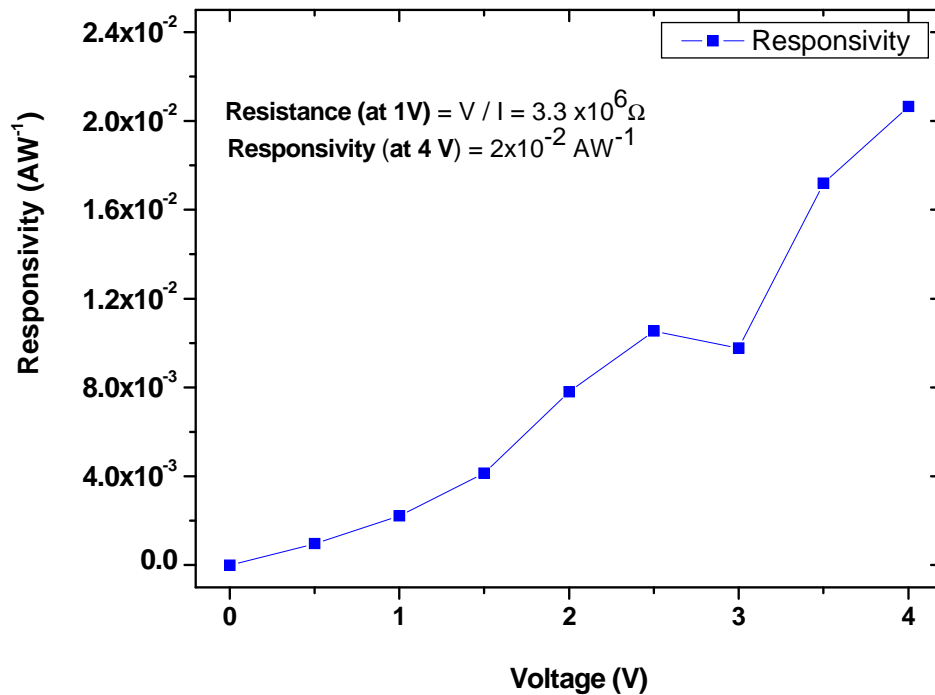


Fig. 9. Capacidad de respuesta del bolómetro.

El bolómetro cuenta con una ventana de ZnSe para filtrar la radiación incidente, permitiendo pasar tan sólo los rayos IR. Tiene una transmisión típica del 70% en el rango de longitudes de onda entre 0.6-2µm (Fig. 10).

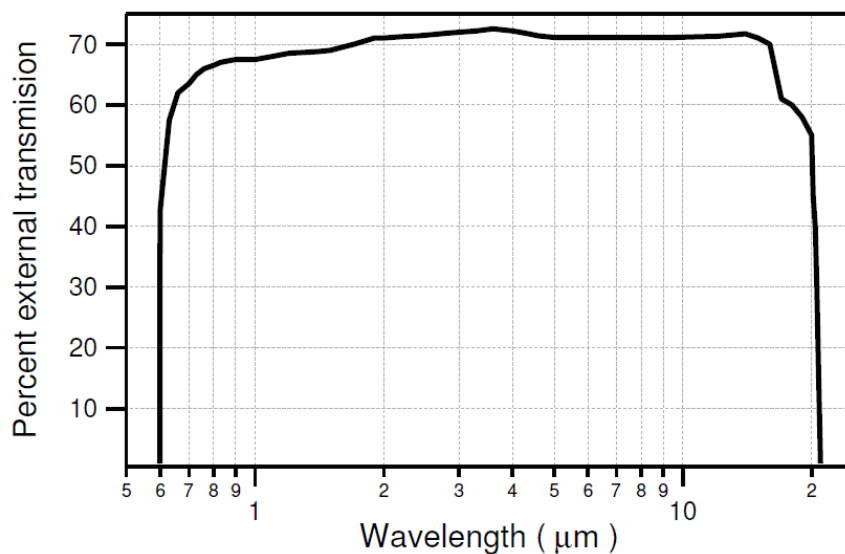


Fig. 10. Transmisión de la pantalla ZnSe.





### Acondicionado del sensor.

Dadas las características del sensor, y de acuerdo con publicaciones anteriores sobre dispositivos similares [4], se optó por la configuración de puente de Wheatstone\* con un elemento sensor en cada rama. De este modo se obtiene una sensibilidad superior al de cada píxel por separado.

Como se puede apreciar en la Fig. 6, las celdas unitarias están unidas en su punto de retorno de corriente. Por este hecho, aquellas ramas que tienen la célula sensora a la tierra del sistema no presentan mayor inconveniente. Sin embargo, la alimentación que va a celdas con cátodo común se debe conmutar para evitar falsear la medida con el paralelo de esos dos píxeles. Éste sistema viene descrito en el apartado 3.3. En la Fig. 11 se muestra el circuito de medida implementado. Durante la caracterización quedan constituidos dos puentes, formados respectivamente por los siguientes elementos resistivos:

Puente 1: (*cell1*, *R1+Pot1*, *R3*, *cell3*)

Puente 2: (*cell2*, *R1+Pot1*, *R4*, *cell4*)

Las señales para seleccionar uno u otro puente se dan a través de microcontrolador, controlando las líneas de base de los transistores *Q1* y *Q2* y *shutdown* de los amplificadores de instrumentación.

Se añaden condensadores entre la señal a medir y GND para reducir el ruido de alta frecuencia y mejorar así el comportamiento en continua del sistema.

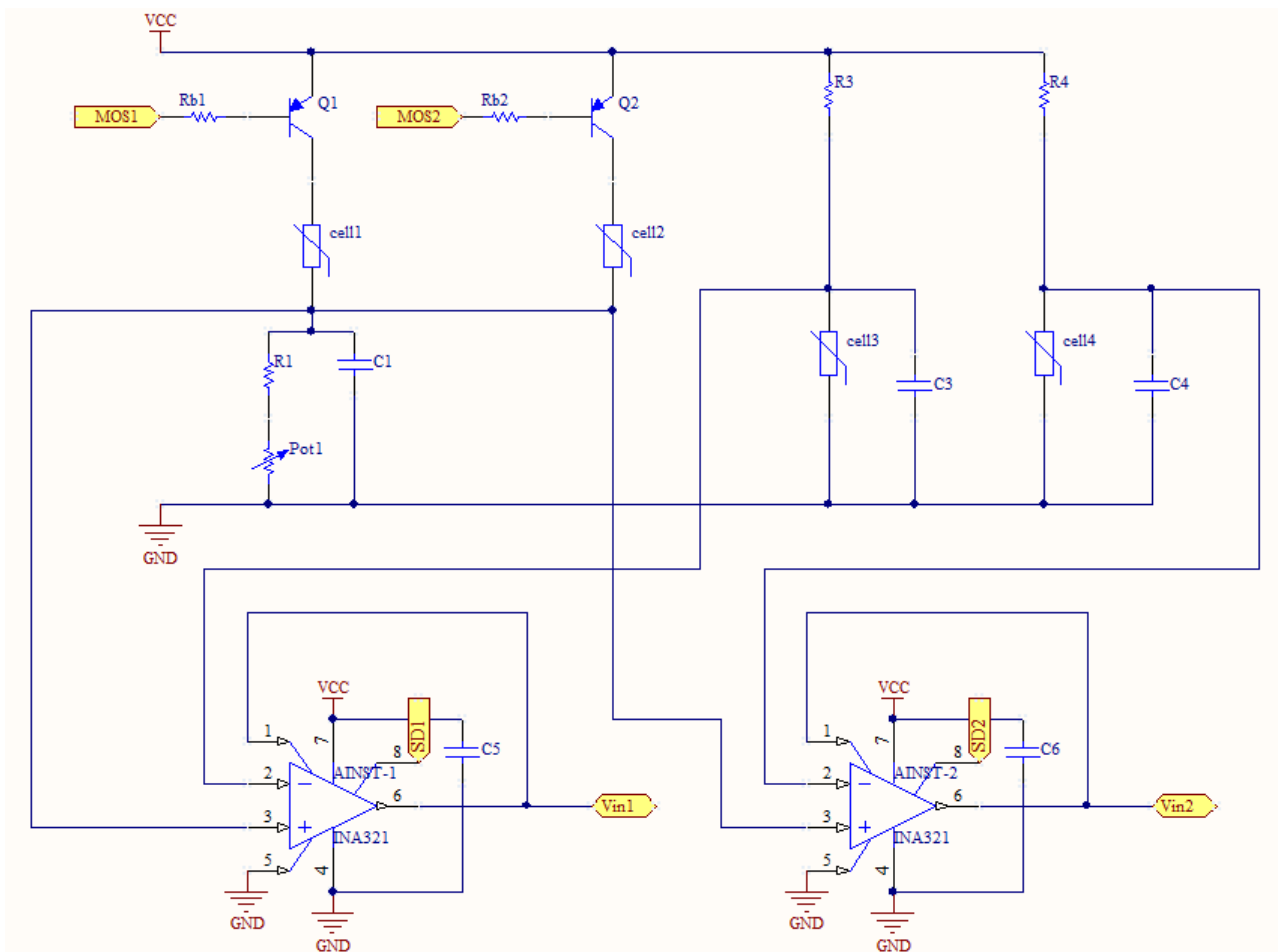


Fig. 11. Circuito de medida del bolómetro.



### 3.2. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

La alimentación del circuito viene impuesta por la configuración de los nodos de la red inalámbrica y ha de ser a tres voltios. El bajo voltaje de alimentación disminuye considerablemente el consumo del sistema. En primera instancia no se ha incluido ningún regulador de tensión a la entrada del circuito pues para la caracterización del sistema se emplea una fuente de alimentación externa.

La mínima tensión de alimentación de los AOs de instrumentación es de 2.7V y la del micro de 1.8V. La posibilidad de reducir la tensión de alimentación queda limitada por la variación de sensibilidad del bolómetro a la corriente de polarización. Esto supondría modificar el software del dispositivo de control en función de la alimentación para la correcta detección del foco de calor. Para que esta tensión sea estable podría usarse un regulador de tensión de 3V, con pequeña tensión de dropout como el TPS73030, a la entrada del circuito.

La rutina de funcionamiento permite una desconexión de los amplificadores y entrada en bajo consumo del micro.

En la Fig. 12 se muestra el pico de corriente consumida por el microcontrolador durante la toma de medidas por el ADC. El tiempo corresponde a cinco medidas y el cálculo de su media.

A continuación se detallan los consumos más significantes:

ELEMENTO	$I_{ON}$	$I_{STANDBY}$
INA 321 - AO INSTRUMENTACIÓN	40 $\mu A$	1 $\mu A$
RS08KA8 - $\mu C$	4.2 mA	2 $\mu A$
PUENTE 1	$\approx 5 \mu A$	$\approx 1 \mu A$
PUENTE 2	$\approx 5 \mu A$	$\approx 1 \mu A$
<b>TOTAL</b>	<b>2.45 mA</b>	<b>5 <math>\mu A</math></b>

Tabla II. Consumos estimados.

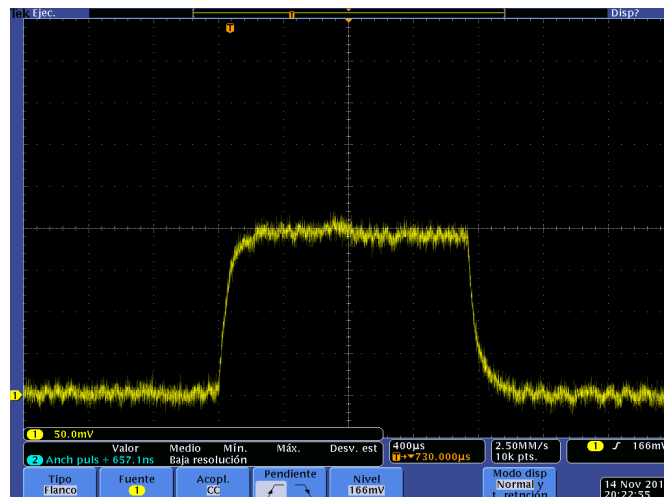


Fig. 12. Pico de corriente consumida por el  $\mu C$ .

El consumo del AO de instrumentación se muestra en el datasheet (ANEXO 1), y proviene de su corriente de polarización.

El consumo del puente se ha calculado en orden a lo siguiente:

$$I_{\text{PUENTE}} = I_{\text{bPNP}} + I_{\text{RAMA1}} + I_{\text{RAMA2}} = 3.7 \mu\text{A} + 1 \mu\text{A} + 1 \mu\text{A} \approx 5 \mu\text{A}$$

Nótese la alta corriente de base para la saturación profunda del transistor en condiciones poco favorables, es decir, cuando el bolómetro esté recibiendo poca radiación y por lo tanto la resistencia de la rama es alta. Pese a esas condiciones la tensión  $V_{\text{ec}} \approx 10\text{mV}$ , dejando el 99.67% de tensión para el sensado de señal.

La corriente total en estado ON se ha obtenido mediante un osciloscopio (Tektronix DPO4104), (Fig. 12) pues su duración es de tan solo 1.6 ms. Por el contrario, la corriente total en estado OFF se ha obtenido del multímetro digital Keithley de 7 1/2 dígitos, pues es una corriente demasiado pequeña para la lectura en osciloscopio pero se mantiene durante un largo periodo. A partir de los valores de corriente total y los datos de los datasheet se obtienen los consumos de los componentes.

El consumo durante el establecimiento de señal en los AOs (Figs. 13, 14, 15, 16) es de 120  $\mu\text{A}$  para el primer puente y de 130  $\mu\text{A}$  para el segundo.

En la descripción de consumos no tiene en cuenta el LED que ha sido incluido en el diseño por cuestiones únicamente de desarrollo.



### 3.3. ELEMENTOS DE CONMUTACIÓN.

La configuración propuesta tiene dos ramas fijas y dos ramas conmutables. Éstas últimas están formadas por las celdas unidas a la alimentación, que no actúan simultáneamente por estar unidas en su terminal de retorno de corriente. De este modo se pueden lograr hasta 4 configuraciones de puente distintas, de las cuales se usan dos para la caracterización del sistema.

Para lograr este objetivo se optó entre tres opciones: conmutación mediante mosfet, mediante conmutadores integrados y mediante transistor bipolar. De optar por conmutadores integrados tipo ADG719 se podría utilizar tan sólo un amplificador operacional. Esta solución es más la más cara y por tanto se desecha.

Debido a cuestiones de disponibilidad se optó por transistores PNP tipo BC557. Pueden verse integrados en la Fig. 20, componentes de encapsulado TO-92 situados en la parte superior.

A continuación se muestran las capturas de las señales de conmutación del sistema: baja señal de salida en puente 1, asociada a pequeña radiación incidente en el bolómetro (Fig. 13), en puente 2 (Fig. 14) y señal elevada de salida, asociada a alta radiación IR recibida por el microbolómetro, en p1 (Fig. 15) y p2 (Fig. 16).

Señales:

Vo1 salida del amplificador de instrumentación 1.

Vo2 salida del amplificador de instrumentación 2.

Q2 tensión de control del T. PNP 2.

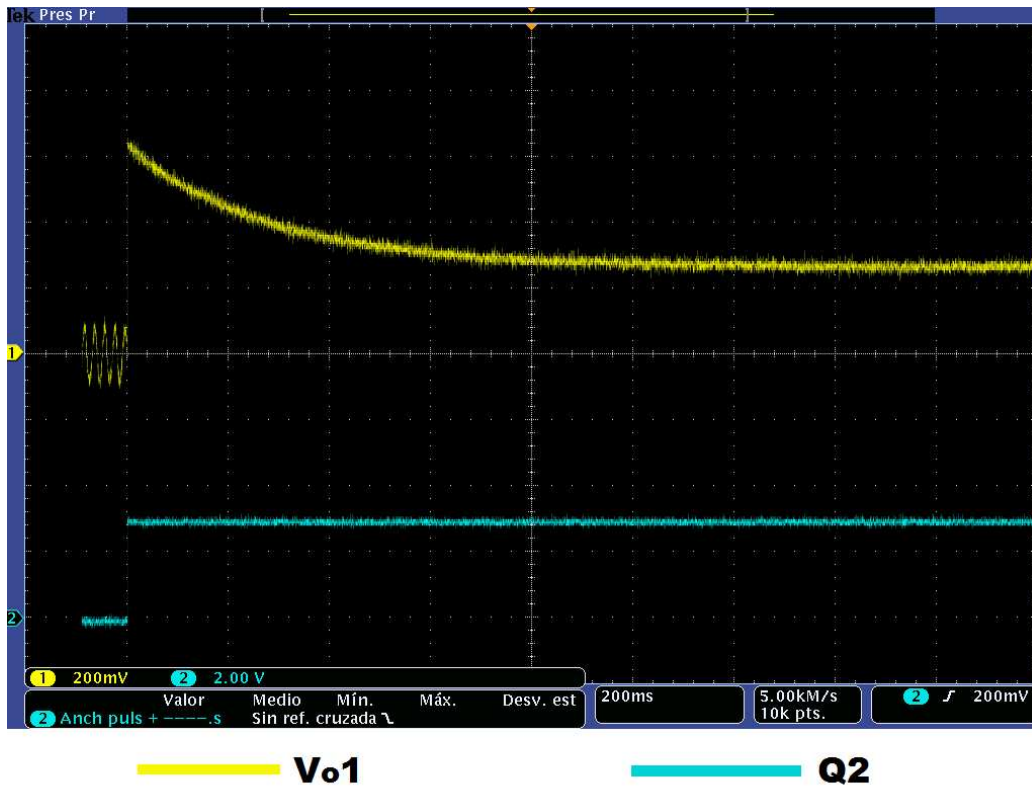


Fig. 13. Establecimiento baja señal P1.

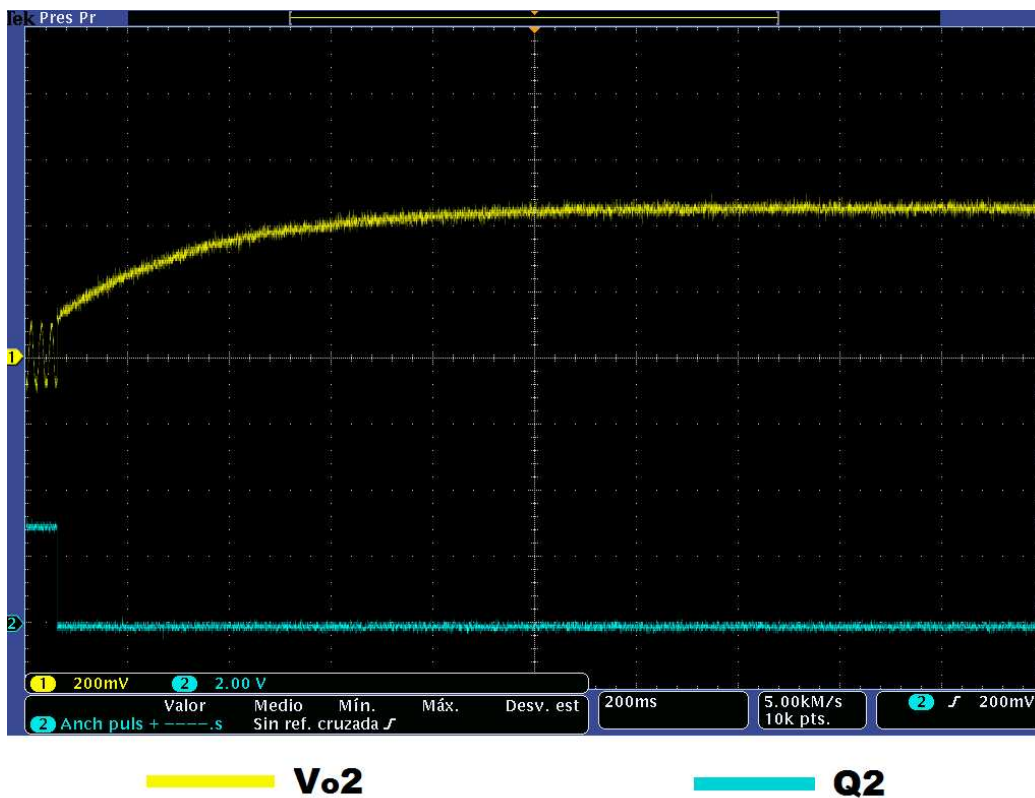


Fig.14. Establecimiento baja señal P2.

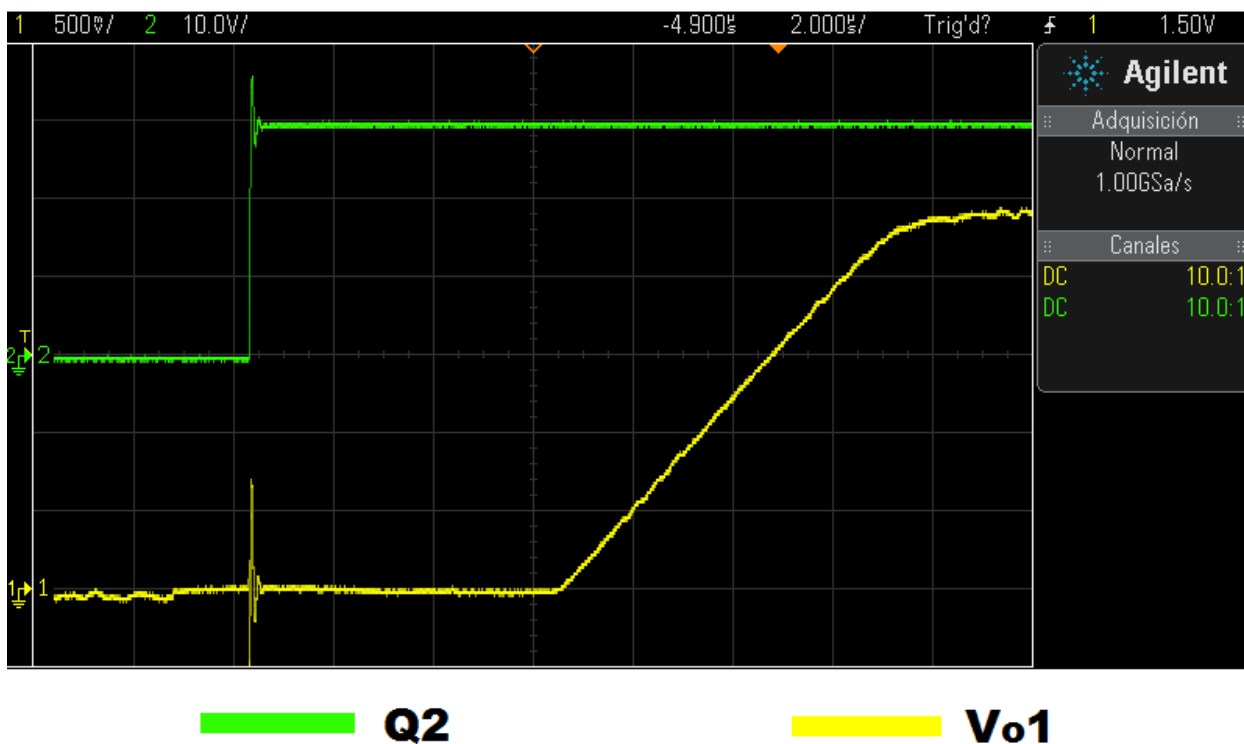


Fig. 15. Establecimiento señal elevada P1.

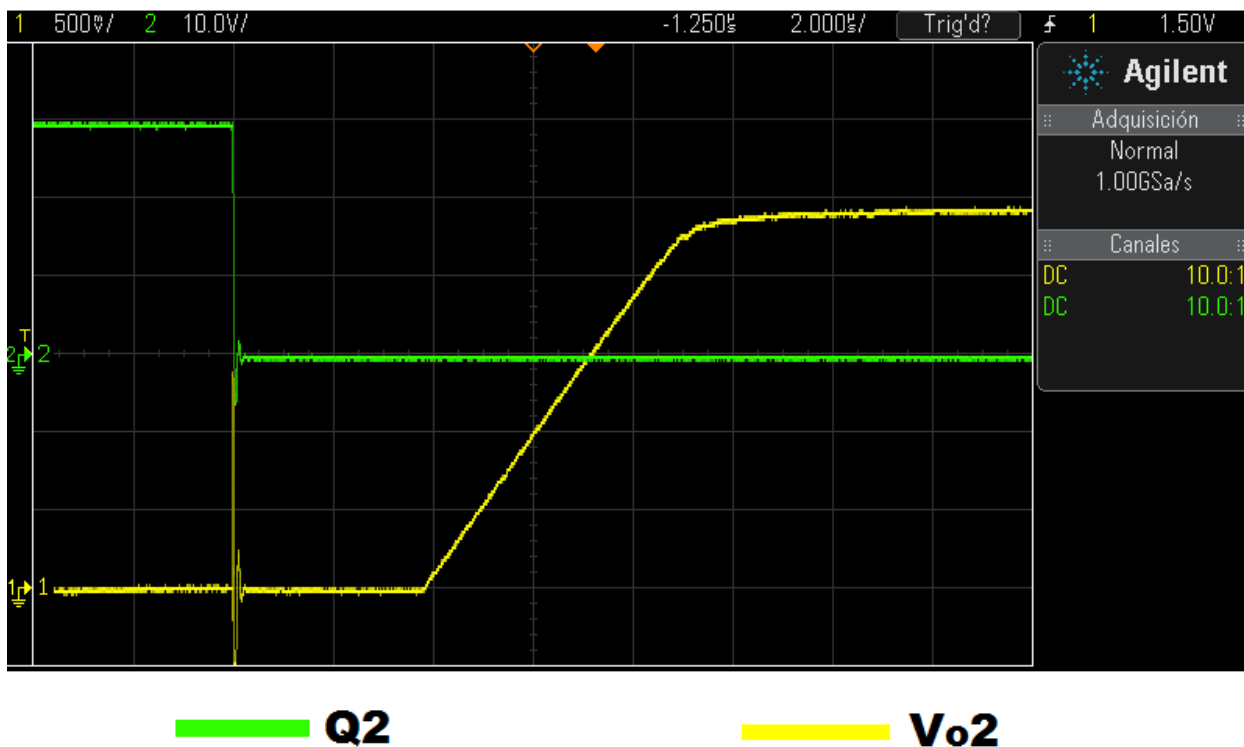


Fig. 16. Establecimiento señal elevada P2.



De estas gráficas obtenemos información relevante acerca de los tiempos de establecimiento de señal que se han de respetar en el sistema de adquisición de datos, en este caso el ADC del microcontrolador.

La restricción queda impuesta por el tiempo de aproximadamente un segundo de establecimiento de la señal cuando ésta es de baja magnitud.

### 3.4. AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTACIÓN.

Para la amplificación de la señal obtenida del bolómetro se optó por utilizar amplificadores operacionales de instrumentación alimentados por fuente única de bajo consumo y bajo coste.

El dispositivo seleccionado es el INA321 de Texas Instruments, que dispone de una línea de habilitación y operación rail-to-rail. Puede verse integrado en la Fig. 21, siendo los dos integrados más pequeños situados en el centro. Puesto que la entrada diferencial tiene un valor máximo en las medidas realizadas de 500mV se ha elegido un valor de ganancia en modo diferencial ( $A_d$ ) de 5.

El AO tiene un buen rechazo en modo común, 94 dB. Esta característica hace que la amplificación de la suma de tensiones en las entradas diferenciales sea prácticamente nula. Este error, es despreciable frente a la resolución del ADC ( $\approx 3\text{mV}$ ):

$$94\text{dB} = 20 \log \left( \frac{A_d}{A_{cm}} \right); \quad A_d = 5; \quad \Rightarrow A_{cm} \approx 100 * 10^{-6}; \quad (2)$$

$$\epsilon_{cm} = \frac{1}{2}(V_+ + V_-)A_{cm}; \quad V_+ = V_- = 3\text{V}; \quad \Rightarrow \epsilon_{cm} = 300\mu\text{V} \quad (3)$$

Nótese en (3) que se ha elegido el peor de los casos,  $V_+ = V_- = 3\text{V}$ .

El datasheet de los AOs de instrumentación se adjunta en el Anexo 1.





### 3.5. MICROCONTROLADOR.

El microcontrolador utilizado para esta aplicación es un MC9RS08KA8, un procesador de bajo coste de 8 bits de Freescale. El micro está preparado para trabajar entre 1.8V y 5V. Puede verse montando en la PCB en la Fig. 21, siendo el integrado más grande a la izquierda.

Puede entrar en modo parada, ahorrando energía, hasta que el nodo inalámbrico que actúa de máster lo despierta para pedir información.

#### Generalidades.

Los recursos utilizados del micro son:

- Dos entradas al conversor analógico-digital ( $V_{in1}$ ,  $V_{in2}$ ).
- Cinco salidas digitales ( $MOS1$ ,  $MOS2$ ,  $SD1$ ,  $SD2$ ,  $LED$ ).
- Alimentación y masa ( $V_{cc}$ ,  $GND$ ).
- Pin de reset ( $Reset$ ).
- Pin programación ( $BKGD$ ).
- Dos fuentes de interrupción ( $KBI^*$ ,  $RTI^*$ ).
- Comunicación serie a tres hilos ( $SCL$ ,  $SDA_{RX}$ ,  $SDA_{TX}$ ).

La denominación entre paréntesis es el nombre de la señal utilizada en el esquemático de la PCB (Anexo 3).

El micro opera a 10MHz con una alimentación de 3V.

La resolución del ADC es de 10 bits, así que el sistema distingue entre valores de tensión que disten:

$$\frac{3V}{2^{10} - 1} = 2.9326mV \quad (4)$$

#### Comunicación con el nodo sensor.

La interfaz desarrollada incorpora un protocolo de comunicaciones basado en el estándar I2C a tres hilos que permite conectarlo al microcontrolador maestro, situado en el nodo sensor y que es responsable de la gestión de todos los recursos del nodo y de la coordinación de las lecturas de los sensores incluidos.



El cronograma de las comunicaciones interfaz microcontrolador maestro es el siguiente:

- 1) Un flanco descendente en la señal de reloj (SCL) hace que el micro entre en la rutina de interrupción KBI de comunicación serie.
- 2) Se manda ACK\* que informa al maestro que el micro ha despertado.
- 3) Se reciben 8 bits: los 7 primeros son la dirección y el último indica si la operación va a ser de lectura o escritura.
- 4) ACK de fin de lectura de dirección + bit R/W.
- 5) Si es nuestra dirección leemos la dirección de memoria que se leerá/escribirá.
- 6) ACK dirección de memoria recibida.
- 7) Se lee o escribe el byte de información. Si el proceso es de lectura se dará ACK al maestro, si es de escritura se esperará recibirlo.

### Software.

El diagrama de flujo de la toma de medidas se muestra en la Fig. 17. El código se adjunta en el Anexo 4.

### Operaciones del microcontrolador.

Las diferentes operaciones que realiza el microcontrolador del interfaz desarrollado se pueden dividir en los siguientes periodos operativos:

- Establecimiento de tensión.
- Lectura puente 1.
- Lectura puente 2.
- Periodo inactivo.

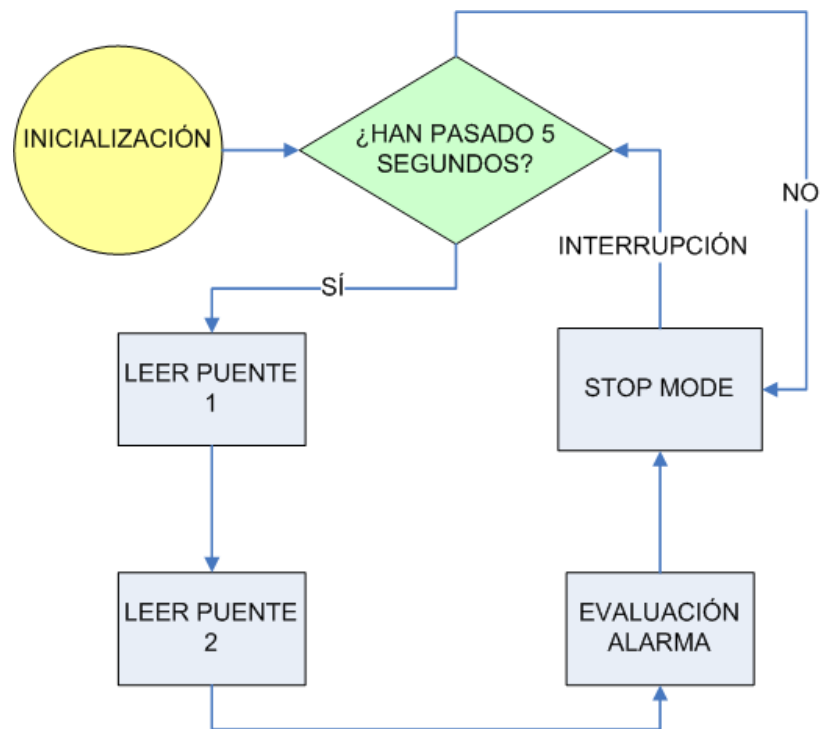


Fig. 17. Diagrama de flujo del  $\mu$ C.

### Determinación de estado de la alarma.

El bolómetro va acumulando energía recibida por los rayos infrarrojos para aumentar la temperatura del conductor. Realiza por lo tanto una integración de la potencia recibida. Se puede detectar fuentes de calor a partir de este fenómeno mediante un sistema de alarma que genere una señal binaria indicando la presencia del foco de energía. Para el cálculo de esta alarma se tendrá en cuenta tanto la energía recibida, magnitud que guarda relación con el máximo voltaje de la salida de los AOs, como la potencia del emisor, magnitud que tiene que ver con la incremental de tensión en la salida.

Para ello, a partir de las medidas tomadas, explicadas en el capítulo "4. Resultados" se calculará la variación de tensión y el valor máximo de ésta para caracterizar el comportamiento del sensor.

### Método de programación.

Para programar el micro se utiliza la placa DEMO9RS08KA8, conectada por USB a un PC (Fig. 18).

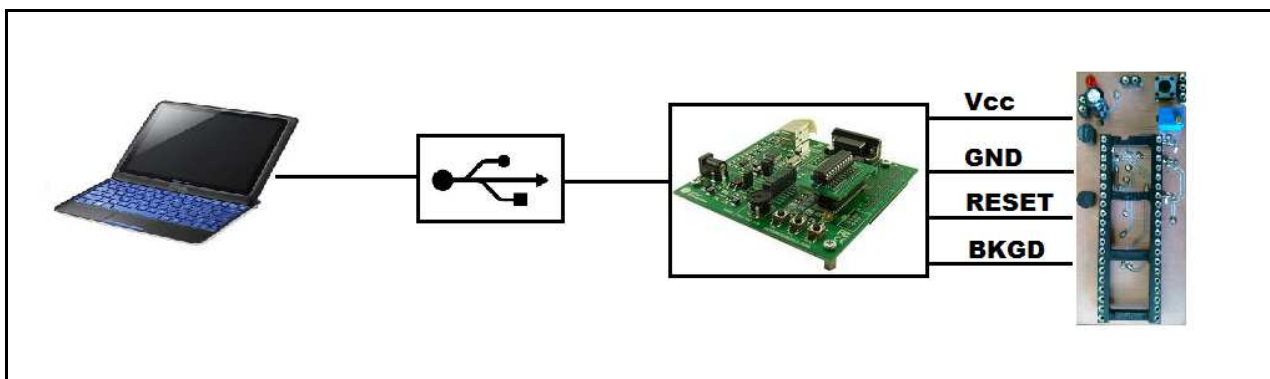


Fig. 18. Programación del  $\mu\text{C}$ .

En la PCB existe un conector de tres pines (*BKGD*, *RESET*, *GND*), requeridos para el modo *active background*, modo de programación/debug del micro. A través de este puerto se sacan tres cables que van a los pines en la placa DEMO disponibles para la programación de microcontroladores de encapsulado DIP. También se requiere conectar el pin  $V_{DD}$  (Fig. 19.)

Una vez realizadas las conexiones físicas, basta tener un proyecto adecuado al micro en Codewarrior y transferirlo desde dicho software. El modo de depurado está disponible, de modo que se puede ejecutar programas paso a paso, inspeccionar registros, etc.

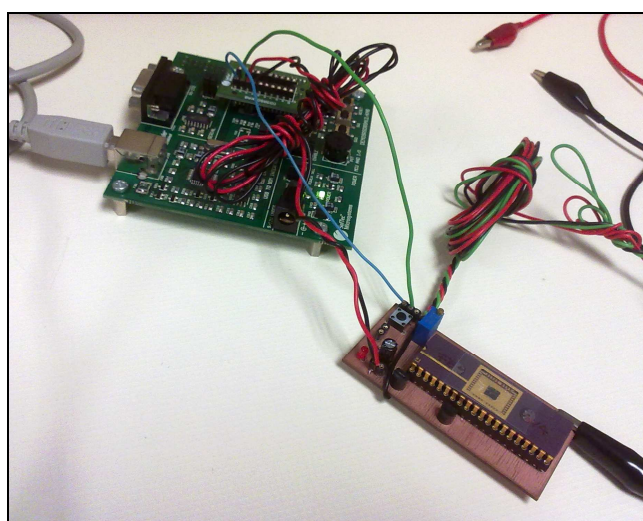


Fig. 19. Programación con placa DEMO-RS08.



### 3.6. PCB.

En base a las descripciones previas se realizó una placa de circuito impreso para la integración del sistema y toma de medidas de una manera rápida y fiable. Para realizar la PCB se empleó Altium Designer 9. La PCB tiene unas dimensiones de 33 x 72 mm. Está hecha a doble cara y funciona con alimentación simple. Soldadura por método tradicional. La Tabla I muestra los componentes de los que consta la PCB.

Componente	Footprint	Descripción	Cantidad
AINS1, AINS2	MSOP-MS8_L	Amplificador instrumentación	2
C1...C7	0603	Condensador cerámico SMD	7
LED1	LED-1	LED rojo GaAs	1
Microbolometer	PDIP40	Microbolómetro SiGe	1
P1	HDR1X2	Conector alimentación	1
P2	HDR1X3	Conector ICSP	1
P3	HDR1X2	Conector alarma	1
R4	Trimmer	Potenciómetro 2M $\Omega$	1
MOS1,MOS2	SOT95P240-3N	PNP Bipolar Transistor	2
R1, R2, R3, R5, Rb1, Rb2	0603	Resistencia SMD	6
S1	Mini_Switch	DIP Switch, 2 Position, SPST	1
RS08KA8	WSOIC16_M	8-Bit Microcontroller	1

Tabla III. Relación de componentes

#### Posibles mejoras.

Una vez realizado y testeado el diseño se consideran oportunas ciertas modificaciones que podrían mejorar el uso de la tarjeta:

- Añadir puntos de test para las salidas de los AOs de instrumentación. Valorar otros posibles puntos de test.
- Incorporar un regulador de tensión de 3V como el mencionado en el apartado 3.2.
- Hacer un único conector a partir de los de alimentación y programación.
- Eliminar pistas que unen señales de salida del puente con el micro.
- Añadir conector para comunicación serie con el nodo inalámbrico.





# DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe



Fotos de la PCB una vez montados los elementos.

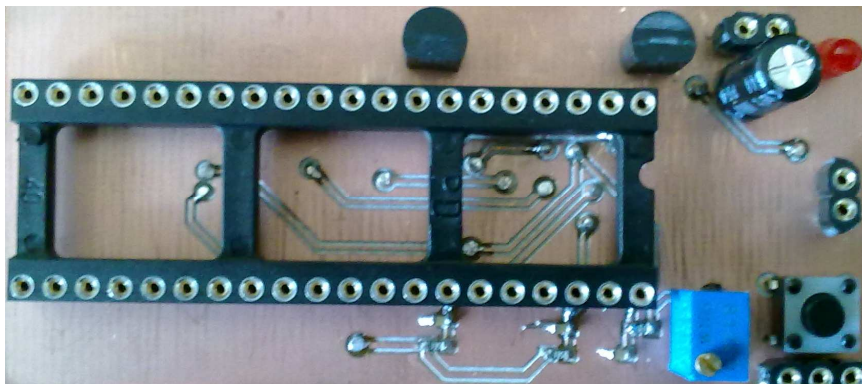


Fig. 20. PCB cara TOP.

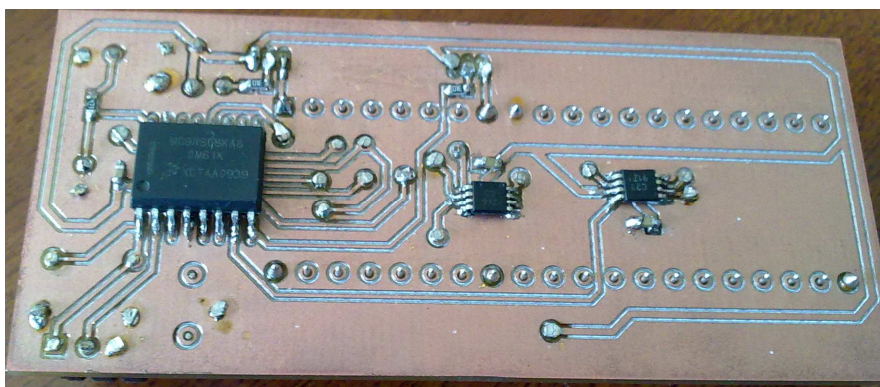


Fig. 21. PCB cara BOTTOM.

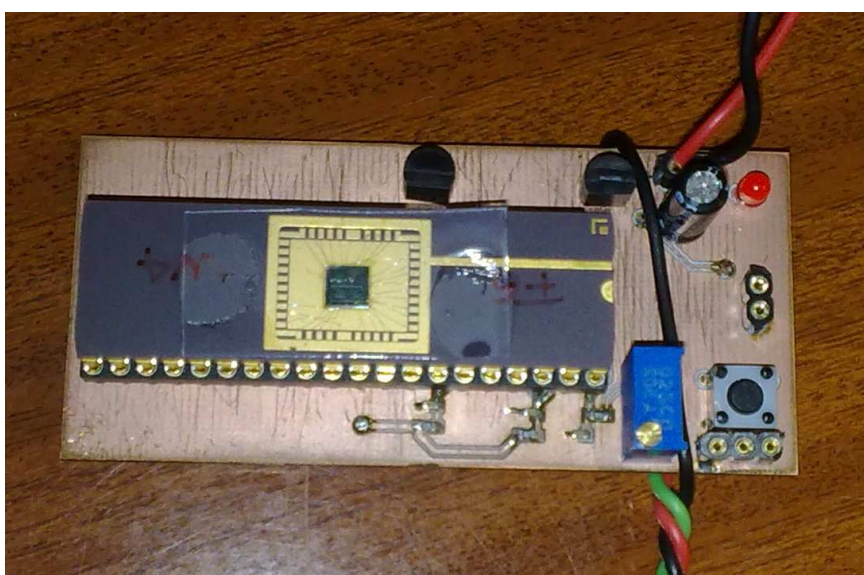


Fig. 22. PCB cara TOP con bolómetro.



## 4. RESULTADOS OBTENIDOS.

### 4.1. SISTEMA DE MEDICIÓN.

Para la medida de la tensión de salida se emplean los siguientes elementos:

- Sistema de regulación de potencia basado en triac.
- Lámpara de infrarrojos de 250W.
- Microbolómetro integrado con interfaz.
- Multímetro digital 7½ dígitos Keithley 2010.
- Conversor GPIB-USB National Instruments.
- Computador con Matlab.

La Fig. 23 muestra la relación de elementos del sistema:

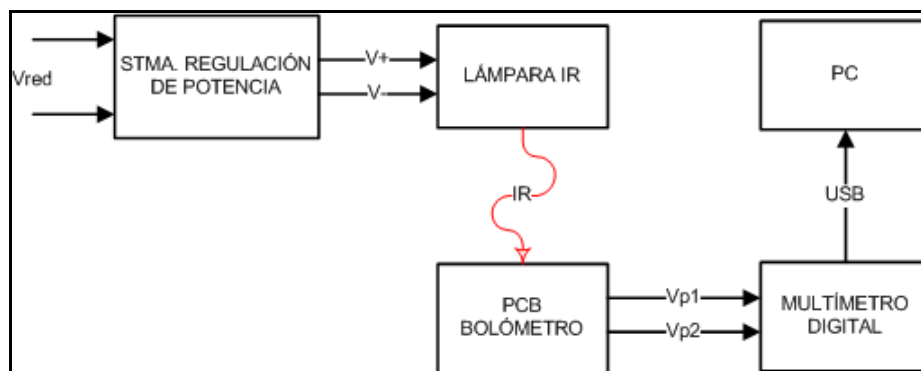


Fig. 23. Sistema de medida.

### 4.2. CONTROL DE POTENCIA.

La obtención de medidas en el bolómetro implica tener un sistema que sea capaz de emitir distintos valores de intensidad de IR. El emisor elegido es una lámpara de infrarrojos de 250W (Fig. 29). Su datasheet puede ser encontrado en el ANEXO 4. Su potencia será regulada en cuatro niveles por un sistema basado en triac. En la Fig. 24 se muestra el esquema del circuito implementado para tal finalidad.

En las figuras 25, 26, 27 y 28 se muestran las señales de control del micro y la onda de red rectificadas en media onda en el punto de unión de  $R3$ ,  $R4$  Y *Diodo* (Fig. 24).



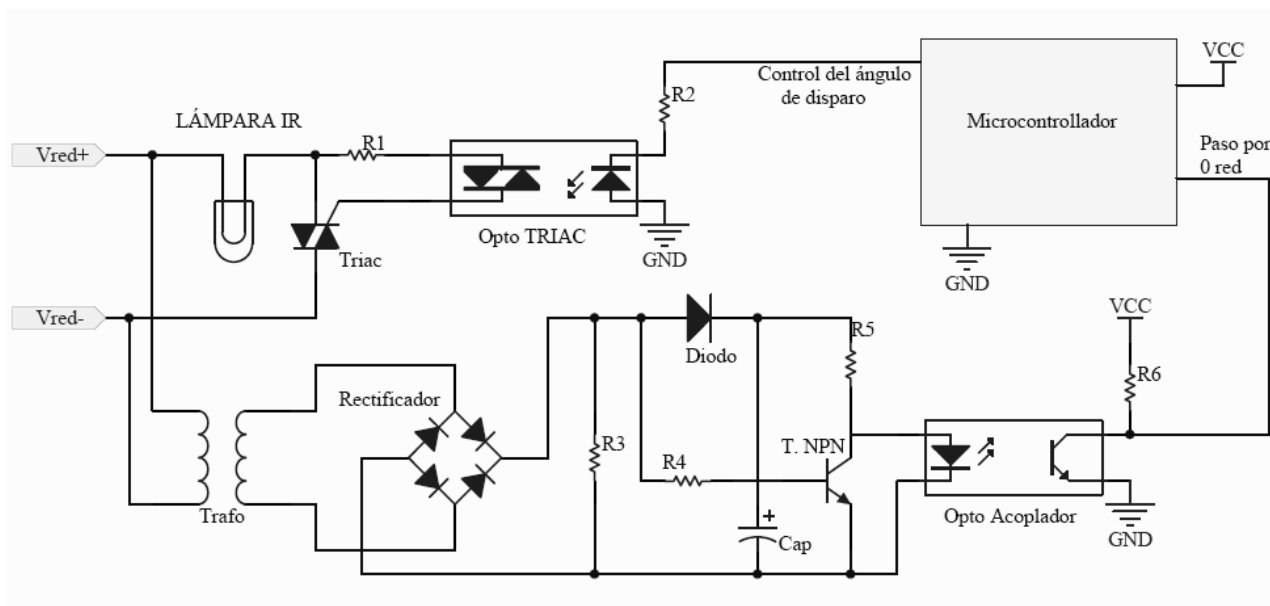


Fig. 24. Circuito de regulación de potencia para foco IR.

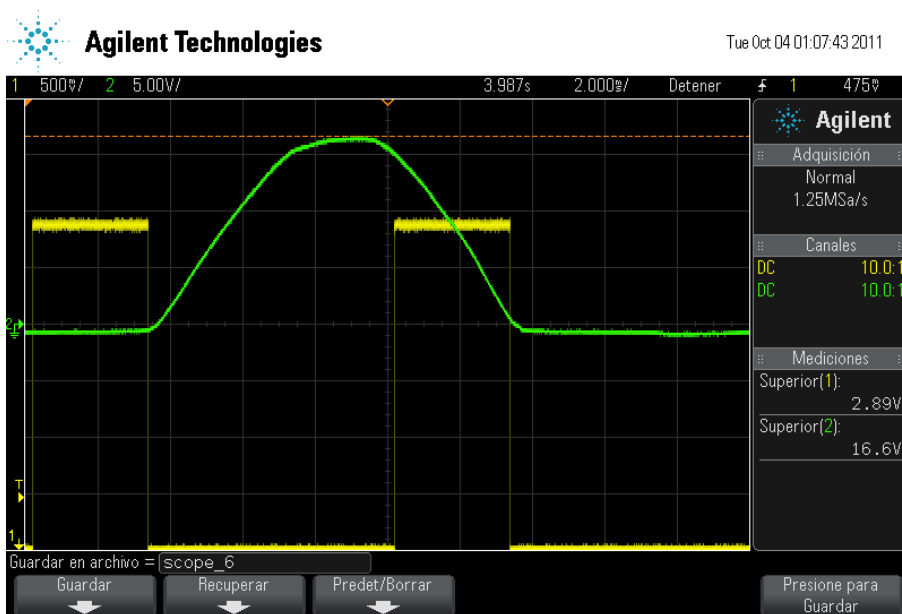


Fig. 25. Tensión de control  $\alpha=120^\circ$

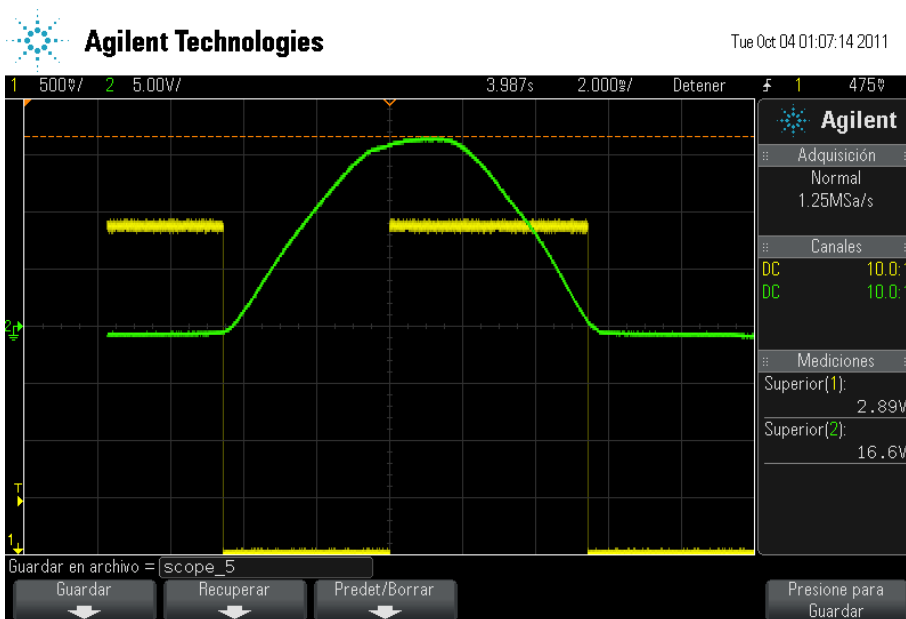


Fig. 26. Tensión de control  $\alpha=80^\circ$

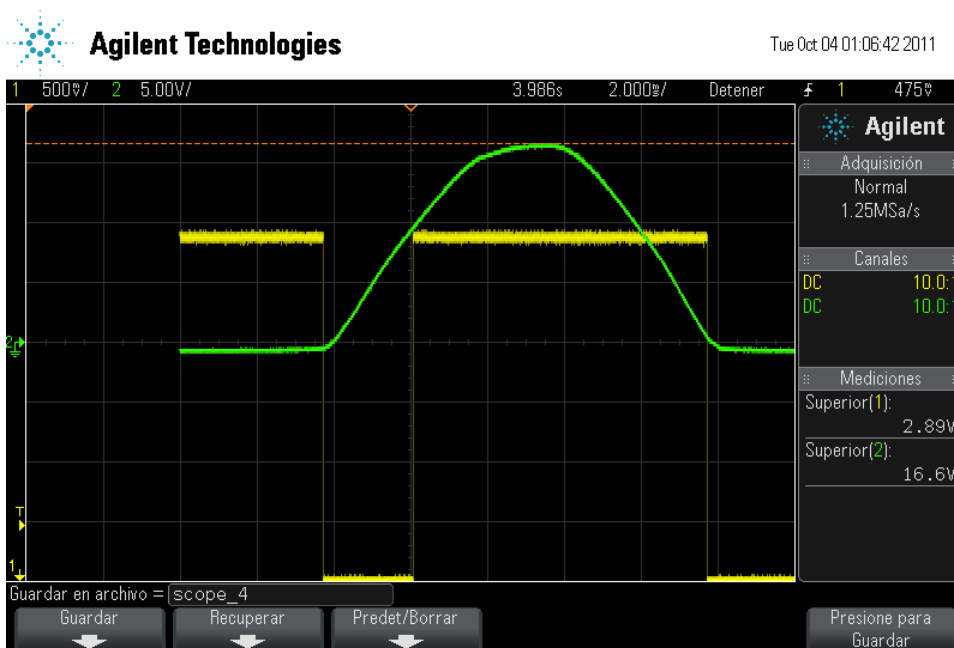


Fig. 27. Tensión de control  $\alpha=120^\circ$

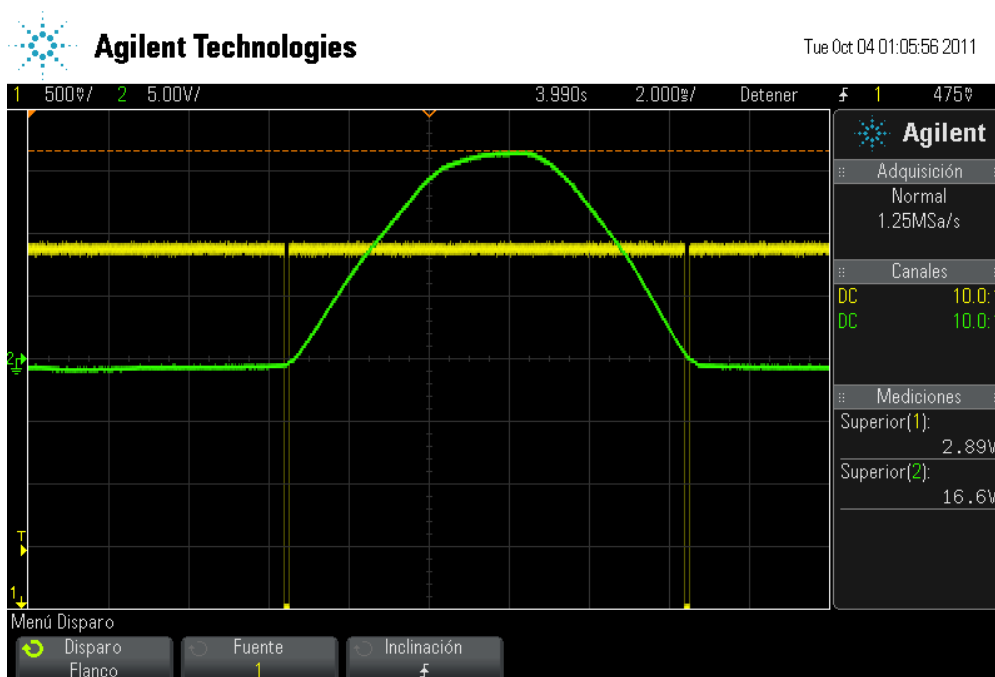


Fig. 28. Tensión de control  $\alpha=180^\circ$

### 4.3. LÁMPARA IR.

Para emitir radiación infrarroja se usa una lámpara IR Philips modelo R125. Este tipo de lámparas convierte más del 90% de la energía consumida en calor radiado por IR.

Se usa un soporte de lámpara de escritorio para emitir fácilmente sobre la PCB.

El datasheet de la bombilla se adjunta en el anexo 4.

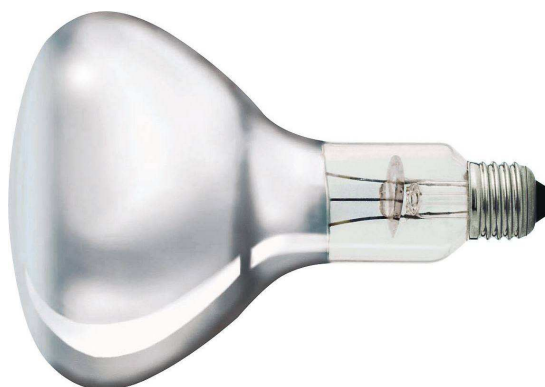


Fig. 29. Bombilla IR utilizada



#### 4.4. SENSOR.

El sistema sensor queda descrito en el capítulo "3. Solución propuesta".

#### 4.5. MULTÍMETRO.

Para la toma de medidas se usa un multímetro digital de 7½ dígitos, modelo Keithley 2010, con puerto GPIB.

En el rango de medida utilizado la resistencia de entrada del multímetro es  $>10G\Omega$ . El error de medida en esta escala es de, aproximadamente, 40 partes por millón, 0.004% (depende de la temperatura y el tiempo transcurrido desde la última calibración del aparato).

Las medidas serán capturadas a través del puerto GPIB, con una tasa de muestreo de aproximadamente dos muestras por segundo.

El puerto GPIB queda conectado a un conversor GPIB-USB.

#### 4.6. PC.

Para recibir y almacenar los datos se utiliza un computador con Matlab 2010. El software para Matlab de adquisición de datos se muestra en el ANEXO 6. Básicamente se abre la comunicación con el multímetro y se van guardando en una matriz las medidas con su fecha. Esta fecha es pasada a segundos para posteriormente visualizar en un gráfico la evolución temporal de la tensión.

#### 4.7. RESULTADOS.

El ANEXO 7 muestra los gráficos obtenidos a partir de las medidas realizadas. Cabe destacar que fueron tomadas en una habitación con temperatura ambiente de 24°C, puesto que el sistema es sensible a la temperatura.



No pudo caracterizarse la respuesta del sistema frente a cambios en la temperatura ambiente debido a que no hay suficiente espacio para el emisor y su soporte en la cámara climática disponible.

Primero se muestran las medidas correspondientes al primer puente, a una distancia de 35 cm (4 medidas), a 50 cm (1 medida) y 100 cm (1 medida). Posteriormente se sitúan las medidas para el segundo puente, con la misma configuración.

### Datos obtenidos.

El resumen de los datos obtenidos a partir de las medias realizadas en las salidas de los amplificadores se refleja en la tabla inferior.

La columna (**AO**) indica el puente del cual se extrae la medida.

El tiempo de conducción (**T<sub>conducción</sub>**), indica cuantos milisegundos conduce la bombilla por semiperiodo.

La potencia está calculada a partir del ángulo de disparo del triac de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$P = \frac{V_{ef}^2}{R} \quad (5)$$

$$V_{ef}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi} V_p^2 \sin^2(\omega t) d\omega t \quad (6)$$

Siendo:

$V_{ef}$	Valor eficaz de la tensión en la bombilla
$V_p$	Valor de pico de la tensión de red
$R$	Valor óhmico de la bombilla.
$P$	Potencia disipada en la bombilla

La columna (**D**) indica la distancia entre la bombilla y el bolómetro.

La columna de temperatura (**T<sup>a</sup>**) es el valor medido con un pirómetro (sensor de temperatura por infrarrojos). Este valor refleja la temperatura superficial de la bombilla, no la del filamento.



## DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe



El dato ( $\Delta V$ ) indica la variación temporal de la tensión en la parte lineal de las gráficas de medidas tomadas, ANEXO 7.

El valor de tensión máxima registrada se recoge en la columna ( $V_{max}$ ).

A continuación se muestran las gráficas que relacionan los datos obtenidos, así como una tabla resumen de estos datos.

AO	T <sub>conducción</sub> (ms)	P(W)	D(cm.)	T <sup>a</sup> (°C)	$\Delta V$ (mV/s)	V <sub>max</sub> (V)
1	3.3	85.4	35	75	4.08	1.356
1	5.5	139.5	35	105	8.09	2.429
1	7.7	193.5	35	123	13.76	2.452
1	10	250	35	144	15.28	2.465
1	10	250	50	144	11	2.415
1	10	250	100	144	1.81	0.5815
2	3.3	85.4	35	75	3.28	1.32
2	5.5	139.5	35	105	8.18	2.415
2	7.7	193.5	35	123	18.8	2.443
2	10	250	35	144	19.91	2.447
2	10	250	50	144	13.37	2.402
2	10	250	100	144	2.61	1.139

Tabla 2. Resumen de datos obtenidos en la medición.

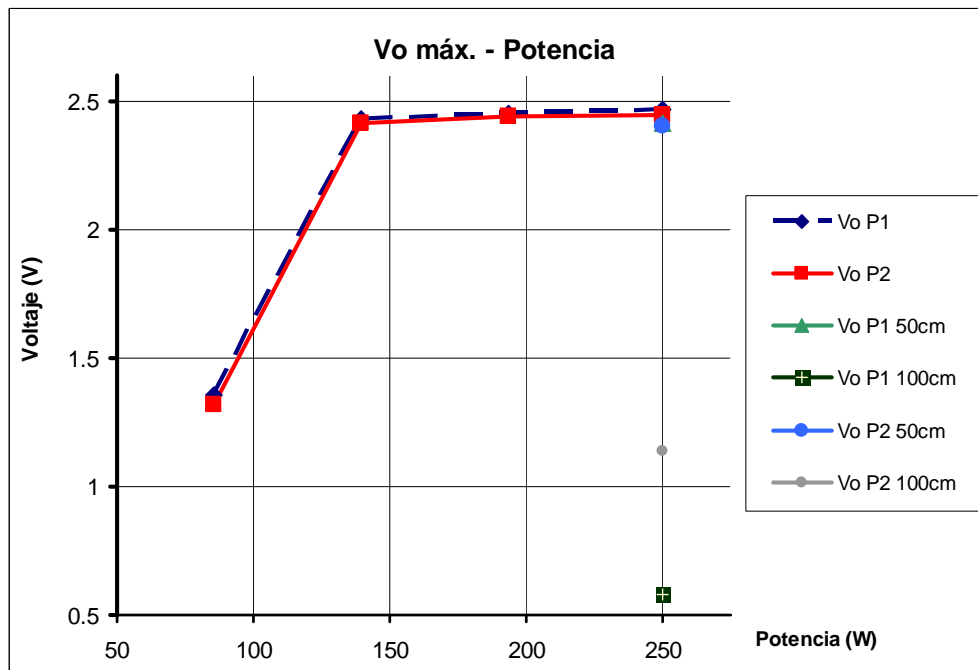


Fig. 30. Máxima tensión de salida para los dos puentes, en función de la potencia consumida por la bombilla, distintas distancias.

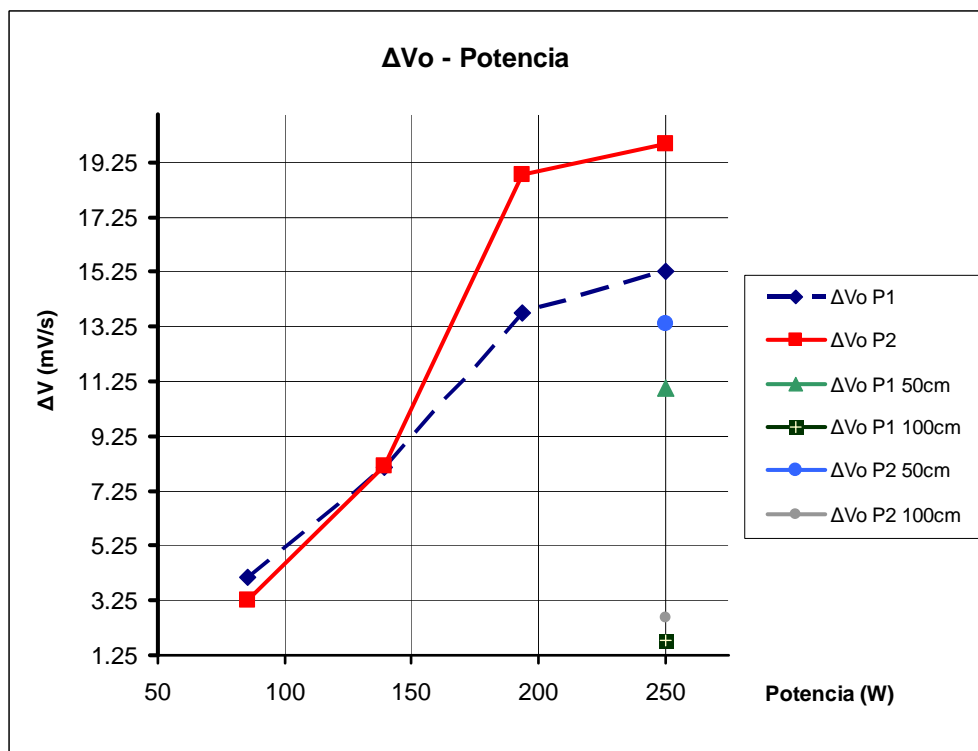


Fig. 31. Incrementos de tensión en función de la potencia consumida por la bombilla, distintas distancias.

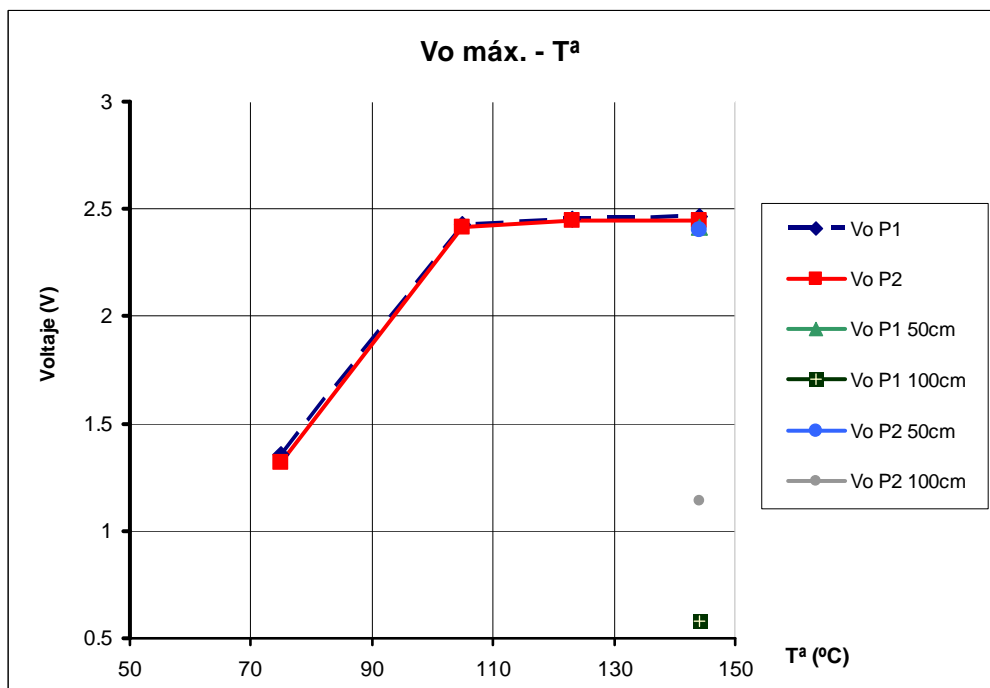


Fig. 32. Máxima tensión de salida en función de la temperatura de la bombilla, distintas distancias.

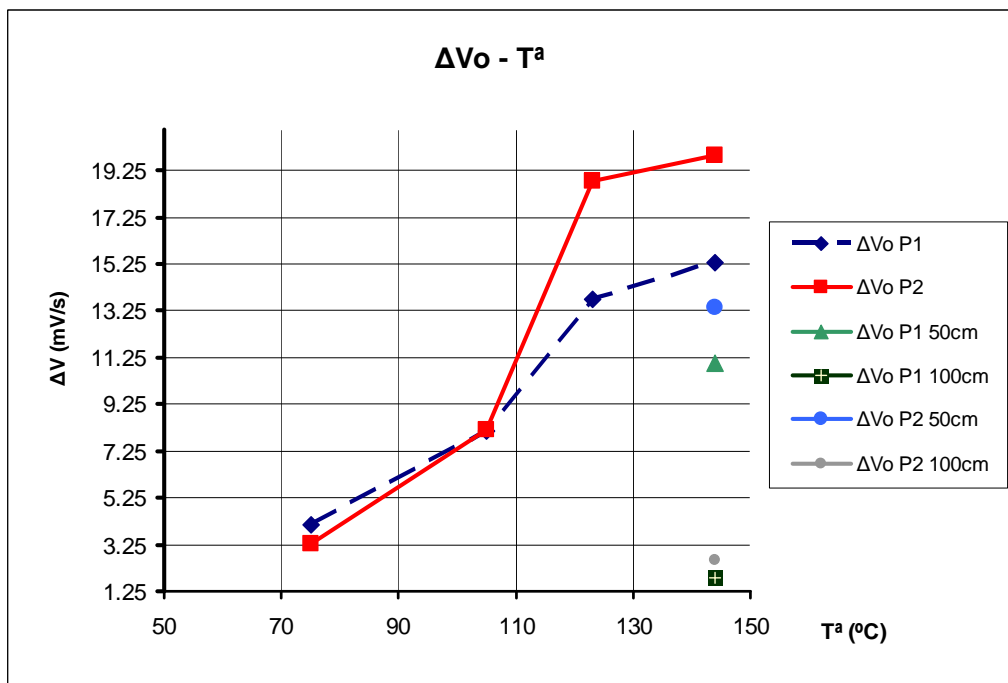


Fig. 33. Incrementos de tensión para los dos puentes en función de la temperatura de la bombilla, distintas distancias.



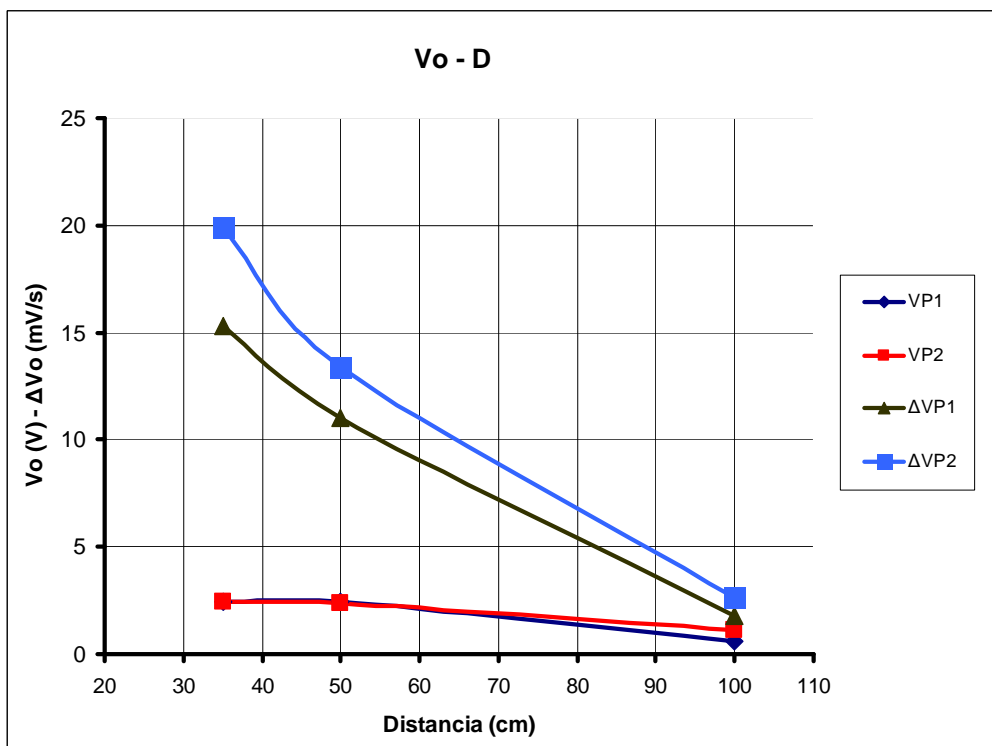


Fig. 34. Caída de la señal con la distancia al foco de calor.



## 5. CONCLUSIONES.

Mediante el trabajo realizado podemos concluir que es posible la detección de fuentes de calor mediante este sistema.

Las ventajas del microbolómetro frente a otros sistemas de detección son:

- Muy bajo consumo gracias a la alta resistividad del bolómetro.
- La naturaleza resistiva del sensor permite una interfaz sencilla.
- El sensor no requiere de alimentación para modificar sus características físicas con la radiación incidente. Esto permite integrar un sistema que corte la alimentación al sensor, minimizando el consumo.

Por otro lado la solución implementada permite:

- Ajuste del nivel de la salida mediante potenciómetro.
- Configuración desde el nodo de los parámetros que configuran la alarma, así como lectura de la información relativa al sensor.
- Posibilidad de reprogramación del software de control del sistema.
- Muy bajo consumo enfocado a la operación por baterías, alimentación simple a 3V.

No obstante se ha de tener en cuenta:

- La temperatura ambiente puede afectar a la salida del sensor, teniendo que reprogramar el ajuste de la alarma.
- Se ha de respetar un tiempo mínimo de dos periodos de lectura, en el software propuesto diez segundos, para la detección por incremental de voltaje.
- El tiempo de caída de la señal puede ser elevado, rondando los 15 minutos.

*Este trabajo ha sido apoyado por MICINN-FEDER (RYC-2008-03185, PET2008-0021 y TEC2009-09175), DGA-La Caixa (GA-LC-033/2009) y DGA (PI 113/09).*

*El contenido del trabajo se presenta al 3<sup>er</sup> simposio IEEE latinoamericano sobre circuitos y sistemas, LASCAS 2012, pendiente de aceptación.*



## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Artículo "Cercano, mediano y lejano IR", <http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/ir/regions/irregions.html>.
- [2] Sherif Sedky, Paolo Fiorini, Kris Baert, Lou Hermans, Robert Mertens. "Characterization and Optimization of Infrared Poly SiGe Bolometers". IEEE transactions on electron devices, vol. 46, no. 4, April 1999.
- [3] M. Moreno, A. Kosarev, A. Torres. "Fabrication and Characterization of Uncooled Microbolometers Based on Germanium Thin Films Obtained by Low Frequency Plasma Deposition"
- [3] Frank Niklaus, Christian Vieider, Henrik Jakobsen. "MEMS-Based Uncooled Infrared Bolometer Arrays – A Review" Proc. of SPIE Vol. 6836 68360D-1.
- [4] Deniz Sabuncuoglu Tezcan, Selim Eminoglu, Tayfun Akin. "A Low-Cost Uncooled Infrared Microbolometer Detector in Standard CMOS Technology", IEEE transactions on electron devices, vol. 50, no. 2, february 2003.
- [5] P. De Moor, Y. Creten, C. Goessens, B. Griefens'. V. Leonov, J. Vermeiren', C. 'Van Hoof. "Thermal infrared detection using linear arrays of poly SiGe uncooled microbolometers". ICM 2003, Dec. 9-11, Cairo, Egypt.
- [6] Johan Leijtens, Andrew Court, Jan Hoegge. "Microbolometer Spectrometer, Applications and Technology". Proceedings of the 2004 International Conference on MEMS, NANO and Smart Systems (ICMENS'04) 0-7695-2189-4/04.
- [7] Javier Garcia Fernandez. "Magnitudes y unidades de medida de luz". <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitud.html>.
- [8] H. Fuentes, D. García-Romeo, N. Medrano, B. Calvo, S. Celma. "A SiGe Micro-Bolometer Interface for Low-Power Embedded Microcontroller Applications."



# DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe





## 7. GLOSARIO DE TÉRMINOS/ACRÓNIMOS.

**I2C:** bus de comunicaciones serie cuyo nombre procede de "inter-integrated-circuit", diseñado por Philips. Suele componerse de dos líneas de señal (datos y reloj), más la referencia.

**Chopping o troceado:** técnica de muestreo de una señal según la cual la señal primaria es separada temporalmente en partes de modo que sólo se expone la señal durante una fracción de periodo.

**TCR:** coeficiente térmico de resistividad. Coeficiente que según las propiedades del material, relaciona su temperatura con la resistividad eléctrica que presenta.

**Deposición epitaxial:** proceso físico-químico por el cual a partir de una cara de un cristal de material semiconductor se hace crecer un substrato con la misma estructura cristalina.

**HWCVD, LPCVD:** (Hot Wire Chemical Vapor Deposition, Low Pressure Chemical Vapor Deposition). Procesos químicos para la creación de materiales de alta pureza basados en la exposición de un substrato a elementos volátiles, que al reaccionar se van depositando en el producto final.

**Puente de Wheatstone:** circuito eléctrico que emplea dos ramas con dos elementos resistivos por rama para la medida de una o varias de estas resistencias por descompensación de la tensión entre puntos medios.

**KBI:** *keyboard interrupt*, interrupción del micro activada por entrada digital.

**RTI:** *real time interrupt*, interrupción del micro activada por reloj interno.

**ACK:** *acknowledge*, señal característica de las comunicaciones que se transmite para indicar que se ha recibido un bit o trama de datos.



## **8. ANEXOS.**

### 8.1. AO INSTRUMENTACIÓN. INA-321



# microPower, Single-Supply, CMOS Instrumentation Amplifier

## FEATURES

- **LOW QUIESCENT CURRENT:** 40µA/channel  
Shut Down: < 1µA
- **HIGH GAIN ACCURACY:** G = 5, 0.02%,  
2ppm/°C
- **GAIN SET WITH EXTERNAL RESISTORS**
- **LOW OFFSET VOLTAGE:** ±200µV
- **HIGH CMRR:** 94dB
- **LOW BIAS CURRENT:** 10pA
- **BANDWIDTH:** 500kHz, G = 5V/V
- **RAIL-TO-RAIL OUTPUT SWING:** (V+) – 0.02V
- **WIDE TEMPERATURE RANGE:**  
–55°C to +125°C
- **SINGLE VERSION IN MSOP-8 PACKAGE AND  
DUAL VERSION IN TSSOP-14 PACKAGE**

## DESCRIPTION

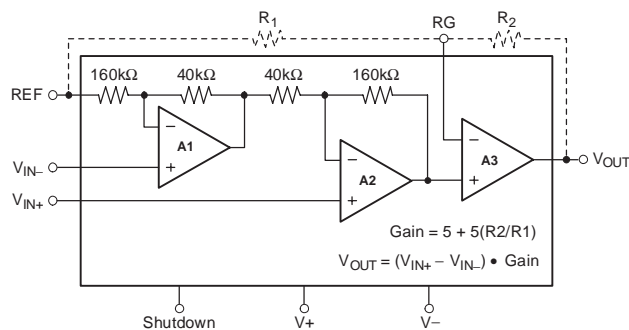
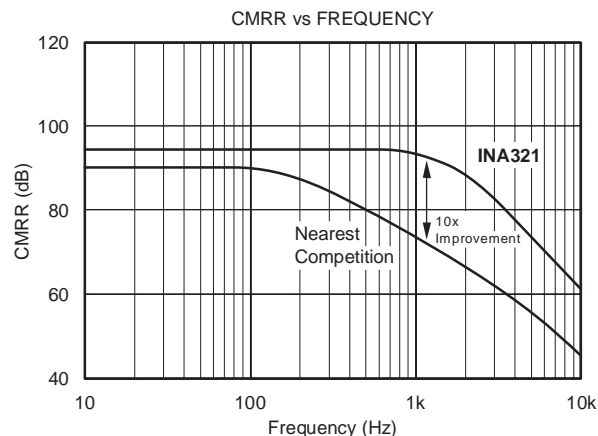
The INA321 family is a series of rail-to-rail output, micropower CMOS instrumentation amplifiers that offer wide-range, single-supply, as well as bipolar-supply operation. The INA321 family provides low-cost, low-noise amplification of differential signals with micropower current consumption of 40µA. When shutdown, the INA321 has a quiescent current of less than 1µA. Returning to normal operations within microseconds, the shutdown feature makes the INA321 optimal for low-power battery or multiplexing applications.

Configured internally for 5V/V gain, the INA321 offers exceptional flexibility with user-programmable external gain resistors. The INA321 reduces common-mode error over frequency and with CMRR remaining high up to 3kHz, line noise and line harmonics are rejected.

The low-power design does not compromise on bandwidth or slew rate, making the INA321 ideal for driving sample Analog-to-Digital (A/D) converters as well as general-purpose applications. With high precision, low cost, and small packaging, the INA321 outperforms discrete designs, while offering reliability and performance.

## APPLICATIONS

- **INDUSTRIAL SENSOR AMPLIFIERS:**  
Bridge, RTD, Thermistor, Position
- **PHYSIOLOGICAL AMPLIFIERS:**  
ECG, EEG, EMG
- **A/D CONVERTER SIGNAL CONDITIONING**
- **DIFFERENTIAL LINE RECEIVERS WITH GAIN**
- **FIELD UTILITY METERS**
- **PCMCIA CARDS**
- **COMMUNICATION SYSTEMS**
- **TEST EQUIPMENT**
- **AUTOMOTIVE INSTRUMENTATION**



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(1)**

Supply Voltage, V+ to V- .....	7.5V
Signal Input Terminals Voltage(2) ... (V-) - (0.5V) to (V+) + (0.5V)	
Current(2) .....	10mA
Output Short-Circuit(3) .....	Continuous
Operating Temperature .....	-65°C to +150°C
Storage Temperature .....	-65°C to +150°C
Junction Temperature .....	+150°C

- (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those specified is not supported.
- (2) Input terminals are diode-clamped to the power-supply rails. Input signals that can swing more than 0.5V beyond the supply rails should be current limited to 10mA or less.
- (3) Short-circuit to ground, one amplifier per package.



**ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY**

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

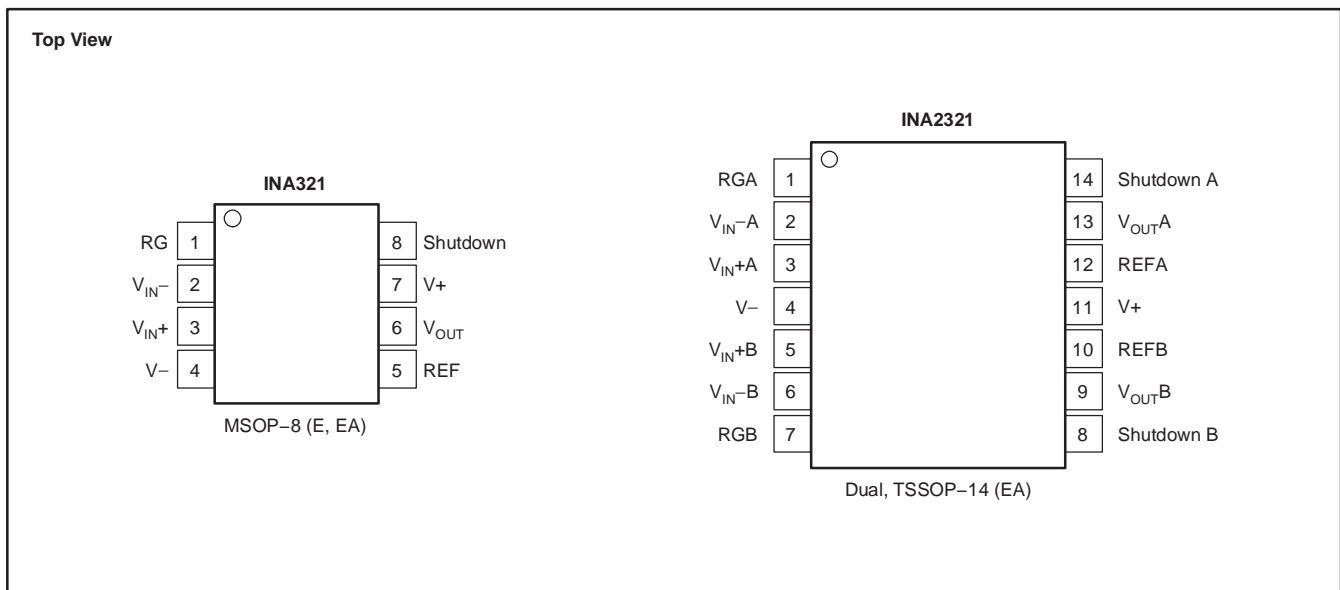
ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

**PACKAGE/ORDERING INFORMATION(1)**

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	SPECIFIED TEMPERATURE RANGE	PACKAGE MARKING	ORDERING NUMBER	TRANSPORT MEDIA, QUANTITY
<b>SINGLE</b>						
INA321E	MSOP-8	DGK	-55°C to +125°C	C21	INA321E/250	Tape and Reel, 250
"	"	"	"	"	INA321E/2K5	Tape and Reel, 2500
INA321EA	MSOP-8	DGK	-55°C to +125°C	C21	INA321EA/250	Tape and Reel, 250
"	"	"	"	"	INA321EA/2K5	Tape and Reel, 3000
<b>DUAL</b>						
INA2321EA	TSSOP-14	PW	-55°C to +125°C	INA2321EA	INA2321EA/250	Tape and Reel, 250
"	"	"	"	"	INA2321EA/2K5	Tape and Reel, 2500

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum located at the end of this data sheet.

**PIN CONFIGURATIONS**





**ELECTRICAL CHARACTERISTICS:  $V_S = +2.7V$  to  $+5.5V$**

**BOLDFACE** limits apply over the specified temperature range,  $T_A = -55^\circ C$  to  $+125^\circ C$ .

At  $T_A = +25^\circ C$ ,  $R_L = 25k\Omega$ ,  $G = 25$ , and  $I_A$  common =  $V_S/2$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA321E			INA321EA INA2321EA			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>INPUT</b>								
Input Offset Voltage, RTI	$V_S = +5V$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		*	1	mV
<b>Over Temperature</b>				<b><math>\pm 2.2</math></b>		*	<b>2.5</b>	mV
<b>vs Temperature</b>			$\pm 7$			*		$\mu V/^\circ C$
vs Power Supply	$V_S = +2.7V$ to $+5.5V$		$\pm 50$	$\pm 200$		*	*	$\mu V/V$
<b>Over Temperature</b>				<b><math>\pm 220</math></b>		*	*	$\mu V/V$
Long-Term Stability			$\pm 0.4$			*		$\mu V/month$
Input Impedance			$10^{13} \parallel 3$			*		$\Omega \parallel pF$
Input Common-Mode Range	$V_S = 2.7V$	0.35		1.5	*		*	V
	$V_S = 5V$	0.55		3.8	*		*	V
Common-Mode Rejection	$V_S = 5V, V_{CM} = 0.55V$ to $3.8V$	90	94		80	*		dB
<b>Over Temperature</b>	<b><math>V_S = 5V, V_{CM} = 0.55V</math> to <math>3.8V</math></b>	<b>77</b>			<b>75</b>			dB
	$V_S = 2.7V, V_{CM} = 0.35V$ to $1.5V$		94			*		dB
Crosstalk, Dual			110			*		dB
<b>INPUT BIAS CURRENT</b>								
Bias Current			$\pm 0.5$	$\pm 10$		*	*	pA
Offset Current			$\pm 0.5$	$\pm 10$		*	*	pA
<b>NOISE, RTI</b>								
Voltage Noise: $f = 10Hz$	$R_S = 0\Omega$		500			*		$nV/\sqrt{Hz}$
$f = 100Hz$			190			*		$nV/\sqrt{Hz}$
$f = 1kHz$			100			*		$nV/\sqrt{Hz}$
$f = 0.1Hz$ to $10Hz$			20			*		$\mu V_{PP}$
Current Noise: $f = 1kHz$			3			*		$fA/\sqrt{Hz}$
<b>GAIN<sup>(1)</sup></b>								
Gain Equation, Externally Set	$G > 5$		$G = 5 + 5 (R2/R1)$			*		
Range of Gain		5		1000	*		*	V/V
Gain Error			$\pm 0.02$	$\pm 0.1$		*	*	%
<b>vs Temperature</b>	<b><math>G = 5</math></b>		<b><math>\pm 2</math></b>	<b><math>\pm 10</math></b>		*	*	ppm/ $^\circ C$
Nonlinearity	$G = 25, V_S = 5V, V_O = 0.05$ to $4.95$		$\pm 0.001$	$\pm 0.010$		*	*	% of FS
<b>Over Temperature</b>			<b><math>\pm 0.002</math></b>	<b><math>\pm 0.015</math></b>		*	*	% of FS
<b>OUTPUT</b>								
Output Voltage Swing from Rail <sup>(2, 5)</sup>	$G \geq 10$	50	25		*	*		mV
<b>Over Temperature</b>		<b>50</b>			*	*		mV
Capacitance Load Drive		See Typical Characteristic <sup>(3)</sup>				*		pF
Short-Circuit Current			8			*		mA
			16			*		mA

NOTE: \* Specification is same as INA321E.

(1) Does not include errors from external gain setting resistors.

(2) Output voltage swings are measured between the output and power-supply rails.

(3) See typical characteristic *Percent Overshoot vs Load Capacitance*.

(4) See typical characteristic *Shutdown Voltage vs Supply Voltage*.

(5) Output does not swing to positive rail if gain is less than 10.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS:  $V_S = +2.7V$  to  $+5.5V$  (continued)**

**BOLDFACE** limits apply over the specified temperature range,  $T_A = -55^\circ C$  to  $+125^\circ C$ .

At  $T_A = +25^\circ C$ ,  $R_L = 25k\Omega$ ,  $G = 25$ , and  $I_A$  common =  $V_S/2$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA321E			INA321EA INA2321EA			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>									
Bandwidth, -3dB	BW	G = 5				500		*	kHz
Slew Rate	SR	$V_S = 5V, G = 25$				0.4		*	V/ $\mu s$
Settling Time, 0.1%	$t_S$	G = 5, $C_L = 50pF, V_O = 2V$ step				8		*	$\mu s$
0.01%						12		*	$\mu s$
Overload Recovery		50% Input Overload G = 25				2		*	$\mu s$
<b>POWER SUPPLY</b>									
Specified Voltage Range		+2.7		+5.5	*		*		V
Operating Voltage Range			+2.5 to +5.5			*			V
Quiescent Current	$I_Q$	per Channel, $V_{SD} > 2.5^{(4)}$				40	60	*	$\mu A$
<b>Over Temperature</b>						<b>70</b>		*	$\mu A$
Shutdown Quiescent Current	$I_{SD}$	per Channel, $V_{SD} > 0.8^{(4)}$				0.01	1	*	$\mu A$
<b>TEMPERATURE RANGE</b>									
Specified Range		-55		+125	*		*		$^\circ C$
Operating/Storage Range		-65		+150	*		*		$^\circ C$
Thermal Resistance	$\theta_{JA}$	MSOP-8, TSSOP-14 Surface-Mount				150		*	$^\circ C/W$

NOTE: \* Specification is same as INA321E.

- (1) Does not include errors from external gain setting resistors.
- (2) Output voltage swings are measured between the output and power-supply rails.
- (3) See typical characteristic *Percent Overshoot vs Load Capacitance*.
- (4) See typical characteristic *Shutdown Voltage vs Supply Voltage*.
- (5) Output does not swing to positive rail if gain is less than 10.



## DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe



### 8.2. MICROCONTROLADOR RS08KA8.



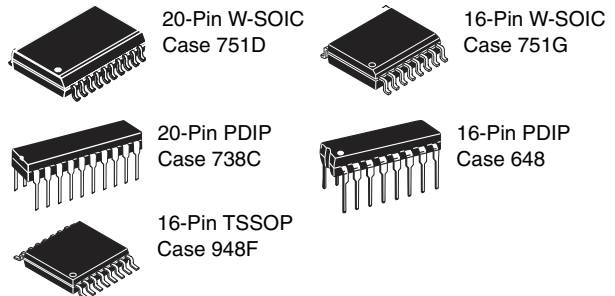
## MC9RS08KA8

### MC9RS08KA8 Series

**Covers: MC9RS08KA8  
MC9RS08KA4**

#### Features:

- 8-Bit RS08 Central Processor Unit (CPU)
  - Up to 20 MHz CPU at 1.8 V to 5.5 V across temperature range of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$
  - Subset of HC08 instruction set with added BGND instruction
- On-Chip Memory
  - 8 KB flash read/program/erase over full operating voltage and temperature; KA4 has 4 KB flash
  - 254 byte random-access memory (RAM); KA4 has 126 byte RAM
  - Security circuitry to prevent unauthorized access to RAM and flash contents
- Power-Saving Modes
  - Wait and stop
  - Wakeup from power-saving modes using real-time interrupt (RTI), KBI, or ACMP
- Clock Source Options
  - Oscillator (XOSC) — Loop-Control Pierce oscillator; crystal or ceramic resonator range of 31.25 kHz to 39.0625 kHz or 1 MHz to 5 MHz
  - Internal Clock Source (ICS) — Internal clock source module containing a frequency-locked-loop (FLL) controlled by internal or external reference; precision trimming of internal reference allows 0.2% resolution and 2% deviation over temperature and voltage; supports bus frequencies up to 10 MHz
- System Protection
  - Watchdog computer operating properly (COP) reset with option to run from dedicated 1 kHz internal clock source or bus clock
  - Low-Voltage detection with reset or interrupt
  - Illegal opcode detection with reset
  - Illegal address detection with reset
  - Flash block protection
- Development Support
  - Single-Wire background debug interface
  - Breakpoint capability to allow single breakpoint setting during in-circuit debugging
- Peripherals
  - **ADC** — 12-channel, 10-bit resolution; 2.5  $\mu\text{s}$  conversion time; automatic compare function; operation in stop; fully functional from 2.7 V to 5.5 V (8-channels available on 16-pin package)
  - **TPM** — One 2-channel; selectable input capture, output compare, or buffered edge- or center-aligned PWM on each channel
  - **IIC** — Inter-Integrated circuit bus module capable of operation up to 100 kbps with maximum bus loading; capable of higher baudrates with reduced loading
  - **MTIM1 and MTIM2** — Two 8-bit modulo timers
  - **KBI** — Keyboard interrupts with rising or falling edge detect; eight KBI ports in 16-pin and 20-pin packages
  - **ACMP** — Analog comparator: full rail-to-rail supply operation; option to compare to fixed internal bandgap reference voltage; can operate in stop mode
- Input/Output
  - 14/18 GPIOs including one output only pin and one input only pin
  - Hysteresis and configurable pullup device on all input pins; configurable slew rate and drive strength on all output pins
- Package Options
  - 16-pin SOIC, PDIP or TSSOP
  - 20-pin SOIC or PDIP



This document contains information on a product under development. Freescale reserves the right to change or discontinue this product without notice.

© Freescale Semiconductor, Inc., 2008-2009. All rights reserved.

# 1 MCU Block Diagram

The block diagram, [Figure 1](#), shows the structure of the MC9RS08KA8 MCU.

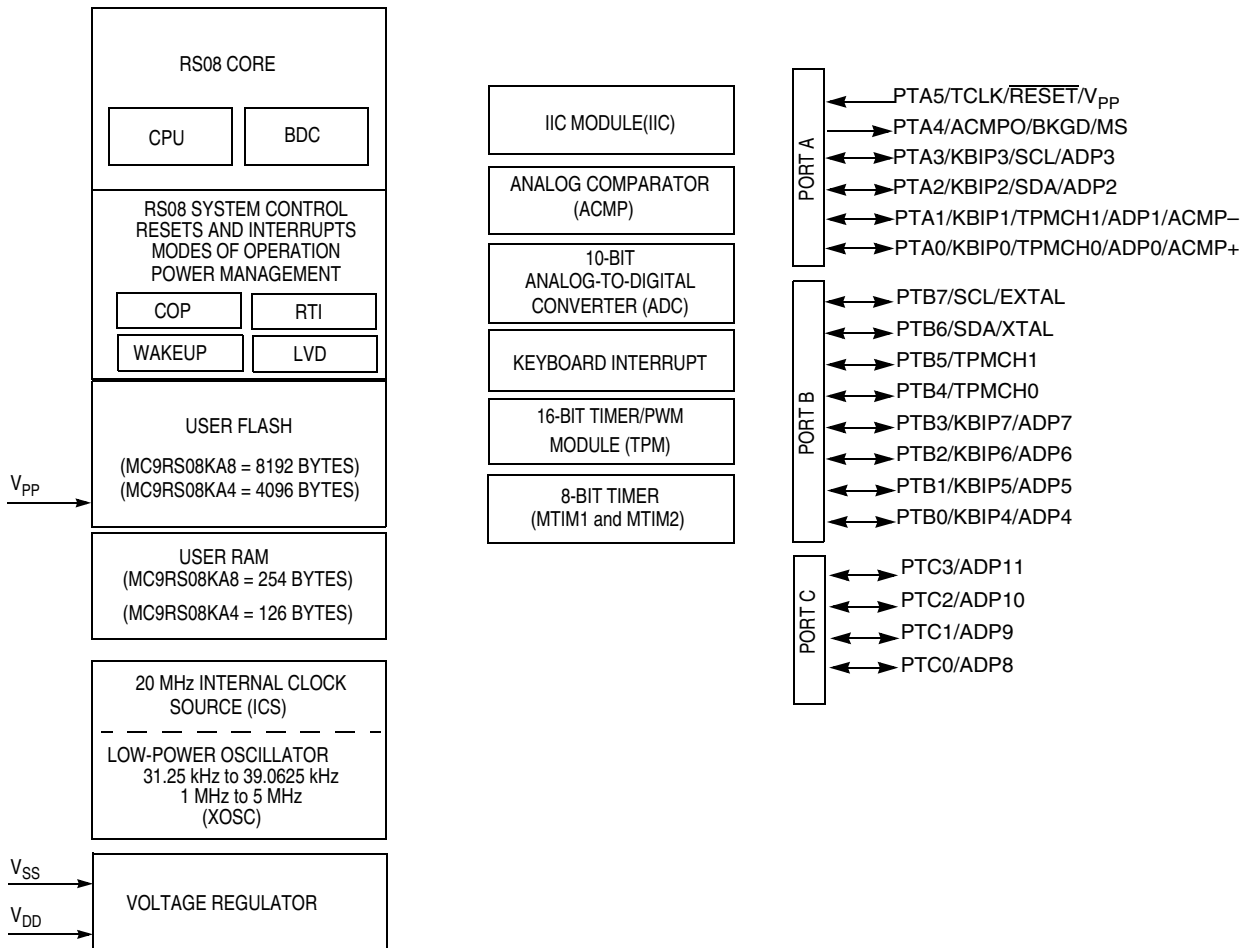


Figure 1. MC9RS08KA8 Series Block Diagram

# 2 Pin Assignments

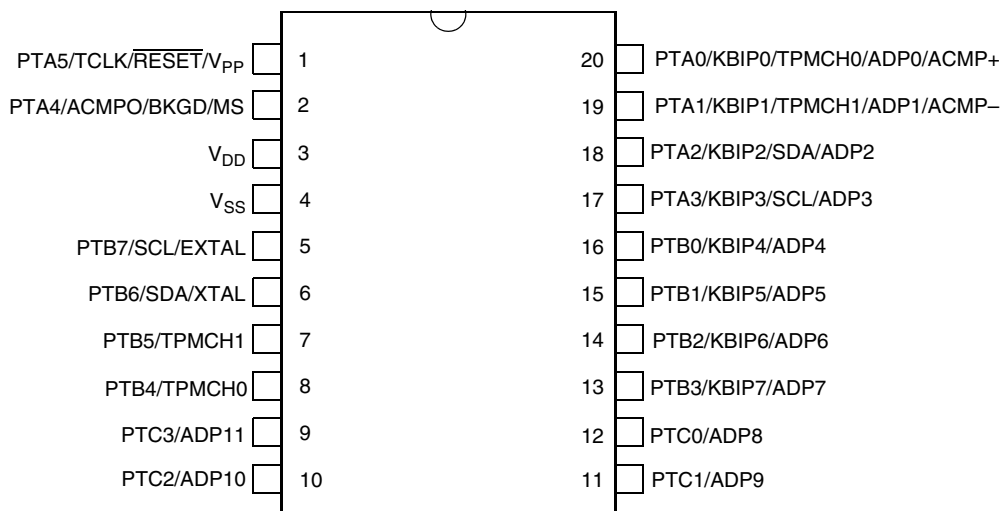
This section shows the pin assignments in the packages available for the MC9RS08KA8 series.

**Table 1. Pin Availability by Package Pin-Count**

Pin Number		<-- Lowest Priority --> Highest				
20	16	Port Pin	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
1	1	PTA5		TCLK	RESET	V <sub>PP</sub>
2	2	PTA4	ACMPO	BKGD	MS	
3	3					V <sub>DD</sub>
4	4					V <sub>SS</sub>
5	5	PTB7	SCL <sup>1</sup>			EXTAL
6	6	PTB6	SDA <sup>1</sup>			XTAL
7	7	PTB5	TPMCH1 <sup>2</sup>			
8	8	PTB4	TPMCH0 <sup>2</sup>			
9	—	PTC3			ADP11	
10	—	PTC2			ADP10	
11	—	PTC1			ADP9	
12	—	PTC0			ADP8	
13	9	PTB3	KBIP7		ADP7	
14	10	PTB2	KBIP6		ADP6	
15	11	PTB1	KBIP5		ADP5	
16	12	PTB0	KBIP4		ADP4	
17	13	PTA3	KBIP3	SCL <sup>1</sup>	ADP3	
18	14	PTA2	KBIP2	SDA <sup>1</sup>	ADP2	
19	15	PTA1	KBIP1	TPMCH1 <sup>2</sup>	ADP1	ACMP-
20	16	PTA0	KBIP0	TPMCH0 <sup>2</sup>	ADP0	ACMP+

<sup>1</sup> IIC pins can be remapped to PTA3 and PTA2

<sup>2</sup> TPM pins can be remapped to PTA0 and PTA1



**Figure 2. MC9RS08KA8 Series in 20-Pin PDIP/SOIC Package**

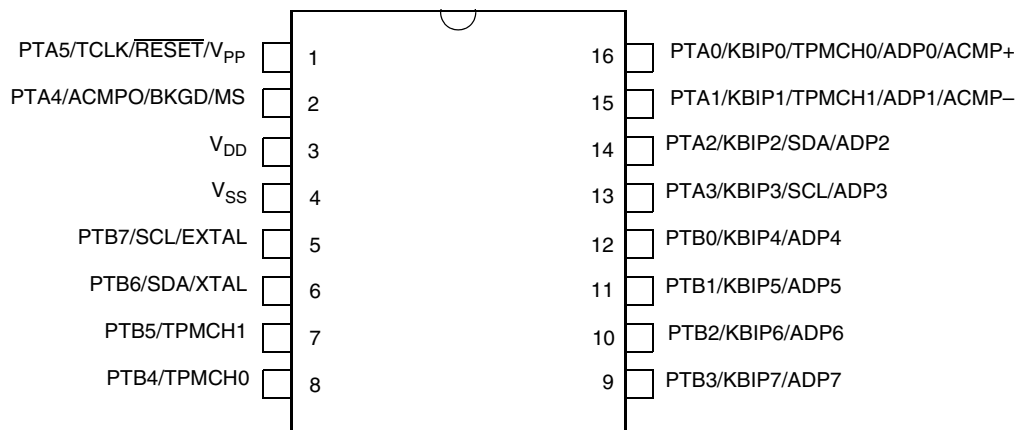


Figure 3. MC9RS08KA8 Series in 16-Pin PDIP/SOIC/TSSOP Package

## 3 Electrical Characteristics

### 3.1 Introduction

This chapter contains electrical and timing specifications for the MC9RS08KA8 series of microcontrollers available at the time of publication.

### 3.2 Parameter Classification

The electrical parameters shown in this supplement are guaranteed by various methods. To give the customer a better understanding the following classification is used and the parameters are tagged accordingly in the tables where appropriate:

Table 2. Parameter Classifications

<b>P</b>	Those parameters are guaranteed during production testing on each individual device.
<b>C</b>	Those parameters are achieved by the design characterization by measuring a statistically relevant sample size across process variations.
<b>T</b>	Those parameters are achieved by design characterization on a small sample size from typical devices under typical conditions unless otherwise noted. All values shown in the typical column are within this category.
<b>D</b>	Those parameters are derived mainly from simulations.

#### NOTE

The classification is shown in the column labeled “C” in the parameter tables where appropriate.

### 3.3 Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are stress ratings only, and functional operation at the maxima is not guaranteed. Stress beyond the limits specified in Table 3 may affect device reliability or cause permanent damage to the device. For functional operating conditions, refer to the remaining tables in this chapter.

This device contains circuitry protecting against damage due to high static voltage or electrical fields; however, it is advised that normal precautions be taken to avoid application of any voltages higher than maximum-rated voltages to this high-impedance circuit. Reliability of operation is enhanced if unused inputs are tied to an appropriate logic voltage level (for instance,  $V_{SS}$  or  $V_{DD}$ ) or the programmable pull-up resistor associated with the pin is enabled.

**Table 3. Absolute Maximum Ratings**

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply voltage	$V_{DD}$	-0.3 to 5.8	V
Maximum current into $V_{DD}$	$I_{DD}$	120	mA
Digital input voltage	$V_{In}$	-0.3 to $V_{DD} + 0.3$	V
Instantaneous maximum current Single pin limit (applies to all port pins) <sup>1, 2, 3</sup>	$I_D$	±25	mA
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55 to 150	°C

<sup>1</sup> Input must be current limited to the value specified. To determine the value of the required current-limiting resistor, calculate resistance values for positive ( $V_{DD}$ ) and negative ( $V_{SS}$ ) clamp voltages, then use the larger of the two resistance values.

<sup>2</sup> All functional non-supply pins are internally clamped to  $V_{SS}$  and  $V_{DD}$  except the  $\overline{RESET}/V_{PP}$  pin which is internally clamped to  $V_{SS}$  only.

<sup>3</sup> Power supply must maintain regulation within operating  $V_{DD}$  range during instantaneous and operating maximum current conditions. If positive injection current ( $V_{In} > V_{DD}$ ) is greater than  $I_{DD}$ , the injection current may flow out of  $V_{DD}$  and could result in external power supply going out of regulation. Ensure external  $V_{DD}$  load will shunt current greater than maximum injection current. This will be the greatest risk when the MCU is not consuming power. Examples are: if no system clock is present, or if the clock rate is very low which would reduce overall power consumption.

### 3.4 Thermal Characteristics

This section provides information about operating temperature range, power dissipation, and package thermal resistance. Power dissipation on I/O pins is usually small compared to the power dissipation in on-chip logic and voltage regulator circuits and it is user-determined rather than being controlled by the MCU design. In order to take  $P_{I/O}$  into account in power calculations, determine the difference between actual pin voltage and  $V_{SS}$  or  $V_{DD}$  and multiply by the pin current for each I/O pin. Except in cases of unusually high pin current (heavy loads), the difference between pin voltage and  $V_{SS}$  or  $V_{DD}$  will be very small.

**Table 4. Thermal Characteristics**

Rating	Symbol	Value	Unit
Operating temperature range (packaged)	$T_A$	$T_L$ to $T_H$ -40 to 85	°C
Maximum junction temperature	$T_{JMAX}$	105	°C
Thermal resistance 16-pin PDIP	$\theta_{JA}$	80	°C/W
Thermal resistance 16-pin SOIC	$\theta_{JA}$	112	°C/W



Table 4. Thermal Characteristics (continued)

Rating	Symbol	Value	Unit
Thermal resistance 16-pin TSSOP	$\theta_{JA}$	75	°C/W
Thermal resistance 20-pin PDIP	$\theta_{JA}$	75	°C/W
Thermal resistance 20-pin SOIC	$\theta_{JA}$	96	°C/W

The average chip-junction temperature ( $T_J$ ) in °C can be obtained from:

$$T_J = T_A + (P_D \times \theta_{JA}) \quad \text{Eqn. 1}$$

where:

$T_A$  = Ambient temperature, °C

$\theta_{JA}$  = Package thermal resistance, junction-to-ambient, °C /W

$P_D = P_{int} + P_{I/O}$

$P_{int} = I_{DD} \times V_{DD}$ , Watts chip internal power

$P_{I/O}$  = Power dissipation on input and output pins user determined

For most applications,  $P_{I/O} \ll P_{int}$  and can be neglected. An approximate relationship between  $P_D$  and  $T_J$  (if  $P_{I/O}$  is neglected) is:

$$P_D = K \div (T_J + 273^\circ\text{C}) \quad \text{Eqn. 2}$$

Solving Equation 1 and Equation 2 for K gives:

$$K = P_D \times (T_A + 273^\circ\text{C}) + \theta_{JA} \times (P_D)^2 \quad \text{Eqn. 3}$$

where K is a constant pertaining to the particular part. K can be determined from Equation 3 by measuring  $P_D$  (at equilibrium) for a known  $T_A$ . Using this value of K, the values of  $P_D$  and  $T_J$  can be obtained by solving equations 1 and 2 iteratively for any value of  $T_A$ .

### 3.5 ESD Protection and Latch-Up Immunity

Although damage from electrostatic discharge (ESD) is much less common on these devices than on early CMOS circuits, normal handling precautions must be used to avoid exposure to static discharge. Qualification tests are performed to ensure that these devices can withstand exposure to reasonable levels of static without suffering any permanent damage.

All ESD testing is in conformity with AEC-Q100 Stress Test Qualification for Automotive Grade Integrated Circuits. During the device qualification ESD stresses were performed for the human body model (HBM), the machine model (MM) and the charge device model (CDM).

A device is defined as a failure if after exposure to ESD pulses the device no longer meets the device specification. Complete DC parametric and functional testing is performed per the applicable device specification at room temperature followed by hot temperature, unless specified otherwise in the device specification.

**Table 5. ESD and Latch-up Test Conditions**

Model	Description	Symbol	Value	Unit
Human Body	Series resistance	R1	1500	$\Omega$
	Storage capacitance	C	100	pF
	Number of pulses per pin	—	3	—
Machine	Series resistance	R1	0	$\Omega$
	Storage capacitance	C	200	pF
	Number of pulses per pin	—	3	—
Latch-up	Minimum input voltage limit	—	-2.5	V
	Maximum input voltage limit	—	7.5	V

**Table 6. ESD and Latch-Up Protection Characteristics**

No.	Rating <sup>1</sup>	Symbol	Min	Max	Unit
1	Human body model (HBM)	V <sub>HBM</sub>	±2000	—	V
2	Machine model (MM)	V <sub>MM</sub>	±200	—	V
3	Charge device model (CDM)	V <sub>CDM</sub>	±500	—	V
4	Latch-up current at T <sub>A</sub> = 85°C (applies to all pins except pin 9 PTC3/ADP11)	I <sub>LAT</sub>	±100 <sup>2</sup>	—	mA
	Latch-up current at T <sub>A</sub> = 85°C (applies to pin 9 PTC3/ADP11)	I <sub>LAT</sub>	±75 <sup>3</sup>	—	mA

<sup>1</sup> Parameter is achieved by design characterization on a small sample size from typical devices under typical conditions unless otherwise noted.

<sup>2</sup> These pins meet JESD78A Class II (section 1.2) Level A (section 1.3) requirement of ±100mA.

<sup>3</sup> This pin meets JESD78A Class II (section 1.2) Level B (section 1.3) characterization to ±75mA. This pin is only present on 20 pin package types.

### 3.6 DC Characteristics

This section includes information about power supply requirements, I/O pin characteristics, and power supply current in various operating modes.

**Table 7. DC Characteristics (Temperature Range = -40 to 85°C Ambient)**

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Unit
Supply voltage (run, wait and stop modes.) 0 < f <sub>Bus</sub> < 10MHz V <sub>DD</sub> rising V <sub>DD</sub> falling	V <sub>DD</sub>	2.0 1.8	—	5.5	V
Minimum RAM retention supply voltage applied to V <sub>DD</sub>	V <sub>RAM</sub>	0.8 <sup>1</sup>	—	—	V
Low-voltage Detection threshold (V <sub>DD</sub> falling) (V <sub>DD</sub> rising)	V <sub>LVD</sub>	1.80 1.88	1.86 1.94	1.95 2.03	V
Power on RESET (POR) voltage	V <sub>POR</sub> <sup>1</sup>	0.9	—	1.7	V

Table 7. DC Characteristics (Temperature Range = –40 to 85°C Ambient) (continued)

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Unit
Input high voltage ( $V_{DD} > 2.3V$ ) (all digital inputs)	$V_{IH}$	$0.70 \times V_{DD}$	—	—	V
Input high voltage ( $1.8 V \leq V_{DD} \leq 2.3 V$ ) (all digital inputs)	$V_{IH}$	$0.85 \times V_{DD}$	—	—	V
Input low voltage ( $V_{DD} > 2.3 V$ ) (all digital inputs)	$V_{IL}$	—	—	$0.30 \times V_{DD}$	V
Input low voltage ( $1.8 V \leq V_{DD} \leq 2.3 V$ ) (all digital inputs)	$V_{IL}$	—	—	$0.30 \times V_{DD}$	V
Input hysteresis (all digital inputs)	$V_{hys}^1$	$0.06 \times V_{DD}$	—	—	V
Input leakage current (per pin) $V_{In} = V_{DD}$ or $V_{SS}$ , all input only pins	$ I_{In} $	—	0.025	1.0	$\mu A$
High impedance (off-state) leakage current (per pin) $V_{In} = V_{DD}$ or $V_{SS}$ , all input/output	$ I_{OZ} $	—	0.025	1.0	$\mu A$
Internal pullup resistors <sup>2</sup> (all port pins)	$R_{PU}$	20	45	65	$k\Omega$
Internal pulldown resistors <sup>2</sup> (all port pins except PTA5)	$R_{PD}$	20	45	65	$k\Omega$
PTA5 Internal pulldown resistor	—	45	—	95	$k\Omega$
Output high voltage — Low Drive (PTxDSn = 0) 5 V, $I_{Load} = 2$ mA 3 V, $I_{Load} = 1$ mA 1.8 V, $I_{Load} = 0.5$ mA	$V_{OH}$	$V_{DD} - 0.8$	—	—	V
Output high voltage — High Drive (PTxDSn = 1) 5 V, $I_{Load} = 10$ mA 5 V, $I_{Load} = 5$ mA 3 V, $I_{Load} = 3$ mA 1.8 V, $I_{Load} = 2$ mA			$V_{DD} - 0.8$	—	
Maximum total IOH for all port pins	$ I_{OHT} $	—	—	40	mA
Output low voltage — Low Drive (PTxDSn = 0) 5 V, $I_{Load} = 2$ mA 3 V, $I_{Load} = 1$ mA 1.8 V, $I_{Load} = 0.5$ mA	$V_{OL}$	—	—	0.8	V
Output low voltage — High Drive (PTxDSn = 1) 5 V, $I_{Load} = 10$ mA 5 V, $I_{Load} = 5$ mA 3 V, $I_{Load} = 3$ mA 1.8 V, $I_{Load} = 2$ mA				0.8	
Maximum total IOL for all port pins	$I_{OLT}$	—	—	40	mA
DC injection current <sup>3, 4, 5, 6</sup> $V_{In} < V_{SS}$ , $V_{In} > V_{DD}$ Single pin limit Total MCU limit, includes sum of all stressed pins		—	—	0.2 0.8	mA
Input capacitance (all non-supply pins)	$C_{In}$	—	—	7	pF

<sup>1</sup> This parameter is characterized and not tested on each device.

<sup>2</sup> Measurement condition for pull resistors:  $V_{In} = V_{SS}$  for pullup and  $V_{In} = V_{DD}$  for pulldown.

<sup>3</sup> All functional non-supply pins are internally clamped to  $V_{SS}$  and  $V_{DD}$  except the  $\overline{RESET}/V_{PP}$  which is internally clamped to  $V_{SS}$  only.

<sup>4</sup> Input must be current limited to the value specified. To determine the value of the required current-limiting resistor, calculate resistance values for positive and negative clamp voltages, then use the larger of the two values.

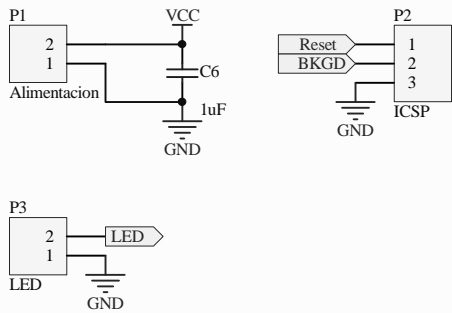
<sup>5</sup> Input must be current limited to the value specified. To determine the value of the required current-limiting resistor, calculate resistance values for positive and negative clamp voltages, then use the larger of the two values.

<sup>6</sup> This parameter is characterized and not tested on each device.

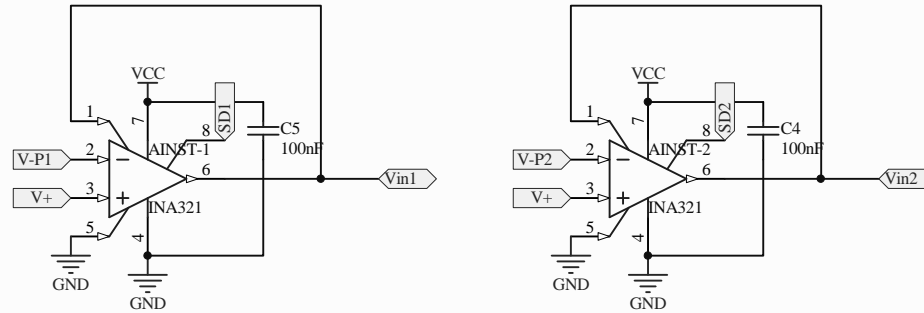


### 8.3. ESQUEMÁTICO PCB.

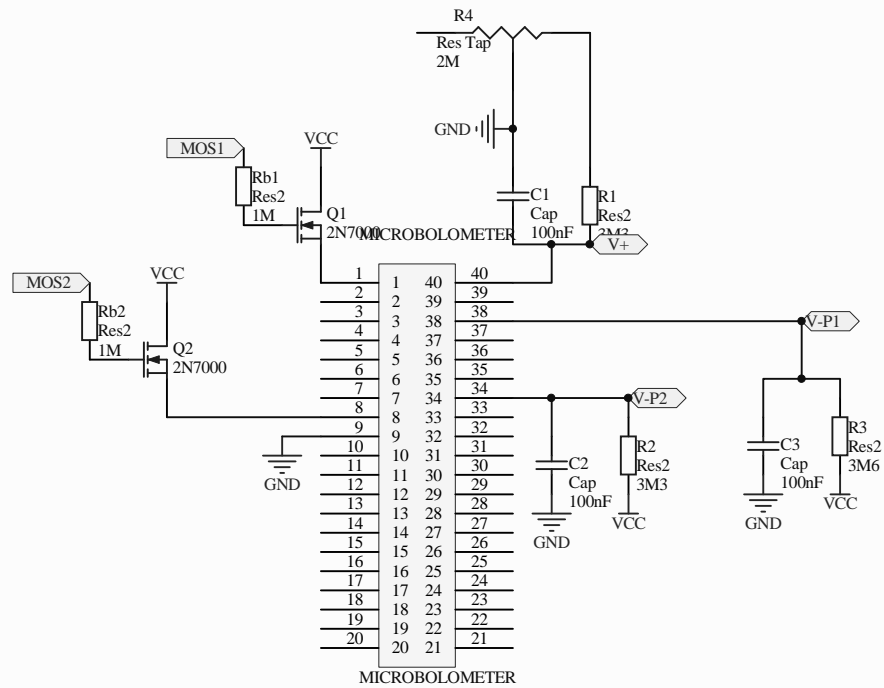
### Conectores



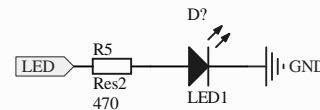
### Amps de Instrumentación



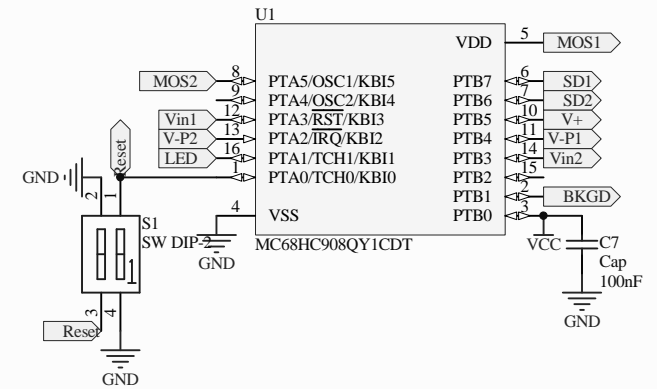
### Microbolómetro + Wheatstone



### LED Aviso



### uC



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	22/10/2011	Sheet of
File:	D:\Documents and Settings\...\Bolo.SchDoc	Drawn By:



## DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe



### 8.4. SOFTWARE MICROCONTROLADOR.

```

/** #####
**      Filename   : Bolometro.C
**      Project    : Bolometro
**      Processor  : MC9RS08KA8CWG
**      Version    : Driver 01.01
**      Compiler   : CodeWarrior RS08 C Compiler
**      Date/Time  : 31/05/2011, 10:32
**      Abstract   : Lectura de bolómetro puente de wheatstone amplificado
**                  Control de alarma tipo LED por umbral.
** #####*/
/* MODULE Bolometro */

/* Including needed modules to compile this module/procedure */
#include "Cpu.h"
#include "Events.h"
#include "AD1.h"
#include "RTI1.h"
/* Include shared modules, which are used for whole project */
#include "PE_Types.h"
#include "PE_Error.h"
#include "PE_Const.h"
#include "IO_Map.h"

//Funciones:
word leer_p1(void);
word leer_p2(void);
void RTI_isr(void);

//Definiciones:
#define led PTAD_PTAD0    //pin alarma LED
#define q1 PTBD_PTBD7    //puerta mosfet1
#define q2 PTBD_PTBD4    //puerta mosfet2
#define sd1 PTBD_PTBD6    //shutdown AO inst. 1
#define sd2 PTBD_PTBD5    //shutdown AO inst. 1
#define SCL PTBD_PTBD3    //clock i2c
#define SDA_RX PTBD_PTBD2 //clock i2c
#define SDA_TX PTBD_PTBD1 //clock i2c
#define test PTAD_PTAD1    //clock i2c

//Constantes:
const word umbral=0x333;
const word deltamax=0x24;
const unsigned char My_IIC_Addr=0xAA;

//Variables globales:
bool adcfm=0;
byte a=0;
char timer=5;

/* User includes (#include below this line is not maintained by Processor
Expert) */

void main(void)
{
    //Variables locales:
    word med1[10];
    word med2[10];
    long av1=0;
    long av2=0;
    word deltal=0;

```

```

word delta2=0;
word alarma=0;
word med1ant=0;
word med2ant=0;
char i=0;

/** Processor Expert internal initialization. DON'T REMOVE THIS CODE!!! ***/
PE_low_level_init();
/** End of Processor Expert internal initialization. ***/

//Inicializaciones:
PTADD=0x03; // Puerto A I/O
PTBDD=0xF0; //Puerto B I/O
led=0; //led OFF
SOPT_COPE=0; //watchdog OFF
RTI1_Init();
while(1)
{
    if(!timer){ //Si han pasado 5 seg.
        q1=0;q2=1;sd1=1;sd2=0; //p1 ON - p2 OFF
        Cpu_SetStopMode();
        if(SIP1_RTI==1){RTI_isr();} //espero 1 seg.
        for(i=1;i<=5;i++){ //tomo 5 medidas
            med1[i]=leer_p1();
            av1=av1+med1[i];
        }
        av1=av1/5; //calculo la media
        q1=1;q2=0;sd1=0;sd2=1; //p1 OFF - p2 ON
        Cpu_SetStopMode();
        if(SIP1_RTI==1){RTI_isr();} //espero 1 segundo
        for(i=1;i<=5;i++){ //tomo 5 medidas
            med2[i]=leer_p2();
            av2=av2+med2[i];
        }
        av2=av2/5; //calculo la media
        q1=1;q2=1;sd1=0;sd2=0; //p1=p2=OFF
        timer=5; //reset timer 5 seg.
    }
    //Calculo incrementos
    if ((med1ant!=0)&&(med2ant!=0))
    {
        delta1=av1-med1ant;
        delta2=av2-med2ant;
    }
    //Activar alarma
    alarma=((delta1>=deltamax)|| (delta2>=deltamax)|| (av1>=umbral)|| (av2>=umbral));
    //Guardo la media de tension anterior para valorar incrementos.
    med1ant=av1;
    med2ant=av2;
    Cpu_SetStopMode();
    if(SIP1_RTI==1){RTI_isr();}
}
/** Don't write any code pass this line, or it will be deleted during code
generation. ***/
/** Processor Expert end of main routine. DON'T MODIFY THIS CODE!!! ***/
for(;;){}
/** Processor Expert end of main routine. DON'T WRITE CODE BELOW!!! ***/
} /** End of main routine. DO NOT MODIFY THIS TEXT!!! ***/

```



```

//Rutina leer puentel:
word leer_p1(void) {
    word medida;
    a=AD1_MeasureChan(1,0);
    a=AD1_GetChanValue16(0,&medida);
    return medida/64;
}

//Rutina leer puente2:
word leer_p2(void) {
    word medida;
    a=AD1_MeasureChan(1,1);
    a=AD1_GetChanValue16(1,&medida);
    return medida/64;
}

//Rutina interrupción timer1
void RTI_isr(void) {timer--;SRTISC_RTIAACK=1;}

//Rutina I2C:
void I2C_isr(void) {
    unsigned char valor_mem=0;
    unsigned char direccion_I2C=0;
    unsigned char direccion_mem=0;
    unsigned char i=0;

    KBISC_KBIE=0 ; // Disable KBI interrupt
    KBISC_KBACK=1; // Clear the flag

    // __RESET_WATCHDOG(); S si habilitado el COP
    while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL est en bajo

    // MANDAMOS ACK de Despertar
    SDA_TX=0; // Pongo valor 0
    //while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL est en alto
    while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL est en bajo
    SDA_TX=1; // Pongo valor 1

    // RECIBIMOS LA DIRECCI EL BIT DE ESCRITURA/LECTURA
    // Si ltimo bit r_w=0 escritura en el esclavo, si r_w=1 lectura en el esclavo
    for(i=0;i<8;i++) { // Esperamos mientras SCL est en bajo
        while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL est en alto
        direccion_I2C=(direccion_I2C<<1);
        if(SDA_RX==1) direccion_I2C++; // Si 1 colocamos 1 en el menos significativo
        while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL est en bajo
    }

    // ENVIAMOS ACK
    SDA_TX=0; // Pongo valor 0
    while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL est en alto
    while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL est en bajo
    SDA_TX=1; // Pongo valor 1

    // SI LA DIRECCI O ES LA NUESTRA PASAMOS SE ACABA LA Rutina DE SERVICIO
    if(My_IIC_Addr != (direccion_I2C&(0xFE))) {
        return;
    }
}

```

```

// RECIBIMOS LA DIRECCION E ESCRITURA/LECTURA EN MEMORIA
for(i=0;i<8;i++) {
    while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL esten alto
    direccion_mem=(direccion_mem<<1);
    if(SDA_RX==1) direccion_mem++; // Si 1 colocamos 1 en el menos significativo
    while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL esten bajo
}

// ENVIAMOS ACK
SDA_TX=0; // Pongo valor 0
while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL esten alto
while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL esten bajo
SDA_TX=1; // Pongo valor 1

// MANDAMOS BYTE :: r_w==1 LECTURA INTERFAZ
if(direccion_I2C&(0x01)) {
    valor_mem=memoria[direccion_mem];
    for (i=0;i<8;i++) {
        if(valor_mem&(0x80)) SDA_TX=1;
        else SDA_TX=0;
        valor_mem=(valor_mem<<1);
        while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL esten alto
        while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL esten bajo
    }

    // RECIBIMOS ACK
    while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL esten alto
    // Aqu hay que recibir ACK
    while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL esten bajo

    SDA_TX=1;

    // Introducir aqui *c o para escribir m*bytes.
    while(!((SCL==1)&(SDA_RX==1))) {} // Esperamos hasta la STOP CONDITION
    return;
}

// RECIBIMOS BYTE :: r_w==0 ESCRITURA INTERFAZ
else {
    for(i=0;i<8;i++) {
        while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL esten alto
        valor_mem=(valor_mem<<1);
        if(SDA_RX==1) valor_mem++; // Si 1 colocamos 1 en el menos
significativo
        while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL esten bajo
    }

    // ENVIAMOS ACK
    SDA_TX=0; // Pongo valor 0
    while(SCL==0) {} // Esperamos a que SCL esten alto
    while(SCL==1) {} // Esperamos a que SCL esten bajo
    SDA_TX=1; // Pongo valor 1

    memoria[direccion_mem]=valor_mem;

    // Introducir aqui *c o para leer m*bytes
    while(!((SCL==1)&(SDA_RX==1))) {} // Esperamos hasta la STOP CONDITION
}
}

```



## 8.5. LÁMPARA IR.



# InfraRed Industrial Heat Incandescent

R125 IR 250W E27 230-250V CL 1CT

The Philips infrared incandescent reflector lamps are designed to work in the toughest environment such as farm, bathroom or kitchen and their nearest surrounding. They have a reinforced construction thanks to hard glass use. Their compact form and universal cap base allow them to be used with any suitable equipment. A very good method of generating warmth is by using heat lamps. The Philips infrared lamps provide direct, draught-free warmth to the animals, people, but also food. These benefits have made farmers, consumers and cooks around the world choose Philips infrared lamps, because they are the sturdiest, most efficient lamps available for these applications.

## Datos del producto

### • Características Generales

Base/Casquillo	E27
Forma de la lámpara	R125 [R 125mm]
Material de la Lámpara	Vidrio duro
Acabado de la Lámpara	Clara
Posición de Funcionamiento	any [Cualquiera o Universal (U)]
Aplicación Principal	Infrared Industrial
Vida Media	5000 hr

### • Características Eléctricas

Pot. de la Lámpara	250 W
Estimada	
Tensión de Red	230-250 V
Regulable	Sí

### • Requerimientos de Diseño Luminaria

Temperatura en el Pinch	275 (max) C
Temperatura de la Lámpara	500 (max) C

### • Características de Dimensiones

Longitud Total C	179 (max) mm
Diámetro D	125 mm

### • Datos Producto

Código de pedido	126498 25
Código de producto	871150012649825
Nombre de Producto	R125 IR 250W E27 230-250V CL 1CT
Nombre de pedido del producto	R125 IR 250W E27 230-250V CL 1CT/10
Piezas por caja	1
Configuración de embalaje	10
Cajas por caja exterior	10
Código de barras del producto	8711500126498
Código de barras de la caja exterior	8711500141019
Código logístico - 12NC	923221943807
Peso neto por pieza	99.200 gr

# PHILIPS

sense and simplicity



## DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe



### 8.6. SOFTWARE MATLAB.

### **Script para toma de medidas:**

```
%Mi código GPIB:
clear all;clc;
delete(instrfind);
tabMed=[];
int medida;
g = visa('ni', 'GPIB0::2::INSTR'); %Creo el objeto GPIB.
fopen(g); %Abro comunicación
i=1;
while(1), %Bucle para tomar medidas
    c=clock; %Tomo nota de la fecha y hora
    v=query(g,':MEAS:VOLT:DC?'); %Tomo una medida V DC
    medida=str2num(v); %La transformo de string a int
    tabMed(i,:)= [medida c 0]; %Guardo medida y fecha en matriz
    tabMed(i,8)=tabMed(i,6)*60+tabMed(i,7)-tabMed(1,6)*60-tabMed(1,7); %Columna
8 segundos = segundos desde comienzo.
    i=i+1;
end
```

### **Script para hacer las gráficas:**

```
plot(tabMed(:,8),tabMed(:,1),'LineWidth',2,'Color',[1 0 0]); %Gráfica V/t
```

### **Script si durante la toma de medidas se ha cambiado de hora\*:**

```
segundos=tabMed(:,5)*3600+tabMed(:,6)*60+tabMed(:,7)-tabMed(1,5)*3600-
tabMed(1,6)*60-tabMed(1,7); %Pasar horas a segundos para cálculo eje X correcto.
```

\* Este script no se incluye en el programa principal porque afecta a la velocidad de toma de medidas. A utilizar antes de ejecutar el comando "Plot" si durante la toma de medidas se ha pasado a la siguiente hora. Ej: comienzo medidas 16:55, final 17:10.

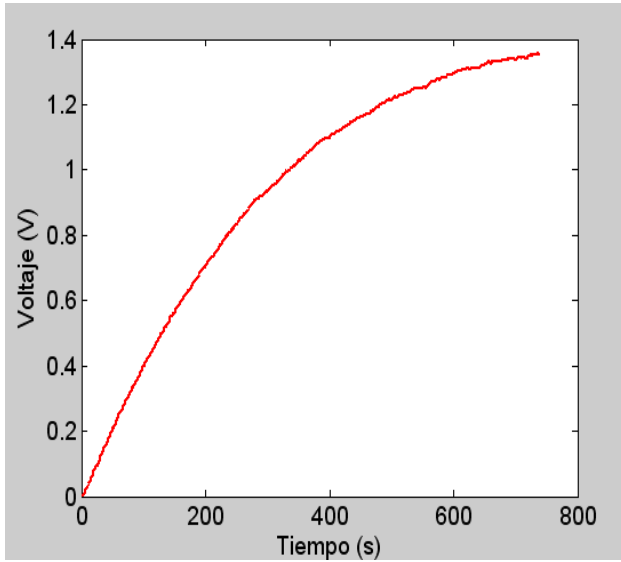


## DETECCIÓN DE FUENTES DE CALOR MEDIANTE BOLÓMETRO INTEGRADO DE SiGe

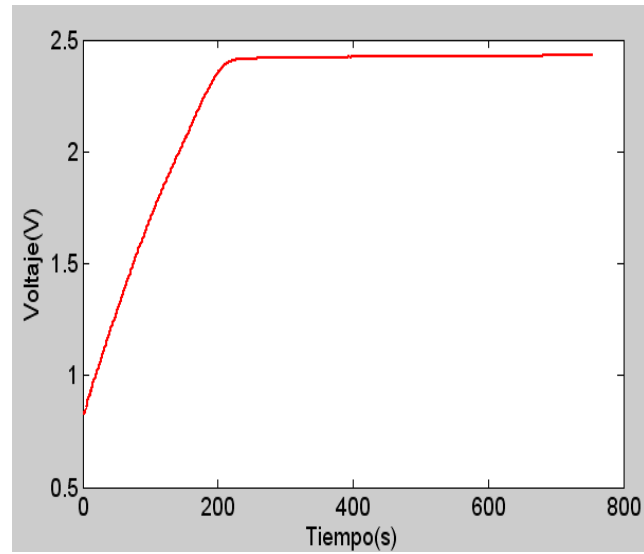


### 8.7. MEDIDAS DE LOS PUENTES.

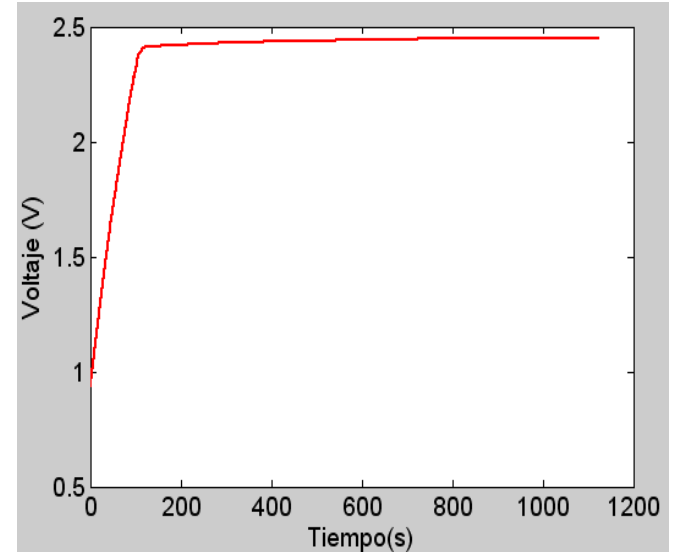
## PUENTE 1.



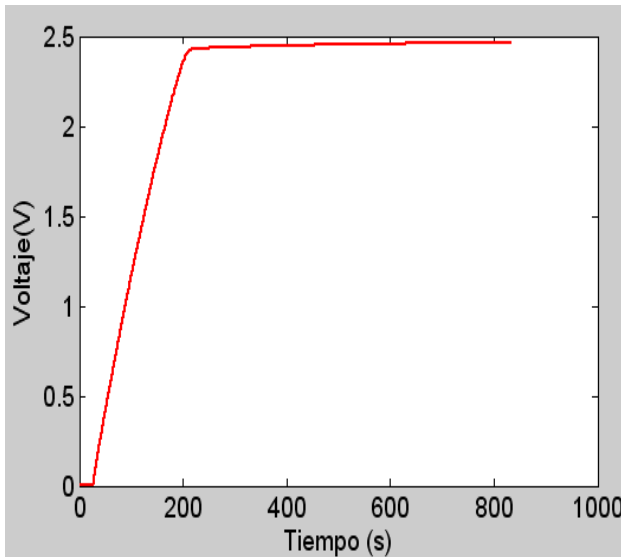
P= 85.4W D=35cm



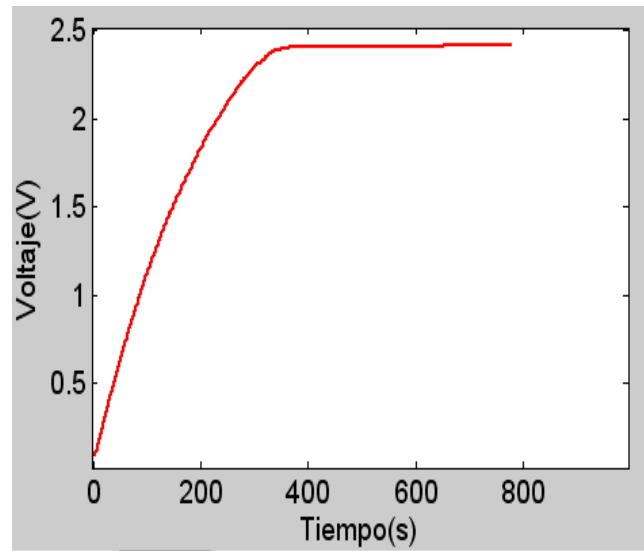
P=139.5W D=35cm



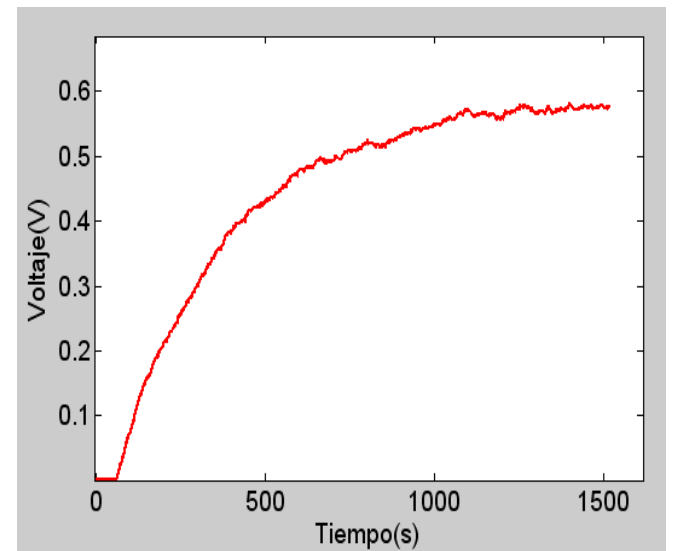
P=193.5W D=35cm



P= 250W D=35cm



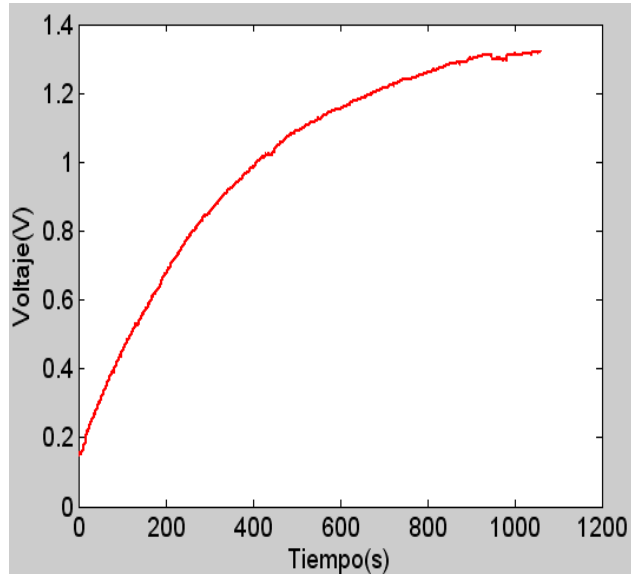
P= 250W D=50cm



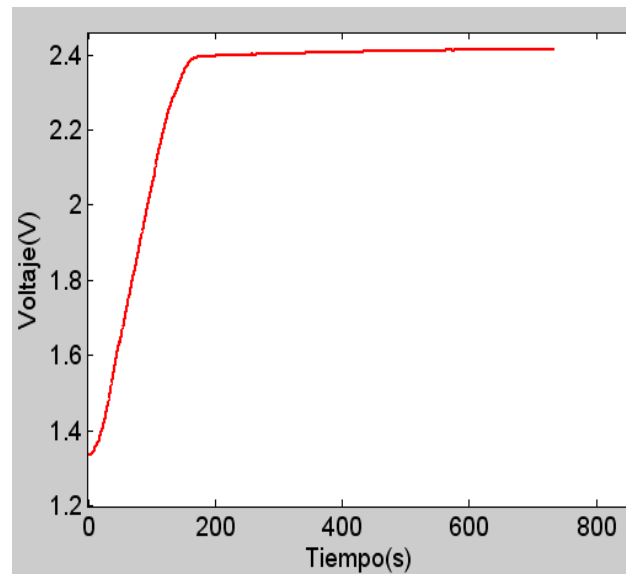
P= 250W D=100cm



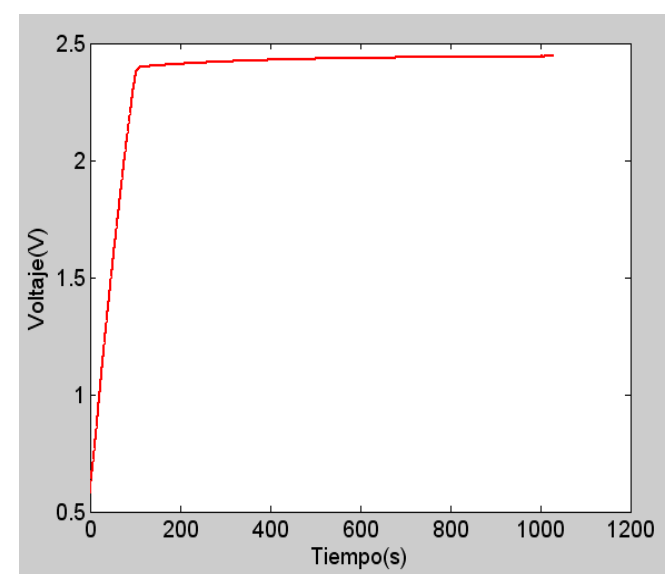
## PUENTE 2.



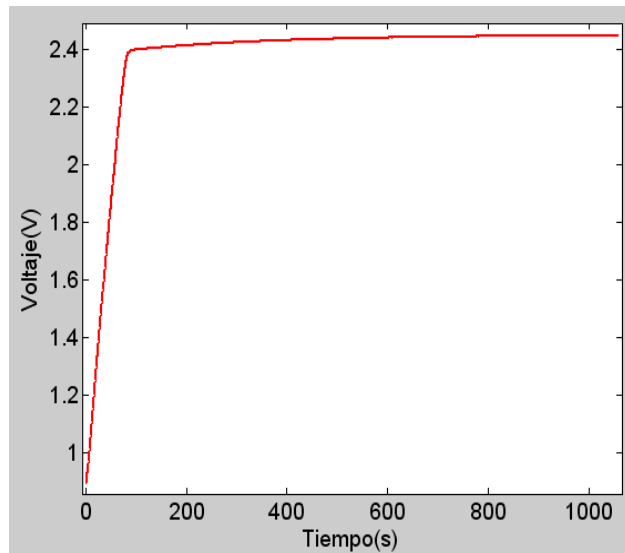
P= 85.4W D=35cm



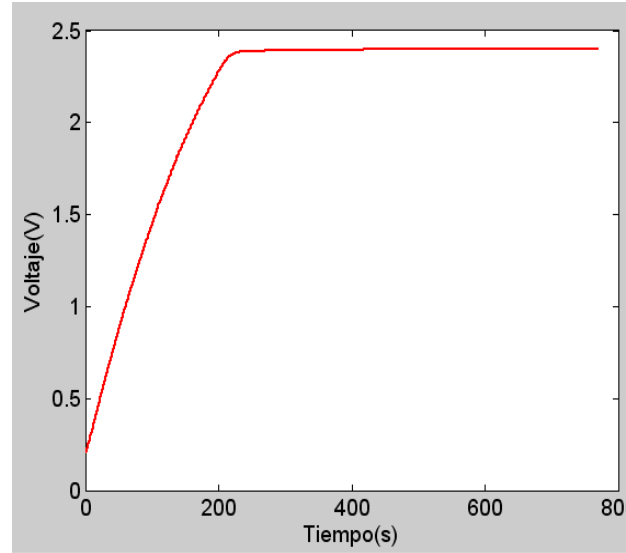
P=139.5W D=35cm



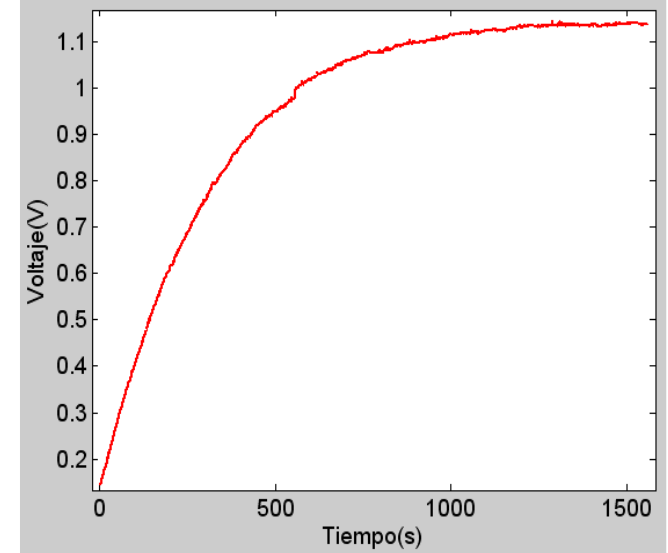
P=193.5W D=35cm



P= 250W D=35cm

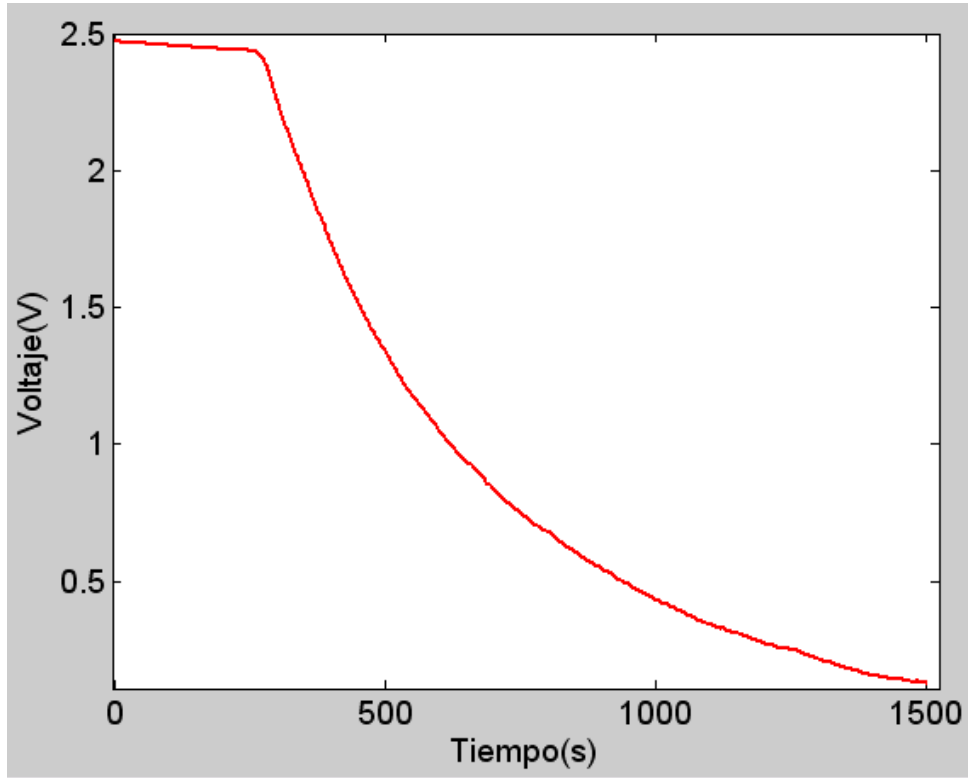


P= 250W D=50cm



P= 250W D=100cm

### DESCONEXIÓN PUENTE 1.



### DESCONEXIÓN PUENTE 2.

