

**DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA A
TRAVÉS DE TERMOCUPLA TIPO K Y MICROCONTROLADOR USANDO
EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI.**

YERALDYN GRAJALES ERAZO.

JUAN FELIPE MONSALVE VARGAS.

ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL.

ESPECIALIZACIÓN EN INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.

BOGOTÁ, DC.

2019.

**DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA A
TRAVÉS DE TERMOCUPLA TIPO K Y MICROCONTROLADOR USANDO
EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SPI.**

YERALDYN GRAJALES ERAZO.

JUAN FELIPE MONSALVE VARGAS.

Proyecto final integrado para la especialización Técnica en Instrumentación Industrial.

Coordinador

CARLOS PRIETO.

Ingeniero electrónico.

ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL.

ESPECIALIZACIÓN EN INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.

BOGOTÁ, DC.

2019.

Tabla de contenido

1.	LISTA DE IMÁGENES.....	4
2.	LISTA DE ANEXOS.....	5
3.	RESUMEN.....	6
4.	ABSTRACT.....	7
5.	INTRODUCCIÓN.....	8
6.	OBJETIVO GENERAL	10
7.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
8.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
9.	JUSTIFICACIÓN	13
10.	MARCO TEÓRICO	14
11.	ANTECEDENTES	23
12.	ALCANCE.....	26
13.	METODOLOGÍA	26
13.1	TÉCNICAS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	27
13.2	DISEÑO DEL PROTOTIPO	27
14.	PROPUESTA.....	28
	28
15.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
16.	RECOMENDACIONES.....	34
17.	TRABAJOS FUTUROS	35
18.	CONCLUSIONES.....	36
19.	BIBLIOGRAFÍA.....	37

1. LISTA DE IMÁGENES

Fig 1. Termómetro digital.....	14
Fig 2. Termocupla tipo K.	15
Fig 3. Termómetro de gas.....	16
Fig 4. Termómetro de lámina bimetálica.....	16
Fig 5. Termómetro Industrial.....	17
Fig 6. Pirómetro PCE – 889B.....	18
Fig 7. Diagrama de pulsos en una transmisión SPI.	21
Fig 8. Quemador de PIC modelo PICKIT 2.	22
Fig 9. Distribución de pines PIC 18F4550.	23
Fig 10. Diagrama de las fases del proyecto.	27
Fig 11. Diagrama del diseño del prototipo..	28
Fig 12. Curvas características termopares.	29
Fig 13. Conexión típica modulo MAX6675.....	30
Fig 14. Forma física PIC 18F4550.	30
Fig 15. Display LCD 20x4.	31
Fig 16. Transmisión protocolo SPI.....	31
Fig 17 Diagrama electrónico del prototipo.....	32
Fig 18. Montaje físico del circuito de prototipo.	34

2. LISTA DE ANEXOS.

ANEXO A Código de programación.....	39
ANEXO B DATASHEET PANTALLA LCD.....	42
ANEXO C DATASHEET MODULO MAX6675	43
ANEXO D DATASHEET PIC 18F4550	45

3. RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea un proyecto de diseño orientado a comunicar una termocupla tipo K, transducción y acondicionamiento de la señal con un módulo de adquisición de temperatura a través de protocolo SPI, esta integración comprende la visualización de la variable por medio de un display LCD.

Así mismo se exponen algunos trabajos realizados en otras instituciones educativas para posteriormente demostrar que éste es un proyecto de tecnología de desarrollo local para el sector industrial que permite optimizar y brindar confiabilidad a los procesos ya existentes instalados y disminución de costos asociados al mantenimiento y paros no programados de línea al detectar en segunda instancia posibles anomalías de los instrumentos primarios.

Finalmente observaremos en la parte de la metodología que mediante los elementos utilizados nuestro dispositivo está diseñado para ayudar al operario de la industria a tener una rápida visualización de las temperaturas correspondientes de la maquinaria de la cual es responsable, permitiendo así mayor fluidez en el trabajo diario, lo cual es muy importante en cualquier tipo de industria ya que garantiza la homogeneidad de producción.

PALABRAS CLAVE: Termocupla, SPI, microcontrolador, tiempo real.

4. ABSTRACT

The present research project proposes a design project oriented to communicate a K-type thermocouple, transduction and signal conditioning with a temperature acquisition module through the SPI protocol, this integration includes the visualization of the variable by means of a display LCD.

Likewise, it presents some works made in educative institutions that prove that it is a technology project of local development technology for the industrial sector that allows to optimize and provide reliability to the already installed processes and decrease of costs associated, with maintenance and unscheduled line stoppages when detecting in the second instance possible anomalies of the instruments primary.

This device is designed to help the operator of the industry to have a quick visualization of the corresponding temperatures of the machinery for which it is responsible, allowing greater fluidity in the daily work, which is very important in any type of industry as it guarantees the homogeneity of production.

KEYWORDS: Thermocouple, SPI, microcontroller, real time.

5. INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria se encuentran diversos procesos que requieren de la supervisión de variables físicas para que se puedan llevar a cabo satisfactoriamente, por lo cual es vital disponer de un dispositivo que realice dichas medidas de variables tales como la temperatura para llevar un control adecuado y en algunos casos llevar el registro de los cambios que se presentan de dicha variable física en el tiempo.

Para poder realizar estas medidas lo que se usa actualmente son termómetros industriales, encargados de medir la temperatura en procesos, esta verificación es de vital importancia ya que de la identificación de ganancias o pérdidas de temperatura depende la obtención de resultados óptimos en los procesos y la conservación del buen funcionamiento de la maquinaria, dentro de la industria este tipo de estudios se conocen como termometría.

En los procesos industriales es común llevar el control de variables físicas como la humedad o la temperatura (termometría), ya sea para garantizar la calidad de un producto alimenticio, la estabilidad de algún compuesto químico o el correcto funcionamiento de algún tipo de maquinaria ya que suelen calentarse cuando se encuentran en operación y con ello garantizar su vida útil.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes alternativas para estos controles y registros térmicos, desde equipos que entran en contacto directo con alguna sustancia como un termómetro, hasta scanner infrarrojos que funcionan a distancia de los equipos. Sea cual sea el tipo de tecnología de se defina para el proceso que se necesita medir siempre se busca un excelente funcionamiento en términos de vida útil y confiabilidad de medidas, por

supuesto ligado esto indudablemente a la economía pensando en el valor más cómodo, teniendo en cuenta esto, se hace casi imposible adquirir tecnologías nacionales ya que sus costos son altamente elevados y siempre será mucho más asequible un equipo importado de China o Japón por sus bajos precio.

Para poder desarrollar un medidor de temperatura que pueda competir con tecnologías extranjeras es necesario aplicar tecnología disponible en un mercado menos estricto como la electrónica para estudiantes, hallando en este campo elementos con buena capacidad de procesamiento como lo son los PIC (controlador de interfaz periférico) y uniéndolo con un protocolo de alta velocidad como el SPI (interfaz periférica serial) que a la vez ayude a reducir costo en termino energético a la hora de la puesta en marcha.

6. OBJETIVO GENERAL

- ❖ Desarrollo de prototipo de instrumento para medir temperatura a través de una termocupla tipo K con un microcontrolador usando el protocolo SPI.

7. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Definir el rango de temperatura dentro del cual la termocupla tipo k necesaria es efectiva para las medidas posibles de procesos estándar.
- ❖ Implementación de módulo de adquisición de temperatura de la termocupla.
- ❖ Programación de PIC según protocolo SPI para comunicación con módulo de adquisición.
- ❖ Implementación del protocolo SPI para la comunicación de la termocupla con el microcontrolador.
- ❖ Visualización de temperaturas por medio de una pantalla LCD en tiempo blando con el uso del reloj interno.

8. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro del mercado colombiano se llevan a cabo a diario diferentes procesos industriales, sea cual sea el tipo de actividad que desarrolle una empresa siempre requerirá del seguimiento y registro de parámetros que afectan la producción, tales como la productividad diaria o más específicamente variables que afectan un producto que sale a la venta por la actividad económica de la empresa. Dependiendo del tipo de industria que se maneje se controlan diferentes variables físicas tales como humedad, temperatura y presión.

Con el avance de la industria en los últimos 10 años se han ido desarrollando diferentes tecnologías que ayudan al monitoreo, registro y seguimiento de los datos arrojados por cada uno de los procesos desde tecnologías básicas inventadas hace décadas (termómetro de mercurio) hasta nuevas tecnologías que no requieren de contacto físico para la captura del valor de la temperatura (pirómetro – siglo XX), todos estos avances son vistos a nivel internacional y hay países destacados en estos desarrollos tecnológicos como Estados Unidos, Alemania y China, solo por nombrar los más destacados; probablemente para una fábrica ubicada en uno de estos mismos países sea muy fácil adquirir un dispositivo de este tipo por ser desarrollado en su propia región, pero a la hora de mirar a países como Colombia donde la producción está más enfocada en materias primas que en desarrollo tecnológico es diferente la situación, al ser necesario un equipo de captura de temperatura acudimos a una marca reconocida por términos de confiabilidad en cuanto a calidad se trata, los costos son elevados ya que las empresas nacionales importan sino el dispositivo completo, por lo menos si sus partes y simplemente se encargan se ensamblar.

Al encontrar un equipo en un tiempo mínimo y de producción nacional será con unos estándares muy básicos de funcionamiento, de transmisión de datos lenta, con un límite de temperatura muy bajo y con un alto consumo de energía.

Solo por tomar un ejemplo, dentro del internet podemos encontrar un termómetro con termocupla tipo k por un costo de COP100.000 (2019), si observamos dentro de las características del producto, está fabricado por una marca estadounidense (NICETYMETER), tiene un límite de temperatura hasta los 204°C, usa batería AAA (lo que incrementa los costos de uso) y no tiene ningún tipo de reloj de tiempo y son sistemas de tecnología cerrada.

¿Es posible desarrollar un dispositivo que sea accesible en términos de costos y fácil adquisición, que permita una medida de temperatura mucho mayor (700°C), que realice una transmisión de datos rápida y que sea de tecnología abierta?

9. JUSTIFICACIÓN

Dentro del seguimiento de datos que se realiza en los diferentes procedimientos industriales, se hace necesario instalar dispositivos que permitan el monitoreo de variables físicas tan importantes como la temperatura con fines tales como el análisis de los datos obtenidos o la implementación de alarmas para evitar fallas de calidad ya sea en los productos o los procesos. Al investigar en el mercado disponible, solo encontramos dispositivos de alto costo nacionales o de bajo costo importados con tiempos largos de espera para su compra por lo que se hace necesario desarrollar un dispositivo que realice la adquisición de temperatura que sea versátil y competitivo, que tenga características tales como una velocidad de transmisión de datos superior a 10Mbps, una temperatura de medida hasta de 700°C, que sea de producción nacional y abra campo a un dispositivo de tecnología abierta permitiendo la extracción de registros en tiempo blando en un medio externo.

Para poder competir con mercados extranjeros es importante usar tecnología eficaz, es por ello que para el desarrollo del presente proyecto nos enfocamos en lograr realizar la medida y visualización de temperaturas en tiempo blando.

En la industria colombiana se necesita tener acceso a un dispositivo económico y medidas confiables para la adquisición de temperatura en los procesos con futuro a la generación de informes en tiempo blando.

10. MARCO TEÓRICO

En el ámbito industrial se pueden identificar algunas clases de *termómetros* que son los más usados tales como: termómetro bimetalico, de dilatación de gas, de resistencia, digital (figura 1), de bulbo húmedo, de globo, pirómetro óptico, pirómetro de radiación, pirómetro infrarrojo, entre otros [1]. La definición del tipo de termómetro que se usara dependerá del requerimiento en términos de rangos de temperatura, condiciones ambientales, elemento al cual se le llevara a cabo el control y costos; al realizar la investigación sobre los dispositivos disponibles en el mercado para la validación de temperaturas nos encontramos con termómetros que dentro de un rango de medición de 0 a 1023°C fácilmente llegan a un costo de mínimo 200.000 COP (2019) con importación y con unas características mínimas [3][4]. Teniendo en cuenta esto, es importante hacer desarrollos tecnológicos que beneficien el mercado nacional para impulsar avances locales que ayuden a su vez el desarrollo del país en términos de tecnología y ligado a esto la economía.



Fig 1. Termómetro digital.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE TEMPERATURA INDUSTRIALES

Hablando específicamente del ámbito industrial podemos encontrar los instrumentos más comunes:

Termocuplas: Se basan en el hecho de que una corriente del orden de milivoltios fluye en un circuito continuo de dos alambres metálicos diferentes. La señal varía con la temperatura de la “juntura caliente”. Las termocuplas de hierro-constantán son comúnmente usadas en el rango de temperatura de 0 a 1300°F. Un ejemplo de termocupla usada comúnmente en los procesos industriales donde se requiere monitoreo de la temperatura se observa en la figura 2.

Termómetros de resistencia: Se basan en el hecho de que los metales cambian su resistencia eléctrica cuando se someten a un cambio de temperaturas.



Fig 2. Termocupla tipo K.

Termómetros llenos: Los Termómetros de sistema lleno se diseñan para proporcionar una indicación de la temperatura a cierta distancia del punto de medición. El elemento sensible o medición (bulbo o ampolla) tiene un gas (figura 3) o un líquido que cambia de volumen, presión o presión de vapor con la temperatura. Este cambio se comunica por

medio de un tubo capilar al Tubo de Bourdon u otro dispositivo sensible a la presión y al volumen. Estos dispositivos debido a su simplicidad se utilizan con frecuencia en los procesos industriales.



Fig 3. Termómetro de gas.

Termómetros bimetálicos: El Bimetal termostático se define como un material compuesto que consta de tiras de dos ó más metales unidos entre sí. Debido a los diferentes índices de expansión de sus componentes, esta composición tiende a cambiar de curvatura cuando se somete a una variación de temperatura. Los Termostatos Bimetálicos se destinan a utilizarse a temperaturas que oscilan entre 1000° F hasta -300° F e incluso a niveles inferiores. A continuación, se muestra un ejemplo de termómetro bimetálico:



Fig 4. Termómetro de lámina bimetálica.

Termómetros de líquido en capilares de vidrio: Las tres formas de Termómetros de líquido en capilares de vidrio son:

1. Los Totalmente hechos de vidrio (de cuello grabado o de escala cerrada).
2. De Tubo y Escala.
3. Industriales (figura 5).

Estos termómetros no se utilizan en sistemas de control automático, pero si se utilizan profundamente como dispositivo de medición para el control manual y en laboratorios de control.



Fig 5. Termómetro Industrial.

Pirómetros: “Pirometría de Radiación”, es la determinación de la temperatura de un objeto por medio de la cantidad y la naturaleza de la energía que irradia. En la figura 6 se puede observar un pirómetro PCE – 889B (pirómetro de mano profesional para detectar la temperatura sin contacto) que usa láser infrarrojo para medir la temperatura a distancia.

Estos dispositivos se clasifican en:

1. Pirómetros ópticos; basados en la brillantez de un objeto caliente.
2. Pirómetros de Radiación; miden el índice de emisión de energía por unidad de área

La constante de tiempo de una termocupla y un termómetro lleno pueden ser 30 segundos o más. Si el termómetro está revestido con polímero u otro material, el tiempo de respuesta

puede ser varios minutos. Esto puede significar degradación en la operación de control [10].



Fig 6. Pirómetro PCE – 889B.

MEDICION DE TIEMPOS EN LA INDUSTRIA

Los *sistemas en tiempo real* pueden ser de dos tipos:

Tiempo real duro: Garantiza que las tareas más críticas de terminen a tiempo, para este tipo de sistema el almacenamiento suele estar limitado o ausente y los datos se almacenan de preferencia en una memoria de corto plazo.

Tiempo real blando: Es un sistema menos restrictivo, con una utilidad más limitada que el sistema de tiempo real duro, es riesgoso utilizarlo en control industrial y robótico, son más útiles en multimedia, realidad virtual y proyectos [5].

PROTOCOLO SPI

Dentro de los protocolos utilizados en la industria destaca uno por su velocidad y fácil montaje siendo este el protocolo SPI. El *SPI* (Serial Peripheral Interface/interfaz periférica serial) es un estándar de comunicaciones usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos [2]. Este protocolo fue desarrollado en la década de 1980 por Motorola para permitir la comunicación entre

diferentes sistemas electrónicos digitales como sus microcontroladores de la serie 68000 con los que surgió la idea. Se trata de un bus serie síncrono, es decir, emplea una línea de reloj para sincronizar las transmisiones de datos entre dispositivos. Estas transmisiones se realizan mediante dos líneas, una para la transmisión del sistema maestro al esclavo y otra para la transferencia del esclavo al maestro. Dado que la transmisión es serie, se envía un único bit del contenido del mensaje en cada ciclo del reloj. Para comenzar o finalizar una transmisión el bus incluye una línea de selección de chip que permite identificar con que dispositivo se desea realizar el intercambio de información [11]. Sus principales características son:

- ✓ Se trata de un bus de 4 hilos
- ✓ Es un protocolo maestro-esclavo que permite controlar varios periféricos a través de un único bus.
- ✓ Se considera un sistema de maestro único, es decir, un único dispositivo se encarga de generar el reloj que sincroniza la transmisión e indicar el inicio y fin de ésta al esclavo a través de una línea de selección de chip.
- ✓ Permite la conexión de varios sistemas esclavos al mismo bus, de forma que el maestro puede intercambiar información con todos ellos empleando las mismas líneas de reloj y datos.
- ✓ Los esclavos fijan su salida de datos en alta impedancia para permitir que otros esclavos accedan al bus sin que se produzcan distorsiones en el mensaje.
- ✓ Posee dos parámetros de configuración: CPHA y CPOL, los cuales definen el sincronismo de la transferencia.

- ✓ La comunicación es full-duplex, es decir, permite el envío y recepción de información de manera simultánea de manera que los dispositivos pueden actuar a la vez como emisor y receptor de información.
- ✓ Permite velocidades de transmisión altas pudiendo alcanzar hasta 12,5 Mbit/s.
- ✓ La longitud de un mensaje no está limitada, pudiendo componerse éste de 1 bit hasta longitudes mucho mayores.
- ✓ Su implementación hardware requiere pocos recursos, por lo que el consumo energético de este bus es reducido.
- ✓ No requiere mecanismo de arbitraje o de respuesta ante fallos ya que la comunicación es constantemente controlada por el dispositivo maestro.
- ✓ El direccionamiento o selección de esclavo se realiza mediante una línea dedicada.
- ✓ No dispone de señal de asentimiento, es decir, el maestro podría estar enviando información a un esclavo y no existe la posibilidad de saber si éste la está recibiendo de manera adecuada.

La sincronización y la transmisión de datos se realiza por medio de 4 señales:

- ✓ **SCLK (Clock):** Es el pulso que marca la sincronización. Con cada pulso de este reloj, se lee o se envía un bit. También llamado TAKT (en alemán).
- ✓ **MOSI (Master Output Slave Input):** Salida de datos del Master y entrada de datos al Esclavo. También llamada SIMO.
- ✓ **MISO (Master Input Slave Output):** Salida de datos del Esclavo y entrada al Master. También conocida por SOMI.
- ✓ **SS/Select:** Para seleccionar un Esclavo, o para que el Master le diga al Esclavo que se active. También llamada SSTE.

En la siguiente figura se puede observar de forma gráfica la forma de transmisión del protocolo SPI:

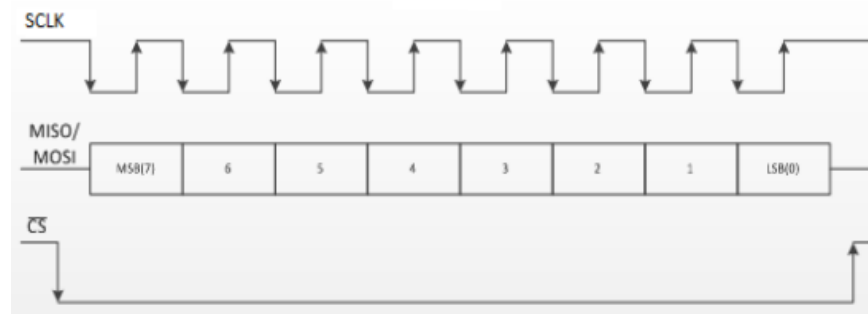


Fig 7. Diagrama de pulsos en una transmisión SPI.

MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un computador completo de limitadas prestaciones, que está contenido en un chip de un circuito integrado y se destina a gobernar una sola tarea. Para que el microcontrolador realice las operaciones que deseamos es necesario grabar en su memoria de programa un conjunto de instrucciones que constituyen el programa de aplicación.

Para desarrollar aplicaciones, proyectos entre otros, se requieren de herramientas tanto lógicas como físicas, es decir software y hardware respectivamente, respecto al software la herramienta principal es el conocido y famoso MPLAB IDE®, que lo proporciona y facilita el mismo fabricante de los PIC, es decir MICROCHIP®, es necesario indicar que existen diferentes marcas de PIC, podemos citar algunas como por ejemplo: ATMEL®, MOTOROLA®, INTEL® y MICROCHIP®, entonces porque elegimos la marca MICROCHIP®, es simple, estos PIC son más comerciales, son económicos y hay mucha información de los mismos en internet.

Otra herramienta lógica clave es el grabador de PIC, quien se encarga de enviar el programa hacia la memoria interna del PIC, es decir realiza la transferencia del programa de la PC hacia el PIC, esta herramienta tiene su complemento que es la parte física, es decir un circuito físico sin el cual no sirve de nada. El grabador es una tarjeta electrónica, que posee entre otros elementos un zócalo para insertar en PIC, un puerto de comunicaciones, que puede ser serial, USB, en algunos casos paralelo [12]. Existen varios tipos de quemador de acuerdo a las versiones que existen de PIC, uno de ellos se observa en la figura 8.



Fig 8. Quemador de PIC modelo PICKIT 2.

En este caso puntual de usará por sus características el PIC 18F4550 que tiene las siguientes características:

- ✓ Puerto USB
- ✓ RAM 1-Kbyte accesible por USB.
- ✓ Relojes externos hasta de 48 MHz.
- ✓ Puerto USART con soporte para comunicaciones MSSP, SPI e I²C.
- ✓ Hasta 13 canales ADC de 10 bits.
- ✓ Memoria FLASH con 100,000 ciclos de lecturas escritura típicos.

- ✓ Memoria EEPROM con 1,000,000 ciclos de lectura escritura típicos y retención de datos de hasta 40 años.
- ✓ Programación ICSP vía dos pines.

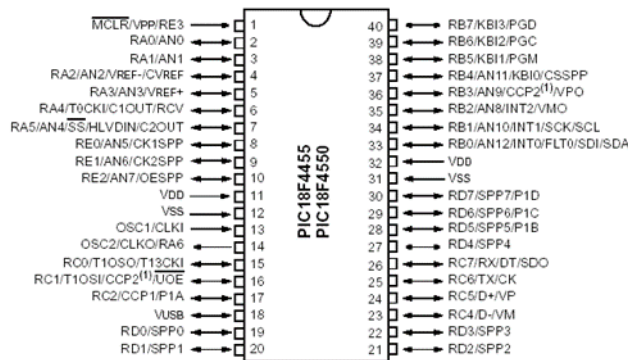


Fig 9. Distribución de pines PIC 18F4550.

11. ANTECEDENTES

Como primer referente en el avance de termómetros digitales en el ámbito educativo se tiene el proyecto de grado realizado por Olivar, M (2015) en la Universidad de Valladolid titulado “Termómetro digital”, en su trabajo usó para la programación un Arduino, plataforma hardware y software basada en microcontroladores comerciales integrados en una PCB y un display digital. Como transductor de temperatura se empleó el termopar de tipo K. Dentro de las conclusiones de este dispositivo cabe mencionar que gracias al diseño electrónico de los circuitos de acondicionamiento de las señales se ha conseguido una lectura final de temperatura bastante precisa, siendo el propio convertidor analógico/digital de Arduino el que más penaliza con diferencia sobre esta característica [7]. Por ello, sería interesante sopesar la posibilidad de utilizar otro tipo de plataforma o

microcontrolador que incluyera un convertidor analógico/digital con mayor precisión y resolución.

En segunda instancia tenemos el proyecto realizado por Barragán, J (2003) que en su proyecto presenta el diseño y construcción de un medidor-transmisor de temperatura con entrada para termocuplas tipo K y salida de corriente normalizada, basándose en un Microcontrolador PIC, con una interfaz amigable al usuario y la posibilidad de comunicación con un PC. El diseño incorpora una parte análoga y otra digital para la medición, presentación y transmisión de la información, lo que se describe en los diferentes capítulos que comprende la parte escrita del proyecto. En el Capítulo 1, se describe generalidades sobre la medición de temperatura, sensores, medidores y transmisores de temperatura y sus características, basándose en esto, se plantea el medidor transmisor que se diseña en el presente proyecto. En el Capítulo 2, se presenta el diseño de hardware que compone el equipo, la elección de sus partes y descripción de las funciones que realizan dentro del equipo, esta revisión se la hace de una manera rápida y completa con el fin de entender su funcionamiento. En el Capítulo 3, se encuentra la descripción del software necesario para el funcionamiento del equipo que servirá para programar al microcontrolador PIC, también se explica el software de interfaz de usuario tanto implementado en el PIC como el desarrollado para el computador. En el Capítulo 4, se describen las pruebas realizadas al medidor-transmisor para verificar su correcto funcionamiento, en especial que cumpla con lo que se propuso diseñar. Finalmente, en el Capítulo 5, se tiene las conclusiones y recomendaciones acerca del proyecto, obtenidas luego del proceso de desarrollo y construcción del mismo y luego de la verificación de su funcionamiento mediante las pruebas pertinentes. En los anexos se encuentra la

documentación de ciertos elementos utilizados en el desarrollo del proyecto que puede ayudar al mejor entendimiento de las partes del diseño. [8].

Otro referente destacable es la ponencia realizada por Poma, J (2007) en su trabajo titulado “Diseño de una estación virtual para el control de las perturbaciones que afectan la temperatura de los procesos industriales” donde habla del desarrollo de una estación virtual usando LabVIEW, software de instrumentación virtual fabricado por National Instruments, que permite monitorear y supervisar variables en tiempo real en un proceso industrial. Dicho software proporciona una interfaz gráfica de control virtual, toma en cuenta el calor requerido para el proceso en funcionamiento, sin embargo, las interferencias generadas en el proceso logran un incremento de la temperatura del sistema, incorporando una alarma para evitar pérdidas en la producción. Finalmente, se han diseñado opciones de muestreo en el panel de control, como cantidad de datos a medir, tiempo transcurrido, velocidad de muestreo, cantidad de datos tomados, indicar el tiempo en que ha ocurrido algún evento, etc. importantes para facilitar la toma de decisiones. [9].

En el artículo de Gonzales, J (2012) en el artículo “Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura” se muestra la implementación de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la temperatura utilizando el sensor LM35. Que consta de varias etapas; acondicionamiento de la señal, conversión de la señal de análoga a digital, adquisición de la señal por el puerto paralelo del computador e implementación de una interfaz gráfica en C++ para visualizar el comportamiento del sensor. Para la calibración de este sistema se empleó un sistema constituido por las soluciones de NaCl e H₂O en estado sólido y una termocupla utilizada como patrón. Se somete al sensor al

ambiente de estas dos soluciones y se toman las lecturas del sensor y de una termocupla patrón y se comparan los resultados obtenidos con los reportados por el fabricante. [13].

12. ALCANCE

- ❖ El prototipo funcionara dentro de ambientes no húmedos (menor al 95% y sin condensación) cuya temperatura no supere los 700°C.
- ❖ El prototipo está diseñado para estar anclado a un cuarto de control, no tiene condiciones para ser portátil.
- ❖ Las lecturas se realizarán con un margen de error de 2 a 10°C por encontrarse en la etapa inicial del proceso de desarrollo.
- ❖ El prototipo tendrá la capacidad de adquirir mediciones discretas de la temperatura del proceso y podrá visualizar en una pantalla LCD en un ambiente controlado.

13. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del prototipo se hace uso del protocolo SPI comunicado con un microcontrolador de “cerebro” que obtenga los datos de una termocupla comercial tipo K y los traduzca en lenguaje visible para un operario mediante una pantalla LCD que muestre el dato de la temperatura en tiempo blando y la hora.

13.1 TÉCNICAS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La investigación se basa en métodos de observación, experimentación y medición que permiten la obtención y acondicionamiento de datos que permite caracterizar el instrumento.

Se diseña una herramienta para la recolección de datos cuantitativos de la variable de temperatura en condiciones normales, desarrollando este ejercicio en la ciudad de Bogotá.

13.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

A continuación, se precisa la estructura de descomposición del trabajo a realizar, donde se organiza y define el alcance total del proyecto, de acuerdo a la distribución jerárquica asignada como se puede observar en la figura 10.

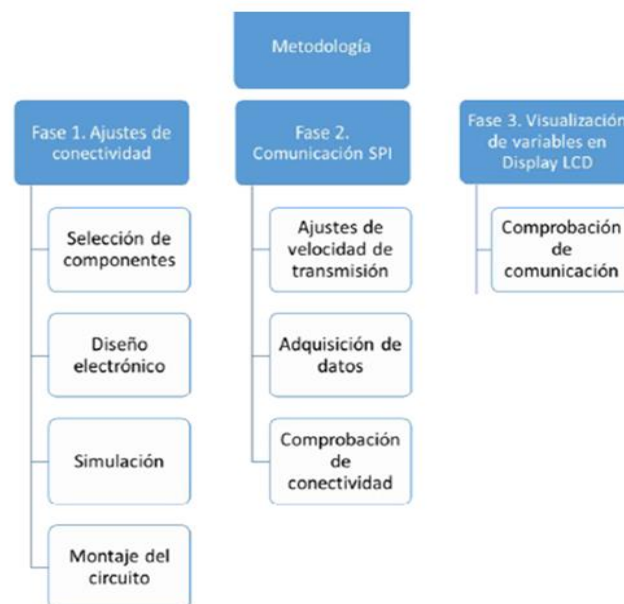


Fig 11. Diagrama de fases del proyecto.

14. PROPUESTA

El presente trabajo de investigación plantea y propone una solución tecnológica para el monitoreo de temperaturas por medio de una termocupla tipo K utilizando el microcontrolador PIC 18F4550 e implementando la comunicación mediante el protocolo SPI con el módulo de adquisición MAX6675 para termocuplas tipo K y visualización dinámica de la variable en un display LCD 20X4.

En este proyecto integrado se abarca la etapa del diseño del circuito para el termómetro digital, donde el acondicionamiento de señales se realiza vía software mediante la programación del microcontrolador, así como la implementación de visualización en la pantalla LCD de la temperatura y la hora.

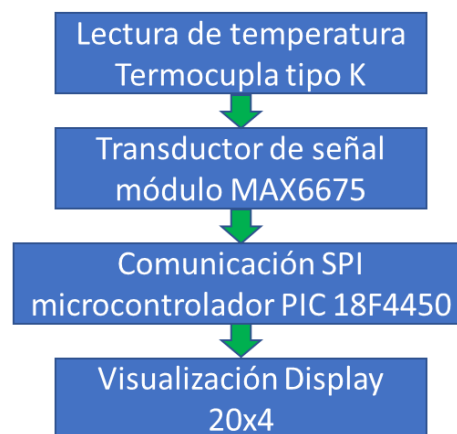


Fig 12. Diagrama del diseño del prototipo.

Termocupla tipo K: Consiste en dos metales diferentes unidos por un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría se produce un voltaje que se puede correlacionar con la temperatura. Las aleaciones de termopar están disponibles por lo normal en forma de

alambre. Las termocuplas tipo K miden rangos de temperatura entre $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. dentro de estas medidas y según nuestro montaje el rango funcional será entre 0° y $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. se usara la Termocupla termopar Tipo K 0-800 Grados con Rosca M6 por sus características que se ajustan al rango de temperatura que se usará, en este caso realiza medida de 0° a $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, escudo de metal externo y su buen funcionamiento con el modulo MAX6675.

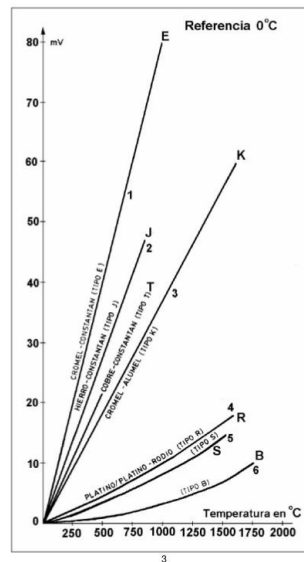


Fig 13. Curvas características termopares.

Módulo MAX6675: Es un convertidor analógico digital especializado para termopares tipo K que evita el trabajo de usar la función de la termocupla para realizar la compensación de la temperatura, ya que esta compensación es realizada por el circuito del módulo. Con este módulo es posible conectar fácilmente un termopar a cualquier microcontrolador a través de una interfaz SPI unidireccional. La resolución es de 0.25° y el rango de uso de la tarjeta es de 3.0V a 5.5V. mediante este módulo de adquisición realizaremos la conexión del protocolo SPI entre la termocupla tipo K con el microcontrolador. En la figura 13 se observa la disposición de la conexión estándar:

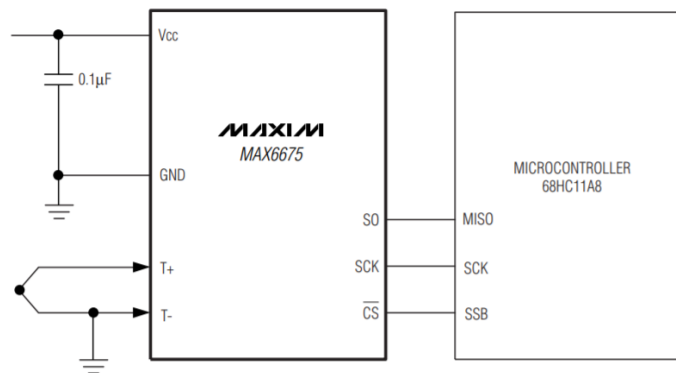


Fig 14. Conexión típica modulo MAX6675.

PIC 18F4450: Se ha escogido este microcontrolador por su versatilidad y su relación costo vs. Funciones, se hizo la selección de este microcontrolador por su integración de un puerto para conexión SPI. Es un PIC de bajo consumo energético, es de fácil adquisición en el mercado nacional, en internet se encuentran fácilmente las librerías libres para su programación



Fig 15. Forma física PIC 18F4550.

Display LCD 20x4: Para la visualización de los datos, se ha seleccionado un display 20x4 (figura 15) que nos permite visualizar más datos y optimizar mejor los espacios, sus características son:

- ✓ Ángulo de visión amplio y alto contraste.
- ✓ Controlador integrado LCD estándar HD44780.
- ✓ Formato de pantalla: 20 caracteres x 4 líneas.
- ✓ Tensión de alimentación: 5V.
- ✓ Texto Negro.
- ✓ Interfaz analógica.

- ✓ Tamaño: 98 x 60 x 12 mm.

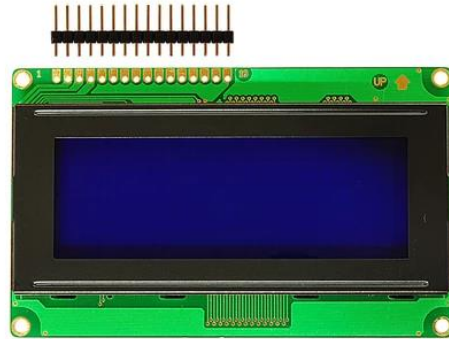


Fig 16. Display LCD 20x4.

PROTOCOLO SPI: Es un protocolo síncrono que trabaja en modo full dúplex para recibir y transmitir información (figura 16), permitiendo que dos dispositivos pueden comunicarse entre sí al mismo tiempo utilizando canales diferentes o líneas diferentes en el mismo cable. Al ser un protocolo síncrono el sistema cuenta con una línea adicional a la de datos encarga de llevar el proceso de sincronismo. Por la velocidad de transmisión de 12,5 Mbit/s que se maneja en este protocolo se ha determinado que es el mas conveniente para el desarrollo del prototipo por su versatilidad en la comunicación.

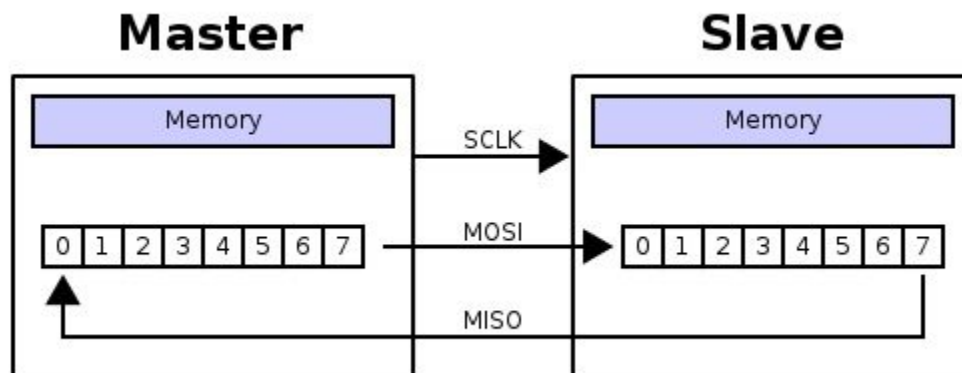


Fig 17. Transmisión protocolo SPI.

La conexión necesaria para la integración de los elementos anteriormente usados es la observada en la siguiente figura:

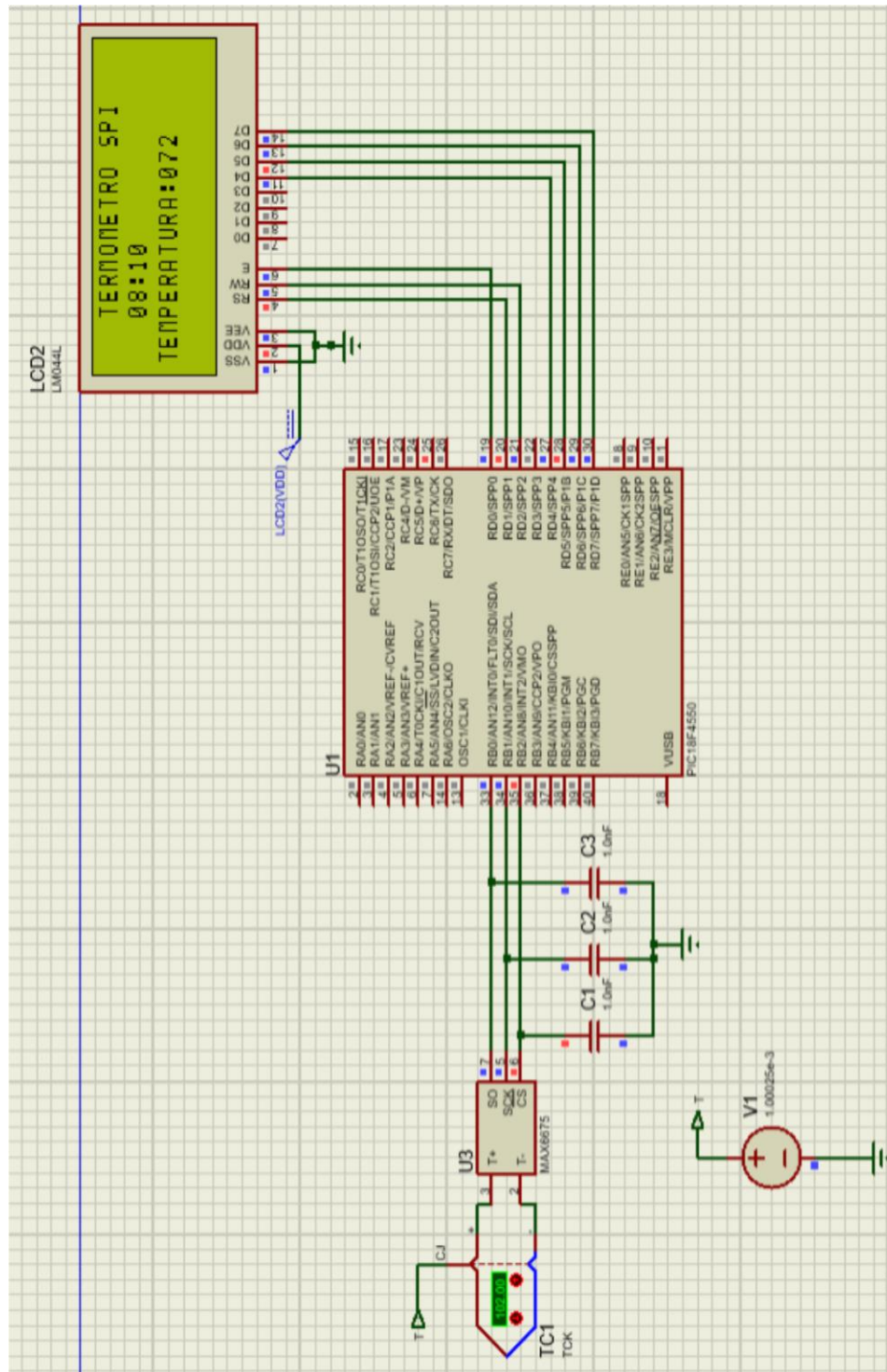


Fig 18 Diagrama electrónico del prototipo.

Para la programación de las funcionalidades es necesario el código de programación del PIC incluido en el anexo A.

15. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dentro del desarrollo del proyecto se construyó un prototipo que implementa un microcontrolador PIC 18F4550 que dispone de características siguientes: hasta 35 pines de entrada y salida, memoria RAM de 32KB, SRAM de 2048Bytes, EEPROM de datos de 256 bytes, comunicación SPI (con el objeto de ganar velocidad de transmisión y usar la menor cantidad de energía posible). No es posible exportar datos a una memoria USB ya que no es un HOST, para poder hacer la conexión para exportar es necesario usar una tarjeta de adquisición o un PC que sea posible configurar como un HOST. Si se requiere guardar los datos en una tarjeta SD (memoria de almacenamiento) es necesario tener en cuenta el tipo de tarjeta usada ya que las HC (Secure Digital High Capacity) versión 2.0 de las memorias SD no permitieron su almacenamiento.

Así mismo el medidor de temperatura tiene una visualización de la temperatura actual en una pantalla LCD que está implementada dentro del desarrollo del proyecto para tener visualización de ella en tiempo blando por medio del reloj interno. La medida de la temperatura se realiza por medio de una termocupla tipo K conectada a una entrada del microcontrolador que es leída cada 200ms. De acuerdo a las medidas obtenidas se obtuvo que el error de medida varia de 2° a 10°c.

Un rango del desface de la medida de la temperatura real con la medida obtenida con prototipo se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1. Prueba de medidas tomadas por el prototipo vs patrón.

PATRON T en °c	PROTOTIPO T en °c
40	43
150	157
400	410

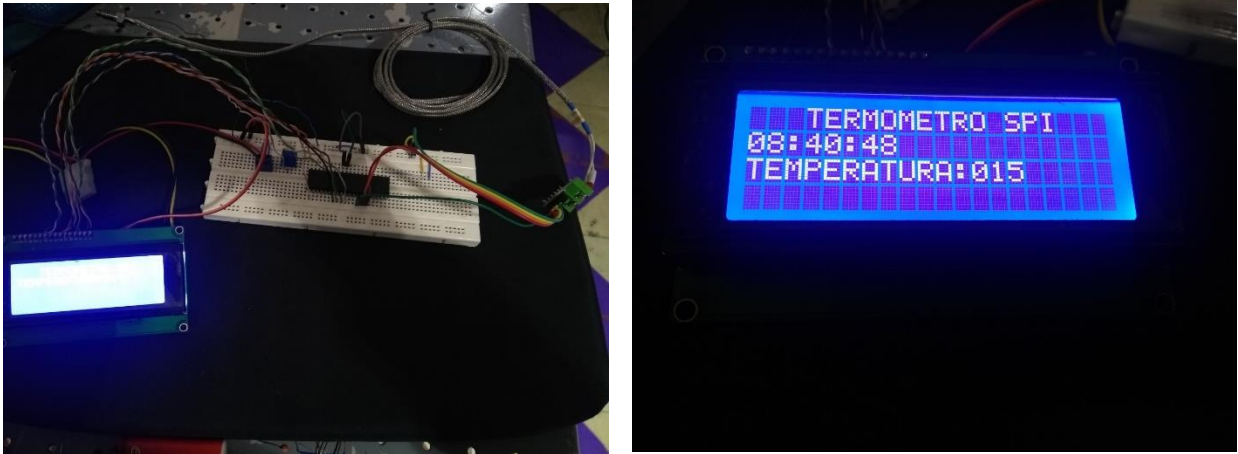


Fig 19. Montaje físico del circuito de prototipo.

En la figura 18 se muestra en la parte izquierda el montaje físico del circuito para el prototipo y a la derecha la visualización de la pantalla LCD con la hora y la temperatura medida por el prototipo.

16. RECOMENDACIONES

Con base en nuestra experiencia adquirida durante el desarrollo de este prototipo, hemos enlistado una serie de recomendaciones que consideramos deben ser tenidas en cuenta para aquel que decida implementar un proyecto como el nuestro o similar:

1. Para integrar un proyecto con comunicación SPI, se debe tener en cuenta que en este protocolo la transmisión de los datos es sincrónica, es decir, mediante pulsos de reloj, por lo cual se debe tener presente la velocidad del reloj y en caso de usar un oscilador externo, la velocidad de ambos pulsos, tanto del reloj interno como del oscilador a fin de evitar confusiones, errores de compilación y tasas de transmisión que se traducen en el montaje físico, en la no comunicación entre dispositivos.
2. Si se desea adicionar un reloj externo para visualizar la hora, debe manejarse por separado los pulsos de este reloj y el interno del microcontrolador.
3. Para evitar ruidos asociados a la compatibilidad electromagnética, es recomendable configurar los pines que no se estén usando del microcontrolador como salidas.
4. Si se desea hacer el desarrollo para la extracción de la información en un dispositivo externo es necesario usar uno que sea posible configurar como un HOST tal como un PC o una tarjeta de adquisición, ya que en el PIC no es posible hacer la configuración como HOST.

17. TRABAJOS FUTUROS

Dentro de los trabajos de aplicación del presente desarrollo de instrumento y para darle un valor agregado tenemos:

- Programación de alarmas de temperatura ajustables.

- Almacenamiento local en una tarjeta microSD de variables (Datalogger).
- Comunicación USB entre el instrumento y un PC a través de una ventana gráfica (Desarrollo de la solución de software).
- Impresión del circuito integrado y encerramiento en una caja para grado de protección IP21.

18. CONCLUSIONES

- ❖ El rango de temperatura dentro del cual la termocupla tipo K es efectiva en procesos estándar es entre 0 y 700°C.
- ❖ El módulo de adquisición que permitió la comunicación efectiva entre la termocupla tipo K con el microcontrolador es el MAX6675 ya que está diseñado específicamente para este tipo de termocupla realizando la compensación necesaria.
- ❖ La implementación del protocolo SPI permitió transferir los datos entre la termocupla y el microcontrolador de manera sincrónica.
- ❖ Este dispositivo no está orientado a extracción de información debido a que no tiene la opción de usarlo como un dispositivo host como una tarjeta de adquisición de datos o un PC.
- ❖ Es posible realizar un dispositivo accesible en términos de costos, de fácil adquisición, con medidas hasta de 700°C, con transmisión de datos rápida y de tecnología

abierta mediante el uso del protocolo SPI, el microcontrolador 18F4550 y una pantalla LCD.

- ❖ La implementación de la pantalla LCD es efectiva para la visualización de los datos necesarios dentro de la comprobación de funcionamiento del prototipo.
- ❖ No fue necesaria la implementación en la programación de la curva característica de la termocupla tipo K gracias al uso del módulo MAX 6675, que por su diseño ya realiza la compensación necesaria.

19. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Shimek, A. (2011) Reemplazo de los termómetros y de los tensiómetros de mercurio en la atención de salud (PDF).
- [2] Drouiz (2018, 25 Junio) UART vs SPI vs I2C Diferencias entre protocolos. [Online] Available: <https://www.drouiz.com/blog/2018/06/25/uart-vs-spi-vs-i2c-diferencias-entre-protocolos/>
- [3] LYBERTY LAB. (2018) Termómetro, Termopar, Termocupla Tipo K, Con Sonda Estuche. [Online] Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-447217466-termometro-termopar-termocupla-tipo-k-con-sonda-estuche-_JM
- [4] MINNESOTA MEASUREMENT INSTRUMENTS (2018) Thermometer. [Online] Available: <http://www.meter-depot.com/brands/Nicety.html>
- [5] Montañez, D. (2013, 18 Agosto) Sistemas en Tiempo Real. [Online] Available: <http://sistemasentemporealuptc.blogspot.com/>

- [6] PCE (2018) Medidor de temperatura. [Online] Available: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-temperatura-kat_70718.htm
- [7] Olivar, M. (2015). Termómetro digital (Tesis de pregrado). Universidad de Valladolid, España.
- [8] Barragan, J. (2003). Diseño y construcción de un transmisor de temperatura para termocuplas tipo K (Tesis). Escuela politécnica nacional, Ecuador.
- [9] Poma, J. (2007). Diseño de una estación virtual para el control de las perturbaciones que afectan la temperatura de los procesos industriales (Artículo). Universidad Autónoma del estado de México, México.
- [10] Villajulca, J. (2009, 13 Septiembre). Instrumentación y control.net. Medidores de temperatura [Online] Available: <https://instrumentacionycontrol.net/3-2-1-medidores-de-temperatura/>
- [11] Garcia, S. (2014). IMPLEMENTACIÓN DE ANALIZADORES DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES SPI, I2C (Tesis de grado) Universidad Carlos III Madrid.
- [12] Apaza, D. (2010). Microcontroladores PIC: Fundamentos y aplicaciones un enfoque didáctico. Universidad Autónoma de San Francisco.
- [13] Gonzales, J (2012) Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura (Tesis) Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

ANEXO A Código de programación.

```
1.  /*/////////////////////////////////////  
2.  PROYECTO    :   TERMÓMETRO DIGITAL TERMOCUPLA TIPO K Y  
3.  MICROCONTROLADOR  
4.  :   PIC18F4550  
5.  COMPILADOR: CCS   4.104  
6.  junio de 2019  
7.  AUTORES:  YERALDYN GRAJALES, JUAN FELIPE MONSALVE  
8.  CORREOS:  ygrajales@itc.edu.co; jf.mv@hotmail.com  
9.  EL USO DEL SIGUIENTE CÓDIGO SE AUTORIZA SÓLO PARA FINES ACADÉMICOS  
10. ///////////////////////////////////////  
11. ///////////////////////////////////////  
12. ///////////////////////////////////////  
13. ///////////////////////////////////////  
14. /* Direcccionamos los puertos */  
15. #Byte port_a = 0xF80  
16. #Byte port_b = 0xF81  
17. #Byte port_c= 0xF82  
18.  
19. /* Definimos los pines del MAX */  
20. #define SO    PIN_B0  
21. #define CLK   PIN_B1  
22. #define CS    PIN_B2  
23. int16 Tm, Tm1,Tm2, Tm3, Tm4, i;  
24. int hora=0, minuto= 0, segundo= 0;  
25.  
26. void init_max6675(void)  
27. {  
28.     output_low(CLK);  
29.     output_low(SO);  
30.     output_high(CS);  
31. }  
32.  
33. int16 read_max6675(void)  
34. {  
35.     int8 i;  
36.     int16 data;  
37.     output_low(CS);  
38.     delay_us(1);  
39.  
40.     for (i=0;i<16;i++)  
41.     {  
42.         output_high(CLK);  
43.         delay_us(1);  
44.         output_low(CLK); //Detiene proceso de conversión  
45.         shift_left(&data,2,input(SO)); // Lectura de 2 bytes  
46.         de datos por el pin SO  
47.     }  
48.  
49.     int16 sortout(int16 raw)
```

```

50.     {
51.         return(0x0FFF & (raw>>4));           // Devuelve los bits
relativos a la temperatura, el MAX envía paquetes de 16bits
52.     }
53.
54.     int16 read_termocupla_k(void)
55.     {
56.         init_max6675();
57.         delay_ms(100);
58.         return(sortout(read_max6675())/2); //Función ADC
59.     }
60.
61.     void main()
62.     {
63.
64.         setup_adc_ports(NO_ANALOGS|VSS_VDD);
65.         setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
66.         setup_psp(PSP_DISABLED);
67.         // setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
68.         setup_wdt(WDT_OFF);
69.         setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
70.         setup_timer_1(T1_DISABLED);
71.         setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
72.         setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
73.         setup_vref(FALSE);
74.         //Setup_Oscillator parameter not selected from Intr
Oscillator Config tab
75.         lcd_init(); //Inicializamos LCD
76.         lcd_gotoxy(1,1); //Direccionamos textos (Columnas, Filas)
77.         printf(lcd_putc, "   TERMOMETRO SPI");
78.         lcd_gotoxy(21,1);
79.         printf(lcd_putc, "TEMPERATURA:");
80.         while (1)
81.         {
82.             lcd_gotoxy(33,1);
83.             printf(lcd_putc, "%03Lu", Tm);
84.
85.             /* Hacemos tres lecturas por segundo y promediamos los 3
valores*/
86.             Tm1 = read_termocupla_k();
87.             delay_ms(233);
88.             Tm2 = read_termocupla_k();
89.             delay_ms(233);
90.             Tm3 = read_termocupla_k();
91.             delay_ms(233);
92.             Tm4 = (Tm1+Tm2+Tm3)/3;
93.             Tm= Tm4-30; /* Offset temperatura ambiente sensor */
94.             delay_ms(233);
95.             lcd_gotoxy(1,2);
96.             /* Función reloj tiempo blando */
97.             printf(lcd_putc, "   %02d:%02d", hora, minuto);
98.             segundo++;
99.             if(segundo==60){
100.                 segundo=0;
101.                 minuto++;
102.             }
103.             if(minuto==59){

```



```
104.     minuto=0;
105.     hora++;
106.     }
107.     if(hora==23){
108.     hora=0;
109.     segundo++;
110.     }
111.     }
112. }
```

ANEXO B DATASHEET PANTALLA LCD

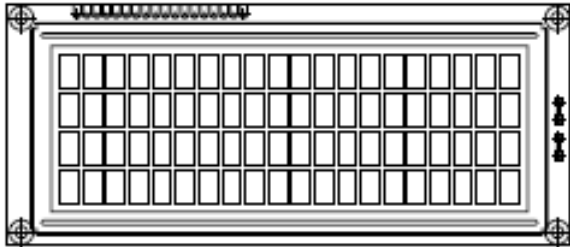


www.vishay.com

LCD-020N004L

Vishay

20 x 4 Character LCD



FEATURES

- Type: Character
- Display format: 20 x 4 characters
- Built-in controller: ST 7066 (or equivalent)
- Duty cycle: 1/16
- 5 x 8 dots includes cursor
- + 5 V power supply (also available for + 3 V)
- LED can be driven by pin 1, pin 2, pin 15, pin 16 or A and K
- N.V. optional for + 3 V power supply
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

RoHS
COMPLIANT

MECHANICAL DATA

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	146.0 x 62.5	mm
Viewing Area	123.5 x 43.0	
Dot Size	0.92 x 1.10	
Dot Pitch	0.98 x 1.16	
Mounting Hole	139.0 x 55.5	
Character Size	4.84 x 9.22	

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	V_{DD} to V_{SS}	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	V_i	- 0.3	-	V_{DD}	

Note

- $V_{SS} = 0$ V, $V_{DD} = 5.0$ V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	V_{DD}	$V_{DD} = + 5$ V	4.7	5.0	5.3	V
		$V_{DD} = + 3$ V	2.7	3.0	5.3	
Supply Current	I_{DD}	$V_{DD} = + 5$ V	-	8.0	10.0	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temperature Version Module	V_{DD} to V_0	- 20 °C	5.0	5.1	5.7	V
		0 °C	4.6	4.8	5.2	
		25 °C	4.1	4.5	4.7	
		50 °C	3.9	4.2	4.5	
		70 °C	3.7	3.9	4.3	
LED Forward Voltage	V_F	25 °C	-	4.2	4.6	V
LED Forward Current	I_F	25 °C	-	540	1080	mA
EL Power Supply Current	I_{EL}	$V_{EL} = 110$ V _{AC} , 400 Hz	-	-	5.0	mA

OPTIONS

PROCESS COLOR						BACKLIGHT			
TN	STN Gray	STN Yellow	STN Blue	FSTN B&W	STN Color	None	LED	EL	CCFL
x	x	x	x	x		x	x	x	

ANEXO C DATASHEET MODULO MAX6675

19-2225; Rev 1; 2007

MAXIM**Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)****General Description**

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

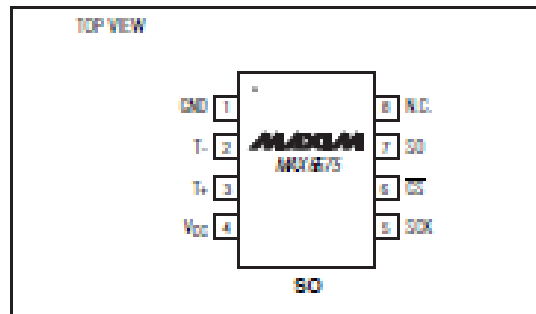
- † Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- † Cold-Junction Compensation
- † Simple SPI-Compatible Serial Interface
- † 12-Bit, 0.25°C Resolution
- † Open Thermocouple Detection

MAX6675**Ordering Information**

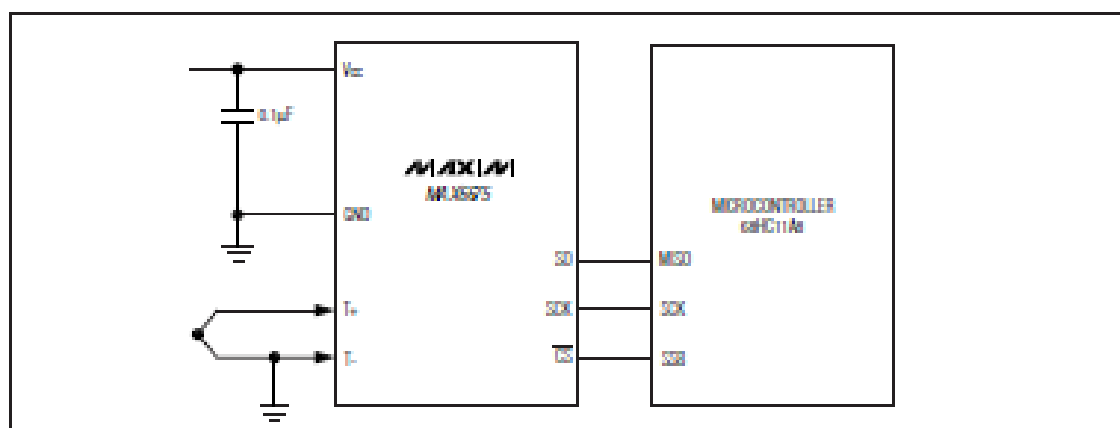
PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration

SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit**MAXIM**

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V _{CC} + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

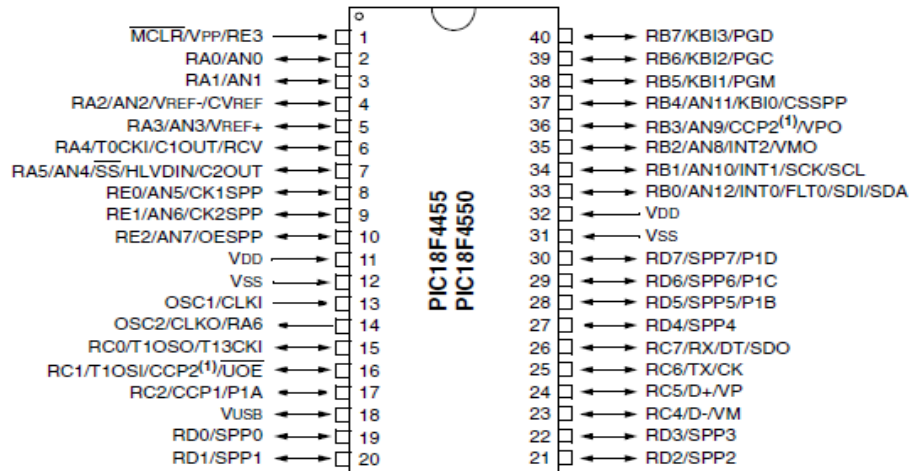
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-5		+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6		+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8		+8	
			V _{CC} = +5V	-9		+9	
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17		+17	
			V _{CC} = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB	
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V _{CC} = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ	
Supply Voltage	V _{CC}		3.0		5.5	V	
Supply Current	I _{CC}			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V _{CC} rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V _{IL}				0.3 x V _{CC}	V	
Input High Voltage	V _{IH}		0.7 x V _{CC}			V	
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}			±5	μA	
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF	

ANEXO D DATASHEET PIC 18F4550

40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

TABLE 1-3: PIC18F4455/4550 PINOUT I/O DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
MCLR/VPP/RE3 MCLR VPP RE3	1	18	18	I P I	ST ST	Master Clear (input) or programming voltage (input). Master Clear (Reset) input. This pin is an active-low Reset to the device. Programming voltage input. Digital input.
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	13	32	30	I I	Analog Analog	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. External clock source input. Always associated with pin function OSC1. (See OSC2/CLKO pin.)
OSC2/CLKO/RA6 OSC2 CLKO RA6	14	33	31	O O I/O	— — TTL	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate. General purpose I/O pin.

Legend: TTL = TTL compatible input
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
O = Output
CMOS = CMOS compatible input or output
I = Input
P = Power

Note 1: Alternate assignment for CCP2 when CCP2MX Configuration bit is cleared.
Note 2: Default assignment for CCP2 when CCP2MX Configuration bit is set.
Note 3: These pins are No Connect unless the ICPRT Configuration bit is set. For NC/ICPORTS, the pin is No Connect unless ICPRT is set and the DEBUG Configuration bit is cleared.

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

NOTA DE ACEPTACIÓN

Aprobado Jurado 1

Aprobado pta presentar Trabajo final.

APROBADO PRESIDENTE DE JURADO.

Carlos Pardo

Nombre y Firma Presidente de Jurados

CARLOS PARDO CARRANZA

Holman Piñeros Herrera

Nombre y Firma Jurado 1

[Firma]

Nombre y Firma jurado 2

[Firma]

Bogotá D.C., Junio de 2019