



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“Diseño y construcción de una unidad experimental para la determinación de
aislantes óptimos”

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA
P R E S E N T A
RESTORI VARGAS ANAHI

Director: Ing. Eduardo Vázquez Zamora



CIUDAD DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi vida...

Estar consciente de ésta realidad me ha permitido lograr un conocimiento en Ingeniería Química y me ha permitido llegar a la culminación de ésta carrera profesional, tan bella y enriquecedora. He podido ver como las situaciones, los momentos y las personas son parte del TODO que en constante movimiento nos permite obtener lo que se quiere mediante un deseo; aprendiendo y llevándome lo más valioso de la misma vida: las experiencias, vivencias que son las que deleitan el interior. Gracias por permitirme “vida” estar aquí.

Agradezco todo el apoyo que solo una madre puede dar, incondicional, constante y único; por ser el ejemplo a seguir, por su esfuerzo incansable y por todo lo que ella es y representa, por su amor y más. Ana María Vargas es mi mamá.

A mi papá Juan Antonio Restori Godeck por ser mi maestro.

Agradezco a mi obra más perfecta, mi hija Ana Estefanía.

A mi hermano Leví, gracias por el apoyo y los consejos, siendo invaluable tu confianza y amor.

La infinita gratitud a la máxima casa de estudios, mi UNAM donde quedaran plasmadas en el tiempo toda y cada una de las experiencias que hacen el conocimiento lo más invaluable de la vida.

Por consiguiente a mi profesor IQ Eduardo Vázquez Zamora por todas sus finas atenciones. Quedo aún más agradecida por su apoyo incondicional y por brindarme su sincera amistad. Admirada por su conocimiento, su gran trayectoria y por obsequiarme su valioso tiempo, doy gracias al gran ser humano que es.

Gracias al profesor IQ Francisco Javier Mandujano Ortiz, al Dr. Roberto Mendoza Serna, a la Dra. Marina Caballero Díaz y al M. en C. Cesar Saúl Velasco Hernández por sus finas atenciones y apoyo académico.

Gracias compañeros y amigos que a lo largo de los semestres me apoyaron con su entendimiento y amistad.

DEDICATORIA

Privilegiados los hombres y mujeres con más errores en sus vidas.

Dedico éste trabajo a mi amado esposo Lic. Moisés Rosales Rivas, quién más que un conyugue ha sido mi amigo y rival para superarme a mí misma. Quién me ha dado las herramientas cognitivas conductuales para circular mejor en el mundo; brindándome su tiempo y espacio.

Dedico mi esfuerzo a un hombre único y ejemplar, porque nos acompañamos en el camino de la vida.

Su trabajo y esfuerzo me han brindado lo que hoy reconozco como un trabajo en conjunto. Somos un buen equipo.

En conjunto con su madre y padre me han brindado un apoyo económico y moral incondicional.

Por esto y más razones, te dedico esto amor, Moy.

ÍNDICE

Resumen	8
Capítulo I. Introducción.....	2
Capítulo II. Generalidades.....	5
2.1 Conceptos para la transferencia de calor.....	5
2.1.1 Conducción.....	6
2.1.2 Convección.....	12
2.1.3 Radiación.....	14
Capítulo III. Ecuaciones.....	17
3.1 Estado del arte.....	17
3.2 Cálculo de aislantes.....	18
3.2.1 Preámbulo.....	18
3.2.2 Formas de aislamiento y tipos de aislamiento.....	19
3.2.3 Clasificación por rango de aplicación.....	20
3.2.4 Clasificación por sus características físicas.....	20
3.2.5 Instalación.....	21
3.3 Algoritmo para la obtención de espesor de aislante óptimo por evaluación térmica	22
3.4 Ecuación de la conducción de calor en un cilindro largo.....	25
Capítulo IV. Unidad Experimental.....	27
4.1 Diseño.....	27
4.1.1 Componentes y materiales.....	27
4.1.2 Especificaciones.....	28
4.1.3 Bosquejo.....	40
4.2 Construcción.....	40
4.2.1 Herramientas y equipo de seguridad.....	40
4.2.2 Ensamble y/o edificación, montaje.....	41
4.2.3 Procedimiento.....	53
4.3 Programación.....	54
4.3.1 Variables.....	62

4.3.2 Pruebas experimentales.....	63
Capítulo 5. Resultados.....	64
5.1 Análisis de resultados.....	65
Capítulo 6. Conclusiones.....	66
Bibliografía.....	67

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de presentar el Diseño y construcción de una unidad experimental para la determinación de aislantes óptimos, recabando los términos indispensables que conceptualizan la transferencia de calor junto con las correspondientes ecuaciones para aplicar a la unidad experimental.

La experimentación consiste en aplicar las ecuaciones de transferencia de calor con las variables medibles mediante el monitoreo de las variables involucradas por medio de sensores que permitan la lectura de dicha transferencia.

En cuanto a la construcción se enlista el material así como se detalla el procedimiento en base al bosquejo inicial del proyecto. Cabe mencionar que el diseño y construcción es parte de la ingeniería de proyectos que forma parte indispensable de la formación del ingeniero químico.

Para concluir, se presentan los resultados obtenidos y conclusiones del trabajo realizado utilizando la respectiva norma ASTM que rige en nuestro país para el empleo de materiales aislantes.

CAPITULO I

Capítulo 1. Introducción.

En el desarrollo de un país la intervención de la Ingeniería Química es parte de la planeación para la industria que considera todos aquellos factores que implican utilizar de manera óptima los recursos humanos, económicos y financieros así como materiales con los que se cuenta; siendo los energéticos elementos fundamentales que deben considerarse para su optimización.

Desde 1973, cuando se dio la crisis petrolera, la necesidad de aprovechamiento de energía ha sido notable ya que la gran mayoría de los energéticos son recursos no renovables en el corto y mediano plazo resultando que su disponibilidad es menor y por la situación económica y financiera afecta en cualquier proceso de forma directa. Recuperar el calor generado en procesos industriales o limitar las pérdidas de energía térmica de instalaciones industriales que manejan altas temperaturas se ha vuelto un tema importante dentro de la Ingeniería de proyectos donde la especificación, la selección y la instalación de los aislamientos son aspectos relevantes del diseño y construcción de plantas industriales. Se han realizado estudios cada vez más minuciosos en la optimización de aislantes de equipo o proceso industrial para beneficio del desarrollo de los países y, es así como de esa experiencia industrial se contemplan las diferentes operaciones unitarias y procesos químicos mediante los cuales se generan cantidades considerables de energía, su elevación en costos y la disponibilidad que se ha vuelto cada vez más escasa, ha presionado a intensificar los esfuerzos para lograr que los equipos de proceso utilicen el recurso de aislamiento con el máximo de eficiencia.

Cabe mencionar que se debe tomar en cuenta las condiciones de seguridad industrial para el personal así como también para el equipo, considerando espaciamiento y obviamente, las ecuaciones fundamentales para la determinación de la pérdida de calor y aislamiento, para mejores resultados dentro del proyecto industrial.

En la literatura podemos encontrar infinidad de información respecto al aislamiento en procesos industriales, pero casi siempre esa información se ve reflejada en la parte económica de los proyectos siendo viable a corto y/o largo plazo dependiendo las necesidades del mismo; siendo los aislantes térmicos caracterizados por su baja conductividad térmica y existen muchos en el mercado por ejemplo, los que se engloban en tres tipos, dependiendo su material:

- Los fibrosos, que se componen de filamentos con partículas pequeñas o de baja densidad. Se colocan como relleno en aberturas o como cobertores en forma de tablas o mantas. Tienen una porosidad muy alta de alrededor del 90%. Se usan, en función de la temperatura; la fibra de vidrio para temperaturas hasta 200°C, la lana mineral hasta 700°C y las fibras de alúmina o sílice entre 700 y 1700°C.
- Celulares, siendo materiales que se conforman en celdas cerradas o abiertas, por lo general formando tableros rígidos o flexibles, aunque también se pueden conformar in situ por proyección o riego; como ventajas son de baja densidad, baja capacidad de calentamiento y resistencia a la compresión aceptable. Los más comunes son el poliuretano y el poliestireno expandido.
- Los granulares, son pequeñas partículas de materiales inorgánicos aglomeradas en formas prefabricadas o utilizadas sueltas, como la perlita y la vermiculita.

Considerando la selección del material, la propiedad principal a tener en cuenta es la conductividad, no obstante se debe considerar la densidad, la estabilidad química, la rigidez estructural, la degradación y ya mencionado, el costo, que son fundamentales para que el material pueda culminar la funcionalidad principal.

Según experiencia en plantas, muchos materiales pierden entre el 20% y el 5% de su calidad aislante durante el primer año de uso, eso significa que se requiere de mantenimiento en determinados intervalos de tiempo. Los materiales que absorben humedad, aumenta considerablemente su conductividad y pierden su funcionalidad óptima; los aislantes sueltos pueden apelmazarse y también pierden esa función.

Se debe considerar todo esto ya que al seleccionar un aislante se debe poner suma atención a las propiedades del mismo, las cuales deben de estar reflejadas en la documentación que el fabricante debe adjuntar al ser solicitado el material. Algunas de ellas son: resistencia física, conductividad térmica, dureza, compresibilidad, la capacidad calorífica, coeficiente de expansión térmica o humedad, permeabilidad al agua-vapor, propiedades mecánicas, propiedades físicas y químicas, etc.

CAPITULO II

Capítulo 2. Generalidades.

El objetivo de éste capítulo es dar a conocer de manera resumida los conceptos y ecuaciones básicas de la transferencia de calor para el desarrollo del diseño y construcción de la unidad experimental para la determinación de aislantes óptimos.

2.1 Conceptos para la transferencia de calor

Principalmente se define al calor como la manifestación de energía que se constituye por la energía cinética contenida en las moléculas de la materia. Así, toda diferencia de temperatura en uno o varios cuerpos va acompañada de un transporte de calor que tiende a desaparecer esta misma.

La energía se expresa cuntitativamente en distintas unidades que se derivan de los patrones de masa, longitud y tiempo. Considerando el sistema ingles se tiene a la libra-pie como unidad de energía fundamental y, a la unidad de energía calorífica como la unidad térmica Británica, BTU definiéndose como 1/180 de la cantidad de energía calorífica requerida para llevar 1 °F en una muestra de agua con una masa de 1 lb desde el punto de congelación hasta el punto de ebullición, a presión atmosférica estándar.

Se puede relacionar la medición de calor con otras energías, para ello se consultan tablas de conversión en la literatura del mismo tema a tratar.

De acuerdo a la Mecánica Estadística, la temperatura es la energía cinética media de las moléculas de determinada sustancia; siendo ésta una medida del nivel energético en el que se encuentra el objeto, pero no es una medida de la cantidad de energía que posee. Con forme a lo dicho, la finalidad de la escala de temperatura es asignar un número a cada nivel de estado térmico. Nuevamente consideramos al sistema inglés, ya que es utilizado en América, al Fahrenheit (° F).

En las escalas de temperatura se consideran tres estados térmicos de referencia:

- 1) El cero absoluto. Que es el estado térmico inferior alcanzable.
- 2) El punto de congelación del agua.
- 3) El punto de ebullición del agua.

También es relevante considerar a la *resistencia térmica*, que se define como la propiedad de un material para oponerse al paso de energía calorífica a través de su materia. Para el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

Las unidades o escalas de la resistencia térmica nunca se han definido, sin embargo la resistencia es el recíproco de la conductancia, en un material homogéneo es la cantidad de calor transmitido a través de una unidad de área del material en una unidad de tiempo, traspasando el espesor total y con una unidad de diferencia de temperatura entre las superficies de los dos lados opuestos. La conductividad de un material se expresa generalmente en BTU/h, de un pie² de superficie en el sistema inglés.

2.1.1 Conducción

Es la transferencia de energía dentro de un cuerpo o entre dos cuerpos en contacto físico, llevándose a cabo de una región de alta temperatura a otra región de baja temperatura por contacto. La conducción del calor tiene lugar en virtud de que las moléculas o átomos moviéndose rápidamente en las partes más calientes de un cuerpo (con movimientos vibratorios en un sólido y con movimiento restringido en un líquido), transfieren una parte de su energía por medio de choques a las moléculas o átomos adyacentes; proporcionando los electrones libres un flujo de energía en el sentido que la temperatura decrece, así podemos decir que en los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una redícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. Se sabe que al colocar un material aislante se reduce la razón de la pérdida de calor del objeto aislado. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la pérdida de calor. También se conoce que un cuerpo caliente perderá calor a mayor rapidez cuando se baja la temperatura del cuarto en donde se aloja; y entre más grande sea el cuerpo, mayor será el área superficial y, por consiguiente, la razón de la pérdida de calor.

Se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir,

Razón de conducción del calor \propto (Área) (Diferencia de temperatura)/Espesor

o bien,

$$Q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} (W)$$

en donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor.

En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} (W)$$

la cual se llama **ley de Fourier de la conducción del calor**, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822. Aquí,

dT/dx es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama T-x (la razón de cambio de T con respecto a x), en la ubicación x. La relación antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer x. El signo negativo en la ecuación anterior garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva.

El área A de transferencia de calor siempre es normal (o perpendicular) a la dirección de esa transferencia.

El flujo de calor en estado estacionario para éste fenómeno de conducción está representado matemáticamente por la Ley de Fourier.

$$Q' = -KA\left(\frac{dt}{dX} + \frac{dt}{dY} + \frac{dt}{dZ}\right)$$

donde:

- Q' = Flujo de calor [=] BTU/h
- K = Coeficiente de transferencia de calor [=] BTU/h * pie² * °F
- A = Superficie de transferencia de calor [=] pie²
- t = Temperatura [=] °F
- X = Distancia media en dirección de las abscisas de un eje cartesiano [=] pie
- Y = Distancia media en dirección perpendicular al primero [=] pie
- Z = distancia media en el espacio perpendicular al plano de referencia [=] pie

La cual para el flujo unidireccional se reduce a la siguiente expresión:

Δt = Diferencia de temperaturas entre la temperatura de operación y la temperatura de superficie [=] °F

e = Espesor del aislamiento [=] pulg

k = Conductividad térmica del material, evaluada a la temperatura media del mismo [=] BTU/h*pie²*(°F/pulg)

Entonces tenemos:

$$Q = \frac{\Delta t}{\left(\frac{e}{k}\right)}$$

donde:

Δt = $t_{op} - t_s$

t_{op} = temperatura de operación

t_s = temperatura de superficie exterior del material aislante [=] °F

Con los ajustes pertinentes la ecuación queda de la siguiente forma:

$$Q = \frac{(t_{op} - t_s)}{\left(\frac{e}{k}\right)}$$

Siendo ésta la ecuación básica para la transferencia de calor a través de un aislamiento. Así es como k es función de la temperatura del material aislante, ésta se determina en la práctica como el valor de las temperaturas de superficie involucradas.

También se puede expresar en función del espesor, quedando:

$$e = k * \left(\frac{t_{op} - t_s}{Q}\right)$$

La conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área

por unidad de diferencia de temperatura. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante. En literatura se pueden consultar tablas de conductividad térmica de algunos materiales comunes a la temperatura ambiente. Los materiales metálicos como el cobre y plata son buenos conductores eléctricos y de calor (ya que es una forma igual de energía); al contrario de materiales como el caucho, la madera y la espuma de estireno son malos conductores del calor y tienen valores bajos de conductividad térmica. Estos últimos sirven como aislantes térmicos.

Las conductividades térmicas de los gases varían en un factor de 10^4 con respecto a las de los metales puros como el cobre. Los cristales y metales puros tienen las conductividades térmicas más elevadas, y los gases y los materiales aislantes, las más bajas. Cabe mencionar que entre más alta es la temperatura, más rápido se mueven las moléculas, mayor es el número de las colisiones y mejor es la transferencia de calor. La teoría cinética de los gases predice, y los experimentos lo confirman, que la conductividad térmica de los gases es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura termodinámica T e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la masa molar M .

Por lo tanto, la conductividad térmica de un gas crece al aumentar la temperatura y al disminuir la masa molar. De modo que no es sorprendente que la conductividad térmica del helio ($M=4$) sea mucho más elevada que la del aire ($M=29$) y la del argón ($M=40$).

Las conductividades térmicas de los líquidos suelen encontrarse entre las de los sólidos y las de los gases. Normalmente, la conductividad térmica de una sustancia alcanza su valor máximo en la fase sólida y el mínimo en la fase gaseosa.

En los sólidos la conducción del calor se debe a dos efectos: las ondas reticulares de vibración inducidas por los movimientos de vibración de las moléculas, colocadas en posiciones más o menos fijas de una manera periódica conocida como red cristalina, y

la energía transportada por medio del flujo libre de electrones en el sólido. La conductividad térmica de un sólido se obtiene al sumar la componente reticular y la electrónica. Las conductividades térmicas más o menos elevadas de los metales puros se deben principalmente a la componente electrónica. La componente reticular de la conductividad térmica depende con intensidad de la manera en que las moléculas están dispuestas. A diferencia de los metales, los cuales son buenos conductores de la electricidad y el calor, los sólidos cristalinos, como el diamante y los semiconductores como el silicio, son buenos conductores del calor pero malos conductores eléctricos. Como resultado, esos materiales encuentran un uso muy amplio en la industria electrónica.

Difusividad térmica.

El producto ρc_p , que se encuentra con frecuencia en el análisis de la transferencia de calor, se llama **capacidad calorífica** de un material. Tanto el calor específico c_p como la capacidad calorífica ρc_p representan la capacidad de almacenamiento de calor de un material. Pero c_p la expresa por unidad de masa, en tanto que ρc_p la expresa por unidad de volumen, como se puede advertir a partir de sus unidades $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ y $\text{J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, respectivamente.

La **difusividad térmica**, es otra propiedad de los materiales que aparece en el análisis de la conducción del calor en régimen transitorio la cual representa cuán rápido se difunde el calor por un material y se define como

$$\alpha = \frac{\text{calor conducido}}{\text{calor almacenado}} = \frac{k}{\rho c_p} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

La conductividad térmica k representa lo bien que un material conduce el calor y la capacidad calorífica ρc_p representa cuánta energía almacena un material por unidad de volumen. Por lo tanto, la difusividad térmica de un material se puede concebir como la razón entre el calor conducido a través del material y el calor almacenado por unidad de

volumen. Es obvio que un material que tiene una alta conductividad térmica o una baja capacidad calorífica tiene una gran difusividad térmica. Entre mayor sea la difusividad térmica, más rápida es la propagación del calor hacia el medio. Un valor pequeño de la difusividad térmica significa que, en su mayor parte, el calor es absorbido por el material y una pequeña cantidad de ese calor será conducido todavía más.

También existen tablas en literatura que nos proporcionan difusividades térmicas de algunos materiales comunes a temperaturas ambiente. Algunas van de $\alpha = 0.14 * 10^{-6} m^2/s$ hasta $\alpha = 174 * 10^{-6} m^2/s$ siendo el caso del agua.

2.1.2 Convección

La convección es el movimiento de una masa de gas o líquido debido a una diferencia de temperaturas. La velocidad a la cual el gas o líquido pasa sobre una superficie afecta la cantidad de transferencia de calor. Generalizando los líquidos o gases que se encuentran en contacto con un cuerpo de una alta temperatura reciben energía transmitida a ellos por conducción y radiación simultáneas. Estas energías incrementan la temperatura de los líquidos y su densidad ocasionando que los líquidos y/o gases de esta nueva densidad se muevan alejándose del cuerpo de alta temperatura y las masas de baja temperatura se acerquen a él. La convección en sí es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido.

En 1701 se definió la transferencia de calor por convección expresándola con la Ley del enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf})$$

donde:

- h = coeficiente de convección
- A_s = área del cuerpo en contacto con el fluido
- T_s = temperatura en la superficie del cuerpo
- T_{inf} = temperatura del fluido lejos del cuerpo

En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido.

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación. A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento mencionada anteriormente.

Algunas fuentes no consideran a la convección como un mecanismo fundamental de transferencia del calor ya que, en esencia, es conducción de calor en presencia de un movimiento de fluido. Sin embargo se necesita dar un nombre a este fenómeno combinado, a menos que se desee seguir refiriéndose a él como “conducción con movimiento de fluido”. Siendo así, resulta práctico reconocer a la convección como un mecanismo separado de transferencia del calor, a pesar de los argumentos válidos en contra.

2.1.3 Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. Diferenciando la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra.

En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura.

Existen varias formas de radiación como los rayos x, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica.

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$\dot{Q}_{emitada,más} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

donde $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, o bien, $0.1714 \cdot 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W)$$

En donde ε es la emisividad de la superficie. La emisividad cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$, es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual $\varepsilon = 1$. En literatura se pueden consultar emisividades de algunas superficies.

Otra importante propiedad relativa a la radiación de una superficie es su **absortividad** α , la cual es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ésta. Como la emisividad, su valor está en el intervalo $0 \leq \alpha \leq 1$. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente sobre él. Es decir, un cuerpo negro es un absorbente perfecto ($\alpha = 1$) del mismo modo forma que es un emisor perfecto.

En general, tanto ε como α de una superficie dependen de la temperatura y de la longitud de onda de la radiación. La **ley de Kirchhoff** de la radiación afirma que la emisividad y la absortividad de una superficie a una temperatura y longitud de onda dadas son iguales. En muchas aplicaciones prácticas, las temperaturas de la superficie y de la fuente de radiación incidente son del mismo orden de magnitud, y la absortividad promedio de una superficie se considera igual a su emisividad promedio. La razón a la cual una superficie absorbe la radiación se determina a partir de:

$$\dot{Q}_{absorbida} = \alpha \dot{Q}_{incidente} \quad (W)$$

Donde $\dot{Q}_{incidente}$ es la razón a la cual la radiación incide sobre la superficie y α es la absorptividad de la superficie. Para las superficies opacas (no transparentes), la parte de la radiación incidente no absorbida por la superficie se refleja.

La diferencia entre las razones de la radiación emitida por la superficie y la radiación absorbida es la transferencia neta de calor por radiación. Si la razón de absorción de la radiación es mayor que la de emisión, se dice que la superficie está *ganando* energía por radiación. De lo contrario, se dice que la superficie está *perdiendo* energía por radiación. En general, la determinación de la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre dos superficies es un asunto complicado, ya que depende de las propiedades de las superficies, de la orientación de una con respecto a la otra y de la interacción del medio que existe entre ellas con la radiación.

CAPITULO III

Capítulo 3. Ecuaciones

3.1 Estado del arte

En la actualidad existen aparatos que miden las corrientes eléctricas como lo son los medidores de aislamiento, portátiles y ergonómicos; son diseñados para detectar la resistencia de aislamiento, la tensión continua y la tensión alterna para distintos rangos (p. ej. de entre 50 Mega Ohm a 2000 Mega Ohm). Así se puede determinar el aislamiento requerido, ya que el aislamiento como tal no es medible si no la resistencia que éste tiene al calor.

Para poder medir un aislante térmico se utilizan termómetros infrarrojos (que tiene mayor longitud de onda y se extiende desde el extremo del rojo visible hacia frecuencias menores; se caracteriza por sus efectos térmicos, pero no luminosos ni químicos) también llamado pirómetro de infrarrojos o termómetro sin contacto es un medidor de temperatura de una porción de superficie de un objeto a partir de la emisión de luz del tipo cuerpo negro que produce. A este tipo de termómetro a veces se le denomina erróneamente termómetro láser, ya que suele utilizar la asistencia de un láser, aunque es simplemente para apuntar mejor hacia el lugar de medición, no para hacer la medida. Al conocer la cantidad de energía emitida por un objeto, y su emisividad, se puede determinar su temperatura; con capacidades aproximadas de 400 °C, son utilizados al calentar la contracara del aislante con una fuente de calor directa, así se indica en el mismo punto de calentamiento con el infrarrojo del termómetro para saber la temperatura y, del lado contrario se toma lectura de la misma forma corroborando que la temperatura es más baja debido al material aislante.

El diseñar y construir una unidad experimental para la determinación de aislantes óptimos puede permitir considerar factores importantes en la selección del espesor, el tipo y forma del aislante lo cual es favorable para hacer correcciones prácticas para su empleo industrial, de igual forma aplicable al conocimiento académico para la conceptualización experimental.

Las ecuaciones por utilizar tienen la finalidad de poder llevar a cabo la programación acorde al sistema a construir, recabando previa información para así tener las ecuaciones de transferencia de calor que a continuación se presentan.

3.2 Cálculo de aislante

Para poder realizar los cálculos pertinentes, el presente capítulo pretende dar a conocer de forma objetiva la función de los aislantes mediante sus características y tener un mejor panorama del tema en cuestión.

3.2.1 Preámbulo

Hoy en día los aislantes son indispensables para el ahorro de energía, siendo parte de las cuestiones importantes que deben considerarse durante el estudio, diseño y operación de cualquier proceso químico; siempre tomando en cuenta la seguridad del personal que labora con el equipo considerándose como de suma importancia.

La termodinámica nos dice que la energía puede ser transferida por interacciones de un sistema con sus alrededores, dichas interacciones son el trabajo y el calor. Ya mencionado anteriormente, la transferencia de calor la definimos como energía en tránsito debido a un gradiente de temperaturas.

Ahora bien, recordemos las tres formas de conducción de calor:

- 1) Conducción, sí el gradiente existe en un medio estacionario que puede ser en un sólido o en un fluido.
- 2) Convección. Ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando está a diferentes temperaturas.

- 3) Radiación. Todas las superficies a una temperatura finita emitirán energía en forma de ondas electromagnéticas, por lo que aún en ausencia de un medio o material transmitirán radiación.

3.2.2 Formas de aislamiento y tipos de aislamiento

En forma breve y generalizada podemos denominar a un sistema de aislamiento térmico como aquel sistema diseñado especialmente para ofrecer alta resistencia a la transferencia de calor. El uso de un sistema de aislamiento se justifica por las siguientes razones:

- 1) Por seguridad industrial
- 2) Condiciones del proceso
- 3) Administración de energía

Las características que deben poseer los materiales aislantes es que permitan dar un buen servicio por largos periodos de tiempo, sin causar problemas secundarios, además que no constituyan en sí mismos riesgos industriales. Los factores de selección para un material aislante son:

1. Baja conductividad térmica
2. Baja densidad
3. Resistencia mecánica
4. Combustibilidad nula
5. Corrosividad nula
6. Sin desprendimiento de energía a los alrededores
7. Estables a la temperatura de trabajo
8. Sin propiciación a la formación de microorganismos
9. La facilidad en la forma de manejo, almacenaje y colocación

El aislante generalmente tiene un aglutinante el cual va a limitar su rango de aplicación.

Los aislantes se fabrican rígidos o semirrígidos y flexibles. Con los cuales es posible llegar hasta temperaturas de aplicación de 1800 °F; por encima de esta temperatura el campo es de las refractarios.

3.2.3 Clasificación por rango de aplicación

Los rangos de aplicación de un aislante van de acuerdo a la normatividad del país o en algunas ocasiones van de acuerdo al proceso y/o a las políticas de empresa. A continuación se detallan dos formas.

Para altas temperaturas se entenderá por valores encima de 95 °F, para bajas temperaturas se aplicarán desde 68 °F hasta -40 °F.

Para sistemas criogénicos el rango de aplicación será desde -40 °F a menores grados.

Estos son de forma generalizada sin especificaciones algunas.

3.2.4 Clasificación por sus características físicas

Granulares.

- Silicato de calcio T₀ = 1300 °F
- Perlita expandida T₀ = 1400 °F
- Aglutinado de tierras T₀ = 1800 °F

Fibrosos.

- Fibra de vidrio T₀ = 232 °F
- Lana mineral T₀ = 6480 °F
- Fibra de asbesto T₀ = 1000 °F

Espumosos.

- Poliestireno
- Poliuretano
- Espuma de PVC

Monolíticos.

- Cementos de unión

- Mastiques

Reflectivos.

- Paredes metálicas pulidas

3.2.5 Instalación

La instalación de un aislante comprende varias actividades como:

- Trabajos preliminares
- Instalación de los aislamientos
- Instalación del acabado

El acabado tiene las siguientes razones:

- Resistencia a la intemperie
- Resistencia mecánica y a la corrosión
- Resistencia al paso de fluidos (vapor)
- Impedimento a la radiación solar, luz ultravioleta e infrarroja
- Proteger al aislante contra gases, humos o sustancias químicas
- Resistencia al fuego

Estos acabados pueden ser metálicos o no metálicos.

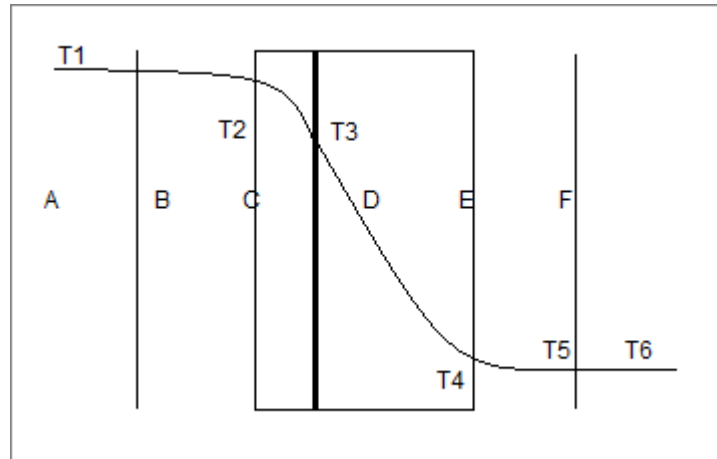
Los acabados metálicos comprenden variedades como:

- Lámina negra metálica
- Lámina galvanizada
- Lámina de aluminio
- Lámina de acero inoxidable

Podemos encontrar en los acabados no metálicos:

- Plásticos (emulsión asfáltica, mastiques)
- Otros (manta pintada de aluminio, reciclados)

3.3 Algoritmo para la obtención de espesor de aislante optimo por evaluación térmica



Como puede observarse en la figura, un sistema de aislamiento se compone por:

- A. Interior del sistema para aislar. Puede tratarse del interior de un horno, o de una tubería llevando vapor (se encuentra a la temperatura T_1).
- B. Película de resistencia térmica interior por convección (representado por la temperatura T_2).
- C. Pared del sistema a aislar. Notablemente se trata de materiales metálicos (temperatura T_3).
- D. Pared del aislante. Este espesor es precisamente el problema a calcular (temperatura T_4).
- E. Película de resistencia térmica exterior por convección (temperatura T_5).
- F. Medio ambiente (temperatura T_6).

De esta forma, el algoritmo para calcular un aislante son los siguientes:

- 1) Suponer varias temperaturas T_4 iniciando con una temperatura un poco mayor al ambiente, 4 o 5 grados aproximadamente.
- 2) Calcular el coeficiente de convección exterior h_e mediante las ecuaciones:

$$h_r = \frac{0.173 \varepsilon \left[\left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_5}{100} \right)^5 \right]}{(T_4 - T_5)}$$

Siendo ε la emisividad del material de recubrimiento.

$$h_c = 0.3(T_4 - T_5)^4 \quad \longrightarrow \quad \text{Para muros verticales con altura } > 3 \text{ ft}$$

$$h_c = 0.28(T_4 - T_5)^4 \quad \longrightarrow \quad \text{Para muros verticales con altura } < 3 \text{ ft}$$

$$h_c = 0.38(T_4 - T_5)^4 \quad \longrightarrow \quad \text{Para muros horizontales parte de arriba}$$

$$h_c = 0.20(T_4 - T_5)^4 \quad \longrightarrow \quad \text{Para muros horizontales parte de abajo}$$

$$h_c = 0.27(T_4 - T_5)^{4/DE} \quad \longrightarrow \quad \text{Para muros curvos de diámetro menor a 1 ft}$$

Finalmente, h_e se calcula por:

$$h_e = h_r + h_c$$

3) Se calcula q' con la ecuación:

$$q' = h_e (T_4 - T_5)$$

Para cada valor de T_4 .

4) Calcular q con la ecuación:

$$q = \frac{(T_1 - T_5)}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{1}{h_e} \right)}$$

Siendo:

h_1 : Coeficiente de resistencia térmica por convección de la pared interior.

L_1 : Espesor de la pared del recipiente.

K_1 : Conductividad térmica del material del recipiente.

L_2 : Espesor del espesor.

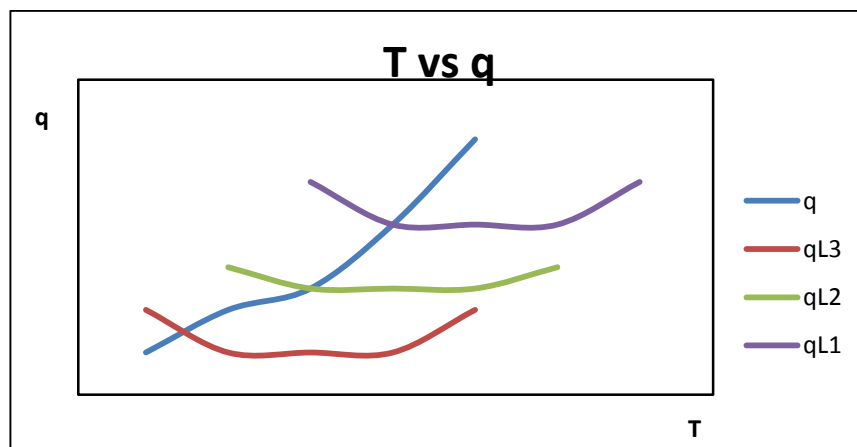
K_2 : Conductividad térmica del aislante.

Para cada h_e calculado en el punto anterior y para cada espesor del aislante L_2 considerado.

5) Con la serie de valores obtenidos, se procede a construir la siguiente tabla:

T_4	h_c	h_r	h_e	q'	qL_1	qL_2	qL_3

6) Por medio de los valores presentados, se realiza la siguiente gráfica.



Donde la temperatura final, la que se tendrá en el punto donde se intersecan las gráficas qL 's y la q' , es la que tendrá la superficie del aislante.

3.4 Ecuación de la conducción de calor en un cilindro largo

Considerando un elemento delgado con forma de casco cilíndrico, de espesor Δr , en un cilindro largo. Suponiendo que la densidad del cilindro es ρ , el calor específico es C y la longitud es L . El área del cilindro, normal a la dirección de transferencia de calor en cualquier lugar, es $A = 2\pi rL$, en donde r es el valor del radio en ese lugar. Nótese que el área A de la transferencia de calor depende de r en este caso y, por tanto, varía con el lugar. Un balance de energía sobre este elemento delgado con forma de casco cilíndrico, durante un pequeño intervalo de tiempo Δt , se puede expresar como:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Razón de} \\ \text{conducción} \\ \text{del calor} \\ \text{en } r \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Razón de} \\ \text{conducción} \\ \text{del calor} \\ \text{en } r + \Delta r \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{generación} \\ \text{de calor en el} \\ \text{interior} \\ \text{del elemento} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{(Razón de} \\ \text{cambio del} \\ \text{contenido} \\ \text{de energía} \\ \text{del elemento)} \end{array} \right)$$

O bien,

$$\dot{Q}_r - \dot{Q}_{r+\Delta r} + \dot{E}_{gen,elemento} = \frac{\Delta E_{elemento}}{\Delta t}$$

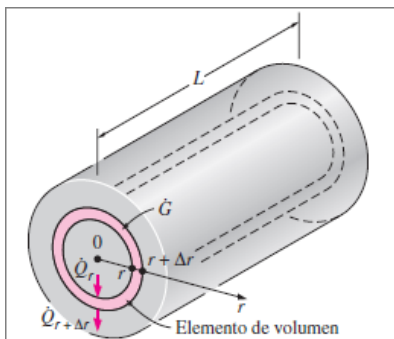


Fig. 1
Conducción unidimensional del calor a través de un elemento de volumen en un cilindro largo.

El cambio en el contenido de energía del elemento y la velocidad de generación de calor dentro del mismo se pueden expresar como

$$\Delta E_{elemento} = E_{t+\Delta t} - E_t = mc(T_{t+\Delta t} - T_t) = \rho c A \Delta r (T_{t+\Delta t} - T_t)$$

$$\dot{E}_{gen, elemento} = \dot{e}_{gen} V_{elemento} = \dot{e}_{gen} A \Delta r$$

Al sustituir en la primera ecuación se obtiene

$$\dot{Q}_r - \dot{Q}_{r+\Delta r} + \dot{e}_{gen}A\Delta r = \rho c A \Delta r \frac{T_{t+\Delta t} - T_t}{\Delta t}$$

donde $A=2\pi L$. Se considera que el radio promedio no puede ser tomado en cuenta ya que se tomará el límite cuando $\Delta r \rightarrow 0$ y, por tanto, se cancelará el término $\Delta r/2$. Prosiguiendo, se divide la ecuación anterior entre $A\Delta r$ y da

$$-\frac{1}{A} \frac{\dot{Q}_{r+\Delta r} - \dot{Q}_r}{\Delta r} + \dot{e}_{gen} = \rho c \frac{T_{t+\Delta t} - T_t}{\Delta t}$$

Si se toma el límite cuando $\Delta r \rightarrow 0$ y $\Delta t \rightarrow 0$, se obtiene

$$\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial r} \left(kA \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

por la definición de derivada y a partir de la ley de Fourier de la conducción del calor,

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\dot{Q}_{r+\Delta r} - \dot{Q}_r}{\Delta r} = \frac{\partial \dot{Q}}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left(-kA \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

Puesto que el área de transferencia de calor en este caso es $A = 2\pi L$, la ecuación unidimensional de conducción de calor en régimen transitorio en un cilindro queda

$$\text{Conductividad variable:} \quad \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rk \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

donde una vez más la propiedad $\alpha = k/\rho c$ es la difusividad térmica del material. En condiciones especificadas, la ecuación anterior se reduce a las formas siguientes:

$$1) \text{ Regimen estacionario: } \quad \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = 0$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} = 0 \right)$$

$$2) \text{ Regimen transitorio, sin generación de calor: } \quad \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\left(\dot{e}_{gen} = 0 \right)$$

$$3) \text{ Regimen estacionario, sin generación de calor: } \quad \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} = 0 \text{ y } \dot{e}_{gen} = 0 \right)$$

Se rempazan las derivadas parciales por derivadas ordinarias en el caso de la conducción unidimensional y estacionaria del calor, ya que son idénticas cuando dicha función depende de una sola variable [$T = T(r)$, en este caso].

CAPITULO IV

Capítulo 4. Unidad Experimental

4.1 Diseño

La unidad experimental cuenta con dimensiones que se acomodan a un dispositivo didáctico y los materiales, en su mayoría, son de fácil acceso y económicamente de bajo costo.

El diseño se basa en las tuberías, donde se requieren aislantes térmicos para minimizar las pérdidas de energía generada debido al flujo de sustancias que se requieren con temperaturas altas en la industria química, por ello los cálculos son los adecuados para la forma de transferencia de calor en ejes cilíndricos.

El material seleccionado para el sistema es aluminio, consta de un cilindro interior y uno exterior. En el cilindro interior va alojada una resistencia cilíndrica de nicromo la cual es sujeta con dos soportes de acero al carbón y aislada por los extremos del cilindro de aluminio con una mezcla de yeso, cemento blanco y c....

El soporte donde está montado el equipo es también aluminio, instalado en una base de madera MDF donde se soportan en una base de acrílico los componentes electrónicos.

Se instala un termopar en el cilindro interior por medio de un barreno para su colocación junto a la resistencia y, un sensor de temperatura LM35 en el cilindro exterior en la pared externa del cilindro.

El espesor de 1 pulgada entre ambos cilindros es donde se coloca el aislante a determinar.

El sistema es diseñado para poder cambiar el material aislante.

Un material aislante debe poseer las dos cualidades fundamentales siguientes:

- Tener baja conductividad térmica.
- Impedir la formación de corrientes de convección.

Los materiales utilizados normalmente son: magnesio (al 85 por 100), lana de vidrio, etc.

Para hacer pruebas y quedando en el equipo se ha seleccionado lana mineral.

4.1.1 Componentes y materiales

Para el equipo:

- 2 Tubos de aluminio (tamaño estipulado en las especificaciones)
- Tubo cuadrado de ½ pulgada de aluminio
- Tabla de MDF de ½ pulgada
- Base rectangular de acrílico x x
- Base rectangular de acrílico x x
- Resistencia de nicromo
- Mezcla de aislante para la resistencia
- Termopar tipo K
- Sensor de temperatura LM35
- Tarjeta arduino UNO
- Display LCD 20x4
- Acondicionador Max 6675 para punta K
- Modulo Relevador sencillo
- Teclado 3x4 membrana
- Placa de conexiones (para el incremento de conexiones positivas y negativas)

4.1.2 Especificaciones

TUBOS DE ALUMINIO

Descripción	Cantidad	Unidad	λ (W/(m·K))
Tubo I.P.S. ALI. P. S. 25.4 X 6100 P 3.38 mm	0.26	mtr	209,3
Tubo I.P.S. ALI. P. S. 25.4 X 6100 P 3.38 mm	0.21	mtr	209,3
Resistencia nicromo 80% níquel y 20%cromo 120V 800W	1	pz	19.2

Conductividad térmica:

Métrica: $1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Métrica/Inglesa: $1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 0.57782 \text{ Btu/h ft} \cdot ^\circ\text{F}$

Resistencia térmica:

Métrica: $1^\circ\text{C/W} = 1 \text{ K/W}$

Métrica/Inglesa: $1 \text{ K/W} = 0.52750^\circ\text{F/h} \cdot \text{Btu}$

MEZCLA DE AISLANTE PARA LA RESISTENCIA

Es recomendable aislar la resistencia debido a la transferencia de calor que fuga por los extremos del tubo.

El recubrimiento aislante en estos extremos del tubo interno es de una mezcla de yeso, cemento blanco y c

YESO

El yeso utilizado como material de construcción, es un producto elaborado a partir de un mineral natural denominado igualmente yeso o aljez (sulfato de calcio dihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mediante deshidratación, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado directamente.

Fórmula química: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Propiedades eléctricas: Tiene baja conductividad térmica

Hábito cristalino: Granular, compacto

Densidad: 2,31 - 2,33 g/cm^3

Dureza: 1,5 - 2 en la escala de Mohs, puede ser rayado con la uña

Sistema cristalino: Monoclínico

Peso específico: 22,70 N/dm^3

Se le puede añadir otras sustancias químicas para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad.

También, se emplea para la elaboración de materiales prefabricados. El yeso, como producto industrial, es sulfato de calcio hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), también llamado vulgarmente "yeso cocido". Se comercializa molido, en forma de polvo.

El yeso está establecido en la Norma RY-85, que es una Norma española que establece tipos de yeso, constitución, resistencia y usos. A continuación se presentan algunos de la norma:

-Yeso Grueso de Construcción, designado YG

Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

Uso: Para pasta de agarre en la ejecución de tabicados en revestimientos interiores y como conglomerante auxiliar en obra.

-Yeso Fino de Construcción, designado YF

Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado.

Uso: Para enlucidos, refilos o blanqueos sobre revestimientos interiores (guarnecidos o enfoscados)

-Yeso de Prefabricados, designado YP

Constituido fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato y anhidrita II artificial con mayor pureza y resistencia que los yesos de construcción YG e YF

Uso: Para la ejecución de elementos prefabricados para tabiques.

-Escayola, designada E-30

Constituida fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado con una resistencia mínima a flexotracción de 30 kp/cm²

Uso: En la ejecución de elementos prefabricados para tabiques y techos.

-Escayola Especial, designada E-35

Constituida fundamentalmente por sulfato de calcio semihidrato con la posible incorporación de aditivos reguladores del fraguado con una resistencia mínima a flexotracción de 35 kp/cm²

Uso: en trabajos de decoración, en la ejecución de elementos prefabricados para techos y en la puesta en obra de estos elementos.

CEMENTO BLANCO

El cemento blanco es un tipo de cemento portland de un color gris muy claro (blancura mayor del 85%) y es empleado para la construcción tanto en piezas prefabricadas como en acabados de suelos y albañilería en general.

Su composición no contiene óxidos férricos (Fe_2O_3), que son los que le dan el característico color gris al cemento por ello es blanco. También presenta cantidades reducidas de Mn en su composición.

Para suplir la carencia de óxidos de hierro, se suele añadir óxido de calcio (CaO), fluorita (CaF_2) o criolita (Na_3AlF_6).

La composición química de los cementos blancos varía según el tipo resistente y el fabricante, pero la cantidad de óxido férrico no supera el 1%, siendo este porcentaje menor cuanto más blanco sea el cemento. Por ejemplo, un cemento con una blancura del 92% tiene tan sólo un 0,2% de (Fe_2O_3).

En cuanto a sus características, los cementos blancos poseen características mecánicas similares a las de los cementos grises. Existen cementos blancos de muchas clases: desde cementos de albañilería de resistencia 22,5 MPa, hasta estructurales de resistencia 52,5. Existen cementos de las clases resistentes tipo I hasta tipo II, pero por su composición, no resisten condiciones agresivas, como el contacto con el agua de mar.

El cemento blanco necesita más agua que los cementos normales, y su tiempo de inicio de fraguado es menor (en torno a 60 minutos).

CAOLIN

El caolín es un silicato de aluminio hidratado, producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente.

El término caolín se refiere a arcillas en las que predomina el mineral caolinita

Su peso específico es de 2.6; su dureza es 2; color blanco, puede tener diversos colores debido a las impurezas; brillo generalmente terroso mate; es higroscópico (absorbe agua); su plasticidad es de baja a moderada.

También, tiene propiedades importantes como son su blancura, su inercia ante agentes químicos, es inodoro, aislante eléctrico, moldeable y de fácil extrusión; resiste altas temperaturas, no es tóxico ni abrasivo y tiene elevada refractariedad y facilidad de dispersión. Es compacto, suave al tacto y difícilmente fusible. Tiene gran poder cubriente y absorbente y baja viscosidad en altos porcentajes de sólidos.

TERMOPAR TIPO K

El termopar tipo k es un sensor de temperatura analógico que no necesita de ser alimentado por un voltaje ya que es un sensor autogenerado. Los materiales que componen a un termopar tipo k son cromel que es una alineación de Ni-Cr y alumen que es una alineación de Ni-Al. El termopar tipo k es capaz de generar una señal de 41 mili-voltios por cada grado centígrado detectado ($41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ aproximadamente). Tienen un rango de temperatura de -200°C a $+1372^\circ\text{C}$. Posee buena resistencia a la oxidación.

Está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Los termopares son característicos por ser indicadores de temperatura de un precio muy económico en el mercado y con un rango de exactitud bastante bueno.

Para leer la temperatura entregada por un termopar tipo k se utiliza la ayuda de un módulo MAX6675 y una tarjeta de desarrollo Arduino. La librería para el módulo MAX6675 es compatible con Arduino Micro, Arduino Mega, Arduino Uno, y Leonardo.



Fig. 2 Termopar tipo K

SENSOR LM35

El LM35 es un circuito electrónico sensor que puede medir temperatura.

Su salida es analógica, es decir, te proporciona un voltaje proporcional a la temperatura. El sensor tiene un rango desde -55°C a 150°C .

Posee gran facilidad para medir la temperatura, ya que no es necesario de un microprocesador o microcontrolador para medir la temperatura. Dado que el sensor LM35 es analógico, basta con medir con un multímetro, el voltaje a salida del sensor.

Para convertir el voltaje a la temperatura, el LM35 proporciona 10mV por cada grado centígrado. También cabe señalar que ese sensor se puede usar sin offset, es decir que si medimos 20mV a la salida, estaremos midiendo 2°C .

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Resolución: 10mV por cada grado centígrado.

Voltaje de alimentación. Por ejemplo, este sensor se puede alimentar desde 4Vdc hasta 20Vdc.

Tipo de medición. Salida analógica.

Numero de pines: 3 pines, GND, VCC y VSalida.

No requiere calibración.

Tiene una precisión de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$.

Esta calibrado para medir $^{\circ}\text{C}$.

Consumo de corriente: 60 μA

Empaquetados comunes:

- TO-CAN.
- TO-220.
- TO-92.
- SOIC8.

PINES DEL SENSOR LM35

El pinout del sensor de temperatura son tres: GND, VCC y VSalida. Entonces dependiendo del empaquetado será el orden de conexión de los pines. Por ejemplo, el empaquetado TO-220 tiene la siguiente distribución:

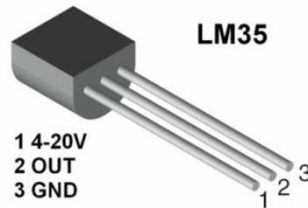


Fig. 3 Sensor de temperatura LM35

TARJETA ARDUINO UNO

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.

Arduino puede “sentir” el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos.

El microcontrolador de la placa se programa usando el “Arduino Programming Language” (basado en Wiring) y el “Arduino Development Environment” (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas preensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que existe libertad de adaptarlas a diferentes necesidades.

Arduino recibió una mención honorífica en la sección Digital Communities del Ars Electronica Prix en 2006.

ARDUINO UNO

Arduino es una placa con un microcontrolador de la marca Atmel y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB (en los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip.

Un arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V. También dispone de entradas y salidas analógicas.

Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

Arduino UNO es la última versión de la placa, existen dos variantes, la Arduino UNO convencional y la Arduino UNO SMD. La única diferencia entre ambas es el tipo de microcontrolador que montan.

- La primera es un microcontrolador Atmega en formato DIP.
- Y la segunda dispone de un microcontrolador en formato SMD.

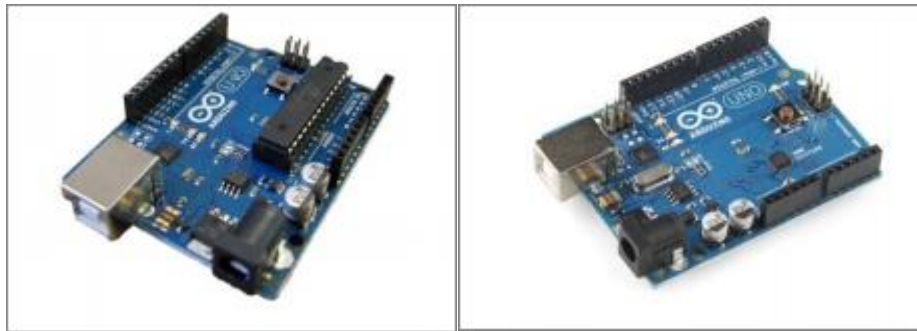


Fig. 3 y 4 Arduino UNO

ENTRADAS Y SALIDAS

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA. La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA. Cada uno de los pines digitales dispone de una resistencia de pull-up interna de entre 20K Ω y 50 K Ω que está desconectada, salvo que nosotros indiquemos lo contrario. Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un conversor analógico/digital de 10 bits.

ALIMENTACIÓN

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila de 9V. Los límites están entre los 6 y los 12 V.

Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de tensión a 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los 12V, probablemente dañaremos la placa.

La alimentación puede conectarse mediante un conector de 2,1mm con el positivo en el centro o directamente a los pines Vin y GND marcados sobre la placa. Hay que tener en cuenta que podemos medir el voltaje presente en el jack directamente desde Vin; sin considerar la alimentación desde el cable USB, ya que ese no es monitoreado.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

DISPLAY LCD 20X4

El Display LCD 20×4 es un dispositivo que otorga la utilización de hasta 80 caracteres alfanuméricos para mostrar uno o varios mensajes en su amplia pantalla, como su nombre lo indica posee 20 columnas y 4 filas.

La luz de fondo es azul y el texto mostrado es de color blanco, lo cual permite una gran visualización.

Esta pantalla es compatible con el módulo I2C, lo cual significa que tras su instalación solo serán necesarias 4 conexiones para utilizar la pantalla con Arduino o Micro controladores.

Módulo de pantalla LCD 20x4 de backlight azul.

Características:

- Alta Calidad.
- Módulo de Bajo Consumo.
- El módulo puede ser fácilmente conectado con un MCU.
- Formato de presentación: 20 caracteres x 4 líneas.
- Para proyectos basados en Arduino.
- Tensión de alimentación: 5V.
- Totalmente montado y probado de serie del módulo LCD 20x4.
- Texto blanco, luz de fondo azul.
- Interfaz analógica.
- Tamaño: 9,8 cm x 6 cm x 1,2 cm.

ACONDICIONADOR MAX 6675 (PARA TERMOPARES TIPO K)

El acondicionador MAX6675 es un convertidor Analógico a digital especializado para termopares tipo K. Con este módulo es posible conectar fácilmente un termopar a cualquier microcontrolador a través de una interfaz SPI unidireccional.

Dentro de este pequeño circuito se encuentra la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar, lo que hace muy sencilla la tarea de conectar un termopar a un microcontrolador.

La única restricción es que este circuito solo se consigue en encapsulado SOIC, por lo que no es tan fácil usarlo en el protoboard. Sin embargo, en este módulo encontramos el MAX6675 con toda la electrónica necesaria y las terminales apropiadas para facilitar su uso.

El acondicionador MAX6675 se conecta con un microcontrolador mediante una interfaz de 3 líneas compatible con el estándar SPI. Además tenemos un bit que nos indica si el termopar está abierto (desconectado o roto, por ejemplo) que podemos usar para tomar acciones correctivas o informativas en el software, como disparar una alarma o mostrar un aviso.

Especificaciones técnicas:

- Alimentación: 3.3 V a 5 V
- Corriente de funcionamiento: 50 mA
- Consumo máximo: 1.5 mA
- Temperatura rango de medición: 0°C a 1024°C
- Resolución de la temperatura: 0.25°C
- Modo de salida: SPI señal digital
- Temperatura de trabajo: -20°C a +85°C
- Interfaz compatible con SPI solo de lectura
- Resolución: 12 bits, 0.25°C
- Medición hasta 1024°C

- Frecuencia de reloj SPI maxima Fsc1: 4.3 Mhz
- Tiempo de conversion: 0.17 seg. maximo 0.22 seg.
- Incluye termopar tipo K de 0 a 800°C
- Numero de pines: 5
- Terminal de 2 tornillos (para conectar termopar)
- Con orificio para sujetar
- Compatible con Arduino
- Dimensiones: 38 mm X 16 mm
- Largo termocupla: 1 Metro



Fig. 5 Acondicionador

MODULO SENCILLO RELEVADOR 5V A 127AC

El módulo sencillo relevador permite controlar el encendido/apagado de equipos de alta potencia. Funciona perfectamente con Arduino, Pic o cualquier otro sistema digital.

El modulo posee 1 Relay de alta calidad, fabricado por Songle, con capacidad de manejar cargas de hasta 250V/10A. El módulo relay posee un led indicador de alimentación (rojo) y un led indicador de activación (verde). Este módulo a diferencia de los módulos relay de 2 o más canales no posee optoacopladores, en su lugar la activación del relay es mediante un transistor. El diseño del módulo facilita el trabajo con Arduino, al igual que con muchos otros sistemas como Raspberry Pi, ESP8266 (NodeMCU y Wemos), Teensy y Pic.

Este módulo Relay activa la salida normalmente abierta (NO: Normally Open) al recibir un "0" lógico (0 Voltios) y desactiva la salida con un "1" lógico (5 voltios).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- N° de Relays (canales): **1 CH**
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Para activar salida NO: 0 Voltios



Fig. 6 Relevador

TECLADO 3X4 MEMBRANA

El Teclado Matricial 3x4 Tipo membrana es un teclado de 4 filas y 3 columnas para un total de 12 teclas. El teclado es tipo membrana, por lo que entre sus ventajas se encuentra el poco espacio que requiere para ser instalado. Puede ser conectado a cualquier micro controlador o tarjetas de desarrollo y evaluación como Arduino y Chipkit.

Características Teclado Matricial 3x4 Tipo membrana:

- Montaje de bajo perfil
- Larga vida útil: ~1,000,000 ciclos de operaciones
- Conector estándar de 2.54mm (0.1")
- Dígitos; 0-9 Símbolos: “#” y “*”
- Tamaño: 70 * 77 * 0.8 mm
- Longitud del cable: 85 mm (incluyendo el conector)
- Conector hembra de 8 pines, espaciamiento 0.1”
- Capacidad máxima: 35 VCD, 100 mA
- Aislamiento: 100M Ohm, 100V
- Rigidez dieléctrica: 250 Vrms (60 Hz, 1 min)
- Contacto de rebote: <= 5 ms
- Temperatura de funcionamiento: -20 a +40 ° C



Fig. 7 Teclado 3x4

PLACA DE CONEXIONES (PARA EL INCREMENTO DE CONEXIONES POSITIVAS Y NEGATIVAS)

Esta placa es para las conexiones positivas y negativas ayudando a mantener equilibrado el sistema. Su nombre técnico es protoboard.

PROTOBOARD

Un protoboard o también llamado Tabla de pruebas, es una herramienta indispensable para un electrónico.

Como su nombre lo indica su función principal es hacer pruebas del funcionamiento de los diferentes circuitos electrónicos que se crean.

Los protoboard son pequeñas tablas con perforaciones en toda su área, en las cuales se colocan diversos componentes electrónicos, se distinguen por tener filas y columnas con lo que se puede saber en qué ubicación posicionar cada pieza, también cuentan con 2 rieles a los lados, los cuales se usaran como las líneas Positivas y Negativas de nuestro circuito.

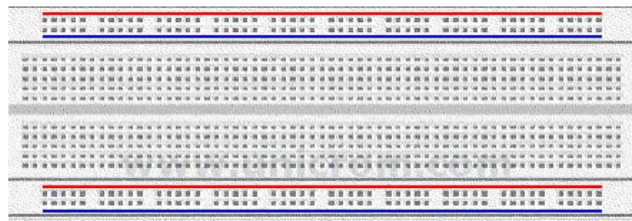


Fig. 8 Protoboard

LANA MINERAL

Propiedades de la Lana mineral:

Las Lanas Minerales son el único aislante que cumple con una triple condición: aislamiento acústico, aislamiento térmico y, por su naturaleza incombustible, protección contra el fuego. Así, incorporan las características técnicas que más se valoran en la sociedad actual, definida por la preocupación creciente por el hombre y su entorno, orientada hacia la mejora de la calidad de vida y la seguridad de las personas, y atenta e interesada por la conservación del medio ambiente.

Además, el empleo de las Lanas Minerales permite actuar con criterios de eficiencia económica, contribuyendo también al uso racional de la energía.

4.1.3 Bosquejo

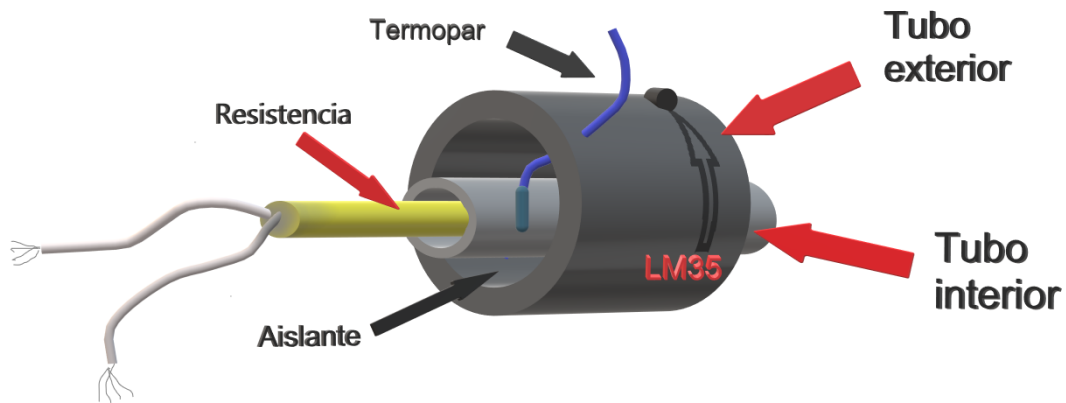


Fig. 9 Bosquejo de la unidad experimental

4.2 Construcción

La construcción se debe realizar con previos conocimientos de electricidad, manejo básico de herramientas y uso de equipo de seguridad.

4.2.1 Herramientas y equipo de seguridad

Para su construcción:

- Taladro
- Brocas de distintos diámetros (para machuelo 3/16)
- Tornillos de 3/16
- Machuelos, cuerda normal y fina 3/16
- Cautín
- Soldadura de estaño
- Termofit
- Silicón de alta temperatura

Equipo de seguridad:

- Guantes de carnaza
- Bata
- Lentes protectores

4.2.2 Ensamble y/o edificación, montaje

El sistema se presenta de forma que los componentes se distingan unos de otros y visualmente sean apreciados para la fácil comprensión de los conceptos ingenieriles.



Fig. 10 Material

Se considera la practicidad para el cambio de aislante y la facilidad para su operación.

Comenzando el ensamble por los dos tubos de aluminio recordando que tienen distintas dimensiones y su colocación es uno dentro del otro de forma céntrica.



Fig. 11 y 12 Tubos de aluminio

Para ello se realizan barrenos en cada uno de ellos previamente trazando los puntos con un marcador para evitar errores y quedando ambos tubos céntricos uno con respecto al otro.



Fig. 13 Marcado de los barrenos

Realizar los tres barrenos a una distancia de 120° de cada extremo procurando un barreno recto.

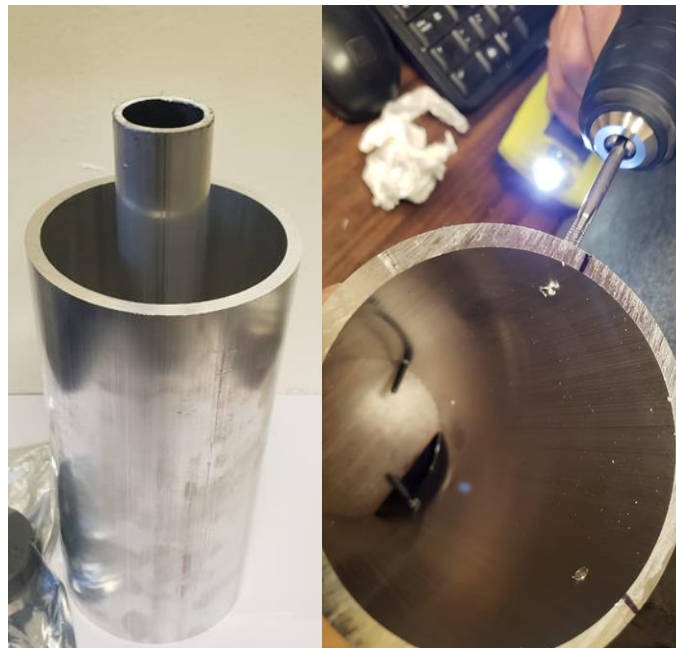


Fig. 14 Posición de los tubos

Fig. 15 Barreno

Posteriormente utilizar el machuelo para generar la cuerda para los tornillos.



Fig. 16 Machueliado

Así los tornillos sujetan a los dos tubos de forma céntrica.



Fig. 17 Tubos fijos



Fig. 18 y 19 Tubos fijos

Se procede a sujetar los dos tubos ya unidos a una estructura de tubo cuadrado de $\frac{1}{2}$ pulgada del mismo material, aluminio, con tornillos de forma que quede estable para su uso.

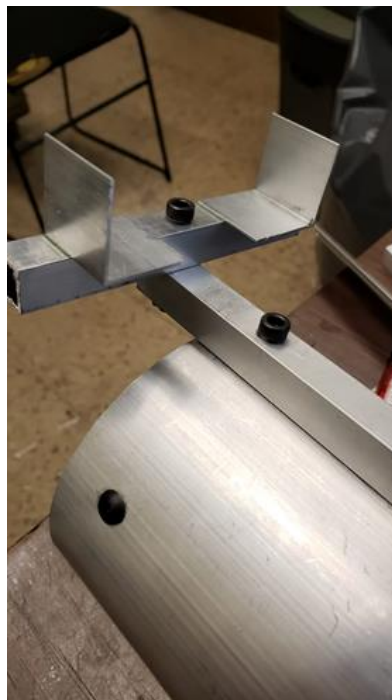


Fig. 20 Estructura

La estructura debe ser estable, así que se considera de cuatro patas para poder ser montada en una tabla de material MDF previamente marcada y cortada con dimensiones específicas para el resto de los componentes.



Fig. 21 Unidad montada en la tabla MDF



Fig. 22 Soporte de cuatro patas

En esta etapa se procede a la colocación de la resistencia



Fig. 23 Resistencia

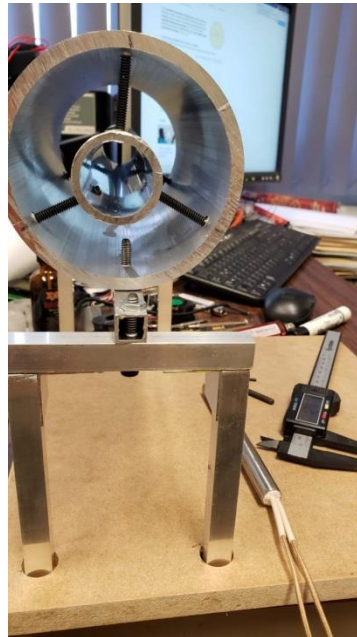


Fig. 24 Colocación de la resistencia

Para la colocación de la resistencia solo se introduce por un extremo quedando sus cables por fuera y es fijada con la presión ejercida de un prisionero para que esta no tenga movimiento.

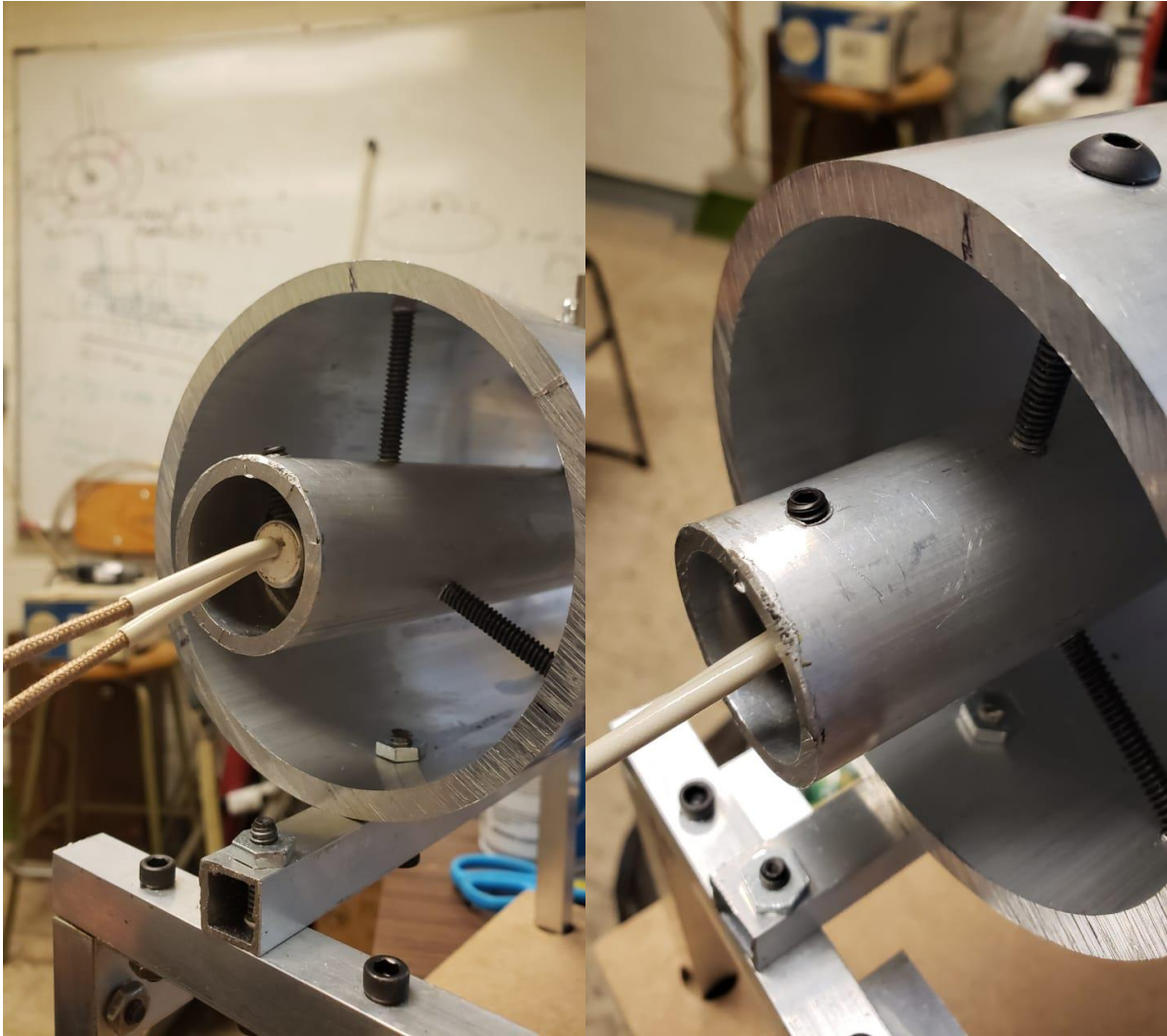


Fig. 25 y 26
Resistencia colocada

Se barrena a la distancia donde termina la resistencia por la parte superior de los tubos con un diametro aproximado para que pueda ser introducido el termopar tipo K al interior del tubo interno junto a la resistencia sin tocarla directamente.

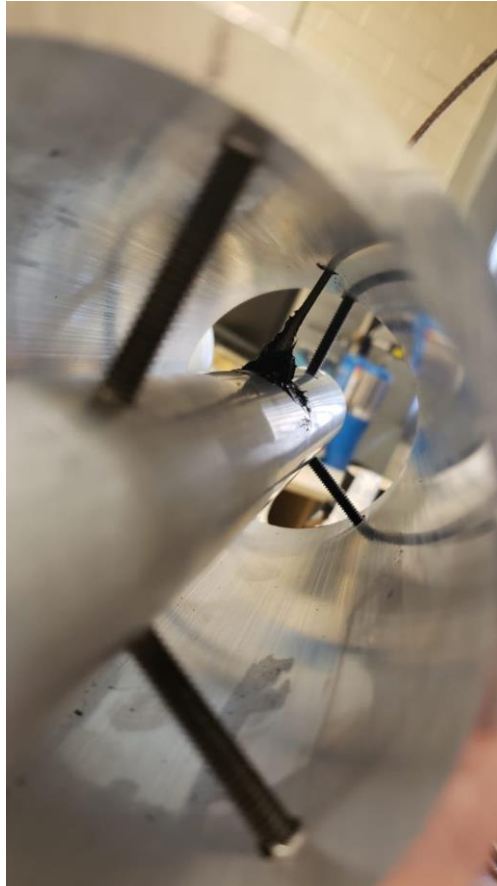


Fig. 27 Termopar tipo K con silicon

Es fijada con silicon negro de alta temperatura para evitar que se mueva y pudiera dar una lectura erronea del aire y no de la pared del tubo.

Ya ubicado y montado el equipo con la resistencia se empieza con el armado de los microcomponentes con un soporte de acrílico para quedar fijos y con el espacio adecuado entre cada uno de ellos para su óptima conexión y operación.

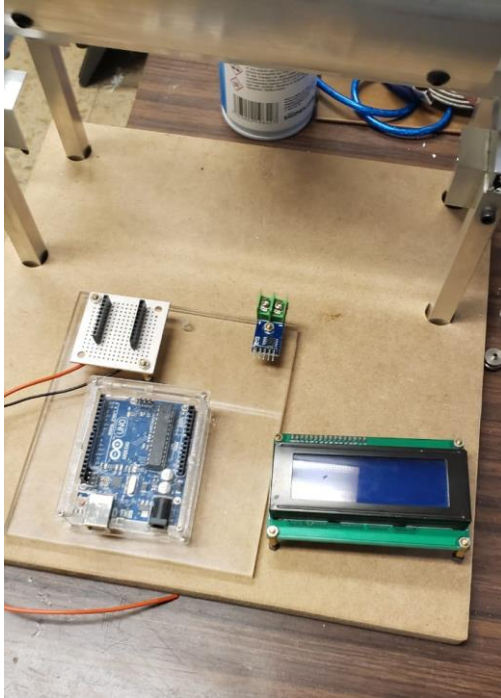


Fig. 28 Espaciamento de los componentes

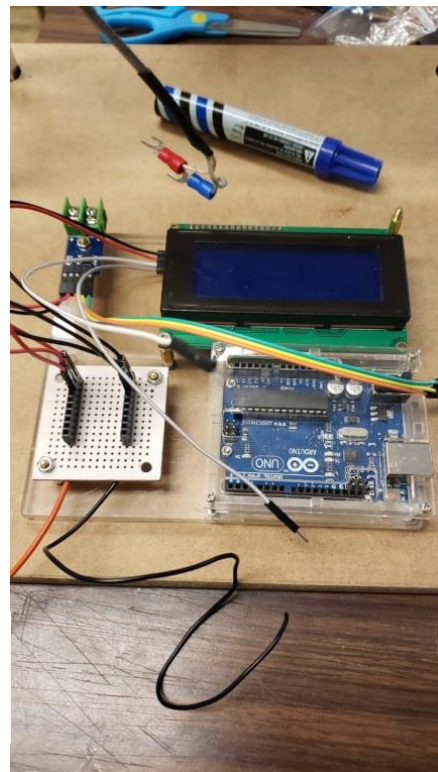


Fig. 29 Conexión de los componentes

Los primeros componentes para fijar son los que tiene mayor tamaño, el display y el arduino uno, para así poder acomodarlos con el mejor aprovechamiento de espacio.

Se conectan mediante cables tipo jumper de colores distintos para identificar funciones como entradas y salidas, analógicas y digitales. También es colocado un "breadboard".

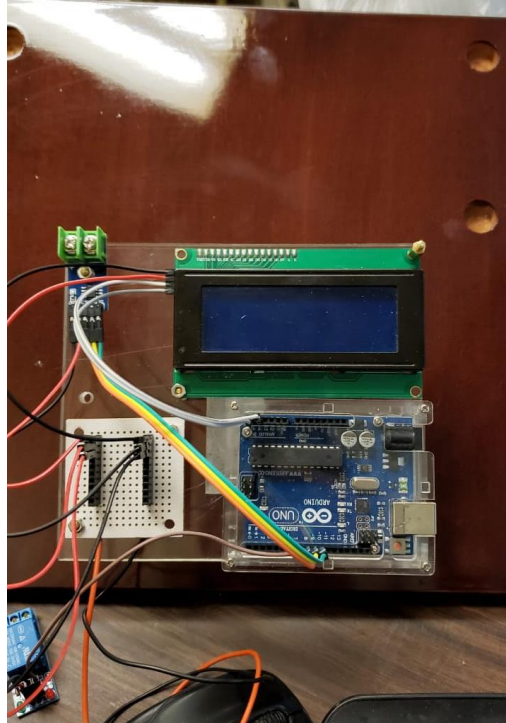


Fig. 30 Relevador, breadbord, display LCD y tarjeta arduino UNO

Y se proceden a realizar pruebas de funcionamiento conectando a USB, que proporciona 5V mediante previo inicio de programación del software arduino.



Fig. 31 Display LCD en funcionamiento

Las pruebas consisten en que el sistema programable despliegue en el display la información que se indica en dicha programación.

Esta información de prueba son textos con los caracteres que presenta el tipo de display 20x4.



Fig. 32 y 33 Textos de prueba

Para lograr cálculos se declaran las variables; que son un valor que el Arduino puede almacenar en su memoria, y que posteriormente podrá ser usado o también modificado.

Cabe mencionar que es posible declarar una variable sin asignarle un valor inicial y hacerlo posteriormente durante el transcurso del programa.

Como ejemplo, se declara `int x`; y posteriormente `x=1`.



Fig. 34 Mostrando variables

4.2.3 Operación

El primer paso para operar la unidad es colocar el aislante a determinar. Se sugiere utilizar guantes, y si es muy fina la partícula utilizar cubre bocas. Debe introducirse de forma cuidadosa y generosa, sin dejar huecos.

Con el aislante correctamente colocado, se procede a conectarse la unidad a la toma de corriente.

La unidad didáctica es de fácil operación ya que cuenta con un teclado numérico que mediante el display despliega un menú de opciones donde el usuario puede escoger alguna de éstas y presionando el número de opción el sistema presentará los resultados de dicha opción.

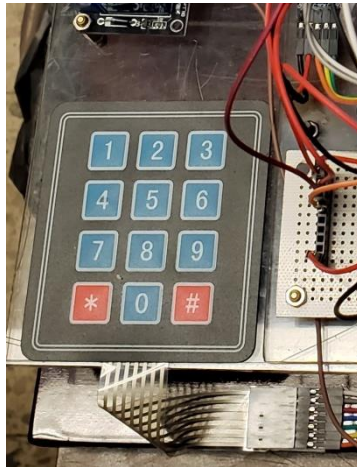


Fig. 35 Membrana 3x4

Los resultados servirán al usuario para comparar cuando cambie el tipo de aislante en la unidad didáctica y así experimentalmente podrá determinar el aislante óptimo.



Fig. 36 Unidad experimental en funcionamiento

4.3 Programación

Para realizar la programación se utiliza el Software Arduino UNO. A continuación se presenta la edición y ordenamiento de la programación.

```
#include <Key.h>

#include <Keypad.h>

#include <math.h>

#include <max6675.h>

#include <Wire.h>

#include <FastIO.h>

#include <I2CIO.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//Caracteristicas del Display LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

// Se define el tipo de teclado

const byte renglones = 4;

const byte columnas = 3;

char teclas[renglones][columnas] = {

    {'1', '2', '3'},

    {'4', '5', '6'},

    {'7', '8', '9'},

    {'*', '0', '#'}

};

const byte rowpines[renglones] = {8, 7, 6, 5};

const byte columpines[columnas] = {4, 3, 2};
```



```
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(teclas), rowpines, columpines, renglones, columnas);

// Se definen los pines para EL TERMOPAR Y RESISTENCIA

int termopar_SCK = 9; //color Salmon
int termopar_SC = 10; //color amarillo
int termopar_SO = 11; //color verde
int resistencia = 12; //color cafe

MAX6675 ktc(termopar_SCK, termopar_SC, termopar_SO);

float leído;

float sensor;

float inter;

float grados;

float ambiente;

float valor;

float leer;

float intensidad;

float flux;

float fluxQ;

float k;

float t1;

float t2;

float pared;

float wall;

const float radio_1 = 0.0175; //radio interno aislante
const float radio_2 = 0.0425; //radio externo aislante
const float longitud = 0.205; //longitud del cilindro
const float voltaje = 120.0; //voltaje alimentacion resistencia
```

```
const float potencia = 800.0; //watts de la resistencia

const float pi = 3.1415;

bool sistema = false;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  // Se definen las características correspondientes a la Resistencia
  pinMode(resistencia, OUTPUT);

  // Se define las características del display 20 Caracteres y 4 líneas
  lcd.begin(20, 4);

  lcd.setCursor(8, 0);

  lcd.print("UNAM");

  lcd.setCursor(4, 1);

  lcd.print("FES ZARAGOZA");

  lcd.setCursor(7, 2);

  lcd.print("Tesis");

  lcd.setCursor(5, 3);

  lcd.print("AISLANTES");

  delay(5000);

  lcd.clear();

  lcd.begin(20, 4);

  lcd.setCursor(8, 0);

  lcd.print("Por");

  lcd.setCursor(1, 1);

  lcd.print(" Anahi Restori V.");

  lcd.setCursor(7, 2);
```

```
lcd.print("Asesor");  
lcd.setCursor(1, 3);  
lcd.print(" Eduardo Vazquez");  
delay(3000);  
lcd.clear();  
lcd.begin(20, 4);  
lcd.setCursor(4, 1);  
lcd.print("inicializando");  
lcd.setCursor(9, 2);  
lcd.print("el");  
lcd.setCursor(4, 3);  
lcd.print("sistema ...");  
delay(3000);  
lcd.clear();  
leido = analogRead(A3);//sensor pared  
leer = analogRead(A1);//sensor ambiente  
//inter = (4.9 / 1023.0) * (1000.0 * leido);  
inter = (leido * 5000.0) / 1023;  
//valor = (4.5 / 1023.0) * (1000.0 * leer);  
valor = (leer * 5000.0) / 1023;  
grados = inter / 10.0;  
ambiente = valor / 10.0;  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.setCursor(4, 0);  
lcd.print("Info. inicial");  
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print("Temp interna ");
lcd.print(ktc.readCelsius());
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Temp pared ");
lcd.print(grados);
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Temp amb ");
lcd.print(ambiente);
delay(5000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print("MENU");
lcd.setCursor(2, 2);
lcd.print("Calculo Aislante");
delay(4000);
lcd.clear();
}
//
// Se inicia el loop de control
//
void loop()
{ // lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("(1) Q cilindro y");
  lcd.setCursor(0, 1);
```

```

lcd.print(" Conductividad K");

lcd.setCursor(0, 2);

lcd.print("(2) Capacidad C");

char key = keypad.getKey();

switch (key) {

  case '1' :

    //

    //DEterminacion del Flux de Calor

    //

    lcd.clear();

    lcd.begin(20, 4);

    while (ktc.readCelsius() <= 110.0 )

    {

      lcd.setCursor(4, 0);

      lcd.print("Calentamiento");

      lcd.setCursor(1, 1);

      lcd.print("temperatura interna");

      digitalWrite(resistencia, HIGH);

      lcd.setCursor(6, 2);

      lcd.print(ktc.readCelsius());

      lcd.print(" C");

      lcd.setCursor(0, 3);

      lcd.print(" pared externa ");

      leido = analogRead(A3);//sensor pared

      inter = (leido * 4000.0) / 1023;

      grados = inter / 10.0;

```

```

lcd.print(grados);

delay(2000);

}

//Desactivando resistencia

digitalWrite(resistencia, LOW);

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Determinando Flux");

intensidad = potencia / voltaje;

flux = voltaje * intensidad * 0.24;

t1 = ktc.readCelsius();

leido = analogRead(A3);

inter = (4.9 / 1023.0) * (1000.0 * leido);

t2 = inter / 10.0;

k = (flux / (2.0 * pi * longitud * (t1 - t2))) * 2.3 * log10(radio_2 / radio_1);

fluxQ = k * ((2.0 * pi * longitud * (t1 - t2)) / (2.3 * log10(radio_2 / radio_1)));

delay(1000);

lcd.clear();

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Conductividad Ais K");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(k);

lcd.print(" Cal/seg.m.C");

lcd.setCursor(0, 2);

lcd.print("Flux Cilindro");

lcd.setCursor(0, 3);

```

```

lcd.print(fluxQ);

lcd.print(" Cal/seg");

delay(15000);

break;

case '2' :

//

//Determinacion de la Capacidad Calorifica

//

{

lcd.clear();

lcd.begin(20, 4);

intensidad = potencia / voltaje;

flux = voltaje * intensidad * 0.24;

leido = analogRead(A3);//sensor pared

leer = analogRead(A1);//sensor ambiente

inter = (4.9 / 1023) * (1000 * leido);

valor = (4.9 / 1023) * (1000 * leer);

grados = inter / 10.0;

ambiente = valor / 10.0;

float calor = flux / (ktc.readCelsius() - ambiente);

lcd.setCursor(5, 0);

lcd.print("Capacidad C");

lcd.setCursor(4, 2);

lcd.print(calor);

lcd.print(" Cal/C");

```

```

delay(15000);

lcd.clear();

break;

}

}

}

```

4.3.1 Variables

Las variables medibles son las que el sistema determina mediante los sensores de temperatura, siendo la temperatura interna mediante el sensor termopar tipo K, la temperatura de la pared y la ambiente dadas por los sensores LM35.

Mediante los cálculos siguientes se realiza la programación en el software de Arduino, designando a cada variable como se muestra a continuación:

El flujo de calor a través de un tubo cilíndrico es:

$$Q = K \frac{2\pi L (t_1 - t_2)}{2,3lg \frac{r_2}{r_1}}$$

donde: K=conductividad térmica;
L= longitud del aislante;
r₂=radio externo del aislante;
r₁=radio interno del aislante;
t₂=temperatura externa del aislante;
t₁= temperatura interna del aislante.

Despejando el valor de K:

$$K = \frac{Q}{2\pi L (t_1 - t_2)} 2,3lg \frac{r_2}{r_1}$$

La conductividad térmica del aislante K, es la variable de interés.

4.3.2 Pruebas experimentales

Las pruebas experimentales consisten en poner en marcha la unidad experimental con el aislante y corroborar que los sensores den lecturas coherentes lo cual indica un correcto funcionamiento de los mismos.

Al elegir las opciones del menú el sistema no debe tardar en dar valores, los cuales pueden ser contrastados con información externa de literatura para saber que los cálculos y los valores tomados de los sensores son correctos.

También es importante observar en las pruebas experimentales el comportamiento de toda la unidad, en cuanto el calor que empieza a emitir el tubo interno junto con la lectura del termopar tipo K. ya que es el primero en reconocer la transferencia de calor emitida por la resistencia.

Observar que la ejecución desplegada en el display LCD sea correspondiente a lo programado en el software.



Fig. 37 Despliegue de prueba experimental

CAPITULO V

Capítulo 5. Resultados

Los resultados constan de los valores dados por el sistema en operación y estos son correctos en contraste con la literatura y software programado.

El resultado de la conductividad térmica del aislante K de la lana mineral de roca es 0.034 W/mk , $0.008126 \text{ Cal/seg m } ^\circ\text{C}$

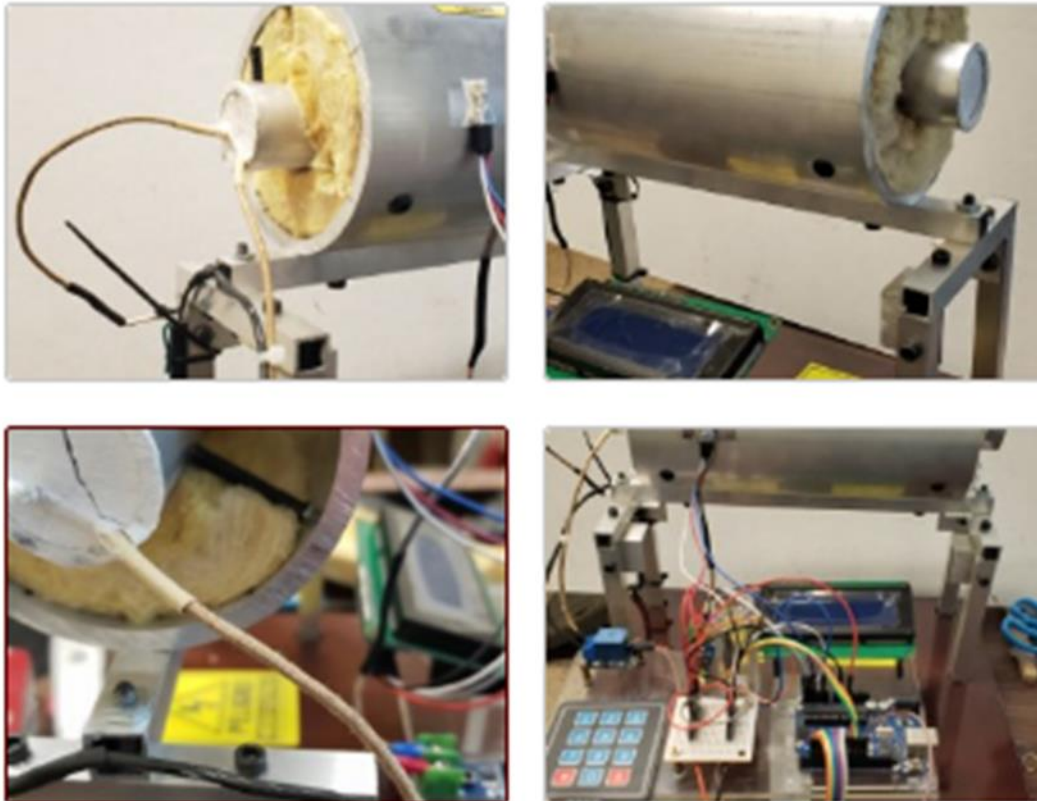


Fig. 38, 39, 40 y 41 Unidad experimental en funcionamiento con aislante de lana mineral de roca

5.1 Análisis de resultados

Al ser conectada la unidad experimental a la corriente eléctrica, el display muestra la información de los sensores de temperatura, el termopar tipo K con un paulatino incremento en la temperatura, siendo constante el sensor LM35 de la pared externa y el sensor LM35 que muestra temperatura ambiente.

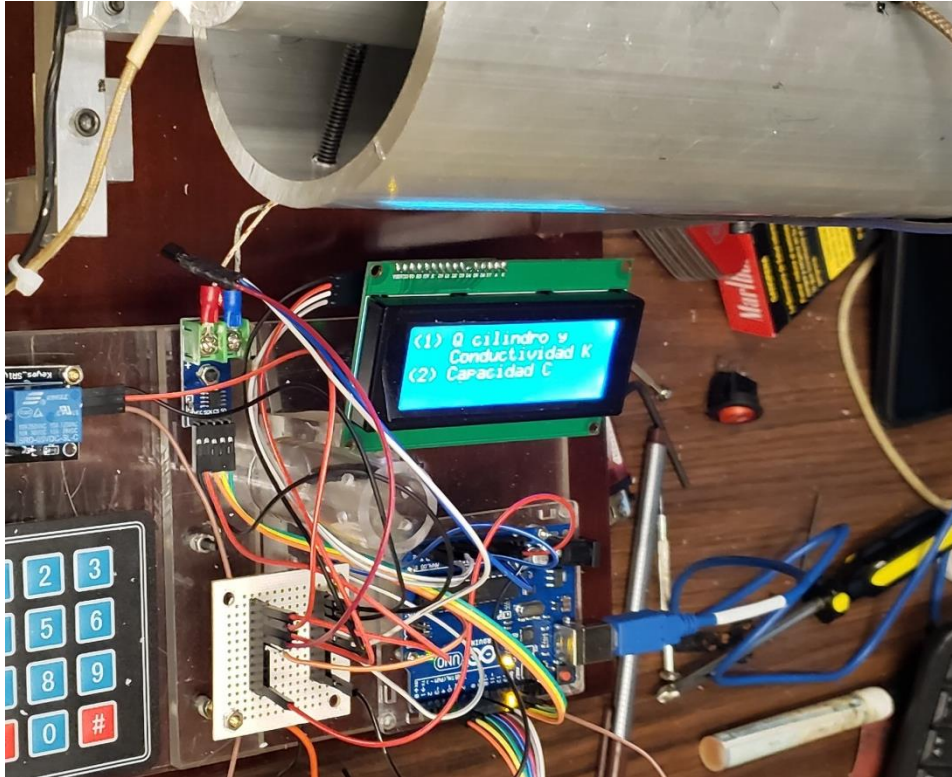


Fig. 42 Display LCD con el menú de opciones

Con poco tiempo se ve un incremento en la temperatura registrada por el termopar tipo K que llega a no más de 100°C, debido al límite programado para que entrara en funcionamiento el relevador y no permitiera el calentamiento mayor o igual a 100°C.

CAPITULO VI

Capítulo 6. Conclusiones

Resulta complicado el control de un sistema experimental por las variables que no se consideran y pueden ser factores importantes en el desempeño del mismo, sin embargo no es el caso en ésta unidad experimental, las variables no consideradas no afectan de forma directa los resultados.

La unidad experimental cumple con la finalidad de dar valores para la determinación de aislantes óptimos.

Su funcionamiento es ideal para poder operarlo con seguridad y sin riesgos que puedan dañar al usuario.

En el aspecto académico es una unidad que aporta la comprensión tangible de varios conceptos de Ingeniería Química e inclusive en otras disciplinas.

Cabe mencionar la posibilidad de que también se puede modificar para futuros proyectos, ya que es reprogramable y sus componentes pueden ser intercambiables.

Los valores que determina la unidad experimental son confiables porque al ser contrastados con valores reportados en literatura estos no presentan gran diferencia.

Bibliografía

Transferencia de Calor y Masa. YUNUS A. ÇENGEL. University of Nevada, Reno. McGraw Hill.

Transferencia de calor, Holman, Editorial McGraw Hill, México 1989.

Procesos de transferencia de calor, Kern, Editorial Interamericana, México 1988.

Manual del ingeniero Químico, Perry, Editorial McGraw Hill, México 1991.

<https://www.arduino.cc/>