

UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

Medidas Electrónicas I – R4053

ADN 101 IR – Sensor IR de temperatura

Manual Interno Reservado

Integrantes: Fiasche Nahuel – *Leg.:* 1756473

Lugano Damian – *Leg.:* 1756990

Nuñez Ana – *Leg.:* 1756990

Titular: Ing. Perez Gunella Federico

JTP: Ing. Hammer Miguel

Fecha de entrega:

Índice

1	Objetivo del Instrumento	3
1.1	Descripción de la necesidad que satisface el equipo de medición	3
1.2	Características de los parámetros a medir	3
2	Especificaciones del sensor	4
2.1	Características del Sensor IR MLX 90614 DCA	4
2.2	Detalle del principio de funcionamiento del sensor	5
2.3	Compensación de la medición	6
2.4	Módulo GY-906	7
2.5	Sensores descartados	7
3	Desarrollo del equipo	8
3.1	Diagrama en Bloques General del Equipo	8
3.2	Características del Display LCD Nokia 5110	8
3.3	LPC845	9
3.3.1	Diagrama de Flujo del Algoritmo implementado	10
3.4	Diseño circuital	11
3.4.1	Circuito esquemático	11
3.4.2	PCB	11
3.4.3	Lista de Materiales	13
3.5	Gabinete	13
3.5.1	Diseño en 3D y armado	13
4	Cálculo de Incertidumbres	14
5	Proceso de Calibración	16
5.1	Descripción General	16
5.2	Características de los Instrumentos Utilizados	17
5.3	Descripción del Método de Medición	18
6	Resultados de las mediciones	19
6.1	Resultados de la Calibración con el Termómetro de Galio	20
6.2	Resultados de la Calibración con el Termómetro Digital	20
6.3	Incidencia de Factores Externos en la Medición	23
7	Conclusiones	24
8	Anexo 1 – Hojas de Datos	25
9	Anexo 2 – Agradecimientos	25

1 Objetivo del Instrumento

1.1 Descripción de la necesidad que satisface el equipo de medición

Durante la pandemia del COVID-19 surgió la necesidad de reducir el contacto físico al mínimo para evitar la transmisión del virus, especialmente en el ámbito de la medicina, donde se estipularon protocolos para evitar contagios durante el contacto entre médico y paciente. Si bien la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha declarado el fin de la pandemia COVID-19, muchos de los protocolos adoptados se han mantenido debido a su gran eficacia, no sólo para reducir contagios de COVID-19 sino de muchas otras enfermedades.

En el marco de investigación del GIBIO (Grupo de Investigación de Bioingeniería de la UTN FRBA), se propuso hacer un termómetro digital infrarrojo para medir temperatura corporal a pacientes humanos en el canal auditivo. Con este propósito, será necesario que la pieza en forma de pico del instrumento sea intercambiable por piezas desechables, de forma tal de evitar el contacto del termómetro convencional con la piel.

1.2 Características de los parámetros a medir

Para que el termómetro sea funcional, el sensor IR debe medir con precisión en el rango de temperatura del cuerpo humano, que puede oscilar entre 34°C y 42°C en casos extremos, siendo la temperatura corporal normal de un adulto entre 35.5°C y 37°C.

Hipotermia	menor a 35°C
Temperatura corporal normal	Entre 35.5 y 37
Febrícula	37°C y 38°C
Fiebre	38°C y 39.4°C
Fiebre alta	mayor a 39.5°C

Tabla 1.1 - Características de los parámetros a medir

Sin embargo, el sensor IR deberá presentar una incertidumbre menor a 0.5°C ya que, de lo contrario, una medición que dé como resultado 37.5°C±0.5°C no podría aportar información significativa para determinar si el paciente tiene fiebre, debido a que se considera fiebre moderada partir de los 38°C.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, se eligió el sensor MLX90614 DCA fabricado por Melexis, especialmente diseñado para el uso médico por tener una incertidumbre en sus mediciones de ±0.2°C en el rango de temperatura humana.

Es importante destacar que la medición se realizará sobre el tímpano. Estudios [2] muestran que, al medir la temperatura frontal mediante termómetros infrarrojos, los resultados serán producto de la temperatura de la superficie de la piel, no de la temperatura corporal real, una temperatura rondando los 36°C ya podría ser considerada fiebre. Sin embargo, la membrana timpánica tiene el mismo suministro vascular que hace fluir la sangre al hipotálamo, por lo tanto, es el mejor sitio para medir la temperatura central del cuerpo y no se ve afectada a gran escala por los efectos del entorno.

2 Especificaciones del sensor

2.1 Características del Sensor IR MLX 90614 DCA

El MLX90614 es un sensor de temperatura infrarrojo (IR) para mediciones sin contacto empaquetado en un TO-39 y en el que se integra tanto el chip detector termopila sensible a IR (MLX81101), como el circuito integrado de la unidad de procesamiento digital (DSP, MLX90302) especialmente diseñado para procesar la salida del sensor IR.

Gracias al amplificador de bajo ruido, el conversor analógico-digital (ADC) de alta resolución, con 17 bits y un poderoso DSP, se logra una gran precisión y resolución del termómetro. La temperatura calculada, tanto del objeto como ambiente, están disponibles en la RAM del MLX90302 con una resolución de 0.01°C y se pueden acceder mediante el protocolo serial SMBUS, con resolución de 0.02°C, o mediante un PWM de 10 bit con resolución de 0.14°C. El valor de la medición cruda del componente es el promedio de todos los objetos que estén en el campo de visión del mismo.

El encapsulado del sensor que se utiliza es el MLX90614**DCA**, las especificaciones DCA se encuentran en la siguiente tabla:

Especificación	Código	Significado
Alimentación de Tensión	D	3V de precisión médica
Número de termópilas	C	Compensado en gradiente
Opciones de empaquetado	A	Empaquetado estándar

Tabla 2.1 - Especificaciones del Sensor

El **MLX90601xCx** tiene una compensación para gradientes térmicos, los cuales son medidos internamente de manera de compensar las mediciones. De esta manera, la versión xCx es menos sensible a gradientes térmicos, que pueden ser ocasionados por diferencias de temperatura en el empaquetado debido a otros componentes que irradian calor, etc.

Por otro lado, la versión Dxx es una versión específica para aplicaciones médicas, por lo que ofrece una incertidumbre en la medición de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ en el rango de temperatura comprendido entre 36°C y 38°C .

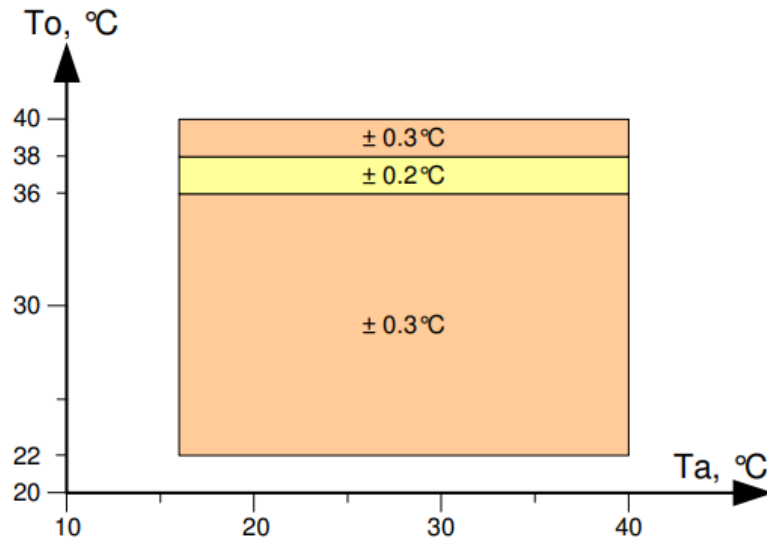


Figura 2.1 - Incertidumbre del sensor MLX 90614 DCA

2.2 Detalle del principio de funcionamiento del sensor

El sistema de operación del MLX90614 es controlado mediante una máquina de estados interna, que controla las mediciones y cálculos de la temperatura del objeto y ambiente, y luego hace el procesamiento posterior de las temperaturas que deben mostrarse mediante el output del PWM o, de la interfaz SMBus.

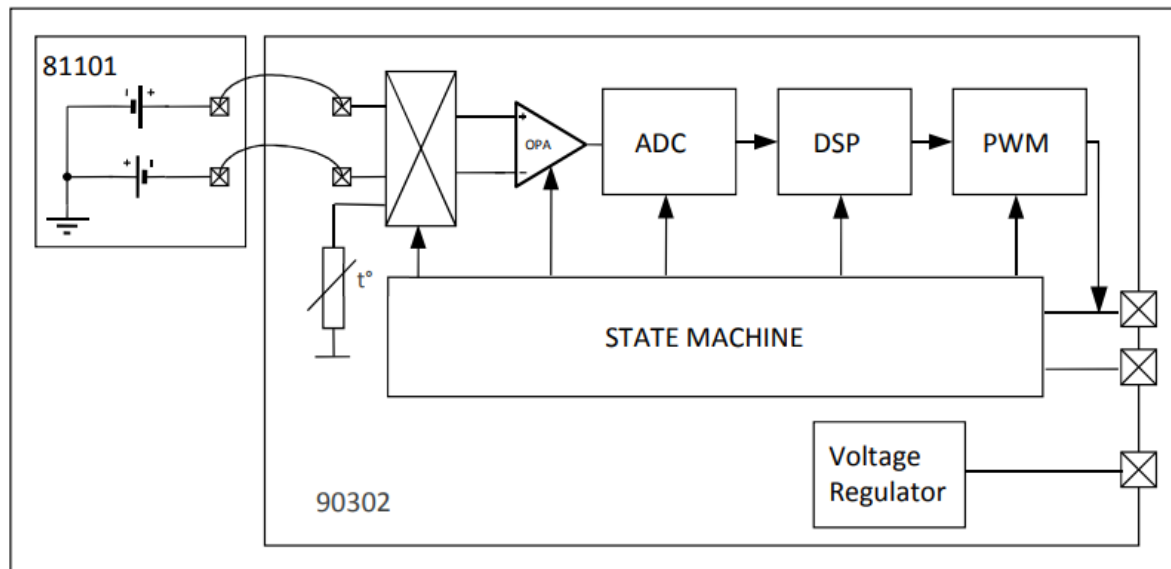


Figura 2.2 - Diagrama en bloques del sensor de temperatura

El sensor IR está compuesto por termopilas conectadas en serie, con uniones frías ubicadas en un chip de sustrato grueso y uniones calientes colocadas sobre una membrana delgada. La radiación infrarroja absorbida por dichas membranas hace que se calienten o se enfríen y un sensor de temperatura integrado se encargará de medir la temperatura del chip. Luego, la salida del sensor IR se amplifica mediante un

amplificador chopper de baja interferencia y desviación de offset, con ganancia programable, que posteriormente se convierte mediante un modulador Sigma Delta a una secuencia de bits y se envía a un potente DSP para su procesamiento adicional. La señal es tratada por un filtro programable FIR y por filtros pasa bajos IIR para reducir aún más el ancho de banda de la señal de entrada, y así lograr el rendimiento de ruido y la frecuencia de barrido deseada. La salida del filtro IIR es el resultado de la medición y se accede mediante la RAM interna. Esta misma, tiene tres celdas disponibles, una para el sensor de temperatura integrado y dos para los sensores infrarrojos. En función de los resultados de las mediciones previamente mencionadas, la temperatura ambiente correspondiente (T_a) y la temperatura del objeto (T_o). Ambas tienen una resolución de 0.01°C . La información de T_a y T_o puede ser leída de dos maneras, leyendo las celdas de RAM dedicadas a este propósito mediante la interfaz de SMBus (resolución de 0.02°C), o mediante la salida digital PWM (resolución de 10 bits, rango configurable).

2.3 Compensación de la medición

En la hoja de datos del sensor se indica que la medición efectuada es dependiente de la tensión de alimentación del sensor y que este está calibrado para una tensión de alimentación de 3V. Por lo tanto, para compensar las variaciones en la lectura de la temperatura, el fabricante provee la siguiente ecuación, en donde VDD es la tensión de alimentación del dispositivo, y T_o la lectura.

$$T_{O_compensated} = T_o - (VDD - VDD_0) \times \text{Typical_dependence} = T_o - (VDD - 3) \times 0.6$$

Es necesario entonces, medir la tensión de alimentación para que luego se efectúe en el procesador dicha corrección. Para realizar la medición, se conectará VDD al ADC mediante un divisor resistivo, que adecúa el nivel de tensión a la mitad del rango del conversor. Esto se hace con el objetivo de no saturar las cuentas del ADC, ya que de otra manera se estaría midiendo V_{ref} .

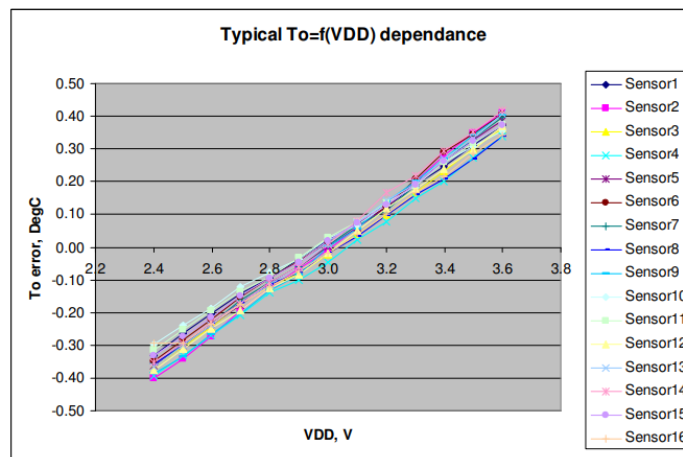
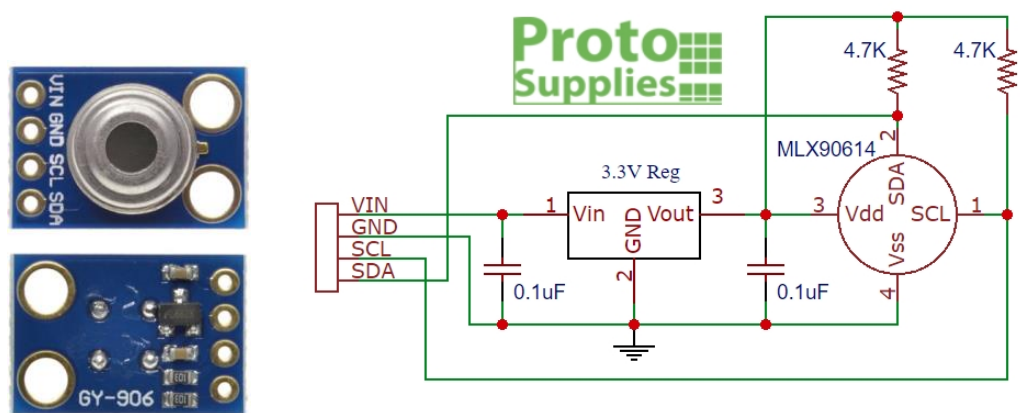


Figura 2.3 - Dependencia Típica de T_o (Temperatura del Objeto) en función de VDD (Tensión de Alimentación)

2.4 Módulo GY-906

El sensor MLX90614DCA se encuentra integrado en una placa pequeña conocida como módulo GY-906. Este módulo incluye un regulador de tensión que convierte 5V a 3.3V y un par de resistencias de 4.7K Ω , necesarias para la comunicación por protocolo I2C.



2.5 Sensores descartados

Durante la investigación sobre sensores de temperatura infrarrojo, se identificó el MLX90601 BAA como uno de los modelos más comunes, compartiendo el mismo principio de funcionamiento que el DCA. No obstante, se observó que este sensor tiene una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y carece de compensación a gradientes de temperatura. Por consiguiente, se determinó que no era la elección más adecuada para la aplicación propuesta.


	Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code	Standard part	Packing form
	MLX90614	E (-40°C...85°C) K (-40°C...125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)	-000	-TU
	(1) Supply Voltage/ Accuracy		(2) Number of thermopiles:		(3) Package options:	
	A - 5V B - 3V C - Reserved D - 3V medical accuracy		A - single zone B - dual zone C - gradient compensated*		A - Standard package B - Reserved C - 35° FOV D/E - Reserved F - 10° FOV G - Reserved H - 12° FOV (refractive lens) I - 5° FOV K - 13°FOV	

Figura 2.4 – Características del sensor descartado

3 Desarrollo del equipo

3.1 Diagrama en Bloques General del Equipo

La medición realizada por el sensor se transmite mediante el protocolo SMBus (I2C) y es interpretada por el LPC845-BRK, un sistema embebido con un procesador CORTEX-M0. Tras el análisis de los datos, el procesador envía el resultado de la medición al display LCD Nokia 5110 mediante el protocolo SPI.

Con el objetivo de facilitar la comercialización del equipo, se optó por alimentarlo con una batería de 9V. Posteriormente, utilizando una fuente Step-Down LM2596, se reduce la tensión a niveles necesarios. Además, el dispositivo incorpora un botón para llevar a cabo la medición y un interruptor de encendido y apagado.

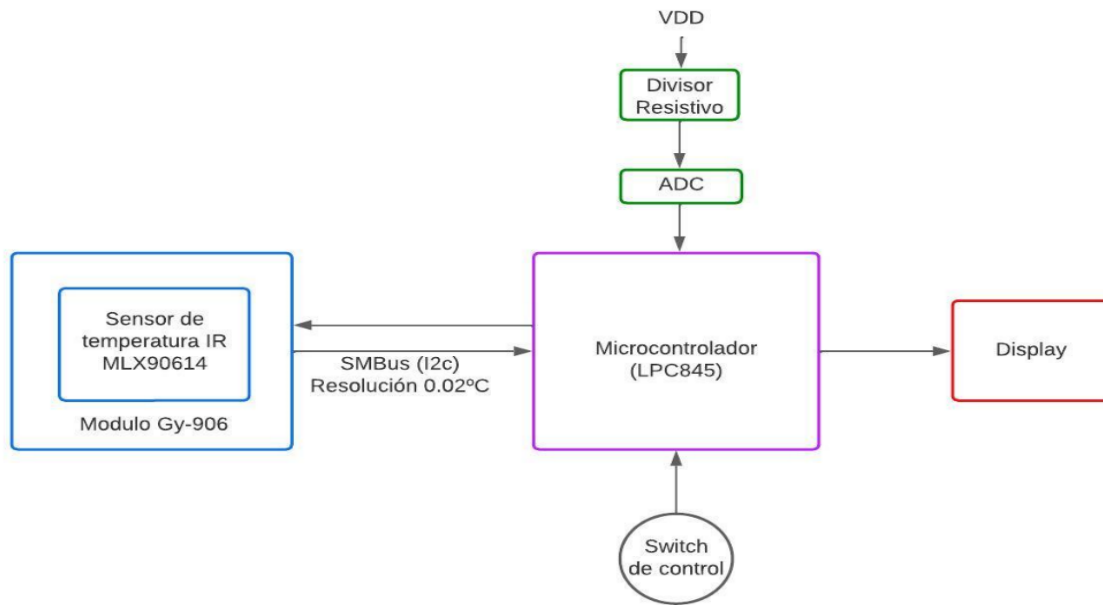


Figura 3.1 - Diagrama en Bloques General del Equipo

3.2 Características del Display LCD Nokia 5110

El display LCD Nokia 5110 es una pantalla monocromática de 48x84 píxeles, con retroiluminación LED blanca y tecnología de cristal líquido (LCD). Utiliza el controlador PCD8544 y se conecta a través de una interfaz SPI, lo que permite la comunicación con microcontroladores y otros dispositivos.



Figura 3.2- Display LCD Nokia 5110

3.3 LPC845

El LPC845-BRK, es un sistema embebido de NXP, que cuenta con un procesador CORTEX-M0, capaz de interpretar los protocolos I2C y SPI y un ADC de 12 bits, entre otros periféricos.

A continuación, el pinout del microcontrolador y como se asignaron sus pines para conectar los periféricos:

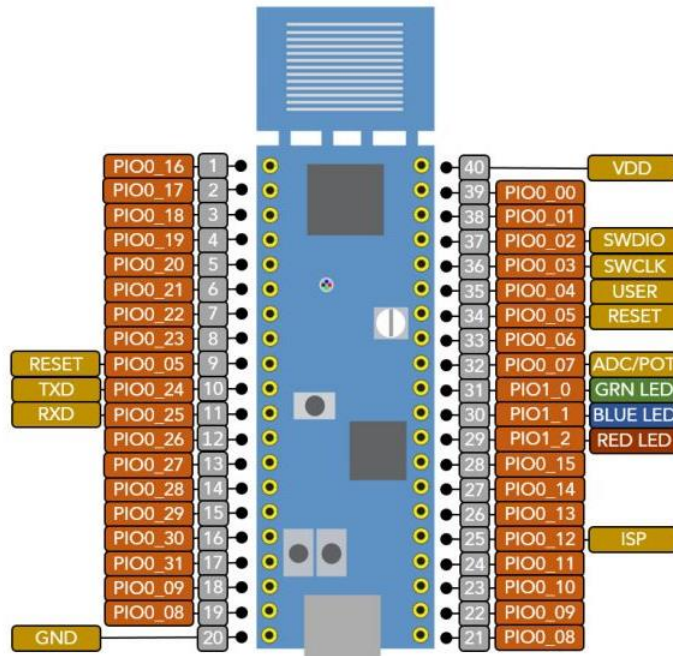
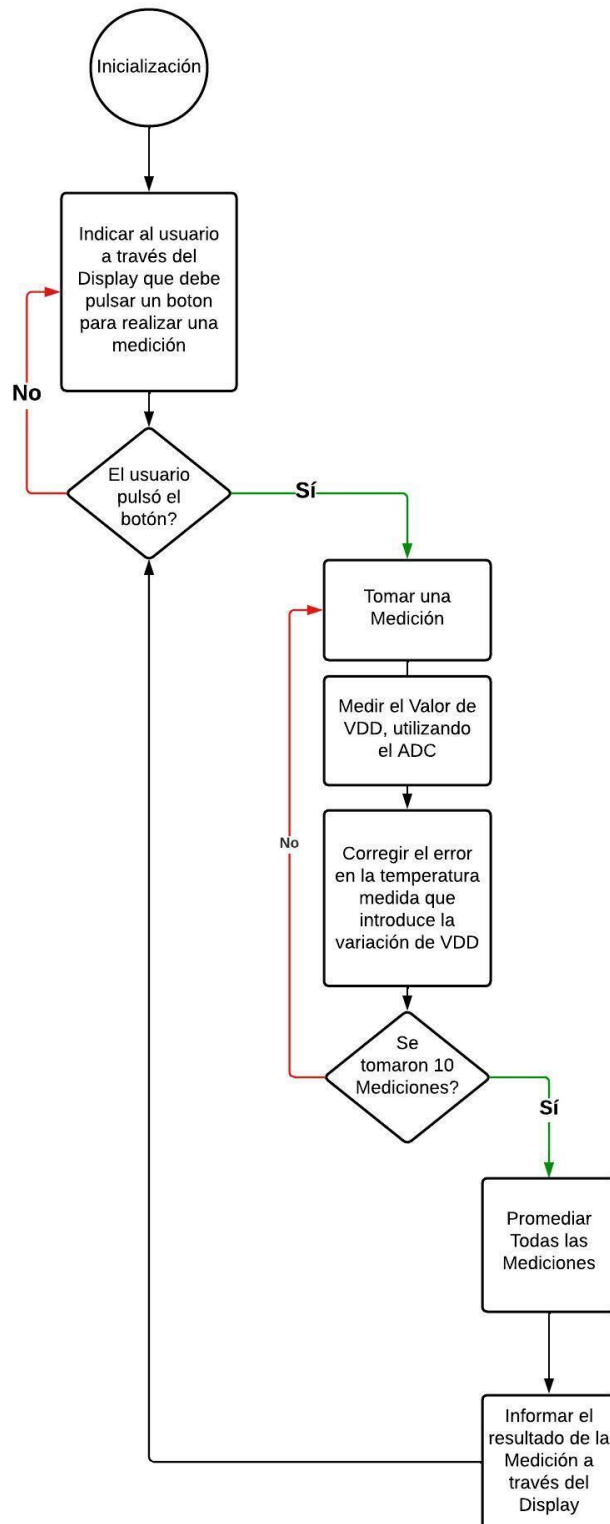


Figura 3.3 – Pin out del LPC845-BRK

Pin	Descripción
Display	
Pin 1 – PIO0_16	SPI0_SCK
Pin 2 – PIO0_17	SPI0_MOSI
Pin 3 – PIO0_18	SPI0_SSSEL
Pin 4 – PIO0_19	RST
Pin 5 – PIO0_20	DCE
Pin 6 – PIO0_21	LED
Sensor	
Pin 23 – PIO0_10	CLK
Pin 24 – PIO0_11	DATA
Botón	
Pin 12 – PIO0_26	BOTON

3.3.1 Diagrama de Flujo del Algoritmo implementado



Una vez que los periféricos han sido inicializados, el programa entra en un estado de espera, aguardando que el usuario presione el botón para iniciar la medición. Luego de ser activado, el algoritmo lleva a cabo un promedio de 10 mediciones adquiridas por el sensor, las cuales han sido previamente compensadas por el error introducido por la variación de VDD. El resultado final se exhibe en el display hasta que se presiona nuevamente el botón.

Figura 3.4 - Diagrama de Flujo del Algoritmo Implementado

3.4 Diseño circuital

Para realizar el esquemático y el PCB del circuito, se utilizó la herramienta de diseño de circuitos impresos *Altium*.

3.4.1 Circuito esquemático

A continuación, se adjunta el circuito esquemático del instrumento.

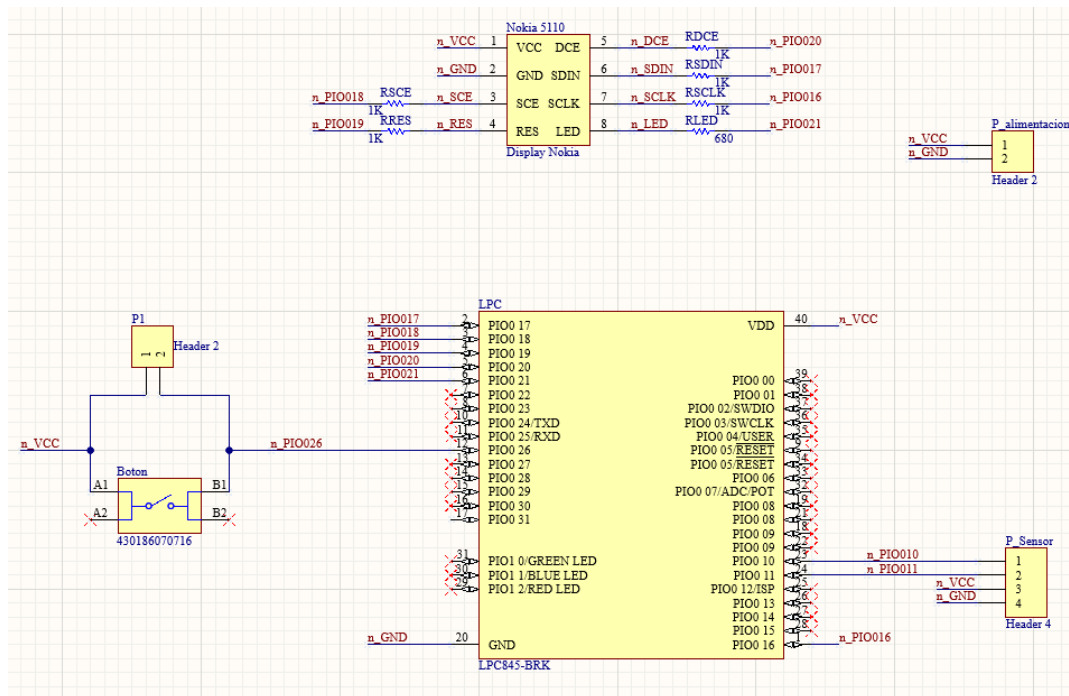


Figura 3.5 – Circuito esquemático

3.4.2 PCB

Durante el proceso de diseño del PCB, se priorizó la optimización del espacio para evitar que el gabinete fuera innecesariamente grande o incómodo. En este sentido, se dispuso el display y el microcontrolador de manera superpuesta en distintas capas, contribuyendo así a una utilización más eficiente del espacio disponible.

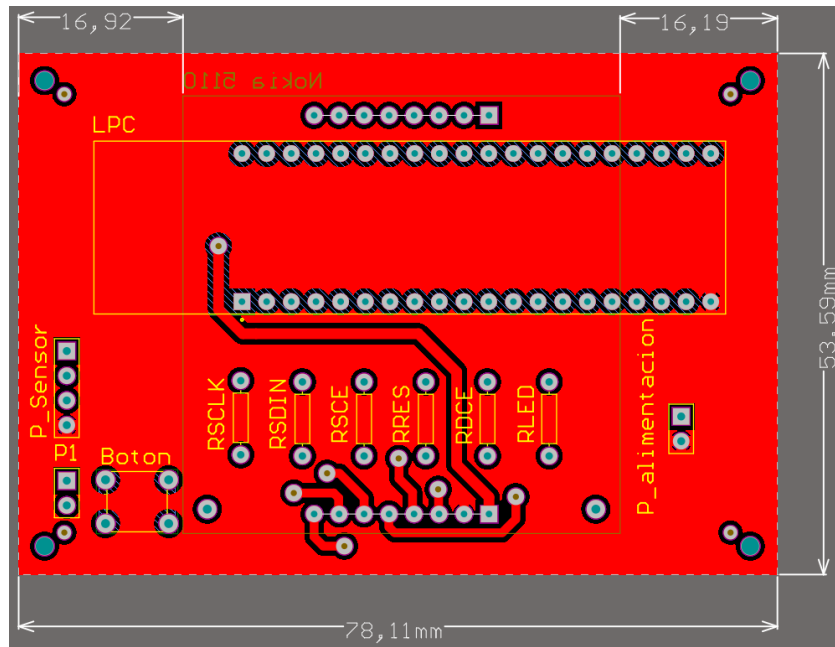


Figura 3.6 - Top view

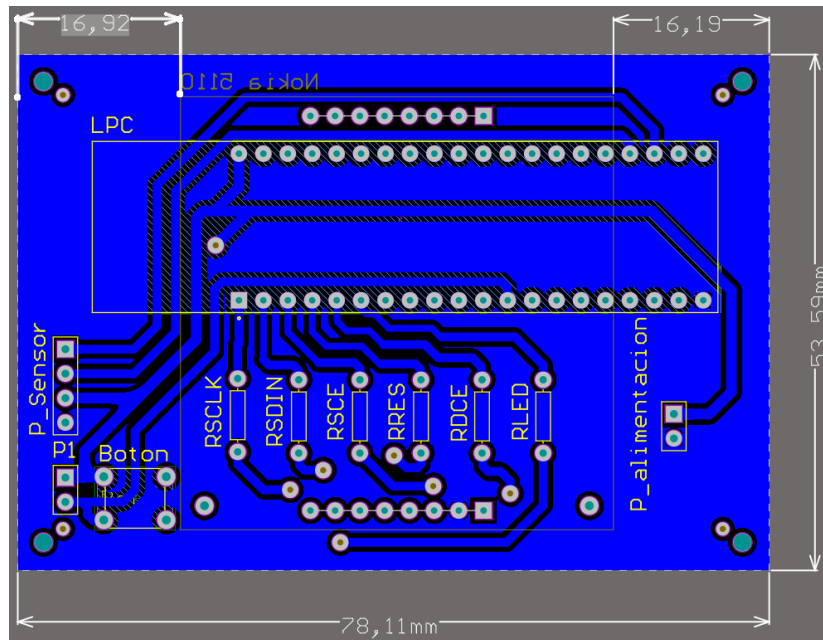


Figura 3.7 - Bottom view

3.4.3 Lista de Materiales

A continuación, se detalla la lista de materiales necesarias para el armado del circuito impreso y su alimentación:

Descripción	Cantidad
LPC 845 BRK	1
LCD Nokia 5110	1
MLX 90614 DCA	1
Resistencia 1K	6
Pinera Hembra 20 pines 2 mm	2
Pinera Hembra 4 pines 2 mm	1
Pinera Hembra 2 pines 2 mm	1
Bornera de Alimentación – 2 terminales	2
Regulador de Tensión Step Down LM 2596	1
Batería 9V	1
Botón	1
Interrupto ON/OFF	1

3.5 Gabinete

Con el propósito de simplificar el uso del instrumento, fue esencial diseñar un prototipo de gabinete. Durante este proceso, se consideró fundamental que la sección que alberga el sensor tenga una forma cónica para facilitar su inserción en el oído y que sea posible colocarle una pieza descartable para hacer las mediciones. Además, se realizaron aberturas estratégicas para alojar el display, el botón de activación de la medición y el interruptor de encendido y apagado. Adicionalmente, se incorporó una tapa en la zona del módulo de alimentación del instrumento, permitiendo así el intercambio de la batería de 9V en caso de agotamiento.

3.5.1 Diseño en 3D y armado

El diseño del gabinete se llevó a cabo utilizando el programa OnShape con la finalidad de imprimirlo en 3D utilizando material PLA. El conjunto constó de cuatro piezas: Tapa superior, Tapa inferior, Pico y Tapa para la batería. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

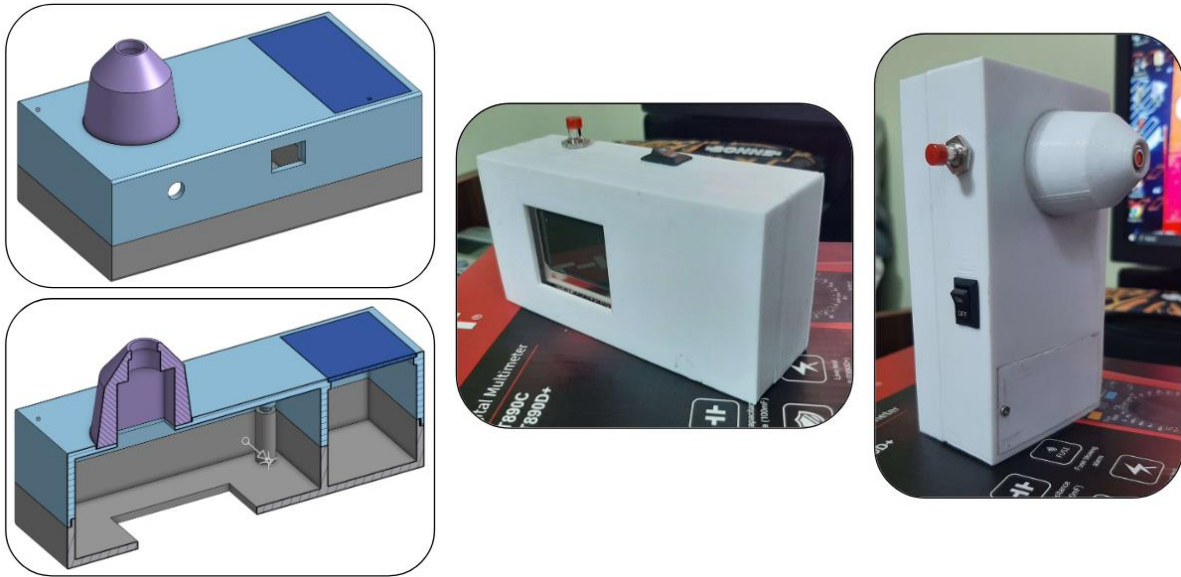


Figura 3.8 – Diseño en 3D y armado del gabinete

4 Cálculo de Incertidumbres

Como se mencionó anteriormente, la medición tomada por el sensor es compensada en el software por el error introducido por la variación de VDD. Para ello, se midió VDD con el ADC mediante un divisor resistivo que adecúa el nivel de tensión a la mitad del rango del conversor. Por lo tanto, es necesario calcular la incertidumbre inherente de medir VDD con el ADC y su repercusión en el resultado final de la temperatura.

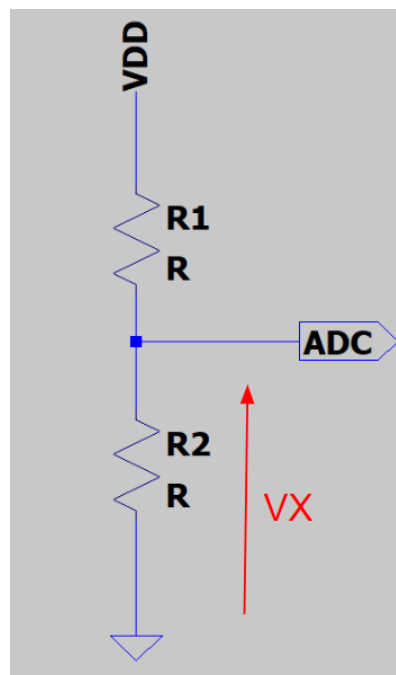


Figura 4.1 - Circuito para medir VDD

Para ello, se partirá de la ecuación que provee el fabricante:

$$T_{o_{comp}} = T_o - (V_{DD} - 3V) \times 0.6$$

Siendo la incertidumbre de $T_{o_{comp}}$:

$$\mu(T_{o_{comp}}) = \sqrt{[C1 \mu(T_o)]^2 + [C2 \mu(V_{DD})]^2}$$

Por un lado, la incertidumbre propia del sensor para distintos rangos de temperatura:

$$\mu(T_o)|_{36^\circ C < T_o < 38^\circ C} = 0,2^\circ C \quad y \quad \mu(T_o)|_{36^\circ C > T_o > 38^\circ C} = 0,3^\circ C$$

Por otro lado, la incertidumbre por medir V_{DD} :

$$V_{DD} = 2 V_X$$

$$V_X = \frac{V_{ref} C_x}{2^{12}} = V_{DD} \frac{R2}{R1 + R2}$$

Entonces:

$$\mu_R(V_{DD}) = \mu_R(V_X) = \sqrt{\mu(V_{ref})^2 + \mu_R(C_x)^2}$$

Para el caso de las cuentas, $R1 = R2 = 9K1\Omega \pm 1\%$ y $V_{ref} = V_{DD}$. Por lo tanto:

$$C_x = \frac{R2}{R1 + R2} 2^{12}$$

$$\mu_R(C_x) = \sqrt{\mu_R(R1)^2 + \mu_R(R2)^2} = 1,414\%$$

En cuanto a V_{ref} , se caracterizó su error aleatorio y se calculó su incertidumbre. Para ello, se hicieron 10 mediciones de V_{ref} , a partir de las cuales se calculó su desvío estándar y su promedio.

La medición de tensión se efectuó con el multímetro UNIT-T modelo UT890C, en el pin de VDD del microcontrolador que, para este sistema embebido, es la misma que la tensión de referencia del ADC. Por otro lado, también se midió la tensión de la batería en carga y la tensión de salida de la fuente:

$$V_{Bateria} = 8,41V \quad y \quad V_{out reg} = 3,301V$$

Mediciones [V]	3,286	3,28	3,283	3,286	3,285	3,284	3,283	3,284	3,287	3,286
----------------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

1. DCV Measurement

Range	Resolution	Accuracy
600. 0mV	0. 1mV	$\pm (0. 5\%+5)$
6. 000V	0. 001V	$\pm (0. 5\%+2)$

Figura 4.2 – Características de voltímetro en DC del UT890C

Cant. mediciones	Promedio Vm [V]	$\mu_i(Vm)$ [V]	$\mu_j(Vm)$ [V]	$\mu_c(Vm)$ [V]	$\mu_r(Vm)$ %
10	3,2844	0,000619677	0,018422	0,021307967	0,64876284

Por lo tanto $\mu_R(V_{ref}) = 0,65\%$

A partir de estos resultados, se calculó:

$$\mu_R(V_{DD}) = \mu_R(V_X) = \sqrt{(1,414\%)^2 + (0,65\%)^2} = 1,56\%$$

Siendo:

$$\mu(V_{DD}) = \frac{1,56\%}{100\%} \times 3,3V = 51,356mV$$

Por último, volviendo a la expresión inicial:

$$T_{o_{comp}} = T_o - (V_{DD} - 3V) \times 0.6$$

$$\mu(T_{o_{comp}}) = \sqrt{[C1 \mu(T_o)]^2 + [C2 \mu(V_{DD})]^2}$$

$$C1 = \frac{\partial T_{o_{comp}}}{\partial T_o} = 1 \quad y \quad C2 = \frac{\partial T_{o_{comp}}}{\partial V_{DD}} = 0,6$$

Por lo tanto:

$$\mu(T_{o_{comp}}) = \sqrt{[\mu(T_o)]^2 + (0,6 \cdot 51,356mV)^2}$$

$$\mu(T_{o_{comp}}) |_{36^\circ C < T_o < 38^\circ C} = 0,202358808^\circ C$$

$$\mu(T_{o_{comp}}) |_{36^\circ C > T_o > 38^\circ C} = 0,301577663^\circ C$$

La incertidumbre final de la temperatura medida resulta:

$$\mu(T_{o_{comp}}) |_{36^\circ C < T_o < 38^\circ C} = 0,20^\circ C$$

$$\mu(T_{o_{comp}}) |_{36^\circ C > T_o > 38^\circ C} = 0,30^\circ C$$

5 Proceso de Calibración

5.1 Descripción General

Para determinar si un instrumento está correctamente calibrado, se deben comparar las mediciones que realiza, con las mediciones de otro instrumento patrón, que debe tener una incertidumbre al menos diez

veces menor a la del instrumento que se va a calibrar. Para verificar la calibración del instrumento, es necesario asegurarse de que el valor indicado por el instrumento patrón, junto con su incertidumbre, esté contenido dentro del rango definido por el valor indicado por el instrumento a calibrar y su incertidumbre.

Sin embargo, no fue posible conseguir un termómetro patrón con una incertidumbre que cumpla con las condiciones descriptas anteriormente. Por lo que, para llevar a cabo la calibración del instrumento, se utilizaron dos termómetros distintos.

Es importante destacar que ambos termómetros tienen un principio de medición distinto al instrumento a calibrar.

5.2 Características de los Instrumentos Utilizados

El primero de los instrumentos, es un termómetro analógico de Galio Exatherm, con una incertidumbre de 0.1°C . A pesar de su baja incertidumbre, por su principio de funcionamiento, este demora al menos un minuto en realizar cada medición, y conlleva un esfuerzo físico bajar el Galio al bulbo. Además, por ser analógico, se agrega un error de lectura a la medición, por lo tanto, su objetivo principal fue verificar que el instrumento funcione correctamente antes de utilizar el segundo termómetro.



Figura 5.1 - Termómetro de Galio Exatherm

El segundo termómetro, utilizado como instrumento patrón, fue un termómetro digital TMP BTA, de la marca Vernier, provisto por el laboratorio de Física de la Universidad de Favaloro. Dicho instrumento se trata de un termistor NTC de $20\text{K}\Omega$, que presenta una incertidumbre de 0.2°C y una resolución de 0.03°C . Además, cuenta con un programa capaz de modificar el tiempo de medición y su resolución, minimizando el posible error de lectura que presenta el termómetro de Galio. Debido a que el instrumento patrón tiene la misma incertidumbre que el equipo a calibrar, se considera que el instrumento se encuentra calibrado, si contiene dentro de su intervalo de incertidumbre el valor indicado por el instrumento patrón.

Para más información acerca del patrón referirse a su hoja de datos ([Anexo 1](#))



Figura 5.2 – Termómetro digital Vernier

5.3 Descripción del Método de Medición

Como objeto de medición se utilizó agua por la facilidad de llevar su temperatura al rango de medición necesario y porque permite realizar mediciones tanto con los termómetros de contacto como con el IR. Por otro lado, es necesario controlar el gradiente térmico que se da por el intercambio con la temperatura ambiente, por lo que, para realizar las mediciones, se colocó en un recipiente térmico metálico.

A continuación, se describe el proceso de calibración utilizado

- ✓ Calentar el agua a 41°C aproximadamente
- ✓ Colocar el agua en un recipiente térmico
- ✓ Agitar suavemente el agua con una cuchara plástica, a fin de homogeneizar su temperatura
- ✓ Realizar la medición con el instrumento a calibrar
- ✓ Realizar la medición con el instrumento patrón, que debe estar colocado sobre la superficie del agua

Se repiten los últimos tres pasos tantas veces como sea necesario, y se registran los resultados obtenidos.

Luego de varias mediciones, se comprobó empíricamente que el sensor IR devuelve un valor de temperatura más cercano al del termómetro de Galio cuando se coloca a una distancia de entre 2 y 3 centímetros de la superficie del agua. Si esta conclusión se traspola a la medición en una situación real, el instrumento deberá estar lo más cerca posible del tímpano al introducirse al canal auditivo.



Figura 5.3 – Representación del set up de medición

6 Resultados de las mediciones

Como primera instancia, se realizó un análisis de la incertidumbre tipo A de la medición con el termómetro IR. Para esto, se obtuvieron los resultados de las diez mediciones que se promedian en el programa y se obtuvo su desvío standard. Finalmente, la incertidumbre tipo A se calcula de la siguiente manera:

$$\mu_i = \frac{\sigma}{\sqrt{10}}$$

En la siguiente tabla, se puede observar que la incertidumbre tipo A obtenida fue de más de dos órdenes menor que la incertidumbre tipo B indicada por el fabricante. Es por esto por lo que se descartó para la calibración del equipo.

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	SD	μi
41,312	41,313	41,313	41,313	41,312	41,313	41,312	41,313	41,312	41,313	0,00047	0,00015
40,672	40,672	40,673	40,673	40,672	40,673	40,672	40,673	40,673	40,673	0,00047	0,00015
40,472	40,472	40,473	40,472	40,473	40,473	40,472	40,473	40,472	40,473	0,00048	0,00015
39,933	39,933	39,931	39,932	39,933	39,933	39,932	39,933	39,932	39,932	0,00064	0,00020
39,672	39,673	39,671	39,672	39,673	39,673	39,672	39,673	39,672	39,672	0,00062	0,00020
39,552	39,553	39,552	39,553	39,551	39,554	39,552	39,554	39,553	39,553	0,00087	0,00028
39,013	39,013	39,013	39,013	39,012	39,013	39,012	39,013	39,012	39,014	0,00058	0,00018
38,932	38,932	38,933	38,931	38,933	38,932	38,932	38,933	38,932	38,934	0,00077	0,00024
38,753	38,752	38,753	38,752	38,752	38,754	38,752	38,751	38,754	38,751	0,00099	0,00031
38,433	38,433	38,432	38,433	38,432	38,432	38,432	38,434	38,432	38,434	0,00076	0,00024
37,833	37,833	37,833	37,832	37,833	37,833	37,833	37,832	37,832	37,833	0,00044	0,00014
37,333	37,333	37,332	37,333	37,333	37,332	37,332	37,333	37,332	37,333	0,00047	0,00015
36,991	36,993	36,993	36,992	36,992	36,993	36,992	36,993	36,993	36,992	0,00064	0,00020
36,852	36,854	36,853	36,853	36,852	36,852	36,853	36,852	36,853	36,853	0,00062	0,00020
36,693	36,692	36,693	36,692	36,694	36,693	36,692	36,693	36,692	36,693	0,00062	0,00020
36,293	36,292	36,291	36,293	36,292	36,292	36,291	36,293	36,293	36,293	0,00076	0,00024

35,752	35,753	35,752	35,752	35,752	35,752	35,754	35,753	35,753	35,753	0,00064	0,00020
35,592	35,592	35,591	35,592	35,592	35,593	35,593	35,593	35,592	35,592	0,00062	0,00020

Tabla 6.1 – Incertidumbre tipo A

6.1 Resultados de la Calibración con el Termómetro de Galio

Aplicando el método descrito anteriormente, se realizó una primera calibración con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del instrumento, es decir, comprobar que no hubiera errores evidentes antes de proceder con la calibración utilizando el termómetro patrón. A continuación, se sintetizan los resultados obtenidos.

Medición termómetro analógico [°C]	Medición con el termómetro IR [°C]	Diferencia [°C]
41,4	41,313	0,087
40,5	40,673	-0,173
40,6	40,472	0,128
40	39,932	0,068
39,8	39,672	0,128
39,6	39,553	0,047
39,05	39,013	0,037
39	38,932	0,068
38,9	38,752	0,148
38,5	38,433	0,067
38	37,833	0,167
37,5	37,333	0,167
37,1	36,992	0,108
36,85	36,853	-0,003
36,7	36,693	0,007
36,3	36,292	0,008
35,8	35,753	0,047
35,5	35,592	-0,092

Tabla 6.2 – Primer calibración con el termómetro de Galio

Al realizar el análisis de los resultados obtenidos, se observa que la diferencia entre el valor indicado por el termómetro de Galio y el valor informado por el display del termómetro IR es menor a 0.2 °C, por lo que se puede realizar la medición con el patrón digital.

6.2 Resultados de la Calibración con el Termómetro Digital

Una vez verificado el correcto funcionamiento del termómetro IR, se realizó una serie de mediciones con el termómetro patrón proporcionado por el Laboratorio de física de la Universidad de Favaloro a la par del termómetro IR.

Para facilitar la lectura, a continuación, se adjuntan los gráficos realizados para el análisis de los resultados obtenidos. Cabe destacar que, dado que el termómetro patrón tiene la misma incertidumbre que el termómetro a calibrar, se busca que el resultado de la medición con el patrón se encuentre contenida en la medición con el instrumento a calibrar y su incertidumbre. Por este motivo, se grafica el valor obtenido en la medición de ambos instrumentos, pero la incertidumbre del instrumento a calibrar únicamente.

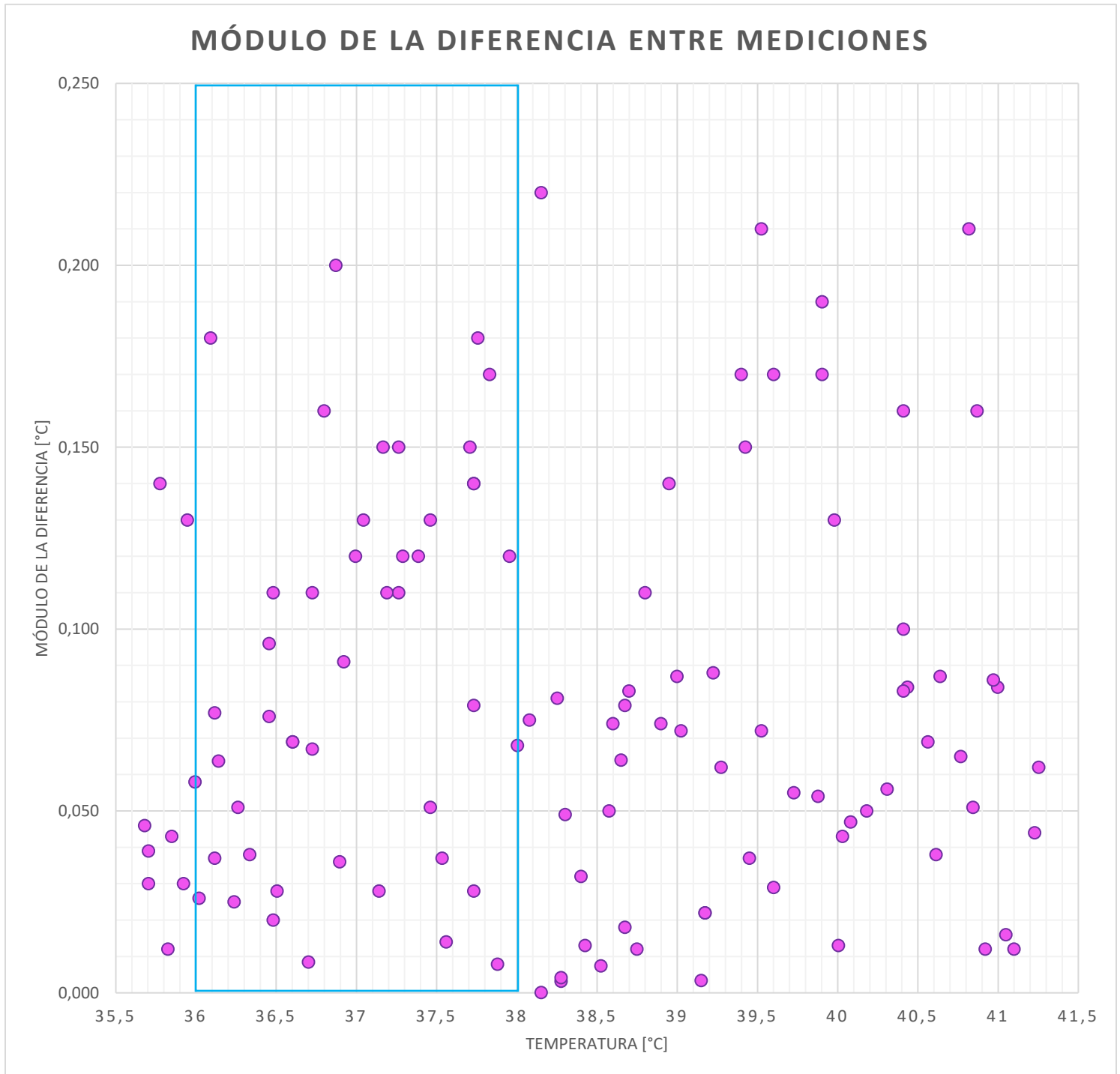


Figura 6.1 - Módulo de la diferencia entre las mediciones con el termómetro patrón y el termómetro IR

RELACION ENTRE LOS VALORES TOMADOS CON LOS DOS TERMÓMETROS EN FUNCION DEL TIEMPO

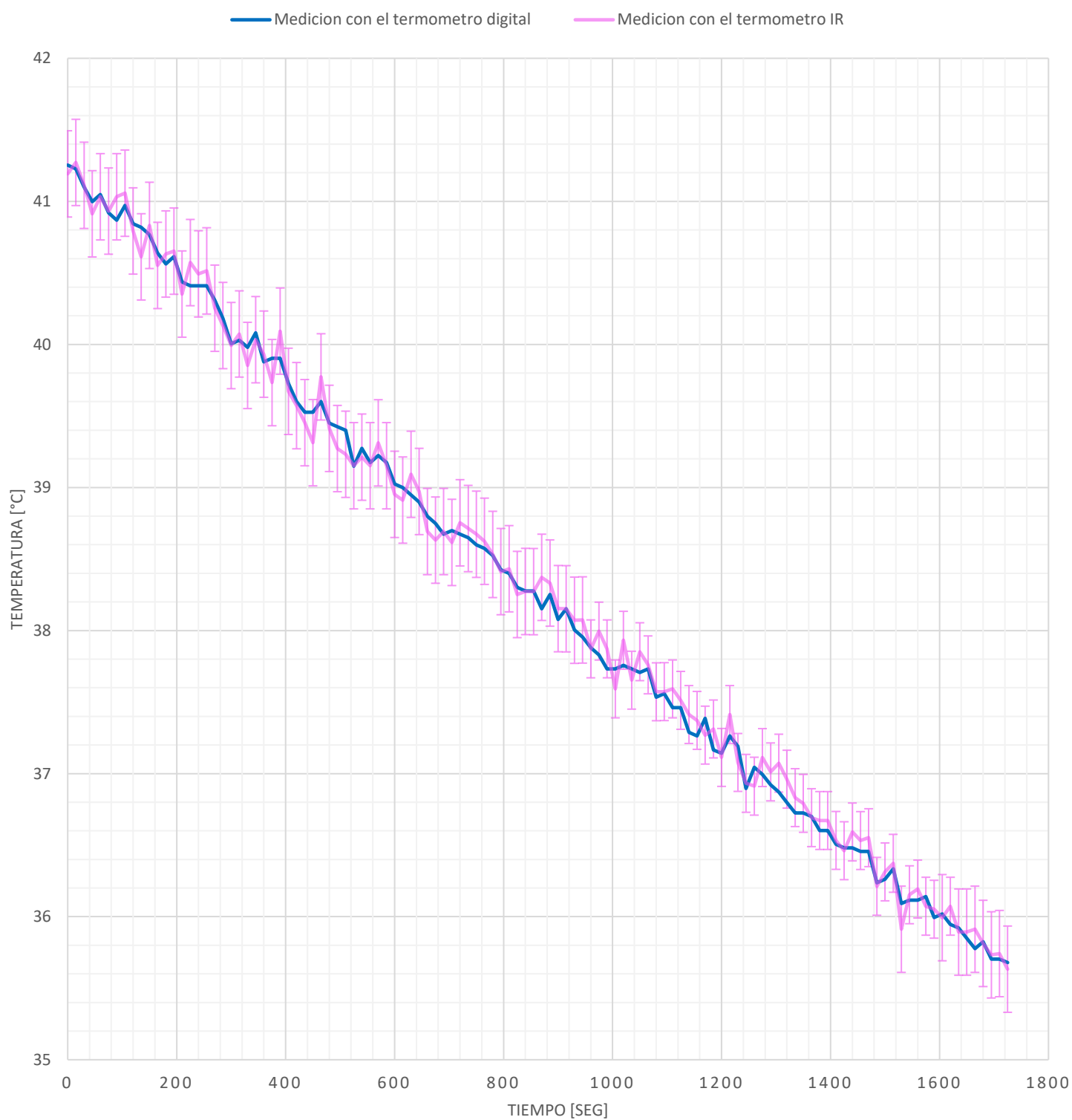


Figura 6.2 - Relación entre los resultados de ambas mediciones

En la *Figura 6.1* se puede observar que, en el rango entre 36°C y 38°C, la peor medición tuvo una diferencia de 0.2°C respecto al patrón y en el resto de los valores no supera los 0.3°C, corroborando lo especificado para cada rango de temperaturas en la hoja de datos del sensor. Por otro lado, en la *Figura 6.2* se puede observar, que efectivamente el resultado de la medición con el patrón está contenido por la incertidumbre del instrumento a calibrar, es decir, el instrumento se encuentra calibrado.

6.3 Incidencia de Factores Externos en la Medición

Finalmente, se analizó la incidencia de factores externos en la medición con el objetivo de analizar si el instrumento presenta variaciones en las mediciones al medir en una situación distinta de la ideal. En particular, se analizarán los casos de que la medición sea realizada con presencia de luz solar, con diferentes tensiones de alimentación y con el lente sucio. Además, se realiza una medición en el otro extremo del rango de temperatura ambiente para la cual el sensor presenta, según el fabricante, la misma incertidumbre que para 20°C.

Dado que varias de estas condiciones no se podían lograr en la Universidad de Favaloro, se utilizó el termómetro de Galio como patrón. Se analizó el módulo de la diferencia entre el valor indicado por el patrón, y el instrumento a calibrar. Los resultados obtenidos se sintetizan en la siguiente tabla:

Temperatura ambiente	¿Hay luz solar?	Tension de alimentación	¿Esta sucio el lente?	Medicion Termometro analógico	Medicion Termometro IR	Módulo de la diferencia
30°C	No	3,3 V	No	40,5	40,481	0,019
30°C	No	3,3 V	No	39,1	39,094	0,006
30°C	No	3,3 V	No	38,2	38,274	0,074
30°C	No	3,3 V	No	37	37,001	0,001
30°C	No	3,3 V	No	36,5	36,552	0,052
30°C	No	3,3 V	No	35,4	35,555	0,155
20°C	Si	3,3 V	No	40,75	40,733	0,017
20°C	Si	3,3 V	No	39,6	39,633	0,033
20°C	Si	3,3 V	No	38,8	38,772	0,028
20°C	Si	3,3 V	No	37,8	37,872	0,072
20°C	Si	3,3 V	No	36,8	36,772	0,028
20°C	Si	3,3 V	No	35,9	35,872	0,028
20°C	No	3 V	No	40,35	40,433	0,083
20°C	No	3 V	No	39,6	39,633	0,033
20°C	No	3 V	No	38,35	38,313	0,037
20°C	No	3 V	No	37,35	37,332	0,018
20°C	No	3 V	No	36,4	36,352	0,048
20°C	No	3 V	No	35,7	35,633	0,067
20°C	No	3,3 V	Si	40,3	40,212	0,088
20°C	No	3,3 V	Si	39,2	39,132	0,068
20°C	No	3,3 V	Si	38,6	38,632	0,032
20°C	No	3,3 V	Si	37,6	37,612	0,012

20°C	No	3,3 V	Si	36,8	36,712	0,088
20°C	No	3,3 V	Si	35,9	35,812	0,088

Tabla 6.3 - Incidencia de los Factores Externos en la Medición

Se observa que el instrumento no presenta diferencias significativas al estar expuesto a las condiciones no ideales descritas anteriormente.

7 Conclusiones

Luego de realizar el análisis de los resultados, se puede determinar que el instrumento se encuentra correctamente calibrado y su incertidumbre se encuentra dentro de la esperada, siendo de 0.2°C para el rango de temperatura de entre 36°C - 38°C y 0.3°C para los rangos entre 35.5°C - 36°C, y 38°C - 41.5°C. Además, se observa que el instrumento no presenta variaciones significativas en su incertidumbre al ser expuesto a las condiciones de medición no ideales expresadas en la *Tabla 6.3*. Se concluye entonces, que el instrumento diseñado cumple satisfactoriamente los requerimientos planteados inicialmente, y es apto para estimar la presencia de fiebre de una persona siempre y cuando se utilice bajo las condiciones especificadas en el manual de usuario.

8 Anexo 1 – Hojas de Datos

A continuación, se adjuntan las hojas de datos de los componentes utilizados.

[Hoja de datos del MLX 90614 DCA](#)

[Hoja de Datos del LPC 845-BRK](#)

[Plano Esquemático del LPC 845-BRK](#)

[Hoja de Datos del LCD Nokia 5110](#)

[Hoja de Datos del PCD 8544](#)

[Hoja de Datos del Termómetro patrón digital de Vernier](#)

9 Anexo 2 – Agradecimientos

Agradecemos la colaboración del GIBIO, con una mención especial al Dr. Leandro Cymberknop, coordinador del grupo de investigación, por proporcionar orientación y asesoramiento valioso a la hora de desarrollar el proyecto

Agradecemos además al Dr. Damián Craiem, docente de Análisis de Señales y Sistemas de la UTN FRBA, que facilitó el contacto con la Universidad de Favaloro.

Finalmente, agradecemos al Carlos Perazzo, Jefe de Laboratorio de la Universidad de Favaloro, quien nos permitió utilizar el termómetro de su laboratorio para realizar las calibraciones necesarias