

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
DE TEMPERATURA PARA EL REACTOR DE POLÍMEROS DEL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN APLICADA A POLÍMEROS.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN “ELECTRÓNICA Y CONTROL”**

CHÁVEZ JARA ARIEL BERNABÉ

DIRECTOR: ING. ANA VERÓNICA RODAS BENALCÁZAR MBA.

Quito, Marzo del 2020

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ariel Bernabé Chávez Jara, bajo mi supervisión.

NOMBRE DIRECTOR

ING. ANA VERONICA RODAS BENALCAZAR MBA.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Ariel Bernabé Chávez Jara, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ariel Bernabé Chávez Jara

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Silvia, mi amiga, mi compañera y cómplice, me has enseñado que no hay nada imposible.

Ariel Bernabé

AGRADECIMIENTO

A mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado durante cada etapa de mi vida y cada proyecto que se ha emprendido.

A mis hermanos Jairo y Eduardo por ser mis compañeros de aventuras y sueños.

A mi hermana Monserrath por ser una luz en mi vida y traer alegría a mis días.

A mi familia que siempre me ha aconsejado para conseguir las metas que me he trazado en la vida.

A mis amigos Luis, Klever y Edison por ayudarme en los momentos más difíciles y no dudar en extenderme su mano.

A mis amigas Viviana y Melanie por ser incondicionales con sus consejos en el momento adecuado, su compañía en momentos difíciles y sus locuras en todo momento.

A la Ing. Ana Rodas por las oportunidades concedidas y compromiso durante la realización de este proyecto.

Al Ing. Francisco Quiroz por los consejos y la oportunidad de realizar este proyecto.

Al Quim. Ivan Chango por el tiempo brindado en el ajuste de todos los detalles de este proyecto y brindarme su amistad.

A mis compañeras de laboratorio Sammy, Paola y Paula por su amistad y ayuda con los detalles de este proyecto.

A mis amigos que durante toda la carrera estuvieron apoyándome e hicieron que toda esta etapa sea mas agradable y tenga un sin numero de vivencias que hicieron de esta experiencia inolvidable.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Alcance	2
1.3. Marco Teórico	3
1.3.1. Sistema para obtención de polímeros.....	3
1.3.2. Operación del Proceso	8
1.3.3. Influencia de la temperatura en el proceso de polimerización.....	9
1.3.4. Medición de temperatura en el reactor.....	10
1.3.5. Levantamiento de información sobre sensores de temperatura adaptables en el reactor.....	13
1.3.6. Sensores de temperatura pasivos	13
1.3.7. Sensores de temperatura activos	14
1.3.8. Termómetro sumergible DS18B20.....	16
1.3.9. Sensores de temperatura a distancia	16
1.4. Selección del Sensor de temperatura	23
2. METODOLOGÍA.....	26
2.1. Esquema del hardware usado.....	26

2.1.1.	Termómetro infrarrojo.....	26
2.1.2.	Tarjeta de Desarrollo	33
2.1.3.	Pantalla de visualización de temperatura.....	35
2.1.4.	Módulo para tarjeta micro SD	36
2.1.5.	Fuente de alimentación del Sistema	36
2.1.6.	Regulador de Voltaje	38
2.1.7.	Selección de la batería	38
2.1.8.	Computador.....	39
2.2.	Diseño del software	40
2.2.1.	Programación desarrollada para la tarjeta de desarrollo Arduino UNO	41
2.2.2.	Programación desarrollada en Labview para la visualización de datos.....	46
2.2.3.	Programación desarrollada en Python para la visualización de los datos almacenados en la memoria microSD	48
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1.	Prueba de funcionamiento de los dispositivos que integran el sistema y adquisición de datos.	51
3.1.1.	Objetivos	51
3.1.2.	Materiales.....	51
3.1.3.	Metodología de la prueba	52
3.1.4.	Datos obtenidos y gráficos.....	52
3.1.5.	Conclusiones de la prueba	54
3.2.	Prueba de almacenamiento de datos.....	54
3.2.1.	Objetivos	54
3.2.2.	Materiales usados	54
3.2.3.	Metodología.....	54
3.2.4.	Datos obtenidos y gráficos.....	55
3.2.5.	Conclusiones de la prueba	58

3.3. Prueba de funcionamiento del sistema de monitoreo y adquisición de datos de temperatura en el reactor de polímeros del CIAP durante un proceso de polimerización.	59
3.3.1. Objetivos	59
3.3.2. Materiales usados	59
3.3.3. Metodología.....	59
3.3.4. Datos obtenidos y gráficos.....	60
3.3.5. Conclusiones de la prueba	62
3.4. Prueba de calibración.....	63
3.4.1. Objetivos	63
3.4.2. Materiales usados	63
3.4.3. Metodología.....	63
3.4.4. Datos obtenidos y gráficos.....	64
3.4.5. Cálculo de errores	68
3.4.6. Conclusiones de la prueba	72
3.5. Prueba de validación de datos.	73
3.5.1. Objetivo de la prueba.....	73
3.5.2. Materiales usados	73
3.5.3. Metodología pasos seguidos	73
3.5.4. Datos obtenidos y gráficas.....	73
3.5.5. Cálculo de Errores	79
3.5.6. Conclusión de la prueba	80
3.6. Prueba de validación de datos en un proceso de Polimerización bajo condiciones normales.	80
3.6.1. Objetivo de la prueba.....	80
3.6.2. Materiales usados	80
3.6.3. Metodología.....	81
3.6.4. Datos obtenidos y gráficos.....	81
3.6.5. Cálculo del error	83

3.6.6.	Conclusiones de la prueba	84
3.7.	Segunda prueba de validación de datos en un proceso de Polimerización bajo condiciones normales.....	85
3.7.1.	Objetivos de la prueba.....	85
3.7.2.	Materiales usados	85
3.7.3.	Metodología.....	85
3.7.4.	Datos obtenidos y gráficos.....	86
3.7.5.	Cálculo del error	87
3.7.6.	Conclusiones de la prueba	89
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1.	Conclusiones.....	90
4.2.	Recomendaciones.....	91
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
6.	ANEXOS.....	94
	ANEXO I.....	95
	ANEXO II.....	107
	Datasheet y manuales.....	107
	ORDEN DE EMPASTADO	114

RESUMEN

PALABRAS CLAVE: temperatura, polimerización, datos.

En el Centro de Investigación aplicada a Polímeros (CIAP) de la Escuela Politécnica Nacional se dispone de un reactor de polímeros, el cual se usa para realizar procesos de polimerización por emulsión, con el objetivo de obtener nuevos materiales como vinilos, aglomerados y látex.

En los procesos de polimerización por emulsión la temperatura a la que sucede la reacción determina características del polímero a obtener, como viscosidad, flexibilidad y peso molecular, características que permiten determinar la calidad del producto obtenido.

Desde el inicio de este proceso es necesario conocer la temperatura dentro del reactor, ya que los reactivos a usarse reaccionan a una determinada temperatura; esta temperatura se estima por el tiempo que lleva el reactor calentándose. Otro evento importante de la reacción es cuando la temperatura alcanza su máximo valor súbitamente, lo que marca el momento en el cual el polímero comienza a ganar viscosidad y tomar un color blanquecino. Conocer la temperatura en estos eventos permite realizar cambios en la dosificación de reactivos en búsqueda de obtener un material flexible y con altos pesos moleculares

Anteriormente la medición de temperatura se la realizaba de forma manual, lo que limitaba la cantidad de datos que podían adquirirse teniendo como consecuencia que no se tenga repetitividad y el proceso de polimerización se vea afectado. Por ello se implementó un sistema de monitoreo de temperatura que utiliza un termómetro infrarrojo y un sistema electrónico de adquisición y tratamiento de datos.

La información se puede visualizar en una pantalla LCD, se almacena en un archivo de texto y se puede observar la curva de temperatura usando una interfase desarrollada en Labview y mediante una aplicación desarrollada en Python.

ABSTRACT

KEYWORDS: temperature, polymerization, data

In the Research Center Applied to Polymers (CIAP) of the National Polytechnic School there is a polymer reactor, which is used to perform emulsion polymerization processes, with the aim of obtaining new materials such as vinyl, agglomerates and latex.

In emulsion polymerization processes the temperature at which the reaction happens determinate characteristics of the polymer to be obtained, such as viscosity, flexibility and molecular weight, characteristics that decide the quality of the product obtained.

From the beginning of this process it is necessary to know the temperature inside the reactor, since the reagents to be used react optimally to a certain temperature, this temperature is estimated by the time the reactor has been warming up. Another important event of the reaction is when the temperature suddenly reaches its maximum value, this indicates the moment when the polymer begins to gain viscosity and become whitish. Knowing the temperature in these events allows changes in the reagent dosage in order to obtain a flexible material with high molecular weights.

Previously, the temperature measurement was performed manually, which limited the amount of data that could be acquired, resulting in no repetitiveness and the polymerization process has been affected. There for a temperature monitoring system that uses an infrared thermometer and an electronic data acquisition and processing system has been implemented.

The information can be displayed on an LCD screen, stored in a text file and the temperature curve can be observed using an interface developed in Labview and using an application developed in Python.

1. INTRODUCCIÓN

En el Centro de Investigación Aplicada a Polímeros se desarrollan proyectos referentes a obtención de polímeros por emulsión como vinilos, látex y aglomerados, así como también prácticas de laboratorio, que ayudan a complementar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en la Carrera de ingeniería Química.

En los procesos de obtención de polímeros, los reactores juegan un papel muy importante en la eficiencia de la reacción, así como en la calidad del producto obtenido. En este tipo de procesos se busca tener repetitividad en el producto obtenido.

El laboratorio dispone de un reactor con el que se realiza el proceso de polimerización por emulsión. El reactor tiene un motor externo acoplado a un agitador tipo ancla para mantener la homogeneidad del polímero, un baño de circulación que hace circular agua a la temperatura configurada por el operador, dispositivos dosificadores de reactivos, una tapa que cierra herméticamente el reactor. Permite colocar adaptadores de vidrio para las jeringuillas de los dispositivos dosificadores y un refrigerante.

Durante la obtención de polímeros, la temperatura a la que se realiza la reacción define características físicas como viscosidad, peso molecular y flexibilidad del polímero a obtenerse. El tiempo que se mantenga la reacción a una alta temperatura provoca que los polímeros pierdan viscosidad. [1]

Para la medición de temperatura era necesario alterar el proceso, ya que se tenía que retirar uno de los tapones de la cubierta del reactor y usar un termómetro o un pirómetro, exponiendo al operador a los vapores resultantes de la reacción que se escapaban durante la medición, además esto provocaba que no se pueda realizar un monitoreo de la temperatura de forma continua, por lo tanto, la cantidad de mediciones que se podían hacer no permiten conocer el comportamiento de la temperatura durante el proceso.

Ante la problemática expuesta se propuso realizar el diseño e implementación un sistema de monitoreo de temperatura para el reactor de polímeros del CIAP, utilizando un sensor de temperatura que no altere el proceso, un sistema microprocesado capaz de almacenar y transmitir los datos adquiridos, circuitos electrónicos para la amplificación y acondicionamiento de las señales detectadas. Además, se desarrolló una interfaz para visualizar la temperatura en el interior del reactor, y un sistema de almacenamiento de datos.

1.1. Objetivos

El objetivo general de este Proyecto técnico es:

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de temperatura para el reactor de polímeros del Centro de investigación Aplicada a Polímeros.

Los objetivos específicos de este Proyecto técnico son:

- Estudiar el funcionamiento del reactor, sus componentes y forma de operación y necesidades del elemento de medición
- Levantamiento de información sobre sensores de temperatura y elementos físicos que puedan ser utilizados en los pequeños espacios del reactor, que no tengan contacto con la medida y que sea removible
- Diseñar e implementar los circuitos electrónicos de acondicionamiento y tratamiento de señal usando un microcontrolador y la interfaz en la PC para la visualización de temperatura y almacenamiento de datos.
- Desarrollar los manuales de usuario y operación del equipo
- Validar el sistema mediante pruebas comparativas con un termómetro y pirómetro comercial, mientras el reactor se encuentra en condiciones normales de operación.

1.2. Alcance

- Estudiar el funcionamiento del reactor de polímeros del CIAP para determinar sus componentes y forma de operación.
- Seleccionar el sensor de temperatura adecuado, que se pueda instalar y retirar con facilidad para cada proceso, sin interferir con las condiciones normales de la reacción y evidencie repetitividad en el proceso.
- Realizar el acondicionamiento del sensor para adquirir los datos y enviarlos al sistema microprocesador.
- Realizar, en un sistema microprocesador, toda la lógica para la adquisición, tratamiento y envío de los datos de temperatura hacia una PC.
- Desarrollar la interfaz en una PC para visualizar las variables, y conectarse con el microcontrolador, los dispositivos dosificadores y el sistema de calentador de agua.

- Validar el sistema mediante pruebas con materiales a usarse de forma permanente dentro del reactor, en condiciones normales de operación y comparando con mediciones realizadas por un termómetro y un pirómetro.
- Desarrollar los manuales de usuario y operación del equipo.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Sistema para obtención de polímeros

El sistema utilizado para la obtención de polímeros consta de:

1. **Reactor de vidrio CHEMglass:** Tiene una capacidad de 1000mL, posee con una chaqueta de calentamiento, espacio comprendido entre la cara exterior e interior del reactor que utiliza agua como fluido de calentamiento. Contiene un agitador tipo ancla construido de acero inoxidable y se sella herméticamente con una tapa de cuatro bocas, esta tapa permite el acceso al agitador y dispositivos de dosificación. Este reactor se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Reactor de vidrio CHEMglass
(Fuente: [1])

2. **Motor de agitación Heidolph modelo RZR 2041:** Motor de velocidad variable entre 40 a 2000 rpm, posee protecciones para sobrecargas o bloqueos, adaptable a varias medidas de agitadores. Se muestra en la figura 1.2 el motor instalado.



Figura1.2. Motor de agitación Heidolph modelo RZR 2041
(Fuente: Propia)

- 3. Dispositivo de adición de monómeros Harvard Apparatus:** en este dispositivo se debe configurar el tiempo y el volumen que se va dosificar mediante la bomba de dosificación de monómero, este dispositivo se observa en la Figura 1.3.



Figura1.3. Dispositivo de adición de monómeros Harvard Apparatus.
(Fuente: Propia)

- 4. Baño circulatorio PolyScience:** Este equipo se encarga de calentar el agua que circula en la chaqueta del reactor, mediante su pantalla táctil se puede configurar la temperatura del agua, este equipo se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4. Baño circulatorio Polyscience
(Fuente: Propia)

- 5. Bomba de dosificación Harvard modelo Estándar PHD ULTRA, 0,01 mL/min:** Esta bomba de dosificación administra el monómero mediante jeringuillas, presionando su embolo según el tiempo configurado en el dispositivo de adición de monómero. Se lo presenta en funcionamiento en la Figura 1.5.



Figura1.5. Bomba de dosificación Harvard Apparatus
(Fuente: Propia)

- 6. Bomba de inyección de iniciador marca Harvard Apparatus 11 Plus:** Esta bomba es utilizada para añadir el iniciador de la reacción, al igual que la bomba de

dosificación de monómero utiliza jeringuillas para administrar el iniciador, tiene un caudal de dosificación de 0,001mL/min, se la observa en la Figura 1.6.



Figura1.6. Bomba de inyección de iniciador Harvard Apparatus 11 Plus.
(Fuente: Propia)

7. Refrigerante y baño térmico.

El refrigerante es un equipo de instrumentación de vidrio por medio del cual se administra el monómero para la reacción utilizando una manguera plástica, esto garantiza que al momento de llegar el monómero al interior del reactor este se encuentre en estado líquido y no se gasifique por la alta temperatura dentro del reactor. Se lo puede observar ubicado en la tapa del reactor en la Figura 1.7.



Figura1.7. Refrigerante
(Fuente: Propia)

El baño térmico es el equipo que hace circular agua a baja temperatura dentro del refrigerante, se puede regular la temperatura desde -10°C hasta 100°C , el modelo que se tiene en este sistema es el Haake D1 como se observa en la Figura 1.8.



Figura1.8. Baño térmico Haake D1.
(Fuente: Propia)

Para realizar una polimerización se realiza el montaje de todos los equipos vistos en el área determinada en el laboratorio como se muestra en la Figura 1.9.

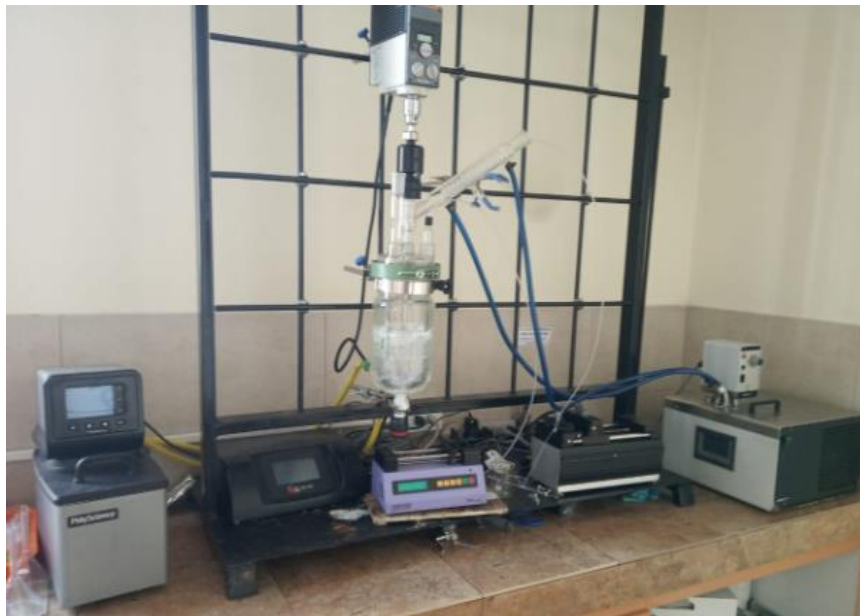


Figura 1.9. Montaje de todos los componentes en el laboratorio del CIAP
(Fuente: [Propia])

1.3.2. Operación del Proceso

Todo proceso de polimerización debe comenzar con la preparación de los materiales a participar en la reacción, estos materiales son disolventes, resinas y reactivos que se van añadiendo durante el proceso.[2]

Se asegura la tapa del reactor, colocando el agitador tipo ancla a través del orificio central de la tapa del reactor, de manera que se facilite el montaje de este agitador, posteriormente se realiza el acoplamiento con el rotor del motor de agitación. En este punto se procede a colocar los dispositivos de adición de monómeros y del iniciador de la reacción, que consisten en tapones de vidrio con orificios en la parte superior de los mismos que permiten el paso de una delgada manguera para la adición de reactivos como se ilustra en la Figura 1.10.



Figura1.10. Tapa del reactor de polímeros del CIAP
(Fuente: Propia)

Se procede a configurar la bomba de dosificación de monómero de la Figura 1.5 y la bomba de inyección de la Figura 1.6, en las cuales se establece los valores de volumen y tiempo de dosificación. Estas bombas utilizan jeringuillas adaptadas a las mangueras que pasan a través de los adaptadores de la tapa del reactor.

A continuación, se configura en el baño circulatorio Polyscience la temperatura a la cual se desea llevar el agua que circula en la chaqueta de calentamiento. Para finalizar la

configuración de dispositivos se establece la velocidad del motor para el agitador tipo ancla que garantiza la correcta distribución de los materiales dentro del reactor.

Para iniciar la reacción, se procede a poner en marcha el baño circulatorio de la Figura 1.4; con esto el agua circulante en la parte exterior del reactor comienza a aumentar su temperatura, a su vez se enciende el baño térmico configurándolo a 15 °C, luego se ingresa la combinación de agentes químicos que forman la base de la reacción y a su vez se arranca el motor del agitador; a partir de ese momento se debe esperar que el baño circulatorio señale que el agua circulante se encuentre a la temperatura previamente configurada en el mismo.

Posteriormente se añade añadir el iniciador de la reacción y los reactivos mediante los equipos dosificadores; este paso debe ser repetido durante todo el proceso hasta alcanzar la cantidad de reactivos requerida para obtener un determinado producto.

Para finalizar se debe detener el motor del agitador, apagar el baño circulatorio, y retirar el producto del interior del reactor mediante el obturador en la parte inferior del reactor, que permite acceder al orificio por donde desciende el polímero obtenido. Un proceso normal puede durar alrededor de 7 horas, manteniendo la agitación permanente y la circulación de agua dentro de la chaqueta.

1.3.3. Influencia de la temperatura en el proceso de polimerización.

Para realizar el proceso de polimerización, los agentes reactivos que se añaden a la fase acuosa reaccionan a una determina temperatura. Si se utiliza monómero de tipo Metilmetacrilato o Persulfato de amonio (los más usados), el rango de temperatura que se debe usar para que estos monómeros reaccionen es de 70 grados centígrados. [3]. Por lo tanto, es necesario que el interior del reactor con la fase acuosa previamente agregada, debe estar en este nivel de temperatura. Los valores de temperatura más comunes se observan en la Figura 1.11.

Thermal initiator decomposition rates

Initiator	half-life (h)*					
	50 °C	70 °C	90 °C	110 °C	130 °C	150 °C
Ammonium persulfate	192	8.4	0.55			
Dilauryl peroxide	50	3.2	0.29			
t-butyl hydroperoxide				570	100	70

Figura 1.11. Temperaturas en las que se descomponen el iniciador y monómeros.
(Fuente: [3])

Otro aspecto importante en cual incide la temperatura en el proceso de polimerización, es el periodo de tiempo durante el cual se somete a la reacción a un nivel de temperatura. Este periodo define la viscosidad del polímero, atributo que permite clasificar un polímero, ya que los polímeros pierden viscosidad con el incremento de la temperatura. Por otro lado, cuando un polímero se expone por un tiempo prolongado a temperaturas elevadas, este se degrada, lo cual afecta a las cadenas poliméricas. [4]

Durante el proceso de polimerización, existe el fenómeno de máxima temperatura de polimerización, cuando se utilizan cierto tipo de reactivos, el polímero está expuesto a radicales libres a altas temperaturas, se puede abrir fácilmente la cadena del polímero y puede perder homogeneidad el producto de la reacción. Con la temperatura adecuada en un proceso de polimerización por emulsión, se estima que existirá buena transferencia de calor, baja viscosidad de la dispersión y altos pesos moleculares. [1]

El mantener la temperatura deseada durante todo el proceso de reacción permite obtener altos pesos moleculares en el polímero, lo que caracteriza un material flexible y difícil de romper o atravesar.[5]

1.3.4. Medición de temperatura en el reactor

La medición de temperatura se viene desarrollando mediante un termómetro sumergible de mercurio, para lo cual se debe retirar uno de los dispositivos de adición o el refrigerante. Además, este tipo de medición implica detener el agitador lo cual provoca pérdida de

homogeneidad en la reacción, y se puede decir que es una interrupción en el proceso normal. Otro equipo usado para la medición de temperatura es el uso de un pirómetro, medidor de temperatura infrarrojo a distancia, con el cual no es necesario detener el movimiento del agitador, pero aún se debe retirar uno de los dispositivos de adición, lo que permite que se escapen gases generados por la reacción; que pueden ser nocivos para el operador del reactor.

Cabe señalar que usando estos equipos es necesario que se encuentre más de un operador, ya que los materiales tanto de los dispositivos de adición como del refrigerante son frágiles, y para la realización de la medición es necesario la manipulación de estos equipos además del equipo de medición.

Dada la importancia que tiene la temperatura en el proceso de polimerización, se necesita buscar un método que se adapte fácilmente al reactor, ya que al finalizar cada proceso el reactor y sus componentes deben ser limpiados en su totalidad, para lo cual se realiza el desmontaje de todos los equipos que intervienen en el proceso, motivo por el cual no se puede implementar un sistema que necesite fijarse dentro del reactor. Otro aspecto a tomar en cuenta es que algunos componentes de la reacción son disolventes, y podrían afectar el funcionamiento y la integridad de un sensor ubicado dentro del reactor; y se debe tener en cuenta que un material de fijación como pegamento puede afectar el producto de la reacción.

Al tener un agitador tipo ancla, la distancia entre las espas y las paredes del reactor es inferior a los tres centímetros, y la distancia con el fondo es menor a los dos centímetros, estas cortas distancias son un limitante en el caso de usar sensores con medios de transmisión cableados, el cable estaría expuesto a enredarse alrededor del agitador, lo que podría causar desconexión del sensor, golpes en las paredes interiores del reactor y bloqueo del movimiento del agitador afectando el motor de agitación.

Dadas estas complicaciones, la mejor opción para instalar un sensor de temperatura, es la tapa del reactor, donde es necesario usar instrumentación química para evitar el escape de la fase gaseosa de la reacción; por lo tanto, el dispositivo a usarse debe ser de tamaño reducido y tener la capacidad de medir la temperatura a distancia.

El rango de temperatura dentro del reactor en proceso de polimerización es de 18 a 100 grados centígrados, con un valor de temperatura de 70 grados centígrados en la fase estable, que es característico de la polimerización por emulsión. [3]

1.3.4.1. Medidas del reactor y la tapa

Para buscar el sensor adecuado para la medición de temperatura dentro del reactor, es necesario tomar en cuenta las medidas físicas del reactor y la tapa, las cuales se observan la Tabla 1.1 en la Figura 1.12 y Figura 1.13.

Tabla 1.1 Medidas físicas del reactor y la tapa.

Medida	Valor
Altura del reactor	20 cm
Distancia de la tapa hacia el reactor	16 cm
Diámetro de la tapa del reactor	10 cm
Distancia entre una boca lateral y la boca central de la tapa del reactor.	3cm
Diámetro de una boca lateral de la tapa	2.4 cm
Altura de una boca lateral de la tapa	4 cm

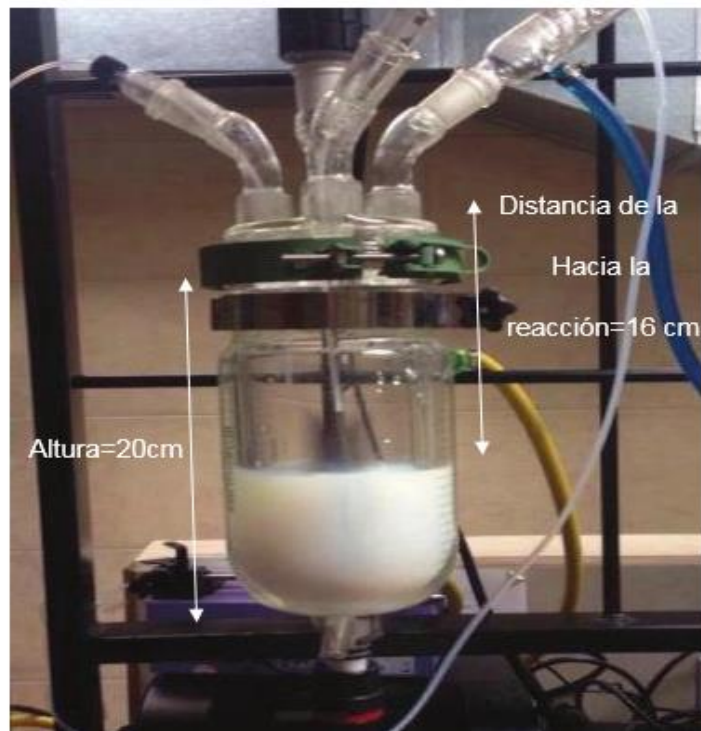


Figura 1.12. Medidas laterales del reactor
(Fuente: [Propia])

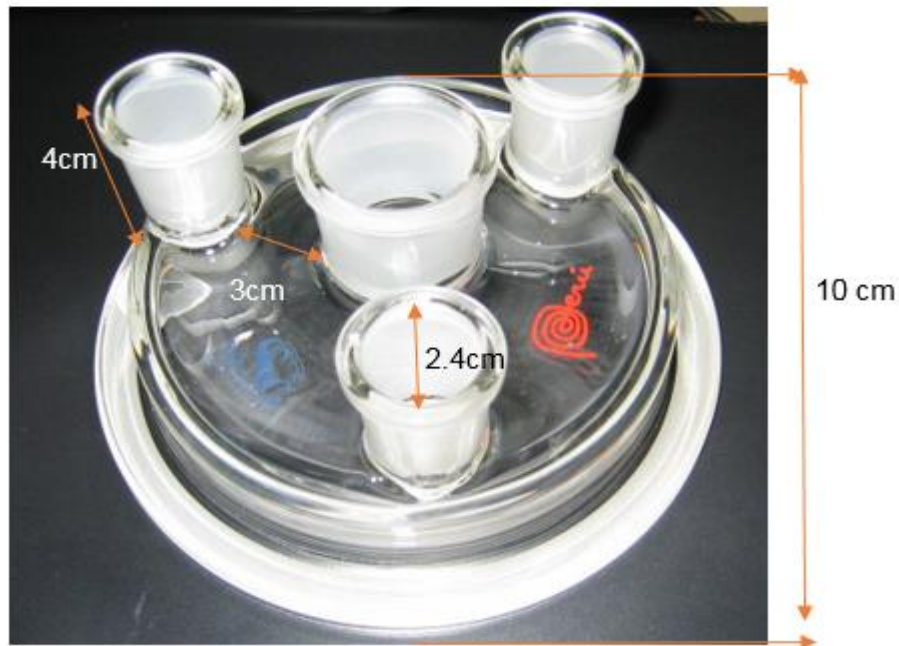


Figura 1.13. Medidas de la tapa del Reactor.
(Fuente: [Propia])

1.3.5. Levantamiento de información sobre sensores de temperatura adaptables en el reactor.

A continuación, se detallará información sobre sensores de temperatura que podrían instalarse en la tapa del reactor, que por sus características y forma de conexión podrían ser apropiadas para ser usados en esta aplicación. Asimismo, se señalará cuáles serían sus limitaciones y complicaciones para trabajar dentro del reactor, tomando en cuenta los riesgos que implican trabajar en un proceso de polimerización.

1.3.6. Sensores de temperatura pasivos

Estos sensores sufren un cambio en sus magnitudes eléctricas ante un cambio de temperatura usando una fuente auxiliar, entre los más comunes tenemos los sensores de resistividad variable, como termistores y termómetros de resistencia (RTD). [6]

Estos sensores son pequeños por lo que podrían introducirse en una de las bocas de la tapa del reactor, adecuarlo de forma que cuelgue dentro el reactor sin hacer contacto con el polímero en desarrollo.

Al ser sensores de tipo análogos es necesario acondicionar las señales obtenidas, por lo que el cable debe estar protegido para las altas temperaturas del reactor y los elementos disolventes que participan en la reacción. Algunas de las características más importantes de estos sensores se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Características de sensores de temperatura pasivos. [6]

Sensor	Rango (°C)	Sensibilidad(1/°K)	Resistencia a 0°C (Ω)
PT100	-200 a 850	0.00385	100
RTD de cobre	-200 a 260	0.043	10
Termistor tipo perla	-50 a 150	-0.045	10

Una de la limitación de este tipo de sensores es que, al no estar en contacto con el polímero, la temperatura a medirse sería la de la fase gaseosa del polímero que, si bien es parte de la reacción, se compone de radicales libres que no reaccionaron en la fase acuosa y su temperatura varía respecto a la fase acuosa.

Una ventaja de estos sensores es la poca exposición que tendría a los gases disolvente producto de reacción, ya que existen presentaciones en encapsulados de teflón que es un material que no es afectado por los gases.

Una complicación que se podría presentar es que, a pesar de adaptarse en la tapa del reactor, en caso de un aumento de volumen del polímero, que al sobrepasar el punto de máxima exortermia se vuelve viscoso y posee alta adherencia, podría quedarse atrapado y enredado en el agitador tipo ancla; lo que podría bloquear el rotor del motor y dañar los materiales de vidrio que componen el reactor.

1.3.7. Sensores de temperatura activos

Son aquellos sensores que se caracterizan por no necesitar de una fuente externa para generar una eléctrica. El sensor activo más usado es el termopar que es un circuito formado por dos metales diferentes, cuyas uniones de medida y de referencia se mantienen a diferente temperatura y que por efecto Seebeck se obtiene una diferencia de potencial. [7]

Se conocen según el tipo de material del que se componen y poseen diferentes características que se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Características de termopares. [6]

Tipo	Material	Rango (°C)	Exactitud (°C)	Resolución (°C)	Aplicaciones
J	Hierro/Cobre-Níquel(constantán)	-210 a 760	+/- 0.6	0.03	Adecuado para ambientes químicamente inactivos
K	Níquel/Cromo(cromel)	-260 a 1370	+/- 0.7	0.04	Apropiado para atmósferas oxidantes
T	Cobre/Cobre-Níquel(constantán)	-260 a 400	+/- 0.6	0.02	Elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica.
N	Cromel-Silicio/Níquel-Silicio	-260 a 1300	+/- 1	0.06	Se emplea en atmosferas químicamente inertes.

Los tipos más comunes de termopares cumplen con el rango de temperatura que se tiene dentro del reactor; para adaptarlos en la tapa se podría usar un tapón de caucho con un material adhesivo para evitar fugas, pero esto podría causar problemas de obstrucción del agitador ya que los gases que producidos en la reacción pueden disolver el pegamento usado, tomando en cuenta que la temperatura puede subir sobre los 70 grados centígrados.

Si se lo introduce con una cubierta que proteja tanto la unión del termopar, como el cable de transmisión, este debe ser fabricado de teflón, el cual no se vea afectado por los disolventes de la reacción, pero se debe tomar en cuenta que se mediría el componente

gaseoso de la reacción, lo cual hace que no sea apropiado como método de medición en este proceso.

1.3.8. Termómetro sumergible DS18B20.

Es un termómetro de salida digital, con una interfase de comunicación a 1 hilo y tierra, no requiere de componentes externos, es de tamaño reducido por lo que cabe dentro de la boca de la tapa del reactor. En la Tabla 1.4 se detallan algunas características este sensor.

Tabla 1.4. Características del termómetro sumergible DS18B20. [8]

Característica	Valor
Salida digital	9 a 12 bits
Tiempo de adquisición	750ms
Voltaje de alimentación	3 a 5.5 V
Rango de temperatura	-55 °C a 125 °C
Precisión	+/- 0.5 °C en -10 °C a 85 °C

A pesar de que el termómetro se puede introducir al interior del reactor, el cable que transmita la información debe estar protegido para la alta temperatura, esta protección debe ser diferente a la cubierta de caucho o plástico que viene en cables de transmisión de datos, ya que los gases de la reacción disuelven estos materiales lo que afectaría la constitución física del cable transmisor.

El principal problema de usar un termómetro sumergible es que se debe detener el agitador de la reacción, esto altera el proceso de polimerización ya que la reacción pierde homogeneidad con cada interrupción.

1.3.9. Sensores de temperatura a distancia

Dadas las complicaciones de instalación de un sensor de temperatura de contacto, se debe contemplar usar sensores a distancia que permitan medir la temperatura sin alterar el proceso de polimerización. Con un sensor de este tipo se puede realizar una medición directa o indirecta del contenido del reactor.

1.3.9.1. Sensores de temperatura láser

Este tipo de sensores funcionan bajo el mismo principio que los pirómetros, midiendo la radiación infrarroja superficial de un objeto, con la diferencia que lo comparan con la radiación del láser usado por este sensor. Un ejemplo de estos sensores es el PCE-IR 50 que cuenta con las características que se observan en la Tabla 1.5.

Este sensor es adecuado para medir materiales solidos de varias texturas, productos químicos, sin embargo, no lo es para materiales con una baja emisividad como materiales brillantes. [9]

Tabla 1.5. Características del sensor PCE-IR 50 [9]

Característica	Valor
Rango de temperatura	-20°C a 500°C
Salida	4-20 mA
Tiempo de respuesta	240 ms
Voltaje de alimentación	24 Vdc
Ancho de banda del espectro a medir	8 a 14 μ m
Dimensiones	18mm de diámetro x 103 mm de largo
Construcción	Acero inoxidable
Emisividad	0,95 (fija)

Dado su tamaño se puede instalar en una de las bocas de la tapa del reactor, su construcción con acero inoxidable lo protegería de los reactivos disolventes; pero este sensor puede presentar problemas de confiabilidad cuando se encuentra expuesto a interferencias eléctricas o ruido, por lo que se recomienda instalarlo lejos de motores o generadores. Además, se debe considerar que un cambio brusco en la temperatura ambiente alterará su medición por lo que el fabricante recomienda dejar pasar 20 minutos hasta que el sensor se ajuste. [9]

Otra limitación de este sensor es que presenta medidas inexactas cuando se tiene un área reflectante, por lo cual tendría problemas en la parte inicial de la reacción donde la fase acuosa es transparente hasta llegar al punto de máxima exotermia y en donde toma un color blanco.

1.3.9.2. Pirómetro óptico

Este tipo de pirómetros se usan ampliamente en el sector industrial, en áreas como fabricación de papel, vidrio, cerámica e industria química. Su principio de funcionamiento se basa en obtener la medición de temperatura en base a la energía emitida por la superficie de un cuerpo. Para transmitir la información adquirida usan medios de transmisión ópticos. Un ejemplo de este tipo de sensores es el PyroSpotDT 4L, cuyas características se muestran en la Tabla 1.6. [10]

Tabla 1.6. Características del pirómetro óptico PyrospotDT 4L [10]

Característica	Valor
Rango de temperatura	-40°C a 1000°C
Rango del Espectro	8 a 14µm
Emisividad	Ajustable 0.2 a 1
Tiempo de respuesta	100 ms
Señal de salida	4 a 20mA
Comunicación	RS-485
Alimentación	24 Vdc
Dimensiones del sensor	14mm de diámetro x 34mm de largo

Por sus medidas este sensor se puede instalar en la tapa del reactor. El diámetro de la superficie a medir en base a la distancia a la que esté el objeto puede verse en Figura 1.14.

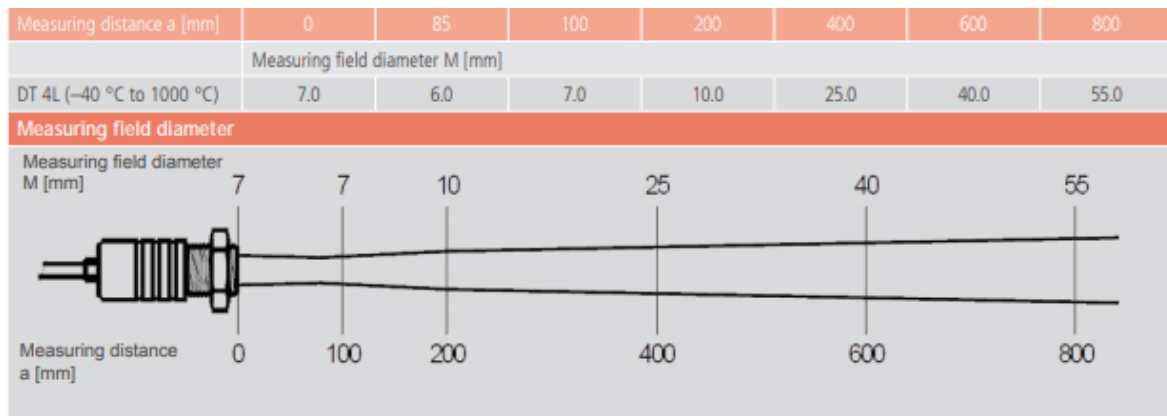


Figura 1.14 Diámetro de superficie a medir en base a la distancia a la que está el objeto. (Fuente: [10])

Dado que la distancia desde una de las bocas del reactor hacia el polímero es de 16cm, el área medida por este sensor tendría un diámetro entre 7mm a 10mm, lo que sería adecuado para medir la temperatura del polímero ya que el diámetro del reactor es de 10 cm. Pero será necesario una protección especial para evitar desgastes ante la exposición a los reactivos del interior del reactor.

Este sensor al poseer emisividad variable, puede ajustarse para medir con exactitud el contenido del reactor cuando la fase acuosa sea reflectante.

1.3.9.3. Pirómetros Infrarrojos

Todos los cuerpos que tienen una temperatura sobre el cero absoluto (-273 °C) emiten radiación infrarroja, por lo tanto, el rango de temperatura en el que trabaja el reactor pertenece al rango de espectro infrarrojo. Los pirómetros infrarrojos son el tipo de sensor

de radiación adecuado para esta aplicación, a diferencia de espectrómetro o radiómetros que trabajan con el espectro ultravioleta o de radio, como se muestra en la Figura 1.15 [11].

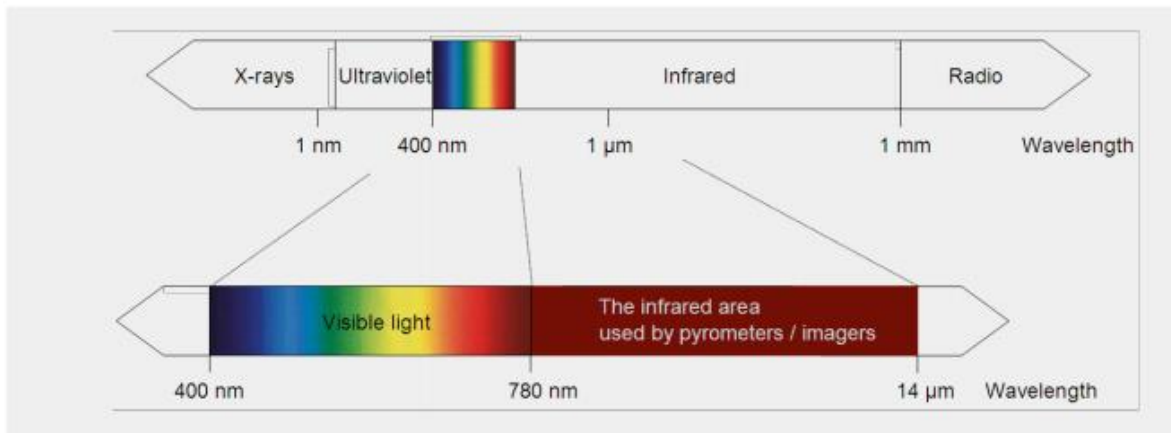


Figura 1.15 Espectro electromagnético con el área usada por pirómetros.
(Fuente: [11])

El funcionamiento de los pirómetros se basa en la ley de Stefan-Boltzman, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta [6], de acuerdo a la siguiente relación:

$$W = K * T^4 \quad (1.1)$$

Donde:

W Intensidad de energía radiante

K Constante

T Temperatura absoluta del cuerpo

Un pirómetro realiza una estimación de la temperatura a la que se encuentra un objeto, esta estimación se puede hacer gracias a los dispositivos electrónicos capaces de medir la radiación electromagnética infrarroja, mientras que el objeto a medir se encuentre en el campo de visión del sensor.[6]

A continuación, se detallan las características de algunos pirómetros que podrían ser usados en la medición de temperatura del reactor.

1.3.9.4. Pirómetro tipo sonda

Este sensor pertenece al grupo de medidores de emisividad, ya que usan esta característica de los cuerpos para compensar errores en la medición de temperatura. Su principal diferencia con otros pirómetros es la facilidad que presentan para instalarse en espacios pequeños, y adaptable a varios dispositivos de fijación dependiendo de la aplicación.

Un ejemplo de estos pirómetros es el Optris CS LT, el cual viene con una interfase de comunicación, un amplio rango de medición gracias a su protección, varias salidas seleccionables con voltajes de 5 o 10 voltios, o la opción de elegir una señal de salida digital. En la Tabla 1.7. se muestran algunas de sus especificaciones. [12]

Tabla 1.7. Características del Pirómetro Optris CS LT [12]

Rango	-40 °C a 1030 °C
Relación de distancia al objetivo	15:1
Temperatura de entorno	-20 °C a 80 °C
Tiempo de respuesta	25 ms
Humedad	10 a 95%
Rango del espectro infrarrojo	8-14um
Tiempo de espera	10 minutos

Por sus dimensiones puede ser instalado en la parte superior del reactor, pero necesita de un tiempo de 10 minutos para ajustarse cuando varía la temperatura ambiente, ya que se espera que la temperatura dentro del reactor varíe rápidamente este tiempo es una limitación de este sensor.

En la figura 1.16 se observa cómo aumenta el diámetro (D) de la superficie a medirse según la distancia (S) hacia el objeto aumenta.

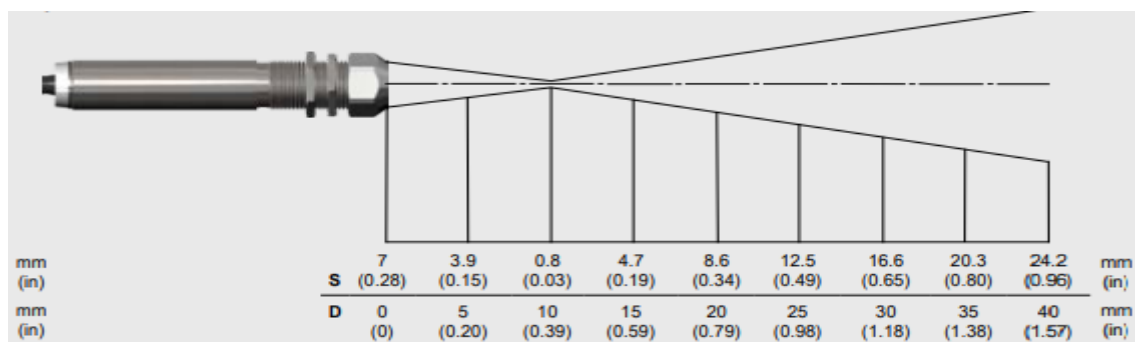


Figura 1.16. Diámetro que se mide según la distancia para pirómetro.
(Fuente: [12])

1.3.9.5. Termómetro infrarrojo

Generalmente es usado para realizar mediciones de temperatura a distancia sin contacto con el objeto a medir midiendo la radiación infrarroja que emite este objeto. Este sensor está constituido por una termopila y una unidad de procesamiento digital de señales, desarrollado por el fabricante, que procesa la señal analógica para ser enviada mediante comunicación digital a un controlador externo o un visualizador compatible. Un ejemplo de estos sensores es el MLX90614, cuyas especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 1.8

Tabla 1.8. Características técnicas del Sensor MLX90614. [13]

Parámetros	Rango
Temperatura ambiente de trabajo	-40°C hasta 125°C
Temperatura de objeto a medir	-70°C hasta 380°C
Voltaje de alimentación	5Vdc hasta 7Vdc
Resolución de medición	0,01 °C
Diámetro	10.2 mm

Posee un amplificador de bajo ruido, un convertidor análogo-digital de 17 bits, tiene salidas PWM e interfaz SMbus.

Dado su tamaño se puede instalar en la parte superior del reactor, su exposición es reducida ante los reactivos, no presenta problemas midiendo superficies brillantes o reflectantes, pero una de las limitaciones de este termómetro es el campo de visión que aumenta cada vez que el sensor se aleja del objeto a medir, como lo muestra la Tabla 1.9.

Tabla 1.9. Campo de visión sensores MLX90614. [13]

Tipo de sensor	Angulo de campo de visión
MLX90614xAA	90 °
MLX90614xCC	35°
MLX90614xCF	10 °
MLX90614xCH	12 °
MLX90614xCI	5°

1.3.9.6. Cámara infrarroja

Estas cámaras tienen un campo de visión desde 6° a 90°, gracias a esto entre más distante se encuentre el objeto, más grande será el área que toma la cámara como se observa en la Figura 1.17. Es de gran utilidad cuando la aplicación es con amplias superficies. Estos dispositivos presentan la ventaja que no ven afectada su medición por la cantidad de iluminación donde se encuentra el objeto. Pueden medir temperaturas que se encuentre en un ancho de banda de 8-14 μm , para medir a distancia se usan sistemas de óptica generalmente echas de Germanio, lo que eleva el costo de estas cámaras, estos sistemas ópticos se componen de 3 lentes esféricas. [14]

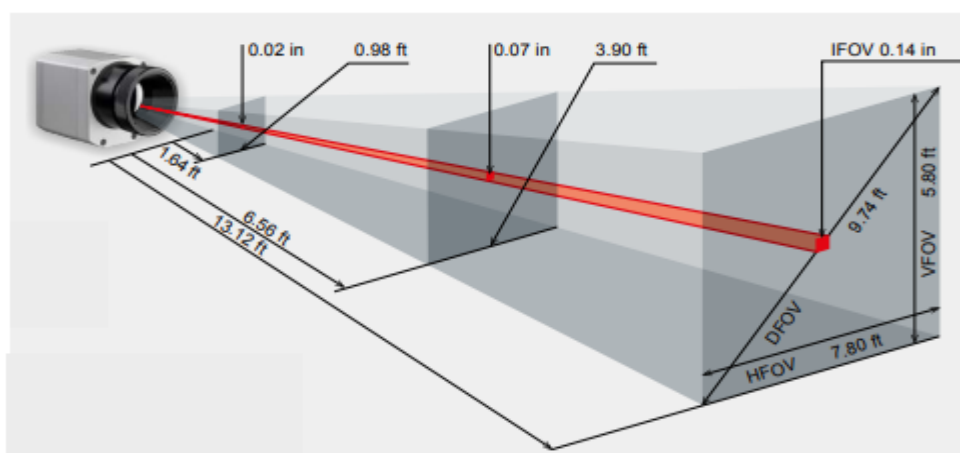


Figura 1.17. Campo de visión en función de la distancia
(Fuente: [14])

Un dispositivo que se encuentra en el mercado es la cámara infrarroja Optris Xi80, que presenta una fácil adaptación en espacios reducidos, tiene una operación autónoma con salidas tanto análoga como digital, las especificaciones técnicas se pueden observar en la Tabla 1.10. [14]

Tabla 1.10. Características de la cámara Optris Xi80[14]

Rango de temperatura de objeto	-20 °C a 900 °C
Relación de distancia al objetivo	190:1
Temperatura de entorno	-0 °C a 50 °C
Alimentación	USB/PoE/5-30 VDC
Precisión	+2°C
Rango del espectro infrarrojo	7.5-13um

Algunas de las aplicaciones para las que fue desarrollada esta cámara son la automatización en procesos industriales, en protección contra incendios y procesos de desarrollo de pequeños componentes electrónicos. [14]

Una de limitación de esta cámara es que el material que rodea al lente puede ser de caucho o u material similar, los cuales se desgastan ante los reactivos usados en la polimerización a altas temperaturas

1.4. Selección del Sensor de temperatura

Para realizar la selección del sensor de temperatura se analiza la Tabla 1.10, donde se comparan las características más relevantes de los sensores presentados en el levantamiento de información.

Tabla 1.11 Tabla comparativa entre sensores de temperatura.

Parámetro	Sensores pasivos	Sensores activos	Termómetro sumergible	Sensor a láser	Sensor óptico	Pirómetro de sonda	Termómetro infrarrojo	Cámara infrarroja
Cumple con el rango de temperatura	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Riesgo de accidentes por bloqueo de agitador	Alto	Alto	Es necesario detener el rotor.	No	No	No	No	No
Exposición a disolventes de la reacción	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Es necesario acondicionamiento para la transmisión de datos	Si	Si	No	No	No	No	No	No
Comunicación digital	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Precio	Bajo	Bajo	Accesible	Alto	Muy alto	Accesible	Accesible	Alto
Limitaciones	Alto riesgo de desgaste y accidentes	Alto riesgo de desgaste y accidentes	Altera el proceso para realizar mediciones	Presenta errores con materiales reflectantes	Protección especial ambientes químicos	Necesita tiempo estabilización ante cambios bruscos de temperatura	Aumenta el diámetro del campo de visión según la distancia del objeto	Desgaste de material expuesto

Una vez analizadas las características y limitaciones de los sensores presentados, se concluye que el termómetro infrarrojo cumple con los requerimientos que demanda este proceso, por lo tanto, se analizará su limitante más importante que es el campo de visión.

Dentro de la familia de termómetros Mlx90614 se disponen de varias presentaciones con diferentes ángulos de campo visión como se observa en la Tabla 1.9. Tomando en cuenta la distancia desde la tapa del reactor al polímero y el diámetro del reactor, se calcula el ángulo adecuado del campo de visión del termómetro como se observa en la Figura 1.18. Se debe tomar en cuenta que si se elige un termómetro con un ángulo de campo de visión muy bajo se apuntaría a una zona pequeña dentro del reactor, y el movimiento del agitador tipo ancla puede entorpecer la medición de temperatura.

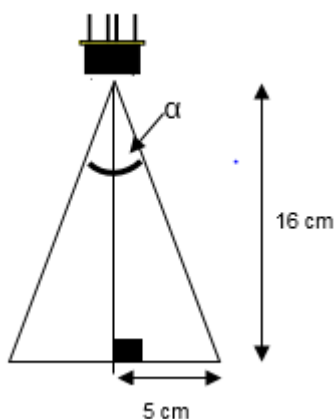


Figura 1.18. Campo de visión del reactor.
(Fuente: [Propia])

Angulo de campo de visión = 2α

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Cat op.}}{\text{Cat ad}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5 \text{ cm}}{16 \text{ cm}}\right) = 17.35^\circ$$

El termómetro infrarrojo MLX90614xCC cumple con este ángulo de visión como se puede observar en la Tabla 1.9.

Por lo tanto, el termómetro con el ángulo adecuado es el MLX90614xCC, este sensor tiene un precio accesible dentro del mercado, este factor es importante ya que al exponerse a agentes químicos puede sufrir daños con el objetivo de encontrar las protecciones adecuadas para el mismo.

2. METODOLOGÍA

Una vez seleccionado el termómetro infrarrojo Mlx90614 se indicará sus características, los elementos adicionales para formar un sistema de monitoreo que permita visualizar la temperatura, almacenar datos y obtener gráficas del comportamiento de la temperatura.

Se detallará el software desarrollado para la adquisición, almacenamiento y visualización de datos.

2.1. Esquema del hardware usado.

El sistema debe usar una tarjeta de desarrollo que permita guardar los datos en una memoria, transmitirlos a un dispositivo de visualización que mantendrá informado al operador sobre la temperatura continuamente.

Para utilizar estos dispositivos es necesario utilizar una fuente de alimentación, con una batería para respaldo de energía, esto le brinda independencia al sistema y flexibilidad en su ubicación.

Todos los dispositivos señalados deben integrarse dentro de un gabinete, que proteja los dispositivos ante posibles derrames de materiales químicos; un esquema general del sistema propuesto se observa en la Figura 2.1.

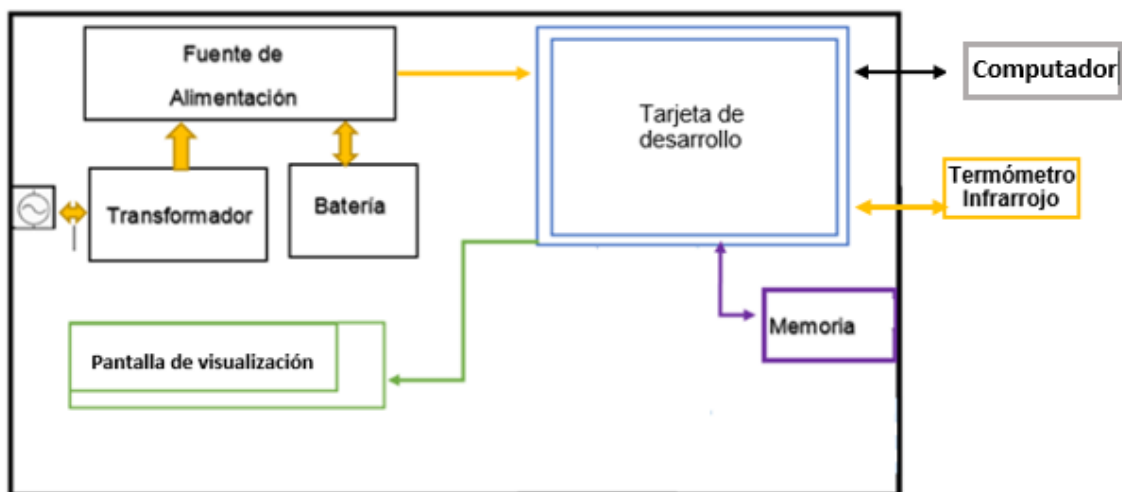


Figura 2.1. Esquema general del Sistema
(Fuente: Propia)

2.1.1. Termómetro infrarrojo.

Para la implementación de este termómetro es necesario conocer sus conexiones, las cuales se muestran en la Figura 2.2 y su descripción en la Tabla 2.1.

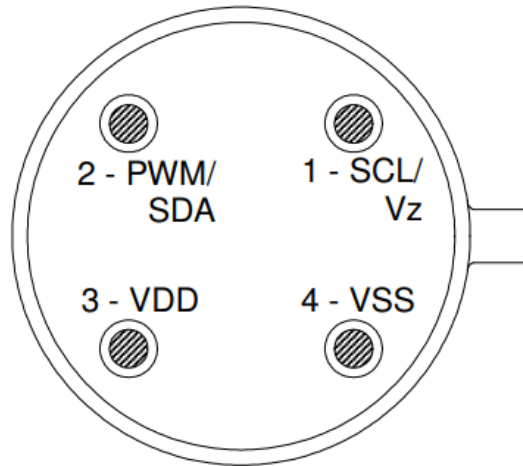


Figura 2.2. Distribución de pines del sensor MLX90614
(Fuente: [13])

Tabla 2.1 Definición de pines del MLX90614. [13]

Nombre del Pin	Función
VSS	Tierra. Es conectado a la carcasa
SCL/Vz	Entrada serial de reloj para comunicación a 2 líneas.
PWM/SDA	Entrada y salida digital. En modo normal dispone la medida de temperatura de un objeto.
VDD	Voltaje de alimentación. (3-5Vdc)

El MLX90614 está controlado por una máquina de estados interna, que controla las mediciones de temperatura y el manejo de datos para enviarlos por medio de la salida PWM o la interfaz compatible de SMBus.

Luego la señal se filtra por los filtros digitales de Respuesta a impulso finito (FIR) y de respuesta al impulso infinito (IIR) para reducir el ancho de banda de la señal de entrada.

La salida del filtro IIR es la medición resultado y se encuentra disponible dentro de la RAM interna. Dentro de esta memoria se le asigna el nombre “ T_a ” a la temperatura ambiente y el nombre “ T_o ” a la temperatura del objeto, estas temperaturas tienen una resolución de 0.01 C.

Ambas temperaturas pueden leerse desde las celdas de memoria RAM correspondiente, a través de una comunicación compatible con SMBus, donde los pines SCL y PWM/SDA tienen las siguientes funciones:

- **SCL:** Es usado como el reloj de comunicación.
- **SDA:** Entrada digital para configuraciones, o salida del valor la temperatura.

El protocolo de la comunicación compatible con SMBus se observa en la Figura 2.3:

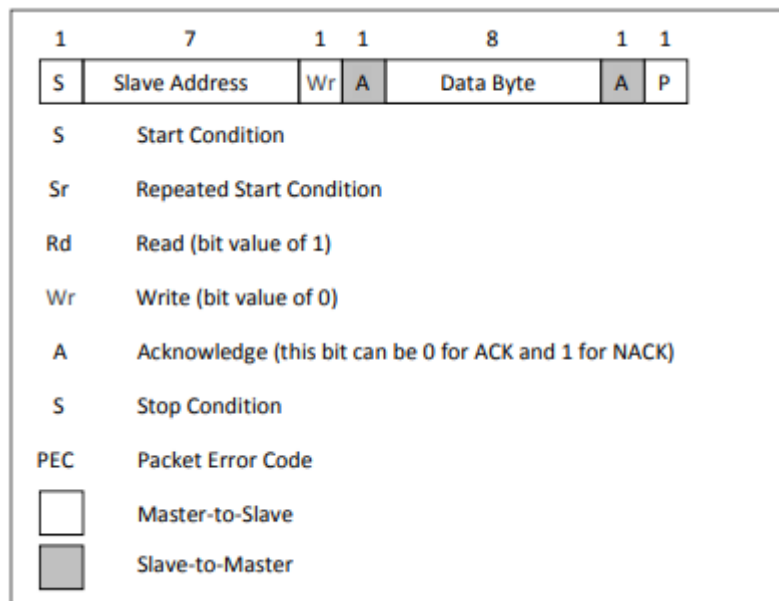


Figura 2.3. Protocolo de la comunicación compatible con SMBus (Fuente: [13])

Para realizar la lectura de un dato se debe realizar el proceso de la Figura 2.4

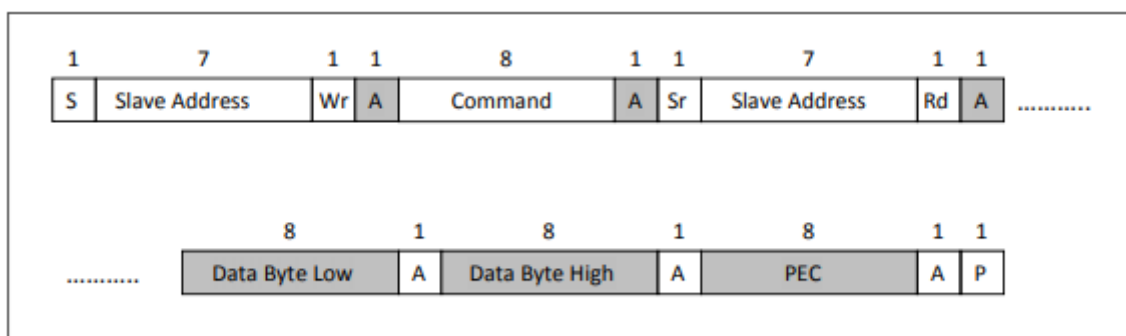


Figura 2.4. Formato de SMBus para leer una palabra. (Fuente: [13])

Para realizar la escritura de un dato se debe realizar el proceso de comunicación de la figura 2.5

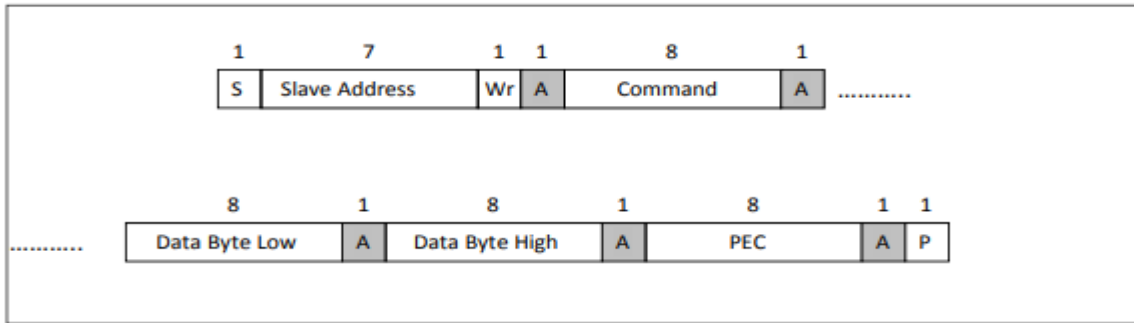


Figura 2.5. Formato de SMBus para escribir una palabra
(Fuente: [13])

El fabricante recomienda el circuito de acondicionamiento presentado en la Figura 2.6, para el modo de comunicación SMBus.

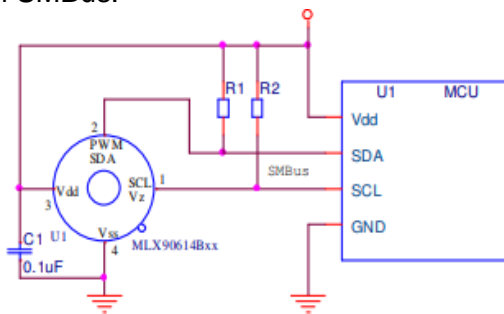


Figura 2.6 Circuito de acondicionamiento del Mlx90614 en SMBus.
(Fuente: [13])

En el mercado se puede encontrar el sensor con el circuito de acondicionamiento de la Figura 2.7 en la placa GY-906, que se muestra en la Figura 2.6

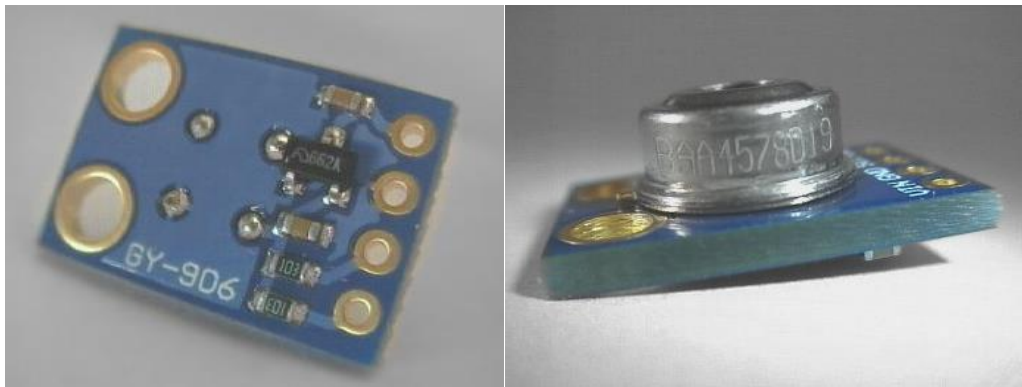


Figura 2.7 Placa GY-906
(Fuente: (Propia))

Esta placa mantiene el nombre en los terminales SDA, SCL y GND; y el pin de alimentación VDD se observa en esta placa como VCC. Esta placa se ubicará en la parte superior del reactor, para lo cual necesitará de elementos de adaptación y protección. Además, para poder visualizar los datos de temperatura obtenidos se debe conectar este termómetro con un microcontrolador o una tarjeta de desarrollo.

El termómetro Mlx90614 presenta un rendimiento que varía de acuerdo a la temperatura ambiente a la que se encuentra y la temperatura del objeto que se va a medir. En las reacciones que llevan a cabo en el reactor de polímeros del CIAP, la temperatura ambiente de trabajo dentro del reactor varía entre 60° C y 100 °C; ya que se compone de la fase gaseosa de la reacción. La temperatura del producto tiene un rango de 60° C a 100 °C. Durante la mayor parte de la reacción se desea que la temperatura del producto sea 70 °C, pero se espera experimentar un momento donde la temperatura suba súbitamente por un breve período de tiempo, y el producto desprenda calor hacia la fase gaseosa y aumente la temperatura ambiente de trabajo.

El rendimiento esperado tiene un error en la medición de +/- 1° C, dicho rendimiento se muestra en la Figura 2.8 en un círculo verde. Donde el eje vertical pertenece a la temperatura del objeto a medir, en este caso el producto dentro del reactor, y el eje horizontal pertenece a la temperatura ambiente, ambos ejes se encuentran en escala de grados centígrados.

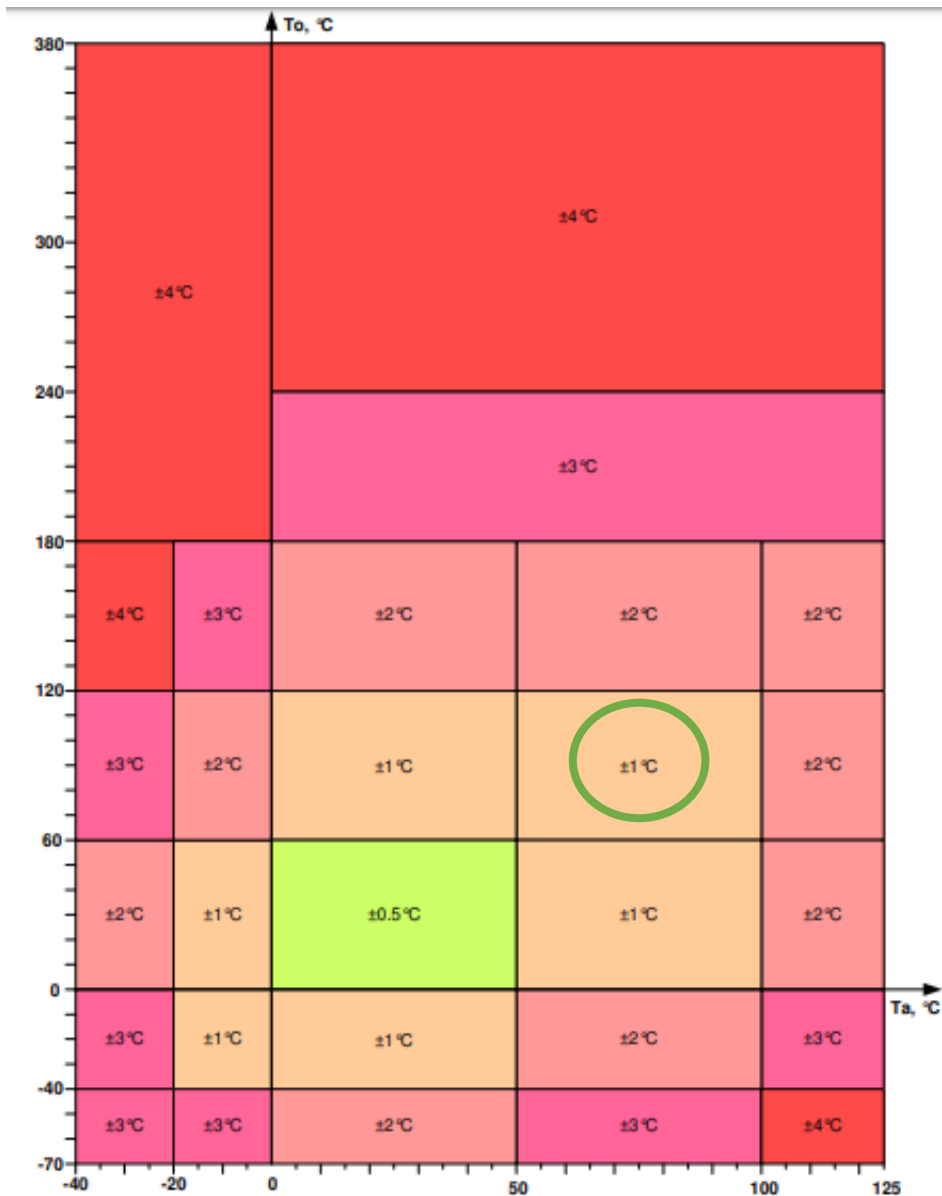


Figura 2.8. Rendimiento del sensor MLX90614 en función de la temperatura.
(Fuente: [13])

2.1.1.1. Acoplamiento del termómetro infrarrojo a la tapa del reactor y protecciones.

El termómetro es de forma circular y tiene un diámetro de 10.2 mm, viene en el empaquetado TO -39, el cual se presenta en la Figura 2.9 [13], y las bocas de la tapa tienen un diámetro 24 mm, por lo que es necesario utilizar un adaptador de vidrio como los usan los dispositivos dosificadores para ajustar el sensor de forma que al terminar un proceso de polimerización sea removible.

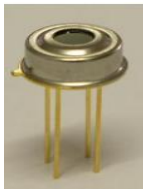


Figura 2.9. Empaquetado TO-39 del sensor MLX90614
(Fuente: [13])

Estos adaptadores de vidrio que garantizan la adaptabilidad del termómetro infrarrojo en la tapa del reactor sin alterar las condiciones normales del proceso, ya que permite ubicar al termómetro en la tapa del reactor sin usar otro dispositivo adicional o un material adhesivo, por su diseño no permite escapar los gases que se producen durante la reacción.

Estos adaptadores se conocen como adaptador de norma, la norma son las medidas de la parte que se va a acoplar, altura y diámetro, entre sus funciones esta permitir el acceso de agentes externos al interior del reactor, en este caso permitirá colocar el termómetro en la tapa del reactor, acercándolo al polímero en desarrollo.

El adaptador de norma a usarse es el adaptador para conexiones rectas que se observa en la Figura 2.10. Este dispositivo permite adaptar instrumentación de ciertas medidas en otra, está fabricado en vidrio Borosilicato, lo cual garantiza una óptima sujeción evitando fugas y se puede remover con facilidad. [15]

El adaptador elegido es un adaptador 24/40, 24mm de diámetro y 40 mm de alto, que son las medidas compatibles con una de las bocas de la tapa del reactor.



Figura 2.10. Adaptador para conexiones rectas.
(Fuente: [15])

Por la medida del diámetro entre el termómetro y su adaptador de vidrio se evidencia que existe una diferencia de diámetro de 14.2mm. Para fijar el termómetro en la parte baja del

adaptador de norma, se plantea usar un corte en forma de rodela fabricado de teflón. Este material funciona como protección ya que no reacciona con los agentes químicos del proceso de polimerización, y al ajustar la parte redonda del termómetro infrarrojo no permite el escape de gases hacia el exterior del reactor ajustándolos con teflón industrial.

EL conjunto del termómetro, la placa de acondicionamiento GY-906, la protección tipo rodela y de teflón industrial se colocan desde la parte superior del adaptador de vidrio, como se muestra en la Figura 2.11.



Figura 2.11. Adaptador de teflón entre el sensor y adaptador de vidrio.
(Fuente: Propia)

Tomando en cuenta que existen espacios entre el adaptador tipo rodela de teflón y la placa GY-906, es necesario aplicar teflón en aerosol que proteja estos espacios expuestos, en este caso PTFE-Spray, que se utiliza como un lubricante, capaz de adherirse a materiales como metal, plástico y madera. [16]

2.1.2. Tarjeta de Desarrollo

Como se señaló anteriormente el termómetro posee una salida compatible con SMBus, que es una forma de comunicación digital subconjunto de I2C, por lo tanto, es posible utilizar un sistema microprocesado para interpretar la señal del termómetro infrarrojo y presentar los datos en una pantalla, la cual permitirá al operador constatar los cambios de temperatura, almacenarlos en una memoria y comunicarse con un computador para visualizar la curva de temperatura del proceso en desarrollo.

Se puede elegir entre dispositivos microcontroladores o tarjetas de desarrollo, donde las tarjetas de desarrollo poseen más prestaciones como como leds indicadores, entradas a otros dispositivos, pines de entrada y salida de datos, un microcontrolador que ordena todos los procesos y el funcionamiento del resto de elementos.

En el mercado se pueden encontrar varios tipos de tarjetas de desarrollo, las cuales se diferencian entre sí por las prestaciones que estas brindan, las más destacadas son la velocidad de procesamiento de datos, compatibilidad con periféricos, lenguajes de programación y capacidad de almacenaje. [17]

Dentro de las tarjetas que existen en el mercado, se escogió una tarjeta Arduino, ya que posee librerías para el desarrollo de software compatibles con el termómetro usado, lo que evitaría la implementación de un circuito adicional de acondicionamiento de datos, además cuenta con el hardware necesario para conectarse con una pantalla de visualización y un periférico de conexión directa con el computador. [18]

Otra prestación importante es que cuenta con dispositivos tipo módulo, diseñados para una conexión directa con esta tarjeta, por ejemplo, módulos de memorias extraíbles.

Un factor determinante es que tienen un costo accesible ante otras tarjetas de desarrollo, las más económicas son Arduino UNO y Arduino NANO, de entre estas la tarjeta Arduino UNO posee la cantidad suficiente de salidas digitales para controlar una pantalla de visualización que necesitaría 7 salidas, un módulo para memoria que ocuparía 4 salidas y dispositivos auxiliares como interruptores, pulsadores o leds indicadores.

En la Tabla 2.2 se muestran algunas de las características de la tarjeta Arduino UNO.

Tabla 2.2. Características de esta tarjeta de desarrollo. [18]

Características del Arduino UNO	
Características	Descripción
Pines de Entrada/salida	14
Tipo de Conexión	Conexión USB
Reloj	16 MHz
Entrada/Salida PWM	6

Entradas Analógicas	6
Tipo de comunicación	SPI/UART/I2C

2.1.3. Pantalla de visualización de temperatura

El sistema de monitoreo debe contar con una pantalla de visualización ya que informa al operador cuando comenzar añadir los reactivos, esto se realiza en temperaturas cercanas a 70 grados [3]. A través del proceso este valor de temperatura debe mantenerse constante por lo que es importante que en cualquier momento el operador del reactor pueda conocer el valor de esta variable, en caso de necesitar ajustes en la dosificación.

Otra función de la pantalla es mostrar mensajes que informen al operador en caso de la existencia de errores, o mostrar instrucciones de uso del sistema, como la desconexión del termómetro infrarrojo.

De entre las pantallas que se encuentran en el mercado, se eligió una pantalla de cristal líquido (LCD), ya que es de costo accesible, puede mostrar los datos de forma clara al operador del reactor y se puede manejar desde Arduino.

La pantalla de visualización consta de un display LCD, el cual dispone de 16 columnas y 2 filas para mostrar datos. Para visualizar la información se utilizó 7 salidas digitales de la tarjeta de desarrollo 3 salidas como líneas de control y 4 salidas digitales como líneas de transmisión de datos. Esta pantalla necesita alimenta de 5 voltios en DC y se debe usar un potenciómetro que permite regular el contraste de la pantalla. Su esquema de conexión se muestra en la Figura 2.12.

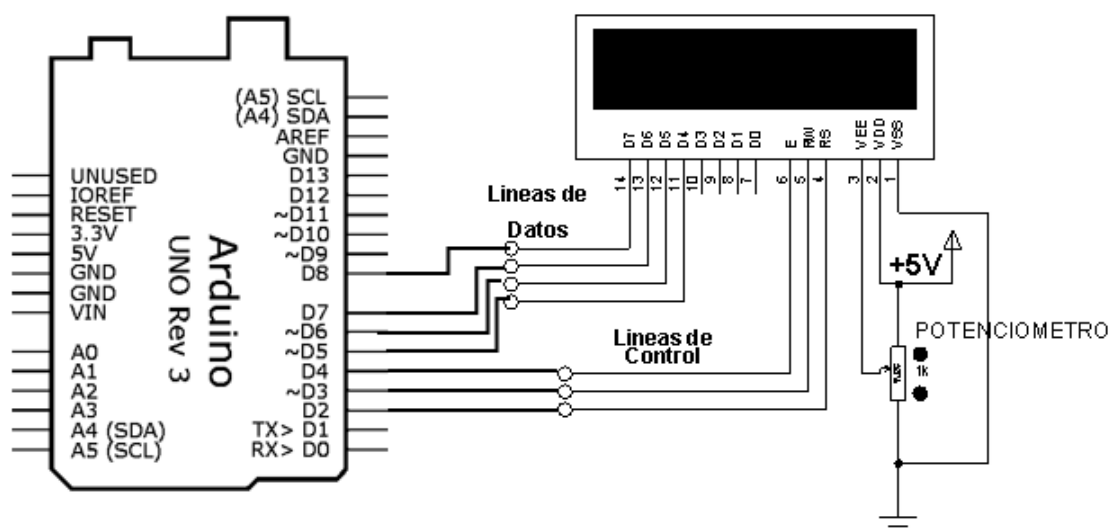


Figura 2.12. Diagrama de conexión del display LCD (Fuente: Propia)

2.1.4. Módulo para tarjeta micro SD

Este módulo permite guardar los datos obtenidos en una tarjeta de memoria micro SD, el cual por medio de la placa de adaptación se conecta con la tarjeta de desarrollo.

El módulo que se observa en a Figura 2.13 se usa para guardar los datos de temperatura cada vez que la tarjeta desarrollo adquiere un dato del termómetro infrarrojo.



Figura 2.13. Módulo para memoria mircoSD
(Fuente: [18])

2.1.5. Fuente de alimentación del Sistema

Sabiendo que, en promedio, un proceso el proceso dura 8 horas, una característica importante de la fuente de alimentación del sistema es el respaldo de energía, por lo tanto, debe tener la capacidad de suministrar la energía desde una batería sin interrumpir los procesos de adquisición de datos, comunicación y almacenamiento. Mediante un multímetro se midió el consumo de corriente de los dispositivos que conforman el sistema, se obtuvo una intensidad de 64 mA, siendo la tarjeta de desarrollo el que mayor consume con una corriente de 40 mA.

Por lo tanto, priorizando la estabilidad de la energía del sistema se optó por la fuente ZK-PS902B. Esta fuente posee un regulador lineal, lo que garantiza alta sensibilidad y bajo ruido, el circuito de la fuente está incluido en el gabinete que se observa en la Figura 2.14, hecho de aluminio y con espacio suficiente para todos los componentes del sistema, está protegida contra corto circuitos y sobre cargas por medio de un fusible de cable. [19]



Figura 2.14. Fuente de alimentación del sistema
(Fuente: [19])

Contiene los conectores necesarios para instalar una batería seca, no necesita un circuito extra para recargar la batería y una ventaja que presenta es que su gabinete metálico es resistente ante la presencia de monómeros o disolventes derramados. En la Tabla 2.3. se detallan las características técnicas de la fuente.

Tabla 2.3. Especificaciones de la fuente de alimentación modelo ZK-PS902B [19]

Especificaciones de la fuente de alimentación modelo ZK-PS902B	
Entrada de voltaje	120V/220v
Frecuencia	60Hz
Corriente momentánea	5 A
Corriente Continua	2 A
Conexión a batería	Si
Temperatura de operación	-20 °C a 60 °C
Humedad de operación	Menor 90%

Esta fuente podría ser usada para varias aplicaciones, donde se necesite interruptores o botones, pero para esta aplicación se utiliza el diagrama de conexión que se detalla en la Figura 2.15.

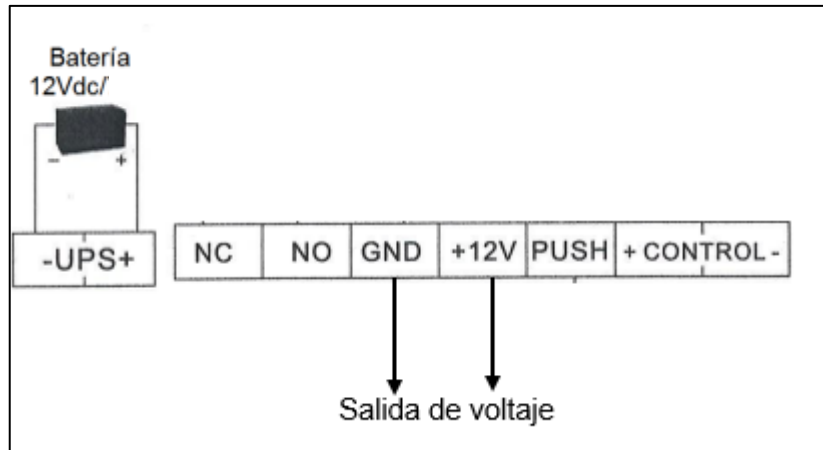


Figura 2.15. Diagrama de conexión de la fuente ZK-PS902B
(Fuente: Propia)

2.1.6. Regulador de Voltaje

Para alimentar los dispositivos del microcontrolador, display LCD, el sensor infrarrojo MLX90614 y el módulo para la memoria microSD, se necesita 5V, para lo cual se utilizó un convertor DC/DC LM2577S. Este convertor admite voltajes de entrada desde los 3V hasta 30 V y provee una salida entre 3V y 40V; utiliza el voltaje de salida de la fuente de 12V y mediante el potenciómetro de precisión regula la salida a 5V, esta salida se conecta con la entrada de la placa de adaptación. En la Figura 2.16 se observa el regulador de voltaje.

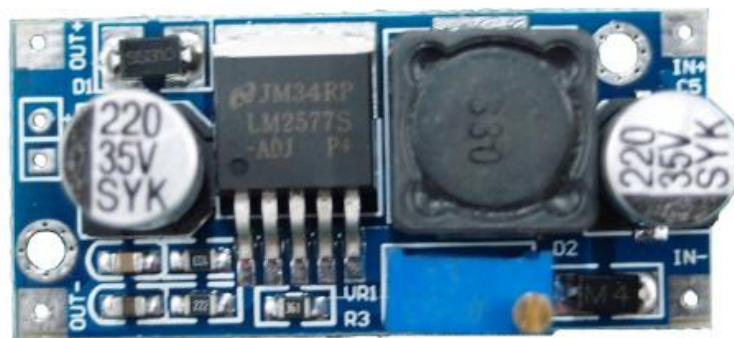


Figura 2.16. Convertor LM2577S
(Fuente: Propia)

2.1.7. Selección de la batería

Para brindar flexibilidad en la ubicación del gabinete del sistema de monitoreo, es necesario que la alimentación de energía no dependa de una fuente de 110V, dado que la distancia a la que se puede ubicar el gabinete del reactor está limitada por el cable del termómetro

infrarrojo. Por lo que es primordial la implementación de una batería como parte del sistema de monitoreo.

Para seleccionar la batería se debe tomar en cuenta el espacio disponible dentro del gabinete, dado que se van a utilizar varios dispositivos electrónicos, es limitado, y no obstruya las conexiones al interior del gabinete y permita ubicar correctamente los demás componentes.

Dado el consumo del sistema de 64mA. Por tamaño se seleccionó una batería de 1300 mAh con un voltaje de 12V y se calculó la duración de la misma con las siguientes relaciones:

$$\text{Tiempo de duración de la batería} = \left(\frac{I_n}{I_c} \right) = \frac{1300 \text{ mAh}}{64 \text{ mA}} = 20.31 \text{ horas}$$

Donde:

I_c = Corriente de la carga(sistema)

I_n = Corriente nominal de batería.

Como el proceso de polimerización dura 8 horas esta batería está en capacidad de alimentar el sistema en al menos 2 procesos, después de los cuales será necesario conectar el sistema a una fuente de 110 VAC.

2.1.8. Computador

El computador se utilizará para visualizar los datos de temperatura obtenidos con dos posibilidades, observar la curva de temperatura mientras esta se va generando usando el programa Labview, que recibe los datos por medio de comunicación serial. o por medio de una aplicación desarrollada en Python, en la cual se grafican los datos almacenados en la memoria micro SD.

Para instalar estos programas se tienen los requerimientos que se muestran en la Tabla 2.4, y es necesario añadir que debe poseer una entrada para memoria SD y un puerto de comunicación serial

Tabla 2.4. Requerimientos del computador

Procesador	Pentium 4M en adelante
Sistema operativo	Windows 10 (versión 1809)/ 8.1 Update 1/ 7 SP1.
Memoria	1 GB de RAM y 5 GB de espacio en disco

Resolución de pantalla	1,024 x 768 píxeles
------------------------	---------------------

Una vez seleccionados todos los componentes del sistema de monitoreo se los coloca junto al sistema de obtención de polímeros como se observa en la Figura 2.17.



Figura 2.17. Sistema de monitoreo instalado con el reactor.
(Fuente: Propia)

2.2. Diseño del software

La tarjeta de desarrollo Arduino UNO fue programada utilizando su editor IDE, mediante este editor se desarrolló la lógica para adquirir los datos del termómetro infrarrojo, almacenarlos en la memoria micro SD, visualizarlos en la pantalla LCD y transmitirlos mediante comunicación serial.

Adicionalmente, en el computador se instaló Labview. En él se desarrolló la programación para recibir los datos de la tarjeta Arduino UNO, visualizar la curva de temperatura del proceso y almacenar estos datos en un archivo de Excel.

Finalmente, se utilizó Python para graficar los datos guardados en la memoria micro SD.

2.2.1. Programación desarrollada para la tarjeta de desarrollo Arduino UNO

En la tarjeta de desarrollo se implementó el código esquematizado en la Figura 2.18 y la Figura 2.19. Usando el editor de Arduino conocido como IDE, en primera instancia se agregan las librerías al código necesarias para manejar los dispositivos del sistema y se configuran las variables globales que se utilizan; posteriormente se realizan las configuraciones iniciales del programa, luego se verifica que la memoria extraíble se encuentre conectada, en caso de que esta memoria no sea detectada se despliega un mensaje de error y el programa entra a un bucle hasta que sea insertada la memoria. Si la memoria es insertada y es detectada por la tarjeta de desarrollo se elimina y se crea un nuevo archivo Temp.txt, para evitar la sobrescritura de datos de pruebas anteriores. A continuación, se despliega un mensaje que indica al usuario presionar el botón del sistema para comenzar almacenar datos, una vez presionado el botón empieza la ejecución del lazo principal del programa.

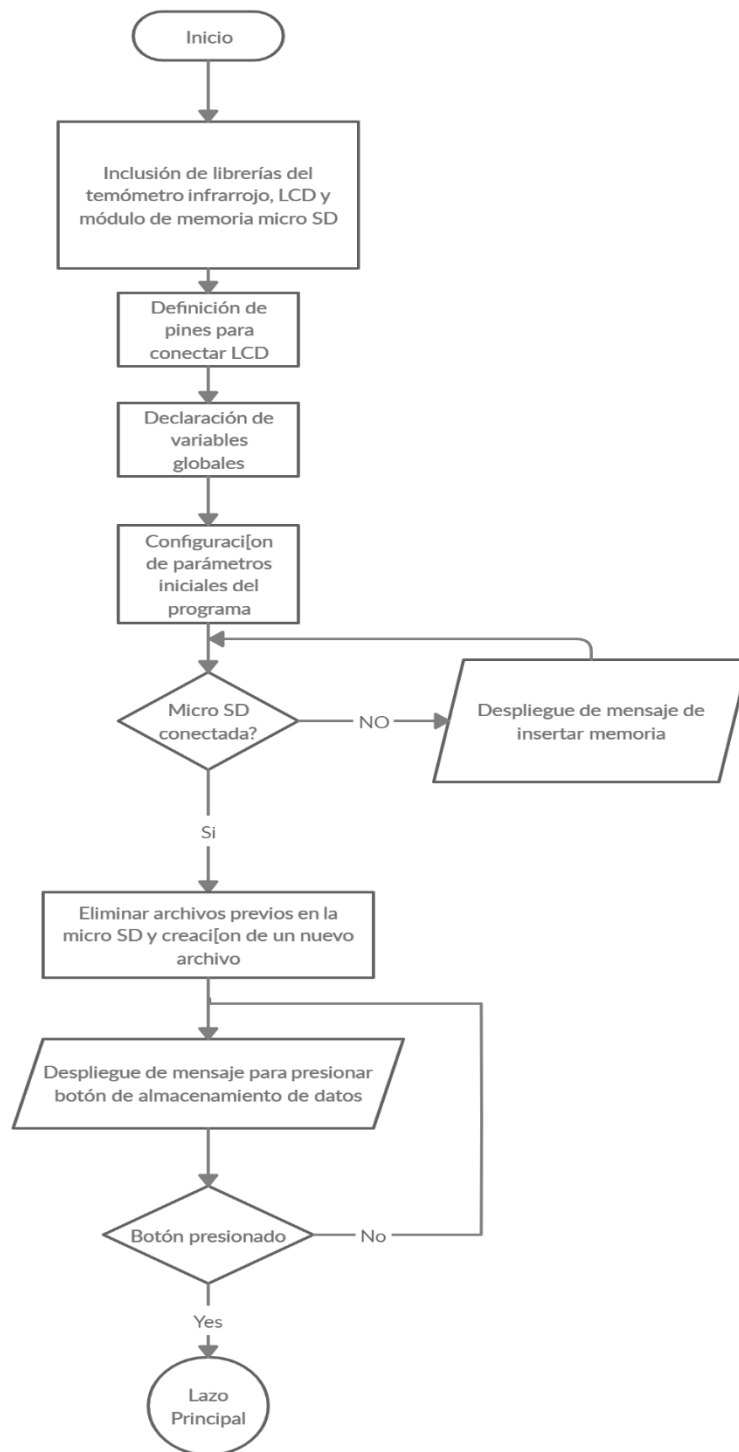


Figura 2.18. Diagrama de flujo del programa del microcontrolador (Etapa de configuración)
(Fuente: Propia)

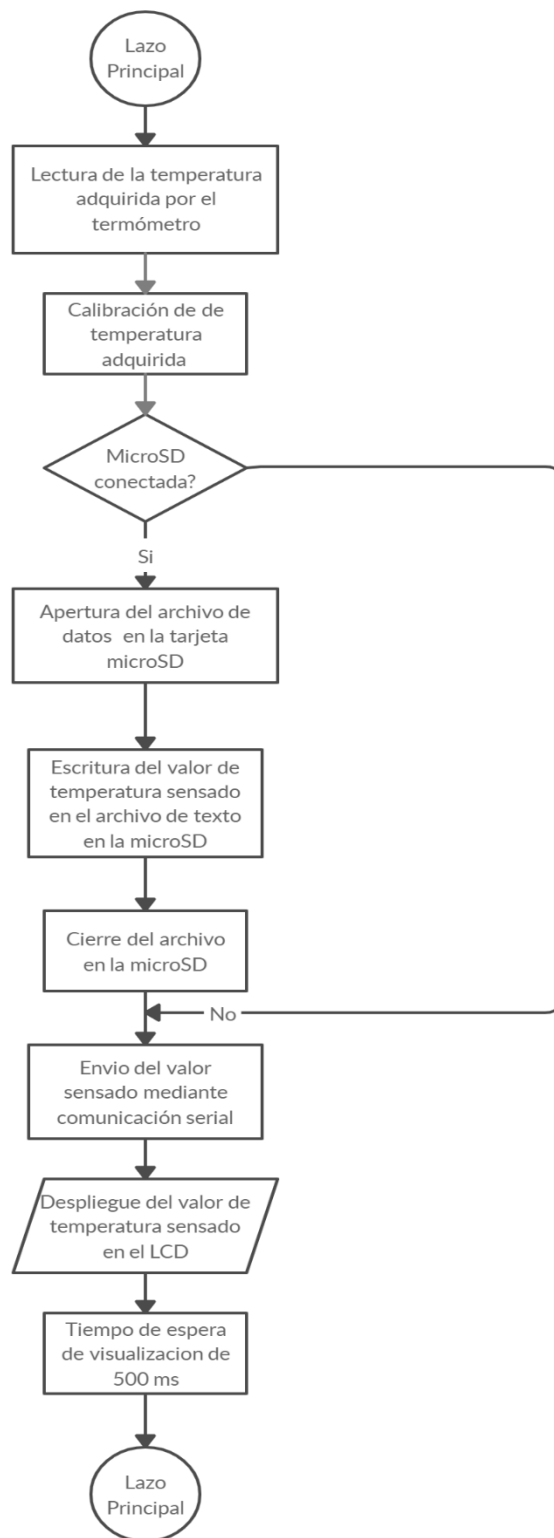


Figura 2.19. Diagrama de flujo del procesamiento de datos del sensor.
(Fuente: Propia)

El lazo principal del programa, mostrado en la Figura 2.19 se encarga de procesar los datos adquiridos por el sensor. En primer lugar, se abre el archivo de datos almacenado en la memoria para escribir la información leída. Una vez completada la acción anterior la tarjeta de desarrollo envía los datos adquiridos mediante comunicación serial y después despliega el valor de temperatura leído en el LCD. La temperatura se muestra en grados centígrados. En caso de no estar conectada la memoria MicroSD no se guarda la información y se avanza al envío de datos mediante comunicación serial.

2.2.1.1. Diagrama de flujo de las ecuaciones de calibración

Dentro del lazo principal, una vez adquirido el dato de temperatura desde el termómetro, se procede a analizar el rango de temperatura en que se encuentra este valor, y se aplica la ecuación de calibración correspondiente, estas ecuaciones se obtienen en la prueba de calibración, si la temperatura es menor a 39 °C no se realiza calibración, ya que esta temperatura está completamente alejada del rango de temperatura de trabajo. Al finalizar la calibración procede al siguiente paso del lazo principal que es el análisis de conexión de la micro SD.

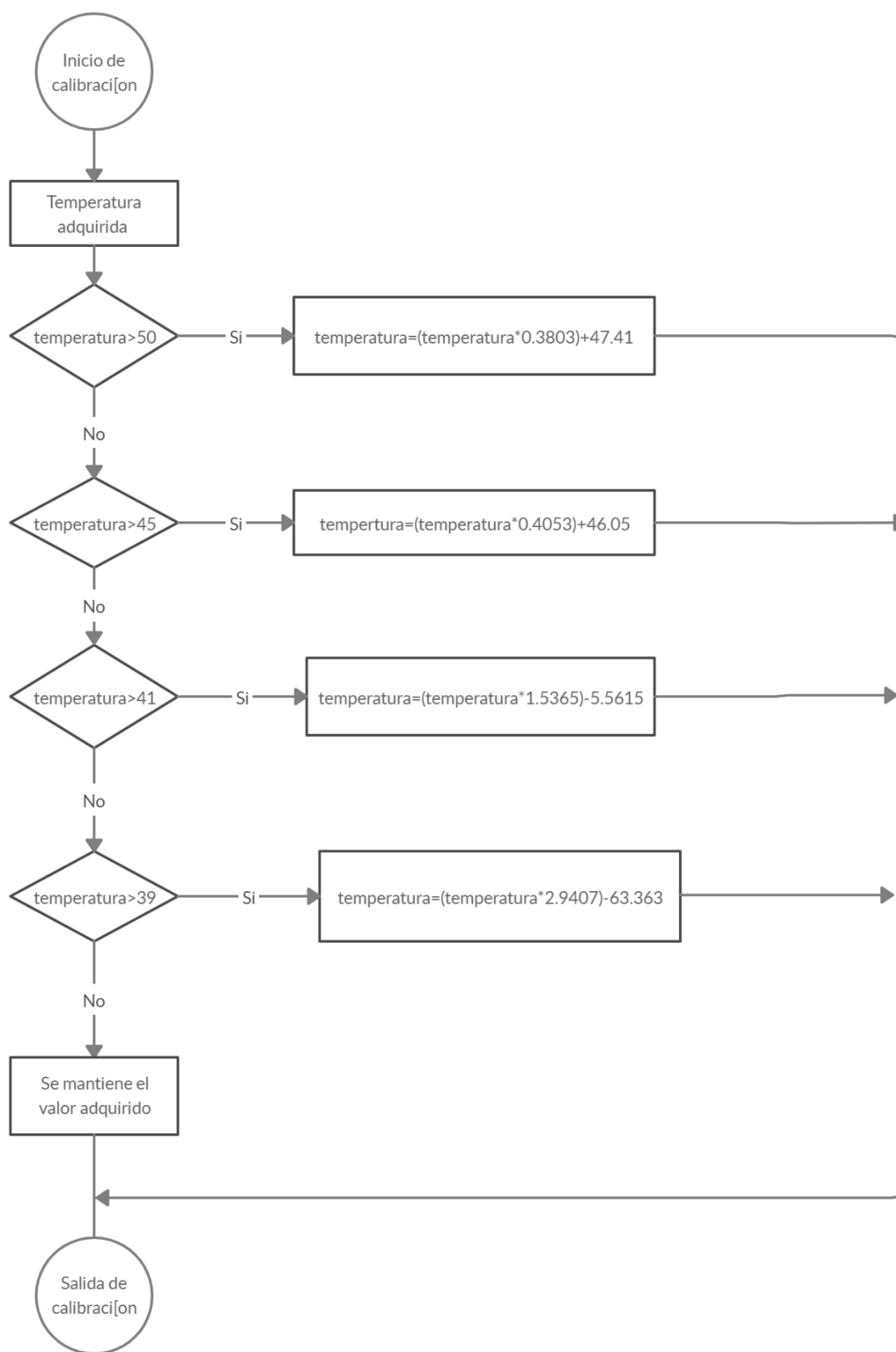


Figura 2.20. Diagrama de flujo de las ecuaciones de calibración.

(Fuente: Propia)

2.2.2. Programación desarrollada en Labview para la visualización de datos

Para la visualización de la temperatura y su evolución a lo largo del proceso que se esté monitoreando se utiliza LabView. El diagrama de flujo del programa desarrollado se muestra en la Figura 2.21. Este programa consiste en un proceso de lectura de datos mediante comunicación serial que posteriormente son procesados con el fin de evitar lecturas falsas cuando el puerto de comunicación se encuentre en cero debido a posibles fallas en la sincronización entre la tarjeta de desarrollo y el computador, para evitar estas fallas cuando un dato es leído y tiene una diferencia mayor a 10 grados del dato anterior, se muestra el dato anterior, se toma la referencia de un cambio de 10 grados ya que la temperatura no varía en tal magnitud entre lecturas del termómetro. La temperatura se visualiza en una pantalla que muestra la variación de la misma a través del tiempo y adicionalmente se muestra el valor instantáneo de la temperatura en un indicador numérico. El programa también genera una hoja de cálculo donde se almacenan los datos recibidos y su respectivo tiempo de medición.

El programa desarrollado en labview se detalla en la figura 2.22, donde se observan los bloques usados para abrir la comunicación serial, transformar el dato recibido y mostrarlo en pantalla que se observa en la Figura 2.23

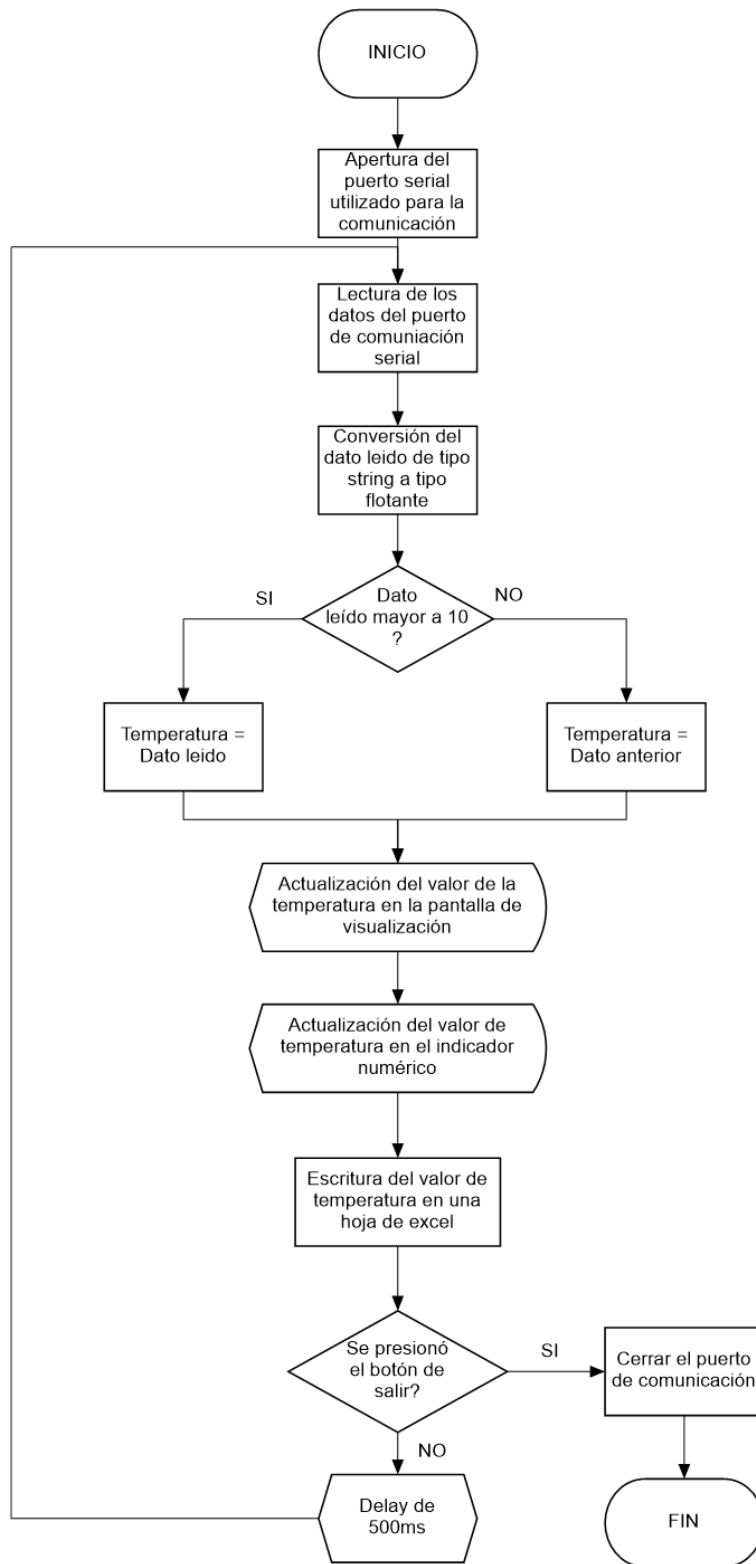


Figura 2.21. Diagrama de flujo de la aplicación del labview.
(Fuente: Propia)

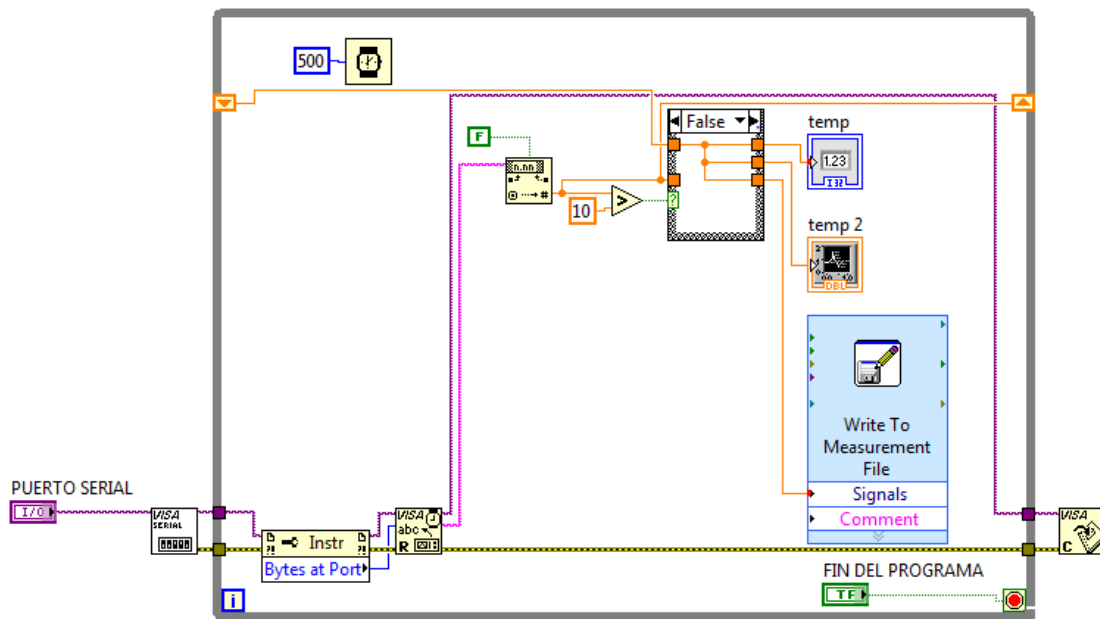


Figura 2.22. Esquema de programa desarrollado
(Fuente: Propia)



Figura 2.23. Pantalla Principal de Labview
(Fuente: Propia)

2.2.3. Programación desarrollada en Python para la visualización de los datos almacenados en la memoria microSD

El programa desarrollado en Python tiene como finalidad el proporcionar al usuario un medio de visualización de los datos almacenados en la tarjeta de memoria después de que se haya realizado una medición de temperatura en un proceso. El software implementado

sigue el proceso esquematizado en la Figura 2.24 y fue desarrollado en el editor como se observa en la Figura 2.25.

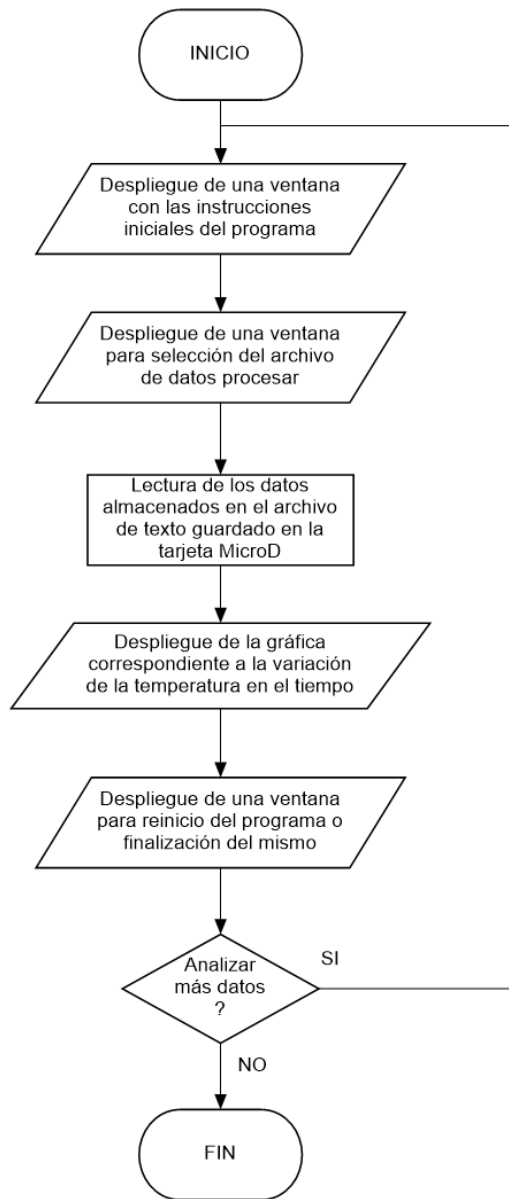
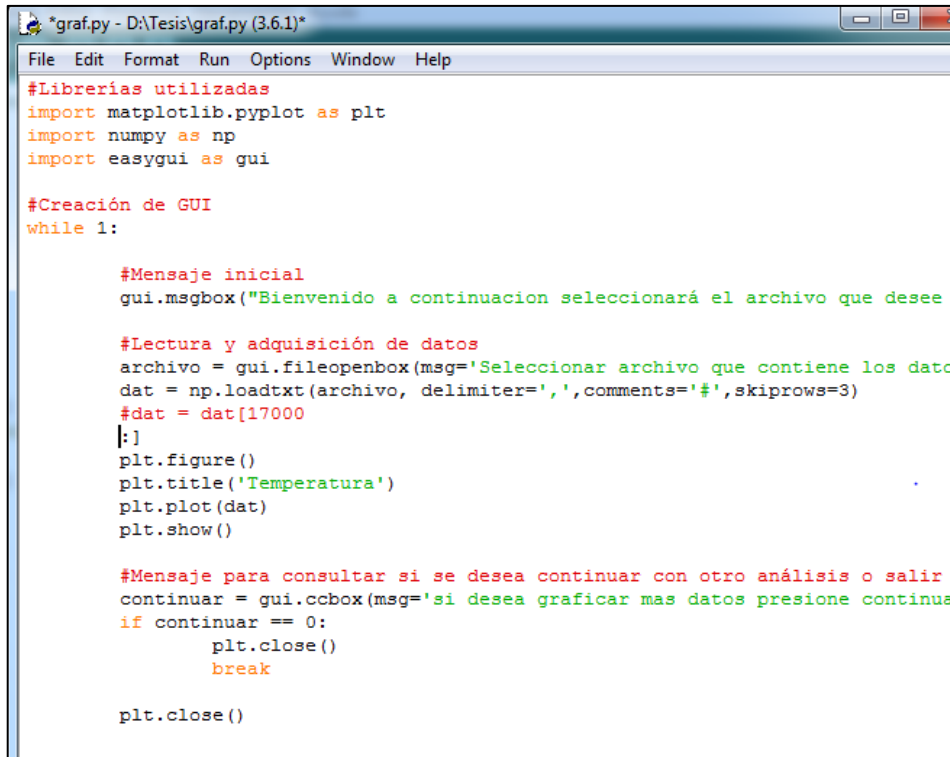


Figura 2.24. Diagrama de flujo de la aplicación desarrollada en Python (Fuente: Propia)



```
*graf.py - D:\Tesis\graf.py (3.6.1)*
File Edit Format Run Options Window Help
#Librerías utilizadas
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import easygui as gui

#Creación de GUI
while 1:

    #Mensaje inicial
    gui.msgbox("Bienvenido a continuacion seleccionará el archivo que desee

    #Lectura y adquisición de datos
    archivo = gui.fileopenbox(msg='Seleccionar archivo que contiene los dato
    dat = np.loadtxt(archivo, delimiter=',', comments='#', skiprows=3)
    #dat = dat[17000
    |:]
    plt.figure()
    plt.title('Temperatura')
    plt.plot(dat)
    plt.show()

    #Mensaje para consultar si se desea continuar con otro análisis o salir
    continuar = gui.ccbbox(msg='si desea graficar mas datos presione continua
    if continuar == 0:
        plt.close()
        break

    plt.close()
```

Figura 2.25. Editor de la aplicación desarrollada en Python
(Fuente: Propia)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se expondrá las pruebas realizadas para la obtención de resultados mediante los cuales se determina el funcionamiento del prototipo.

Las pruebas que se realizaron son:

- Prueba de funcionamiento de los dispositivos que integran el sistema de monitoreo y adquisición de datos.
- Prueba de almacenamiento de datos.
- Prueba de funcionamiento del sistema de monitoreo de temperatura en el reactor de polímeros del CIAP durante un proceso de polimerización.
- Prueba de calibración.
- Prueba de validación de datos.
- Primera prueba de validación de datos en un proceso de Polimerización bajo condiciones normales.
- Segunda prueba de validación de datos en un proceso de Polimerización bajo condiciones normales.

3.1. Prueba de funcionamiento de los dispositivos que integran el sistema y adquisición de datos.

3.1.1. Objetivos

- Constatar el funcionamiento de los dispositivos que componen el sistema de monitoreo de temperatura: tarjeta de desarrollo, termómetro infrarrojo, pantalla LCD, fuente de alimentación y batería.
- Verificar que los datos adquiridos describan un fenómeno de cambio de temperatura mediante la comparación con un termómetro de mercurio sumergible.

3.1.2. Materiales

- Baño circulatorio PolyScience.
- Termómetro de mercurio sumergible
- Sistema de monitoreo propuesto ensamblado
- Computador
- Multímetro

3.1.3. Metodología de la prueba

Para iniciar se conectó el termómetro mlx90614 al gabinete del sistema propuesto, al mismo tiempo se conecta el cable de poder para la alimentación de energía. Se prosigue a encender el sistema propuesto, se observan los datos adquiridos por el termómetro mlx90614 desplegados en la pantalla LCD. Los datos obtenidos pertenecen a la temperatura ambiente.

Después, se procedió a verificar la fuente de alimentación usando el multímetro, midiendo el voltaje a la salida de la placa de la fuente verificando que alimente con 12 voltios la placa de adaptación. Luego se midió el voltaje en los puntos que provienen de la batería y de la salida del transformador.

Posteriormente se realizó la medición de la temperatura inicial del agua en el interior del baño circulatorio PolyScience, usando el sistema propuesto y el termómetro sumergible, luego se configuró el baño circulatorio en 70 grados centígrados, se realizó mediciones cada minuto. El sensor fue colocado a 16 cm del agua, que es la distancia mínima a la que podría estar dentro del reactor hacia el polímero en desarrollo.

Una vez alcanzada la temperatura máxima se optó por agregar agua fría para acelerar el proceso de enfriamiento, y se realizó mediciones de temperatura cada vez que se agregaba agua fría.

3.1.4. Datos obtenidos y gráficos

Tabla 3.1 Lecturas de temperatura en proceso de calentamiento y enfriamiento de agua destilada.

Datos	Termómetro Sumergible	Sistema Propuesto
1	19.2	19.5
2	24.3	22.8
3	26	23.4
4	28	27
5	32.6	30.99
6	35.9	35.1
7	36.6	37
8	41.4	37.6
9	44	41.77
10	47	43.31
11	49	45
12	48.8	46
13	51.9	47.6

14	59	48
15	60.7	51.51
16	62.8	54
17	63.4	57.12
18	70.1	63.4
19	66.6	55
20	64.8	53.81
21	63.7	52.51
22	60	49
23	54.1	48.4
24	51.5	45.45
25	47.4	42.23
26	44.7	40
27	40.7	37.3
28	36.4	33.3
29	32.6	29.43

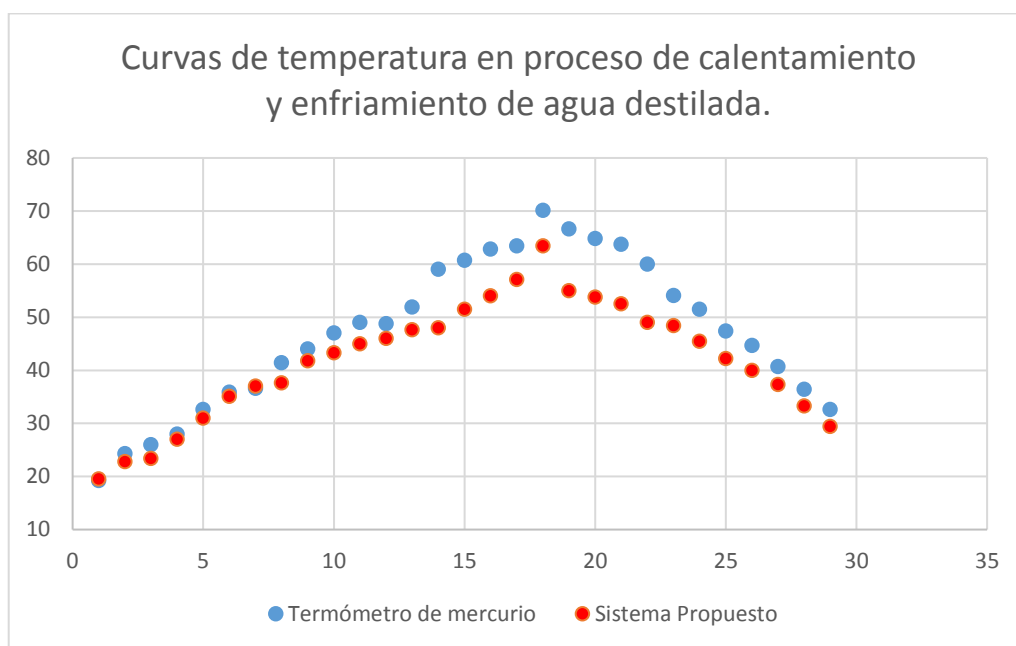


Figura 3.1 Temperatura en proceso de calentamiento y enfriamiento de agua dentro del baño circulatorio.

En la Figura 3.1 se observa las curvas de temperatura medidas por el termómetro de mercurio de color azul y la curva de las temperaturas mediadas por el sistema propuesto de color rojo, estas gráficas de obtuvieron a partir de los de la Tabla 3.1. Se puede apreciar que las curvas tienen la misma forma, a pesar del error en cada dato, al existir un cambio en el valor de lectura del termómetro sumergible, el mismo cambio se presenta en el valor

de lectura del sistema propuesto, tanto en la fase calentamiento como en la de enfriamiento.

3.1.5. Conclusiones de la prueba

Se comprobó el funcionamiento de los dispositivos que conforman el sistema de monitoreo, como son los elementos que suministran energía a los elementos encargado de la adquisición de datos de temperatura.

Se observó que el sistema permite una fácil manipulación, conexión del sensor mlx90614 y visualización de la temperatura obtenida en cada momento.

Se logró obtener una curva de temperatura semejante a la obtenida con un termómetro sumergible, por lo que el sensor funciona correctamente, siendo originado este error por la distancia a la que se encuentra el sensor.

3.2. Prueba de almacenamiento de datos.

3.2.1. Objetivos

- Verificar que los datos obtenidos mediante el sensor mlx90614 sean almacenados en la memoria micro SD.

3.2.2. Materiales usados

-Sistema de monitoreo de temperatura.

-Computador.

-Memoria micro SD

3.2.3. Metodología

Esta prueba se realizó en paralelo a la prueba de funcionamiento de los dispositivos que integran el sistema de monitoreo y adquisición de datos, para lo cual se colocó dentro del módulo la memoria micro SD previo a encender el sistema.

Después al encender el sistema se despliega un mensaje en la pantalla LCD, donde se indica que se debe presionar el botón para comenzar a almacenar los datos, automáticamente los datos obtenidos se almacenan en la memoria micro SD.

Una vez culminada la prueba, se extrajo la memoria, y se obtuvieron los datos que se muestran a continuación.

3.2.4. Datos obtenidos y gráficos

Se obtuvieron 376 datos, parte de los cuales se indican en la Tabla 3.2, el proceso duró aproximadamente 25 minutos y se obtuvo la curva de temperatura de la Figura 3.2, correspondiente a los datos almacenados en la tarjeta microSD mediante la aplicación desarrollada en Python.

Tabla 3.2. Datos almacenados en la memoria micro SD.

Dato	Temperatura
1	20.3
2	20.7
3	21.1
4	21.5
5	21.9
6	22.3
7	22.8
8	23.3
9	23.8
10	23.4
11	23.7
12	24
13	24.3
14	24.6
15	24.9
16	25.2
17	25.5
18	25.8
19	26.1
20	26.4
21	26.7
22	27
23	27.7
24	28.6
25	30.99
26	31.6
27	32.21
28	32.82
29	33.43
30	34.04
31	35.1
32	36.16
33	37.22
34	37.6

35	37.98
36	38.36
37	38.74
38	39.12
39	39.5
40	39.88
41	40.26
42	41.77
43	43.28
44	44.79
45	46.3
46	46.7
47	47.1
48	47.5
49	47.9
50	48.3
51	48.5
52	48.7
53	48.9
54	49.1
55	49.3
56	49.5
57	49.7
58	49.9
59	50.1
60	50.3
61	50.5
62	50.7
63	50.9
64	51.51
65	52.3
66	53.09
67	53.88
68	54.67
69	55.46
70	56.25
71	57.12
72	59.2
73	61.28
74	63.36
75	61.7
76	60.04
77	58.38

78	56.72
79	53.81
80	52.51
81	51.1
82	50.2
83	49
84	48.4
85	47.7
86	47.2
87	46.7
88	46.2
89	45.45
90	44.32
91	43.19
92	42.06
93	40
94	38.5
95	37.3
96	36.5
97	35.7
98	34.9
99	34.1
100	33.3

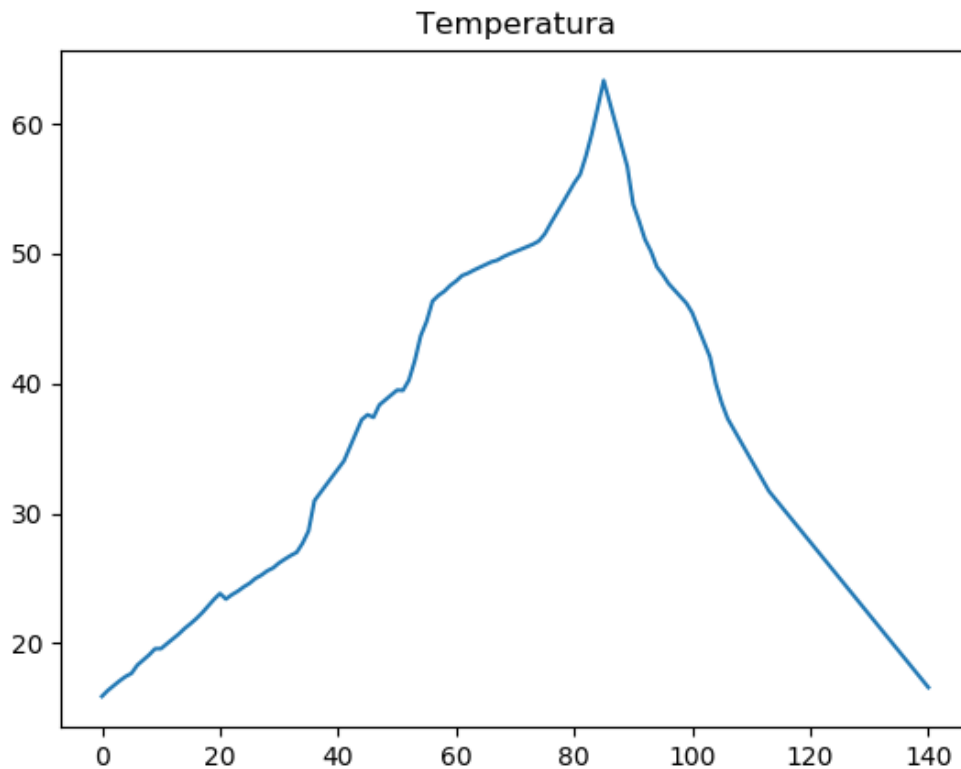


Figura 3.2 Curva de temperatura obtenida en base de los datos almacenados en la memoria microSD.
(Fuente: Propia)

3.2.5. Conclusiones de la prueba

Se verificó que los datos almacenados en el la memoria micro SD, corresponden a los visualizados durante las mediciones observadas en la pantalla LCD, validando este proceso de almacenamiento de datos.

Se logró obtener la gráfica de temperatura mediante la aplicación desarrollada en Python, eligiendo el archivo almacenado en la memoria micro SD correspondiente a esta prueba.

3.3. Prueba de funcionamiento del sistema de monitoreo y adquisición de datos de temperatura en el reactor de polímeros del CIAP durante un proceso de polimerización.

3.3.1. Objetivos

Comprobar que las protecciones diseñadas para colocar el sensor en la parte superior del reactor, protejan el sensor mlx90614 ante los agentes reactivos que actúan durante el proceso.

Verificar que el sistema de monitoreo lea la temperatura, durante todo el proceso de polimerización.

Observar los datos obtenidos en la interfaz desarrollada en labview, y obtener la gráfica de temperatura en base a los archivos guardados en el documento de Excel.

3.3.2. Materiales usados

- Reactor de vidrio marca CHEMglass
- Tapa de cuatro bocas.
- Baño circulatorio PolyScience.
- Un motor de agitación Heidolph modelo RZR 2041.
- Dispositivos de dosificación
- Agitador tipo ancla.
- Refrigerante
- Adaptador de vidrio para sensor.
- Adaptadores de vidrio para mangueras de dosificación de reactivos.
- Computador
- Sistema de monitoreo de temperatura propuesto.

3.3.3. Metodología

Para comenzar, se agregan todos los elementos que forman la base acuosa dentro del reactor, se colocó el agitador tipo ancla dentro del reactor, después éste se selló usando la tapa y se acopló el agitador con el motor. Luego se encendió el baño circulatorio,

configurando su temperatura a 70 grados centígrados, a continuación, se colocaron los adaptadores de vidrio para mangueras de dosificación de reactivos y el adaptador de vidrio con el sensor mlx90614.

Entonces se configuró el motor a una velocidad de 180 revoluciones por minuto, y se encendió el sistema de monitoreo de temperatura propuesto. Se observó que el monitoreo y la comunicación de los datos obtenidos con el computador sea constante. Por medio de la interfaz desarrollada se fue observando la gráfica de temperatura.

Este proceso tuvo una duración de 8 horas, al finalizar se detuvo la comunicación en la interfase desarrollada en labview y se procedió al retiro el adaptador de vidrio con el sensor. Durante esta prueba no se realizó mediciones con otro termómetro, lo que se realizará en las pruebas de validación, para que el no proceso de polimerización no sufra ninguna alteración, y el sistema de monitoreo propuesto este expuesto a todos los agentes químicos de la reacción

3.3.4. Datos obtenidos y gráficos

Se obtuvo la gráfica de temperatura de los datos comunicados al computador, guardados en un documento de Excel.

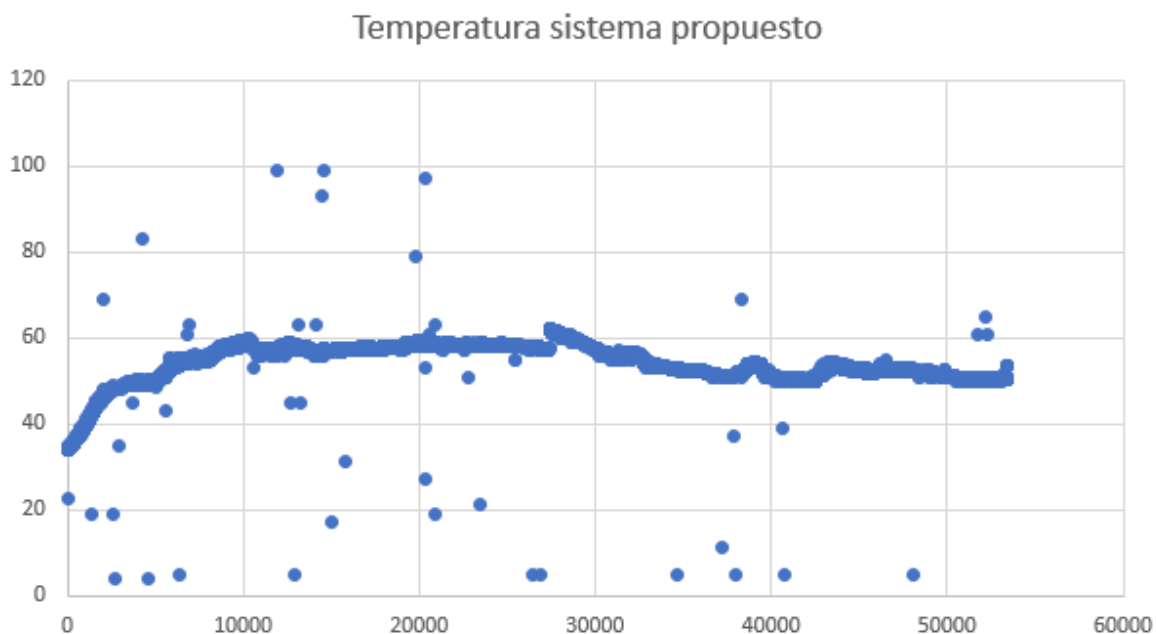


Figura 3.3 Curva de temperatura obtenida con el sistema propuesto con datos guardados en el computador.

Para contrastar esta gráfica se realizó una toma de datos observando la pantalla LCD. Estos datos se pueden observar en la Tabla 3.3. y en la Figura 3.4

Tabla 3.3 Datos obtenidos con el sistema propuesto visualizando el LCD.

Tiempo	Sistema de medición propuesto (sensor MLX90614)	
	Temperatura Fase acuosa	Temperatura Fase gaseosa y acuosa
10+	35	
20+	40	
30+	44	
40+	49	
50+	50	50
60+		54
1h10		55
1h20		56
1h30		58
1h40		56
1h50		57
2h00		57
2h10		57
2h20		57,24
2h30		57,55
2h40		58
2h50		58,25
3h00		58,37
3h10		58,73
3h20		58
3h30		58,6
3h40		59
3h50		59
4h00		59,12
4h10		59,23
4h20		60
4h30		61
4h40		62
4h50		60,5
5h00		59
5h10		56
5h20		55,75
5h30		53,14
5h40		52,81
5h50		52,55
6h00		51,69
6h10		51,73

6h20		52
6h30		50,39
6h40		50,61
6h50		51,85
7h00		52
7h10		52,15
7h20		52,5
7h30		52,77
7h40		52,03
7h50		51,35
8h00		50,45

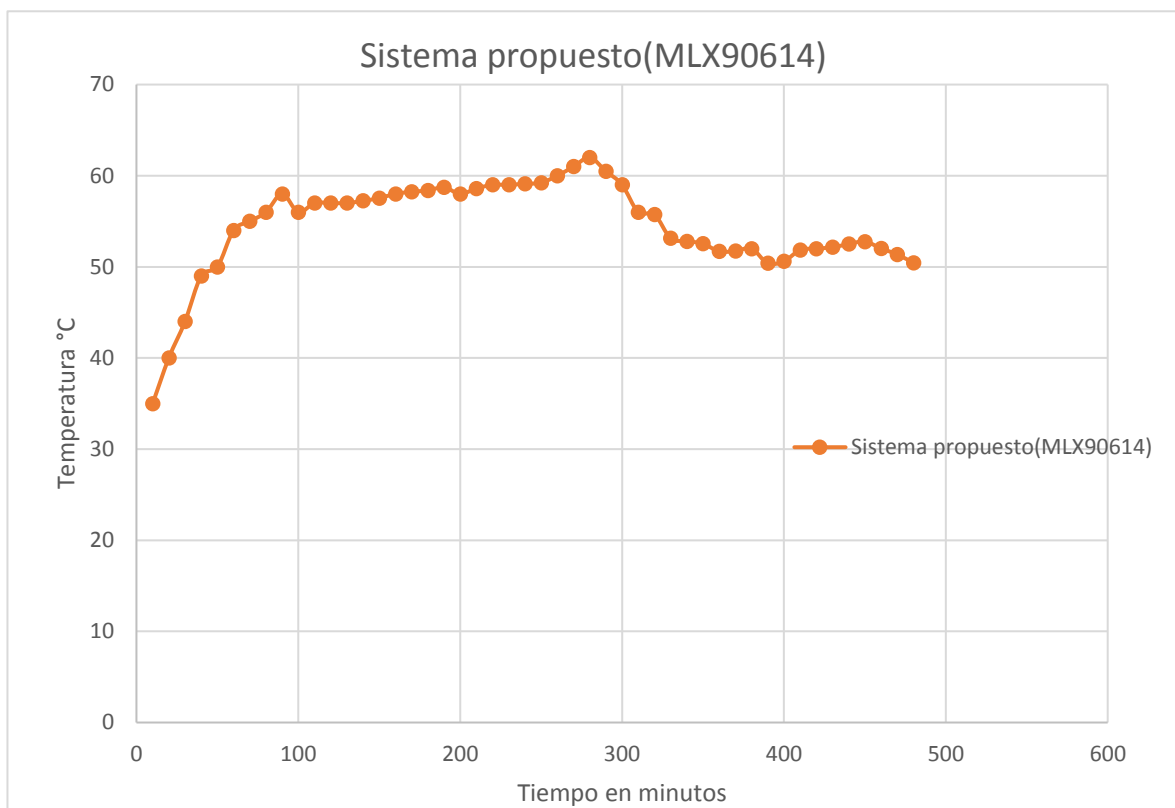


Figura 3.4. Curvas de temperatura obtenidas mediante visualización en la pantalla LCD.

3.3.5. Conclusiones de la prueba

Se comprobó el buen estado del sensor y de sus protecciones, una vez retirados de la tapa del reactor, manteniéndose la adquisición de datos aun después de finalizado el proceso de polimerización.

Se verificó que durante todo el proceso el sistema de monitoreo de temperatura, mantuvo su funcionamiento sin interrupciones, permaneciendo expuesto a los agentes reactivos del proceso.

Se observó los datos obtenidos en la interfase desarrollada en labview, de forma constante, se observó que existieron errores de comunicación, debidos probablemente a falta de sincronización entre la tarjeta de desarrollo y la lectura del dato por comunicación serial.

Se determinó que el sistema necesita una calibración porque se conoce que el fenómeno de máxima exotermia ocurre por sobre los 70°C, valor que no fue alcanzado durante esta prueba.

3.4. Prueba de calibración

3.4.1. Objetivos

Encontrar el error en la medición de temperatura del sistema de monitoreo propuesto comparándolo con un termómetro calibrado.

Plantear un método de calibración que se pueda implementar de forma digital en la tarjeta de desarrollo Arduino UNO.

3.4.2. Materiales usados

- Reactor de vidrio marca CHEMglass
- Tapa de cuatro bocas.
- Baño circulatorio PolyScience.
- Adaptador de vidrio para sensor.
- Adaptadores de vidrio para mangueras de dosificación de reactivos.
- Computador.
- Sistema de monitoreo de temperatura propuesto.
- Termómetro sumergible.
- Polímero desarrollado previamente.

3.4.3. Metodología

Para la realización de estas pruebas se utilizó una mezcla de agua con un producto de polimerización que fue desarrollado previamente, esta combinación se asemeja en características físicas a la combinación de agentes químicos que se encuentran en el interior del reactor durante la reacción. Estas características son el color, la viscosidad, y el volumen.

Se colocaron todos los adaptadores de vidrio en la tapa del reactor, se instaló el termómetro mx90614 en su respectivo adaptador, y se procedió a activar el baño circulatorio PolyScience configurado a una temperatura de 70 grados.

Después de esto se realizaron mediciones de temperatura usando un termómetro sumergible de mercurio y observando la pantalla LCD, cada vez que se presentó una variación de temperatura considerable, en un rango de 0.5 a 1 grados centígrados. Una vez la pantalla del baño circulatorio indicó un valor de temperatura cercano a los 70°C se añadió agua fría emulando el momento en que se agregan reactivos al reactor, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 3.4 y graficados en la Figura 3.5.

A partir de estos datos se obtuvo la Figura 3.6 donde se observa la curva de relación entre los datos de ambos termómetros. Usando la herramienta de líneas de tendencia de diseño de gráficos de Excel, se dividió la curva de relación en varias rectas de tendencia ya que van cambiando de pendiente según varía la temperatura, las rectas se obtienen por el método de regresión lineal. Estas rectas muestran la ecuación de cada recta, las ecuaciones se aplican a los datos obtenidos por el sistema propuesto dentro de la codificación de la tarjeta de desarrollo Arduino, tomando en cuenta los rangos de temperatura donde se debe aplicar cada ecuación.

3.4.4. Datos obtenidos y gráficos

Tabla 3.4. Datos de temperatura de la prueba de calibración.

Datos de temperatura para prueba de calibración		
Número de Dato	Termómetro Sumergible	Sistema de monitoreo
1	29.7	24.53
2	31.7	25.13
3	31	25.9
4	31.2	26.17
5	33.1	27.31
6	33.9	27.73
7	34.9	28.17
8	35.8	28.47
9	36.8	28.8
10	37.3	29.11
11	37.8	29.35
12	39.6	29.91
13	40	30.03
14	42.4	30.79

15	43.2	30.99
16	44	31.35
17	44.8	31.63
18	45.1	31.75
19	46.5	32.3
20	47.2	32.71
21	48.4	33.27
22	49	33.35
23	50.4	34.03
24	51.2	34.63
25	53.5	35.09
26	54.3	35.35
27	55.8	35.85
28	56.6	36.21
29	57	36.69
30	58.2	37.19
31	58.4	37.51
32	58.8	38.01
33	28.8	37
34	36	37.67
35	38.8	37.95
36	41.4	38.21
37	42.9	38.21
38	45	38.27
39	46.3	38.41
40	47.4	38.59
41	48.4	38.71
42	52.3	39.37
43	52.7	39.4
44	53.2	39.91
45	53.7	39.77
46	54.2	40
47	55.4	40.2
48	55.8	40.37
49	56.3	40.73
50	56.7	40.9
51	57.5	41
52	58.3	41.57
53	58.6	41.9
54	59.2	42.15
55	59.6	42.3
56	60.7	42.9
57	60.9	43.3

58	61.6	44.2
59	62.1	44.32
60	62.8	44.45
61	63.1	44.59
62	63.9	44.77
63	64.4	45.29
64	64.6	46.11
65	65.1	46.7
66	65.5	47.9
67	65.7	48.19
68	65.8	49.12
69	66.3	49.91
70	66.5	50.35
71	66.5	50.07
72	66.5	50.13
73	66.5	50.23
74	66.5	50.21
75	66.9	50.89
76	66.9	50.95
77	66.9	51.05
78	66.6	50.89
79	67	51.21
80	67	51.47
81	67	51.31
82	66.9	51.49
83	66.7	51.17
84	67	51.53
85	67	51.77
86	66.9	51.25
87	67	51.37
88	67.3	52.3
89	67.2	52.2
90	67	51.6
91	67	51.8
92	67.3	52
93	67.2	52.75
94	67	52.25
95	66.9	52.5
96	67.7	52.25
97	67.3	52.55
98	67.7	52.45
99	67.6	52.29
100	67.6	52.65

101	67.6	52.59
-----	------	-------

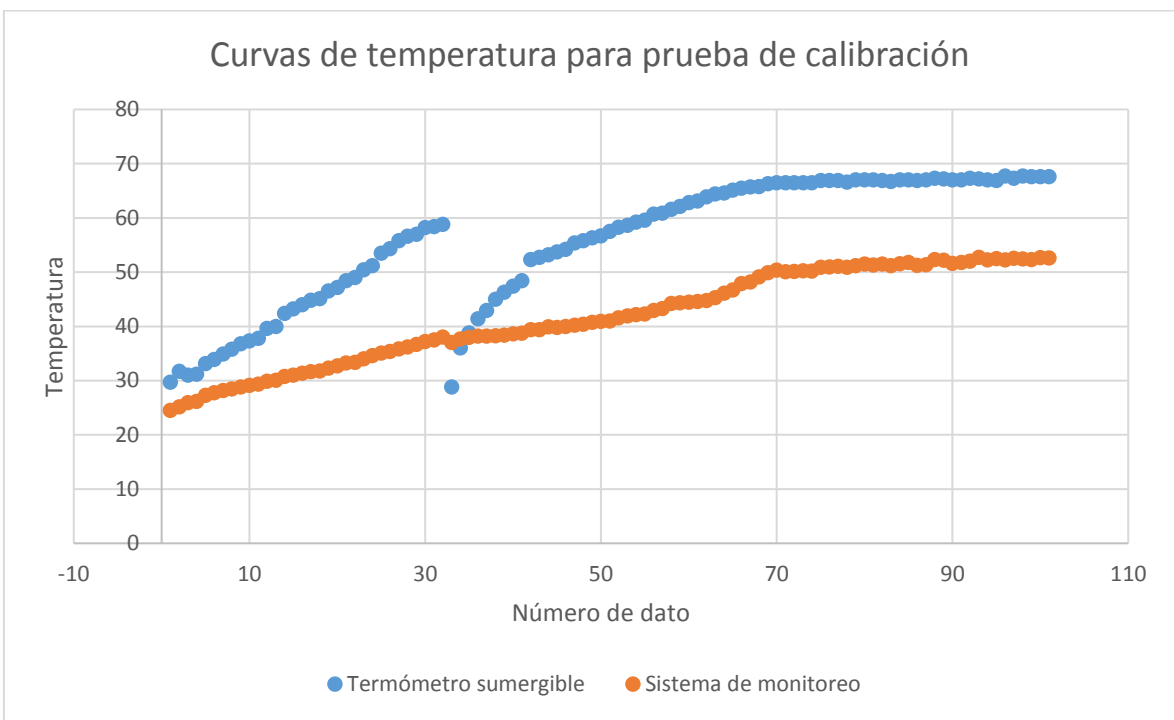


Figura 3.5. Curvas de temperatura de prueba de calibración.

Como se observa en la Figura 3.5, existe una desviación entre las mediciones del termómetro sumergible y el sistema propuesto, por lo que el sistema propuesto necesita calibración. Además, se observa el momento en que se agrega agua fría que es el momento en que se deben comenzar a tomar datos y serán los rangos de temperatura a calibrar.

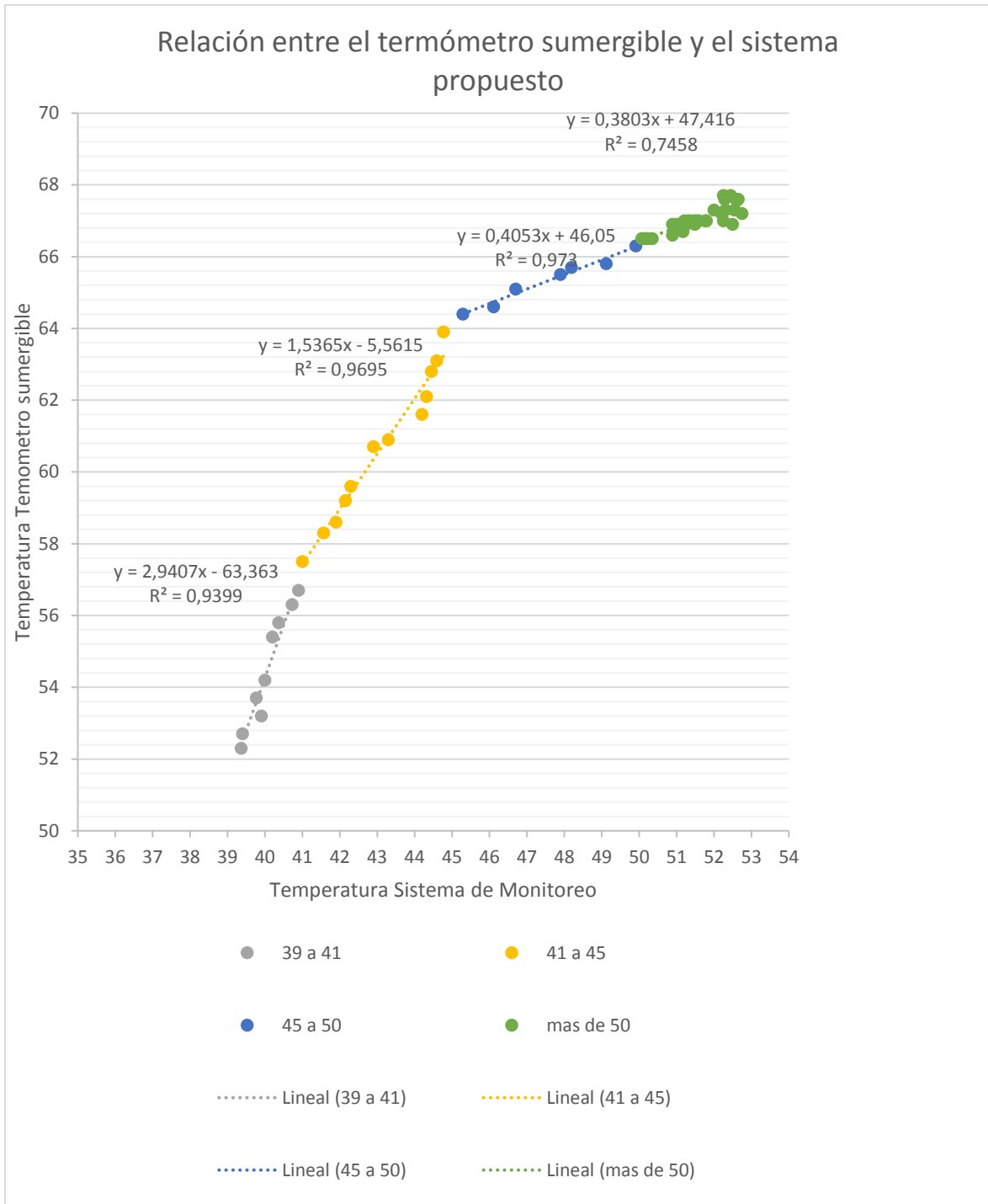


Figura 3.6. Relación entre el termómetro sumergible y el sistema propuesto

3.4.5. Cálculo de errores

Se calculó el error de cada medición realizada con el sistema propuesto, esto permitió comprobar que se debe dividir la curva de relación entre los dos termómetros, ya que se obtienen valores de error semejantes en determinados intervalos de temperatura

Tabla 3.5. Errores de cada medición de temperatura

Numero de dato	Termómetro sumergible	Sistema de monitoreo	Error(e)
1	29.7	24.53	0.7
2	31.7	25.13	0.05
3	31	25.9	4.73
4	31.2	26.17	5.07
5	33.1	27.31	5.3
6	33.9	27.73	5.41
7	34.9	28.17	5.67
8	35.8	28.47	6.05
9	36.8	28.8	6.61
10	37.3	29.11	6.65
11	37.8	29.35	6.91
12	39.6	29.91	8.15
13	40	30.03	8.21
14	42.4	30.79	8.6
15	43.2	30.99	8.81
16	44	31.35	9.35
17	44.8	31.63	9.59
18	45.1	31.75	10.17
19	46.5	32.3	10.13
20	47.2	32.71	10.19
21	48.4	33.27	10.67
22	49	33.35	11
23	50.4	34.03	10.99
24	51.2	34.63	11.75
25	53.5	35.09	11.97
26	54.3	35.35	12.31
27	55.8	35.85	12.35
28	56.6	36.21	12.5
29	57	36.69	12.85
30	58.2	37.19	13.13
31	58.4	37.51	13.41
32	58.8	38.01	13.77
33	28.8	37	13.77
34	36	37.67	14.21
35	38.8	37.95	14.41
36	41.4	38.21	14.81
37	42.9	38.21	15.3
38	45	38.27	15.35
39	46.3	38.41	16.11

40	47.4	38.59	15.75
41	48.4	38.71	16.31
42	52.3	39.37	16.6
43	52.7	39.4	16.85
44	53.2	39.91	17.5
45	53.7	39.77	17.45
46	54.2	40	18.09
47	55.4	40.2	19.3
48	55.8	40.37	19.3
49	56.3	40.73	19.49
50	56.7	40.9	19.81
51	57.5	41	19.68
52	58.3	41.57	19.87
53	58.6	41.9	19.99
54	59.2	42.15	20.15
55	59.6	42.3	20
56	60.7	42.9	19.91
57	60.9	43.3	20.19
58	61.6	44.2	20.4
59	62.1	44.32	20.6
60	62.8	44.45	20.75
61	63.1	44.59	20.7
62	63.9	44.77	20.6
63	64.4	45.29	21.03
64	64.6	46.11	21.37
65	65.1	46.7	20.7
66	65.5	47.9	20.85
67	65.7	48.19	21.17
68	65.8	49.12	21.31
69	66.3	49.91	21.39
70	66.5	50.35	20.95
71	66.5	50.07	20.8
72	66.5	50.13	20.37
73	66.5	50.23	20.59
74	66.5	50.21	20.47
75	66.9	50.89	20.3
76	66.9	50.95	19.35
77	66.9	51.05	18.73
78	66.6	50.89	19.11
79	67	51.21	19.29
80	67	51.47	18.81
81	67	51.31	18.29
82	66.9	51.49	18.45

83	66.7	51.17	18.55
84	67	51.53	18.39
85	67	51.77	18.03
86	66.9	51.25	17.35
87	67	51.37	17.67
88	67.3	52.3	17.6
89	67.2	52.2	17.1
90	67	51.6	17.1
91	67	51.8	16.9
92	67.3	52	17.1
93	67.2	52.75	17.03
94	67	52.25	17.07
95	66.9	52.5	17.2
96	67.7	52.25	16.3
97	67.3	52.55	16.43
98	67.7	52.45	16.27
99	67.6	52.29	16.39
100	67.6	52.65	16.17
101	67.6	52.59	15.69
		Error promedio	14.05

$$\text{Error Promedio} = \frac{\sum_0^n Xi}{N} = 14.05 \text{ grados}$$

Siendo:

Xi = error de cada medicion

N = cantidad total de elementos

$$\text{Desviación Estandar} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (Xi - Xpr)^2}{N}} = 4.51$$

Donde:

Xi = error de cada medicion

Xpr = Error promedio

N = cantidad total de elementos

Para visualizar claramente el error según los intervalos de temperatura se obtuvo la gráfica de relación entre el error y la temperatura medida con el sistema propuesto, lo que se observa en la Figura 3.7.

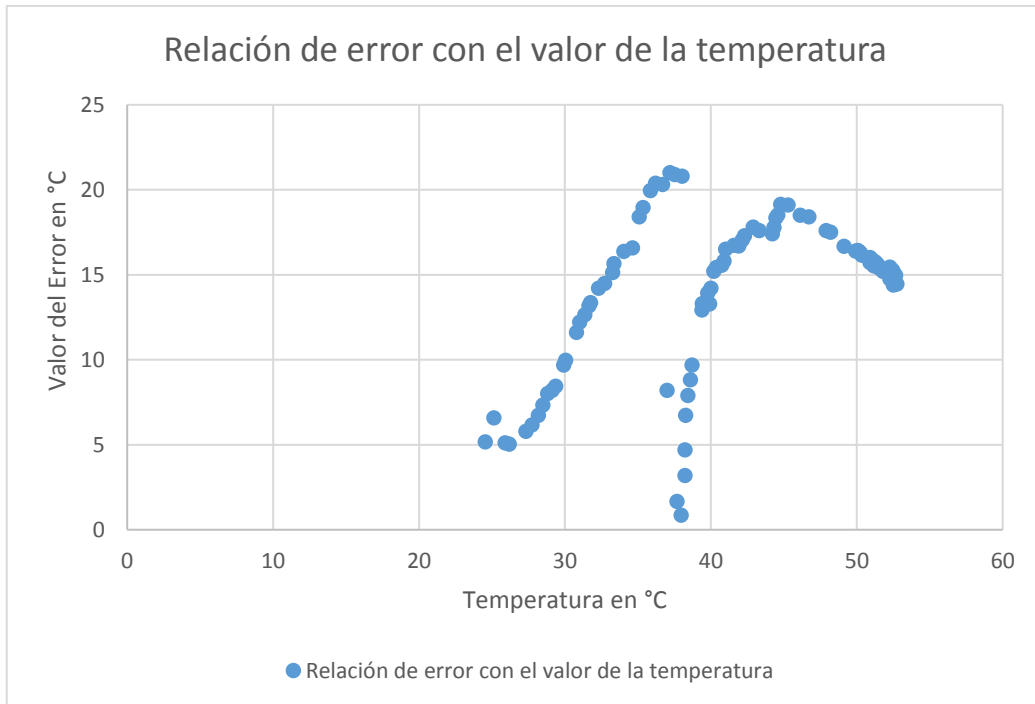


Figura 3.7. Relación del error con el valor de la temperatura

Se observa en la Figura 3.7 que el error que se obtiene mediante el sistema propuesto, aumenta según aumenta la temperatura, por lo que el método de calibración debe aplicar el ajuste a la medición según el intervalo de temperatura en que se encuentre el interior del reactor.

3.4.6. Conclusiones de la prueba

Se logró encontrar el valor del error en la medición con el sistema de monitoreo de temperatura propuesto comparado con un termómetro calibrado.

Se planteó el método de calibración digital, en el cual se aplican ecuaciones de rectas de tendencia según el intervalo de temperatura que se obtenga con el sistema de monitoreo propuesto, siendo estas ecuaciones aplicables en el programa desarrollado en la tarjeta de desarrollo Arduino Uno.

Se obtuvo las ecuaciones de calibración correspondientes a los siguientes rangos de temperatura:

- Para temperatura > 50°C: $Temperatura = (Temperatura * 0.3803) + 47.41$
- Para temperatura > 45 °C: $Temperatura = (Temperatura * 0.4053) + 46.05$
- Para temperatura > 41 °C: $Temperatura = (Temperatura * 1.5365) - 5.5615$
- Para temperatura > 39°C: $Temperatura = (Temperatura * 2.9407) - 63.363$

3.5. Prueba de validación de datos.

3.5.1. Objetivo de la prueba

Comprobar que el método de calibración usado disminuya el valor del error medido con el sistema de monitoreo propuesto, comparándolo con un termómetro sumergible de mercurio.

3.5.2. Materiales usados

- Reactor de vidrio marca CHEMglass
- Tapa de cuatro bocas.
- Baño circulatorio PolyScience.
- Adaptador de vidrio para sensor.
- Adaptadores de vidrio para mangueras de dosificación de reactivos.
- Computador.
- Sistema de monitoreo de temperatura propuesto.
- Termómetro sumergible.
- Polímero desarrollado previamente.

3.5.3. Metodología pasos seguidos

Se inició verificando que el reactor y la tapa se encuentren en el estado previo a la prueba de calibración, con un polímero previamente obtenido dentro del reactor y la tapa y sus orificios sellados con los adaptadores de vidrio.

A continuación, se encendió el baño circulatorio PolyScience configurado a una temperatura de 70 grados, luego se obtuvieron mediciones de temperatura observando la pantalla LCD y sumergiendo el termómetro de mercurio cada vez que la temperatura aumentó en un rango de 0.5 a 1 grados centígrados.

3.5.4. Datos obtenidos y gráficas

Las mediciones obtenidas se muestran en la Tabla 3.6

Tabla 3.6 Datos de temperatura de la prueba de validación

Datos de temperatura de la prueba de validación			
Numero de dato	Termómetro sumergible	Sistema Calibrado	Sistema sin corrección
1	28.1	27.85	27.85
2	29.1	27.91	27.91
3	30.1	28.11	28.11
4	31.6	28.4	28.4
5	32.1	28.63	28.63
6	33.1	28.85	28.85
7	34.3	29.03	29.03
8	35	29.37	29.37
9	35.6	29.57	29.57
10	36	29.69	29.69
11	36.7	29.85	29.85
12	37.1	35.5	30.03
13	37.8	35.93	30.23
14	38.5	36.17	30.31
15	38.9	36.56	30.65
16	39.6	36.89	30.85
17	40	38.5	31.07
18	41.8	40.11	31.47
19	42.3	41.18	31.61
20	43.2	42.45	31.89
21	44	43.6	32.11
22	44.9	44.14	32.55
23	45.6	46	32.89
24	47	48.22	33.77
25	48.3	49	34
26	49.3	50	34.61
27	50.3	52	35
28	51.5	54.49	35.91
29	52.6	54.87	36.25
30	53.1	55.51	36.65
31	54.5	56.49	37
32	55.1	56.87	37.49
33	56.1	57	38
34	56.6	58.62	38.4
35	57.2	59.5	39.19
36	57.8	59.96	39.2
37	58.4	60.95	39.91
38	59	61.37	40.39

39	59.6	62.55	41.85
40	60	62.83	42.21
41	61	63.2	42.87
42	60.5	63.47	43.17
43	61.4	63.73	43.63
44	62.2	64.32	44.29
45	62.8	64.2	45.15
46	63.3	64.38	45.41
47	63.9	64.57	45.81
48	64.1	65	46.73
49	64.7	64.8	46.39
50	65.1	65.14	46.07
51	65.6	65.98	48.73
52	65.7	66.18	49.11
53	65.9	66.25	49.41
54	66.5	66.83	50.95
55	66.7	67	51.53
56	66.9	67.4	52.25
57	67	67.41	52.23
58	67.1	67.93	53.6
59	67.4	68.08	53.73
60	67.2	68.16	54.07
61	67.1	68.1	54.09
62	67.4	68.2	54.25
63	67.7	68.3	54.55
64	68.2	68.67	55.35
65	68	68.66	55.37
66	67.9	68.7	55.49

En base a los datos de la Tabla 3.6, se obtiene la Figura 3.8 donde se puede observar la temperatura donde se evidencia que el valor del error ha disminuido en la mayoría de los datos, se observa que en las temperaturas menores a 30 grados centígrados el error es considerable.

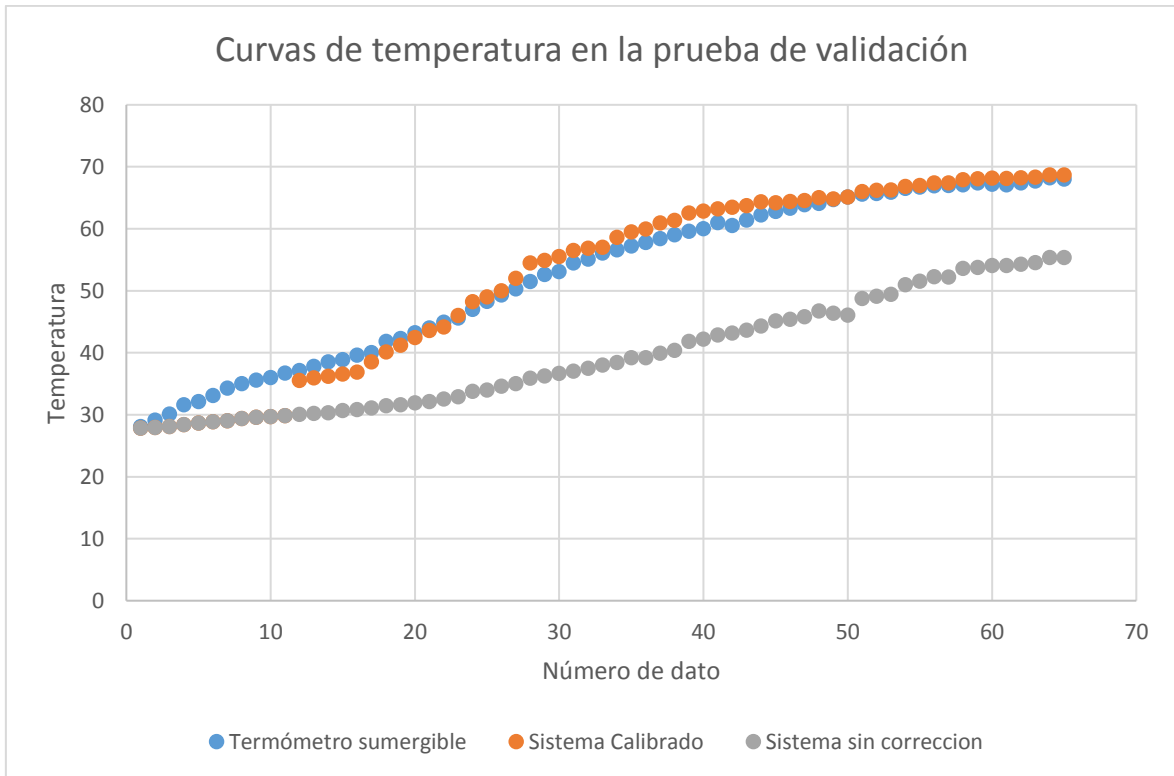


Figura 3.8. Curvas de temperatura de la segunda prueba de validación.

En la figura 3.8, no se pueden observar los puntos pertenecientes a la curva del sistema calibrado, ya que son los mismos del sistema sin corrección, esto se debe a que las instrucciones de corrección desarrolladas en la programación de la tarjeta de desarrollo, no contemplaron un ajuste en las mediciones tomadas por debajo de los 30 grados centígrados. Se debe tomar en cuenta que la medición de temperatura y almacenamiento de datos se realizará con el reactor precalentado por lo que la temperatura del reactor será superior a 50 grados centígrados.

Una vez realizada esta corrección, se procedió a una nueva toma de datos obteniendo la Tabla 3.7; de la cual se obtuvo la Figura 3.9, donde observa la corrección a las medidas del sistema propuesto.

Tabla 3.7 Datos de temperatura para nueva prueba de validación

Datos de temperatura para nueva prueba de validación		
Número de dato	Termómetro sumergible	Sistema calibrado
1	28.3	32.5
2	28.7	32.83
3	28.9	33
4	29	33.15

5	30	33.47
6	30.4	33.64
7	30.7	33.88
8	31	33.96
9	31.7	33.88
10	32.2	34.12
11	32.6	34.12
12	33	34.4
13	33.6	34.68
14	34.1	34.68
15	34.4	34.92
16	34.8	35
17	35.1	35.24
18	36.4	35.48
19	37	35.8
20	37.6	35.88
21	38.3	36.36
22	38.7	36.6
23	39.3	37.1
24	40	37.44
25	41	37.26
26	41.4	37.45
27	42.5	38
28	43	38.13
29	44.7	39.43
30	45.2	41.76
31	47.8	43.32
32	48.3	43.98
33	49.6	46.78
34	51.5	49.32
35	53.2	55.63
36	54.3	56.39
37	55.3	56.75
38	56.4	57.21
39	56.8	58.36
40	57.4	59.16
41	57.9	59.57
42	58.5	60.71
43	58.9	61.38
44	59.3	62.47
45	60.1	62.86
46	61.2	63.1
47	60.1	63.45

48	61.5	63.72
49	62.7	64.84
50	62.7	64.27
51	63.2	64.35
52	63.8	64.61
53	64.3	65.31
54	64.8	64.76
55	65.4	64.18
56	65.7	65.58
57	65.4	66.74
58	65.8	66.25
59	67.2	66.91
60	66.7	67.1
61	66.2	67.22
62	66.9	67.35
63	67.2	67.48
64	67.3	67.12
65	67.4	68.45
66	67.6	68.22
67	67.6	68.27
68	67.7	68.16
69	67.8	68.84
70	67.9	68.32
71	67.5	68.74

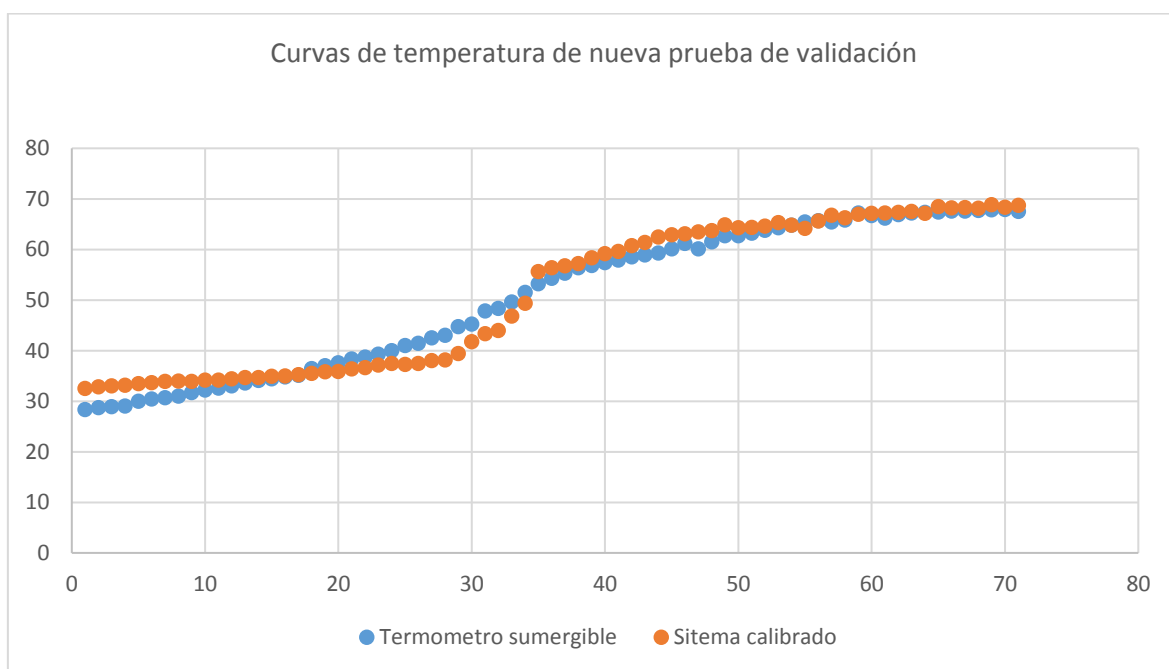


Figura 3.9. Curvas de temperatura de nueva prueba de validación

3.5.5. Cálculo de Errores

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.7 de la prueba de validación se procedió a obtener el error promedio

$$\text{Error Promedio} = \frac{\sum_0^n Xi}{N} = 1.8 \text{ grados}$$

Siendo:

Xi = error de cada medicion

N = cantidad total de elementos

$$\text{Desviación Estandar} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (Xi - Xpr)^2}{N}} = 1.55$$

Donde:

Xi = error de cada medicion

Xpr = Error promedio

N = cantidad total de elementos

Para visualizar los rangos de temperatura donde se encuentra el mayor valor de error se obtuvo la relación del error con datos de temperatura del sistema propuesto, que se observa en la Figura 3.10.

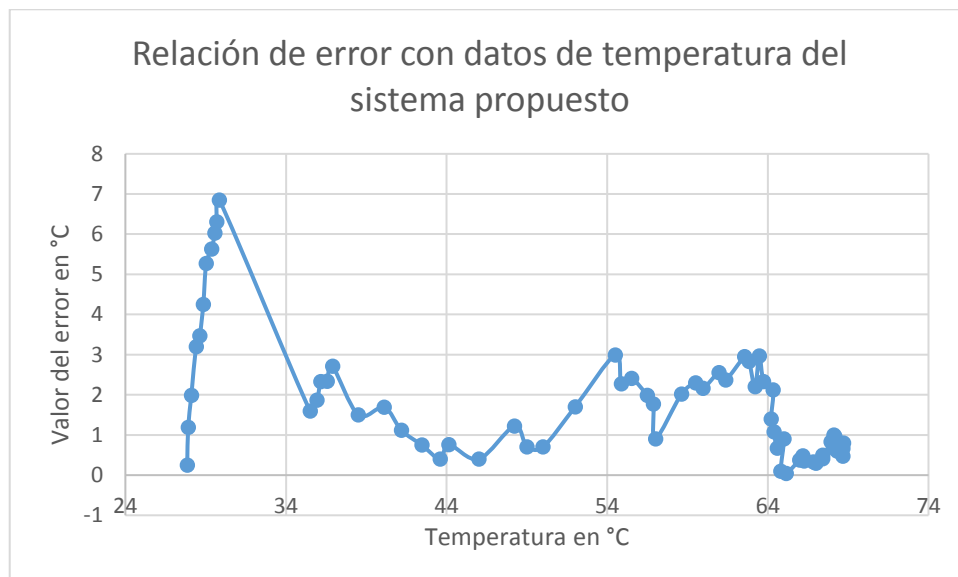


Figura 3.10. Relación de error con datos de temperatura del sistema propuesto.

Se evidencia en la figura 3.10 que la mayoría de mediciones realizadas tienen un error menor a 3 grados centígrados, y que los errores de mayor valor se encuentran en temperaturas inferiores a los 34 grados.

3.5.6. Conclusión de la prueba

Se logró comprobar que, mediante la implementación del método de calibración planteado, se redujo considerablemente el valor de los errores obtenidos, dentro del rango de temperatura en el cual se van a realizar las mediciones durante la operación del reactor.

Se determinó que el error promedio en el rango de temperatura de trabajo es de 1.2 °C, que se encuentra en el margen aceptable determinado por el personal del CIAP.

3.6. Prueba de validación de datos en un proceso de Polimerización bajo condiciones normales.

3.6.1. Objetivo de la prueba

Comprobar el funcionamiento del sistema de monitoreo de temperatura propuesto durante un proceso de polimerización en condiciones normales.

Verificar que los datos sean almacenados tanto en el computador como en la memoria extraíble micro SD.

Constatar que los datos obtenidos mediante sistema de monitoreo de temperatura propuesto presenten un margen de error aceptable.

3.6.2. Materiales usados

- Reactor de vidrio marca CHEMglass
- Tapa de cuatro bocas.
- Baño circulatorio PolyScience.
- Adaptador de vidrio para sensor.
- Adaptadores de vidrio para mangueras de dosificación de reactivos.
- Computador.
- Sistema de monitoreo de temperatura propuesto.
- Termómetro sumergible.
- Polímero desarrollado previamente.

3.6.3. Metodología

Esta prueba se realizó mediante un proceso de polimerización con todas las condiciones normales de operación. Para validar los datos se usó un termómetro sumergible que se usó en las pruebas de calibración, protegido con una capa de teflón en spray.

Las mediciones se realizaron en un lapso aproximado de 30 minutos, ya que se debía cumplir las dosificaciones de reactivos necesarias. Para realizar las mediciones se procedió a detener el agitador y a introducir el termómetro por el orificio del refrigerante, este proceso de medición no debía tardar más de 30 segundos, con el afán de no alterar el proceso que se llevaba a cabo en el reactor. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 3.8 y en la Figura 3.11.

3.6.4. Datos obtenidos y gráficos

Tabla 3.8. Datos comparativos de temperatura tomados de forma visual.

Tiempo	Sistema Propuesto	Termómetro sumergible	Error
9:20	61.88	62.5	0.62
9:44	67.01	66.5	0.51
10:10	69.24	67.3	1.94
10:36	69.24	67.2	2.04
11:06	68.9	68.1	0.8
11:34	68.7	67.6	1.1
12:00	69.6	68	1.6
12:34	68.22	67	1.22
13:07	69.8	68.2	1.6
13:36	89.15	85.1	4.05
14:11	70.12	68.2	1.92
14:38	70.94	68.3	2.64
15:08	69.7	67.3	2.4
15:36	69.97	68.2	1.77
16:04	69.55	68.3	1.25
16:22	69.11	67.8	1.31
16:52	68.22	66.9	1.32
		Error promedio	1.755625

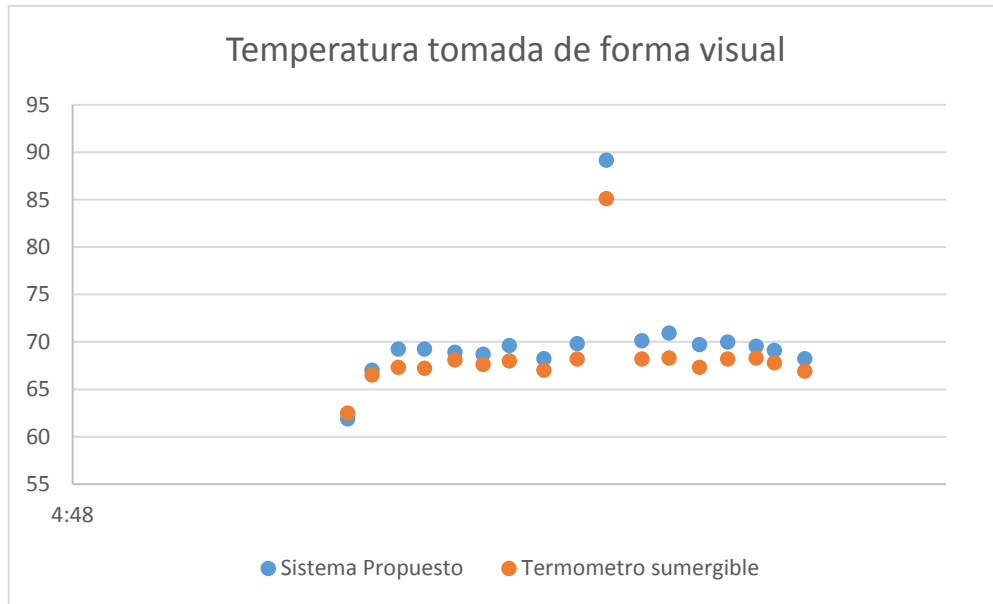


Figura 3.11. Datos de validación tomados de forma visual

Para confirmar el almacenamiento de datos se observó las curvas generadas por los datos guardados en la memoria microSD que se presentan en la Figura 3.12 y los datos guardados en el computador en el archivo de la plataforma Excel que se muestran en la Figura 3.13

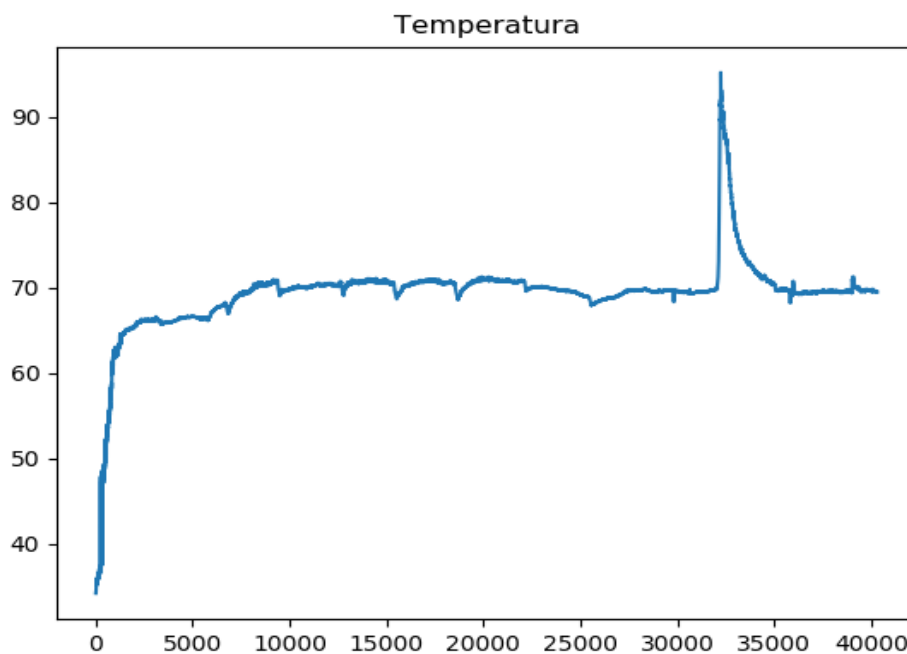


Figura 3.12. Curva de temperatura generada en Python con los datos guardados en la memoria microSD

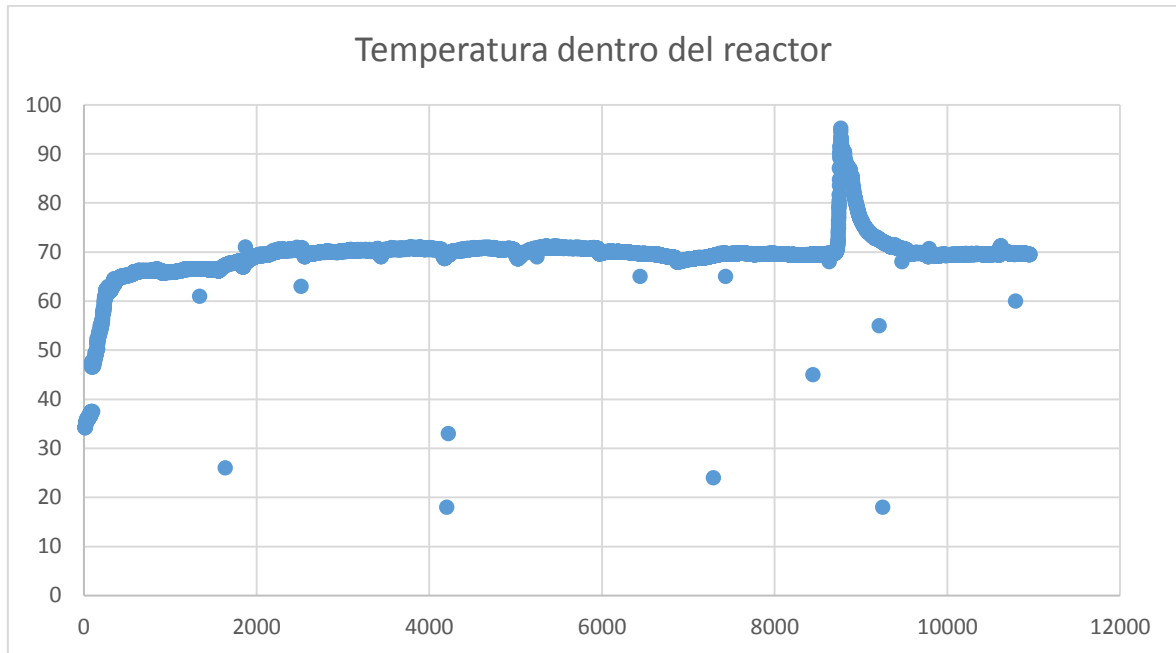


Figura 3.13. Curva de temperatura generada en Excel con los datos guardados en el computador.

3.6.5. Cálculo del error

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.8 de la prueba de validación se procedió a obtener el error promedio

$$\text{Error Promedio} = \frac{\sum_0^n X_i}{N} = 1.75 \text{ grados}$$

Siendo:

X_i = error de cada medición

N = cantidad total de elementos

$$\text{Desviación Estandar} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - X_{pr})^2}{N}} = 0.85$$

Donde:

X_i = error de cada medición

X_{pr} = Error promedio

N = cantidad total de elementos

Se puede observar que este error no difiere del error obtenido en las pruebas previas. Para visualizar los rangos de temperatura donde está el mayor valor de error se obtuvo la

relación del error con datos de temperatura del sistema propuesto, que se observa en la Figura 3.14.

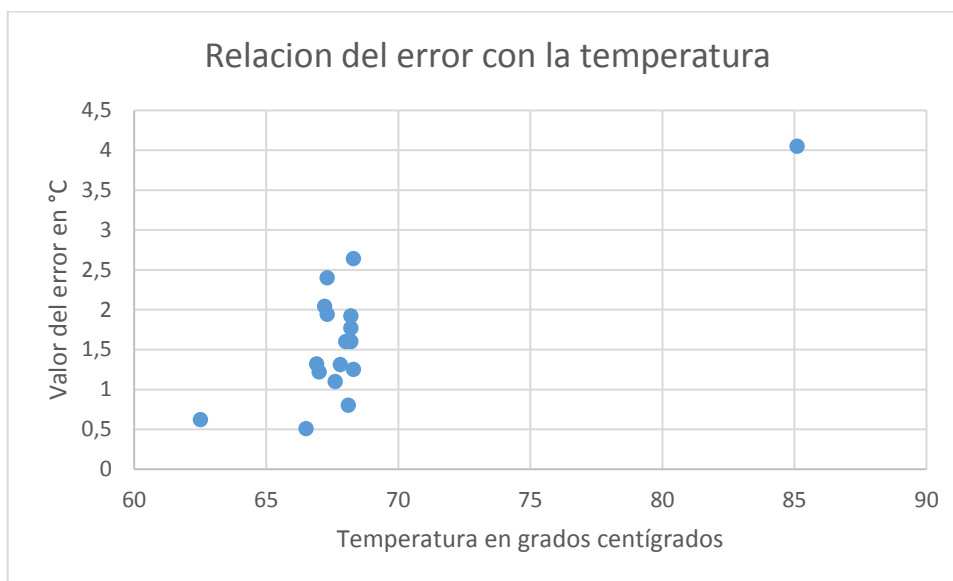


Figura 3.14. Relación de error con datos de temperatura del sistema propuesto.

Observando la Figura 3.14 se determina que el mayor valor de error es durante el fenómeno de exortemia que experimenta el polímero, y la mayoría de mediciones realizadas tienen un error menor a 3 grados centígrados.

3.6.6. Conclusiones de la prueba

Se comprobó que el sistema de monitoreo de temperatura propuesto funcionó durante todo el proceso de polimerización, sin presentar interrupciones en la adquisición de datos y la visualización de los mismos.

Se verificó que los datos fueron almacenados tanto en el computador como en la memoria micro SD, obteniendo las gráficas respectivas del comportamiento de temperatura durante todo el proceso.

Se comprobó que el error en la medición se encuentra dentro de un margen menor a 2°C, el cual fue acordado con el personal del CIAP, siendo el tiempo de adquisición de datos el adecuado para observar la evolución de la temperatura dentro del reactor, sin omitir los puntos importantes, como es el punto de máxima exotermia, a diferencia de adquirir los datos de forma visual donde apenas se puede apreciar un par de puntos por la velocidad con que cambia la temperatura en este momento.

3.7. Segunda prueba de validación de datos en un proceso de Polimerización bajo condiciones normales.

3.7.1. Objetivos de la prueba

Comprobar el funcionamiento del sistema de monitoreo de temperatura propuesto durante un proceso de polimerización en condiciones normales.

Verificar que los datos sean almacenados tanto en el computador como en la memoria extraíble micro SD.

Confirmar que los datos obtenidos mediante sistema de monitoreo de temperatura propuesto presenten un margen de error aceptable en comparación a un termómetro sumergible.

3.7.2. Materiales usados

- Reactor de vidrio marca CHEMglass
- Tapa de cuatro bocas.
- Baño circulatorio PolyScience.
- Adaptador de vidrio para sensor.
- Adaptadores de vidrio para mangueras de dosificación de reactivos.
- Computador.
- Sistema de monitoreo de temperatura propuesto.
- Termómetro sumergible.
- Polímero desarrollado previamente.

3.7.3. Metodología

En esta prueba se emuló las condiciones de la primera prueba de validación que se realizó durante un proceso de polimerización; para comparar los datos se utilizó el termómetro sumergible.

El período de tiempo de medición fue de 20 minutos, para lo cual se detuvo el agitador y se introdujo el termómetro sumergible por el orificio del refrigerante. Los de datos se observan en la pantalla de este termómetro y en la pantalla del sistema propuesto. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 3.9 y en la Figura 3.15.

3.7.4. Datos obtenidos y gráficos

Tabla 3.9 Datos comparativos de temperatura segunda prueba de validación.

Tiempo	Sistema Propuesto	Termómetro Sumergible	Error
12:02	68.2	67.3	0.9
12:20	68.3	67.1	1.2
12:41	69.42	68.2	1.22
12:58	70.11	67.9	2.21
13:22	69.33	67.8	1.53
13:40	69.2	67.5	1.7
14:00	69.7	68.2	1.5
14:18	70.1	68.5	1.6
14:39	70.21	68.4	1.81
15:00	69.81	68	1.81
15:20	71.22	69	2.22
15:50	78	75.5	2.5
16:15	70.39	68.7	1.69
16:39	69.6	67.4	2.2
16:50	68.23	66.2	2.03

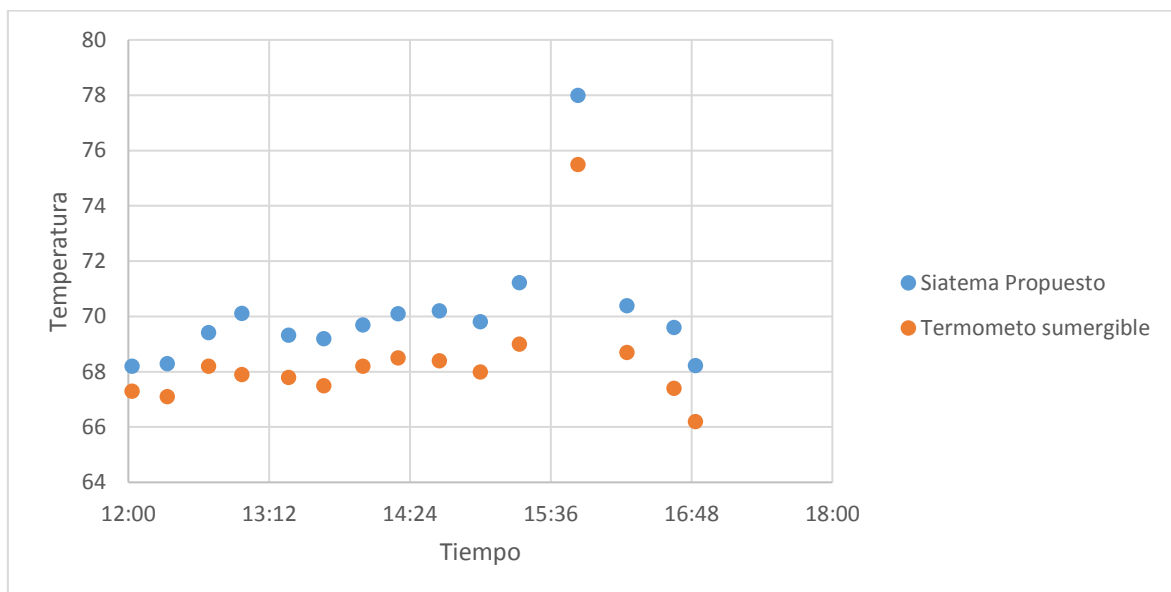


Figura 3.15. Datos de validación tomados de forma visual

Para verificar los datos almacenados se obtuvo las gráficas de temperatura se presentan en la Figura 3.16 pertenecientes a los datos guardados en la memoria microSD y los datos guardados en el computador en el archivo de la plataforma Excel que se muestran en la Figura 3.17

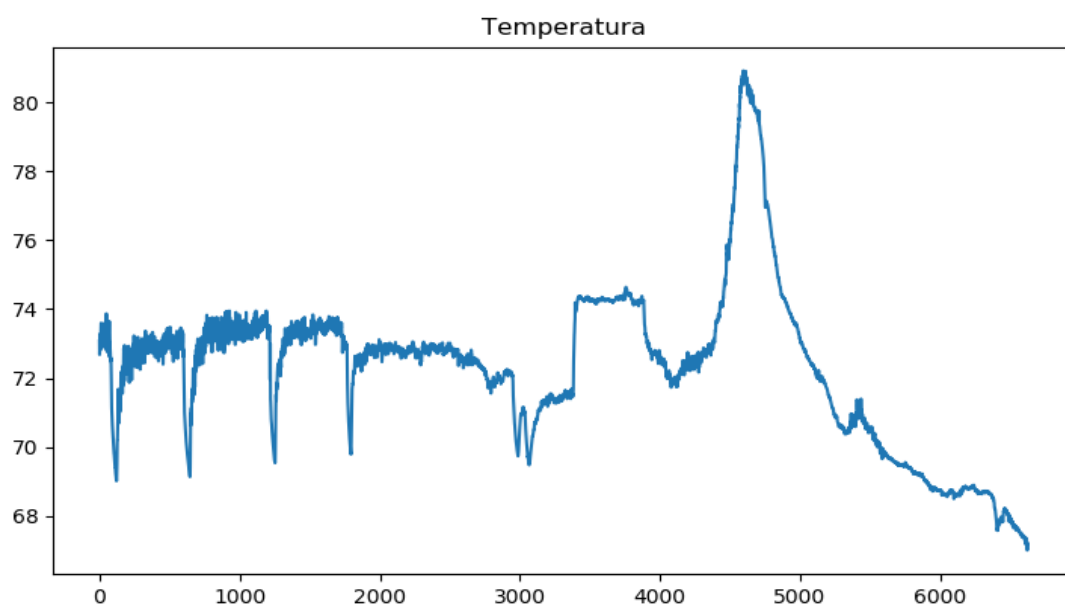


Figura 3.16. Curva de temperatura generada de segunda prueba de validación en Python con los datos guardados en la memoria microSD

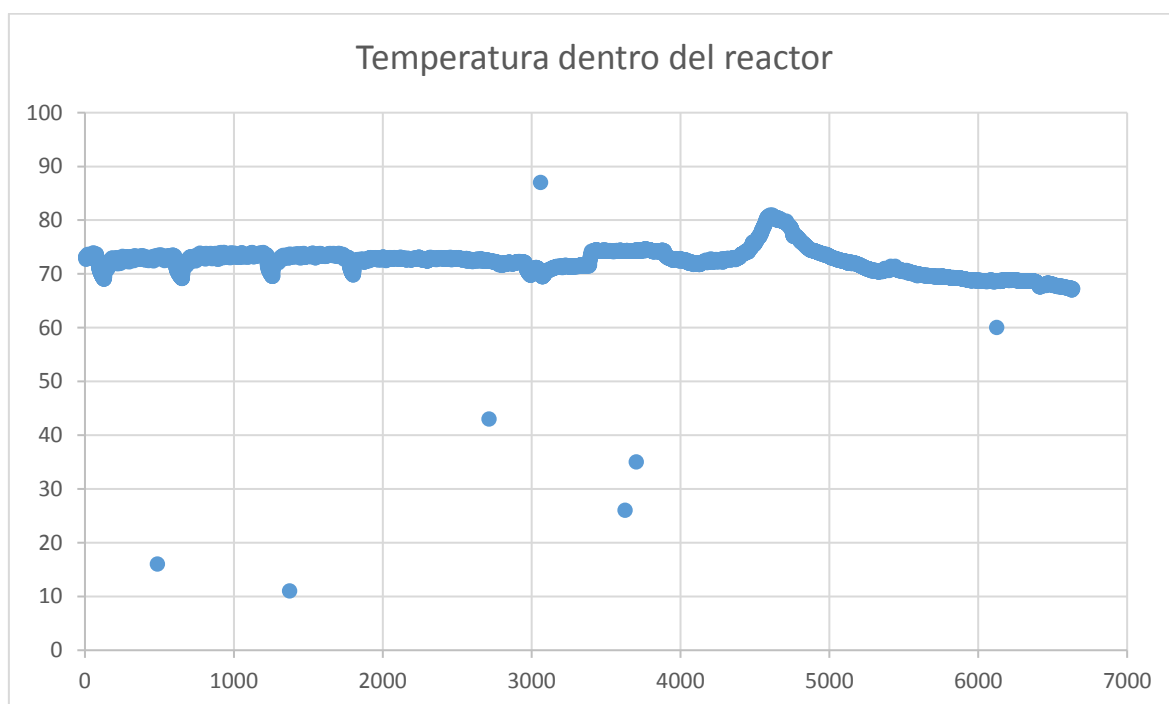


Figura 3.17. Curva de temperatura de segunda prueba de validación generada en Excel con los datos guardados en el computador.

3.7.5. Cálculo del error

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.9 de la segunda prueba de validación se procedió a calcular el error promedio

$$\text{Error Promedio} = \frac{\sum_0^n Xi}{N} = 1.74 \text{ grados}$$

Siendo:

$Xi = \text{error de cada medicion}$

$N = \text{cantidad total de elementos}$

$$\text{Desviación Estandar} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (Xi - Xpr)^2}{N}} = 0.44$$

Donde:

$Xi = \text{error de cada medicion}$

$Xpr = \text{Error promedio}$

$N = \text{cantidad total de elementos}$

Se verifica que el error es similar al valor obtenido en la prueba de validación previa. Para comprobar el rango de temperatura donde se tiene el mayor valor de error se obtiene la curva de relación entre la temperatura y el error, que se observa en la Figura 3.18.

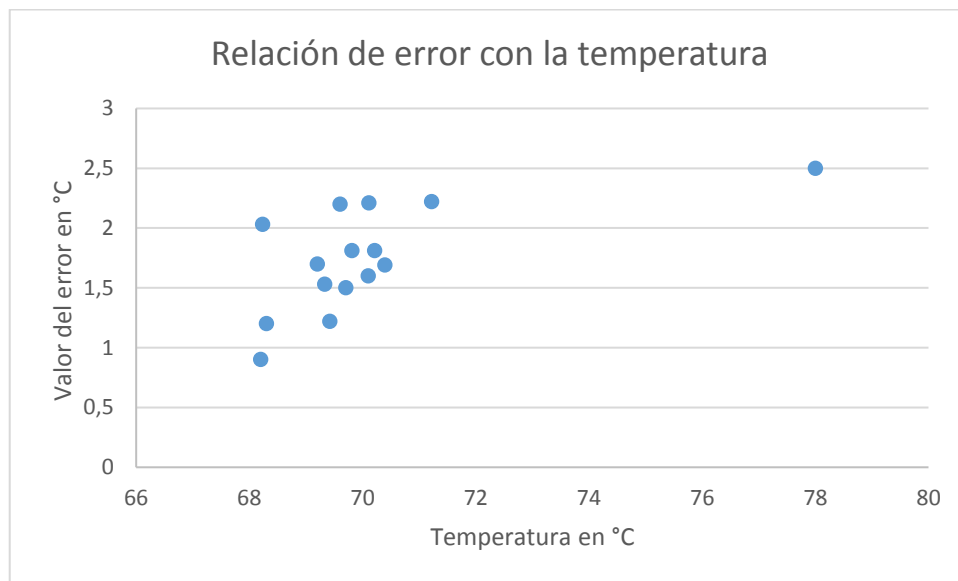


Figura 3.18. Relación de error con datos de temperatura del sistema propuesto.

Observando la Figura 3.18 se comprueba que el mayor valor de error se encuentra en el punto máximo de exotermia, donde el cambio de temperatura sucede en un corto período de tiempo.

3.7.6. Conclusiones de la prueba

Se verificó el funcionamiento del sistema de monitoreo durante todo el proceso de polimerización, con las mismas condiciones de la prueba previa de validación de datos.

Se obtuvo las gráficas de temperatura de los datos que fueron almacenados en el computador como en la memoria micro SD, observando el comportamiento de la temperatura en la interfaz desarrollada en Labview.

El error promedio en esta prueba coincide con el valor obtenido en la primera prueba de validación, lo que comprueba que el método de calibración fue el adecuado.

Se observó que el monitoreo de la temperatura permite al usuario ejecutar los procesos de dosificación, al conocer el momento en que el interior del reactor posee un valor de temperatura cercano a 70 grados centígrados; y finalizar el proceso una vez observado el momento de máxima exotermia y un descenso continuo en la temperatura.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se diseñó e implementó un sistema de monitoreo de temperatura para el reactor de polímeros del Centro de investigación Aplicada a Polímeros, el cual permite realizar mediciones de temperatura del proceso químico que se lleva a cabo al interior del reactor, mientras este está operando en condiciones normales.

Se comprobó que el sensor de temperatura seleccionado MLX90614xCC es el adecuado para la aplicación de este prototipo, ya que al ser un termómetro infrarrojo con alta sensibilidad y poseer un campo de visión adecuado permite obtener lecturas de temperatura que detallan la evolución de esta variable, sin necesidad de tener contacto con el contenido del reactor.

Durante el funcionamiento del reactor en conjunto con el sistema de medición implementado se evidenció que los adaptadores del termómetro infrarrojo evitaron fugas de la parte gaseosa de la reacción y al no ser un sensor cableado no existe riesgo de generar un accidente generado por la obstrucción del movimiento de las aspas del agitador, además al tener poca exposición a los agentes reactivos, se facilita su protección lo que garantiza su funcionamiento durante todo el proceso.

Con el uso de este sistema de medición de temperatura, se pueden obtener las curvas de evolución de esta variable durante la reacción, lo que permite observar el desarrollo del proceso y evidenciar el momento en que ocurren los eventos importantes que caracterizan estos procesos, con el fin de replicar un producto que cumpla con las características deseadas en el producto.

Se observó que mediante la medición de temperatura se agregan los reactivos que dan inicio a la reacción al alcanzar un valor de temperatura y no por el tiempo que lleva el baño circulatorio en la temperatura configurada, como se realizaba anteriormente.

Se determinó que este sistema permitirá al usuario, conocer la máxima temperatura a la que llega la reacción, de esta temperatura dependen características como peso molecular, viscosidad y flexibilidad, lo cual permite repetir el proceso o realizar un cambio en la temperatura configurada en el baño circulatorio.

4.2. Recomendaciones

Una mejora que se puede implementar en el sistema de monitoreo es un soporte que mantenga elevado el gabinete del sistema o que permita colocarlo en la estructura que sostiene los elementos del reactor, esto evitará que entre en contacto con materiales derramados durante la reacción.

Se debe tomar en cuenta que el adaptador diseñado para el termómetro infrarrojo tiene una medida determinada, porque al usar otra tapa con bocas de diferente medida puede causar fugas de los gases producidos durante la reacción. Por lo que se debería usar un adaptador de norma adicional para ajustarse con la tapa del reactor.

En una versión posterior de este sistema, se podría modificar la programación, para que si es necesario realizar un cambio en el tiempo de adquisición de datos o el cambio de escala de temperatura, se lo realice mediante una interfaz gráfica y no reprogramando la tarjeta desarrollo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Santiana, "Desarrollo de una emulsión polimérica vinil-acrílica con características hidrofóbicas," Proyecto de Titulación, EPN, Quito, Ecuador, 2017.
- [2] Georgina Rosales Rivera y Luz Margarita Guzmán Arellano, Los polímeros sintéticos en el siglo XX, Fondo de Cultura Económica, Estampas de la Ciencia Vol. 2, col. La Ciencia para Todos, núm. 174, México, 1999
- [3] María Paulis, Emulsion Polymerization Processes Course, PolyMat, Universidad del País Vasco, Donostia-San Sebastian, 2018
- [4] Iraima J. Fernández. "Polímeros en solución y aplicación en la industria Petrolera", Departamento de Manejo Integrado de Producción, de PDVSA-Intevep. (2003).
- [5] J. Aclé. La polimerización continua en emulsión de copolímeros vinílicos. Revista Iberoamericana de Polímeros. 13-37. España, 2002
- [6] Antonio C. Solé, Medida de temperaturas, en Instrumentación Industrial, 8va Edición, Barcelona, España, Alfaomega, 2011, Capítulo 6, pp. 235-254.
- [7] E. Alzate, J. Montes y C. Silva, "Medición de temperatura: Sensores Termoelectrónicos", Esencia et Técnica Año XIII, No 34, Universidad Tecnológica de Pereira, Mayo 2007.
- [8] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, Datasheet, Maxim integrated, 19-7487; Rev 6; June, 2019, [Online] disponible en : www.maximintegrated.com.
- [9], Termómetro digital PCE-IR50, Manual de usuario, PCE Instrumentst, Issue K, Diciembre, 2018. [Online] Available: "<https://www.pce-instruments.com>".
- [10] PyroSpot DT 4L Pyrometer for industrial application, Handbook Dias Infrared Systems, Germany, December ,2013 [Online] Available: "<https://ibertronix.com/productos/pirometros/pirometros-opticos-fijos>".
- [11] Díaz García, Abraham, "Desarrollo de un sensor de Temperatura remoto basado en la radiación infrarroja", Proyecto de fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, España 2012.
- [12] Optris CS-LT, Operators Manual, Optris Infrared Measurements, optris CS-MA-E2018-11-A, Berlin, Germany, 2015. [Online] Available: "<https://www.optris.com>".

- [13] MLX90614 Family, Single and dual zone infra Re thermomete in TO-30, Melexis Microelectronic Integrated Systems. Revision 11 - JUNE 15, 2017 ,3901090614. [Online] Available: "<https://melexis.com>".
- [14] Basic Principles of Non-Contact Temperature Measurement, Optris Infrared Measurements. Basic Principles-BR-EN2019-06-A, Berlín , Germany, 2019. [Online] Available: "https://www.optris.com/tl_files/pdf/Downloads/Zubehoer/IR-Basics.pdf".
- [15] Laboratory Glassware Catalog 2015-2017, Kimble Chase life Science & Research products, USA, 2015. [Online] Available: "kimblechase.com".
- [16] Spray de PTFE, Ficha técnica , Weicon , Artículo No 11300400-36,2017, Germany, 2017 [Online] Available: "https://www.weicon.es/media/pdf/a8/7b/34/TDS_11300400_ES_Spray_de_PTFE.pdf".
- [17] W. Herrea y P.Veloso, "Diseño y construcción de un prototipo para el control y monitoreo de registro de tiempos de transporte urbano mediante el uso de tecnología RFID, Arduino Mega y Raspberry Pi2", Proyecto de Titulación, EPN, Quito, Ecuador, 2017.
- [18] Arduino UNO R3, Datasheet, Fecegypt products, Egypt, 2019 [Online] Available: "[https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet /](https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/)".
- [19] ZK-P902 fuente de alimentación, Ficha técnica, ZKTECO, China, 2018 [Online] Available: "[http://cdn.sego.com.pe/ files/2018/07/18/ZK-PS902B.pdf](http://cdn.sego.com.pe/files/2018/07/18/ZK-PS902B.pdf)".

6. ANEXOS

ANEXO I. Manual de Usuario

ANEXO II. Datasheet y Manuales

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO

Contenido

ANEXO I.....	95
MANUAL DE USUARIO	95
1. Presentación del sistema.....	96
2. Modo de funcionamiento del Sistema	97
3. Análisis de datos.....	100
3.1 Gráfica de temperatura de los datos almacenados en la memoria micro SD. 100	
3.2 Gráfica de temperatura de los datos almacenados mediante la interfase de Labview.....	102
4. Batería y alimentación del dispositivo.....	104
5. Conexiones internas y Mantenimiento	104

1. Presentación del sistema

El sistema de monitoreo de temperatura consta de un gabinete y el termómetro Mlx90614 con su respectivo cable, dentro del gabinete se encuentra la fuente de alimentación y una batería de respaldo, la cual se recarga con el circuito de la fuente conectando el sistema a una toma de 110Vac.

El sistema monitorea la temperatura dentro del reactor de polímeros del CIAP, durante todo el proceso, los datos obtenidos se visualizan en la pantalla LCD y en la interfaz desarrollada en Labview, además esta información se almacena en el computador en un archivo .tdm compatible con la plataforma de Excel y al mismo tiempo se almacenan en una memoria extraíble micro SD. A continuación, en la Figura 1.1 se muestra la vista frontal del gabinete y en la figura 1.2 la vista lateral derecha.

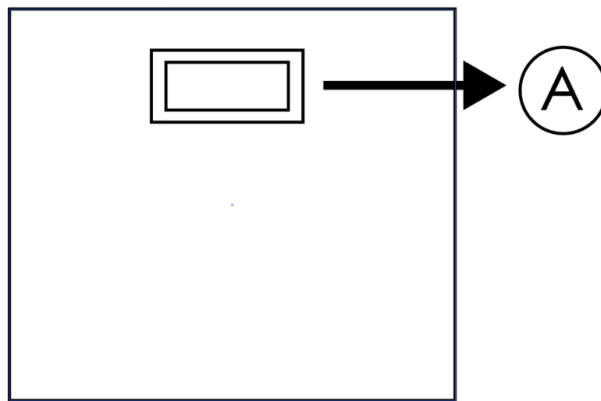


Figura 1.1 Vista frontal del gabinete

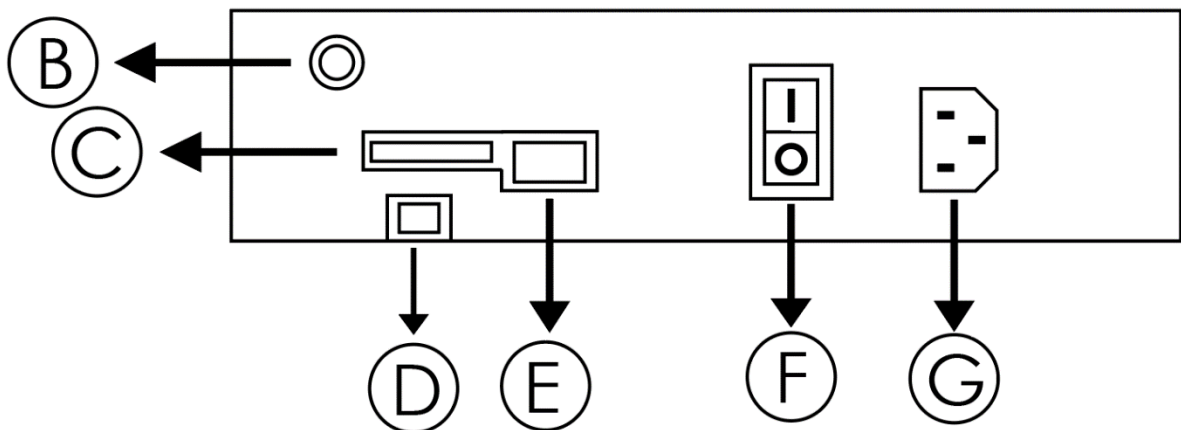


Figura 1.2. Vista lateral derecha del gabinete

A: Pantalla LCD para visualizar los datos de temperatura.

B: Pulsador para comenzar el almacenamiento de datos.

C: Ranura para memoria micro SD.

D: Conector para comunicación serial.

E: Conector RJ45 para el sensor Mxl90614.

F: Interruptor de encendido y apagado del prototipo.

G: Conector para la alimentación del sistema y recarga de batería.

2. Modo de funcionamiento del Sistema

Previo a encender el sistema se debe verificar que la memoria micro SD se halle dentro de la ranura correspondiente, que el cable del Termómetro Mlx90614 esté conectado y el cable de comunicación serial conectado con el computador, al realizar esta conexión se debe prestar atención al puerto de comunicación, una vez colocado el sensor en la tapa del reactor se puede encender el sistema.

En ese momento si no se encuentra ubicada la memoria micro SD en su respectiva ranura, se desplegará el mensaje de la Figura 2.1 en la pantalla LCD y el usuario debe insertar la memoria. Caso contrario se mostrará el mensaje de la Figura 2.2.



Figura 2.1. Mensaje de error de la memoria micro Sd



Figura 2.2. Mensaje previo a iniciar el almacenamiento de datos.

Una vez pulsado el botón, comienzan los procesos de adquisición y almacenamiento de datos, los datos de temperatura obtenidos se podrán visualizar en la pantalla LCD como se muestra en la Figura 2.3, si el termómetro se encuentra desconectado se desplegará el mensaje de la Figura 2.4, una vez conectado el sensor continuará con la adquisición de datos.



Figura 2.3. Datos de temperatura visualizados en la pantalla LCD.



Figura 2.4. Mensaje de conexión del sensor.

En caso de contar con el computador se debe abrir la interfase desarrollada en labview, se prosigue con la selección del puerto serial pulsando el indicador de despliegue como se muestra en la Figura 2.5.

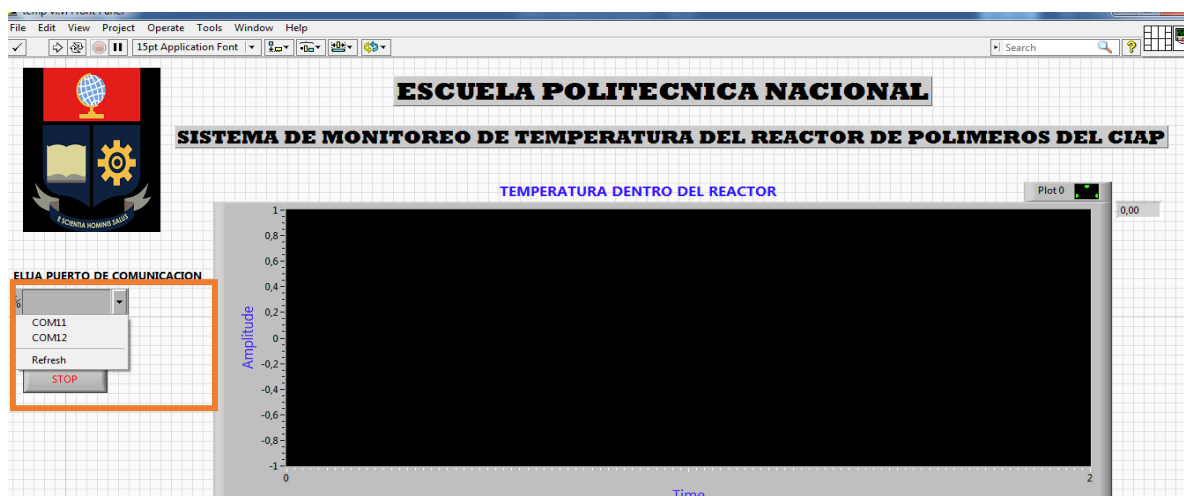


Figura 2.5. Selección de puerto de comunicación Serial.

Seleccionar el puerto en el que se halla conectado el sistema, buscar en inicio “Administrador de dispositivos”, dentro de este buscar los puertos “COM”, y reconocer el puerto donde está el dispositivo Arduino como se muestra en la Figura 2.6, en caso de no encontrarlo, desconectar y volver a conectar el cable de comunicación serial del equipo.

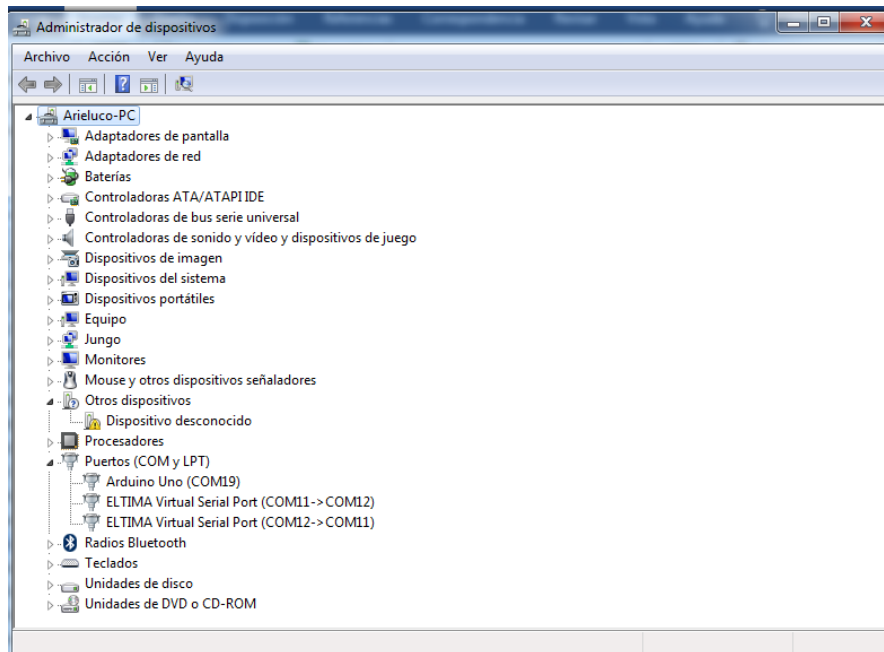


Figura 2.6. Puertos de comunicación serial

Una vez seleccionado el puerto de comunicación, se debe iniciar la interfase, presionando el símbolo de correr el programa (run) ubicado en la parte superior izquierda como se muestra en la Figura 2.7.

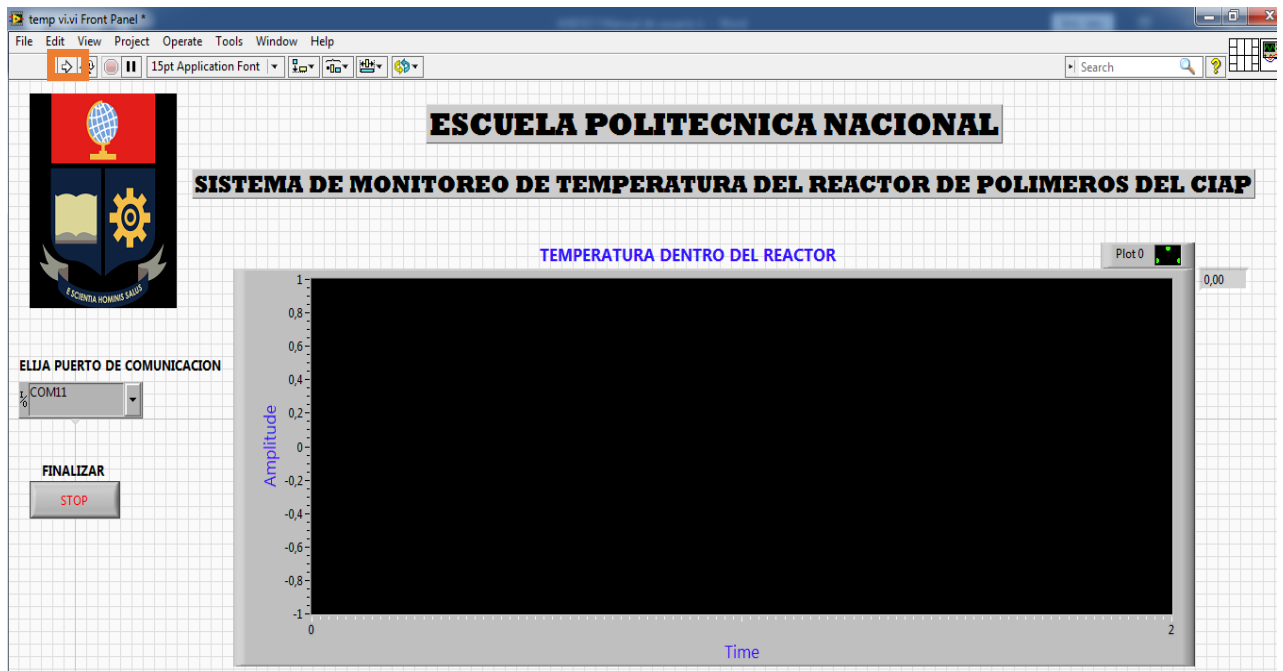


Figura 2.7. Arrancar la interfase desarrollada en Labview.

Al iniciar la interfase será requerido el nombre y la ubicación del archivo donde se almacenarán los datos que reciba el computador. Al terminar el proceso en la interfase en labview se debe seleccionar finalizar, se debe apagar el sistema mediante el interruptor y desconectar los cables de comunicación serial y el cable del termómetro Mlx90614.

3. Análisis de datos.

3.1 Gráfica de temperatura de los datos almacenados en la memoria micro SD.

Una vez finalizado el proceso de adquisición de datos se debe extraer la memoria micro SD, se inserta esta memoria en el computador y se ejecuta el programa desarrollado en Python "Temp.py". Al abrir el programa se desplegará una con un mensaje inicial como se observa en la Figura 3.1 y se debe presionar el botón "Continuar".

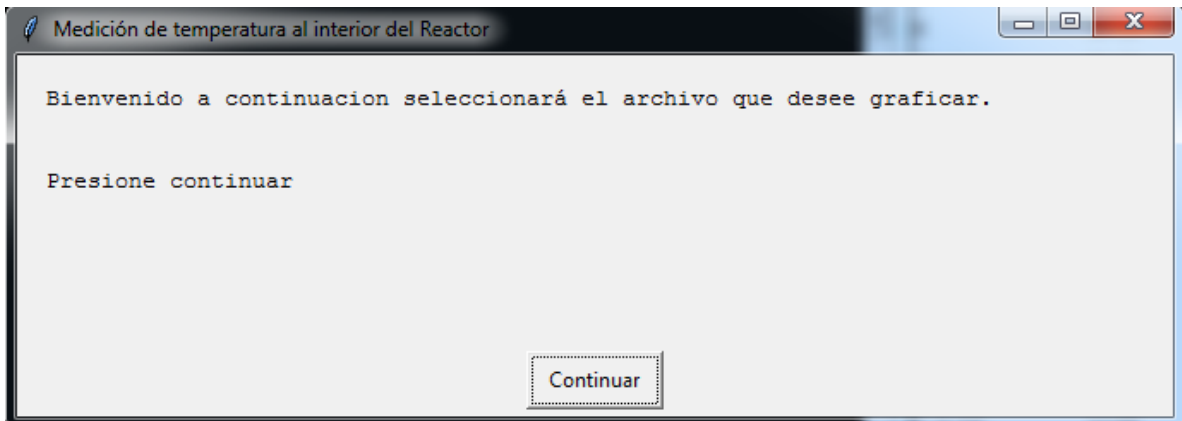


Figura 3.1. Ventana inicial de aplicación “Temp.py”.

Posteriormente muestra la ventana que se observa en la Figura 3.2, que nos permite seleccionar el archivo de datos “Temp.txt”, donde se encuentran los datos de temperatura guardados en la memoria micro SD de la última adquisición, el archivo debe estar en formato de texto.

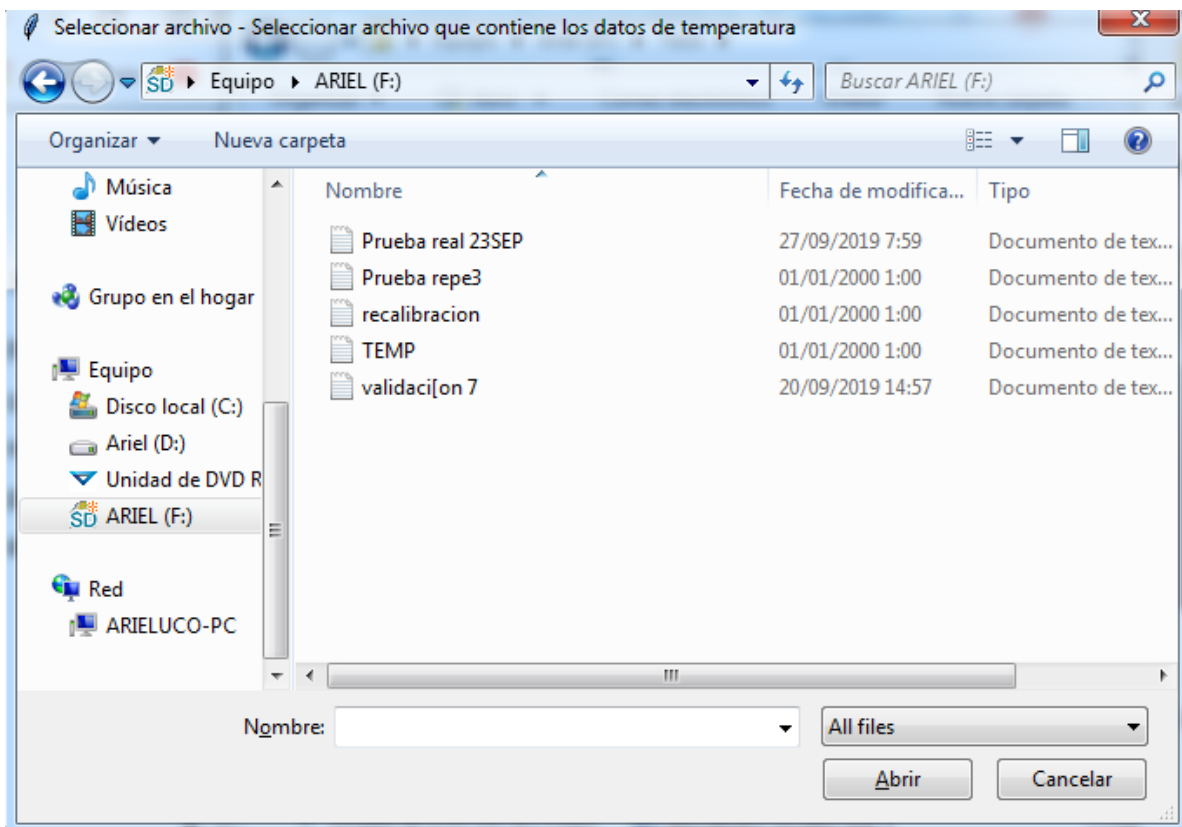


Figura 3.2. Ventana de selección de archivo de datos de temperatura.

Una vez seleccionado el archivo, se desplegará la gráfica de temperatura como se puede observar en la Figura 3.3. En esta ventana se debe guardar la gráfica con el nombre que el operador desee.

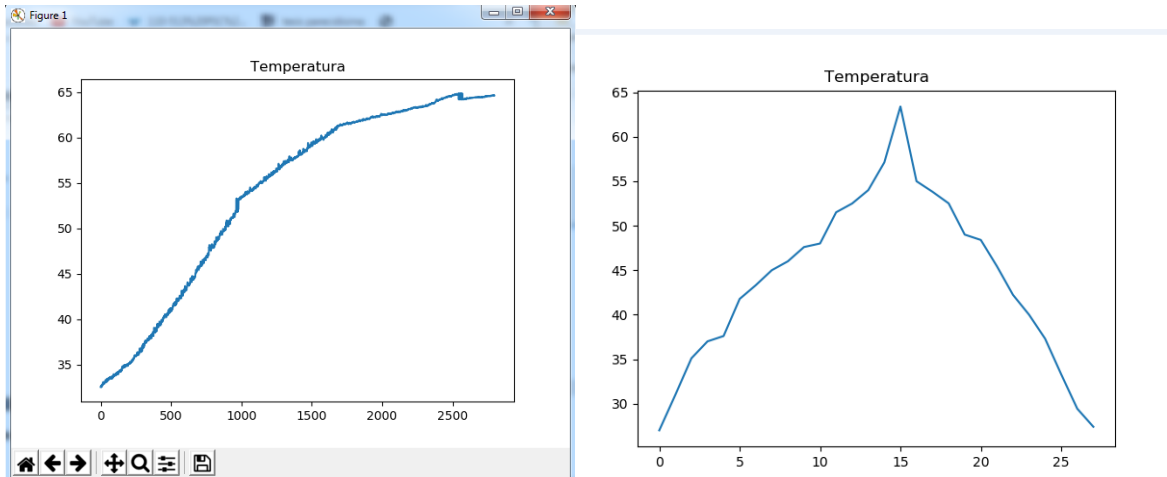


Figura 3.3. Curvas de temperatura obtenidas mediante la aplicación “Temp.py”.

Para finalizar se debe cerrar la ventana de la gráfica, y desplegar la ventana observada en la Figura 3.4 donde existe la posibilidad de graficar otro archivo de datos o el mismo previamente graficado, para lo cual debemos presionar el botón “Continuar”, en caso de querer salir de la aplicación se debe presionar “Salir”.

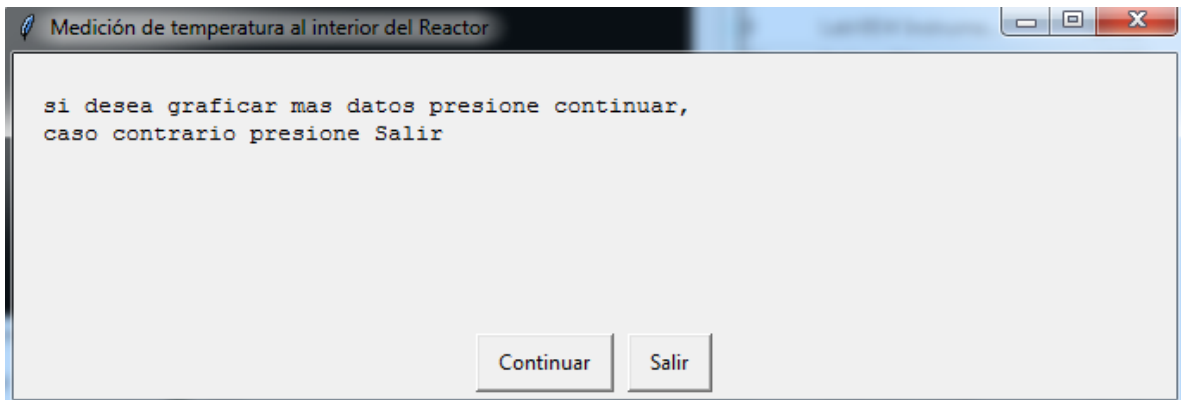


Figura 3.4. Ventana de salida de aplicación “Temp.py”.

3.2 Gráfica de temperatura de los datos almacenados mediante la interfase de Labview.

Primero se debe buscar el archivo formato “tdmr”, donde se guardaron los datos de temperatura al iniciar la ejecución de la interfase, y se lo abre usando la plataforma de Excel. Una vez abierto se puede observar en la primera pestaña el nombre con el que se guardó el documento y el número de elementos como se muestra en la Figura 3.5.

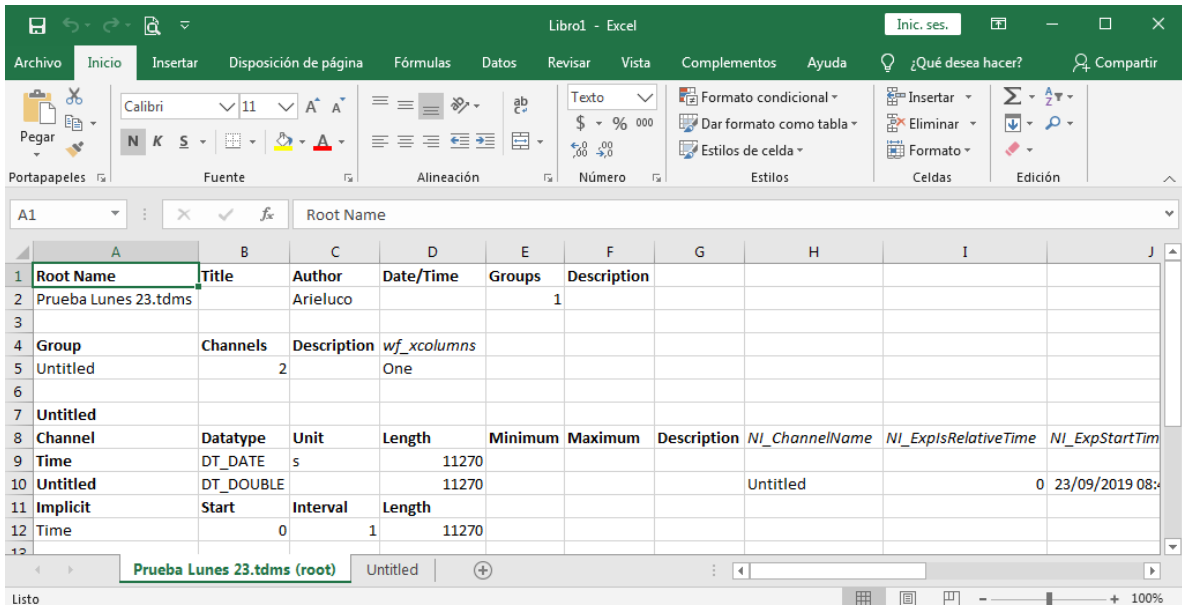


Figura 3.5. Primera pestaña del archivo .tdm

En la segunda pestaña se encuentran ordenados por columnas la fecha y hora en que se obtuvieron los datos, el número de dato y el valor de la temperatura, que se muestra a continuación en la Figura 3.6

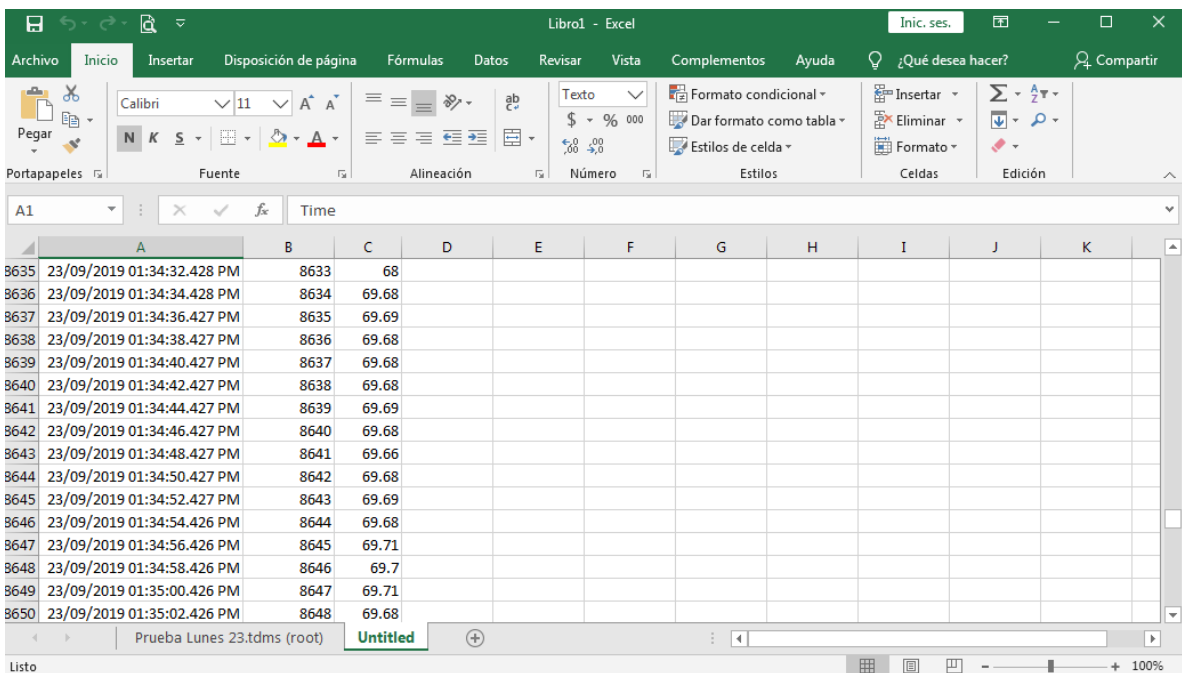


Figura 3.6. Segunda pestaña del archivo .tdm

En la segunda pestaña de este archivo podemos seleccionar las columnas de numero de dato y el valor de temperatura, y obtenemos la gráfica de temperatura como se muestra en la Figura 3.7. Con la herramienta de grafica de dispersión.

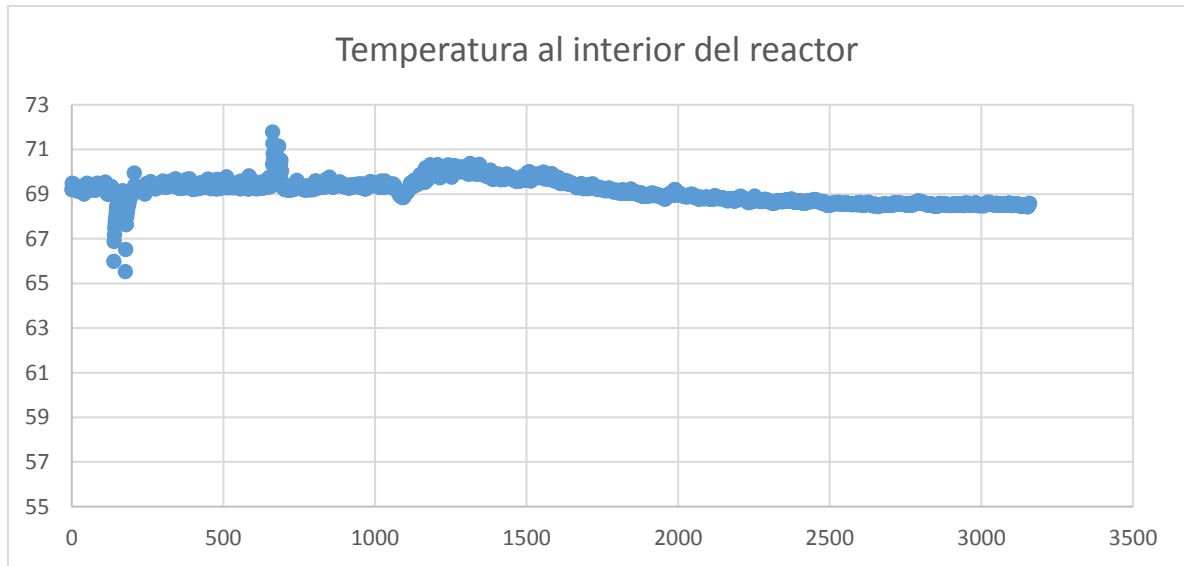


Figura 3.7. ejemplo de gráfica de temperatura obtenida mediante la interfase de labview.

4. Batería y alimentación del dispositivo.

Se puede conectar a una fuente de 110Vac, mediante el transformador y la placa de fuente se proporcionan 12Vdc al sistema.

El sistema cuenta con una batería de 12 V con una corriente de 1300 mAh, tiene la capacidad de alimentar al sistema durante 2 procesos, tomando en cuenta que cada uno dura aproximadamente 8 horas. Para cargar la batería únicamente se debe conectar el cable de poder en el conector para la alimentación del sistema a 110V.

5. Conexiones internas y Mantenimiento

La ubicación dentro del gabinete de los dispositivos que conforman el sistema se muestra en la Figura 5.1. y estas son:

- A: Pantalla LCD.
- B: Pulsador para comenzar el almacenamiento de datos.
- C: Transformador.
- D: Fuente de alimentación de 12V.
- E: Batería de 12 V.
- F: Interruptor de encendido y apagado del prototipo.

G: Conector para la alimentación del sistema y recarga de batería.

H: Conjunto placa de adaptación y Arduino.

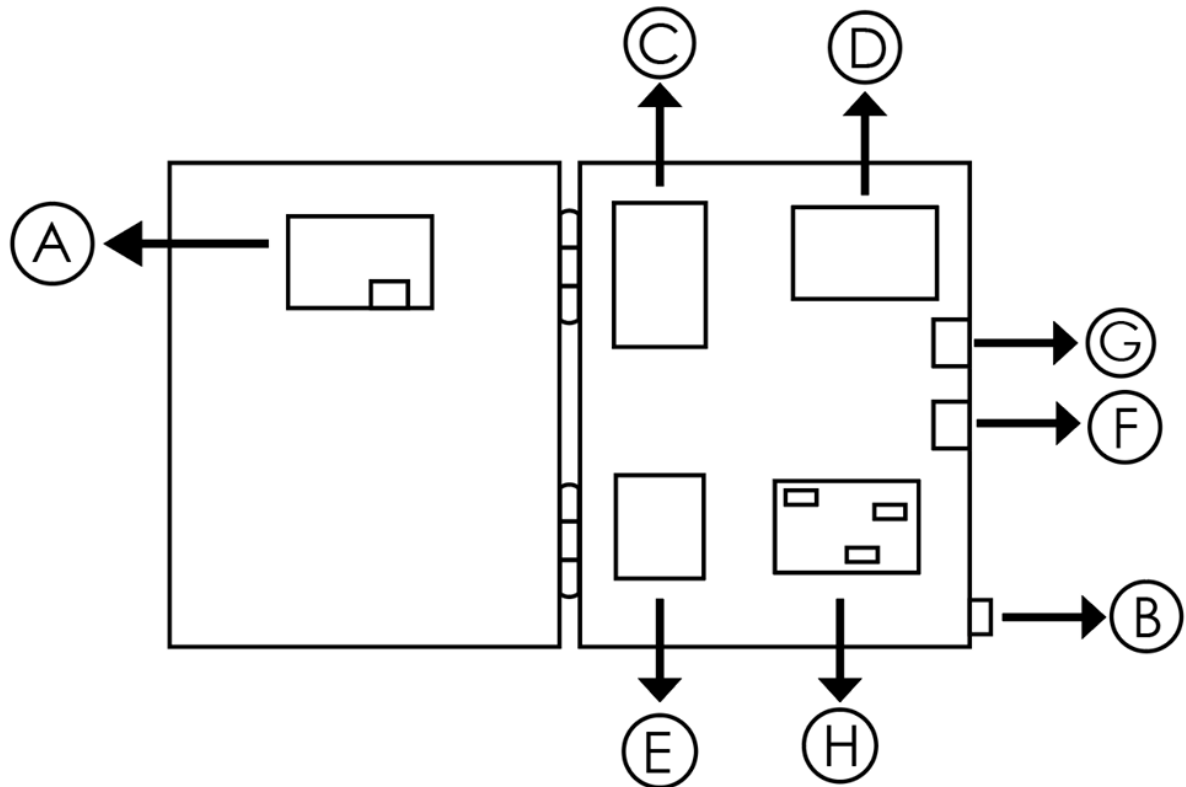


Figura 5.1. Esquema interior del gabinete.

En caso de requerir remplazar algún elemento de la placa de adaptación, se lo debe hacer con uno de similares características, esta placa se compone únicamente de conectores, como son borneras, espadines y zócalos, para conectar los dispositivos señalados en la Figura 5.2. Para realizar el reemplazo de cualquier elemento se debe apagar el sistema y retirar la placa.

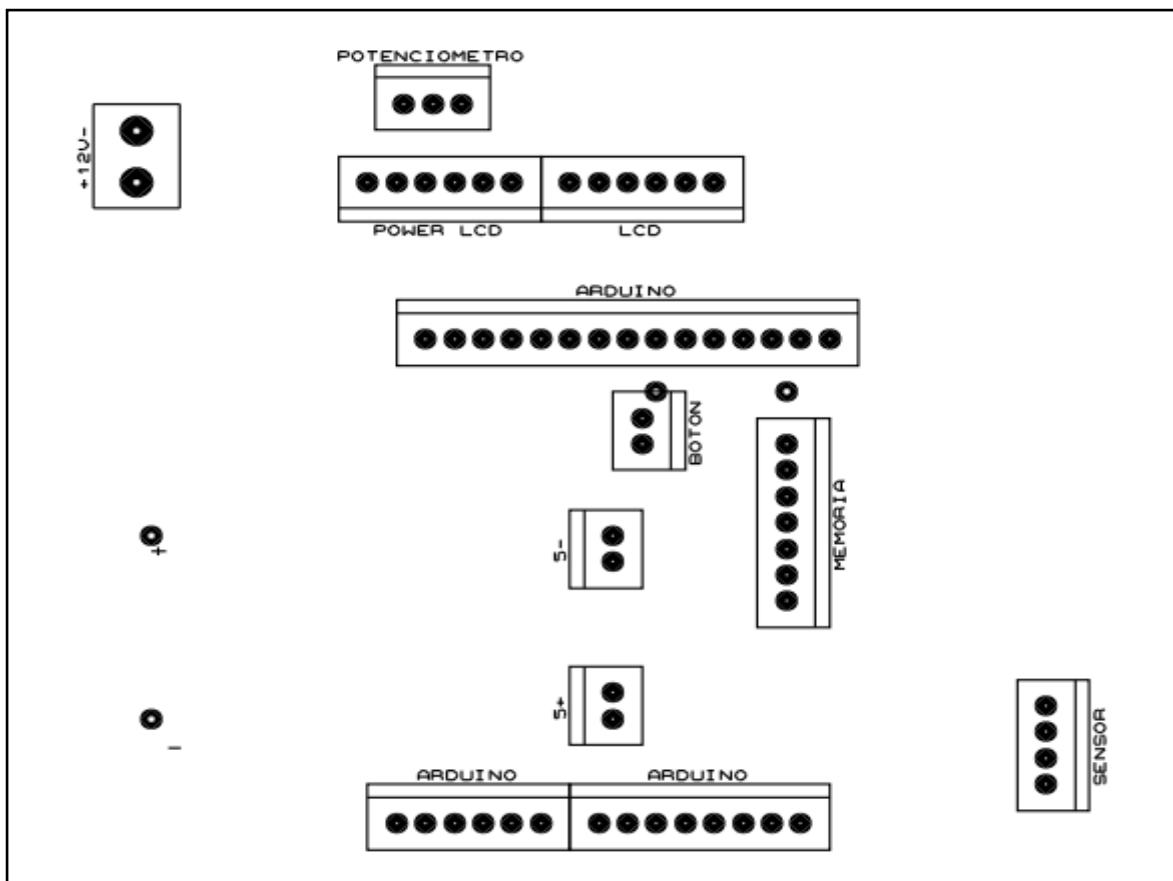


Figura 5.2. Placa de adaptación y sus componentes.

Para el mantenimiento del sistema este debe estar apagado, se debe desconectar todos los cables del gabinete, abrir el mismo y proceder a retirar el polvo. Una vez realizado esto se debe encender el sistema y verificar los niveles de voltaje en los terminales de la fuente y de la placa de adaptación. Luego conectar el cable del sensor y verificar la medición de la temperatura y visualización en LCD.

Para el mantenimiento del sensor se debe verificar el estado de la protección de teflón que rodea el sensor. En caso de no estar ajustada, se la debe retirar y envolver nuevamente al sensor con teflón, tomando en cuenta que debe ingresar en el adaptador de vidrio para la tapa del reactor. Otro problema que se puede presentar es una conexión defectuosa de el módulo de la memoria, para solucionarlo se debe presionar firmemente el conector de este módulo hacia la placa de adaptación.

ANEXO II

Datasheet y manuales.

Datasheet Fuente ZK-PS902B

Data Sheet Teflon en aerosol PTFE

Datasheet del Termómetro infrarrojo Mlx90614

Datasheet Arduino UNO R3

ZK-PS902B

Fuente de Alimentación 12Vdc con Cargador de Batería | 5A/2A



ESPECIFICACIONES	
Entrada de Voltaje	220 Vac / 50Hz
Salida de Voltaje	12 Vdc
Corriente momentanea	5A
Corriente continua	2A
Temporizador	0 a 15s
Contactos de salida	Para: Control de Acceso, Cerradura electromagnética, Boton de Salida, aplicaciones que requieran 12Vdc /2A
Conexión a Batería	SI
Temperatura de operación	-20°C a + 60°C
Humedad de operación	< 90%
Dimensiones	212 x 168 x 71 mm
Peso	2 Kg
Aprobaciones	CE, FCC, RoHs

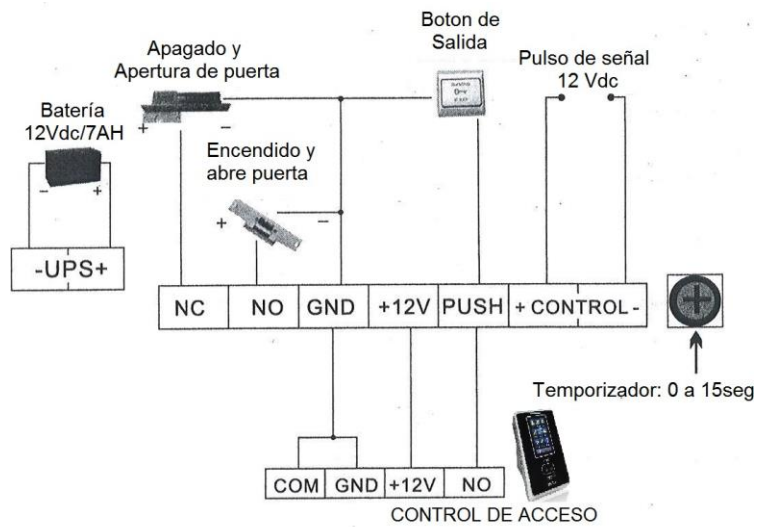
CARACTERISTICAS

- Fuente de Alimentación de Alta calidad diseñado con regulador lineal: Características de Alta estabilidad y bajo ruido que lo hacen un diseño ideal
- Gabinete Robusto: Cada unidad de fuente de alimentación viene dentro de un gabinete de aluminio robusto con tapa con bisagras para un fácil acceso
- Protección automática: protegido de corto circuitos y sobre cargas; operación automática en modo a prueba de fallas
- Conexión a batería de respaldo, que conmuta automáticamente a modo de operación a batería en caso de falla de AC.

APLICACIONES

- Control de Acceso
- Equipos que requieren alimentación de 12Vdc a 2A con batería de respaldo.
- Batería no incluida.

Diagrama de Conexiones



Ficha técnica

Fecha de modificación: 05.12.2017 - Página 1/1

Spray de PTFE



Libre de grasa, antiadherente

El Spray PTFE de WEICON es un lubricante seco a base de PTFE, exento de grasa, también usado como agente antiadherente. El Spray PTFE adhiere en todas las superficies de metal, plástico y madera. Debido al alto contenido de PTFE, hay una reducción considerable de la fricción. La capa repele al agua, polvo y a la suciedad y tiene una excelente resistencia a aceites, grasas y muchos productos químicos.

El Spray de PTFE WEICON se aplica como lubricante permanente en rieles de deslizamiento y rodadura así como en guías, en cintas de transporte, rodillos y lanzaderos de transporte, en ventanas, en herramientas cortantes y en máquinas de embalaje. Se utiliza además como revestimiento hidrófugo de juntas de papel y corcho así como de empaquetaduras, en lugar de antiadherentes con silicona y en todo proceso en que no se admite o no se desea una lubricación con aceite o grasa.

Datos técnicos

Olor	Casi inodoro
Características	Base PTFE
Estabilidad de almacenaje	24 meses
Color	Blanco
Resistencia a la temperatura	-180 hasta +250 °C
Código ISSA	53.402.13
Código IMPA	45 08 27

Nota

Las indicaciones y recomendaciones contenidas en este folleto no representan ningún aseguramiento de propiedades. Estas se basan en los resultados de nuestras investigaciones y experiencias. No obstante no son vinculantes, debido a que no podemos ser responsables del cumplimiento de las condiciones de procesamiento y debido a que no conocemos las condiciones de aplicación especiales en el usuario. Solo se puede asumir una garantía para una calidad permanentemente elevada de nuestros productos. Recomendamos determinar a través de suficientes ensayos propios, si por parte del producto indicado se cumplen las propiedades deseadas. Un derecho en base a ello está descartado. El usuario asume exclusivamente la responsabilidad por un empleo erróneo o diferente a su finalidad.

Procesamiento

Limpiar y desengrasar las superficies antes de la aplicación. Agitar el bote antes de usarlo hasta oír claramente las bolas agitadoras. Aplicar el spray a una distancia de aprox. 20 cm en la superficie limpia y seca. En el caso de uso continuo, agitar el bote de vez en cuando. En temperatura ambiente (+20°C), la capa está seca al polvo en aprox. 10 minutos después de la aplicación.

Almacenamiento

Contenedor bajo presión. Proteger de temperaturas mayores de +50°C y de la luz directa del sol.

Seguridad y salud

En el procesamiento de los productos WEICON es necesario observar las especificaciones y prescripciones físicas, toxicológicas, ecológicas y relativas a la seguridad técnica indicadas en nuestras fichas de seguridad CE (www.weicon.com).

Envases disponibles:

11300400 Spray de PTFE 400 ml

WEICON GmbH & Co. KG
(Headquarters)
Germany
phone +49 (0) 251 9322 0
info@weicon.de

WEICON Middle East L.L.C.
United Arab Emirates
phone +971 4 880 2505
info@weicon.ae

WEICON Inc.
Canada
phone +1 877 620 8889
info@weicon.ca
www.weicon.ca

WEICON Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti.
Turkey
phone +90 (0) 212 465 33 65
info@weicon.com.tr
www.weicon.com.tr

WEICON Romania SRL
Romania
phone +40 (0) 3 65 730 763
office@weicon.com

WEICON SA (Pty) Ltd
South Africa
phone +27 (0) 21 709 0088
info@weicon.co.za

WEICON South East Asia Pte Ltd
Singapore
phone (+65) 6710 7671
info@weicon.com.sg

WEICON Czech Republic s.r.o.
Czech Republic
phone +42 (0) 417 533 013
info@weiconcz.cz

WEICON Ibérica S.L.
Spain
phone +34 (0) 914 7997 34
info@weicon.es

MLX90614 family



Datasheet Single and Dual Zone
Infra Red Thermometer in TO-39

Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
 - -40°C...+125°C for sensor temperature and -70°C...+380°C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C in a wide temperature range (0°C...+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8V...16V applications
- Sleep mode for reduced power consumption
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

Application Examples

- High precision non-contact temperature measurements
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning
- Windshield defogging
- Automotive blind angle detection
- Industrial temperature control of moving parts
- Temperature control in printers and copiers
- Home appliances with temperature control
- Healthcare
- Livestock monitoring
- Movement detection
- Multiple zone temperature control – up to 127 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay / alert
- Body temperature measurement

Ordering Information

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

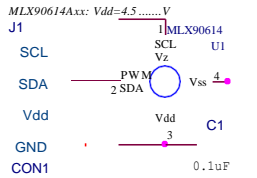
(1) Supply Voltage/ Accuracy A - 5V B - 3V C - Reserved D - 3V medical accuracy	(2) Number of thermopiles: A – single zone B – dual zone C – gradient compensated*	(3) Package options: A – Standard package B – Reserved C – 35° FOV D/E – Reserved F – 10° FOV G – Reserved H – 12° FOV (refractive lens) I – 5° FOV K – 13°FOV
---	---	---



Example:
MLX90614ESF-BAA-000-TU * : See page 2

REVISION 11 - JUNE 15, 2017
3901090614

1. Functional diagram



C1 value and type may differ in different applications for optimum EMC

MLX90614 connection to SMBus

Figure 1: Typical application schematics

2. General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non-contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can. Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital

PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20...120°C, with an output resolution of 0.14°C. The factory default POR setting is SMBus.

The MLX90614 is built from 2 chips developed and manufactured by Melexis:

- The Infra Red thermopile detector MLX81101
- The signal conditioning ASSP MLX90302, specially designed to process the output of IR sensor.

The device is available in an industry standard TO-39 package.

Thanks to the low noise amplifier, high resolution 17-bit ADC and powerful DSP unit of MLX90302 high accuracy and resolution of the thermometer is achieved. The calculated object and ambient temperatures are available in RAM of MLX90302 with resolution of 0.01°C. They are accessible by 2 wire serial SMBus compatible protocol (0.02°C resolution) or via 10-bit PWM (Pulse Width Modulated) output of the device.

The MLX90614 is factory calibrated in wide temperature ranges: -40°C...125°C for the ambient temperature and -70°C...380°C for the object temperature.

The measured value is the average temperature of all objects in the Field Of View of the sensor. The MLX90614 offers a standard accuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ around room temperatures. A special version for medical applications exists offering an accuracy of $\pm 0.2^\circ\text{C}$ in a limited temperature range around the human body temperature.

It is very important for the application designer to understand that these accuracies are only guaranteed and achievable when the sensor is in thermal equilibrium and under isothermal conditions (there are no temperature differences across the sensor package). The accuracy of the thermometer can be influenced by temperature differences in the package induced by causes like (among others): Hot electronics behind the sensor, heaters/coolers behind or beside the sensor or by a hot/cold object very close to the sensor that not only heats the sensing element in the thermometer but also the thermometer package.

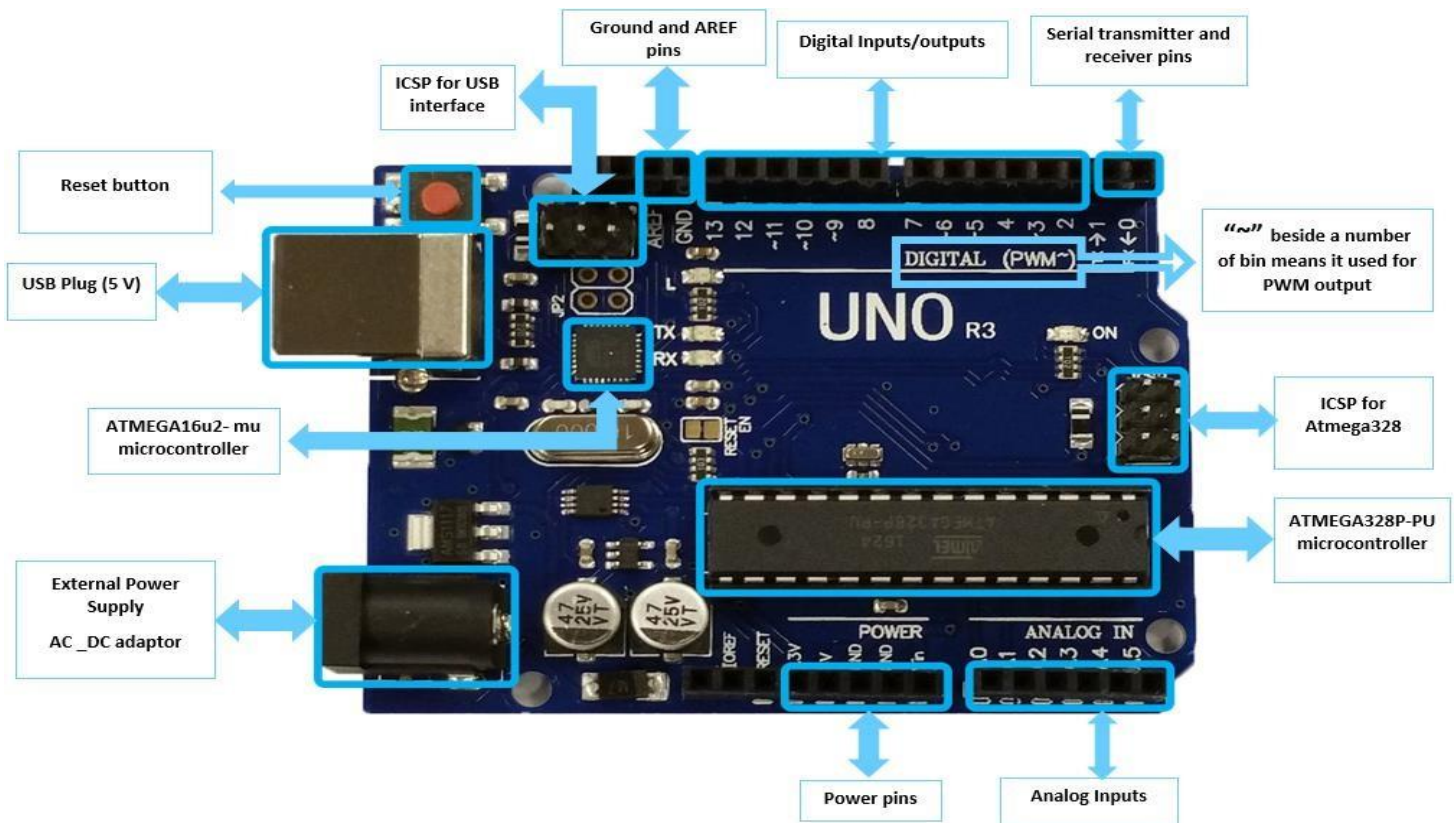
This effect is especially relevant for thermometers with a small FOV like the xxC and xxF as the energy received by the sensor from the object is reduced. Therefore, Melexis has introduced the xCx version of the MLX90614. In these MLX90614xCx, the thermal gradients are measured internally and the measured temperature is compensated for them. In this way, the xCx version of the MLX90614 is much less sensitive to thermal gradients, but the effect is not totally eliminated. It is therefore important to avoid the causes of thermal gradients as much as possible or to shield the sensor from them.

As a standard, the MLX90614 is calibrated for an object emissivity of 1. It can be easily customized by the customer for any other emissivity in the range 0.1...1.0 without the need of recalibration with a black body.

The 10-bit PWM is as a standard configured to transmit continuously the measured object temperature for an object temperature range of -20°C...120°C with an output resolution of 0.14°C. The PWM can be easily customized for virtually any range desired by the customer by changing the content of 2 EEPROM cells. This has no effect on the factory calibration of the device.



ARDUINO UNO R3



INTRODUCTION

Arduino is used for building different types of electronic circuits easily using of both a physical programmable circuit board usually microcontroller and piece of code running on computer with USB connection between the computer and Arduino.

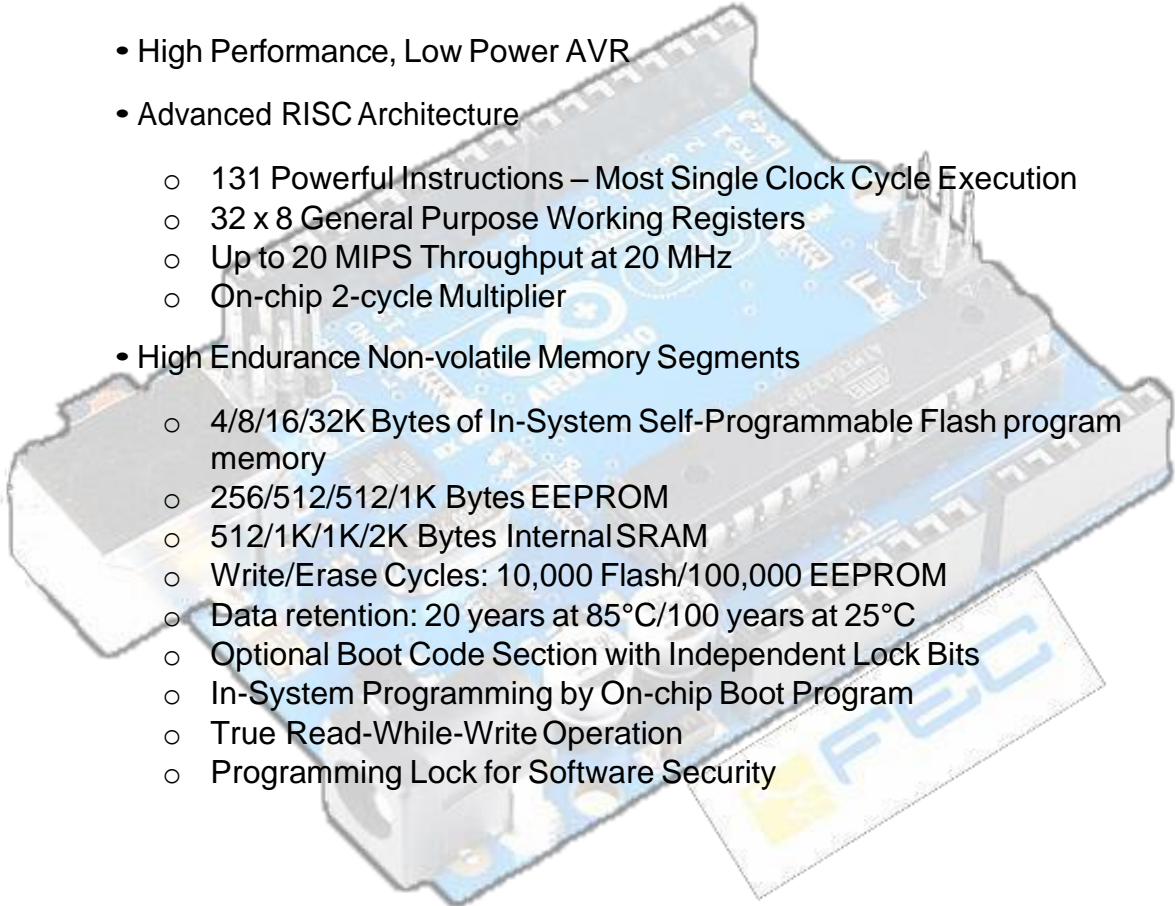
Programming language used in Arduino is just a simplified version of C++ that can easily replace thousands of wires with words.

ARDUINO UNO-R3 PHYSICAL COMPONENTS

ATMEGA328P-PU microcontroller

The most important element in Arduino Uno R3 is ATMEGA328P-PU is an 8-bit Microcontroller with flash memory reach to 32k bytes. It's features as follow:

- High Performance, Low Power AVR
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART



ORDEN DE EMPASTADO