



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



DISEÑO DE UN CALENTADOR ELÉCTRICO CON
MECANISMO DE ENCENDIDO AUTOMÁTICO POR FLUJO
DE AGUA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ANGEL ENRIQUE QUIÑONEZ TERRAZAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

La presente tesis va dedicado especialmente a mi padre, el Sr. Enrique Quiñonez Acero, la persona más admirable que he conocido, la persona que me enseñó que con humildad se puede llegar muy lejos.

Mi padre siempre ha sido, es y será el motivo de mi vida.

Podría escribir mil cosas buenas acerca de mi padre, mil cosas que quisiera decirle, pero en esta ocasión solo quiero agradecerte por todo lo que me has enseñado, muchas gracias Enrique Quiñonez Acero.

Siempre creíste en mí y hoy puedo decir que lo logramos, he culminado esta etapa y seguiré adelante por ti.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por permitirme llegar hasta esta etapa de mi formación profesional. A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por alojarme en sus aulas por todo el periodo que estuve formándome como profesional.

Agradecer también a mi familia, que siempre estuvieron apoyándome en todo sentido.

Y amigos y muchas personas allegadas que han estado apoyándome en el transcurso de mi vida, muchas gracias a todos, estaré eternamente agradecido.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

- 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 14
- 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 15
- 1.3. IMPORTANCIA Y UTILIDAD DEL ESTUDIO..... 15
- 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 15
- 1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 16
- 1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 16

CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

- 2.1. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANTECEDENTES..... 17
- 2.2. DUCHA ELÉCTRICA PARA UN PUNTO DE SALIDA 17
- 2.3. CALENTADOR ELÉCTRICO CON TANQUE 19
- 2.4. CALENTADORES POR MEDIO DE COMBUSTIBLE O GAS 21
- 2.5. CALENTADORES SOLARES..... 22
- 2.6. CONCEPTOS TERMODINÁMICOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR... 23
 - 2.6.1. Temperatura 23
 - 2.6.2. Temperatura corporal..... 24
 - 2.6.3. Calor específico 25
 - 2.6.4. Calor..... 25
 - 2.6.5. Calor latente de un cambio de fase 26
 - 2.6.6. Energía interna 28
 - 2.6.7. Energía interna de un gas ideal 28
 - 2.6.8. Capacidad calorífica 29



| | | |
|--------|--|----|
| 2.6.9. | Transferencia de calor..... | 29 |
| 2.7. | CONCEPTOS ELÉCTRICOS..... | 42 |
| 2.7.1. | Ley de ohm | 42 |
| 2.7.2. | Resistencia eléctrica..... | 43 |
| 2.7.3. | Potencia eléctrica | 46 |
| 2.8. | CONCEPTOS ELECTRÓNICOS | 47 |
| 2.8.1. | Reed switch o interruptor lengüeta | 47 |
| 2.8.2. | Interruptor de palanca o toggle | 48 |
| 2.8.3. | Triac | 50 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | | |
|---------|--|----|
| 3.1. | TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 55 |
| 3.1.1. | Tipo de investigación..... | 55 |
| 3.1.2. | Diseño de investigación | 55 |
| 3.2. | CÁLCULO DE LA POTENCIA MÁXIMA Y RESISTENCIAS A UTILIZAR | 55 |
| 3.3. | CÁLCULO DEL CAUDAL DE SALIDA EN UN PUNTO | 56 |
| 3.4. | TEMPERATURA PROMEDIO DEL AGUA EN PUNO | 57 |
| 3.4.1. | Termómetro gm550e infrarrojo digital benetech 550°c | 57 |
| 3.5. | ELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS..... | 61 |
| 3.6. | DIÁMETRO DE FUNDA TUBULAR | 62 |
| 3.7. | VELOCIDAD DEL AGUA A LA ENTRADA | 63 |
| 3.8. | VELOCIDAD EN LA RECÁMARA DE CALENTAMIENTO | 63 |
| 3.9. | TEMPERATURA EN LA FUNDA TUBULAR | 64 |
| 3.10. | RESISTENCIA A UTILIZAR | 66 |
| 3.11. | DISTANCIA ÓPTIMA ENTRE LA RESISTENCIA Y LA RECÁMARA.... | 66 |
| 3.12. | ELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS RECÁMARAS DE CALENTAMIENTO | 68 |
| 3.12.1. | Masa de agua en la recámara | 68 |
| 3.12.2. | Calor que brindará las resistencias en un segundo | 69 |
| 3.12.3. | Cálculo de temperaturas del agua en las recámaras..... | 69 |
| 3.13. | MODELADO PROPUESTO | 76 |
| 3.14. | MECANISMO DE ENCENDIDO AUTOMÁTICO | 78 |
| 3.15. | MÁQUINA | 78 |



| | |
|---|-----------|
| 3.16. MECANISMO | 79 |
| 3.17. COSTO DE DISEÑO | 81 |
| 3.17.1. Costo de materiales para el diseño del calentador | 81 |
| 3.17.2. Costo de manufactura | 81 |
| 3.17.3. Costo de fabricación | 81 |
| 3.17.4. Costo de imprevistos..... | 82 |
| 3.17.5. Costo final..... | 82 |
| 3.18. TRIACS | 82 |
| 3.19. INTERRUPTOR TOGGLE..... | 83 |
| 3.20. INTERRUPTOR DE LENGÜETA | 83 |
| CAPÍTULO IV | |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | |
| 4.1. Cuadro comparativo entre una terma convencional de tanque y calentador eléctrico con encendido automático | 85 |
| 4.2. Cuadro comparativo entre una terma solar y calentador eléctrico con encendido automático | 86 |
| 4.3. Cuadro comparativo entre una ducha lorenzetti y calentador eléctrico con encendido automático | 86 |
| 4.4. Cuadro comparativo entre precios promedios de sistemas de calentamiento de agua convencionales y el calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua | 87 |
| V. CONCLUSIONES..... | 88 |
| VI. RECOMENDACIONES | 89 |
| VII. REFERENCIAS..... | 90 |
| ANEXOS..... | 92 |

Área: Ingeniería Mecánica

Tema: Diseño de calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de diciembre de 2020



INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Ducha eléctrica Lorenzetti | 18 |
| Figura 2: Termotanque | 20 |
| Figura 3: Termotanque | 20 |
| Figura 4: Calentador de agua a gas..... | 21 |
| Figura 5: Calentador solar | 23 |
| Figura 6: Temperatura | 24 |
| Figura 7: Principio cero de la Termodinámica | 26 |
| Figura 8: Cambios de Fase | 27 |
| Figura 9: Energía Interna de un ciclo | 28 |
| Figura 10: Distancias y ángulos que intervienen en las ecuaciones | 32 |
| Figura 11: El gradiente de temperatura dt/dx | 33 |
| Figura 12: El vector de transferencia de calor siempre es normal a una superficie isotérmica..... | 34 |
| Figura 13: Elemento rectangular de volumen | 35 |
| Figura 14: Elemento diferencial de volumen en coordenadas cilíndricas | 37 |
| Figura 15: Elemento diferencial de volumen en coordenadas esféricas..... | 38 |
| Figura 16: Transferencia de calor en condiciones estacionarias..... | 40 |
| Figura 17: Partes de una resistencia de inmersión..... | 44 |
| Figura 18: Interruptor de lengüeta | 47 |
| Figura 19: Interruptor de palanca o toggle | 49 |
| Figura 20: Como actúa el triac | 51 |
| Figura 21: Triac | 52 |
| Figura 22: infrarrojo GM550E | 57 |
| Figura 23: Funciones del Termómetro infrarrojo GM550E | 58 |
| Figura 24: Gráfico de comportamiento de T_s con respecto a “h” | 65 |
| Figura 25: Resistencia de inmersión “U” con doble vuelta..... | 68 |
| Figura 26: Conductividad térmica de algunos metales..... | 72 |
| Figura 27: Costo de los metales..... | 73 |
| Figura 28: Diseño recamaras de calentamiento | 73 |
| Figura 29: Vistas recamaras de calentamiento | 74 |
| Figura 30: Vistas de adaptador | 75 |
| Figura 31: Conexión propuesta | 76 |



| | |
|--|----|
| Figura 32: Conexión del triac | 77 |
| Figura 33: Partes de palanca toggle | 77 |
| Figura 34: Posición del reed switch o interruptor de lengüeta | 79 |
| Figura 35: Precio de triacs | 82 |
| Figura 36: Precio de interruptor toggle..... | 83 |
| Figura 37: Interruptor de lengüeta | 84 |
| Figura 38: Características del interruptor de lengüeta..... | 84 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla N° 1: Tabla de caudales | 56 |
| Tabla N° 2: Tabla de temperaturas del año 2017 | 59 |
| Tabla N° 3: Tabla de temperaturas del año 2018 | 60 |
| Tabla N° 4: Resistencias con tapón de acoplamiento en latón, forma “U” con doble vuelta | 61 |
| Tabla N° 5: Modelos normalizados, forma “U” con doble vuelta..... | 62 |
| Tabla N° 6: Valores críticos de Ts..... | 65 |
| Tabla N° 7: Distancia mínima óptima entre recámara y resistencia..... | 67 |
| Tabla N° 8: Costo de materiales para el diseño de calentador | 80 |
| Tabla N° 9: Costos de manufactura | 81 |
| Tabla N° 10: Comparación entre terma convencional y calentador eléctrico con encendido automático | 85 |
| Tabla N° 11: Comparación entre terma solar y calentador eléctrico con encendido automático..... | 86 |
| Tabla N° 12: Compración entre duchan lorenzetti y calentador eléctrico con encendido automático..... | 86 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|--------------------|--|
| ρ | : Resistividad |
| R | : Resistencia |
| $^{\circ}\text{C}$ | : Grados Celsius |
| Cal | : calorías |
| J | : Joule |
| V | : voltios |
| A | : Amperios |
| W | : watts |
| L | : Longitud |
| S | : Sección |
| Cm | : centímetro |
| “ | : pulgadas |
| LPM | : litros por minuto |
| I | : Corriente |
| P | : Potencia |
| D | : Diámetro de rosca |
| D_{RES} | : Diámetro de resistencia |
| Q | : Caudal |
| V_{E} | : Velocidad del agua a la entrada |
| A_{E} | : Área a la entrada del calentador |
| T_{∞} | : Temperatura de operación |
| T_{S} | : Temperatura en la superficie |
| E_{gen} | : Generación de calor |
| r | : Radio de la resistencia |
| r_0 | : Distancia entre resistencia y recamara |
| h | : Constante de convección forzada |
| k | : Conductividad térmica |
| T_{max} | : Temperatura máxima |



RESUMEN

El presente proyecto de investigación logró demostrar que el calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua alcanzó una buena comparación costo-beneficio con respecto a los sistemas convencionales del mismo tipo. Con un costo de seiscientos noventa soles con noventa céntimos como costo total de fabricación, hace que un ingreso al mercado como sistema de calentamiento de agua sea muy comercial. Se usó para el diseño dos resistencias de inmersión, resistencias apropiadas para el contacto con fluidos, aparte de triacs e interruptores como principales componentes del calentador eléctrico, como sistema cubre las necesidades de cualquier usuario al tener un control de temperatura. Con un tipo de investigación pre experimental se obtuvo resultados numéricos confiables, se comparó beneficios con otros sistemas que cumplen la misma función y se demostró que en una relación costo-beneficio sacó ventajas frente a otros sistemas. Se logró cumplir con los objetivos propuestos en cuanto a diseño y además se demostró que el sistema diseñado puede ser repotenciado para cubrir las necesidades de otras poblaciones que tienen una temperatura de agua inferior a la temperatura promedio de la ciudad de Puno. Al ser un sistema donde las resistencias están contacto directo con el fluido de trabajo, el fluido alcanza temperaturas mayores y se demostró que el sistema puede abastecer varios puntos de salida del fluido mientras que otros sistemas solo abastecen puntos de duchas.

Palabras Clave: Resistencias de inmersión, calentador eléctrico, encendido automático, mecanismo automático



ABSTRACT

The present research project succeeded in showing that the electric heater with automatic water flow ignition mechanism achieved a good cost-benefit comparison with respect to conventional systems of the same type. At a cost of six hundred and ninety soles and ninety cents as a total manufacturing cost, it makes entering the market as a water heating system very commercial. Two immersion resistors were used for the design, appropriate resistors for contact with fluids, apart from triacs and switches as the main components of the electric heater, as a system that covers the needs of any user by having a temperature control. With a type of pre-experimental research, reliable numerical results were obtained, benefits were compared with other systems that fulfill the same function and it was shown that in a cost-benefit relation it obtained advantages over other systems. It was possible to meet the proposed objectives in terms of design and it was also demonstrated that the designed system can be repowered to meet the needs of other populations that have a water temperature lower than the average temperature of the city of Puno. Being a system where the resistances are in direct contact with the working fluid, the fluid reaches higher temperatures and it was shown that the system can supply several fluid outlet points while other systems only supply shower points.

Keywords: automatic mechanism; immersion heaters; electric heater; automatic ignition



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los calentadores con temporizadores en la actualidad tienen una demanda muy alta lo cual es un tema muy interesante en estos días debido a las diversas compañías nivel mundial relacionadas con el ahorro de agua y energía.

Actualmente, en nuestro medio los calentadores de agua no tienen un control en la temperatura del agua y peor aún, para el uso de un calentador de agua es necesaria una acción física, por ejemplo, si nosotros queremos ducharnos y deseamos hacerlo con agua caliente o a una temperatura adecuada pues debemos accionar el interruptor termomagnético antes de entrar a la ducha y al finalizar debemos volver el interruptor termomagnético al mismo lugar donde lo encontramos; esto sucede con los calentadores de agua instantáneos, pues si damos un ejemplo de un calentador de acumulación de agua (termas de tanque), en este caso debemos encender o accionar el interruptor termomagnético un determinado tiempo antes de entrar a la ducha puesto que como es un calentador no tan potente, demorará mucho tiempo en calentar una cantidad determinada de agua. Suele usarse timers para evitar estar accionando el interruptor termomagnético, lo que se hace con el timer o temporizador es programarlo para que empiece a calentar el agua antes de que usemos el agua caliente.

Así, los calentadores de almacenamiento de agua están diseñados para calentar el agua de acuerdo al volumen almacenado en el tanque de la terma, lo cual, en la mayoría de veces no es suficiente para la cantidad de agua que el usuario pretende utilizar en determinado momento. Incluso, en el caso de que el usuario requiera el uso continuo de agua caliente, existen dos problemas con estos sistemas. El primero radica en que van a haber lapsos de tiempo en los cuales el agua no está disponible, ya que el tanque, una vez agotado, vuelve a llenarse y a calentar el agua nuevamente el agua, lo cual podría demorar de una a dos horas en promedio, dependiendo de la capacidad de almacenamiento del tanque de la terma. A mayor volumen, se necesita un mayor tiempo de espera para calentar el agua. El segundo radica en que si el volumen del tanque de almacenamiento está acorde a la demanda continua del usuario, el calentador del sistema va a tener que estar funcionando por ese lapso de tiempo, debido a que el agua puede disminuir su temperatura al estar en contacto con el medio ambiente.



Por esta razón, el presente documento de tesis da énfasis en el diseño de un mecanismo que permita que no sea necesario estar manipulando el interruptor termomagnético, es decir que el calentador eléctrico este en todo momento energizado más no encendido. A donde se quiere llegar es que el calentador eléctrico solo se encienda cuando el usuario desee agua caliente, para poder llegar a eso, debemos diseñar el mecanismo de encendido automático por flujo de agua.

Inicialmente se dará a conocer los diferentes tipos y modelos de calentadores de agua que existen en la actualidad, así también se hará una comparación entre los calentadores de agua más usados en la región y país, en un breve ejemplo definiremos calentadores como:

- CALENTADORES SOLARES
- CALENTADORES ELÉCTRICOS
- CALENTADORES A GAS

También así se buscará los diferentes tipos y modelos de resistencias que se debe usar para poder lograr la temperatura adecuada.

Se empezará con la obtención fórmulas para el diseño, se buscará un material adecuado para las paredes del calentador de agua, un material que resista el agua en su mayor temperatura, para eso debemos escoger un metal con características que permitan el perfecto funcionamiento.

Para la elección del material tomaremos en cuenta las propiedades del metal como: tenacidad, fragilidad, forjabilidad, soldabilidad, oxidación, etc.

Las resistencias de inmersión, son resistencias adecuadas para calentadores de agua, pues calientan el agua en contacto con ella; le temperatura del agua proveniente de un calentador es difícil de controlar, pero será un poco más sencillo cuando a las resistencias de inmersión se le conecte un switch o un interruptor de encendido y apagado, es así como tendremos control sobre las resistencias que actúen.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad en los hogares de la región de Puno, se cuenta con redes de calentamiento de agua mediante sistemas de convencionales que a evaluación de costo



efectividad, causan en el usuario mayores costos tanto de energía como de agua para la obtención de agua caliente en duchas.

El método clásico de calefacción se utiliza las bombas Lorencety, que proveen un sistema de calentamiento de agua tardío y bajo en efectividad, además de requerir manipulación directa del usuario para regulación de la temperatura del flujo de agua.

Siendo este un método tardío y de necesaria intervención del usuario en su regulación es que se plantea lo siguiente; diseñar un calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Diseñar un calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua.

1.3. IMPORTANCIA Y UTILIDAD DEL ESTUDIO

El diseño obtenido tras el estudio nos permitió conocer que el mecanismo de encendido automático por flujo de agua disminuye costos de energía, tanto eléctricos como hidráulicos.

Por otro lado, la presentación del diseño permite a futuros investigadores la fabricación del calentador eléctrico, teniendo como principal usuario a familias de la región trayendo a sus hogares el ahorro antes mencionado, siendo también motivo para que la región inicie con la utilización y adecuación de nuevos sistemas de flujo de agua caliente aun no masificados en nuestra región.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación pretende realizar el diseño de un calentador eléctrico con un mecanismo de encendido automático pues considerando los sistemas actuales de calentamiento de agua, se propone un nuevo sistema más efectivo y accesible a la población usuaria.

Entendiendo que los recursos económicos son de suma importancia para los consumidores, con fines de beneficiar básicamente a la población usuaria y teniendo en cuenta que en estos tiempos hay una problemática que aqueja a la humanidad; como es el ahorro de agua. Para llegar a este fin primeramente usaremos resistencias de inmersión que son resistencias adecuadas para calentadores de agua, segundo idearemos un



mecanismo de encendido automático para así poder utilizar agua caliente pero más importante, sin desperdiciarla e incluso ahorrando energía y eso lo notará el usuario al ver los recibos de consumo. Entonces debemos ver primeramente las desventajas de cada sistema de calentamiento de agua para así poder subsanar y mejorar con un nuevo calentador de agua todas las fallas y deficiencias que podamos encontrar. También se pretende modernizar la región, abriendo paso a las tuberías o redes de agua caliente, que actualmente muy pocas o ninguna construcción tiene en la región de Puno. Puesto que este sistema permitirá no solo calentar un punto como es la ducha, sino más bien podrá abastecer todos los puntos de salida de agua que se tiene en el domicilio. Puesto el incremento actual de los servicios de energía eléctrica y servicios de agua potable es que se procede con su viabilidad.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un calentador eléctrico con un mecanismo de encendido automático por flujo de agua.

1.5.2. Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos del sistema, entendiendo las necesidades propias de la implementación (usuario final).
- Entender las variables a controlar.
- Calcular el calor máximo que puede brindar las resistencias de inmersión a usar.

1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua disminuirá costos de consumo y mejora de zona de confort del usuario.



CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANTECEDENTES

Actualmente existen, muchas tecnologías que nos permite elevar la temperatura de un fluido en este caso del agua. Si clasificaríamos los calentadores de agua por tiempo de calentamiento del agua, pues serían de dos tipos.

Por un lado, tenemos los calentadores de almacenamiento; estos calentadores acumulan el agua en un tanque, por ende, calientan una determinada cantidad de agua en un determinado tiempo, pero, calientan toda el agua que se llena en el recipiente lo cual gasta más energía que cualquier otro sistema y también desperdicia el agua que no es usado, tampoco tiene un sistema de abastecimiento en caso se necesite mucha más agua de lo que se caliente. En otras palabras, es un sistema limitado.

Por otro lado, tenemos los calentadores de agua instantáneos o también llamados calentadores de agua sin terma; estos se caracterizan por aumentar la temperatura del agua conforme va circulando por una tubería y lo hacen de manera casi instantánea pero aún no existen sistemas que puedan la temperatura, es decir, este sistema tiene como déficit la temperatura variable en la salida.

Es ahí donde apunta este proyecto, tener más control en la temperatura y ser un sistema independiente del encendido manual.

En ambos casos, el agua recibe energía para poder elevar su temperatura. Entre los diversos métodos para lograr este fenómeno termodinámico, se pueden mencionar los siguientes:

2.2. DUCHA ELÉCTRICA PARA UN PUNTO DE SALIDA

La ducha eléctrica es un tipo de calentador instantáneo que se coloca en el punto donde se requiere el agua caliente, su accionamiento es automático, al circular el agua una membrana desplaza dos contactos que se unen con los contactos de la línea eléctrica, cerrándose el circuito que activa una o varias resistencias eléctricas para el calentamiento del agua, dependiendo del modelo de ducha la potencia de consumo varía entre los 3000

W a 5500 W, generalmente poseen un interruptor de control de tres posiciones para proveer de agua fría, tibia o caliente.

La selección de la ducha adecuada depende del clima y de la cantidad de agua a calentar, la temperatura deseada se regula abriendo o cerrando el grifo, a menor caudal mayor temperatura.

Se puede colocar una ducha eléctrica sobre la bañera o en una cabina de ducha. Pero cuando decida dónde colocarlo, asegúrese de que haya espacio suficiente para retirar la cubierta en caso de que necesite reparación en el futuro.

La tubería de suministro de agua podría entrar desde la parte superior o inferior dependiendo del tipo de unidad, por lo tanto, asegúrese de tener la cantidad correcta de cable que sale de la pared para conectarse al bloque de terminales.

Estas duchas eléctricas son utilizadas solo para un punto de salida de agua, es decir, para una ducha, un caño, una manguera, etc. La temperatura de salida es variable ya que no se tiene termostatos para corregir el tema de temperatura y no tiene una conexión de puesta a tierra definida por lo cual se vuelve un sistema inseguro.



Figura 1: Ducha eléctrica Lorenzetti

Fuente: (<http://www.electricasas.com/electricidad/como-instalar-una-ducha-electrica>)



2.3. CALENTADOR ELÉCTRICO CON TANQUE

Un calentador de agua, o calentador de lava, calefón, caldera o boiler es un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua. Entre los usos domésticos y comerciales del agua caliente están la limpieza, las duchas, para cocinar o la calefacción. A nivel industrial los usos son muy variados tanto para el agua caliente como para el vapor de agua. Entre los combustibles utilizados se encuentran el gas natural, gas propano, queroseno y el carbón, aunque cada día se usa más la electricidad, la energía solar, bombas de calor de refrigeradores o de acondicionadores de aire, calor reciclado de aguas residuales y hasta energía geotérmica.

En el caso de las aguas calentadas con energías alternativas o recicladas, éstas usualmente se combinan con energías tradicionales.

Estos calentadores pueden trabajar con gas, electricidad, etc. Existen calentadores de diferentes capacidades, es por eso que para adquirir este sistema se calcula cuanto de agua se necesitará en determinado tiempo del día, puesto que un determinado tiempo en calentar todo el volumen del agua.

Son en estos calentadores donde se tiene mayor pérdida de energía ya que calientan toda el agua que está en el tanque y no siempre se utiliza todo.

Tampoco siempre se utiliza toda el agua que se calienta, entonces hay una pérdida considerable es este sistema. Suelen instalarse junto con este sistema los temporizadores o timers.

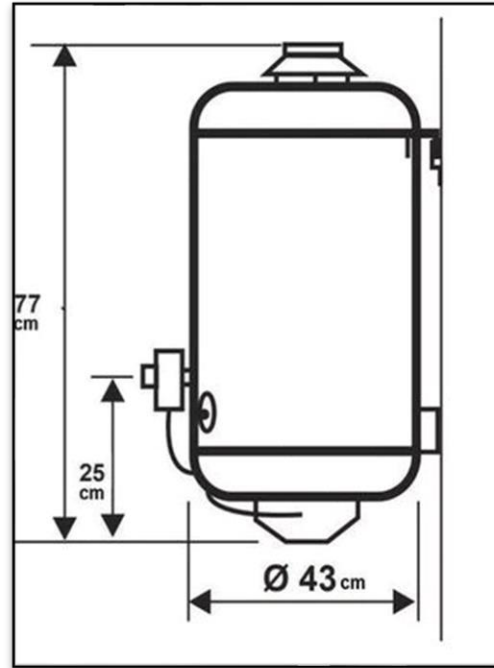


Figura 2: Termotanque
. Elaboración Propia



Figura 3: Termotanque

Fuente: [https://mte.calefaccion.com.ar/productos/termotanque-ecotermo-gas-linea-europea-le-51-c-inf/](https://mte calefaccion.com.ar/productos/termotanque-ecotermo-gas-linea-europea-le-51-c-inf/)

2.4. CALENTADORES POR MEDIO DE COMBUSTIBLE O GAS

Uno de los tipos de calentadores que existen son los calentadores de agua a gas. Es uno de los más utilizados, gracias a su consumo controlado y efectivo. El funcionamiento del calentador de gas es muy sencillo. Se trata de una serie de fogones que se colocan de manera estratégica en el interior del calentador. Estos fogones calientan unas tuberías por la que circula el agua. De esta manera el agua va calentando gradualmente, hasta alcanzar una temperatura que puedes controlar gracias a unos mandos.

Este tipo de calentador no calienta desde el primer segundo. El agua, cuando sale del grifo está fría, pero, al dejarla correr un rato, comienza a calentarse. En ese momento ya dispones de agua caliente. Además, se sigue calentando con el calor residual de las tuberías.

Así que, si lo apagas y abres el grifo del agua caliente, tendrás unos minutos extra. Cuando no se utiliza, el calentador con gas butano mantiene encendida una pequeña llama piloto, dispuesta a calentar el agua cuando sea necesario. El agua sale caliente al poco rato y no gasta energía de más. Sólo la calienta al momento, para que se disponga de ella cuando se necesite.

Esta característica permite que puedas controlar el consumo de este calentador de gas, ya que solo se emplea en momentos puntuales. Mientras tanto, puede estar apagado.



Figura 4: Calentador de agua a gas

Fuente: (<https://www.hogarsense.es/agua-caliente/tipos-de-calentadores#diferencias>)

2.5. CALENTADORES SOLARES

El sol aporta anualmente, para la atmosfera terrestre, 1.5×10^{18} KWh de energía. Se trata de un valor considerable, correspondiente a 10000 veces más el consumo mundial de energía en este periodo.

Este hecho indica que, además de ser el responsable por el sustento de la vida en la tierra, la radiación solar constituye una fuente inagotable de energía, habiendo un enorme potencial de utilización por medio de captadores y conversores en otra forma de energía (térmica, eléctrica, etc), para calentamiento de fluidos y ambientes, así como para la generación de potencia mecánica o eléctrica. También puede ser convertida directamente en energía eléctrica, por medio de los efectos sobre determinados materiales, entre los que se destacan el termoeléctrico y el fotovoltaico.

Actualmente, la energía solar es ampliamente utilizada para el calentamiento de agua sanitaria en residencias, hoteles, industrias y otros, para lo cual se utilizan los llamados colectores solares, que es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica, existen varios tipos de estos colectores como los placa plana utilizados preferentemente para residencias, los tubos de vacío usados tanto para residencias como a nivel industrial y otros capaces de producir mayores temperaturas como son los colectores de concentración.

El Calentador Solar de agua es una unidad típica de calefacción solar (gratuita y abundante) formada por paneles montados en el techo. En este caso se utilizan unos colectores o captosres solares que producen el efecto invernadero en el colector, que fluye por los tubos, con lo que proporciona agua caliente a la ducha.

Este calentador solar de agua es un conjunto de accesorios (tuberías, tanque metálico, tanque de plástico, vidrio y soporte de madera) que permite calentar el agua hasta una temperatura de 60 a 74°C utilizando energía solar, una alternativa para las familias de alta montaña, quienes viven en zonas rurales aisladas. Con el uso de esta tecnología no contaminan el ambiente ni corren peligro por accidentes causados por agua que hacen hervir para bañarse. Por la altitud en nuestras comunidades, el agua fresca es muy fría, lo que no favorece que se practiquen adecuadamente hábitos de higiene personal.

La ducha solar funciona mediante un principio muy simple: Sistemas de diferencia de densidad. Estos se aprovechan de que el agua caliente es más liviana que el frio y entonces

por su diferencia de peso empiece a flotar sobre el agua fría, generando una circulación natural en el circuito. Se trata de un sistema más simple que los sistemas con bomba.

Hay que tener una diferencia de altura, el tanque debe estar más elevado que el colector. La mayoría de sistemas tienen un colector de cobre o inoxidable que está en una caja bien aislada y tapada por un vidrio especial. Estos colectores son los más comunes y económicos.

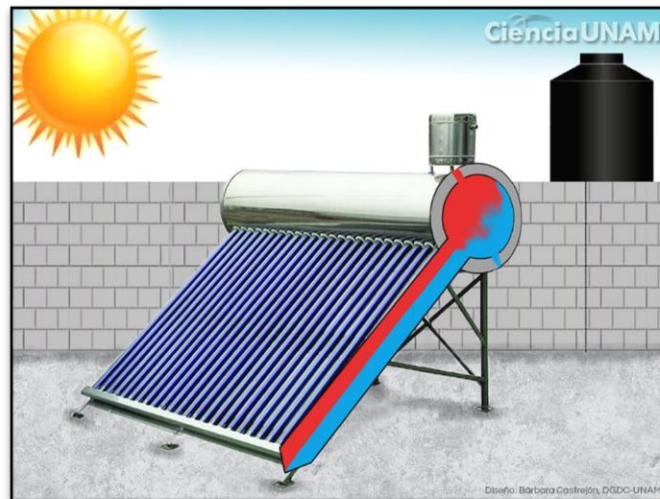


Figura 5: Calentador solar

Fuente: <http://ciencia.unam.mx/leer/768/del-boiler-de-lena-al-calentador-solar-una-opcion-sustentable>

2.6. CONCEPTOS TERMODINÁMICOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR

2.6.1. Temperatura

La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro.

Dicha energía interna se expresa en términos de calor y frío, siendo el primero asociado con una temperatura más alta, mientras que el frío se asocia con una temperatura más baja.

Las unidades de medida de temperatura son los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), los grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) y los grados Kelvin (K). El cero absoluto (0 K) corresponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$.

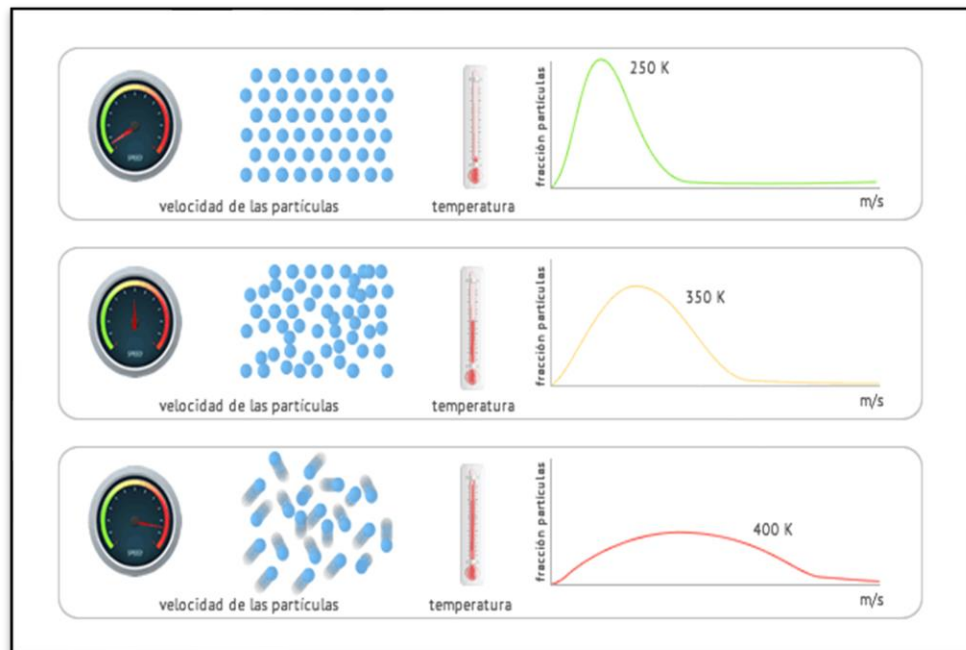


Figura 6: Temperatura

Fuente: (<https://www.fisicalab.com/apartado/temperatura>)

2.6.2. Temperatura corporal

La temperatura corporal se refiere al aumento o disminución de calor en un organismo. Y para controlar la temperatura, cada organismo tiene sus propios mecanismos de termorregulación, que son procesos biológicos que se activan para aumentar o disminuir la temperatura, y así adaptarse a las condiciones ambientales.

En los seres humanos, la temperatura corporal normal es de 37 grados. Para mantenerla, el organismo recurre a varios mecanismos de termorregulación entre los que destacan la vasodilatación (disminución de la temperatura cutánea) para aumentar o mantener el calor y la sudoración para bajarlo.

Un aumento de temperatura indica la presencia de fiebre, que actúa como una respuesta del organismo a una infección o trastorno de salud. Mientras que una disminución de la temperatura corporal normal puede indicar hipotermia, que se puede producir por una temperatura ambiente muy fría o como síntoma de una enfermedad



2.6.3. Calor específico

Cuando se le agrega energía a un sistema y no hay cambio en las energías cinética o potencial del sistema, por lo general la temperatura del sistema aumenta.

Si el sistema consiste en una muestra de una sustancia, se encuentra que la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de una masa determinada de la sustancia a cierta cantidad varía de una sustancia a otra.

El calor específico es la cantidad de calor que se necesita por unidad de masa para elevar la temperatura un grado Celsius. La relación entre calor y cambio de temperatura, se expresa normalmente en la forma que se muestra abajo, donde c es el calor específico. (Müller, 2002)

2.6.4. Calor

Se define como un tipo de energía que puede ser producto de reacciones químicas, reacciones nucleares, disipación electromagnética o por disipación mecánica. El calor puede ser transferido entre objetos por diferentes mecanismos, entre los cuales están la radiación, convección y conducción.

El calor (representado con la letra Q) es la energía transferida de un sistema a otro (o de un sistema a sus alrededores) debido en general a una diferencia de temperatura entre ellos.

El calor que absorbe o cede un sistema termodinámico depende normalmente del tipo de transformación que ha experimentado dicho sistema.

Dos o más cuerpos en contacto que se encuentran a distinta temperatura alcanzan, pasado un tiempo, el equilibrio térmico (misma temperatura).

Este hecho se conoce como Principio Cero de la Termodinámica, y se ilustra en la siguiente figura.

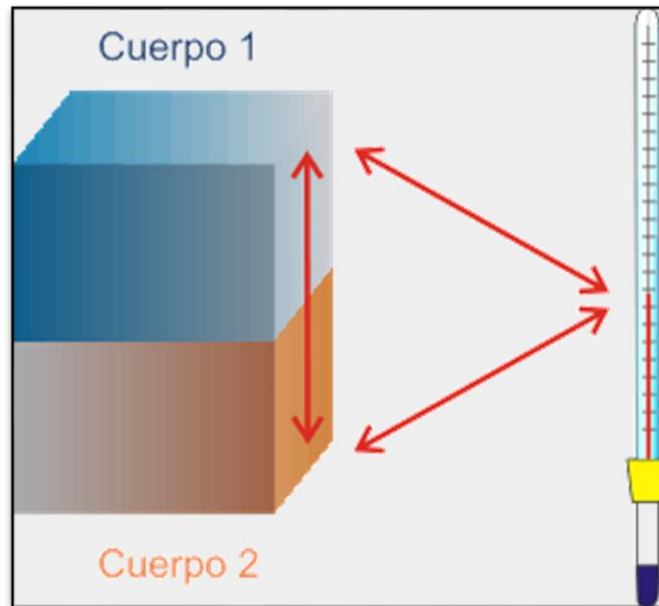


Figura 7: Principio cero de la Termodinámica

Fuente:(<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/calor.html>)

Un aspecto del calor que conviene resaltar es que los cuerpos no almacenan calor sino energía interna. El calor es por tanto la transferencia de parte de dicha energía interna de un sistema a otro, con la condición de que ambos estén a diferente temperatura. Sus unidades en el Sistema Internacional son los julios (J)

$$Q = V \cdot I \cdot T = P \cdot t$$

FORMULA 1. CANTIDAD DE CALOR

2.6.5. Calor latente de un cambio de fase

Cuando se produce un cambio de fase, la sustancia debe absorber o ceder una cierta cantidad de calor para que tenga lugar. Este calor será positivo (absorbido) cuando el cambio de fase se produce de izquierda a derecha en la figura, y negativo (cedido) cuando la transición de fase tiene lugar de derecha a izquierda.

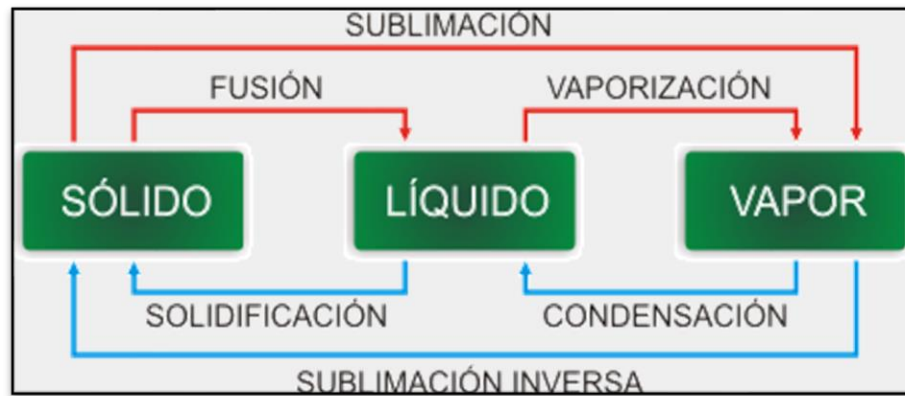


Figura 8: Cambios de Fase

Fuente: (<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/calor.html>)

El calor absorbido o cedido en un cambio de fase no se traduce en un cambio de temperatura, ya que la energía suministrada o extraída de la sustancia se emplea en cambiar el estado de agregación de la materia. Este calor se denomina calor latente.

Latente en latín quiere decir escondido, y se llama así porque, al no cambiar la temperatura durante el cambio de estado, a pesar de añadir calor, éste se quedaba escondido sin traducirse en un cambio de temperatura.

Calor latente (L) o calor de cambio de estado, es la energía absorbida o cedida por unidad de masa de sustancia al cambiar de estado. De sólido a líquido este calor se denomina calor latente de fusión, de líquido a vapor calor latente de vaporización y de sólido a vapor calor latente de sublimación.

El calor latente para los procesos inversos (representados en azul en la figura anterior) tienen el mismo valor en valor absoluto, pero serán negativos porque en este caso se trata de un calor cedido.

En el Sistema Internacional, el calor latente se mide en J/kg.

La cantidad de calor que absorbe o cede una cantidad m de sustancia para cambiar de fase viene dada por:

$$Q = mL$$

FORMULA 2. CALOR LATENTE

Este calor será positivo o negativo dependiendo del cambio de fase que haya tenido lugar.

2.6.6. Energía interna

La magnitud que designa la energía almacenada por un sistema de partículas se denomina energía interna (U). La energía interna es el resultado de la contribución de la energía cinética de las moléculas o átomos que lo constituyen, de sus energías de rotación, traslación y vibración, además de la energía potencial intermolecular debida a las fuerzas de tipo gravitatorio, electromagnético y nuclear.

La energía interna es una función de estado: su variación entre dos estados es independiente de la transformación que los conecte, sólo depende del estado inicial y del estado final

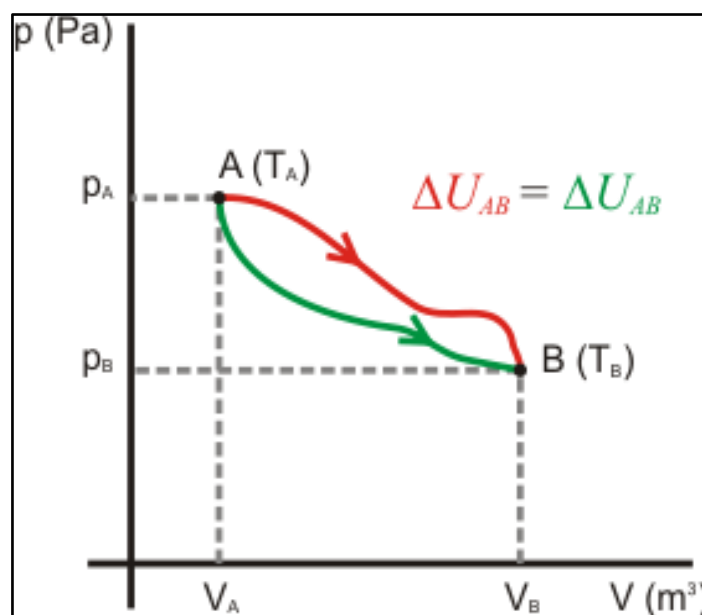


Figura 9: Energía Interna de un ciclo

Fuente: (<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/energiaint.html>)

2.6.7. Energía interna de un gas ideal

Para el caso de un gas ideal puede demostrarse que la energía interna depende exclusivamente de la temperatura, ya en un gas ideal se desprecia toda interacción entre las moléculas o átomos que lo constituyen, por lo que la energía interna es sólo energía

cinética, que depende sólo de la temperatura. Este hecho se conoce como la ley de Joule. (Faires, Wylen, & Cengel, 2012)

La variación de energía interna de un gas ideal (monoatómico o diatómico) entre dos estados A y B se calcula mediante la expresión:

$$\Delta U_{AB} = nc_v(T_B - T_A)$$

FORMULA 3. Variación de Energía Interna de un gas ideal

2.6.8. Capacidad calorífica

Se define como una propiedad extensiva, debido a que su magnitud depende no solo de la sustancia, sino también de la cantidad de materia del cuerpo o sistema involucrado. Se puede expresar mediante la siguiente:

$$C = Ce * m = \frac{Q}{\Delta T}$$

FORMULA 4. CAPACIDAD CALORÍFICA

2.6.9. Transferencia de calor

La termodinámica trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia a cuánto durará ese proceso. Pero en la ingeniería a menudo estamos interesados en la rapidez o razón de esa transferencia, la cual constituye el tema de la ciencia de la transferencia de calor.

En primer lugar, se presenta la relación entre el calor y otras formas de energía y también el balance de energía. A continuación, se presentan los tres mecanismos básicos de la transferencia de calor: la conducción, la convección y la radiación, y se discute la conductividad térmica.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes, menos energéticas, como resultado de la interacción entre



ellas. La convección es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que están en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y del movimiento del fluido.

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. (Ghajar, Cengel, & J., 2011)

2.6.9.1. Transferencia de calor en la ingeniería

El equipo de transferencia de calor —como los intercambiadores de calor, las calderas, los condensadores, los radiadores, los calentadores, los hornos, los refrigeradores y los colectores solares— está diseñado tomando en cuenta el análisis de la transferencia de calor.

Los problemas de esta ciencia que se encuentran en la práctica se pueden considerar en dos grupos: 1) de capacidad nominal y 2) de dimensionamiento. Los problemas de capacidad nominal tratan de la determinación de la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura.

Los problemas de dimensionamiento tratan con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura.

Un aparato o proceso de ingeniería puede estudiarse en forma experimental (realización de pruebas y toma de mediciones) o en forma analítica (mediante el análisis o la elaboración de cálculos).

El procedimiento experimental tiene la ventaja de que se trabaja con el sistema físico real, y la cantidad deseada se determina por medición, dentro de los límites del error experimental. Sin embargo, este procedimiento resulta caro, tardado y, con frecuencia, impráctico.

Además, el sistema que se esté analizando puede incluso no existir.

El procedimiento analítico (que incluye el procedimiento numérico) tiene la ventaja de que es rápido y barato, pero los resultados obtenidos están sujetos a la exactitud de las suposiciones, de las aproximaciones y de las idealizaciones establecidas en el análisis.



En los estudios de ingeniería, es frecuente que se logre un buen término medio al reducir los posibles diseños a unos cuantos, por medio del análisis, y verificando después en forma experimental los hallazgos (Ghajar, Cengel, & J., 2011).

2.6.9.2. Transferencia de calor por conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. 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 retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La fuerza impulsora para cualquier forma de transferencia de calor es la diferencia de temperatura, y entre mayor sea esa diferencia, mayor es la razón de la transferencia. En algunos problemas de transferencia de calor en ingeniería se requiere la determinación de la distribución de temperatura (la variación de la temperatura) de uno a otro lado del medio para calcular algunas cantidades de interés, como la razón local de transferencia de calor, la expansión térmica y el esfuerzo térmico, en algunos lugares críticos en momentos específicos. La especificación de la temperatura en un punto en un medio requiere en primer lugar la determinación de la ubicación de ese punto.

Esto se puede hacer al elegir un sistema adecuado de coordenadas, como las rectangulares, cilíndricas o esféricas, dependiendo de la configuración geométrica que intervenga, y un punto conveniente de referencia (el origen).

La ubicación de un punto se especifica como (x, y, z) , en coordenadas rectangulares, como (r, ϕ, z) , en coordenadas cilíndricas, y como (r, ϕ, θ) , en coordenadas esféricas, en donde las distancias x, y, z y r , y los ángulos ϕ y θ son como se muestran en la figura 7. Entonces, la temperatura en un punto (x, y, z) en el instante t , en coordenadas rectangulares, se expresa como $T(x, y, z, t)$. El mejor sistema de coordenadas para una configuración geométrica dada es la que describe mejor las superficies en dicha configuración

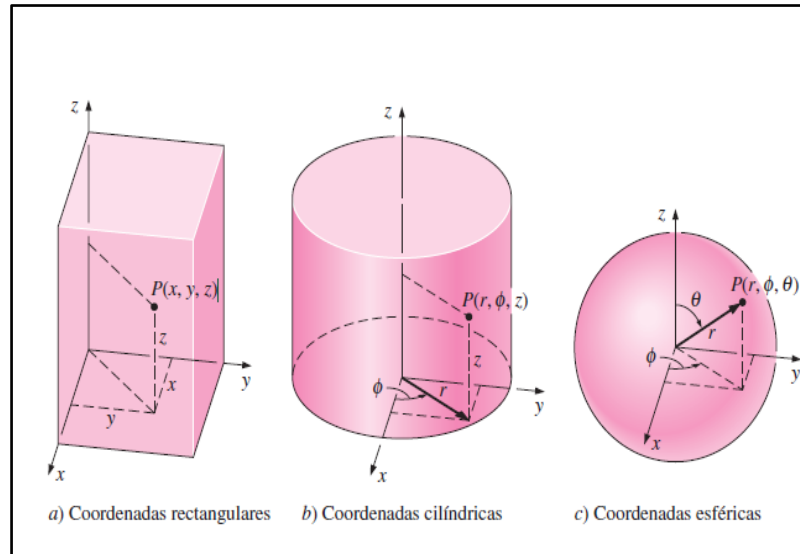


Figura 10: Distancias y ángulos que intervienen en las ecuaciones

Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

Los problemas de transferencia de calor también se clasifican como unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales, dependiendo de las magnitudes relativas de las razones de transferencia en las diferentes direcciones y del nivel de exactitud deseado. En el caso más general la transferencia de calor a través de un medio es tridimensional. Es decir, la temperatura varía a lo largo de las tres direcciones primarias dentro del medio durante el proceso de transferencia de calor. En este caso general, la distribución de temperatura de uno a otro lado del medio en un momento específico, así como la razón de la transferencia de calor en cualquier ubicación se pueden describir por un conjunto de tres coordenadas, tales como x , y y z , en el sistema de coordenadas rectangulares (o cartesianas), la r , ϕ y z , en el sistema de coordenadas cilíndricas, y la r , ϕ y θ , en el sistema de coordenadas esféricas (o polares). En este caso, la distribución de temperatura se expresa como $T(x, y, z, t)$, $T(r, \phi, z, t)$ y $T(r, \phi, \theta, t)$, en los respectivos sistemas de coordenadas.

En algunos casos la temperatura en un medio varía principalmente en dos direcciones primarias y la variación de la temperatura en la tercera dirección (y, por lo tanto, la transferencia de calor en esa dirección) es despreciable. En ese caso, se dice que un problema de transferencia de calor es bidimensional.

Se sabe también que la razón de la transferencia de calor a través de un medio en una dirección específica (por ejemplo, en la dirección x) es proporcional a la diferencia de

temperatura entre uno y otro lado del medio y al área perpendicular a la dirección de la transferencia de calor, pero es inversamente proporcional a la distancia en esa dirección. Esto se expresó en forma diferencial por la ley de Fourier de la conducción de calor.

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

FORMULA 5. Ley de Fourier de la Conducción de Calor

donde k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad del material para conducir el calor y dT/dx es el gradiente de temperatura, es decir, la pendiente de la curva de temperatura sobre un diagrama T - x (figura 8). En general, la conductividad térmica de un material varía con la temperatura. Pero se pueden obtener resultados suficientemente exactos al usar un valor constante para la conductividad térmica a la temperatura promedio.

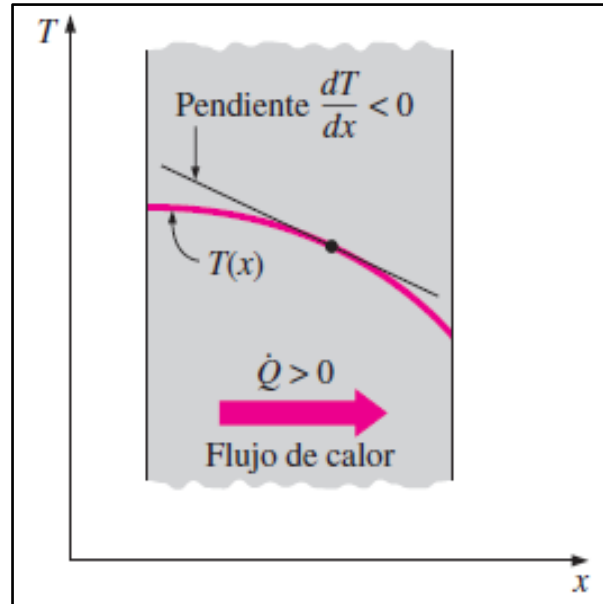


Figura 11: El gradiente de temperatura dt/dx

Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

donde k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad del material para conducir el calor y dT/dx es el gradiente de temperatura, es decir, la pendiente de la curva de temperatura sobre un diagrama T - x . En general, la conductividad

térmica de un material varía con la temperatura. Pero se pueden obtener resultados suficientemente exactos al usar un valor constante para la conductividad térmica a la temperatura promedio.

En coordenadas rectangulares el vector de conducción del calor se puede expresar en términos de sus componentes como

$$\vec{Q}_n = \dot{Q}_x \vec{i} + \dot{Q}_y \vec{j} + \dot{Q}_z \vec{k}$$

En donde $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ son los vectores unitarios y Q_x, Q_y, Q_z son las magnitudes de las razones de transferencia de calor en las direcciones x, y, z, las cuales una vez más se pueden determinar a partir de la Ley de Fourier.

$$\dot{Q}_x = -kA_x \frac{\partial T}{\partial x}, \quad \dot{Q}_y = -kA_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad \text{y} \quad \dot{Q}_z = -kA_z \frac{\partial T}{\partial z}$$

FORMULA 6. Ley de Fourier de la Conducción de Calor para 3 dimensiones

Aquí, A_x, A_y y A_z son las áreas de conducción del calor normales a las direcciones x, y y z, respectivamente (Figura 9)

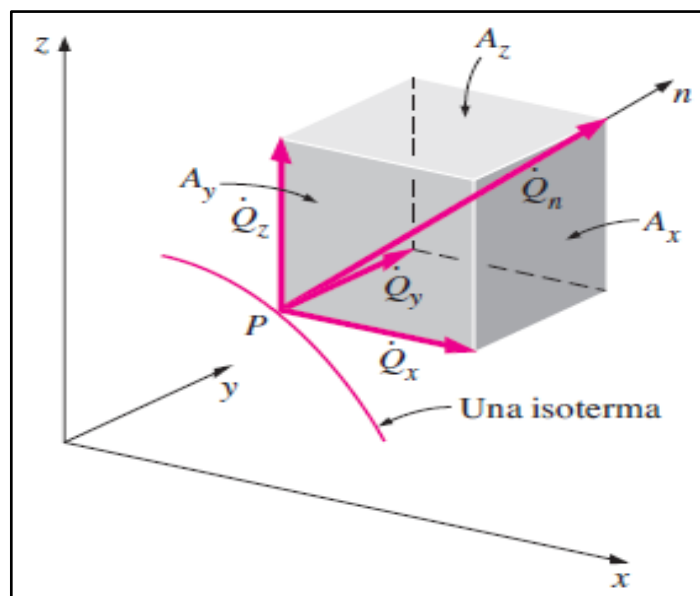


Figura 12: El vector de transferencia de calor siempre es normal a una superficie isotérmica

Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

2.6.9.3. Ecuación general de conducción de calor

- COORDENADAS RECTANGULARES

Considerando los parámetros de la figura 13.

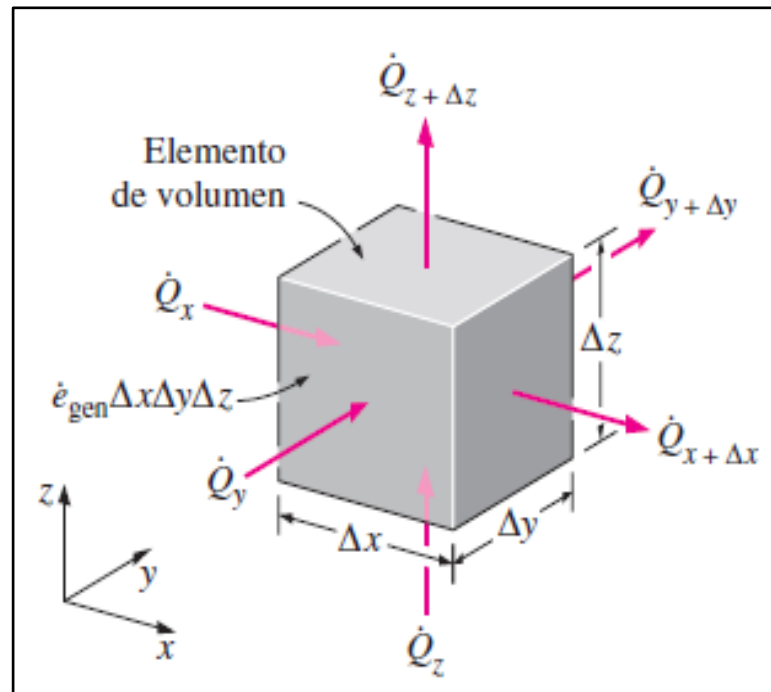


Figura 13: Elemento rectangular de volumen

Fuente: *Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)*

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

FORMULA 7. Ecuación general de conducción de calor en coordenadas rectangulares

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

FORMULA 8. Ecuación de Fourier-Biot

donde, una vez más, la propiedad $\alpha = k/\rho c$ es la *difusividad térmica del material*.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}_{\text{gen}}}{k} = 0$$

FORMULA 9. Ecuación de Poisson

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

FORMULA 10. Ecuación de Difusión

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

FORMULA 11. Ecuación de Laplace

- COORDENADAS CILÍNDRICAS

Considerando la figura y parámetros de la figura 14.

Se puede obtener la ecuación general de conducción de calor en coordenadas cilíndricas a partir de un balance de energía sobre un elemento de volumen en coordenadas cilíndricas, el cual se muestra en la figura 14.

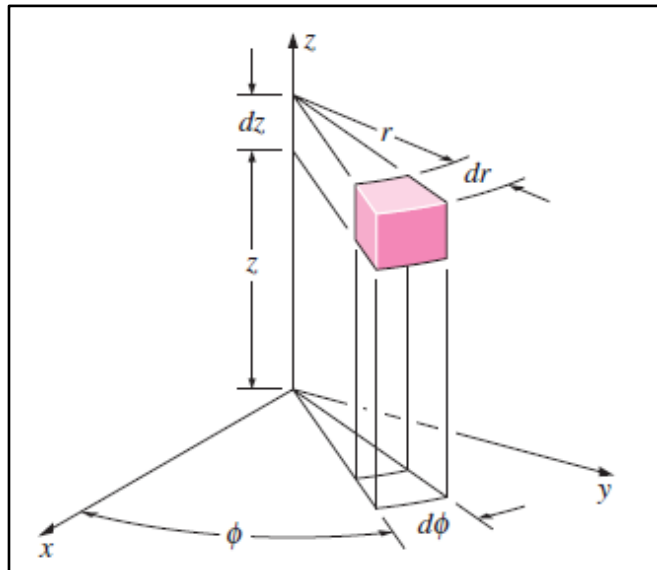


Figura 14: Elemento diferencial de volumen en coordenadas cilíndricas

Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(kr \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{e}_{\text{gen}} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

FORMULA 12. Ecuación de conductividad térmica con coordenadas cilíndricas

- **COORDENADAS ESFÉRICAS**

Se puede obtener la ecuación general de conducción de calor en coordenadas esféricas a partir de un balance de energía sobre un elemento de volumen en coordenadas esféricas, el cual se muestra en la figura 15.

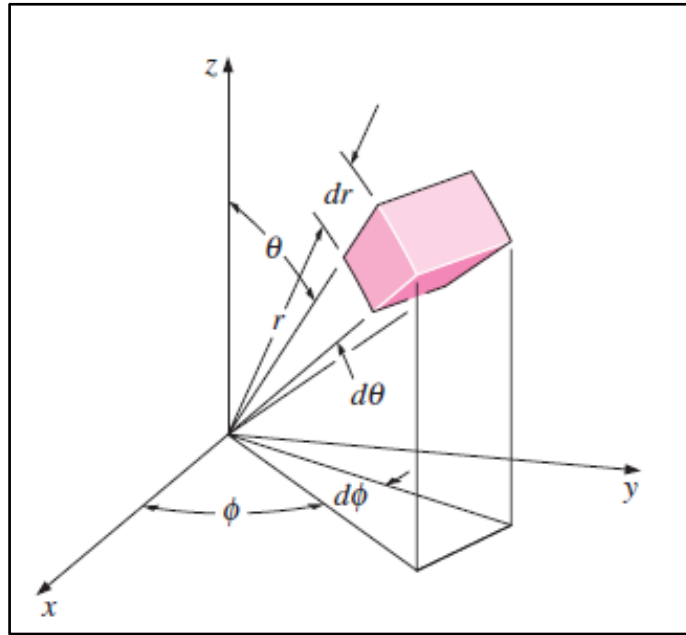


Figura 15: Elemento diferencial de volumen en coordenadas esféricas

Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \dot{e}_{\text{gen}} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

FORMULA 13. Ecuación de conductividad térmica con coordenadas esféricas

2.6.9.4. Generación de calor de un sólido

Muchas aplicaciones prácticas de la transferencia de calor comprenden la conversión de alguna forma de energía en energía térmica en el medio.

Se dice que los medios de ese tipo comprenden generación interna de calor, la cual se manifiesta como una elevación en la temperatura en todo el medio. Algunos ejemplos de generación de calor son el calentamiento por resistencia en alambres, las reacciones químicas exotérmicas en un sólido y las reacciones nucleares en las barras de combustible nuclear, en donde la energía eléctrica, química y nuclear se convierten en calor, respectivamente.

La generación de calor suele expresarse por unidad de volumen del medio y se denota por e_{gen} , cuya unidad es W/m^3 . Por ejemplo, la generación de calor en un alambre eléctrico de radio exterior r_0 y longitud L se puede expresar como:

$$\dot{e}_{gen} = \frac{P_{elec}}{V_{alambre}} = \frac{I^2 R}{\pi r_0^2 L}$$

FORMULA 14. Ecuación de la generación de calor de un sólido

donde I es la corriente eléctrica y R es la resistencia eléctrica que presenta el alambre.

La temperatura de un medio se eleva durante la generación de calor, como resultado de la absorción del calor generado por el medio durante el periodo transitorio de arranque. A medida que se incrementa la temperatura del medio, también aumenta la transferencia de calor de ese medio hacia sus alrededores. Esto continúa hasta que se alcanzan las condiciones de operación estacionarias y la velocidad de generación de calor es igual a la razón de la transferencia de calor hacia los alrededores. Una vez que se ha establecido la operación estacionaria, la temperatura del medio en cualquier punto ya no cambia.

La temperatura máxima $T_{máx}$ en un sólido que comprende generación uniforme de calor se tiene en un lugar lo más alejado de la superficie exterior, cuando ésta se mantiene a una temperatura constante T_s . Por ejemplo, la temperatura máxima ocurre en el plano medio de una pared plana, en la línea central de un cilindro largo y en el punto medio en una esfera. En estos casos la distribución de temperatura dentro del sólido será simétrica con respecto al eje de simetría. Las cantidades que interesan más en un medio con generación de calor son la temperatura superficial T_s y la temperatura máxima $T_{máx}$ que se presentan en el medio en operación estacionaria. En seguida se desarrollarán expresiones para estas dos cantidades, en relación con configuraciones geométricas comunes, para el caso de generación uniforme de calor ($e_{gen} = \text{constante}$) dentro del medio.

Considere un medio sólido de área superficial A_s , volumen V y conductividad térmica constante k , donde el calor se genera a una razón constante de e_{gen} por unidad de volumen.

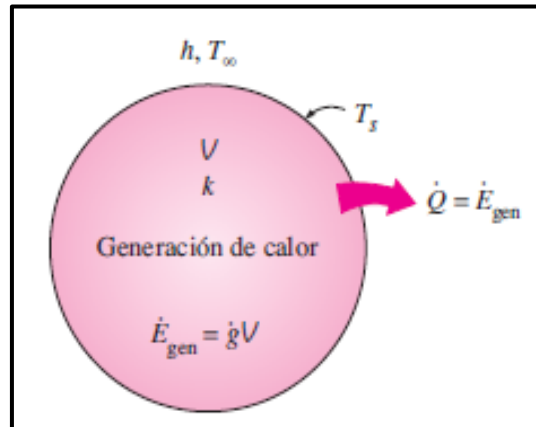


Figura 16: Transferencia de calor en condiciones estacionarias

Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

El calor se transfiere del sólido al medio circundante que está a T_{∞} , con un coeficiente constante de transferencia de calor de h . Todas las superficies del sólido se mantienen a una temperatura común T_s . (Ghajar, Cengel, & J., 2011)

En condiciones estacionarias el balance de energía para este sólido se puede expresar de la siguiente forma

$$\left(\begin{array}{l} \text{RAZÓN DE LA TRANSFERENCIA} \\ \text{DE CALOR EN EL SÓLIDO} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{VELOCIDAD DE LA GENERACIÓN DE} \\ \text{LA ENERGÍA DENTRO DEL SÓLIDO} \end{array} \right)$$

O bien:

$$\dot{Q} = \dot{e}_{gen} V \quad (w)$$

FORMULA 15. Ecuación de la razón de transferencia de calor

Si se descarta la radiación (o se incorpora en el coeficiente de transferencia de calor h), la razón de la transferencia de calor también se puede expresar a partir de la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (w)$$

FORMULA 16. Ecuación de la razón de transferencia de calor a partir de la ley de Newton

Combinando las 2 fórmulas anteriores y despejando la temperatura superficial T_s nos da:

$$T_s = T_\infty + \frac{e_{gen} \dot{V}}{hA_s}$$

FORMULA 17. Ecuación general de la temperatura superficial

Para una pared plana grande de espesor $2L$ ($A_s = 2A_{pared}$ y $V = 2LA_{pared}$) con ambos lados de la pared mantenidos a la misma temperatura T_s , un cilindro largo sólido con un radio r_0 ($A_s = 2\pi r_0 L$ y $V = \pi r_0^2 L$), y una esfera sólida de radio r_0 ($A_s = 4\pi r_0^2$ y $V = \frac{4}{3}\pi r_0^3$).

$$T_{s,pared\ plana} = T_\infty + \frac{e_{gen} \dot{L}}{h}$$

FORMULA 18. Ecuación de temperatura superficial en una pared

$$T_{s,cilindro} = T_\infty + \frac{e_{gen} \dot{r}_0}{2h}$$

FORMULA 19. Ecuación de temperatura superficial en un cilindro

$$T_{s,esfera} = T_\infty + \frac{e_{gen} \dot{r}_0}{3h}$$

FORMULA 20. Ecuación de temperatura superficial en una esfera

Vuelva a considerar la transferencia de calor de un cilindro largo con generación de calor. Se mencionó con anterioridad que, en condiciones estacionarias, todo el calor generado dentro del medio es conducido a través de la superficie exterior del cilindro. Considere ahora un cilindro interior imaginario, de radio r , dentro del cilindro.

Una vez más, el calor generado dentro de este cilindro interior debe ser igual al calor conducido a través de la superficie exterior del mismo. Es decir, con base en la ley de Fourier de la conducción del calor,

$$-kA_r \frac{dT}{dr} = e_{gen} \dot{V}_r$$

En donde $A_r = 2\pi rL$ y $V_r = \pi r^2L$ en cualquier ubicación r . Al sustituir estas expresiones en la ecuación anterior y separar las variables, se obtiene

$$-k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} = e_{gen} \dot{V}_r (\pi r^2L) \rightarrow dT = -\frac{e_{gen} \dot{V}_r}{2k} r dr$$

Si se integra desde $r=0$, donde $T(0)=T_0$, hasta $r=r_0$, donde $T(r_0)=T_s$, se obtiene

$$\Delta T_{max,cilindro} = T_0 - T_s = \frac{e_{gen} \dot{V}_r r_0^2}{4k}$$

FORMULA 21. Ecuación de variación de temperatura

Donde T_0 es la temperatura en la línea central del cilindro, la cual es la temperatura máxima, y ΔT_{max} es la diferencia entre las temperaturas de la línea central y de la superficie del cilindro, la cual es la elevación máxima de temperatura en dicho cilindro por encima de la temperatura superficial.

2.7. CONCEPTOS ELÉCTRICOS

2.7.1. Ley de ohm

La ley de Ohm es una de las principales leyes de la electricidad y la herramienta más importante con la que debe contar cualquier persona que se involucre con circuitos eléctricos y electrónicos.

Y con herramienta no nos referimos a algo físico o manipulable, sino a conocimiento puro. Todo aquel que trabaje o estudie la electricidad necesita la ley de Ohm.

Pues la Ley de Ohm establece las relaciones que existen entre potencial eléctrico (voltaje), corriente eléctrica y la resistencia.



La Ley de Ohm expresa que: la corriente eléctrica a través de un conductor será igual a la diferencia de potencial entre la resistencia que halla en dicho conductor, es decir:

$$I = V/R$$

FORMULA 22. LEY DE OHM

2.7.2. Resistencia eléctrica

Se le denomina resistencia eléctrica a la oposición al flujo de electrones al moverse a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega omega (Ω), en honor al físico alemán Georg Simon Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre. Para un conductor de tipo cable, la resistencia está dada por la siguiente fórmula:

$$R = \rho * L/R$$

FORMULA 23. RESISTENCIA

2.7.2.1. Resistencia de inmersión

Las resistencias de inmersión están diseñadas para el calentamiento en contacto directo con el fluido: agua, aceite, materiales viscosos, disoluciones ácidas o básicas, etc. Dado que todo el calor se genera dentro del líquido, se alcanza un rendimiento energético máximo.

Al no existir elementos distorsionadores, el control de la temperatura de proceso puede ser muy ajustado.

Las resistencias de inmersión presentan varias opciones de acoplamiento al depósito o tanque donde se instalan: mediante tapón roscado, con racores, con brida, tipo sumergidores, etc.

Se pueden utilizar resistencias para calentar cualquier tipo de fluido, desde agua hasta disoluciones corrosivas, aceites y fuel-oíl muy viscoso, producción de vapor.

También podemos utilizar resistencias de inmersión para trabajar en zonas clasificadas ATEX o en procesos industriales con una presión de trabajo por encima de 40 bar.

2.7.2.2. Partes de una resistencia de inmersión

Se muestra las partes de una resistencia de inmersión en el gráfico siguiente:

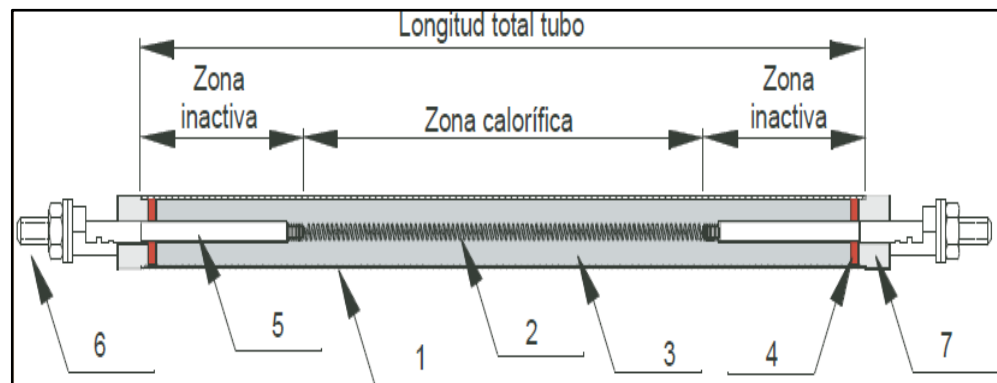


Figura 17: Partes de una resistencia de inmersión

Fuente: Catálogo de resistencias calefactoras

2.7.2.2.1. Funda tubular

Es la parte que encierra el granulado aislante y la espiral resistiva, es la parte de la resistencia que estará en contacto directo con el fluido, se debe escoger el material idóneo para que no sobrepase las temperaturas normadas (Brototermic)

2.7.2.2.2. Espiral resistiva

Hilo resistivo de aleaciones de Níquel Cromo u otros metales. Varía en función del tipo de trabajo al que se destina la resistencia. La espiral resistiva puede estar constituida por uno, dos o tres hilos.

Este elemento es la fuente de calor.

2.7.2.2.3. Granulado aislante

Óxido de magnesio electrofundido con las características adecuadas a la clase térmica constructiva. Una vez compactado por laminación o compresión se consigue una buena conductividad térmica a la vez que se asegura el aislamiento dieléctrico correcto.



2.7.2.2.4. Sellado

Protege contra la entrada de humedad al interior de la resistencia.

Se tiene 5 tipos de sellados en función de clase térmica constructiva:

- Sellado estanco
- Sellado extra estanco
- Sellado extra estanco alta temperatura
- Sellado transpirable
- Sellado transpirable alta temperatura

Los tipos de sellados más usados en la industria son el sellado estanco, sellado extra estanco y el sellado transpirable, definiremos los 3:

A) Sellado estanco

Este sellado no permite la entrada de humedad a la resistencia, manteniendo los valores de aislamiento por más de 5 años.

La temperatura de la funda tubular y del sellado no deben superar los 300°C y 150°C respectivamente.

Si la temperatura de la funda supera los 300°C o el sellado sobrepasa los 150°C los valores de aislamiento disminuyen apareciendo fugas en poco tiempo.

B) Sellado extra estanco

Este sellado tampoco permite la entrada de humedad a la resistencia manteniendo los valores de aislamiento hasta por más de diez años.

En este caso la temperatura de la funda puede llegar hasta los 600°C o la temperatura del sellado sobrepasa los 150°C/250°C (Según clase térmica) los valores del aislamiento disminuyen rápidamente apareciendo fugas en poco tiempo.

C) Sellado transpirable

(Brototermic) No obstante, para que se realice una correcta respiración, debe verificarse que la resistencia está parada en intervalos de más de 5 minutos, por lo menos el 15% del tiempo, y que no funciona sin pararse más de 8 horas seguidas.



Los paros pueden ser perfectamente los que originan los medios de control, como termostatos, etc. de forma usual en la mayoría de las aplicaciones.

Debido a las condiciones especiales de este sellado, al permitir la entrada de aire, se permite también la entrada de humedad, con lo que el aislamiento puede bajar hasta valores próximos a $1 \text{ M}\Omega$ y, en el momento de conectar, después de un paro prolongado, pueden producirse fugas de corriente transitorias.

Estas fugas pueden alcanzar hasta 5 mA por kilovatio durante el transitorio, para bajar hasta valores de $0,2 \text{ mA}$ por kilovatio al estabilizar la temperatura.

Para asegurar que las fugas desaparecen antes de llegar a la estabilización de la temperatura, y cumplir así con las normas, debe asegurarse que la temperatura del sellado es de por lo menos $110 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.7.2.2.5. Salida

En acero preniquelado, acero inoxidable AISI 303 o acero. La longitud de la salida interna determina la zona inactiva de la resistencia.

2.7.2.2.6. Borne de conexión

Distintos tipos de bornes de conexión a la red de alimentación.

2.7.2.2.7. Aislante borne

Pasamuros de material cerámico o termoplástico para asegurar el aislamiento dieléctrico entre la salida y la funda tubular.

2.7.3. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.

Es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

$$P = V * I$$

FORMULA 24. POTENCIA ELÉCTRICA

2.8. CONCEPTOS ELECTRÓNICOS

2.8.1. Reed switch o interruptor lengüeta

Un interruptor de lengüeta o reed switch o relé reed es un interruptor eléctrico activado por un campo magnético.

Cuando los contactos están normalmente abiertos se cierran en la presencia de un campo magnético; cuando están normalmente cerrados se abren en presencia de un campo magnético. Fue inventado por W. B. Elwood en 1936 cuando trabajaba para Laboratorios Bell.

El interruptor de lengüeta consiste en un par de contactos ferrosos encerrados al vacío dentro un tubo de vidrio. Cada contacto está sellado en los extremos opuestos del tubo de vidrio.

El tubo de vidrio puede tener unos 10 mm de largo por 3 mm de diámetro.

Al acercarse a un campo magnético, los contactos se unen cerrando un circuito eléctrico. La rigidez de los contactos hará que se separen al desaparecer el campo magnético. Para asegurar la durabilidad, la punta de los contactos tiene un baño de un metal precioso.

El campo magnético puede estar generado por un imán permanente o por una bobina.

Como los contactos están sellados, los interruptores de lengüeta son empleados en lugares con atmósferas explosivas, donde otros interruptores se consideran peligrosos.

Esto se debe a que la chispa que se produce al abrir o cerrar sus contactos queda contenida dentro del tubo de vidrio.

Los interruptores de lengüeta se diseñan en base al tamaño del campo magnético frente al que deben actuar. La sensibilidad de sus contactos se cambia al variar la aleación con que se fabrican, modificando su rigidez y su coeficiente magnético (Nashelsky, 2009)

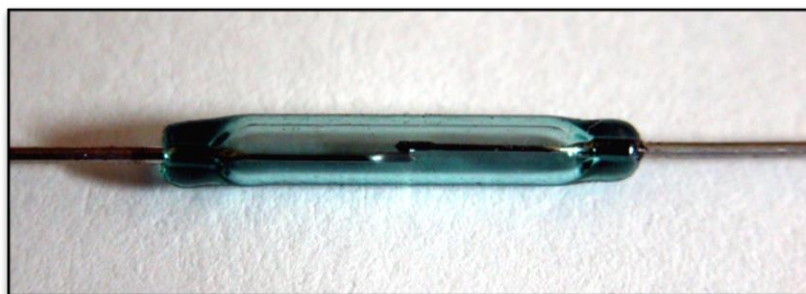


Figura 18: Interruptor de lengüeta

Fuente: (https://es.wikipedia.org/wiki/Reed_switch#/media/File:ReedSwitch.jpg)



2.8.2. Interruptor de palanca o toggle

En ingeniería eléctrica, un interruptor es un componente eléctrico que puede "hacer" o "romper" un circuito eléctrico, interrumpiendo la corriente o desviándolo de un conductor a otro. El mecanismo de un interruptor elimina o restaura el camino conductor en un circuito cuando es operado.

Puede ser operado manualmente, por ejemplo, un interruptor de luz o un botón del teclado, pueden ser operados por un objeto en movimiento tal como una puerta, o puede ser operado por un elemento de detección de la presión, la temperatura o el flujo.

Un interruptor tendrá uno o más conjuntos de contactos, que pueden operar simultáneamente, secuencialmente, o alternativamente.

Los interruptores en circuitos de alta potencia deben operar rápidamente para evitar la formación de arcos destructiva, y pueden incluir características especiales para ayudar en la rápida interrupción de una corriente pesada.

Múltiples formas de actuadores se utilizan para el funcionamiento con la mano o para detectar la posición, el nivel, la temperatura o el flujo.

Se utilizan tipos especiales, por ejemplo, para el control de la maquinaria, para revertir motores eléctricos, o para detectar el nivel de líquido.

Existen muchas formas especializadas. Un uso común es el control de la iluminación, donde múltiples interruptores pueden ser cableados en un circuito para permitir el control conveniente de dispositivos de iluminación.

Por analogía con los dispositivos que seleccionan una o más rutas posibles para corrientes eléctricas, dispositivos que la información de ruta en una red informática también se conocen como "interruptores" - por lo general son más complicados que alterna electromecánicos o dispositivos de pulsador simple, y operan sin intervención humana directa.



Figura 19: Interruptor de palanca o toggle

Fuente: (<http://www.electronicabf.com/interruptores-palanca/2047-interruptor-palanca-mini-3p-spdt-on-on-120v-5a.html>)

La forma más familiar de interruptor es un accionamiento manual electromecánico dispositivo con uno o más conjuntos de contactos eléctricos, que están conectados a los circuitos externos. Cada conjunto de contactos puede estar en uno de dos estados: o "cerrado" que significa que los contactos se toquen y la electricidad puede fluir entre ellos, o "abierto", es decir, los contactos se separan y el interruptor está no conductor. El mecanismo de accionamiento de la transición entre estos dos estados (abierto o cerrado) son por lo general (hay otros tipos de acciones) o bien una "acción alternativa" (activa el interruptor para continuo "on" o "off") o "momentáneo" (push para "activar" y estreno de "off") tipo.

Un interruptor puede estar directamente manipulado por un ser humano como una señal de control a un sistema, tal como un botón del teclado del ordenador, o para controlar el flujo de potencia en un circuito, tal como un interruptor de la luz. Automáticamente interruptores operados se pueden utilizar para controlar los movimientos de las máquinas, por ejemplo, para indicar que una puerta de garaje ha alcanzado su posición totalmente abierta o que una máquina herramienta está en una posición para aceptar otra pieza de trabajo.

Interruptores pueden ser operados por las variables de proceso tales como la presión, temperatura, flujo, corriente, tensión, y la fuerza, en calidad de sensores en un proceso y utilizan para controlar automáticamente un sistema. Por ejemplo, un termostato es un interruptor de temperatura que funcionan utilizado para controlar un proceso de calentamiento. Un interruptor que es operado por otro circuito eléctrico se llama un relé.



Interruptores grandes pueden ser operados remotamente por un mecanismo de accionamiento del motor. Algunos conmutadores se usan para aislar la energía eléctrica de un sistema, proporcionando un punto visible de aislamiento que puede ser cerrada con candado si es necesario para evitar el funcionamiento accidental de una máquina durante el mantenimiento, o para evitar descargas eléctricas.

Un interruptor ideal tendría ninguna caída de tensión cuando está cerrado, y no tendría límites en voltaje o corriente nominal. Se tendría cero tiempos de subida y caída de tiempo durante los cambios de estado, y podría cambiar de estado sin "rebote" entre dentro y fuera de las posiciones.

interruptores prácticos están a la altura de este ideal; que tienen resistencia, límites en la corriente y la tensión que pueden manejar, tiempo de conmutación finito, etc. El interruptor ideal se utiliza a menudo en el análisis de circuitos ya que simplifica en gran medida el sistema de ecuaciones a resolver, pero esto puede conducir a una solución menos precisa. se requiere un tratamiento teórico de los efectos de las propiedades no ideales en el diseño de grandes redes de interruptores, como se utiliza, por ejemplo, en las centrales telefónicas

2.8.3. Triac

El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento.

El triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

Cuando el triac conduce, hay una trayectoria de flujo de corriente de muy baja resistencia de una terminal a la otra, dependiendo la dirección de flujo de la polaridad del voltaje externo aplicado.

Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1 en caso contrario fluye de MT1 a MT2.

En ambos casos el triac se comporta como un interruptor cerrado.

Cuando el triac deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado por tanto actúa como un interruptor abierto.

Debe tenerse en cuenta que si se aplica una variación de tensión importante al triac (dv/dt) aún sin conducción previa, el triac puede entrar en conducción directa.

La estructura contiene seis capas, aunque funciona siempre como un tiristor de cuatro capas. En sentido MT2-MT1 conduce a través de P1N1P2N2 y en sentido MT1-MT2 a través de P2N1P1N4. La capa N3 facilita el disparo con intensidad de puerta negativa. La complicación de su estructura lo hace más delicado que un tiristor en cuanto a di/dt y dv/dt y capacidad para soportar sobre intensidades. Se fabrican para intensidades de algunos amperios hasta unos 200 A eficaces y desde 400 a 1000 V de tensión de pico repetitivo. Los triac son fabricados para funcionar a frecuencias bajas, los fabricados para trabajar a frecuencias medias son denominados alternistores.

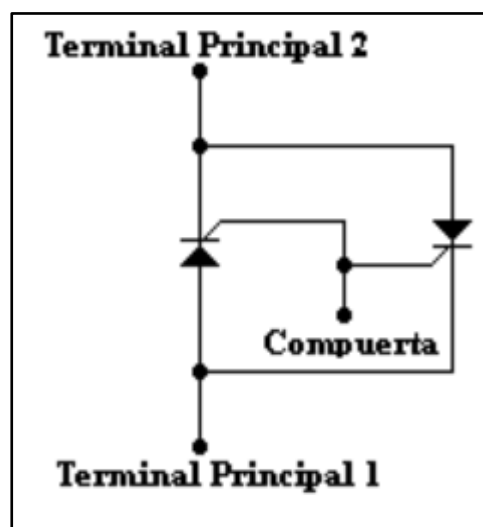


Figura 20: Como actua el triac

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos14/triac/triac.shtml>

Se muestra el símbolo esquemático e identificación de las terminales de un triac, la nomenclatura Ánodo 2 (A2) y Ánodo 1 (A1) pueden ser reemplazados por Terminal Principal 2 (MT2) y Terminal Principal 1 (MT1) respectivamente.

El Triac actúa como dos rectificadores controlados de silicio (SCR) en paralelo, este dispositivo es equivalente a dos latches



Figura 21: Triac

Fuente: <http://miguelepm.blogspot.com/2011/12/triac.html>

2.8.3.1. Tipos de disparo

Como hemos dicho, el Triac posee dos ánodos denominados (MT1 y MT2) y una compuerta G.

La polaridad de la compuerta G y la polaridad del ánodo 2, se miden con respecto al ánodo 1.

El triac puede ser disparado en cualquiera de los dos cuadrantes I y III mediante la aplicación entre los terminales de compuerta G y MT1 de un impulso positivo o negativo. Esto le da una facilidad de empleo grande y simplifica mucho el circuito de disparo. Veamos cuáles son los fenómenos internos que tienen lugar en los cuatro modos posibles de disparo.

1) El primer modo del primer cuadrante designado por I (+), es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son positivas con respecto al ánodo MT1 y este es el modo más común (Intensidad de compuerta entrante).

La corriente de compuerta circula internamente hasta MT1, en parte por la unión P2N2 y en parte a través de la zona P2. Se produce la natural inyección de electrones de N2 a P2, que es favorecida en el área próxima a la compuerta por la caída de tensión que produce en P2 la circulación lateral de corriente de compuerta. Esta caída de tensión se simboliza en la figura por signos + y - .



Parte de los electrones inyectados alcanzan por difusión la unión P2N1 que bloquea el potencial exterior y son acelerados por ella iniciándose la conducción.

2) El Segundo modo, del tercer cuadrante, y designado por III(-) es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son negativos con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta saliente).

Se dispara por el procedimiento de puerta remota, conduciendo las capas P2N1P1N4.

La capa N3 inyecta electrones en P2 que hacen más conductora la unión P2N1. La tensión positiva de T1 polariza el área próxima de la unión P2N1 más positivamente que la próxima a la puerta. Esta polarización inyecta huecos de P2 a N1 que alcanzan en parte la unión N1P1 y la hacen pasar a conducción.

3) El tercer modo del cuarto cuadrante, y designado por I(-) es aquel en que la tensión del ánodo MT2 es positiva con respecto al ánodo MT1 y la tensión de disparo de la compuerta es negativa con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta saliente).

El disparo es similar al de los tiristores de puerta de unión. Inicialmente conduce la estructura auxiliar P1N1P2N3 y luego la principal P1N1P2N2.

El disparo de la primera se produce como en un tiristor normal actuando T1 de puerta y P de cátodo. Toda la estructura auxiliar se pone a la tensión positiva de T2 y polariza fuertemente la unión P2N2 que inyecta electrones hacia el área de potencial positivo. La unión P2N1 de la estructura principal, que soporta la tensión exterior, es invadida por electrones en la vecindad de la estructura auxiliar, entrando en conducción.

4) El cuarto modo del Segundo cuadrante y designado por III(+) es aquel en que la tensión del ánodo T2 es negativa con respecto al ánodo MT1, y la tensión de disparo de la compuerta es positiva con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta entrante).

El disparo tiene lugar por el procedimiento llamado de puerta remota. Entra en conducción la estructura P2N1P1N4.

La inyección de N2 a P2 es igual a la descrita en el modo I(+). Los que alcanzan por difusión la unión P2N1 son absorbido por su potencial de unión, haciéndose más conductora. El potencial positivo de puerta polariza más positivamente el área de unión P2N1 próxima a ella que la próxima a T1, provocándose una inyección de huecos desde



P2 a N1 que alcanza en parte la unión N1P1 encargada de bloquear la tensión exterior y se produce la entrada en conducción.

El estado I(+), seguido de III(-) es aquel en que la corriente de compuerta necesaria para el disparo es mínima. En el resto de los estados es necesaria una corriente de disparo mayor. El modo III(+) es el de disparo más difícil y debe evitarse su empleo en lo posible.

En general, la corriente de encendido de la compuerta, dada por el fabricante, asegura el disparo en todos los estados.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

Por la naturaleza del estudio, es de tipo Descriptivo Analítico, pues permitirá describir el proceso de diseño del calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua.

3.1.2. Diseño de investigación

Según Hernandez, Fernandez, & Baptista (2014) El diseño fue Pre-experimental, llamado así porque tiene grado de control mínimo. La investigación se realiza partiendo del diseño del calentador convencional en base a datos del caudal del agua, el voltaje de la resistencia. En segundo lugar, se realizará el montaje del calentador eléctrico. Siendo esta la variable manipulada para su efecto sobre otras variables.

3.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA MÁXIMA Y RESISTENCIAS A UTILIZAR

Debemos saber que el consumo de corriente del calentador de agua no deberá exceder los 30 Amperios, ya que, en ese caso, se tendría que cambiar el contrato de energía eléctrica y los respectivos interruptores de seguridad. Por tanto, tenemos:

- $V = 220$ voltios
- $I = 30$ Amperios

$$P = V \cdot I$$

$$P = 220 \cdot 30$$

$$P = 6600 \text{ watts} = 6,6 \text{ Kw}$$

- Con la respuesta, podemos tomar una decisión. Usar 2 resistencias de 3 Kw.

3.3. CÁLCULO DEL CAUDAL DE SALIDA EN UN PUNTO

El caudal de agua utilizado en el proyecto es en promedio aproximadamente entre 1.5 a 3 litros por minuto (LPM).

Para

Tabla N° 1: Tabla de caudales

| N° ENSAYO | ESTADO DE LLAVE | TIEMPO DE LLENADO (s) | CAUDAL (LPM) |
|------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | Completamente abierto | 20.5 | 2.97 |
| 2 | Completamente abierto | 21.5 | 2.90 |
| 3 | Completamente abierto | 19.8 | 3.03 |
| 4 | Completamente abierto | 20.1 | 2.99 |
| 5 | Abierto a la mitad | 41 | 1.46 |
| 6 | Abierto a la mitad | 39.8 | 1.51 |
| 7 | Abierto a la mitad | 39 | 1.56 |
| 8 | Abierto a la mitad | 41.2 | 1.49 |

poder medir este caudal se utilizó un cronómetro y una jarra de 1 litro. La tabla número 1 muestra los resultados obtenidos de contar el tiempo que demora el flujo de agua del caño en llenar la jarra de un litro.

Elaboración Propia

Q=promedio de los caudales de cada ensayo

$$Q = \frac{2.97 + 2.90 + 3.03 + 2.99 + 2(1.46) + 2(1.51) + 2(1.56) + 2(1.49)}{8}$$

$$Q = 2.99125$$

$$Q \approx 3 \text{ LPM}$$

3.4. TEMPERATURA PROMEDIO DEL AGUA EN PUNO

Este proyecto ha sido estudiado desde el año 2017, puesto que no se tiene una información sobre la temperatura del de salida del agua en un domicilio, hemos medido la temperatura de salida del agua, y nos generó una tabla de datos, el cual promediaremos para conseguir una temperatura promedio de trabajo. Utilizamos un termómetro infrarrojo GM550E

3.4.1. Termómetro gm550e infrarrojo digital benetech 550°c



Figura 22: infrarrojo GM550E

Fuente: <https://es.dhgate.com/product/non-contact-digital-lcd-infrared-thermometer/477383440.html>



Figura 23: Funciones del Termómetro infrarrojo GM550E

Fuente: <https://es.dhgate.com/product/non-contact-digital-lcd-infrared-thermometer/477383440.html>

- CARACTERÍSTICAS
- Modelo: GM550E
- (Ghajar, Cengel, & J., 2011) Rango de medición: entre -50°C y 550°C (entre -58°F y 1022°F)
- Precisión: $-0^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} \sim 1022^{\circ}\text{F}$): $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2.7^{\circ}\text{F}$), $-50^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ($-58^{\circ}\text{F} \sim 32^{\circ}\text{F}$): $\pm 3^{\circ}\text{C}$
- Repetibilidad: $\pm 1\%$ ó $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Resolución: 0.1°C ó 0.1°F
- Tiempo de respuesta: 500 mSec.
- Distancia a la falla: 12: 1
- Respuesta espectral: 5 – 14 μm
- Temperatura de almacenamiento: entre -20°C y 60°C (entre -4°F y 140°F)
- Temperatura de funcionamiento: entre 0°C y 40°C (entre 32°F y 104°F)



- Humedad de funcionamiento: 10 – 95% HR sin condensación, hasta 30 °C (86 °F)
- Energía: batería de 9V (No incluida)
- Apagado automático
- No se recomienda su uso para medir temperatura corporal

- Medición de temperatura en el ingreso al calentador

Tabla N° 2: Tabla de temperaturas del
año 2017

| <i>AÑO 2017</i> | |
|------------------|-------------------------|
| <i>Mes</i> | <i>Temperatura (°C)</i> |
| <i>Enero</i> | <i>14.2</i> |
| <i>Febrero</i> | <i>14.2</i> |
| <i>Marzo</i> | <i>14.3</i> |
| <i>Abril</i> | <i>14</i> |
| <i>Mayo</i> | <i>12.8</i> |
| <i>Junio</i> | <i>11.8</i> |
| <i>Julio</i> | <i>11.6</i> |
| <i>Agosto</i> | <i>11.6</i> |
| <i>Setiembre</i> | <i>12.1</i> |
| <i>Octubre</i> | <i>12.9</i> |
| <i>Noviembre</i> | <i>13.6</i> |
| <i>Diciembre</i> | <i>14.1</i> |

Elaboración Propia



Tabla N° 3: Tabla de temperaturas del
año 2018

| <i>AÑO 2018</i> | |
|------------------|-------------------------|
| <i>Mes</i> | <i>Temperatura (°C)</i> |
| <i>Enero</i> | <i>17.4</i> |
| <i>Febrero</i> | <i>17.4</i> |
| <i>Marzo</i> | <i>17.8</i> |
| <i>Abril</i> | <i>17.7</i> |
| <i>Mayo</i> | <i>16.2</i> |
| <i>Junio</i> | <i>14.3</i> |
| <i>Julio</i> | <i>13.5</i> |
| <i>Agosto</i> | <i>13.7</i> |
| <i>Setiembre</i> | <i>14.9</i> |
| <i>Octubre</i> | <i>15.9</i> |
| <i>Noviembre</i> | <i>16.6</i> |
| <i>Diciembre</i> | <i>17.1</i> |

Elaboración Propia

$$T_{INGRESO} = \frac{T_{2017} + T_{2018}}{24}$$

Hallamos T_{2017}

$$T_{2017} = 14.2 + 14.2 + 14.3 + 14 + 12.8 + 11.8 + 11.6 + 11.6 + 12.1 + 12.9 + 13.6 + 14.1$$

$$T_{2017} = 157.2 \text{ °C}$$



Hallamos T_{2018}

$$T_{2017} = 17.4 + 17.4 + 17.8 + 17.7 + 16.2 + 14.3 + 13.5 + 13.7 + 14.9 + 15.9 \\ + 16.6 + 17.1$$

$$T_{2018} = 192.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Remplazamos en la fórmula inicial:

$$T_{INGRESO} = \frac{157.2 \text{ } ^\circ\text{C} + 192.5 \text{ } ^\circ\text{C}}{24}$$

$$T_{INGRESO} = 14.5708 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.5. ELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS

Utilizaremos resistencias de 3 Kw, revisamos la tabla N°4 y nos damos cuenta que las resistencias

Tabla N° 4: Resistencias con tapón de acoplamiento en latón, forma “U” con doble vuelta

| L en mm | Rosca tapón pulgadas GAS | Wattios |
|---------|--------------------------|---------|
| 140 | 1 1/4" | 600 |
| 170 | 1 1/4" | 800 |
| 170 | 1 1/4" | 800 |
| 235 | 1 1/4" | 400 |
| 235 | 1 1/4" | 1200 |
| 235 | 1 1/4" | 1200 |
| 345 | 1 1/4" | 900 |
| 345 | 1 1/4" | 1800 |
| 345 | 1 1/4" | 1800 |
| 445 | 1 1/4" | 2400 |
| 445 | 1 1/4" | 2400 |
| 505 | 1 1/4" | 1000 |
| 505 | 1 1/4" | 1500 |
| 505 | 1 1/4" | 3000 |
| 505 | 1 1/4" | 3000 |

Fuente: Catalogo de resistencias calefactoras

Tabla N° 5: Modelos normalizados, forma “U” con doble vuelta

| L en mm | Rosca tapón pulgadas GAS | Wattios |
|---------|--------------------------|---------|
| 255 | 1" 1/2 | 3000 |
| 255 | 1" 1/2 | 4500 |
| 255 | 1" 1/2 | 6000 |

Fuente: Catálogo de resistencias calefactoras

- Como podemos ver en la tabla tenemos un $D=1\frac{1}{2}''$ para la rosca tapón.
- Longitud total de la distancia de funda tubular igual a 255 mm.

3.6. DIÁMETRO DE FUNDA TUBULAR

- Diámetro de la resistencia

$$D_{\text{rosca}} = 1\frac{1}{2}'' = 38.1 \text{ mm}$$

$$D_{\text{rosca}} = 5D_{\text{res}}$$

$$38.1 = 5D_{\text{res}}$$

$$D_{\text{res}} = 7.62 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

- Curvatura de la resistencia

$$D_{\text{curvatura}} = 4D_{\text{resistencia}}$$

$$D_{\text{curvatura}} = 30.48 \text{ mm}$$



3.7. VELOCIDAD DEL AGUA A LA ENTRADA

$$Q = 3 \text{ LPM} = 0.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{entrada}} = \frac{\pi \left(\frac{1}{2}\right)^2}{4}$$

$$A_{\text{entrada}} = \frac{\pi(0.0127)^2}{4}$$

$$A_{\text{entrada}} = 0.12667 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{entrada}} = \frac{Q}{A_{\text{entrada}}}$$

$$V_{\text{entrada}} = \frac{0.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0.12667 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$V_{\text{entrada}} = 0.3947 \text{ m/s}$$

3.8. VELOCIDAD EN LA RECAMARA DE CALENTAMIENTO

$$Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{recamara}}$$

$$V_{\text{entrada}} A_{\text{entrada}} = V_{\text{recamara}} A_{\text{recamara}}$$



$$V_{recamara} = V_{entrada} \left(\frac{D_{entrada}}{D_{recamara}} \right)^2$$

$$V_{recamara} = 0.3947 \text{ m/s} \left(\frac{0.0127\text{m}}{0.03048\text{m}} \right)^2$$

$$V_{recamara} = 0.068524 \text{ m/s}$$

$$Re=2.088 \text{ (laminar)}$$

3.9. TEMPERATURA EN LA FUNDA TUBULAR

$$e_{gen} = \frac{P}{V_{resistencia}}$$

$$e_{gen} = \frac{3000}{\frac{(0.008^2)(0.255)\pi}{4}}$$

$$e_{gen} = 234.05 \times 10^6 \text{ W/m}^3$$

$$T_s = T_\infty + \frac{e_{gen} r_0}{2h}$$

$$T_s = 14.5708 + \frac{234.05 \times 10^6 \times 0.004}{2h}$$

$$T_s = 14.5708 + \frac{468100}{h}$$

Para convección forzada, el agua tiene: $h <300-6000>$, entonces probaremos que la temperatura máxima no llegue a la temperatura de fusión del material utilizado.

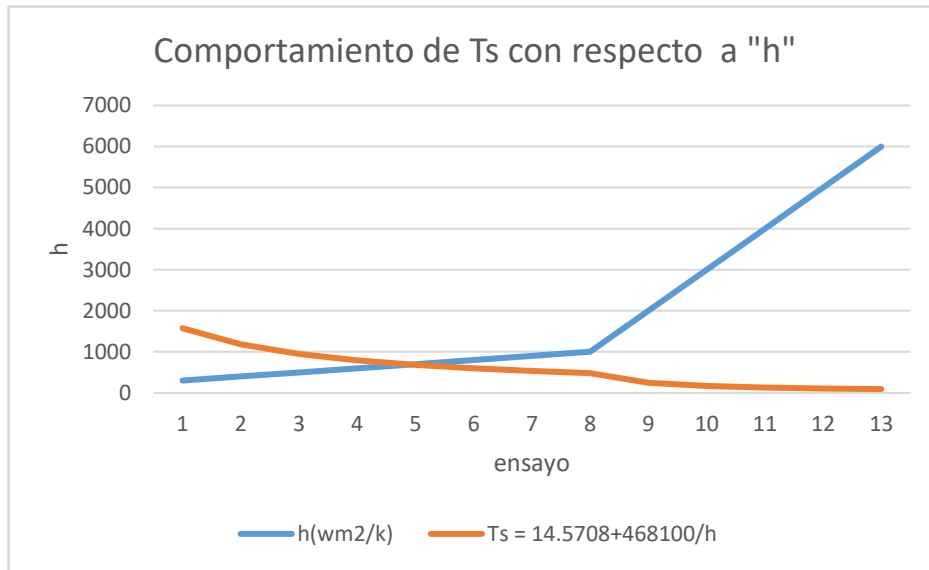


Figura 24: Gráfico de comportamiento de Ts con respecto a “h”

Elaboración propia

Tabla N° 6: Valores críticos de Ts

| $h(wm^2/k)$ | $T_s = 14.5708 + 468100/h$ |
|-------------|----------------------------|
| 300 | 1574.904 |
| 400 | 1184.821 |
| 500 | 950.771 |
| 600 | 794.737 |
| 700 | 683.285 |
| 800 | 599.696 |
| 900 | 534.682 |
| 1000 | 482.671 |
| 2000 | 248.62 |
| 3000 | 170.604 |
| 4000 | 131.596 |
| 5000 | 108.191 |
| 6000 | 92.587 |

Elaboración propia



$$T_{max} = T_s + \frac{e_{gen} r_0^2}{4k}$$

$$T_{max} = 1574.904 + \frac{234.05 \times 10^6 \times 0.004^2}{4 \times 16.3}$$

$$T_{max} = 1632.34^\circ C$$

- Las resistencias de inmersión por norma son de titanio, entonces tenemos que la temperatura de fusión del titanio es 1768°C.

3.10. RESISTENCIA A UTILIZAR

- Con los datos que tenemos escogeremos una resistencia que sea idónea a las características.

$$D_{rosca} = 1 \frac{1}{2}''$$

$$L = 255 \text{ mm}$$

$$D_{resistencia} = 8 \text{ mm}$$

$$D_{curvatura} = 30.88 \text{ mm}$$

$$T_{m\acute{a}xima} = 1574^\circ C$$

3.11. DISTANCIA ÓPTIMA ENTRE LA RESISTENCIA Y LA RECÁMARA

$$\frac{T_r - T_\infty}{T_\infty} = \frac{e_{gen} r_0}{4hT_\infty} \left\{ 2 + \frac{hr_0}{k} \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \right\}$$

- Cálculo de r para un h determinado
- Cuando $T_r = T_\infty$, r vale:

$$0 = \frac{e_{gen} r_0}{4hT_\infty} \left\{ 2 + \frac{hr_0}{k} \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \right\}$$



$$0 = 2 + \frac{hr_0}{k} \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right]$$

$$2 + \frac{hr_0}{k} - \frac{hr_0}{k} \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 = 0$$

$$r = r_0 \sqrt{1 + \frac{2k}{hr_0}}$$

$$r = 0.004 \sqrt{1 + \frac{2 \times 16.3}{0.004h}}$$

- Entonces escogemos “h” ideal. Como sabemos tenemos $h < 300-6000 >$

Tabla N° 7: Distancia mínima óptima entre recámara y resistencia

| h(wm2/°C) | $r = 0.004 \sqrt{1 + \frac{2 \times 16.3}{0.004h}}$ |
|-----------|---|
| 300 | 0.0212 |
| 400 | 0.0185 |
| 500 | 0.0166 |
| 600 | 0.0153 |
| 700 | 0.0142 |
| 800 | 0.0134 |
| 900 | 0.0127 |
| 1000 | 0.0121 |
| 2000 | 0.0090 |
| 3000 | 0.0077 |
| 4000 | 0.0070 |
| 5000 | 0.0064 |
| 6000 | 0.0060 |

Elaboración propia

- Entonces vemos que con 0.006m o 6 mm de distancia de la resistencia o funda tubular no habrá problemas de temperatura.



Figura 25: Resistencia de inmersión “U” con doble vuelta
Fuente: Catálogo de resistencias calefactoras

CARACTERÍSTICAS DE LA RESISTENCIA A USAR

- $P = 3000 \text{ Watts}$
- TIPO: U con doble vuelta
- LARGO = 255 mm
- DIÁMETRO = 1 ½”

3.12. ELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS RECÁMARAS DE CALENTAMIENTO

3.12.1. Masa de agua en la recámara

$$D_{rosca} = 1 \frac{1}{2}'' = \frac{3}{2} \times 2.54 = 3.81 \text{ cm}$$

$$D_{resistencia} = 0.8 \times 4 = 3.2 \text{ cm}$$



$$L = 25.5 \text{ cm}$$

$$V_{\text{agua}} = V_{\text{recamara}} - V_{\text{resistencia}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{\pi L}{4} (D_{\text{rosca}}^2 - D_{\text{resistencia}}^2)$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{25.5\pi}{4} (3.81^2 - 3.2^2)$$

$$V_{\text{agua}} = 85.6402 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 85.6402 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ lt}}{10^3 \text{ cm}^3} = 0.08564 \text{ lt}$$

- El agua tiene la característica: 1lt=1kg

$$m_{\text{agua}} = 85.64 \text{ g}$$

3.12.2. Calor que brindará las resistencias en un segundo

$$E = Pt = 6000 \times 1$$

$$E = Q = 6000 \text{ J}$$

3.12.3. Cálculo de temperaturas del agua en las recámaras

3.12.3.1. Temperatura en máxima potencia

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$



$$6000 \times 0.24 = 85.64(T_f - 14.5708)$$

$$\frac{1440}{85.64} = T_f - 14.5708$$

$$T_f = 31.3864 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.12.1.2. Temperatura en potencia media

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

$$4500 \times 0.24 = 85.64(T_f - 14.5708)$$

$$\frac{1080}{85.64} = T_f - 14.5708$$

$$T_f = 27.1817 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.12.1.3. Temperatura en potencia mínima

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

$$3000 \times 0.24 = 85.64(T_f - 14.5708)$$

$$\frac{720}{85.64} = T_f - 14.5708$$



$$T_f = 22.9780 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.12.1.4. Material

| Composición | Punto de fusión, K | Propiedades a 300 K | | | | Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K) | | | | | |
|--|--------------------|--------------------------|----------------|-------------|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | ρ kg/m ³ | c_p J/kg · K | k W/m · K | $\alpha \times 10^6$ m ² /s | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1 000 |
| Aluminio: | | | | | | | | | | | |
| Puro | 933 | 2 702 | 903 | 237 | 97.1 | 302 | 237 | 240 | 231 | 218 | |
| Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn) | 775 | 2 770 | 875 | 177 | 73.0 | 482 | 798 | 949 | 1 033 | 1 146 | |
| Aleación 195, fundido (4.5% Cu) | | 2 790 | 883 | 168 | 68.2 | 473 | 787 | 925 | 1 042 | 185 | |
| Berilio | 1 550 | 1 850 | 1 825 | 200 | 59.2 | 990 | 301 | 161 | 126 | 106 | 90.8 |
| Bismuto | 545 | 9 780 | 122 | 7.86 | 6.59 | 203 | 1 114 | 2 191 | 2 604 | 2 823 | 3 018 |
| Boro | 2 573 | 2 500 | 1 107 | 27.0 | 9.76 | 190 | 55.5 | 16.8 | 10.6 | 9.60 | 9.85 |
| Cadmio | 594 | 8 650 | 231 | 96.8 | 48.4 | 128 | 600 | 1 463 | 1 892 | 2 160 | 2 338 |
| Cromo | 2 118 | 7 160 | 449 | 93.7 | 29.1 | 198 | 222 | 242 | | | |
| Cobalto | 1 769 | 8 862 | 421 | 99.2 | 26.6 | 159 | 111 | 90.9 | 80.7 | 71.3 | 65.4 |
| Cobre: | | | | | | 192 | 384 | 484 | 542 | 581 | 616 |
| Puro | 1 358 | 8 933 | 385 | 401 | 117 | 167 | 122 | 85.4 | 67.4 | 58.2 | 52.1 |
| Bronce comercial (90% Cu, 10% Al) | 1 293 | 8 800 | 420 | 52 | 14 | 236 | 379 | 450 | 503 | 550 | 628 |
| Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn) | 1 104 | 8 780 | 355 | 54 | 17 | | | | | | |
| Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn) | 1 188 | 8 530 | 380 | 110 | 33.9 | 75 | 95 | 137 | 149 | | |
| Constantán (55% Cu, 45% Ni) | 1 493 | 8 920 | 384 | 23 | 6.71 | 17 | 19 | | | | |

Figura 26: Conductividad térmica de algunos metales
Fuente: Transferencia de Calor-Yunus Cengel (4ta edición)

- Para la elección debemos tener presente dos cosas; primero la conductividad térmica y segundo el costo del metal.
- Según la tabla, los metales con menos conductividad térmica son las aleaciones del cobre, es decir el Bronce y también el acero, pero debemos escoger el material adecuado económicamente hablando.

Precios de los Metales [1995-2015]

| AÑO | COBRE | | ORO | | ZINC | | PLATA | | PLOMO | | ESTAÑO | |
|------|---------------|---------|-----------|---------|---------------|---------|-----------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
| | Ctvs. US\$/lb | %/ar | US\$/OzTr | %/ar | Ctvs. US\$/lb | %/ar | US\$/OzTr | %/ar | Ctvs. US\$/lb | %/ar | Ctvs. US\$/lb | %/ar |
| 1995 | 133.18 | - | 384.52 | - | 46.78 | - | 5.19 | - | 28.62 | - | 281.82 | - |
| 1996 | 104.14 | -21.81% | 388.25 | 0.97% | 46.52 | -0.56% | 5.19 | 0.00% | 35.12 | 22.71% | 279.62 | -0.78% |
| 1997 | 103.28 | -0.83% | 331.56 | -14.60% | 59.75 | 28.44% | 4.89 | -5.78% | 28.32 | -19.36% | 256.09 | -8.41% |
| 1998 | 75.02 | -27.36% | 294.48 | -11.18% | 46.45 | -22.24% | 5.54 | 13.29% | 23.98 | -15.32% | 251.30 | -1.87% |
| 1999 | 71.32 | -4.93% | 279.17 | -5.20% | 48.82 | 5.08% | 5.25 | -5.23% | 22.80 | -4.92% | 245.07 | -2.48% |
| 2000 | 82.24 | 15.31% | 279.37 | 0.07% | 51.16 | 4.79% | 5.00 | -4.76% | 20.59 | -9.69% | 246.57 | 0.61% |
| 2001 | 71.60 | -12.94% | 271.23 | -2.91% | 40.17 | -21.48% | 4.39 | -12.20% | 21.60 | 4.91% | 203.40 | -17.51% |
| 2002 | 70.74 | -1.20% | 310.13 | 14.34% | 35.32 | -12.07% | 4.63 | 5.47% | 20.53 | -4.95% | 184.18 | -9.45% |
| 2003 | 80.70 | 14.08% | 363.62 | 17.25% | 37.54 | 6.29% | 4.91 | 6.05% | 23.36 | 13.78% | 222.03 | 20.55% |
| 2004 | 129.99 | 61.08% | 409.85 | 12.71% | 47.53 | 26.61% | 6.69 | 36.25% | 40.21 | 72.13% | 383.13 | 72.56% |
| 2005 | 166.87 | 28.37% | 445.47 | 8.69% | 62.68 | 31.87% | 7.34 | 9.72% | 44.29 | 10.15% | 334.84 | -12.60% |
| 2006 | 304.91 | 82.72% | 604.58 | 35.72% | 148.56 | 137.01% | 11.57 | 57.63% | 58.50 | 32.08% | 398.29 | 18.95% |
| 2007 | 322.93 | 5.91% | 697.41 | 15.35% | 147.07 | -1.00% | 13.42 | 15.99% | 117.03 | 100.05% | 679.50 | 70.60% |
| 2008 | 315.51 | -2.30% | 872.72 | 25.14% | 85.04 | -42.18% | 15.01 | 11.85% | 94.83 | -18.97% | 864.53 | 27.23% |
| 2009 | 233.52 | -25.99% | 973.62 | 11.56% | 75.05 | -11.75% | 14.68 | -2.20% | 77.91 | -17.84% | 641.51 | -25.80% |
| 2010 | 342.28 | 46.57% | 1,225.29 | 25.85% | 98.18 | 30.82% | 20.19 | 37.53% | 97.61 | 25.29% | 954.13 | 48.73% |
| 2011 | 400.20 | 16.92% | 1,569.53 | 28.09% | 99.50 | 1.34% | 35.17 | 74.20% | 108.97 | 11.64% | 1,215.90 | 27.44% |
| 2012 | 360.55 | -9.91% | 1,669.87 | 6.39% | 88.35 | -11.21% | 31.17 | -11.37% | 93.54 | -14.16% | 989.60 | -18.61% |
| 2013 | 332.31 | -7.83% | 1,411.00 | -15.50% | 86.65 | -1.92% | 23.86 | -23.45% | 97.17 | 3.88% | 1,041.43 | 5.24% |
| 2014 | 311.16 | -6.36% | 1,266.09 | -10.27% | 98.07 | 13.18% | 19.08 | -20.03% | 95.07 | -2.16% | 1,023.05 | -1.76% |
| 2015 | 249.23 | -19.90% | 1,156.96 | -8.46% | 87.47 | -10.81% | 15.70 | -17.71% | 80.90 | -14.90% | 756.43 | -26.06% |

Fuente: Notas Semanales BCRP

Figura 27: Costo de los metales
Fuente: Notas semanales BCRP

- Viendo la figura 27, vemos que el Cobre es uno de los metales menos cotizados y por ende sus aleaciones, es por eso que se usará el bronce.

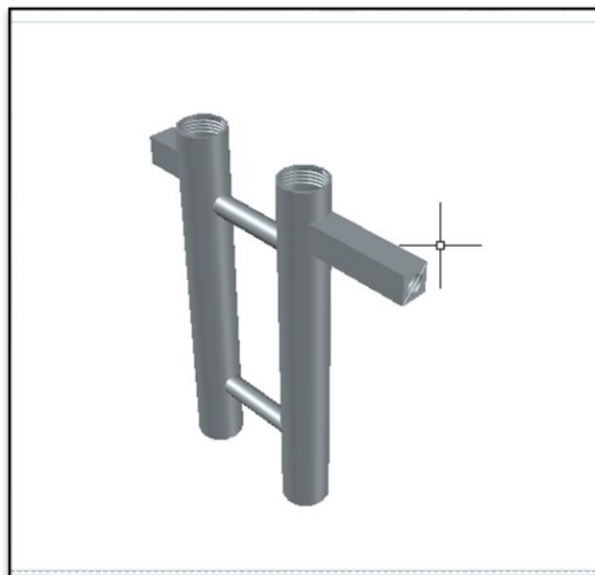


Figura 28: Diseño recamaras de calentamiento
Elaboración propia

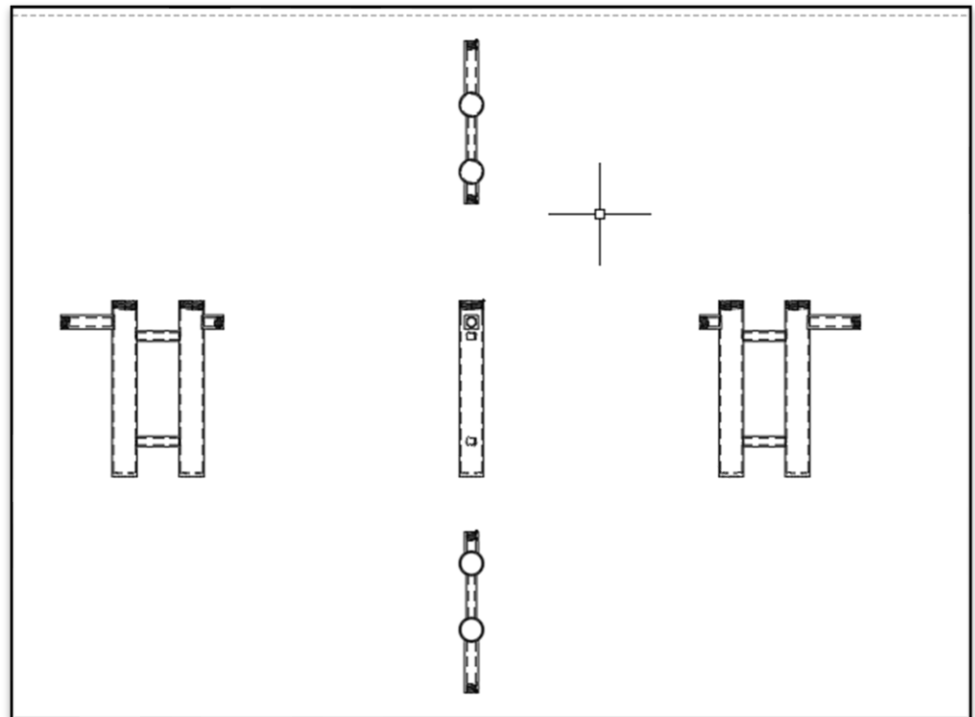


Figura 29: Vistas recamaras de calentamiento

Elaboración propia

- Entonces ya tenemos el armazón o las recamaras de calentamiento, como se ve en los anexos, en las dos entradas superiores tiene hilos para que entre exactamente las resistencias.
- También se puede ver que termina de la misma forma a los lados, es decir que también tienen hilos, pero no para las resistencias sino más bien para colocar adaptadores de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ". En la siguiente tabla se muestra las vistas del adaptador que se usará.



Figura 30: Vistas de adaptador

Elaboración propia

3.13. MODELADO PROPUESTO

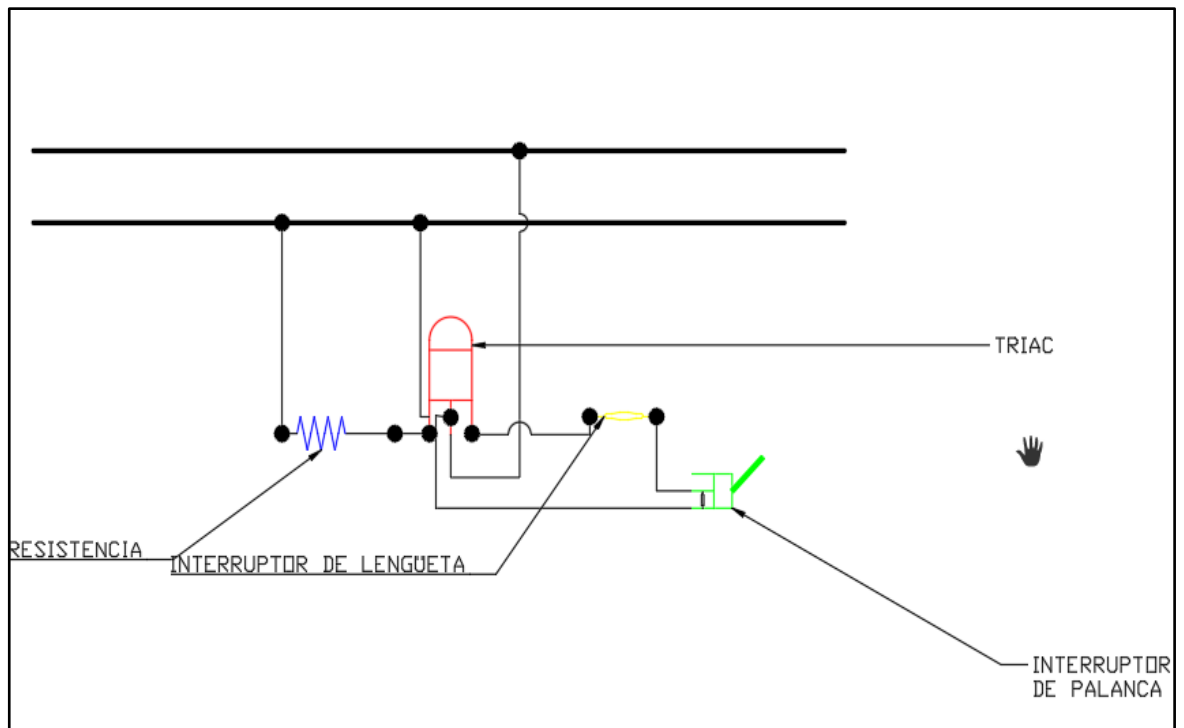


Figura 31: Conexión propuesta

Elaboración propia

- En la figura se muestra la conexión del TRIAC, INTERRUPTOR TOGGLE, INTERRUPTOR DE LENGÜETA Y LAS RESISTENCIAS. El circuito que se muestra es para una resistencia, es decir cada circuito es independiente del otro. Lo que tendrán en común es la fuente de energía.
- FUNCIÓN Y CONEXIÓN DEL TRIAC

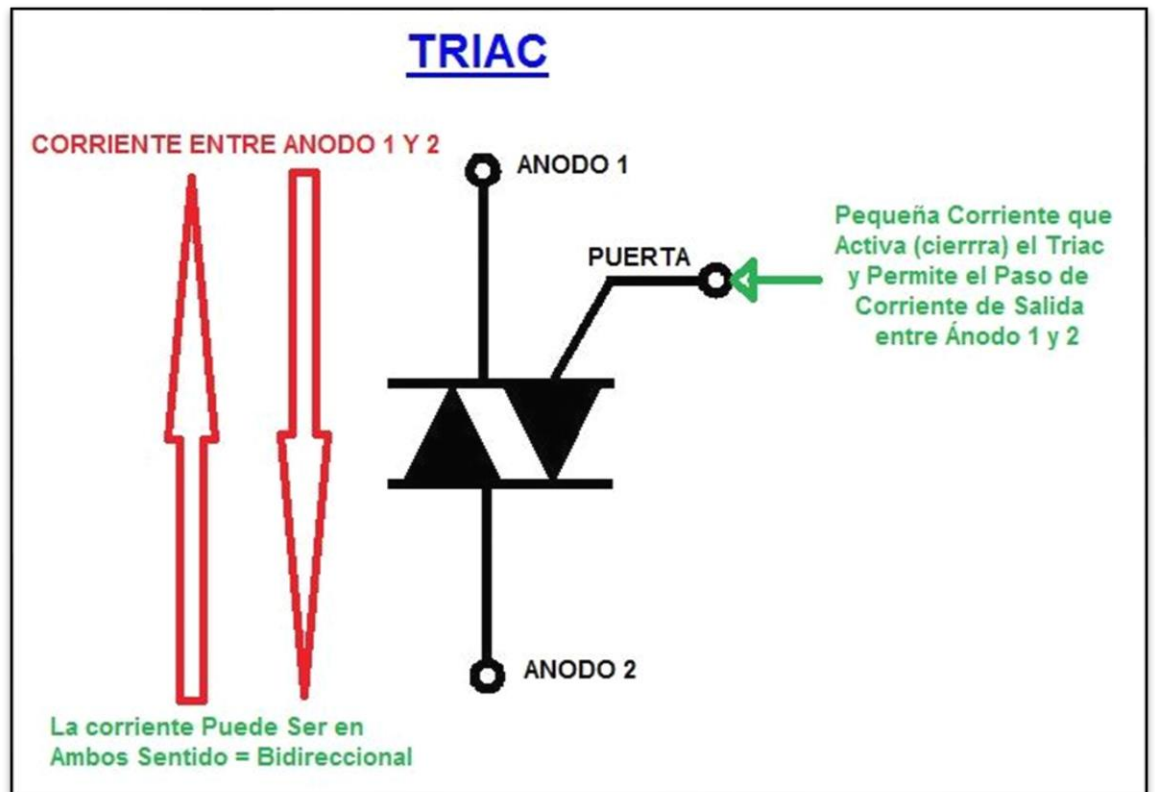


Figura 32: Conexión del triac

Fuente: Fundamentos de electrónica

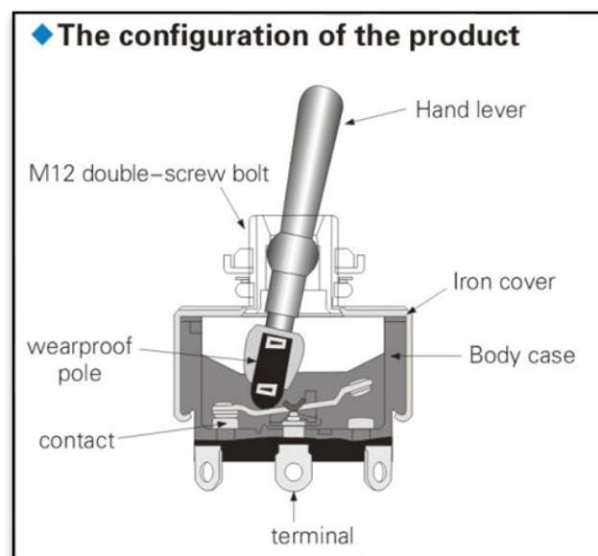


Figura 33: Partes de palanca toggle

Fuente: Fundamentos de electrónica



Como se ve en el gráfico o en el anexo 6, una línea va al GATE para pueda decidir si enviar energía a uno o a otro, el ánodo 1 está conectado al INTERRUPTOR LENGÜETA que inicialmente está abierto y de ahí pasa al interruptor de palanca o toggle que tiene 3 tiempos, pero solo hacemos conexión a los dos terminales ON, uno para que funcione 250V y el otro a 125 V lo cual hará que trabaje a la mitad de su potencia.

Luego del otro terminal del interruptor palanca regresa al GATE del TRIAC para dirigirse a la resistencia, entonces vemos que depende de la señal que mande el interruptor palanca para que la resistencia trabaje. Pero si nos damos cuenta el circuito está abierto antes de llegar es ahí donde viene el mecanismo para que encienda automáticamente.

3.14. MECANISMO DE ENCENDIDO AUTOMÁTICO

El ser humano construye objetos para satisfacer sus necesidades y las de la sociedad en la que vive, así como para mejorar la calidad de vida. Si observas a tu alrededor puedes comprobar en muchos de los objetos cotidianos que te rodean que se produce algún tipo de movimiento (un reloj de pared, un exprimidor, una bicicleta, un ascenso). El movimiento que observas en estos objetos es necesario para que realicen correctamente su función: la lavadora gira para que la ropa se lave, el exprimidor para poder extraer jugo, el reloj hace girar sus agujas para variar su hora.

3.15. MÁQUINA

Una máquina es un conjunto de elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar un trabajo con un fin determinado. Se denomina maquinaria (del latín machinariŭs) al conjunto de máquinas que se aplican para un mismo fin y al mecanismo que da movimiento a un dispositivo.

3.16. MECANISMO

Los mecanismos son elementos destinados a transmitir y/o transformar fuerzas y/o movimientos desde un elemento motriz (motor) a un elemento conducido (receptor), con la misión de permitir al ser humano realizar determinados trabajos con mayor comodidad y menor esfuerzo. Un mecanismo sería entonces un conjunto de elementos que forman parte de una máquina conectados entre sí y cuya misión es:

- Transformar una velocidad en otra velocidad.
- Transformar una fuerza en otra fuerza.
- Transformar una trayectoria en otra diferente.
- Transformar un tipo de energía en otro tipo distinto.

Habiendo aclarado esto, se puede empezar a explicar el mecanismo y posición de algunos elementos.

Como se observa en el anexo 1 en la estructura, el lado derecho que viene a ser el ingreso es más largo, es ahí donde irán los INTERRUPTORES DE LENGÜETA O REED SWITCH, encima de la parte metálica.

¿CÓMO SE ENCENDERÁ LA TERMA?



Figura 34: Posición del reed switch o interruptor de lengüeta

Elaboración propia



En el gráfico se ve dónde irá el interruptor que está abierto, es decir que no permite el flujo de energía.

Pero como se sabe ese interruptor hace contacto o se cierra mediante un campo magnético, es decir por un imán, entonces lo que haremos es; por donde ingresa el agua pondremos un pistón con imán en la cabeza con un resorte.

Su función se puede explicar en 2 tiempos:

1) PRIMERO.- Su posición inicial será el resorte sin elongación con el pistón, es decir estático, el INTERRUPTOR DE LENGÜETA sigue abierto porque el resorte lo empuja hacia atrás.

2) SEGUNDO.- El usuario abre la llave de agua caliente, por ende el agua empieza a fluir, eso provoca que el agua empuje el pistón, entonces el resorte se encogerá y permitirá que el imán del pistón cierre el contacto y el circuito se active. Y cuando el usuario cierre la llave el resorte empujará al pistón y el interruptor de lengüeta se abrirá y es así finalmente que el calentador se activará automáticamente con el paso del agua.

Tabla N° 8: Costo de materiales para el diseño de calentador

| COSTO DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE CALENTADOR | | | | | |
|--|---------------------------|--------|----------|---------------------|---------------------|
| N° | MATERIAL | U.M. | CANTIDAD | COSTO UNIT. (SOLES) | COSTO TOTAL (SOLES) |
| 1 | TRIAC | UNIDAD | 2 | 5.20 | 10.40 |
| 2 | INTERRUPTOR TOGGLE | UNIDAD | 2 | 7.00 | 14.00 |
| 3 | INTERRUPTOR DE LENGÜETA | UNIDAD | 2 | 2.00 | 4.00 |
| 4 | RESISTENCIAS DE INMERSIÓN | UNIDAD | 2 | 53.00 | 106.00 |
| 5 | CABLE | m | 2 | 3.20 | 6.40 |
| 6 | BORNERA | UNIDAD | 1 | 5.00 | 5.00 |



(continuación...)

| | | | | | |
|----|---|--------|---|------|-------------------|
| 7 | RESISTENCIAS | UNIDAD | 2 | 0.20 | 0.40 |
| 8 | REDUCTOR DE $\frac{3}{4}$ A $\frac{1}{2}$ DE LATÓN | UNIDAD | 2 | 2.30 | 4.60 |
| 9 | PISTÓN | UNIDAD | 1 | 7.00 | 7.00 |
| 10 | TUBOS DE ABASTO | UNIDAD | 2 | 7.00 | 14.00 |
| 11 | TOTAL | | | | S./ 171.80 |

Elaboración Propia

3.17. COSTO DE DISEÑO

3.17.1. Costo de materiales para el diseño del calentador

El costo de los materiales a utilizar representa aproximadamente el 30% del costo final de fabricación de la máquina, por tal lo detallamos en una tabla.

3.17.2. Costo de manufactura

Tabla N° 9: Costos de manufactura

| COSTO DE MANUFACTURA | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| N° | PROCESO | U.M | COSTO POR UNIDAD | CANTIDAD | TOTAL |
| 1 | Soldadura | Kg | 22 | 3 | 66.00 |
| 2 | Galvanizado electrolítico | Unidad | 15 | 2 | 30.00 |
| 3 | Pulido | Unidad | 10 | 4 | 40.00 |
| 4 | Materia Prima | Kg | 120 | 2 | 240.00 |
| 5 | Ensamblaje | Unidad | 80 | 1 | 80 |
| 6 | TOTAL | | | | S./ 456.00 |

Elaboración propia

3.17.3. Costo de fabricación

$$\mathbf{C.FAB = C.MAT + C.MAN}$$

$$\mathbf{C.FAB = S./ 171.80 + S./456.00}$$

$$\mathbf{C.FAB = S./ 627.80}$$

3.17.4. Costo de imprevistos

$$C.I = 10\% C.FAB$$

$$C.I = 10\% (627.80)$$

$$C.I = S./ 62.78 \approx S./ 62.80$$

3.17.5. Costo final

$$C.F = C.FAB + C.I$$

$$C.F = 627.80 + 62.80$$

$$C.F = S./ 690.60$$

3.18. TRIACS

Como se ve en la imagen referencial, el costo de los triacs no supera los 5 soles.

En el calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua usaremos 2 triacs, como máximo son 10 soles.

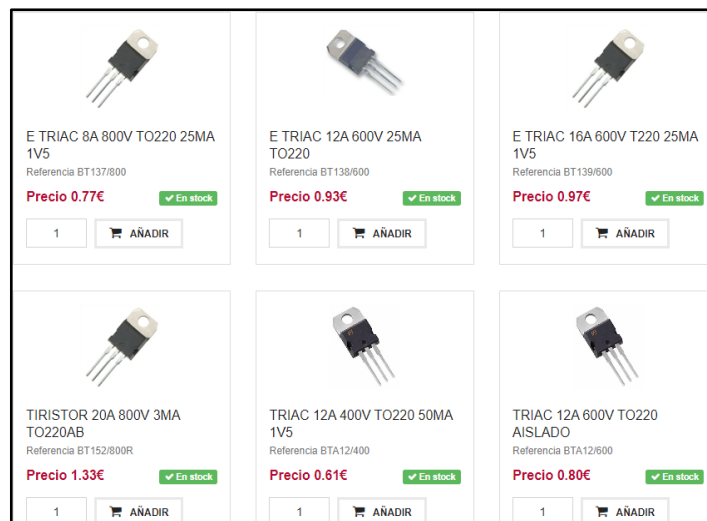


Figura 35: Precio de triacs

Fuente: <https://diotronic.com/24/semiconductores/triacs-thyristores-diacs/triacs/>

3.19. INTERRUPTOR TOGGLE

En el diseño del calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua usamos un interruptor toggle por cada resistencia, son 2 interruptores toggles utilizados, cada uno tiene un costo aproximado de 7 soles, por ende será un costo de 14 soles.



Figura 36: Precio de interruptor toggle


Fuente: https://es.aliexpress.com/item/32917923187.html?spm=a219c.search0302.3.1.5f7758645hUj20&s=p&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=7836f6b4-e9d5-4555-843c-6eab0133160e&algo_expid=7836f6b4-e9d5-4555-843c-6eab0133160e-0

3.20. INTERRUPTOR DE LENGÜETA

Usamos un interruptor de lengüeta por cada resistencia del calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua, el cual tiene un costo aproximado de 2 soles por cada unidad, haciendo un total de 4 soles.

SW [or] KSK-GP560 Series Reed Switches

- Features: Miniature, General Purpose
- Applications: Position Detector, Level Sensor, Tampering Switch
- Markets: Industrial, HVAC, Security & Others



Part Description: SW [or] KSK-GP560-XXXX

| Contact Qty | Contact Form | Switch Model | Pull-In Excitation (AT Range) |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------------|
| 1 | A | GP560 | 10-50 |

Figura 37: Interruptor de lengüeta

Fuente: Catálogo de Standex Electronic

| Customer Options | Switch Model | Unit |
|--|------------------|------|
| Contact Data | GP560 | |
| Rated Power (max.) <small>Any DC combination of V&A not to exceed their individual max.'s</small> | 10 | W |
| Switching Voltage (max.) <small>DC or peak AC</small> | 200 | V |
| Switching Current (max.) <small>DC or peak AC</small> | 1.0 | A |
| Carry Current (max.) <small>DC or peak AC</small> | 1.5 | A |
| Contact Resistance (max.) <small>@ 0.5V & 50mA</small> | 100 | mOhm |
| Breakdown Voltage (min.) <small>According to EN60255-5</small> | 0.3 | kVDC |
| Operating Time (max.) <small>Incl. Bounce; Measured with w/ Nominal Voltage</small> | 0.5 | ms |
| Release Time (max.) <small>Measured with no Coil Excitation</small> | 0.1 | ms |
| Test Coil | KMS01 | |
| Insulation Resistance (typ.) <small>Rin<45%, 100V Test Voltage</small> | 10 ¹⁰ | Ohm |
| Capacitance (typ.) <small>@ 10KHz across open Switch</small> | 0.2 | pF |

Figura 38: Características del interruptor de lengüeta

Fuente: Catálogo de Standex Electronic



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cuadro comparativo entre una terma convencional de tanque y calentador eléctrico con encendido automático

Tabla N° 10: Comparación entre terma convencional y calentador eléctrico con encendido automático

| CALENTADOR ELÉCTRICO | TERMA CONVENCIONAL |
|--|--|
| Calienta el agua que vas a usar, solo lo necesario. | Calienta una cantidad determinada, si deseas más agua caliente debes esperar más tiempo. |
| Ahorro de energía, porque cuando cierras la llave de agua caliente, automáticamente deja de funcionar el calentador. | Tiene un consumo establecido como mínimo, si deseas ducharse sólo una persona, la terma igual tiene que calentar toda el agua. |
| No es necesario que adaptes temporizador puesto que es automático. | Si quieres usar agua caliente todos los días a determinada hora, debes instalar un temporizador |
| Agua caliente en segundos, es instantáneo. | Debes esperar mucho tiempo para tener agua caliente |

Elaboración propia



4.2. Cuadro comparativo entre una terma solar y calentador eléctrico con encendido automático

Tabla N° 11: Comparación entre terma solar y calentador eléctrico con encendido automático

| CALENTADOR ELÉCTRICO | TERMA SOLAR |
|---|---|
| Puedes graduar la temperatura | La temperatura depende de cómo esté el tiempo climático |
| Ahorra espacio, porque no llega a medir mas que una guía telefónica | Es muy grande, tiene tanque e incluso tubería |
| Puedes tener agua caliente a cualquier hora. | Sólo tienes agua caliente a temperatura de confort en las tardes, en las noches no se abastece. |

Elaboración propia

4.3. Cuadro comparativo entre una ducha lorenzetti y calentador eléctrico con encendido automático

Tabla N° 12: Comparación entre duchan lorenzzeti y calentador eléctrico con encendido automático

| CALENTADOR ELÉCTRICO | DUCHA LORENZETTI |
|--|--|
| No es necesario que la enciendas cada vez que la vas a usar. | Tienes que encenderla cada vez que la vayas a usar |
| Pueden usar agua caliente todo el día sin problema alguno. | Si se usa mas de 30 minutos seguidos en su máxima potencia se quema la resistencia |
| Puedes tener agua caliente en varios puntos a la vez | Solo puedes tener agua caliente en un punto. |

Elaboración propia



4.4. Cuadro comparativo entre precios promedios de sistemas de calentamiento de agua convencionales y el calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático por flujo de agua

| N° | TERMA | COSTO (S./) |
|----|---|---------------|
| 1 | Calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático | 690.60 |
| 2 | Terma tanque | 1600-8500 |
| 3 | Termas solares | 1200-4000 |
| 4 | Termas a gas | 699-3000 |
| 5 | Termas monopunto | 80-300 |



V. CONCLUSIONES

- Hemos obtenido un calentador eléctrico con mecanismo de encendido automático a un costo de 690.60 soles, que a comparación con otros sistemas es un precio que puede competir en cualquier mercado
- Hemos demostrado que con un mecanismo de encendido automático el usuario tiene control sobre la energía y fluido que utiliza.
- Se ha demostrado que con un amperaje igual o menor que una ducha de punto o rapiducha o ducha lorenzetti se puede brindar mucho mas calor y algo que se puede resaltar es la seguridad que tiene este calentador pues las resistencias están aisladas.



VI. RECOMENDACIONES

- La principal recomendación sería que en futuras sustentaciones o trabajos de investigación se construya un módulo, para que primeramente Puno como región empiece a estar en la vanguardia en tecnología.
- Instalación de red de agua caliente para que el sistema abastezca todos los puntos de salida.
- Hacer pruebas con resistencias de mayor potencia para lugares que tienen una temperatura inferior a la de diseño.



VII. REFERENCIAS

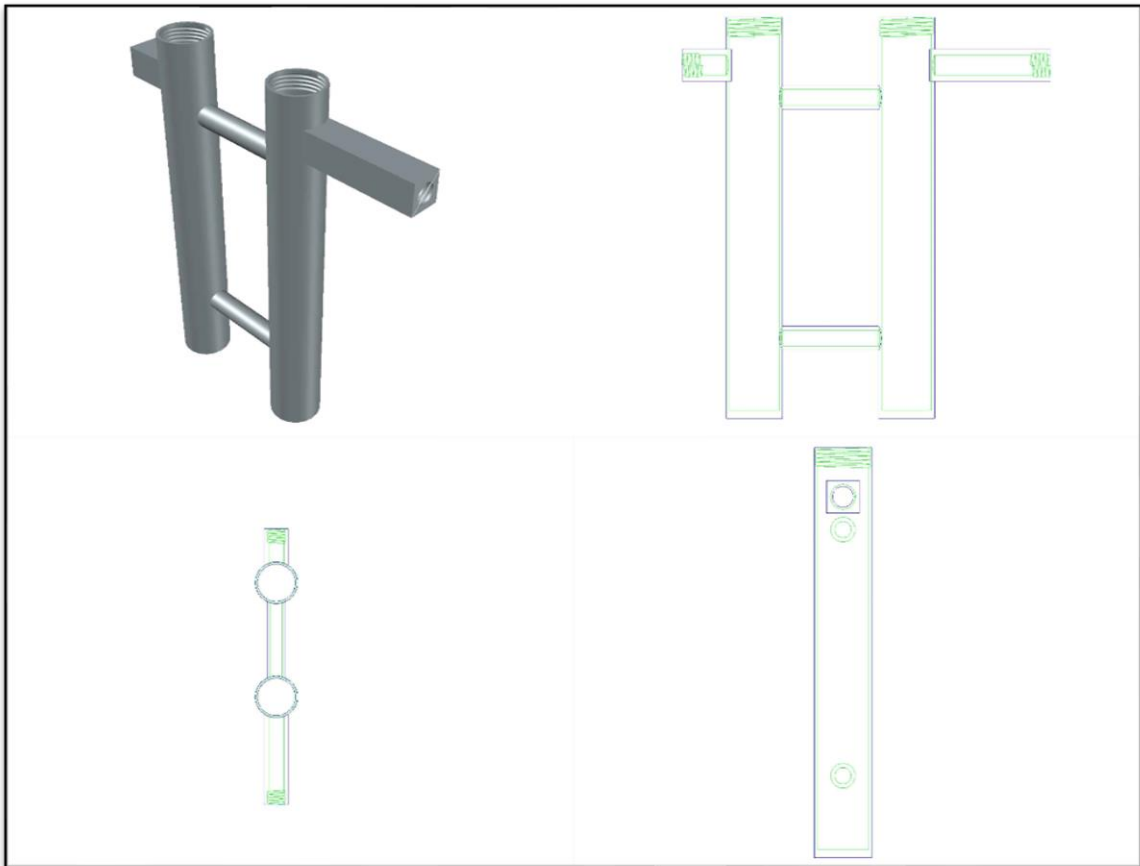
- Barrientos, J. E. (2013). *Diseño de la investigación del diseño de un calentador de agua solar utilizando asfalto como colector térmico*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Brototermic. (s.f.). Resistencias Eléctricas Calefactoras. *Distribuciones industriales*, 140.
- Buckius, J. R.-R. (1990). *Principios de termodinámica para ingenieros*. México: McGraw-Hill.
- Chapman, A. J. (1984). *Transmisión de calor*. España: Librería editorial Bellisco.
- Chicchon, J. M.-C. (2010). *Diseño e implementación de un sistema de control difuso de agua temperada de uso doméstico*. LIMA: Pontificia Universidad católica del Perú.
- Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de transferencia de calor*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Faires, V. W.-Y. (2012). *Termodinámica, robemas selectos*. Lima: Grupo Universitario.
- Flores, C. A. (s.f.). *optimización en la fabricación de termas eléctricas utilizando herramientas de lean manufacturing*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Fuentes, J. R. (2010). *Estudio comparativo técnico de sistemas de calentamiento de fluidos basados en resistencias eléctricas, inducción magnética y calderas diesel*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Ghajar, Y. A.-A. (2011). *Transferencia de calor y masa- fundamentos y aplicaciones*. Mexico: Mc graw hill.
- Granda, J. L. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de calentador eléctrico a ser utilizado en el proceso de liberación de presión sobre elementos que componen un motor hidraulico para perforación direccional de pozos petroleros*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Hadzich, M. (2006). *Tablas y gráficos de termodinámica*. Lima: PUCP.



- Jewett, R. A.-j. (2008). *Física para ciencias e ingenierías*. México: Cengage Learning Editores.
- Martinez, I. (1992). *Termodinámica básica y aplicada*. Madrid: Dossat.
- Müller, E. A. (2002). *Termodinámica básica*. Sevilla: Publidisa SA.
- Nashelsky, R. L.-L. (2009). *Eléctronica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México: Prentice Hall.
- Pareja, W. O. (2013). Apuntes de transferencia de calor. *Apuntes de transferencia de calor*. Puno, Puno, Perú.
- Sanchez, M. C. (s.f.). *Diseño de una ducha automatizada para personas con discapacidad en las extremidades superiores*. Pontificia universidad católica del Perú, Lima.
- Villavicencio, P. J.-L. (s.f.). *Diseño, construcción y evaluación de colectores solares para el calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa privada cristiana Bereshi de Chimbote*. Universidad Nacional del Santa, Chimbote.

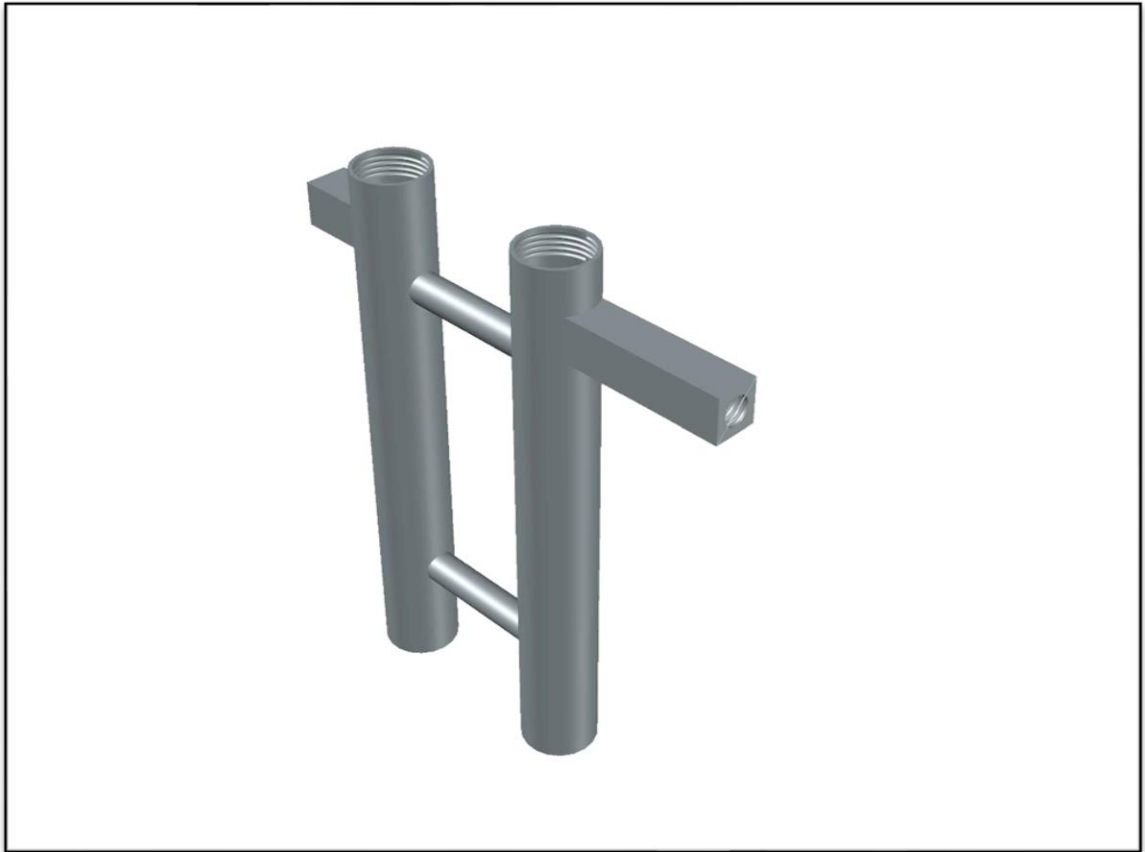
ANEXOS

Anexo 1. Vistas de las recámaras de calentamiento

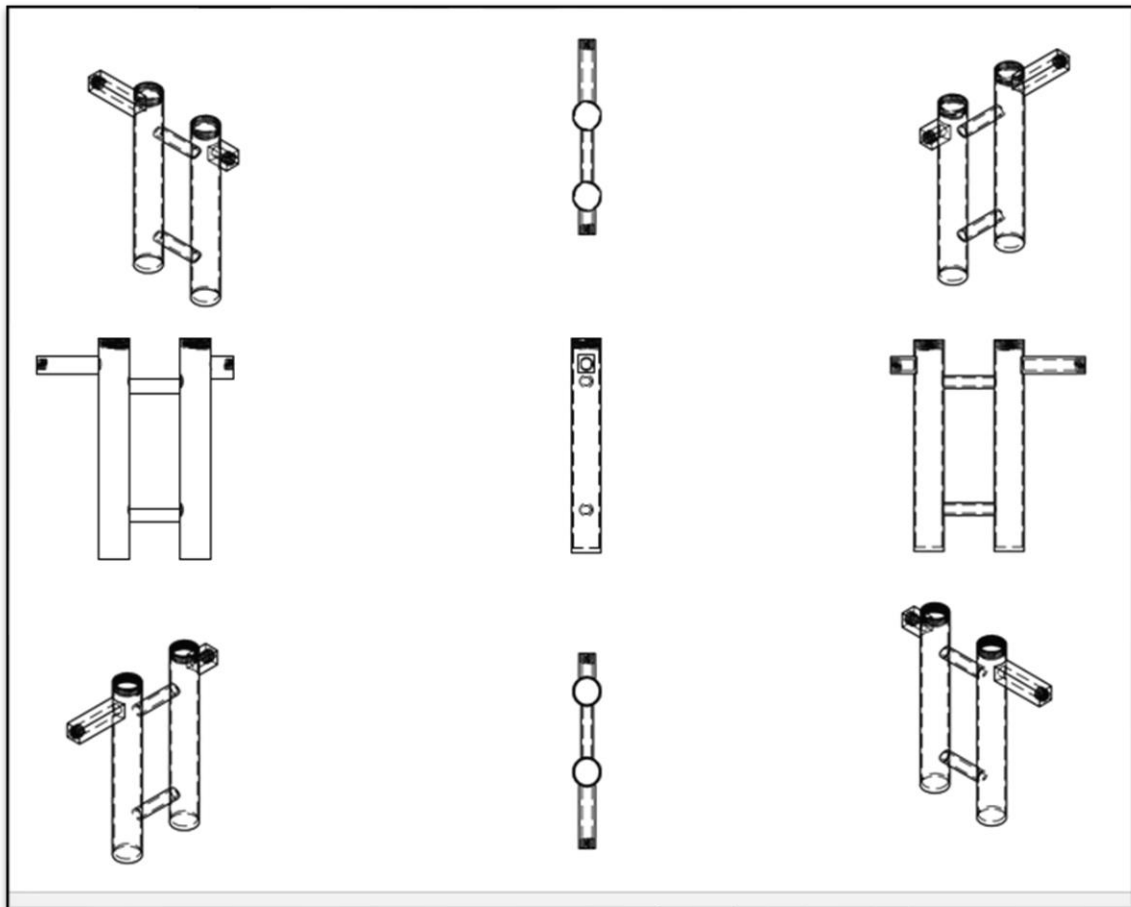




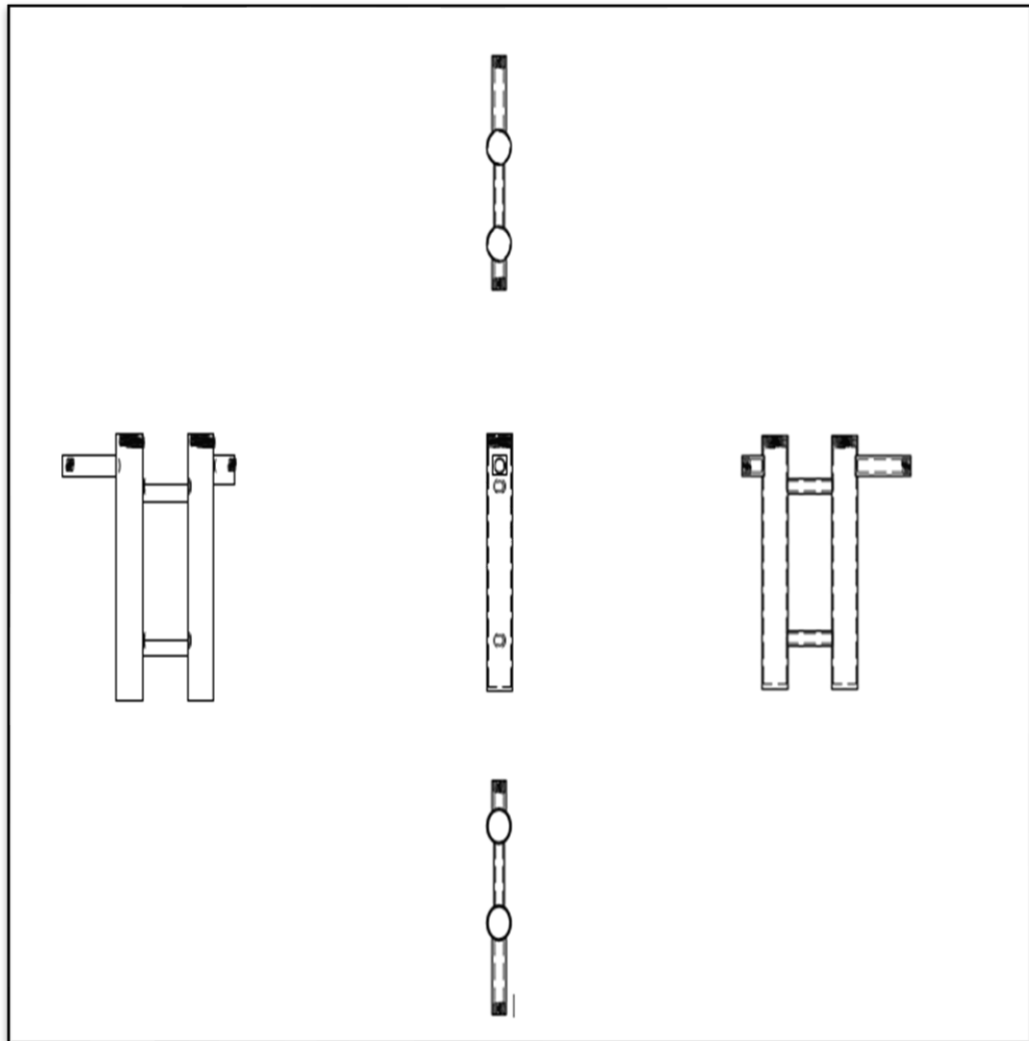
Anexo 2. Recámara de calentamiento



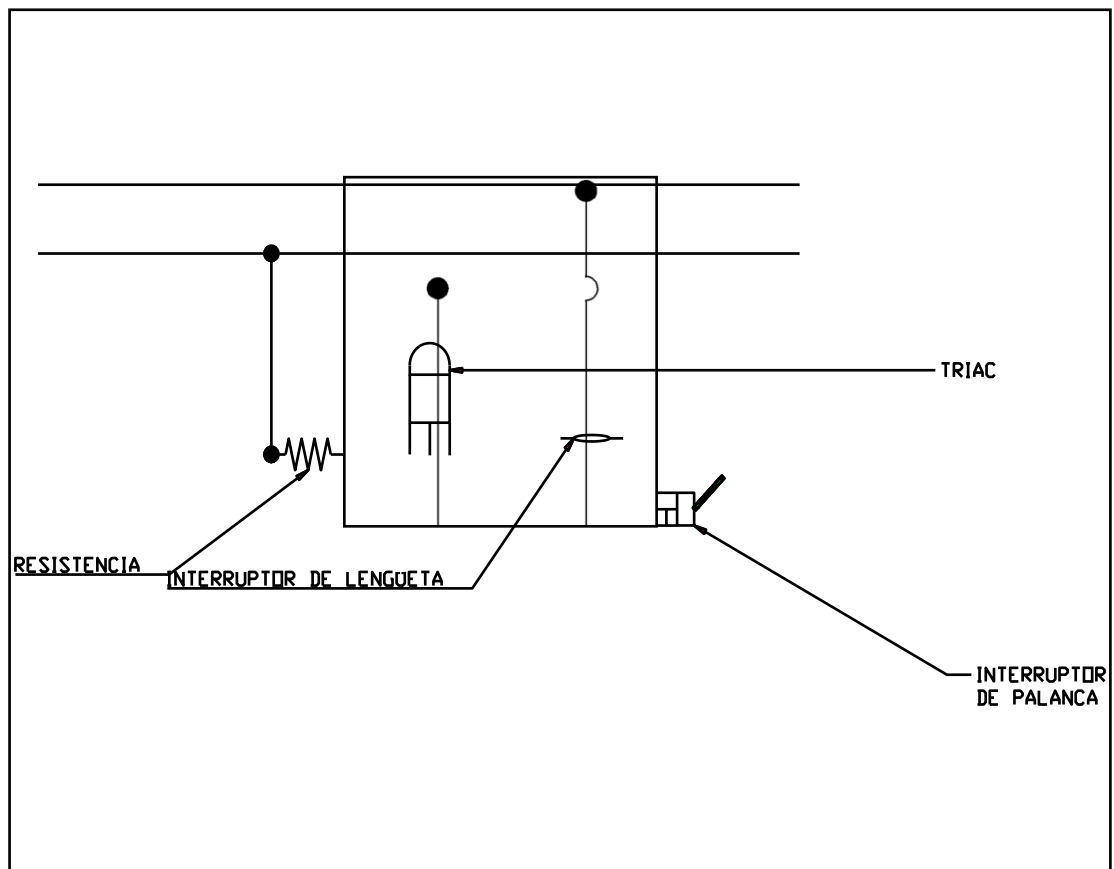
Anexo 3. Cortes de la recámara



Anexo 4. Cortes de recámara de calentamiento



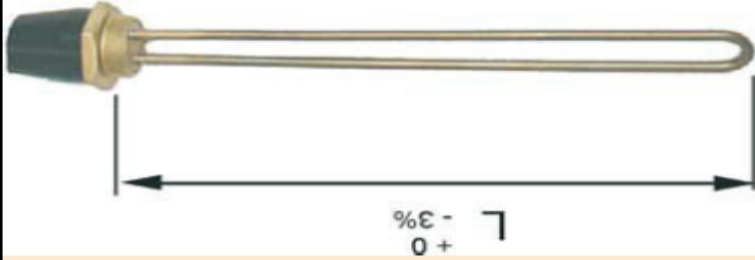
Anexo 5. Instalación de elementos eléctricos



Anexo 6. Modelos de resistencias normalizada

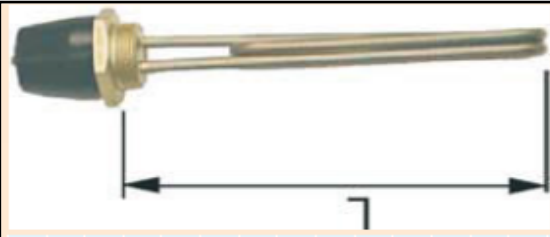
| Código | L en mm | Rosca tapón pulgadas GAS | Wattios | W/cm ² | Material tubo | Peso en Kg | Clase térmica constructiva Electricfor | Gama caja de conexiones | | Gama termostato |
|--------|------------|-----------------------------|---------|-------------------|------------------|---------------|--|-------------------------|----------------|--------------------|
| | | | | | | | | SIN termostato | Con termostato | |
| TIM005 | 255 | 1" 1/2 | 3000 | 9,7 | Titanio Ø8 | 0,6 | T-440-E | Gama D | Gama P2 | EG |
| TIM010 | 255 | 1" 1/2 | 4500 | 14,5 | Titanio Ø8 | 0,6 | T-440-E | Gama D | Gama P2 | EG |
| TIM015 | 255 | 1" 1/2 | 6000 | 19,4 | Titanio Ø8 | 0,6 | T-440-E | Gama D | Gama P2 | EG |

Anexo 7. Calefactor con tapón de acoplamiento, forma “u”



| Código | L en mm | Rosca tapón pulgadas Gas | Wattios | W/cm ² | Material tubo | Peso en Kg | Clase térmica constructiva Electricifcor | Gama caja de conexiones IP-40 (1) | Gama P3 de conexiones IP-66 (2) |
|--------|---------|--------------------------|---------|-------------------|---------------|------------|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| NA001 | 170 | 3/4" | 500 | 8,3 | Inox | 0,21 | T-300-E | C-FE-3/4" | — |
| NA001C | 170 | 3/4" | 500 | 8,3 | Cu | 0,21 | T-175-E | C-FE-3/4" | — |
| NA002 | 180 | 1 1/4" | 500 | 8,3 | Inox | 0,28 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA002C | 180 | 1 1/4" | 500 | 8,3 | Cu | 0,28 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA101 | 180 | 1" | 500 | 8,3 | Inox | 0,21 | T-300-E | C-MENZ | — |
| NA101C | 180 | 1" | 500 | 8,3 | Cu | 0,21 | T-175-E | C-MENZ | — |
| NA003 | 250 | 3/4" | 750 | 7,5 | Inox | 0,24 | T-300-E | C-FE-3/4" | — |
| NA003C | 250 | 3/4" | 750 | 7,5 | Cu | 0,24 | T-175-E | C-FE-3/4" | — |
| NA004 | 260 | 1 1/4" | 750 | 7,5 | Inox | 0,32 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA004C | 260 | 1 1/4" | 750 | 7,5 | Cu | 0,32 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA103 | 260 | 1" | 750 | 7,5 | Inox | 0,25 | T-300-E | C-MENZ | — |
| NA103C | 260 | 1" | 750 | 7,5 | Cu | 0,25 | T-175-E | C-MENZ | — |
| NA104C | 260 | 1 1/2" | 750 | 7,5 | Cu | 0,30 | T-175-E | C-MENZ | — |
| NA005 | 340 | 3/4" | 1000 | 7 | Inox | 0,28 | T-300-E | C-FE-3/4" | — |
| NA005C | 340 | 3/4" | 1000 | 7 | Cu | 0,28 | T-175-E | C-FE-3/4" | — |
| NA006 | 350 | 1 1/4" | 1000 | 7 | Inox | 0,35 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA006C | 350 | 1 1/4" | 1000 | 7 | Cu | 0,35 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA105 | 350 | 1" | 1000 | 7 | Inox | 0,29 | T-300-E | C-MENZ | — |
| NA105C | 350 | 1" | 1000 | 7 | Cu | 0,29 | T-175-E | C-MENZ | — |
| NA008 | 520 | 1 1/4" | 1500 | 6,6 | Inox | 0,44 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA008C | 520 | 1 1/4" | 1500 | 6,6 | Cu | 0,44 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA108 | 520 | 1" | 1500 | 6,6 | Inox | 0,36 | T-300-E | C-MENZ | — |
| NA108C | 520 | 1" | 1500 | 6,6 | Cu | 0,36 | T-175-E | C-MENZ | — |
| NA010 | 680 | 1 1/4" | 2000 | 6,5 | Inox | 0,50 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| NA010C | 680 | 1 1/4" | 2000 | 6,5 | Cu | 0,50 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |

Anexo 8. Calefactor con tapón de acoplamiento, forma “U “con doble vuelta



| L en mm | Rosca tapón pulgadas GAS | Wattios | W/cm ² | Material tubo | Peso en Kg | Clase térmica constructiva Electricifor | Gama caja de conexiones P-40 (1) | Gama P3 IP-66 (2) |
|---------|--------------------------|---------|-------------------|---------------|------------|---|----------------------------------|-------------------|
| 140 | 1 1/4" | 600 | 7,1 | Inox | 0,29 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 170 | 1 1/4" | 800 | 7 | Inox | 0,33 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 170 | 1 1/4" | 800 | 7 | Cu | 0,33 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 235 | 1 1/4" | 400 | 2,2 | Inox | 0,37 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 235 | 1 1/4" | 1200 | 6,7 | Inox | 0,42 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 235 | 1 1/4" | 1200 | 6,7 | Cu | 0,42 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 345 | 1 1/4" | 900 | 3,1 | Inox | 0,51 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 345 | 1 1/4" | 1800 | 6,3 | Inox | 0,51 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 345 | 1 1/4" | 1800 | 6,3 | Cu | 0,51 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 445 | 1 1/4" | 2400 | 6,2 | Inox | 0,56 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 445 | 1 1/4" | 2400 | 6,2 | Cu | 0,56 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 505 | 1 1/4" | 1000 | 2,2 | Inox | 0,61 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 505 | 1 1/4" | 1500 | 3,4 | Inox | 0,61 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 505 | 1 1/4" | 3000 | 6,7 | Inox | 0,61 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 505 | 1 1/4" | 3000 | 6,7 | Cu | 0,61 | T-175-E | C-MENZ | Gama P3 |

Anexo 9. Calefactor con tapón de acoplamiento, forma “U” con triple vuelta

| L en mm | Rosca tapón pulgadas GAS | Wattios | W/cm ² | Material tubo | Peso en Kg | Clase térmica constructiva Electricfor | Gama caja de conexiones | |
|------------|-----------------------------|---------|-------------------|------------------|---------------|---|-------------------------|----------|
| | | | | | | | P-40 (1) | P-66 (2) |
| 150 | 1 1/4" | 750 | 5 | Inox | 0,36 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 200 | 1 1/4" | 1000 | 4,4 | Inox | 0,24 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 250 | 1 1/4" | 1500 | 5,7 | Inox | 0,49 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 350 | 1 1/4" | 2000 | 4,5 | Inox | 0,62 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 250 | 2" | 2000 | 4,9 | Inox | 0,86 | T-300-E | C-FE-2" | --- |
| 450 | 1 1/4" | 2500 | 4,2 | Inox | 0,74 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |
| 550 | 1 1/4" | 3000 | 4 | Inox | 0,88 | T-300-E | C-MENZ | Gama P3 |

Anexo 10. Propiedades del agua saturada

| Temp., T , °F | Presión de saturación, P_{sat} , psia | Densidad, ρ , lbm/ft ³ | | Entalpía de vaporización, h_{fg} , Btu/lbm | Calor específico, c_p , Btu/lbm · °F | | Conductividad térmica, k , Btu/h · ft · °F | | Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h | | Número de Prandtl, Pr | | Coeficiente de expansión volumétrica, β , 1/R |
|--------------------|--|---|---------|---|---|-------|---|--------|--|------------------------|-----------------------|-------|--|
| | | Líquido | Vapor | | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | |
| 32.02 | 0.0887 | 62.41 | 0.00030 | 1 075 | 1.010 | 0.446 | 0.324 | 0.0099 | 1.204×10^{-3} | 6.194×10^{-4} | 13.5 | 1.00 | -0.038×10^{-3} |
| 40 | 0.1217 | 62.42 | 0.00034 | 1 071 | 1.004 | 0.447 | 0.329 | 0.0100 | 1.308×10^{-3} | 6.278×10^{-4} | 11.4 | 1.01 | 0.003×10^{-3} |
| 50 | 0.1780 | 62.41 | 0.00059 | 1 065 | 1.000 | 0.448 | 0.335 | 0.0102 | 8.781×10^{-4} | 6.361×10^{-4} | 9.44 | 1.01 | 0.047×10^{-3} |
| 60 | 0.2463 | 62.36 | 0.00083 | 1 060 | 0.999 | 0.449 | 0.341 | 0.0104 | 7.536×10^{-4} | 6.444×10^{-4} | 7.95 | 1.00 | 0.080×10^{-3} |
| 70 | 0.3632 | 62.30 | 0.00115 | 1 054 | 0.999 | 0.450 | 0.347 | 0.0106 | 6.556×10^{-4} | 6.556×10^{-4} | 6.79 | 1.00 | 0.115×10^{-3} |
| 80 | 0.5073 | 62.22 | 0.00158 | 1 048 | 0.999 | 0.451 | 0.352 | 0.0108 | 5.764×10^{-4} | 6.667×10^{-4} | 5.89 | 1.00 | 0.146×10^{-3} |
| 90 | 0.6988 | 62.12 | 0.00214 | 1 043 | 0.999 | 0.453 | 0.358 | 0.0110 | 5.117×10^{-4} | 6.778×10^{-4} | 5.14 | 1.00 | 0.174×10^{-3} |
| 100 | 0.9503 | 62.00 | 0.00286 | 1 037 | 0.999 | 0.454 | 0.363 | 0.0112 | 4.578×10^{-4} | 6.889×10^{-4} | 4.54 | 1.01 | 0.200×10^{-3} |
| 110 | 1.2763 | 61.86 | 0.00377 | 1 031 | 0.999 | 0.456 | 0.367 | 0.0115 | 4.128×10^{-4} | 7.000×10^{-4} | 4.05 | 1.00 | 0.224×10^{-3} |
| 120 | 1.6945 | 61.71 | 0.00493 | 1 026 | 0.999 | 0.458 | 0.371 | 0.0117 | 3.744×10^{-4} | 7.111×10^{-4} | 3.63 | 1.00 | 0.246×10^{-3} |
| 130 | 2.225 | 61.55 | 0.00636 | 1 020 | 0.999 | 0.460 | 0.375 | 0.0120 | 3.417×10^{-4} | 7.222×10^{-4} | 3.28 | 1.00 | 0.267×10^{-3} |
| 140 | 2.892 | 61.38 | 0.00814 | 1 014 | 0.999 | 0.463 | 0.378 | 0.0122 | 3.136×10^{-4} | 7.333×10^{-4} | 2.98 | 1.00 | 0.287×10^{-3} |
| 150 | 3.722 | 61.19 | 0.0103 | 1 008 | 1.000 | 0.465 | 0.381 | 0.0125 | 2.889×10^{-4} | 7.472×10^{-4} | 2.73 | 1.00 | 0.306×10^{-3} |
| 160 | 4.745 | 60.99 | 0.0129 | 1 002 | 1.000 | 0.468 | 0.384 | 0.0128 | 2.675×10^{-4} | 7.583×10^{-4} | 2.51 | 1.00 | 0.325×10^{-3} |
| 170 | 5.996 | 60.79 | 0.0161 | 996 | 1.001 | 0.472 | 0.386 | 0.0131 | 2.483×10^{-4} | 7.722×10^{-4} | 2.30 | 1.00 | 0.346×10^{-3} |
| 180 | 7.515 | 60.57 | 0.0199 | 990 | 1.002 | 0.475 | 0.388 | 0.0134 | 2.317×10^{-4} | 7.833×10^{-4} | 2.15 | 1.00 | 0.367×10^{-3} |
| 190 | 9.343 | 60.35 | 0.0244 | 984 | 1.004 | 0.479 | 0.390 | 0.0137 | 2.169×10^{-4} | 7.972×10^{-4} | 2.01 | 1.00 | 0.382×10^{-3} |
| 200 | 11.53 | 60.12 | 0.0297 | 978 | 1.005 | 0.483 | 0.391 | 0.0141 | 2.036×10^{-4} | 8.083×10^{-4} | 1.88 | 1.00 | 0.395×10^{-3} |
| 210 | 14.125 | 59.87 | 0.0359 | 972 | 1.007 | 0.487 | 0.392 | 0.0144 | 1.917×10^{-4} | 8.222×10^{-4} | 1.77 | 1.00 | 0.412×10^{-3} |
| 212 | 14.698 | 59.82 | 0.0373 | 970 | 1.007 | 0.488 | 0.392 | 0.0145 | 1.894×10^{-4} | 8.250×10^{-4} | 1.75 | 1.00 | 0.417×10^{-3} |
| 220 | 17.19 | 59.62 | 0.0432 | 965 | 1.009 | 0.492 | 0.393 | 0.0148 | 1.808×10^{-4} | 8.333×10^{-4} | 1.67 | 1.00 | 0.429×10^{-3} |
| 230 | 20.78 | 59.36 | 0.0516 | 959 | 1.011 | 0.497 | 0.394 | 0.0152 | 1.711×10^{-4} | 8.472×10^{-4} | 1.58 | 1.00 | 0.443×10^{-3} |
| 240 | 24.97 | 59.09 | 0.0612 | 952 | 1.013 | 0.503 | 0.394 | 0.0156 | 1.625×10^{-4} | 8.611×10^{-4} | 1.50 | 1.00 | 0.462×10^{-3} |
| 250 | 29.82 | 58.82 | 0.0723 | 946 | 1.015 | 0.509 | 0.395 | 0.0160 | 1.544×10^{-4} | 8.611×10^{-4} | 1.43 | 1.00 | 0.480×10^{-3} |
| 260 | 35.42 | 58.53 | 0.0850 | 939 | 1.018 | 0.516 | 0.395 | 0.0164 | 1.472×10^{-4} | 8.861×10^{-4} | 1.37 | 1.00 | 0.497×10^{-3} |
| 270 | 41.85 | 58.24 | 0.0993 | 932 | 1.020 | 0.523 | 0.395 | 0.0168 | 1.406×10^{-4} | 9.000×10^{-4} | 1.31 | 1.01 | 0.514×10^{-3} |
| 280 | 49.18 | 57.94 | 0.1156 | 925 | 1.023 | 0.530 | 0.395 | 0.0172 | 1.344×10^{-4} | 9.111×10^{-4} | 1.25 | 1.01 | 0.532×10^{-3} |
| 290 | 57.53 | 57.63 | 0.1330 | 918 | 1.025 | 0.538 | 0.395 | 0.0177 | 1.289×10^{-4} | 9.250×10^{-4} | 1.21 | 1.01 | 0.540×10^{-3} |
| 300 | 66.98 | 57.31 | 0.1545 | 910 | 1.029 | 0.547 | 0.394 | 0.0182 | 1.236×10^{-4} | 9.389×10^{-4} | 1.16 | 1.02 | 0.556×10^{-3} |
| 320 | 89.60 | 56.65 | 0.2033 | 895 | 1.036 | 0.567 | 0.393 | 0.0191 | 1.144×10^{-4} | 9.639×10^{-4} | 1.09 | 1.03 | 0.636×10^{-3} |
| 340 | 117.93 | 55.95 | 0.2637 | 880 | 1.044 | 0.590 | 0.391 | 0.0202 | 1.063×10^{-4} | 9.889×10^{-4} | 1.02 | 1.04 | 0.656×10^{-3} |
| 360 | 152.92 | 55.22 | 0.3377 | 863 | 1.054 | 0.617 | 0.389 | 0.0213 | 9.972×10^{-5} | 1.013×10^{-3} | 0.973 | 1.06 | 0.681×10^{-3} |
| 380 | 195.60 | 54.46 | 0.4275 | 845 | 1.065 | 0.647 | 0.385 | 0.0224 | 9.361×10^{-5} | 1.041×10^{-3} | 0.932 | 1.08 | 0.720×10^{-3} |
| 400 | 241.1 | 53.65 | 0.5359 | 827 | 1.078 | 0.683 | 0.382 | 0.0237 | 8.833×10^{-5} | 1.066×10^{-3} | 0.899 | 1.11 | 0.771×10^{-3} |
| 450 | 422.1 | 51.46 | 0.9082 | 775 | 1.121 | 0.799 | 0.370 | 0.0271 | 7.722×10^{-5} | 1.130×10^{-3} | 0.842 | 1.20 | 0.912×10^{-3} |
| 500 | 680.0 | 48.95 | 1.479 | 715 | 1.188 | 0.972 | 0.352 | 0.0312 | 6.833×10^{-5} | 1.200×10^{-3} | 0.830 | 1.35 | 1.111×10^{-3} |
| 550 | 1 046.7 | 45.96 | 4.268 | 641 | 1.298 | 1.247 | 0.329 | 0.0368 | 6.083×10^{-5} | 1.280×10^{-3} | 0.854 | 1.56 | 1.445×10^{-3} |
| 600 | 1 541 | 42.32 | 3.736 | 550 | 1.509 | 1.759 | 0.299 | 0.0461 | 5.389×10^{-5} | 1.380×10^{-3} | 0.979 | 1.90 | 1.883×10^{-3} |
| 650 | 2 210 | 37.31 | 6.152 | 422 | 2.086 | 3.103 | 0.267 | 0.0677 | 4.639×10^{-5} | 1.542×10^{-3} | 1.30 | 2.54 | — |
| 700 | 3 090 | 27.28 | 13.44 | 168 | 13.80 | 25.90 | 0.254 | 0.1964 | 3.417×10^{-5} | 2.044×10^{-3} | 6.68 | 9.71 | — |
| 705.44 | 3 204 | 19.79 | 19.79 | 0 | — | — | — | — | 2.897×10^{-5} | 2.897×10^{-3} | — | — | — |

Anexo 11. Propiedades de metales solidos

| Composición | Punto de fusión, R | Propiedades a 540 R | | | | Propiedades a varias temperaturas (R) k(Btu/h · ft · R)/C _p (Btu/lbm · R) | | | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|--|---|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | ρ lbm/ft ³ | c_p (Btu/lbm · R) | k (Btu/h · ft · R) | $\alpha \times 10^6$ ft ² /s | 180 | 360 | 720 | 1 080 | 1 440 | 1 800 |
| Aluminio: | 1 679 | 168 | 0.216 | 137 | 1045 | 174.5 | 137 | 138.6 | 133.4 | 126 | |
| Puro | | | | | | 0.115 | 0.191 | 0.226 | 0.246 | 0.273 | |
| Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn) | 1 395 | 173 | 0.209 | 102.3 | 785.8 | 37.6 | 94.2 | 107.5 | 107.5 | | |
| Aleación 195, cast (4.5% Cu) | | 174.2 | 0.211 | 97 | 734 | 0.113 | 0.188 | 0.22 | 0.249 | | |
| Berilio | 2 790 | 115.5 | 0.436 | 115.6 | 637.2 | 572 | 174 | 93 | 72.8 | 61.3 | 52.5 |
| | | | | | | 0.048 | 0.266 | 0.523 | 0.621 | 0.624 | 0.72 |
| Bismuto | 981 | 610.5 | 0.029 | 4.6 | 71 | 9.5 | 5.6 | 4.06 | | | |
| | | | | | | 0.026 | 0.028 | 0.03 | | | |
| Boro | 4 631 | 156 | 0.264 | 15.6 | 105 | 109.7 | 32.06 | 9.7 | 6.1 | 5.5 | 5.7 |
| | | | | | | 0.03 | 0.143 | 0.349 | 0.451 | 0.515 | 0.558 |
| Cadmio | 1 069 | 540 | 0.055 | 55.6 | 521 | 117.3 | 57.4 | 54.7 | | | |
| | | | | | | 0.047 | 0.053 | 0.057 | | | |
| Cromo | 3 812 | 447 | 0.107 | 54.1 | 313.2 | 91.9 | 64.1 | 52.5 | 46.6 | 41.2 | 37.8 |
| | | | | | | 0.045 | 0.091 | 0.115 | 0.129 | 0.138 | 0.147 |
| Cobalto | 3 184 | 553.2 | 0.101 | 57.3 | 286.3 | 96.5 | 70.5 | 49.3 | 39 | 33.6 | 80.1 |
| | | | | | | 0.056 | 0.09 | 0.107 | 0.12 | 0.131 | 0.145 |
| Cobre: | 2 445 | 559 | 0.092 | 231.7 | 1 259.3 | 278.5 | 238.6 | 227.07 | 219 | 212 | 203.4 |
| Puro | | | | | | 0.06 | 0.085 | 0.094 | 0.01 | 0.103 | 0.107 |
| Bronce comercial (90% Cu, 10% Al) | 2 328 | 550 | 0.1 | 30 | 150.7 | 24.3 | 30 | 34 | | | |
| Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn) | 1 987 | 548.1 | 0.084 | 31.2 | 183 | 23.7 | 37.6 | 42.8 | 0.130 | | |
| Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn) | 2 139 | 532.5 | 0.09 | 63.6 | 364.9 | 43.3 | 54.9 | 79.2 | 86.0 | | |
| Constantán (55% Cu, 45% Ni) | 2 687 | 557 | 0.092 | 13.3 | 72.3 | 9.8 | 1.1 | 0.09 | 0.101 | | |
| | | | | | | 0.06 | 0.09 | | | | |
| Germanio | 2 180 | 334.6 | 0.08 | 34.6 | 373.5 | 134 | 56 | 25 | 15.7 | 11.4 | 10.05 |
| | | | | | | 0.045 | 0.069 | 0.08 | 0.083 | 0.085 | 0.089 |
| Oro | 2 405 | 1 205 | 0.03 | 183.2 | 1 367 | 189 | 186.6 | 179.7 | 172.2 | 164.09 | 156 |
| | | | | | | 0.026 | 0.029 | 0.031 | 0.032 | 0.033 | 0.034 |
| Iridio | 4 896 | 1 404.6 | 0.031 | 85 | 541.4 | 99.4 | 88.4 | 83.2 | 79.7 | 76.3 | 72.8 |
| | | | | | | 0.021 | 0.029 | 0.031 | 0.032 | 0.034 | 0.036 |
| Hierro: | 3 258 | 491.3 | 0.106 | 46.4 | 248.6 | 77.4 | 54.3 | 40.2 | 31.6 | 25.01 | 19 |
| Puro | | | | | | 0.051 | 0.091 | 0.117 | 0.137 | 0.162 | 0.232 |
| Armco (99.75% puro) | | 491.3 | 0.106 | 42 | 222.8 | 55.2 | 46.6 | 38 | 30.7 | 24.4 | 18.7 |
| | | | | | | 0.051 | 0.091 | 0.117 | 0.137 | 0.162 | 0.233 |
| Aceros al carbono: | 490.3 | 0.103 | 35 | 190.6 | | | | 32.8 | 27.7 | 22.7 | 17.4 |
| Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%) | | | | | | | | 0.116 | 0.113 | 0.163 | 0.279 |
| AISI 1010 | 489 | 0.103 | 37 | 202.4 | | | | 33.9 | 28.2 | 22.7 | 18 |
| | | | | | | | | 0.116 | 0.133 | 0.163 | 0.278 |
| Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%) | 488 | 0.106 | 30 | 160.4 | | | | 28.8 | 25.4 | 21.6 | 17 |
| | | | | | | | | 0.119 | 0.139 | 0.166 | 0.231 |
| Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%) | 508 | 0.104 | 23.7 | 125 | | | | 24.4 | 23 | 20.2 | 16 |
| | | | | | | | | 0.116 | 0.133 | 0.163 | 0.260 |
| Aceros al (bajo) cromo: $\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si) | 488.3 | 0.106 | 21.8 | 117.4 | | | | 22 | 21.2 | 19.3 | 15.6 |
| | | | | | | | | 0.117 | 0.137 | 0.164 | 0.231 |
| 1 Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si) | 490.6 | 0.106 | 24.5 | 131.3 | | | | 24.3 | 22.6 | 20 | 15.8 |
| | | | | | | | | 0.117 | 0.137 | 0.164 | 0.231 |
| 1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V) | 489.2 | 0.106 | 28.3 | 151.8 | | | | 27.0 | 24.3 | 21 | 16.3 |
| | | | | | | | | 0.117 | 0.137 | 0.164 | 0.231 |

Anexo 12. Propiedades de metales sólidos

| Propiedades de metales sólidos (conclusión) | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Composición | Punto de fusión, R | Propiedades a 540 R | | | | Propiedades a varias temperaturas (R) | | | | | |
| | | ρ lbm/ft ³ | c_p (Btu/lbm · R) | k (Btu/h · ft · R) | $\alpha \times 10^6$ ft ² /s | k (Btu/h · ft · R) ν_p (Btu/lbm · R) | | | | | |
| | | | | | | 180 | 360 | 720 | 1080 | 1440 | 1800 |
| Aceros inoxidables: | | | | | | | | | | | |
| AISI 302 | | 503 | 0.114 | 8.7 | 42 | | | 10 | 11.6 | 13.2 | 14.7 |
| | | | | | | | | 0.122 | 0.133 | 0.140 | 0.144 |
| AISI 304 | 3006 | 493.2 | 0.114 | 8.6 | 42.5 | 5.31 | 7.3 | 9.6 | 11.5 | 13 | 14.7 |
| | | | | | | 0.064 | 0.096 | 0.123 | 0.133 | 0.139 | 0.145 |
| AISI 316 | | 514.3 | 0.111 | 7.8 | 37.5 | | | 8.8 | 10.6 | 12.3 | 14 |
| | | | | | | 0.12 | 0.131 | 0.137 | 0.143 | | |
| AISI 347 | | 498 | 0.114 | 8.2 | 40 | | | 9.1 | 1.1 | 12.7 | 14.3 |
| | | | | | | | | 0.122 | 0.133 | 0.14 | 0.144 |
| Plomo | 1082 | 708 | 0.03 | 20.4 | 259.4 | 23 | 21.2 | 19.7 | 18.1 | | |
| | | | | | | 0.028 | 0.029 | 0.031 | 0.034 | | |
| Magnesio | 1661 | 109 | 0.245 | 90.2 | 943 | 87.9 | 91.9 | 88.4 | 86.0 | 84.4 | |
| | | | | | | 0.155 | 0.223 | 0.256 | 0.279 | 0.302 | |
| Molibdano | 5209 | 639.3 | 0.06 | 79.7 | 578 | 1034 | 82.6 | 77.4 | 72.8 | 68.2 | 64.7 |
| | | | | | | 0.033 | 0.053 | 0.062 | 0.065 | 0.068 | 0.070 |
| Niquel: | | | | | | | | | | | |
| Puro | 3110 | 555.6 | 0.106 | 52.4 | 247.6 | 94.8 | 61.8 | 46.3 | 37.9 | 39 | 41.4 |
| | | | | | | 0.055 | 0.091 | 0.115 | 0.141 | 0.126 | 0.134 |
| Nicromo (80% Ni, 20% Cr) | 3010 | 524.4 | 0.1 | 6.9 | 36.6 | | | 8.0 | 9.3 | 12.2 | |
| | | | | | | | 0.114 | 0.125 | 0.130 | | |
| Inconel X-750 (73% Ni, 15% Cr, 6.7% Fe) | 2997 | 531.3 | 0.104 | 6.8 | 33.4 | 5 | 5.9 | 7.8 | 9.8 | 11.8 | 13.9 |
| | | | | | | — | 0.088 | 0.112 | 0.121 | 0.13 | 0.149 |
| Niobio | 4934 | 535 | 0.063 | 31 | 254 | 31.9 | 30.4 | 32 | 33.6 | 35.4 | 32.2 |
| | | | | | | 0.044 | 0.059 | 0.065 | 0.067 | 0.069 | 0.071 |
| Paladio | 3289 | 750.4 | 0.058 | 41.5 | 263.7 | 44.2 | 41.4 | 42.5 | 46 | 50 | 54.4 |
| | | | | | | 0.04 | 0.054 | 0.059 | 0.062 | 0.064 | 0.067 |
| Platino: | | | | | | | | | | | |
| Puro | 3681 | 1339 | 0.031 | 41.4 | 270 | 44.7 | 42 | 41.5 | 42.3 | 43.7 | 45.5 |
| | | | | | | 0.024 | 0.03 | 0.032 | 0.034 | 0.035 | 0.036 |
| Aleación 60Pt-40Rh (60% Pt, 40% Rh) | 3240 | 1038.2 | 0.038 | 27.2 | 187.3 | | | 30 | 34 | 37.5 | 40 |
| | | | | | | | | — | — | — | |
| Renio | 6215 | 1317.2 | 0.032 | 27.7 | 180 | 34 | 30 | 26.6 | 25.5 | 25.4 | 25.8 |
| | | | | | | 0.023 | 0.03 | 0.033 | 0.034 | 0.036 | 0.037 |
| Rodio | 4025 | 777.2 | 0.058 | 86.7 | 534 | 107.5 | 89 | 84.3 | 78.5 | 73.4 | 70 |
| | | | | | | 0.035 | 0.052 | 0.06 | 0.065 | 0.069 | 0.074 |
| Silicio | 3033 | 145.5 | 0.17 | 85.5 | 960.2 | 510.8 | 152.5 | 57.2 | 35.8 | 24.4 | 18.0 |
| | | | | | | 0.061 | 0.132 | 0.189 | 0.207 | 0.218 | 0.226 |
| Plata | 2223 | 656 | 0.056 | 248 | 1873 | 257 | 248.4 | 245.5 | 238 | 228.8 | 219 |
| | | | | | | 0.044 | 0.053 | 0.057 | 0.059 | 0.062 | 0.066 |
| Tantalio | 5884 | 1036.3 | 0.033 | 33.2 | 266 | 34.2 | 33.2 | 33.4 | 34 | 34.3 | 34.8 |
| | | | | | | 0.026 | 0.031 | 0.034 | 0.035 | 0.036 | 0.036 |
| Torio | 3641 | 730.4 | 0.028 | 31.2 | 420.9 | 34.6 | 31.5 | 31.4 | 32.2 | 32.9 | 32.9 |
| | | | | | | 0.024 | 0.027 | 0.029 | 0.032 | 0.035 | 0.037 |
| Estaño | 909 | 456.3 | 0.054 | 38.5 | 431.6 | 49.2 | 42.4 | 35.9 | | | |
| | | | | | | 0.044 | 0.051 | 0.058 | | | |
| Titanio | 3515 | 281 | 0.013 | 12.7 | 100.3 | 17.6 | 14.2 | 11.8 | 11.2 | 11.4 | 12 |
| | | | | | | 0.071 | 0.111 | 0.131 | 0.141 | 0.151 | 0.161 |
| Tungstano | 6588 | 1204.9 | 0.031 | 100.5 | 735.2 | 120.2 | 107.5 | 92 | 79.2 | 72.2 | 68.2 |
| | | | | | | 0.020 | 0.029 | 0.032 | 0.033 | 0.034 | 0.035 |
| Uranio | 2531 | 1190.5 | 0.027 | 16 | 134.5 | 12.5 | 14.5 | 17.1 | 19.6 | 22.4 | 25.4 |
| | | | | | | 0.022 | 0.026 | 0.029 | 0.035 | 0.042 | 0.043 |
| Vanadio | 3946 | 381 | 0.117 | 17.7 | 110.9 | 20.7 | 18 | 18 | 19.3 | 20.6 | 22.0 |
| | | | | | | 0.061 | 0.102 | 0.123 | 0.128 | 0.134 | 0.142 |
| Zinc | 1247 | 445.7 | 0.093 | 67 | 450 | 67.6 | 68.2 | 64.1 | 59.5 | | |
| | | | | | | 0.07 | 0.087 | 0.096 | 0.104 | | |
| Zirconio | 3825 | 410.2 | 0.067 | 13.1 | 133.5 | 19.2 | 14.6 | 12.5 | 12 | 12.5 | 13.7 |
| | | | | | | 0.049 | 0.063 | 0.072 | 0.77 | 0.082 | 0.087 |