



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CALORÍMETRO DIDACTICO PARA EL  
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA”.

TESIS.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

***INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.***

PRESENTAN.

RICARDO EMMANUEL ALFARO GUTIÉRREZ.

JESÚS ALBERTO HERNÁNDEZ TOLEDO.

ASESOR.

M. en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO, 2015.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



LIBERTAD NACIONAL  
AYUNTAMIENTO DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

REGISTRADO EN EL INSTITUTO  
ESTADUAL DE CALIDAD

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ AMÉRICO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

DISÑO Y FABRICACIÓN DE UN CALORÍMETRO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE  
TERMODINÁMICA

Que presenta el pasante: RICARDO EMMANUEL ALFARO GUTIÉRREZ  
Con número de cuenta: 30773062-0 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cuautitlán-Izcalli, Méx. a 19 de febrero de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

|              | NOMBRE                                      | FIRMA |
|--------------|---|-------|
| PRESIDENTE   | Ing. Enrique Cortes González                |       |
| VOCAL        | M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez |       |
| SECRETARIO   | M. en I. Sergio Martín Durán Guerrero       |       |
| 1er SUPLENTE | Ing. Eusebio Reyes Carranza                 |       |
| 2do SUPLENTE | Ing. José Armando González Urbina           |       |

NOTA: Los sindicales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).  
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.  
(Art 127 REP)

HHA/Vc



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

EL N.º 34  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CALORÍMETRO DIDÁCTICO PARA EL LABORATORIO DE  
TERMODINÁMICA**

Que presenta el pasante: **JESÚS ALBERTO HERNÁNDEZ TOLEDO**

Con número de cuenta: **30659868-9** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de febrero de 2015.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

|                     | NOMBRE                                      | FIRMA |
|---------------------|---|-------|
| <b>PRESIDENTE</b>   | Ing. Enrique Cortes González                |       |
| <b>VOCAL</b>        | M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez |       |
| <b>SECRETARIO</b>   | M. en I. Sergio Martín Durán Guerrero       |       |
| <b>1er SUPLENTE</b> | Ing. Eusebio Reyes Carranza                 |       |
| <b>2do SUPLENTE</b> | Ing. José Armando González Urbina           |       |

NOTA: Los suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.  
(Art. 127 REP)

HHA/Vc

## **AGRADECIMIENTOS.**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por abrirme las puertas y permitirme estudiar una gran carrera.

A todos los maestros con los que tome clase, aprendí de todos y de todos me llevo un buen recuerdo.

A todos los miembros de mi jurado, que con su apoyo hicieron posible la conclusión de este trabajo. Agradezco especialmente al Ing. Felipe por las clases y por la dedicación con la que dirigió este trabajo.

A todos mis amigos, por los momentos gratos que compartimos, por estar presentes en momentos complicados y por sus buenos ánimos y deseos. En especial a mi compañero y amigo Jesús Alberto Hernández Toledo, quien es 50% responsable de esta tesis y que sin su ayuda y su empeño esto no hubiera sido posible.

A mis padres, que me brindaron todo el apoyo para estar aquí, muchas gracias por sus buenos consejos y por la educación que me dieron.

A mis hermanas, que siempre estuvieron a mi lado y alegraban los días de tensión, gracias por todo su apoyo.

Al amor de mi vida, a ti Pilar, por siempre estar a mi lado, por motivarme a ser mejor persona cada día, por no dejarme caer, por luchar siempre junto a mi, estoy convencido que sin todos esos buenos consejos y todo el apoyo que recibí de ti, este objetivo no hubiera sido posible. Mil gracias, Te amo.

Gracias a dios por darme la oportunidad de cumplir este objetivo, por ser mi fortaleza en momentos difíciles y por bendecir cada paso que he dado en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por abrirme las puertas y permitirme estudiar la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Agradezco a mi asesor de Tesis, M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez por su esfuerzo y dedicación, por sus conocimientos, su orientación, su persistencia, su motivación que han sido fundamentales para culminación de este proyecto en mi vida.

Le agradezco la confianza, apoyo y por su tiempo a mis profesores por haber compartido sus conocimientos. A todos los miembros de mi jurado, que con su apoyo hicieron posible la conclusión de este trabajo.

A Ricardo Alfaro por haber sido un excelente compañero de tesis y amigo, por haberme motivado a seguir adelante en todo momento.

Le doy gracias a mis padres por brindarme todo su apoyo en todo momento por los valores que me han inculcado, por darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y por darme la oportunidad de estudiar esta carrera.

A mis hermanos por ser parte de mi vida y presentar la unidad familiar, apóyame en todo momento.

# ÍNDICE.

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>OBJETIVOS .....</b>                         | <b>1</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                      | <b>2</b>    |
| <b>CAPITULO 1.</b>                             |             |
| <b>CALORÍMETRO.</b>                            |             |
| 1.1 DEFINICIÓN .....                           | 3           |
| 1.2 TIPOS DE CALORÍMETRO .....                 | 3           |
| 1.3 FUNCIONAMIENTO BASICO .....                | 7           |
| <b>CAPITULO 2.</b>                             |             |
| <b>METODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.</b>      |             |
| 2.1 DEFINICIÓN DE TERMODINAMICA .....          | 8           |
| 2.1.1 EQUILIBRIO TERMODINAMICO .....           | 8           |
| 2.1.2 TEMPERATURA .....                        | 8           |
| 2.1.3 ENERGIA .....                            | 9           |
| 2.1.4 TRABAJO .....                            | 9           |
| 2.1.5. CALOR .....                             | 11          |
| 2.2 DEFINICIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR ..... | 11          |
| 2.3 CONDUCTIVIDAD TERMICA .....                | 12          |
| 2.3.1 RESISTENCIA TERMICA .....                | 14          |
| 2.4. TRANSFERENCIA POR CONDUCCIÓN .....        | 15          |
| 2.5 TRANSFERENCIA POR CONVECCIÓN .....         | 18          |
| 2.6. TRANSFERENCIA POR RADIACIÓN .....         | 20          |

### **CAPITULO 3.**

#### **MATERIALES.**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 ALUMINIO .....   | 23 |
| 3.1.1. ENDURECIMIENTO POR ACRITUD (TRABAJO EN FRÍO) .....    | 25 |
| 3.1.2. ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN .....                | 25 |
| 3.1.3. PROTECCIÓN DEL ALUMINIO .....                         | 28 |
| 3.1.4. ALEACIONES DE ALUMINIO PARA FORJA .....               | 29 |
| 3.1.5 ALEACIONES DE ALUMINIO PARA MOLDEO .....               | 29 |
| 3.2. POLÍMEROS .....   | 30 |
| 3.2.1.POLIMERIZACIÓN POR ADICIÓN .....                       | 31 |
| 3.2.2. POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN .....                 | 31 |
| 3.2.3. COPOLIMERIZACIÓN .....                                | 31 |
| 3.2.4. MOLÉCULAS LINEALES, RAMIFICADAS Y TRANSVERSALES ..... | 32 |
| 3.2.5. POLÍMEROS CRISTALINOS Y AMORFOS .....                 | 34 |
| 3.2.6.TIPOS DE PLÁSTICOS Y SU CLASIFICACIÓN .....            | 36 |

### **CAPITULO 4.**

#### **DISEÑO DEL CALORIMETRO.**

|  |    |
|--|----|
| 4.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL .....                              | 39 |
| 4.2. DISEÑO .....  | 39 |
| 4.3. CALCULOS DE LAS PERDIDAS POR TRANSFERENCIA DE CALOR ..... | 48 |

### **CAPITULO 5.**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>FABRICACIÓN DEL CALORÍMETRO .....</b> | <b>56</b> |
|--|-----------|



**CAPITULO 6.**

**MASA EQUIVALENTE EN AGUA DEL CALORÍMETRO.**

6.1. MÉTODO OPERATIVO ..... 62

**CAPITULO 7.**

**PRACTICAS DE TERMODINÁMICA.**

7.1. LEY DE JOULE ..... 66

7.2. LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA ..... 70

7.3. CALOR SENSIBLE Y CALOR LATENTE ..... 73

**CONCLUSIONES ..... 76**

**BIBLIOGRAFÍA ..... 77**

## **OBJETIVOS.**

- Diseñar un calorímetro que cumpla con las especificaciones necesarias para su uso didáctico en el laboratorio de Termodinámica.
- Fabricar el calorímetro con el material adecuado para mayor durabilidad en el laboratorio.
- Comprobar el funcionamiento correcto del calorímetro mediante pruebas dentro del laboratorio.
- El alumno beneficiado con este proyecto, será capaz de realizar las prácticas de Laboratorio de Termodinámica sin mayor contratiempo y podrá realizar el reporte de las mismas.

## INTRODUCCIÓN.

Un calorímetro es un instrumento que sirve para medir las cantidades de calor suministradas o recibidas por los cuerpos. Es decir, sirve para determinar el calor específico de un cuerpo, así como para medir las cantidades de calor que liberan o absorben los cuerpos. Si se conoce la capacidad calorífica del calorímetro (que también puede medirse utilizando una fuente corriente de calor), la cantidad de energía liberada puede calcularse.

Cuando la fuente de calor es un objeto caliente de temperatura conocida, el calor específico y el calor latente pueden ir midiéndose según va enfriando el objeto. El calor latente, que no está relacionado con un cambio de temperatura, es la energía térmica desprendida o absorbida por una sustancia al cambiar de un estado a otro, como en el caso de líquido a sólido o viceversa.

Se seleccionó este tema debido a la necesidad de abastecer con material adecuado el Laboratorio de Termodinámica, el cual no cuenta a veces con los equipos (a veces muy básicos como éste) necesarios para realizar algunas prácticas.

Es por eso que se decidió diseñar y fabricar un calorímetro que cumpliera con las especificaciones necesarias para su uso didáctico en el Laboratorio de Termodinámica.

La selección del material hizo con el fin de dar una mayor durabilidad al Calorímetro, el cual pueda garantizar el funcionamiento por un tiempo prolongado para que las prácticas relacionadas se puedan llevar a cabo sin problemas.

Se buscó hacer el diseño de forma que las partes que puedan llegar a fallar sean intercambiables, como la resistencia o el termómetro por mencionar algunas, dándole así un mayor tiempo de vida útil.

Se realizaron varias pruebas basadas en las prácticas del manual de Termodinámica en las cuales el calorímetro es el principal material para su realización. Las prácticas sobre las que se realizaron dichas pruebas son: “Ley de Joule”, “Ley Cero de la Termodinámica” y “Calor Sensible y Calor Latente”.

# **CAPITULO 1.**

## **CALORÍMETRO.**

### **1.1. Definición.**

El calorímetro es un instrumento que sirve para medir las cantidades de calor suministradas o recibidas por los cuerpos. Es decir, sirve para determinar el calor específico de un cuerpo, así como para medir las cantidades de calor que liberan o absorben los cuerpos. Si se conoce la capacidad calorífica del calorímetro (que también puede medirse utilizando una fuente corriente de calor), la cantidad de energía liberada puede calcularse.

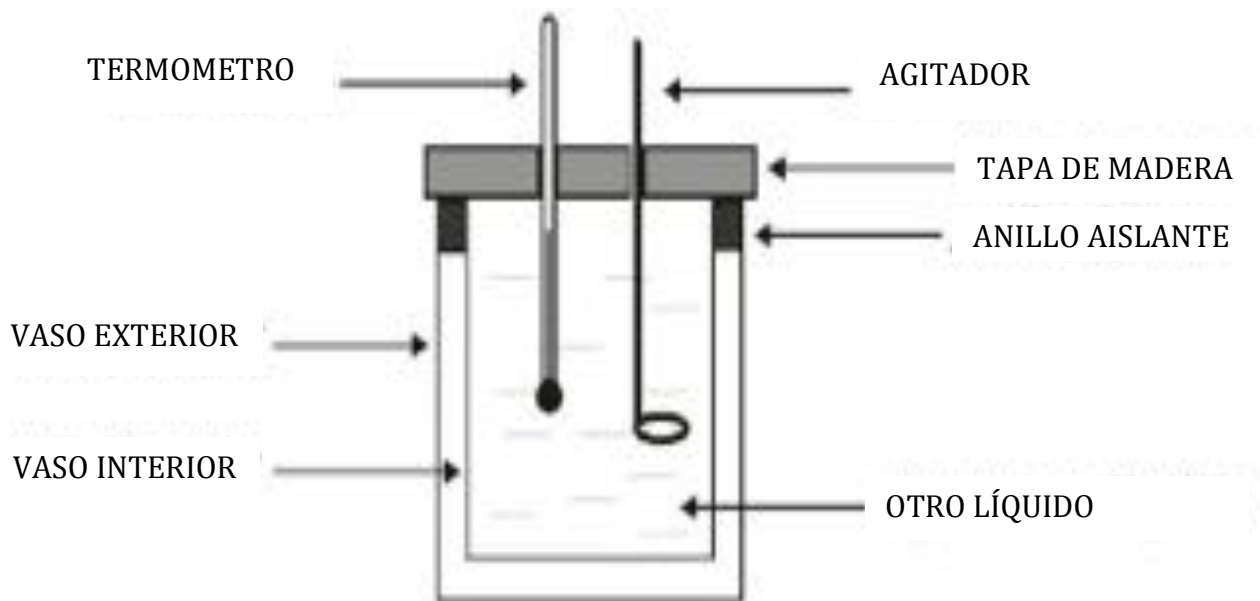
Un calorímetro convencional calcula la temperatura diferencial, a partir de las temperaturas medidas en los caudales de impulsión y de retorno. Según la temperatura diferencial y el volumen de agua medido, se puede calcular y acumular la energía consumida.

Un método experimental para determinar la capacidad calorífica de un calorímetro es el de mezclar una cantidad determinada de agua fría con agua caliente (ambas temperaturas conocidas) y pasado un tiempo medir su temperatura en el equilibrio.

### **1.2. Tipos de Calorímetro.**

El tipo de calorímetro de uso más extendido consiste en un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termómetro (fig. 1.1). Se coloca una fuente de calor en el calorímetro, se agita el agua hasta lograr el equilibrio, y el aumento de temperatura se comprueba con el termómetro. Si se conoce la capacidad calorífica del calorímetro (que también puede medirse utilizando una fuente corriente de calor), la cantidad de energía liberada puede calcularse fácilmente. Cuando la fuente de calor es un objeto caliente de temperatura conocida, el calor específico y el calor latente pueden ir midiéndose según se va enfriando el objeto. El calor latente, que no está relacionado con un cambio de temperatura, es la energía térmica desprendida o absorbida por una sustancia al cambiar de un estado a otro, como en el caso de líquido a sólido o viceversa. Cuando la fuente de calor es una reacción química, como sucede al quemar un combustible, las sustancias reactivas se colocan en un envase de acero pesado llamado bomba.

Esta bomba se introduce en el calorímetro y la reacción se provoca por ignición, con ayuda de una chispa eléctrica.



**Figura 1.1. Calorímetro convencional**

De manera general se pueden dividir los calorímetros, en base a su forma de operación, en dos tipos; los estáticos y los de barrido.

Los calorímetros estáticos se utilizan para la medición del calor generado en el interior de los dispositivos, ya sea por reacciones químicas o cambios físicos en la muestra, absorción de luz, absorción de sonido, absorción de partículas o disipación eléctrica. En este caso, el intercambio de calor que ocurre entre la muestra y el contenedor es fundamental pues en base a este se cuantifica el calor generado en su interior.

En los calorímetros de barrido, el calor se conduce a la muestra a través del contenedor, el cual está provisto de una resistencia eléctrica para generar el calor por efecto joule. El contenedor y la muestra se encuentran aislados del exterior mediante escudos adiabáticos separados por vacío. En este caso, el intercambio de calor entre el contenedor y la muestra también es fundamental, ya que gracias a éste es posible incrementar la temperatura de la muestra y la parte significativa de

las mediciones realizadas con éste tipo de calorímetros es el ritmo al que el calor conducido aumenta la temperatura de la muestra.

➤ Calorímetro adiabático:

No permite el intercambio de energía en forma de calor entre la celda y los alrededores.

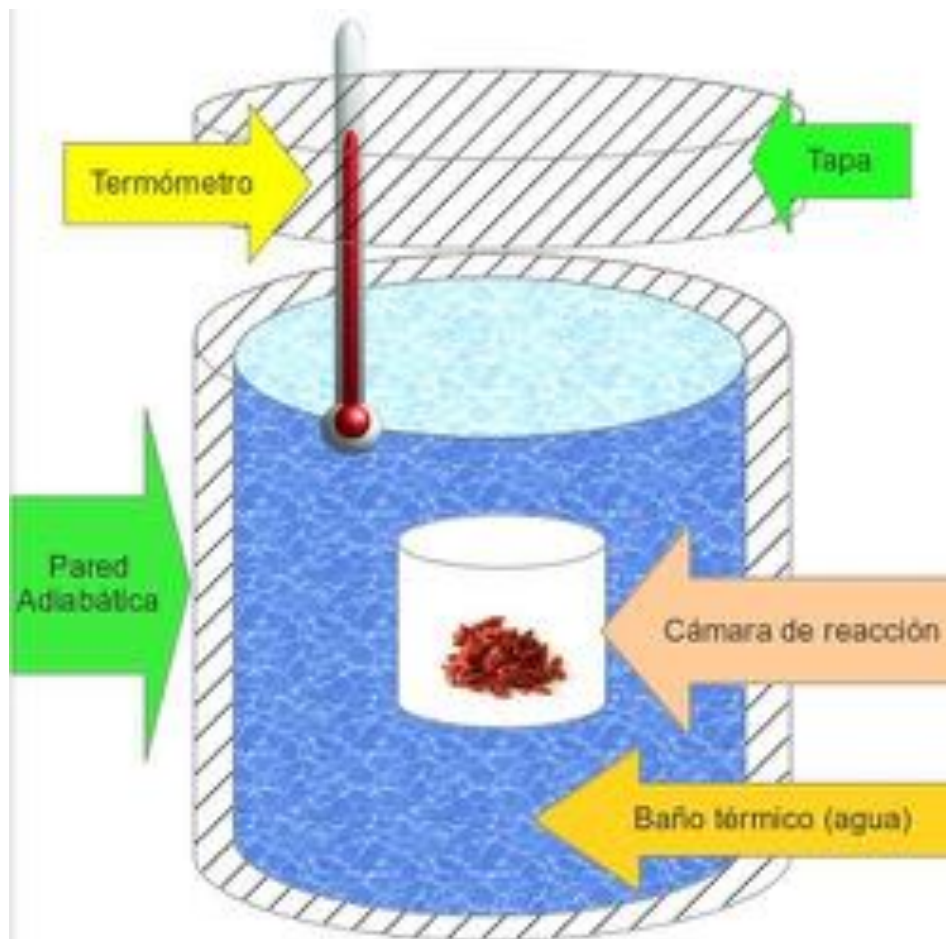
Sistema aislado permite hacer la relación calor generado y diferencia de temperatura (fig. 1.2).

Existen 3 métodos que evitan el intercambio de calor entre el sistema y los alrededores:

La generación rápida de calor.

El uso de una resistencia térmica.

El control de la temperatura de los alrededores.



*Figura 1.2. Calorímetro Adiabático*

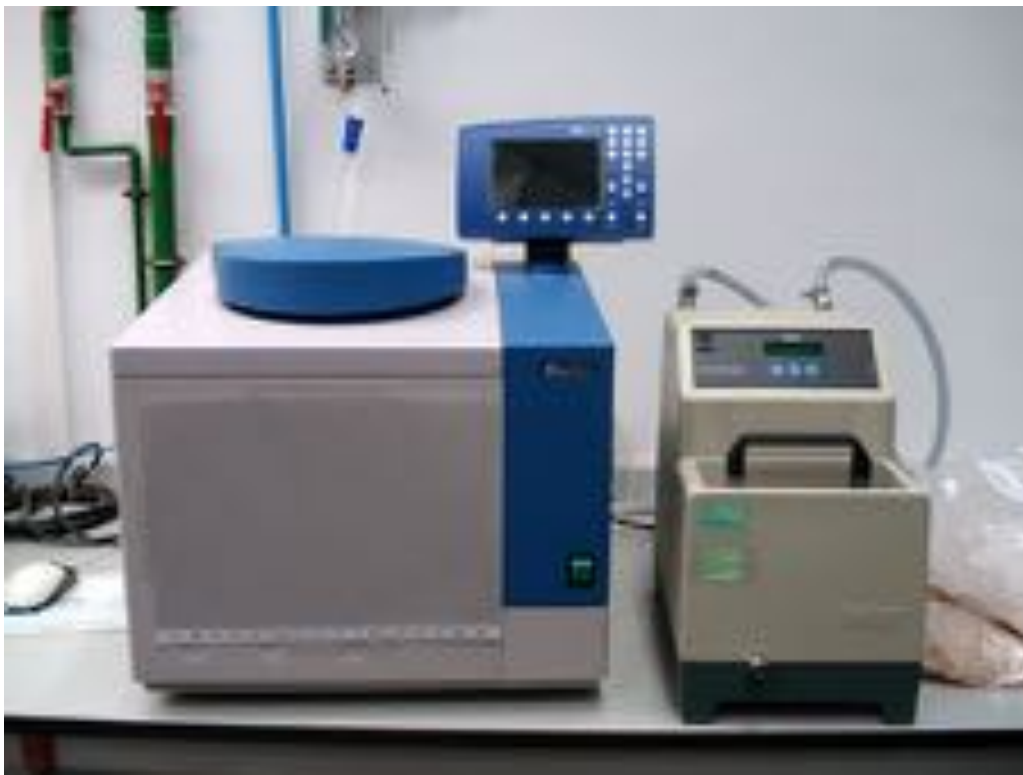
➤ Calorímetro de carga seca

Consiste en una carga térmicamente aislada donde se disipa la potencia, una línea de transmisión poco conductora del calor que conecta la entrada con la carga y un termómetro (fig. 1.3).

Carga dual:

Usa el principio de carga dual, en el cual una absorbe mientras que la segunda actúa como temperatura de referencia.

Es necesario que los alrededores tengan un gradiente de temperatura constante.



*Figura 1.3. Calorímetro de carga seca*

➤ Bomba calorimétrica

Está dividida en dos cámaras:

En una de ellas se pone una cantidad conocida y determinada de agua pura.

En la otra se pone una pequeña cantidad de los reactivos a analizar.

Ambas cámaras están separadas por una pared metálica, de modo que los componentes no tienen contacto.

Se pone también un termómetro, un dispositivo de agitación, y dos barras eléctricas de ignición de la muestra.

### **1.3. Funcionamiento Básico.**

Muchos calorímetros utilizan el principio de carga dual, en el cual una absorbe mientras que la segunda actúa como temperatura de referencia: mientras más aumenta el calor, lo mismo pasa con la temperatura.

El sensor de temperatura registra la diferencia entre las temperaturas de las dos cargas.

En teoría, los efectos de las fluctuaciones de la temperatura externa se cancelan debido a la simetría. Sin embargo, si los alrededores no tienen una temperatura uniforme, el gradiente de temperatura puede causar error.

El elemento de absorción de la carga es usualmente un *thin film resistor*, aunque dieléctricos de bajas pérdidas son usados para las versiones de guías de ondas. El sensor de temperatura es montado en el lado de afuera de la carga en una posición donde no es influenciado directamente por los campos electromagnéticos. Siendo ésta una de las características distintivas de un calorímetro y es esencial para su alta precisión.



## **CAPITULO 2.**

### **MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.**

#### **2.1. Definición de Termodinámica.**

La termodinámica es una ciencia axiomática que trata de la relación entre el calor, el trabajo y las propiedades de un sistema las cuales están en equilibrio. Describe el estado y los cambios de estado de sistemas físicos.

La Ley cero de la Termodinámica establece que si dos sistemas son iguales en temperatura a un tercero, son iguales en temperatura entre si.

#### **2.1.1. Equilibrio Termodinámico.**

Un sistema está en equilibrio termodinámico si la temperatura y la presión en todos los puntos son iguales; no debe haber gradiente de velocidad; el equilibrio térmico también es necesario. Los sistemas ante equilibrio de temperatura y presión, pero no ante equilibrio químico, en ocasiones se dice que están en condiciones de equilibrio metaestable. Sólo ante condiciones de equilibrio termodinámico es que las propiedades de un sistema pueden ser fijas. Así pues, para lograr un estado de equilibrio termodinámico, se deben alcanzar los dos tipos de estados de equilibrio siguientes:

1. Equilibrio térmico. La temperatura del sistema no cambia con el tiempo y tiene el mismo valor en todos los puntos del sistema.
2. Equilibrio mecánico. No hay fuerzas desequilibradas dentro del sistema o entre los alrededores. La presión en el sistema es la misma en todos los puntos y no cambia con respecto al tiempo.

#### **2.1.2. Temperatura.**

La temperatura es un estado térmico de un cuerpo que distingue a un cuerpo caliente de uno frío. La temperatura de un cuerpo es proporcional a la energía molecular almacenada, es decir, la energía cinética molecular promedio de las moléculas en un sistema. (Una molécula particular no tiene una temperatura, tiene energía. El gas como un sistema tiene temperatura).

Los instrumentos para medir temperaturas ordinarias se conocen como termómetros y los empleados para medir temperaturas altas se conocen como pirómetros.

Se ha determinado que un gas no ocupará ningún volumen a una cierta temperatura. Esta temperatura se conoce como temperatura del cero absoluto. Las temperaturas medidas con el cero absoluto como una base se denominan temperaturas absolutas. La temperatura relativa se expresa en grados centígrados. Se ha determinado que el punto de temperatura absoluta ocurre a  $273.15^{\circ}\text{C}$  abajo del punto de congelación del agua.

Entonces: Temperatura absoluta = Lectura en el termómetro en  $^{\circ}\text{C} + 273.15$

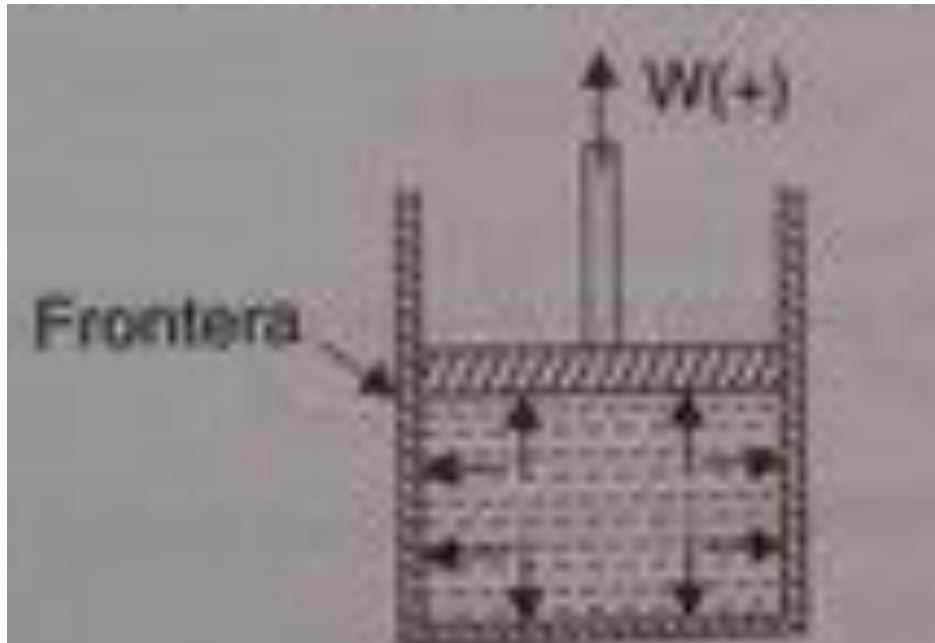
### **2.1.3. Energía.**

Energía es un término general que comprende la energía en transición y la energía almacenada. La energía almacenada de una sustancia puede estar en forma de energía mecánica y en forma de energía interna (otras formas de energía almacenada pueden ser la energía química y la energía eléctrica). Parte de la energía almacenada puede tomar la forma de energía potencial (que es la energía gravitatoria debida a la altura arriba de una línea de referencia elegida) o bien energía cinética debida a la velocidad. La parte de equilibrio de la energía se conoce como energía interna. En un proceso sin flujo no suele haber un cambio de energía potencial o cinética, de aquí que el cambio de energía mecánica no entrará en los cálculos. Sin embargo, en un proceso de flujo, puede haber cambios tanto en la energía potencial como en la cinética, y estos cambios se deben tomar en cuenta al considerar los cambios de la energía almacenada. El calor y el trabajo son las formas de energía en transición. Éstas son las únicas formas en las que la energía puede cruzar las fronteras de un sistema. Ni el calor ni el trabajo pueden existir como energía almacenada.

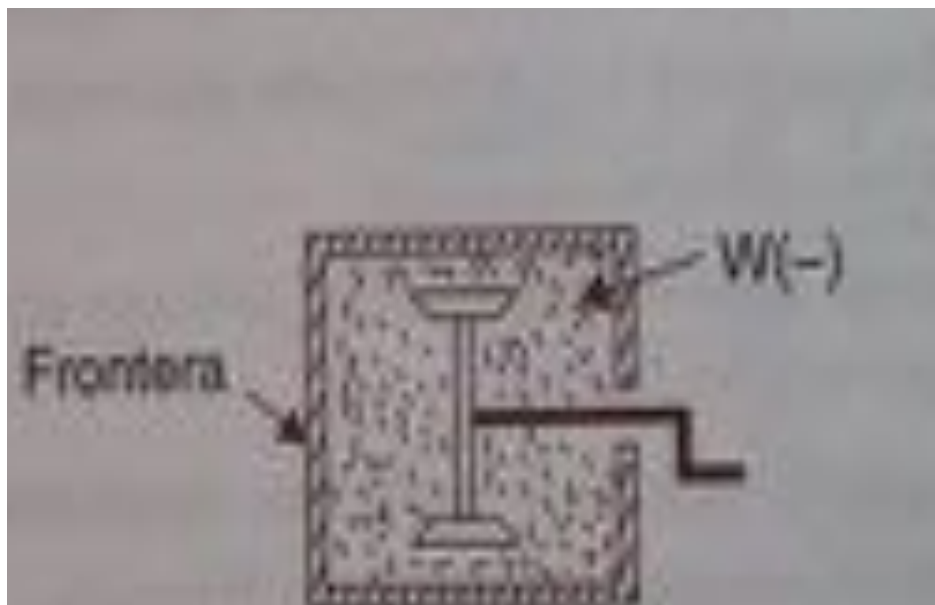
### **2.1.4. Trabajo.**

Trabajo se dice que se realiza trabajo cuando una fuerza se mueve a través de una distancia. Si una parte de la frontera de un sistema experimenta un desplazamiento ante la acción de una presión, el trabajo realizado  $W$  es el producto de la fuerza (presión  $\times$  distancia) por la distancia que se mueve en la dirección de la fuerza. En la figura 2.1 se ilustra esto con la configuración convencional de un émbolo y un cilindro, la línea doble dallada frontera del sistema. En la figura 2.2 se ilustra otra manera en la que el trabajo se podría aplicar a un sistema. Una fuerza se ejerce

por la paleta conforme cambia la cantidad de movimiento del fluido y dado que esta fuerza se mueve durante la rotación de la paleta se realiza trabajo.



*Figura 2.1. Configuración convencional de un émbolo y un cilindro.*



*Figura 2.2. Otra forma de ejercer el trabajo a un sistema.*

### 2.1.5. Calor.

El calor se define como la transferencia de energía que se da entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

La energía calórica o térmica puede ser transferida por diferentes mecanismos de transferencia, estos son la radiación, la conducción y la convección, aunque en la mayoría de los procesos reales todos se encuentran presentes en mayor o menor grado. Cabe resaltar que los cuerpos no tienen calor, sino energía térmica. La energía existe en varias formas. En este caso nos enfocamos en el calor, que es el proceso mediante el cual la energía se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura.

### 2.2. Definición de Transferencia de Calor.

La transferencia de calor se define como la ciencia cuyo objetivo es predecir la cesión de energía que se produce entre medios materiales, como consecuencia de las diferencias de temperatura. La energía transmitida en esta forma se denomina calor.

La herramienta fundamental para su estudio es el principio de conservación de la energía o primera ley de la Termodinámica, la cual se puede enunciar de la siguiente manera: “Cuando un sistema experimenta un ciclo termodinámico, entonces el calor neto suministrado al sistema de los alrededores es igual al trabajo neto realizado por el sistema en sus alrededores”.

$$\oint dQ = \oint dW \dots\dots (2.1)$$

Donde  $\oint$  representa la suma para un ciclo completo.

La primera ley de la Termodinámica no se puede demostrar de manera analítica, pero la evidencia experimental ha confirmado repetidamente su validez, y como no existe algún fenómeno que la contradiga, dicha ley se acepta como una ley de la naturaleza.

La transmisión de calor, en la mayoría de las situaciones real, sucede como resultado de combinaciones de estos modos de transferencia de calor. Ejemplo: el agua en un cuerpo de una caldera recibe su calor del lecho caliente por calor conducido, convectivo y radiado del fuego al cuerpo, conducido a través del cuerpo y calor conducido, y convectivo de la pared interior del cuerpo al agua. El calor siempre fluye en la dirección de temperatura menor.

Los tres modos anteriores son similares en que debe existir un diferencial de temperatura el intercambio de calor es en la dirección en que disminuye la temperatura; sin embargo, cada método tiene leyes de control diferentes.

### 2.3. Conductividad Térmica.

La conductividad térmica de un material se define así: "La cantidad de energía conducida a través de un cuerpo por unidad de área y espesor unitario en una unidad de tiempo cuando la diferencia en temperatura entre las caras causando el flujo de calor es unitaria." De la ecuación 2.2, se deduce que los materiales con conductividades térmicas altas son buenos conductores del calor, en tanto que los materiales con conductividades térmicas bajas son buenos aislantes térmicos.

$$k = \frac{Q}{A} * \frac{dx}{dt} \dots\dots (2.2)$$

Unidades de  $k = W * \frac{1}{m^2} * \frac{m}{K(^{\circ}C)}$

La conducción de calor ocurre con más facilidad en metales puros, un poco menos en aleaciones y con mucho menos facilidad en no metales. Las conductividades térmicas muy bajas de ciertos aislantes térmicos, por ejemplo, el corcho, se debe a su porosidad, que es aire atrapado dentro del material y que actúa como aislante. La conductividad térmica (una propiedad del material) depende esencialmente de los factores siguientes:

- (i) De la estructura del material
- (ii) Del contenido de humedad
- (iii) De la densidad del material.
- (iv) De la presión y la temperatura (condiciones de operación)

1. La conductividad térmica de un material se debe al flujo de electrones libres (en el caso de metales) y a las ondas vibracionales de red (en el caso de fluidos).

2. La conductividad térmica en el caso de metales puros es la mayor ( $k = 10$  a  $400 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Disminuye con un aumento en las impurezas. El intervalo de  $k$  para otros materiales es el siguiente:

- Aleaciones:  $k = 12$  a  $120 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Materiales de aislamiento térmico y de construcción:  $h = 0.023$  a  $2.9 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Líquidos:  $k = 0.2$  a  $0.5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Gases y vapores:  $k = 0.006$  a  $0.05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ .

3. La conductividad térmica de un metal varía considerablemente cuando se trata térmicamente o se procesa/forma mecánicamente.

4. La conductividad térmica de la mayoría de los metales disminuye con el aumento en temperatura (con excepción del aluminio y del uranio).

— En la mayoría de los líquidos el valor de la conductividad térmica tiende a disminuir con la temperatura (con excepción del agua) debido a una disminución en la densidad con el aumento en temperatura.

— En el caso de gases el valor de la conductividad térmica aumenta con la temperatura. Los gases con pesos moleculares altos tienen conductividades térmicas menores que con pesos moleculares menores. Esto se debe a que la trayectoria molecular media de las moléculas de gas disminuye con un aumento en la densidad ya que  $k$  es directamente proporcional.

5. Dependencia de la conductividad térmica ( $k$ ) en la temperatura para la mayoría de los materiales es casi lineal;  $k = k_0(1 + \beta t)$

Dónde.  $k$ . conductividad térmica a  $0^\circ\text{C}$ , y

$\beta$ = coeficiente de temperatura de la conductividad térmica,  $1/^\circ\text{C}$ (suele ser positivo para materiales no metálicos y materiales aislantes, con excepciones del aluminio y ciertas aleaciones no ferrosas).

6. En el caso de sólidos y líquidos. la conductividad térmica (k) depende muy poco de la presión; en el caso de gases el valor de k es independiente de la presión (cerca de la atmosférica estándar).

7. En el caso de sólidos no metálicos:

— La conductividad térmica de los materiales porosos depende del tipo de gas o líquido presente en los vacíos.

— La conductividad térmica de un material húmedo es considerablemente mayor que la del material seco y del agua tomada por separado.

— La conductividad térmica aumenta con el incremento en la densidad.

### **2.3.1. Resistencia Térmica.**

Cuando dos sistemas físicos se describen mediante ecuaciones semejantes y tienen condiciones similares, se dice que son análogos. Los procesos de transferencia de calor se pueden comparar por medio de una analogía con el flujo de electricidad en una resistencia eléctrica. Como el flujo de la corriente eléctrica en la resistencia eléctrica es directamente proporcional a la diferencia de potencial (dV); de manera similar, la tasa de flujo de calor, Q, es directamente proporcional a la diferencia de temperatura (dt), que es la fuerza de impulsión para la conducción térmica a través de un medio.

Según la ley de Ohm (en la teoría de circuitos eléctricos), tenemos

Corriente (I) = Diferencia de potencial (dV) / Resistencia eléctrica (R).

$$Q = \frac{dt}{\frac{dx}{kA}} \dots\dots (2.3)$$

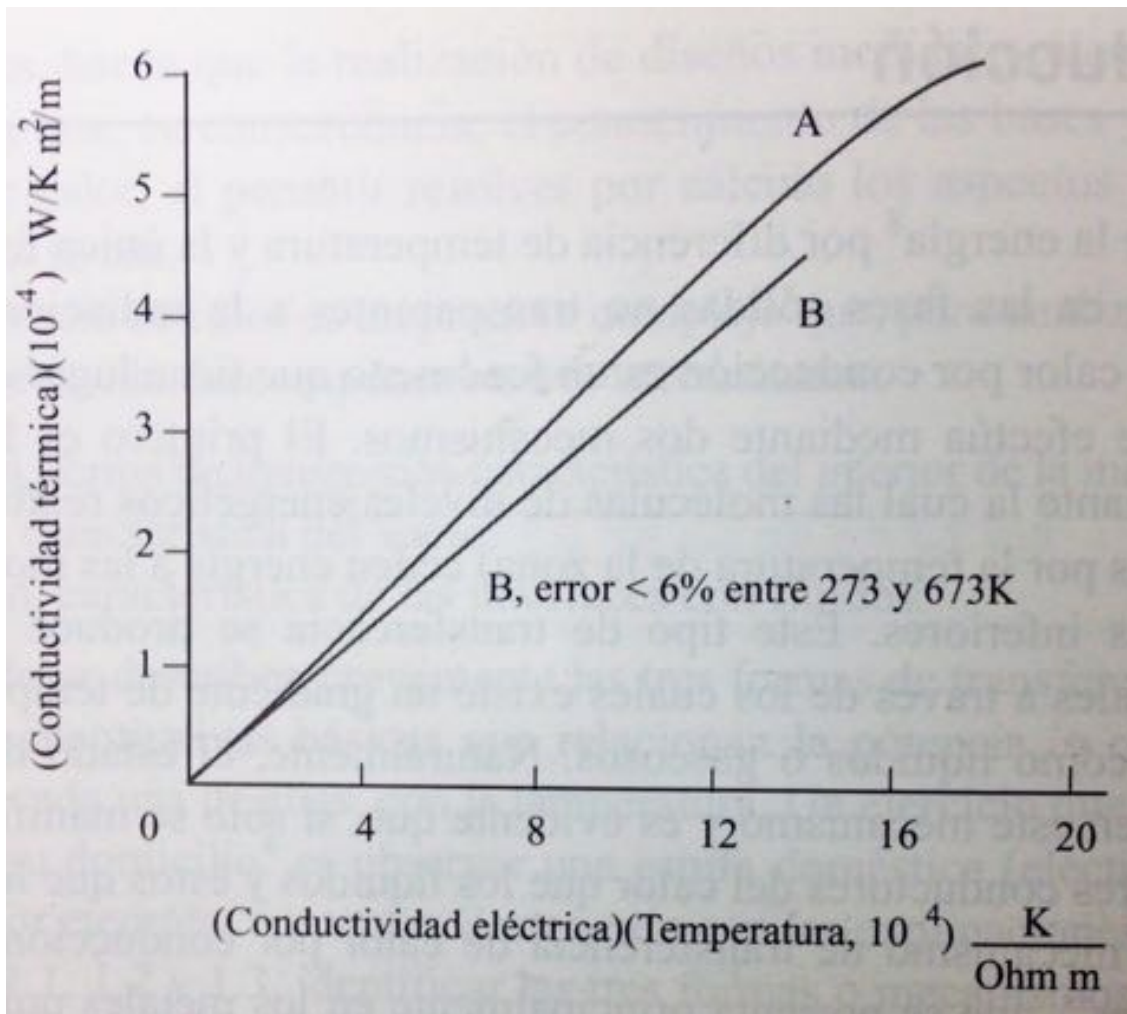
#### **2.4. Transferencia por Conducción.**

Es la difusión de las energías por diferencia de temperatura y la única forma de transmisión presente en las fases sólidas no transparentes a la radiación térmica. La transferencia de calor por conducción es un fenómeno que tiene lugar entre moléculas vecinas y se efectúa mediante dos mecanismos. El primero es la interacción molecular, mediante la cual las moléculas de niveles energéticos relativamente elevados (indicados por la temperatura de la zona) ceden energía a las moléculas adyacentes a niveles inferiores. Este tipo de transferencia se produce en todos los sistemas materiales a través de los cuales existe un gradiente de temperatura, tanto si son sólidos, como líquidos o gaseosos. Naturalmente, el estado de agregación influye mucho en este mecanismo y es evidente que, si sólo se manifiesta éste, los gases serán peores conductores del calor que los líquidos y éstos que los cristales.

El segundo mecanismo de transferencia de calor por conducción es el de los electrones "libres", que se presenta principalmente en los metales puros, sólidos y líquidos. La concentración de electrones libres disminuye considerablemente en las aleaciones metálicas y es muy pequeña en los no metales. La facilidad que tienen los sólidos para conducir el calor varía en el mismo sentido que la concentración de los citados electrones y, en consecuencia, los metales puros deben ser los mejores conductores del calor, hecho confirmado por la experiencia. Los semiconductores ocupan, evidentemente, una posición intermedia. Esta contribución electrónica hace que la conducción del calor en los metales a muy baja temperatura presente características análogas a la superconductividad eléctrica.

La capacidad de conducir el calor se puede representar mediante la denominada conductividad térmica que, como se desprende del párrafo anterior, en los metales está ligada con la conductividad eléctrica. Teóricamente se justifica la relación de Wiedemann-Franz, que establece que el cociente entre la conductividad térmica y el producto de la conductividad eléctrica por la temperatura en los metales es igual a una constante, denominada de Lorentz," en honor de Hendrik A. Lorentz (Amheim 1853 -Haarlem 1928). Esta relación se verifica muy bien para las aleaciones, como se muestra en la Figura 2.3.





**Figura 2.3. Relación entre las conductividades térmica y eléctrica y aleaciones metálicas. Curva A (Aleaciones de Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, Sn) y curva B (Aleaciones de Al)**

La conducción es, un fenómeno molecular que requiere un gradiente de temperatura como causa motriz. Jean Baptiste – Joseph Fourier publico en 1822 una expresión cuantitativa que relaciona la transferencia de calor con la temperatura, la geometría y la naturaleza del medio conductor, denominada primera ecuación de Fourier.

$$q_x = -\lambda A(x) \frac{\delta T(t,x)}{\delta x} \dots\dots (2.4)$$

ya que la temperatura  $T$  puede variar en el espacio  $x$  y el tiempo  $t$ . En esta expresión escalar,  $q_x$  es la potencia o caudal de calor en la dirección del eje  $x$ , en  $W$ ,  $Btu/h$ ,  $A$  es el área normal a la dirección del flujo de calor en  $m^2$ ,  $\frac{\delta T}{\delta x}$  es el gradiente de temperatura en la dirección  $x$ ,  $k/m$  y  $\lambda$  es la conductividad térmica que tiene unidades de

$$\frac{W/m^2}{K/m} = W/K * m \dots\dots (2.5)$$

La relación de  $q_x/A$  que tiene unidades de  $W/m^2$  se denomina flujo de calor, en el caso mono dimensional en la dirección del eje  $x$ . De forma general el flujo de calor se expresa como vector  $q/A$ ; es decir, con dirección y sentido, siendo igual a:

$$\frac{q}{A} = -\bar{\lambda}(T) \cdot \nabla T(r, t) \dots\dots (2.6)$$

Donde  $\lambda$  es el tensor conductividad y  $\nabla T$  es el vector gradiente de temperatura.

## 2.5. Transferencia por Convección.

Convección es la transferencia de calor dentro de un fluido al mezclarse una parte del fluido con otra.

- La convección sólo es posible en un medio fluido y está directamente ligada con el transporte del propio medio.
- La convección constituye la forma macroscópica de la transferencia de calor dado que las partículas macroscópicas de un fluido que se mueve en el espacio ocasionan el intercambio de calor.
- La efectividad de la transferencia de calor por convección depende en gran medida del movimiento de mezclado del fluido.

Este modo de transferencia de calor tiene lugar en situaciones donde la energía se transfiere como calor a un fluido en movimiento en cualquier superficie sobre la que ocurre el flujo. Este modo es básicamente conducción en una capa muy delgada de fluido en la superficie y luego mezclado causado por el flujo. El flujo de calor depende de las propiedades del fluido y es independiente de las propiedades del material de la superficie. Sin embargo, la forma de la superficie influenciara el flujo, y de aquí, la transferencia de calor.

Convección libre o natural. La convección libre o natural sucede donde el fluido circula por efecto de las diferencias naturales en las densidades de fluidos calientes y fríos; las partes más densas del fluido se mueven hacia abajo debido a la fuerza de gravedad mayor, en comparación con la fuerza sobre las menos densas.

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf}) \dots\dots (2.7)$$

Donde  $h$  es el coeficiente de convección (o *coeficiente de película*),  $A_s$  es el área del cuerpo en contacto con el fluido,  $T_s$  es la temperatura en la superficie del cuerpo y  $T_{inf}$  es la temperatura del fluido lejos del cuerpo.

Cuando un fluido cede calor sus moléculas se desaceleran por lo cual su temperatura disminuye y su densidad aumenta siendo atraída sus moléculas por la gravedad de la tierra.

Cuando el fluido absorbe calor sus moléculas se aceleran por lo cual su temperatura aumenta y su densidad disminuye haciéndolo más liviano.

El fluido más frío tiende a bajar y ocupa el nivel más bajo de la vertical y los fluidos más calientes son desplazados al nivel más alto, creándose así los vientos de la tierra.

La transferencia térmica convectiva consiste en el contacto del fluido con una temperatura inicial con otro elemento o material con una temperatura diferente, en función de la variación de las temperaturas van a variar las cargas energéticas moleculares del fluido y los elementos interactuantes del sistema realizarán un trabajo, donde el que tiene mayor energía o temperatura se la cederá al que tiene menos temperatura. Esta transferencia térmica se realizará hasta que los dos tengan igual temperatura, mientras se realiza el proceso las moléculas con menor densidad tenderán a subir y las de mayor densidad bajarán de nivel. Las moléculas que se encuentran en las capas inferiores aumentan su temperatura.

- La Convección en la Atmósfera.

La convección en la atmósfera terrestre involucra la transferencia de enormes cantidades del calor absorbido por el agua. Forma nubes de gran desarrollo vertical (por ejemplo, cúmulos congestus y, sobre todo, cumulonimbos, que son los tipos de nubes que alcanzan mayor desarrollo vertical). Estas nubes son las típicas portadoras de tormentas eléctricas y de grandes precipitaciones. Al alcanzar una altura muy grande (por ejemplo, unos 12 ó 14 km) y enfriarse violentamente, pueden producir tormentas de granizo, ya que las gotas de lluvia se van congelando al ascender violentamente y luego se precipitan al suelo ya en estado sólido. Pueden tener forma de un hongo asimétrico de gran tamaño; y a veces se forma en este tipo de nubes una estela que semeja una especie de yunque (*anvil's head*, como se conoce en inglés).

El proceso que origina la convección en el seno de la atmósfera es sumamente importante y genera una serie de fenómenos fundamentales en la explicación de los vientos y en la formación de nubes, vaguadas, ciclones, anticiclones, precipitaciones, etc. Todos los procesos y mecanismos de convección del calor atmosférico obedecen a las leyes físicas de la Termodinámica. De estos procesos es fundamental el que explica el ciclo del agua en la Naturaleza o ciclo hidrológico.

## **2.6. Transferencia por Radiación.**

La materia siempre absorbe energía radiante y, a temperatura diferente del cero absoluto, también la emite, abarcando una gama de frecuencias que se extiende teóricamente de 0 a  $\infty$ . La potencia y la distribución según las frecuencias de esta energía, o composición de la misma, varía con la temperatura de la materia que se emite. Se denomina radiación térmica a la radiación debida exclusivamente de la temperatura de la materia y se asocia a la rotación y la vibración moleculares, aunque también puede incluir cambios de los niveles de energía de los electrones.

La transferencia de energía por radiación es la única que no necesita un medio para propagarse y en el vacío se efectúa en línea recta, trayectoria denominada rayo. Los espesores de aire a escala humana se comportan como el vacío todos los gases son muy transparentes a la radiación, no así los líquidos y menos aun los sólidos. Por ello, intercambio radiante entre superficie es máximo cuando no hay materia que ocupe el espacio intermedio.

El intercambio de energía radiante se puede producir entre dos superficies, o entre una superficie y un medio participante o puede implicar una interacción compleja entre diversas superficies y gases participantes. Las características básicas de la radiación térmica, además de la propagación rectilínea instantánea, independiente del movimiento del aire, son la reflexión y la absorción según el origen de la radiación y la naturaleza de la superficie, y el contenido energético variable según la frecuencia (color). Dichas características fueron descubiertas experimentalmente, con ayuda de la estufa que calentaba su laboratorio, por el químico sueco Carl Wilhelm Scheele (Straslsund 1742 - Koeping 1786). Para el estudio fenomenológico de este proceso se parte de un modelo ideal, denominado cuerpo negro, que sólo absorbe y emite, es decir, no refleja, y cuya superficie se comporta igual sean cuales sean la frecuencia y la dirección de la radiación incidente o emergente. Desde el punto de vista práctico, el cuerpo aproximadamente negro más importante es el sol y la superficie negra, el firmamento. Para este modelo se han establecido leyes cuantitativas (Planck, Wien,) que, mediante la aplicación de la ley de conservación de la energía y leyes auxiliares (como la de Kirchhoff,) y correcciones y descomposiciones, permiten estudiar los cuerpos reales que, además de absorber y emitir, reflejan y pueden ser parcialmente transparentes, actuando su superficie de forma diferente según la frecuencia y dirección de la radiación.

El vector flujo de potencia radiante emitida por una superficie negra, instantáneamente o en estado estacionario, normal a su superficie, viene dado por la ecuación vectorial:

$$\frac{q}{A} = (\sigma T_{superf}^4) * n \dots\dots (2.8)$$

cuyo módulo es el cociente entre q, la potencia radiante global (suma en todas las direcciones y frecuencias) en W, Btu/hr, etc. y el área A de la superficie de emisión en m<sup>2</sup>.; T es la temperatura absoluta, en °K o °R, de la misma superficie y σ es la constante de Stefan-Boltzmann, que numéricamente es igual a (5.67 \* 10<sup>-8</sup>)(W/m<sup>2</sup>)K<sup>4</sup>. La fórmula juega, con respecto a la ley de conservación de la energía, un papel análogo a la primera fórmula de Fourier en la conducción y se conoce con el nombre de ecuación de Stefan-Boltzmann, pues Joseph Stefan (Saint Peter 1835 - Viena 1893) la postuló en 1879 de forma empírica y Ludwig Boltzmann (Viena 1844 – Decino 1906) la obtuvo en 1884 a partir de principios termodinámicos.

La ley de Fourier de la conducción de calor es una ley empírica que se basa en la observación y su enunciado es: "La tasa de flujo de calor a través de un sólido simple homogéneo es directamente proporcional al área de la sección transversal a la dirección del flujo de calor, y al cambio de temperatura con respecto a la dirección del flujo de calor."

Matemáticamente, se puede representar mediante la ecuación:

$$Q = A * \frac{dt}{dx} \dots\dots (2.9)$$

Donde:

Q = Flujo de calor a través de un cuerpo por unidad de tiempo (en watts), W.

A = Área superficial flujo de calor (perpendicular a la dirección del flujo),

dt = Diferencia de temperatura de las caras del biloque (sólido homogéneo) de espesor dx a través de las que fluye el calor, °C o K y

dx = Espesor del cuerpo en la dirección del flujo, m.

Quedando de la siguiente manera:

$$Q = -k * A * \frac{dt}{dx} \dots\dots (2.10)$$

Donde,  $k$  constante de proporcionalidad y se conoce como conductividad térmica del cuerpo. El signo negativo de  $k$  es para tomar en cuenta la disminución de la temperatura a lo largo de la dirección del espesor creciente o la dirección del flujo de calor. El gradiente de temperatura  $dt/dx$  siempre es negativo a lo largo de la dirección  $x$  y por lo tanto el valor de  $Q$  se vuelve positivo.

Características esenciales de la Ley de Fourier

1. Se puede aplicar a toda la materia (puede ser un sólido, líquido o gas).
2. Se basa en evidencia experimental y no se puede derivar del primer principio.
3. Es una expresión vectorial, lo que indica que la tasa de flujo de calor es en la dirección de disminución de la temperatura y es normal a una isoterma.
4. Ayuda a definir la conductividad térmica  $k$  (propiedad de transporte) del medio a través del cual se conduce.



*Fig. 2.4. Los tres tipos de transferencia de calor.*

## **CAPITULO 3**

### **MATERIALES.**

#### **3.1. Aluminio.**

El Al es el metal más abundante en la corteza terrestre. Sin embargo, hasta hace poco más de un siglo no se dispuso de los conocimientos químicos necesarios para reducir los compuestos en los que se presenta. En 1886, Hall en Estados Unidos y Heroult en Francia, desarrollaron de forma independiente el método de electrolisis de alúmina fundida. El mineral de partida es la bauxita, con un 40-50% de alúmina. Además de sílice, óxidos de hierro y titanio, impurezas que no van a poder eliminarse y determinan la calidad del aluminio. La obtención del aluminio se puede dividir en dos etapas: el método Bayer, para la obtención de alúmina, y el método de Heroult-Hall, para la descomposición de la alúmina.

El aluminio tiene una densidad baja ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ), que elevan los elementos de aleación excepto el Mg y el Li. El coeficiente de dilatación es muy alto, y puede disminuirse con la ayuda de aleantes (Si, Ni, Fe). La conductividad térmica es muy elevada. El aluminio es un buen conductor eléctrico, pero los elementos de aleación van a empeorar siempre ese comportamiento, incluso cuando la conductividad eléctrica del aleante sea mayor; un efecto especialmente negativo lo proporcionan el Cr, Mn, V, Ti, Zr y Li. También son elevadas la absorbancia y la reflectancia. El módulo elástico del aluminio es bastante bajo; el Li es el elemento más efectivo para aumentar la rigidez. La red FCC del aluminio le confiere una excelente capacidad de deformación. Sin embargo, el aluminio puro presenta muy baja dureza y resistencia, que se aumentarán por acritud, solución sólida y precipitación. Debido a estas características el aluminio puro no es un material estructural. Por el contrario se usa para aplicaciones estéticas, teniendo además la ventaja de tener un excelente comportamiento a corrosión. También se usa en aplicaciones de arquitectura e industria química; además de la aplicación doméstica del «papel de aluminio». En la tabla 3.1 se muestra la designación de los estados básicos de tratamiento de las aleaciones de aluminio, según la norma EN 515.



**Tabla 3.1. Designación de los estados básicos de tratamiento de las aleaciones de aluminio, según la norma EN 515.**

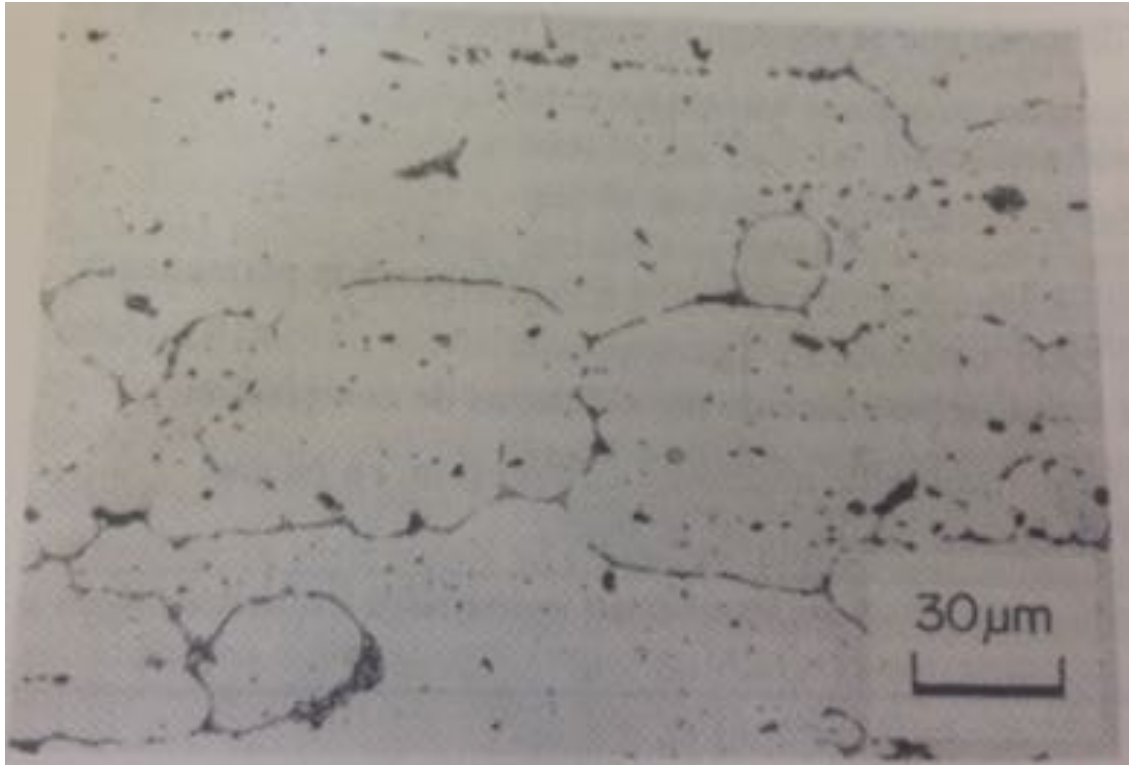
| <b>Estado de Tratamiento</b> | <b>DEFINICION</b>  |
|------------------------------|--|
| <b>F</b>                     | Bruto de fabricación.  |
| <b>O</b>                     | Recocido.  |
| <b>H1</b>                    | Acritud Solamente.   |
| <b>H2</b>                    | Acritud y recocido parcial.  |
| <b>H3</b>                    | Acritud y estabilizado.  |
| <b>W</b>                     | Tratamiento térmico de solución.   |
| <b>T1</b>                    | Enfriamiento desde la conformación en caliente y maduración natural hasta la obtención de un estado de tratamiento prácticamente estable.  |
| <b>T2</b>                    | Enfriamiento desde el conformado en caliente, acritud y maduración natural hasta la obtención de un estado de tratamiento prácticamente estable.   |
| <b>T3</b>                    | Tratamiento de solución, acritud y maduración natural para la obtención de un estado prácticamente estable.  |
| <b>T4</b>                    | Tratamiento de solución y maduración natural para la obtención de un estado prácticamente estable.   |
| <b>T5</b>                    | Tratamiento de temple desde conformación en caliente y maduración artificial.  |
| <b>T6</b>                    | Solución y maduración artificial.  |
| <b>T7</b>                    | Solución y sobre maduración/estabilizado.  |
| <b>T79</b>                   | Sobre maduración muy limitada.   |
| <b>T76</b>                   | Sobre maduración limitada para obtener una resistencia a la tracción máxima compatible con una buena resistencia a corrosión por exfoliación.  |
| <b>T74</b>                   | Sobre maduración ,imitada, intermedia entre los estados T73 y T76, de modo que se obtenga un nivel aceptable de resistencia a la tracción, de resistencia a la corrosión bajo tensión, de resistencia a la corrosión por exfoliación y de tenacidad de fractura. |
| <b>T73</b>                   | Sobremaduración completa de modo que se obtenga la mayor resistencia a corrosión bajo tensión.   |
| <b>T8</b>                    | Solución, acritud y maduración artificial.   |

### **3.1.1. Endurecimiento por acritud (trabajo en frío).**

Las propiedades mecánicas (dureza, límite elástico) del aluminio y sus aleaciones aumentan con la deformación en frío (estados H1, acritud). Al aumentar el nivel de deformación plástica, la variación de las propiedades mecánicas es importante para los primeros niveles de deformación; posteriormente, al continuar la acritud, el límite elástico o la resistencia no mejoran significativamente. Si a continuación se realiza un recocido (estado H2), se obtiene una mayor plasticidad para un nivel dado de resistencia del que se obtendría si ese nivel de resistencia se hubiese alcanzado únicamente mediante acritud. Las aleaciones Al-Mg en estado H1 presentan variación de propiedades con el tiempo, lo que se traduce en un ablandamiento en servicio. Para evitar este problema el material debe ser sometido a un proceso de estabilizado (estado H3), provocando esa pérdida de propiedades mediante calentamiento posterior al proceso de acritud.

### **3.1.2. Endurecimiento por precipitación.**

El aluminio puede someterse a tratamientos de bonificado (solución y maduración posterior) para incrementar su límite elástico y resistencia, aprovechando el hecho de que algunos elementos, como Cu, Li, Mg, Mn, Si, Zn y Ag, presentan un cambio de solubilidad en el aluminio en función de la temperatura, no disolviéndose prácticamente a temperatura ambiente y sí a temperaturas elevadas. Durante el proceso de solución, durante el que se pretende disolver y retener en la red la mayor cantidad posible de aleante, es preciso prestar atención a la temperatura de tratamiento, suficientemente alta como para que puedan disolverse los elementos de aleación, pero sin alcanzar la temperatura de fusión de ciertas zonas del material, fundamentalmente en bordes de grano, lo que se conoce como quemado. El quemado supone la inutilización de la pieza para el servicio, pues favorece la corrosión intergranular, disminuye la tenacidad de la aleación, desciende la resistencia mecánica, y puede dar lugar a la formación de grietas, con lo consecuente empeoramiento a fatiga. En la figura 3.1 se muestra la microestructura típica de una aleación que ha sufrido quemado.



***Figura 3.1. Microestructura correspondiente al quemado de una aleación de aluminio en la que se muestra la fusión a lo largo de bordes de grano provocada por un calentamiento excesivamente alto durante el tratamiento de solución en una aleación, Al, Cu y Mg.***

La maduración persigue la precipitación del exceso de aleante existente en la solución sólida sobresaturada. Debe realizarse de tal modo que se obtengan precipitados del tipo, tamaño y distribución idóneos para optimizar las propiedades. El esquema general de la descomposición de la solución sólida sobresaturada consiste en la formación de precipitados coherentes, precipitados semicoherentes y precipitados incoherentes (la situación más estable y de menor dureza). La maduración natural tiene lugar de manera espontánea a temperatura ambiente. La cinética será más o menos rápida dependiendo de la composición, pero suele ser lenta y sólo permite la formación de zonas G.P. La variación de las propiedades es asintótica. La maduración artificial consiste en un calentamiento con la combinación adecuada de temperatura y tiempo para obtener una distribución óptima de precipitados desde el punto de vista del endurecimiento. Por otra parte, se define la temperatura de solvus de un determinado precipitado como aquella por encima de la cual, al descomponer la solución sólida, ya no se forma el tipo de precipitado considerado. El recocido consiste en realizar el tratamiento a temperaturas a las que sólo se

forman precipitados de tipo incoherente. Las zonas libres de precipitado (PFZ) se forman junto a los bordes de grano, al descomponerse la solución sólida, debido a la insuficiente concentración de vacantes retenidas (absorbidas por los bordes de grano) y la insuficiente sobresaturación de soluto, por haber emigrado al borde de grano, donde forma precipitados grandes e incoherentes. Queda una franja próxima al borde de grano en la que no existen precipitados, y esta estructura favorece la rotura intergranular y disminuye la tenacidad, además de influir negativamente en caso de corrosión intercrystalina y bajo tensión como se muestra en la figura 3.2.



*Figura 3.2. Zonas libres de precipitado a ambos lados de un borde de grano en una aleación, Al-4Zn-3Mg.*

### **3.1.3. Protección del Aluminio.**

El aluminio es un material muy reactivo, el cual reacciona espontáneamente con el oxígeno atmosférico, formando así una capa superficial de óxido que recubre la pieza y que es capaz de proteger al material frente a muchos ambientes.

Cuando en el aluminio hay presentes elementos aleantes, el comportamiento de la capa de óxido se modifica. El recubrimiento puede presentar fallos locales que favorecen el ataque corrosivo. El aluminio puede sufrir procesos de corrosión uniforme, corrosión por picaduras, corrosión intercrystalina, corrosión por aireación diferencial, corrosión por exfoliación, corrosión bacteriológica, corrosión galvánica y corrosión bajo tensión.

El anodizado desarrolla artificialmente, mediante una oxidación electrolítica, el espesor de la capa de óxido, con el fin de mejorar la resistencia a corrosión. El recubrimiento que se forma en este proceso, consta de dos zonas: una capa barrera, en contacto con el metal, y una capa porosa, al exterior, de óxido de aluminio anhidro, con una estructura hexagonal y un poro central que penetra hasta la capa barrera. Los procesos electrolíticos más utilizados son el anodizado sulfúrico, el crómico (con un mejor comportamiento a fatiga por formarse una capa más flexible y menos dura) y el fosfórico.

Los beneficios del anodizado además de la resistencia a la corrosión, son el aumento de la adherencia de recubrimiento de orgánicos, mejorar la resistencia de uniones adhesivas, mejorar la resistencia a la abrasión y al desgaste, mejorar el aspecto estético (la capa anódica admite coloración), y proporcionar aislamiento eléctrico.

La presencia de poros en la capa anódica permite que el comportamiento a corrosión pueda mejorarse mediante el proceso de sellado, que consiste en hidratar, mediante inmersión en agua caliente desionizada y con un pH ligeramente ácido, la capa de alúmina, de manera que aumente su volumen cerrando los poros. El sellado también reduce la resistencia a la abrasión, disminuye la adhesión de recubrimientos orgánicos, reduce la resistencia de uniones adhesivas y empeora el comportamiento a fatiga.

Los recubrimientos de conversión son recubrimientos inorgánicos en los que se transforma la capa de alúmina original en otra capa más gruesa de un óxido con una composición más compleja, que tiene mejores propiedades a fatiga.

### **3.1.4. Aleaciones de Aluminio para Forja.**

La microestructura de una aleación de forja está constituida en principio por una matriz de solución sólida de aluminio. Existen otros tipos de fases formadas durante la solidificación (eutécticas de bajo punto de fusión y fases intermetálicas con Fe y Si, perjudiciales para la aleación), además de dispersoides (fases dispersas o precipitadas en el interior de los cristales de aluminio, con un tamaño de 0.05 a 0.5  $\mu\text{m}$ , formados principalmente Mn, Cr y Zr), y precipitados (formados durante el tratamiento térmico).

Hay que distinguir dos grupos de aleaciones para forja: las aleaciones no tratables térmicamente y las aleaciones tratables térmicamente.

Las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente endurecen fundamentalmente por acritud. En las aleaciones de Al-Mn la adición de un 1 – 1.5% de manganeso al aluminio mejora la resistencia mecánica, manteniendo un excelente comportamiento a corrosión y una alta ductilidad.

Este tipo de aleaciones son de gran importancia económica. Su principal aplicación es para latas de bebida por su poco peso y ser fácilmente reciclables.

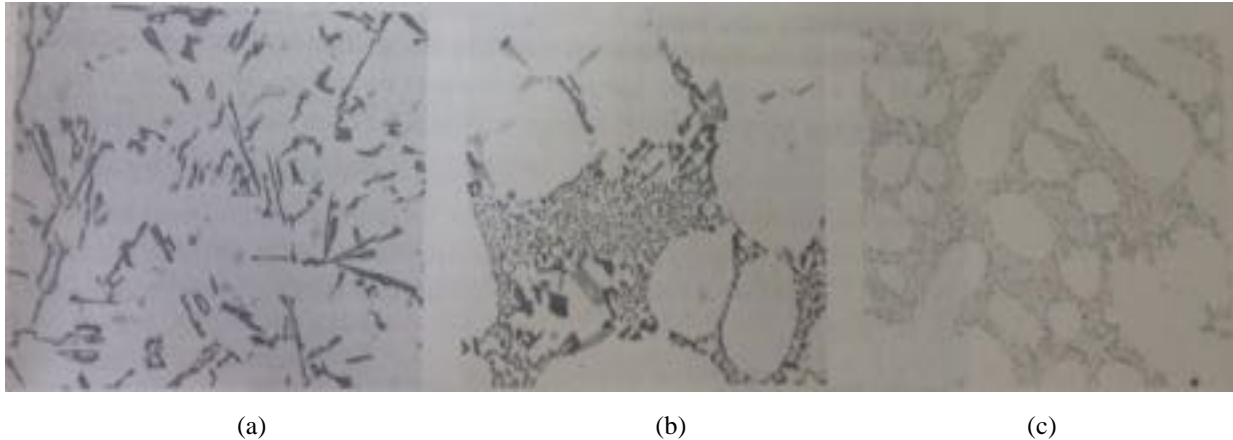
Las aleaciones de aluminio tratables térmicamente proporcionan las mayores prestaciones alcanzables con este material. Las aleaciones Al-Cu también se denominan duraluminios. Normalmente se añaden Mg y Si para elevar la resistencia. En estas aleaciones la maduración natural es muy lenta.

### **3.1.5. Aleaciones de Aluminio para Moldeo.**

Las aleaciones Al-Si son las aleaciones de aluminio para moldeo más utilizadas actualmente. El aumento del porcentaje en silicio mejora la fluidez, disminuye el riesgo de agrietabilidad, reduce el coeficiente de dilatación en estado sólido, y aumenta la dureza y la resistencia, empeorando la ductilidad y la tenacidad. La estructura normal de la eutéctica está constituida por placas de silicio en matriz de Al, que hacen frágil la aleación. La modificación es un proceso mediante el cual se sustituye la estructura de placas por otra fibrosa, mucho menos agresiva desde el punto de vista de la fragilidad. El proceso consiste en la adición al metal líquido de elementos modificadores. La modificación clásica se realiza con la adición de sodio (0,005-0,015%).

Actualmente se realiza la modificación con estroncio (0,03-0,05%). En la Figura 3.3 se muestran microestructuras de aleaciones Al-Si sin modificar y modificadas. Otras aleaciones de aluminio

para moldeo son las aleaciones Al-Si-Mg (aleaciones hipereutéticas con 0,3-0,7% de Mg, que hace que las aleaciones Al-Si sean tratables térmicamente, mejorando la resistencia y el límite elástico), las aleaciones Al-Sn (con un extraordinario comportamiento antifricción que las hace utilizables para cojinetes), las aleaciones Al-Cu o las aleaciones Al-Si-Cu-(X).



**Figura 3.3.**

*a) Microestructura de una aleación de Aluminio, obtenida por moldeo a la cera perdida sin modificar, en la que se observan grandes placas de Silicio de color oscuro en una matriz de Al-Si.*

*b) Microestructura de una aleación de Aluminio modificada con Estroncio, mostrando que las partículas de Si son de menor tamaño y con aristas menos vivas.*

*c) Aleación moldeada en arena, modificada con Sodio.*

### **3.2. Polímeros.**

Aunque existen materiales poliméricos naturales (por ejemplo: madera y algodón), los polímeros en ingeniería de mayor importancia comercial son sintéticos. Fundamentalmente, todos los polímeros se forman mediante la creación de enlaces químicos entre moléculas relativamente pequeñas, o monómeros, para formar moléculas muy grandes (macromoléculas), o polímeros. Los enlaces se forman por medio de uno, o de una combinación de dos tipos de reacciones: de adición o de condensación.

### **3.2.1. Polimerización por adición.**

El proceso de polimerización por adición se caracteriza por la simple combinación de moléculas sin que se generen productos secundarios como resultado de la combinación. Las moléculas originales no se descomponen para producir residuos de reacción que es necesario eliminar del producto. Cuando se enganchan unidades de un solo monómero, el producto resultante es un homopolímero, como el etileno, por ejemplo, que se prepara a partir del monómero etileno. Cuando se utilizan dos o más monómeros en el proceso, como etileno y propileno, por ejemplo, el producto es un copolímero. La formación de un homopolímero es semejante al enlazamiento de vagones idénticos de un tren. El proceso mismo de polimerización implica la formación de cada una de las macromoléculas compite por los meros.

### **3.2.2. Polimerización por condensación.**

En este proceso, la unión química de dos moléculas sólo se consigue mediante la formación de una molécula secundaria (usualmente pequeña) con átomos de las dos moléculas para crear la unión (de las moléculas), con lo cual la polimerización puede continuar. En estas reacciones, el producto secundario residual se extrae inmediatamente del polímero, porque puede inhibir la polimerización subsiguiente o permanecer como impureza indeseable en los productos terminados.

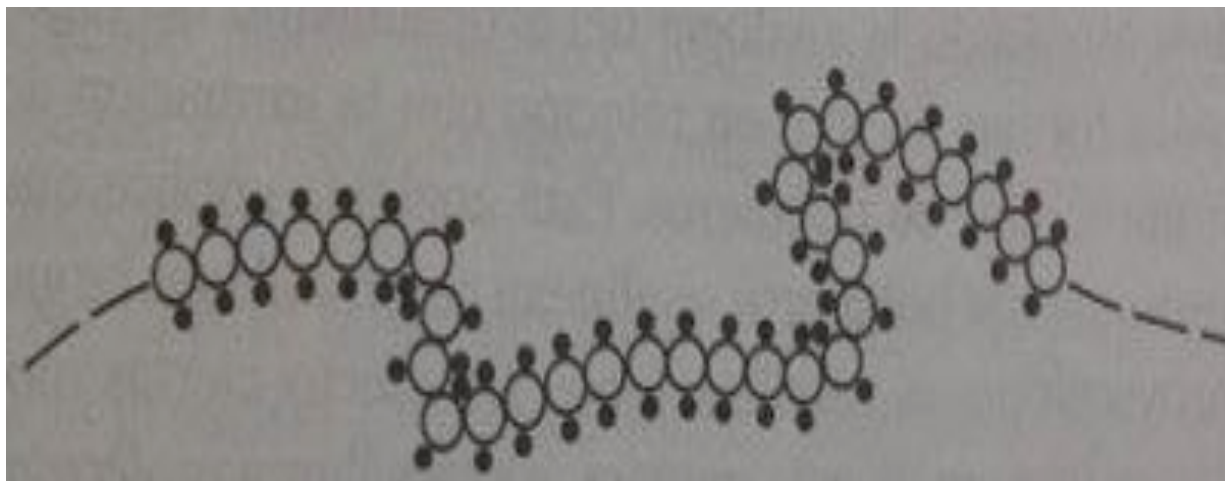
### **3.2.3. Copolimerización.**

Además de realizar cambios por sustitución en la unidad métrica repetitiva fundamental, es posible modificar la composición química y, por ende, la forma, estructura y propiedad de un polímero mezclando diferentes tipos de grupos estructurales o unidades repetitivas fundamentales dentro de la cadena de un polímero. Esto se consigue mediante un procedimiento llamado copolimerización. Además de cambiar los tipos de unidades repetitivas, se pueden variar las cantidades relativas de cada monómero para producir, literalmente, un número ilimitado de posibles combinaciones de propiedades. Este concepto ofrece la posibilidad de “hacer a la medida” o “proyectar” el material plástico deseado.

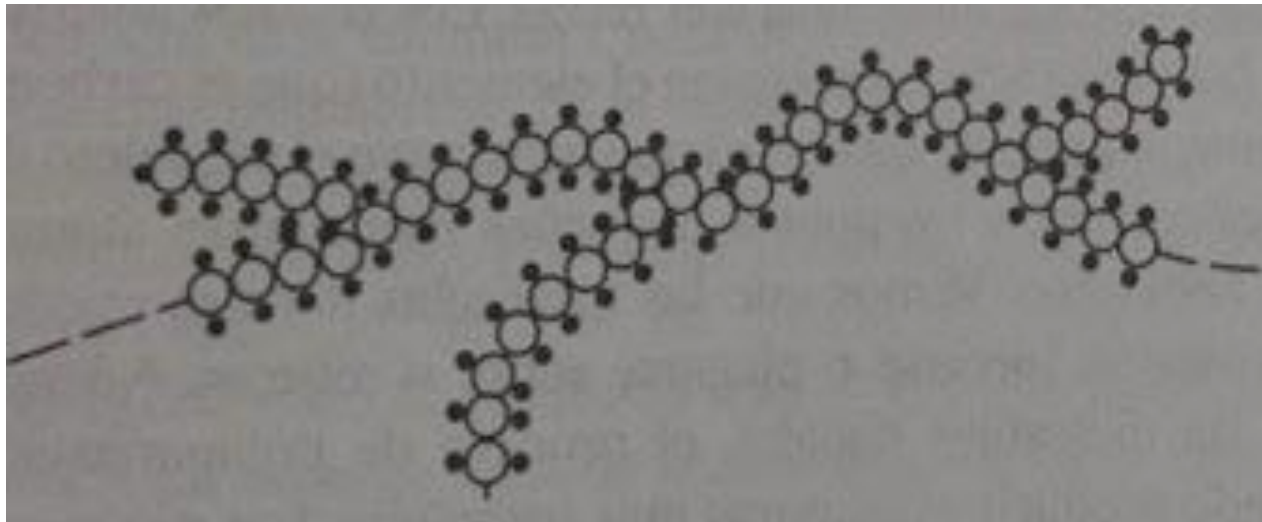


### 3.2.4. Moléculas lineales, ramificadas y transversales.

Se ha empleado la analogía del acoplamiento de vagones para formar un tren en relación con la formación de macromoléculas de polímeros. Esta analogía implica que las moléculas de polímeros se alinean como cadenas largas sin ramificaciones. En efecto, ciertas moléculas se forman de esta manera, y se les llama moléculas lineales. El término "lineal" no implica, sin embargo, que las moléculas son rectas. Los círculos abiertos de la figura 3.4 representan el elemento (que es carbono la mayor parte de las veces) que constituye el esqueleto de la estructura, y los puntos pequeños representan átomos de hidrógeno. Vemos que las moléculas lineales pueden enroscarse, torcerse o plegarse sobre sí mismas. Además de las moléculas lineales, el proceso de polimerización puede producir estructuras más complejas. Los polímeros forman estructuras ramificadas muy similares a grupos de ramas de árbol, como se muestra en la figura 3.5. Estas ramificaciones o proyecciones de una molécula que, por lo demás, es lineal, se describen como impedimentos estéricos. Así pues, las moléculas lineales sin impedimentos estéricos, capaces de empaquetarse más densamente y de deslizarse unos sobre otros con más facilidad que las moléculas ramificadas. Las moléculas lineales son más densas (por ejemplo: el polietileno de alta densidad) debido a la ausencia de impedimentos estéricos. Asimismo, las moléculas lineales tienen mayor resistencia a la tensión, más rigidez y temperaturas de reblandecimiento más altas. Las moléculas ramificadas, por el contrario, tienen más huecos y son menos densas, más flexibles y más permeables a los gases y disolventes que las moléculas lineales tal como se muestra en la figura 3.5.

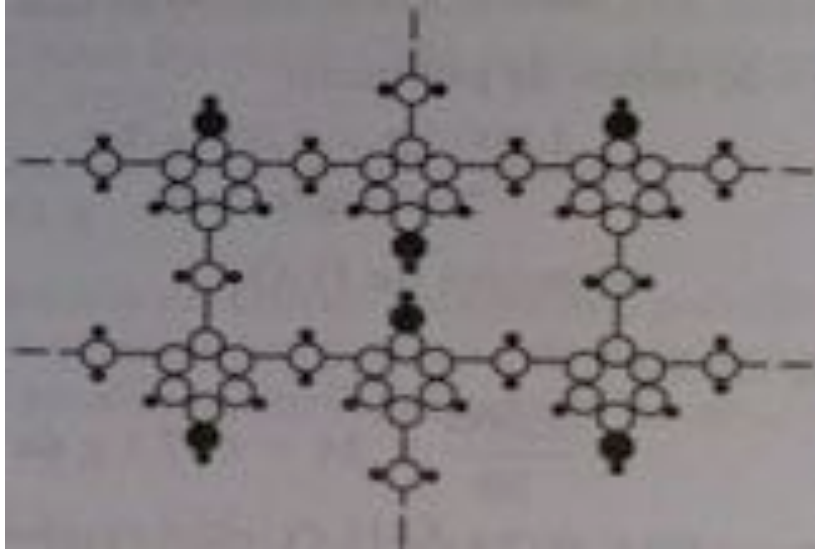


*Figura 3.4. Molécula Lineal.*



*Figura 3.5. Molécula Ramificada.*

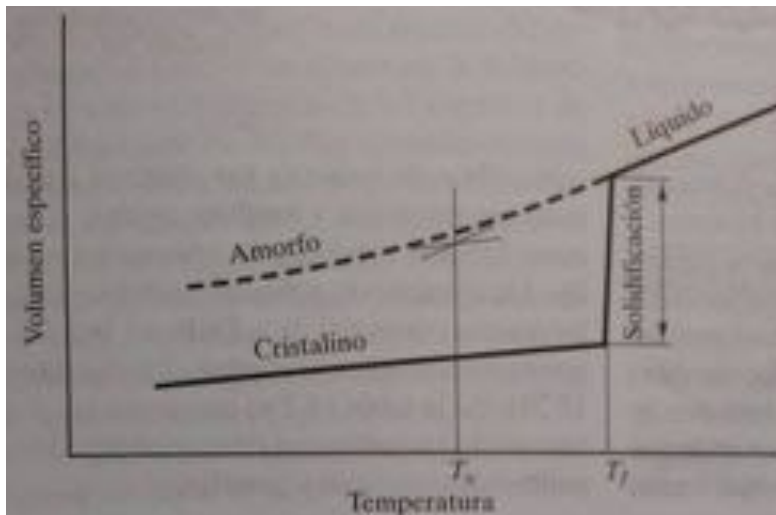
Las cadenas moleculares individuales de las moléculas lineales y ramificadas no están enlazadas unas con otras. Según el tipo de moléculas monoméricas utilizadas para formar el polímero, es posible que las cadenas macromoleculares individuales se enlacen fuertemente unas con otras. La unión entre dos cadenas se denomina enlace transversal o cruzado. En general, esto ocurre cuando los monómeros tienen más de un doble enlace en su estructura. Un doble enlace se utiliza para crear el enlace entre monómeros a fin de formar las cadenas individuales, y el otro doble enlace restante se puede romper para crear los enlaces transversales entre cadenas macromoleculares. Estas uniones o enlaces transversales dificultan mucho el deslizamiento de las moléculas poliméricas; el polímero adquiere gran rigidez y es muy difícil de deformar. Los polímeros enlazados transversalmente en su totalidad son termofijos y no presentan fluencia ni relajación, normalmente son frágiles y no se deforman con el calor (Figura 3.6). Se descomponen a temperaturas altas y son razonablemente resistentes al ataque por disolventes: puede suceder que los disolventes hinchen los polímeros de este tipo. Pero rara vez causan ruptura o disolución total.



**Figura 3.6. Molécula con enlaces transversales.**

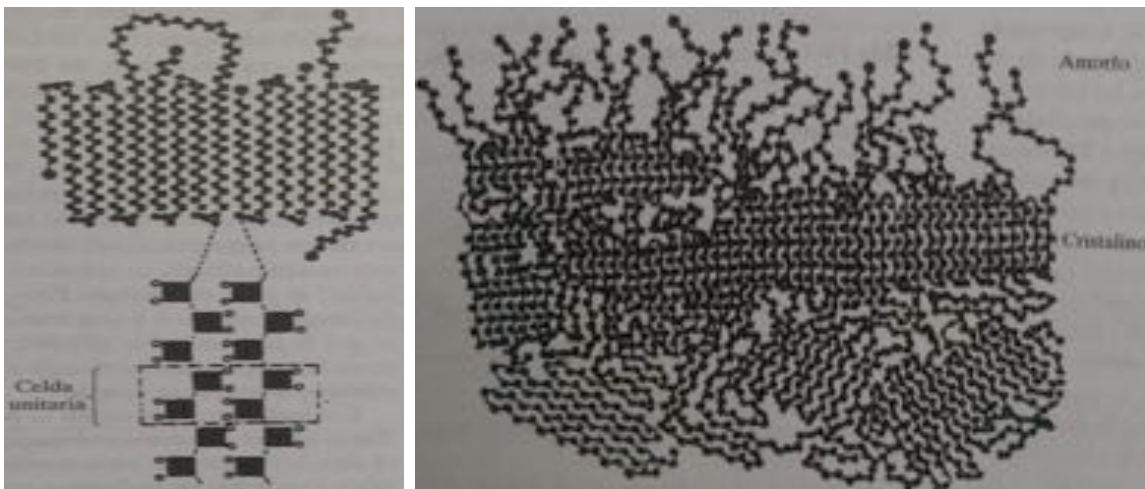
### 3.2.5. Polímeros cristalinos y amorfos.

Debido a la ausencia de impedimentos estéricos, las moléculas lineales se empaquetan y se alinean mucho más fácilmente que las moléculas ramificadas. La estructura lineal, semejante a fideos se pliega perfectamente, y las moléculas se alinean sin dificultad en un patrón regular. Esta alineación crea orden y presenta difracción, una característica de las estructuras cristalinas. En cambio, las moléculas ramificadas no producen patrones regulares y por tanto, son no cristalinas o amorfas. Los polímeros amorfos no tienen puntos de fusión, sino temperaturas de transición vítrea,  $T_v$  en las cuales se reblandecen poco a poco a medida que la temperatura se eleva. La formación del sólido polímero amorfo ocurre como se muestra en la figura 3.7.



**Figura 3.7. Formación del sólido polímero.**

La figura 3.8a) ilustra, cómo puede existir una celda unitaria en un cristal polimérico lineal de cadenas plegadas, y en la 3.8b), un polímero predominantemente cristalino. Por debajo de la  $T_g$ , hay un enlazamiento intermolecular débil entre las moléculas de polímero amorfo. Cuando el polímero se calienta cerca de la  $T_g$  estos enlaces secundarios se rompen de manera gradual, lo que explica el intervalo de temperatura de reblandecimiento, que contrasta con el punto de fusión definido de los polímeros cristalinos. Es necesario entender que los polímeros no forman estructuras 100 por ciento cristalinas, como los metales y las cerámicas, sino que son, en el mejor de los casos, semicristalino; polietileno cristalino de alta densidad solo alcanza una cristalinidad de 80 por ciento.



**Figura 3.8.**

**a) Celda unitaria en un cristal polimérico lineal de cadenas plegadas**      **b) Polímero predominantemente cristalino.**

La estructura cristalina de un polímero se puede transformar en una estructura amorfa. Cuando se calienta un polímero por encima de su punto de fusión, puede formarse un polímero amorfo cuando el polímero derretido se enfría con mucha rapidez, el mismo proceso que produce metales amorfos. Por consiguiente, el polímero amorfo enfriado rápidamente, tal cual, tendrá un conjunto enteramente distinto de propiedades que el polímero cristalino del cual provino. Si los movimientos moleculares tienen la magnitud suficiente, es posible que la estructura recién enfriada se aproxime a su configuración "preferida" al paso del tiempo. Los polímeros presentan la peculiaridad de que pueden contener dominios ordenados o alineados grandes en el estado líquido. En estas condiciones, los materiales reciben el nombre de polímeros cristalinos líquidos

(PCL: o LCP, por sus siglas en inglés), y constituyen una clase especial de termoplásticos. Sus moléculas son rígidas y con apariencia de bastones, y se organizan en grandes formaciones o dominios paralelos que presentan poca viscosidad cuando están fundidos y, por tanto, son más fáciles de tratar que otros polímeros de alto peso molecular. Son los termoplásticos que experimentan menos alabeo y contracción. Cuando se moldean por inyección o se extruyen, las moléculas se alinean en largas cadenas rígidas en la dirección de flujo, por lo cual actúan como fibras de refuerzo. Esto imparte a los PCL gran resistencia mecánica y también rigidez. A medida que la masa fundida solidifica, la orientación molecular queda fija.

### **3.2.6. Tipos de plásticos y su clasificación.**

Termoplásticos (TP) y termofijos (TF). Éstos son los dos tipos fundamentales de plásticos, con base en sus características de deformación a temperaturas elevadas. La diferencia esencial entre ambos tipos es la ausencia de enlaces transversales en los polímeros termoplásticos y la presencia de enlaces transversales en las cadenas macromoleculares de los termofijos. Como su nombre implica, un material termoplástico se deforma con la temperatura, en tanto que uno termofijo tiene forma permanente y no se deforma con la temperatura.

Los termoplásticos se componen de moléculas lineales largas, cada una de las cuales puede tener cadenas o grupos laterales (es decir, moléculas ramificadas, pero no unidas por enlaces transversales). Podemos pensar estas cadenas como cuerdas independientes y entrelazadas, parecidas a fideos. Al calentarse, las cadenas individuales se deslizan y provocan un flujo plástico. Por tanto, se pueden derretir y moldear una y otra vez por calentamiento y enfriamiento, lo que permite utilizar de nuevo los desperdicios. No ocurren cambios químicos durante la deformación, pero el termoplástico puede quemarse en alguna medida. En consecuencia, debe tenerse cuidado de no degradar, descomponer o inflamar estos materiales. Su temperatura de reblandecimiento varía con el tipo y la calidad del polímero. Son solubles en disolventes específicos. En general, los TP ofrecen mayor resistencia al impacto, más facilidad de tratamiento y adaptabilidad a diseños complejos que los TF.

Los termofijos son resinas que experimentan un cambio químico, llamado curado, durante su elaboración a fin de formar estructuras con enlaces transversales y tornarse permanentemente insolubles e infusibles. Por tanto, no se pueden derretir y procesar de nuevo. Los desperdicios de

polímeros termofijos deben ser desechados o utilizados como relleno de bajo costo en otros productos. En ciertos casos, se pueden pirolizar (descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios) los desperdicios para recuperar parte del valor calorífico de la resina. Los termofijos se suministran en forma líquida o como polvo de moldeo sólido parcialmente polimerizado. Cuando aún no han sido curados, los termofijos se pueden moldear para darles la forma del producto terminado, con o sin aplicación de presión, para después curarlos o polimerizarlos mediante productos químicos (agentes de curado) o calor.

Sin embargo, la distinción entre los termoplásticos y los termofijos no siempre se define con claridad. Por ejemplo, podemos transformar un polietileno (PE) normalmente termoplástico en un PE termofijo, con enlaces transversales, mediante radiación de alta energía. También hay plásticos que incluyen ambos tipos dentro de su clase genérica; por ejemplo, hay resinas poliestéri-cas tanto termoplásticas como termofijas.

### **Clasificación de los termoplásticos.**

Estos materiales se clasifican en termoplásticos comerciales y termoplásticos de ingeniería. Los termoplásticos comerciales se utilizan, por lo general, en aplicaciones sin carga o con carga muy pequeña, en tanto que las resinas de ingeniería se proyectan para soportar cargas durante periodos prolongados. Casi todos estos plásticos provienen del grupo olefínico.

### **Termoplásticos comerciales.**

Éstos incluyen las poliolefinas, los estirenos y los vinilos. Los acrílicos y los celulósicos también pertenecen a este grupo.

Poliolefinas. Son el polietileno (PE) y el polipropileno (PP). Los demás miembros son el polibutileno (PB), el polimetilpenteno (PMP), el acetato de vinilo-etileno (EVA) y los ionómeros.

Los polipropilenos son semitranslúcidos y de color blanco lechoso, con excelente coloreabilidad. Su método de producción induce a las moléculas a cristalizar en haces compactos, por lo cual son más resistentes que otros miembros de las poliolefinas. Los polipropilenos son fáciles de conformar para elaborar diversos productos; están disponibles en muchas calidades, y también como copolímeros. Los PP son de baja densidad (0.90) y ofrecen un buen equilibrio de costo moderado, resistencia mecánica y rigidez, y propiedades térmicas y eléctricas. Al igual que las

demás poliolefinas, tienen excelente resistencia al agua y a las soluciones acuosas, como las soluciones salinas y ácidas que destruyen los metales. También son resistentes a los disolventes orgánicos y a los álcalis.

El PP soporta cargas ligeras durante períodos prolongados, pero no destaca por su resistencia a la fluencia. Su resistencia mecánica, rigidez, resistencia al calor y estabilidad dimensional pueden aumentarse en grado importante reforzándolo con fibras de vidrio. El PP tiene poca tenacidad al impacto, pero esto se mejora por copolimerización.

Plásticos estirenicos. En general, esta familia de plásticos se caracteriza por su facilidad de tratamiento, dureza y excelentes propiedades dieléctricas, pero su resistencia al calor es limitada y son atacados por los disolventes de hidrocarburos aromáticos. Aparte del homopolímero poliestireno, los otros miembros comunes de esta familia son los copolímeros de estireno-acrilonitrilo (SAN), estireno-butadieno (SB) y acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

El poliestireno (PS, por sus siglas en inglés) es amorfo, es el miembro de más bajo costo de la familia, y se utiliza por su dureza, rigidez, claridad óptica, estabilidad dimensional y excelente procesabilidad. Sus aplicaciones incluyen la espuma de PS cristalino se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones como aislador. El poliestireno está disponible en una amplia gama de calidades para todo tipo de procesos. Las calidades modificadas incluyen gran resistencia al calor y diversos grados de resistencia al impacto.

### **Termofijos.**

Estos materiales ofrecen una o más de las características siguientes: (1) gran estabilidad térmica, (2) resistencia a la fluencia y a la deformación con carga. (3) gran estabilidad dimensional y (4) gran rigidez y dureza. Estas ventajas son adicionales a la ligereza y a las excelentes propiedades de aislamiento eléctrico que son comunes a todos los plásticos

Los poliuretanos (PUR) se producen mediante reacciones de poliisocianatos con resinas a base de poliésteres o polióteres, que pueden ser TP o TF. Están disponibles en tres formas: espuma rígida, espuma flexible y como elastómeros. Se caracterizan por tener gran resistencia mecánica y buena resistencia química y a la abrasión, con excelente resistencia al ozono, aceites, gasolina y muchos disolventes. La espuma rígida se utiliza como material de aislamiento. La espuma flexible es un excelente material de acojinamiento. La  $T_g$  de la espuma flexible es muy inferior a la temperatura ambiente y, la de las espumas rígidas, superior a la temperatura ambiente.

## **CAPITULO 4.**

### **DISEÑO DEL CALORIMETRO.**

#### **4.1. Selección del material.**

La selección del material se hizo de acuerdo a la investigación de diferentes materiales que podrían componer al calorímetro. Se decidió debido a resistencia, estética y costo de dichos materiales.

Para la parte exterior del calorímetro, se utilizó aluminio reforzado, el cual nos brinda una gran resistencia al desgaste y es estético.

El material aislante que se utilizó entre el recipiente aislado y el aluminio fue poliuretano, en específico, espuma de poliuretano. Este material fue elegido gracias a su bajo costo y a que es de los mejores aislantes térmicos. Una de las principales aplicaciones en las que se emplea este material es en la elaboración de los asientos para automóviles.

Para el recipiente aislado se optó por uno de polipropileno, material que es muy resistente a altas temperaturas.

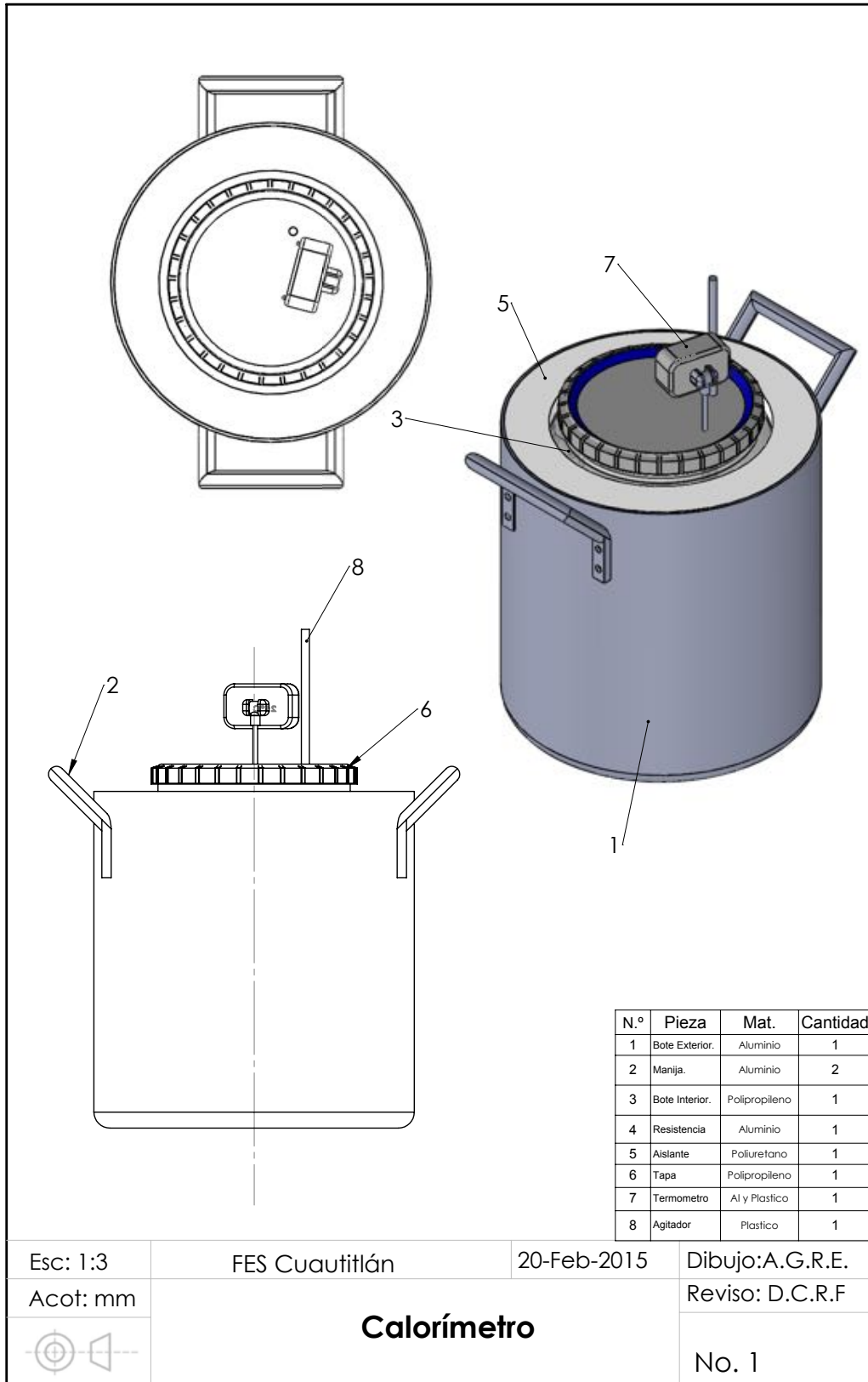
Los elementos complementarios que se utilizaron en este calorímetro son: un termómetro digital con una escala de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $250^{\circ}\text{C}$ , un agitador y una resistencia eléctrica para calentar el fluido dentro del calorímetro.

#### **4.2. Diseño.**

Es importante mencionar que para el diseño y la fabricación de este calorímetro se utilizaron materiales y componentes comercialmente existentes, facilitando así su construcción. Esto ayudó también a disminuir el costo de construcción del mismo.

En la figura 4.1 se presenta el dibujo de conjunto, y en las figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se presentan los dibujos de detalle de cada uno de los componentes del calorímetro.

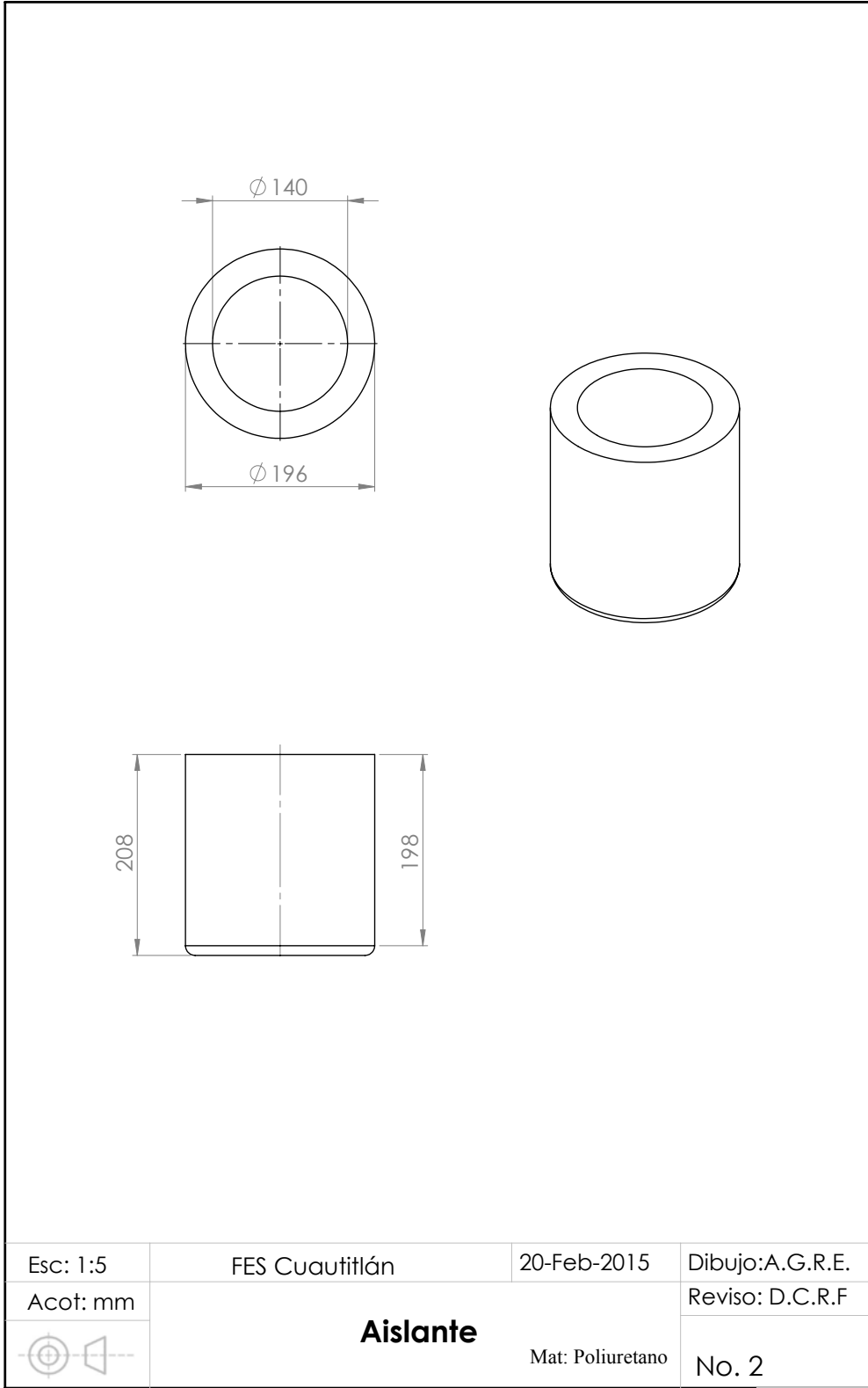




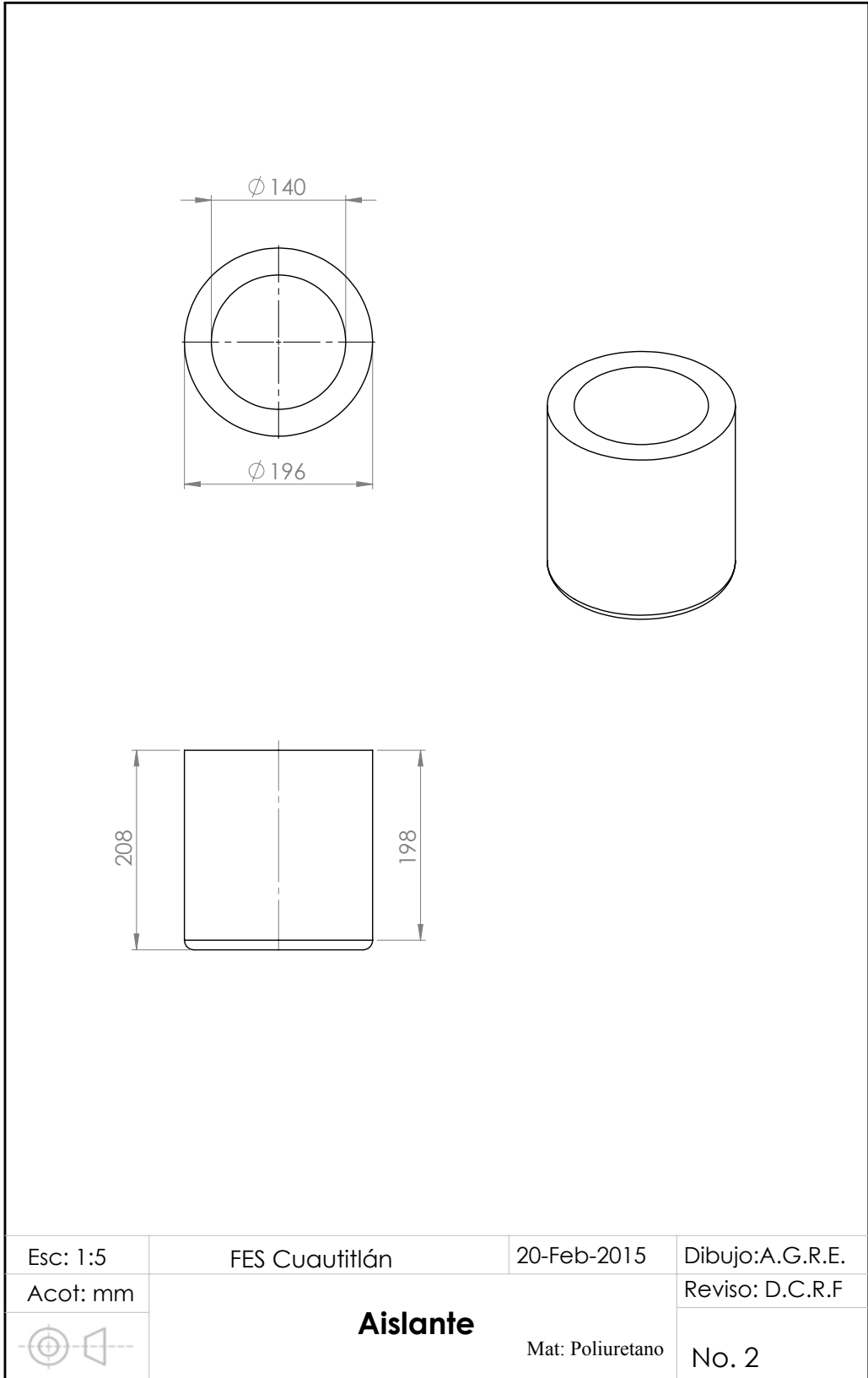
| N.º | Pieza          | Mat.          | Cantidad |
|-----|----------------|---------------|----------|
| 1   | Bote Exterior. | Aluminio      | 1        |
| 2   | Manija.        | Aluminio      | 2        |
| 3   | Bote Interior. | Polipropileno | 1        |
| 4   | Resistencia    | Aluminio      | 1        |
| 5   | Aislante       | Poliuretano   | 1        |
| 6   | Tapa           | Polipropileno | 1        |
| 7   | Termometro     | Al y Plastico | 1        |
| 8   | Agitador       | Plastico      | 1        |

|          |                    |             |                 |
|----------|--------------------|-------------|-----------------|
| Esc: 1:3 | FES Cuautitlán     | 20-Feb-2015 | Dibujo:A.G.R.E. |
| Acot: mm | <b>Calorímetro</b> |             | Reviso: D.C.R.F |
|          |                    |             | No. 1           |

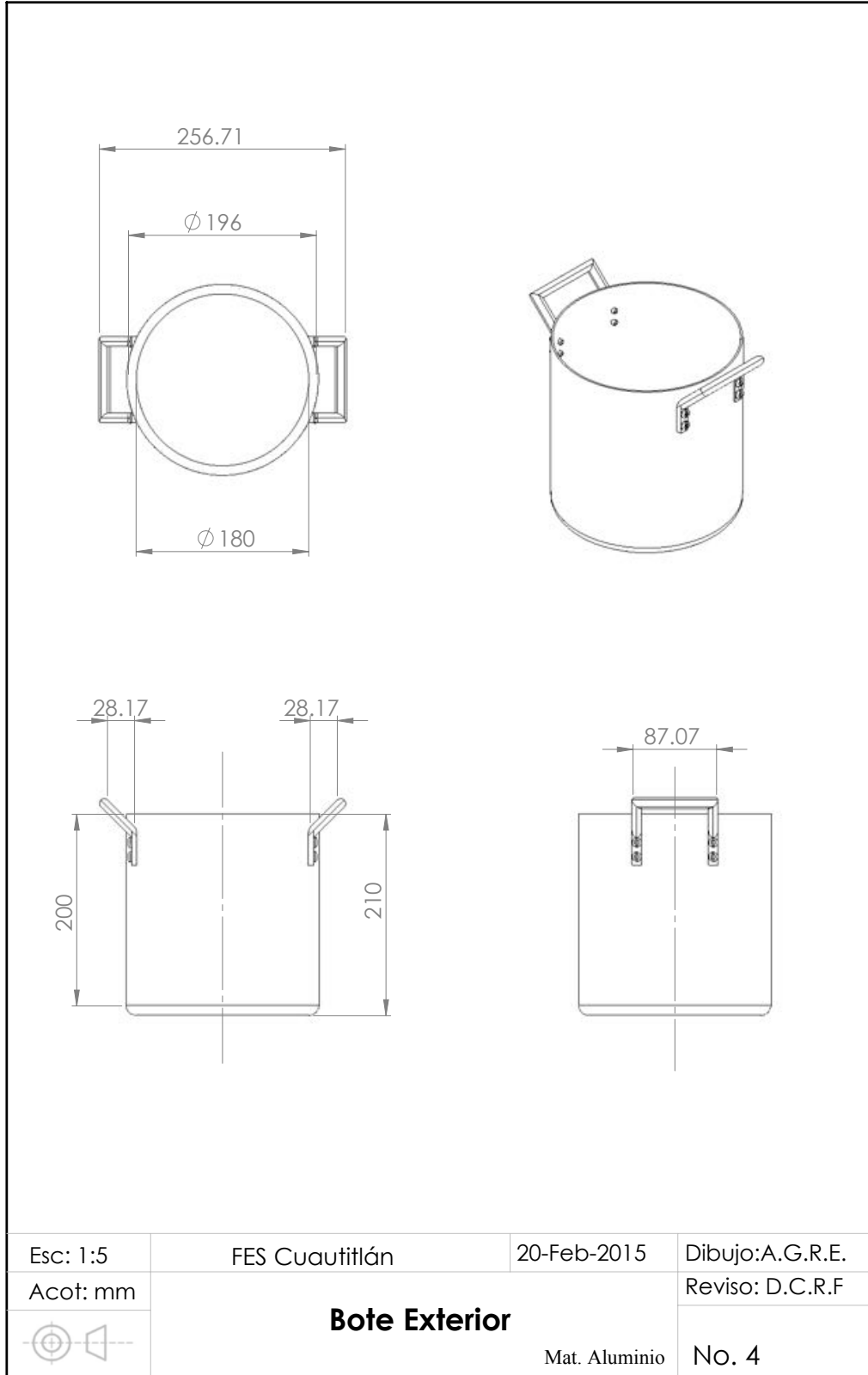
**Figura 4.1. Dibujo de Conjunto.**



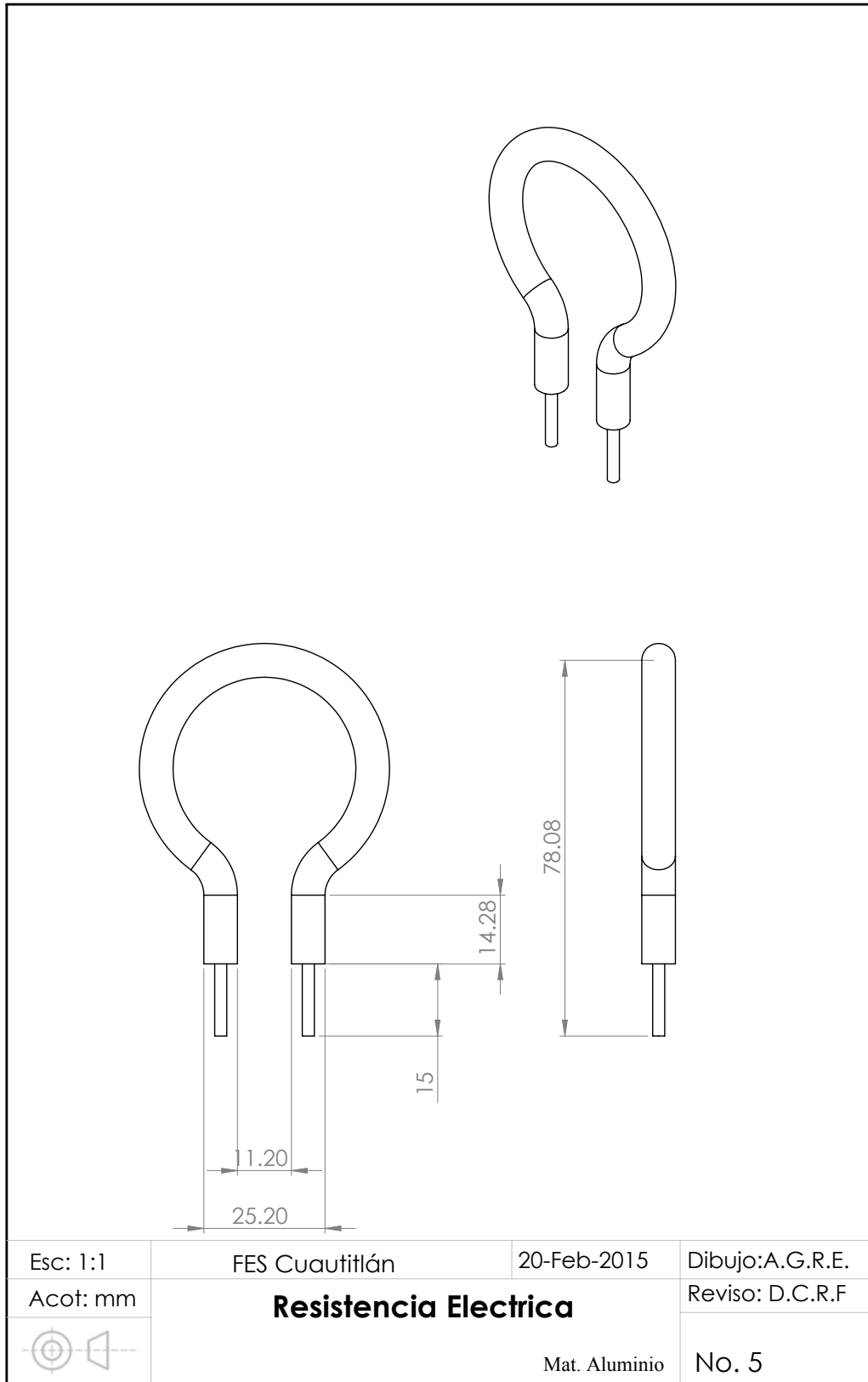
**Figura 4.2. Aislante.**



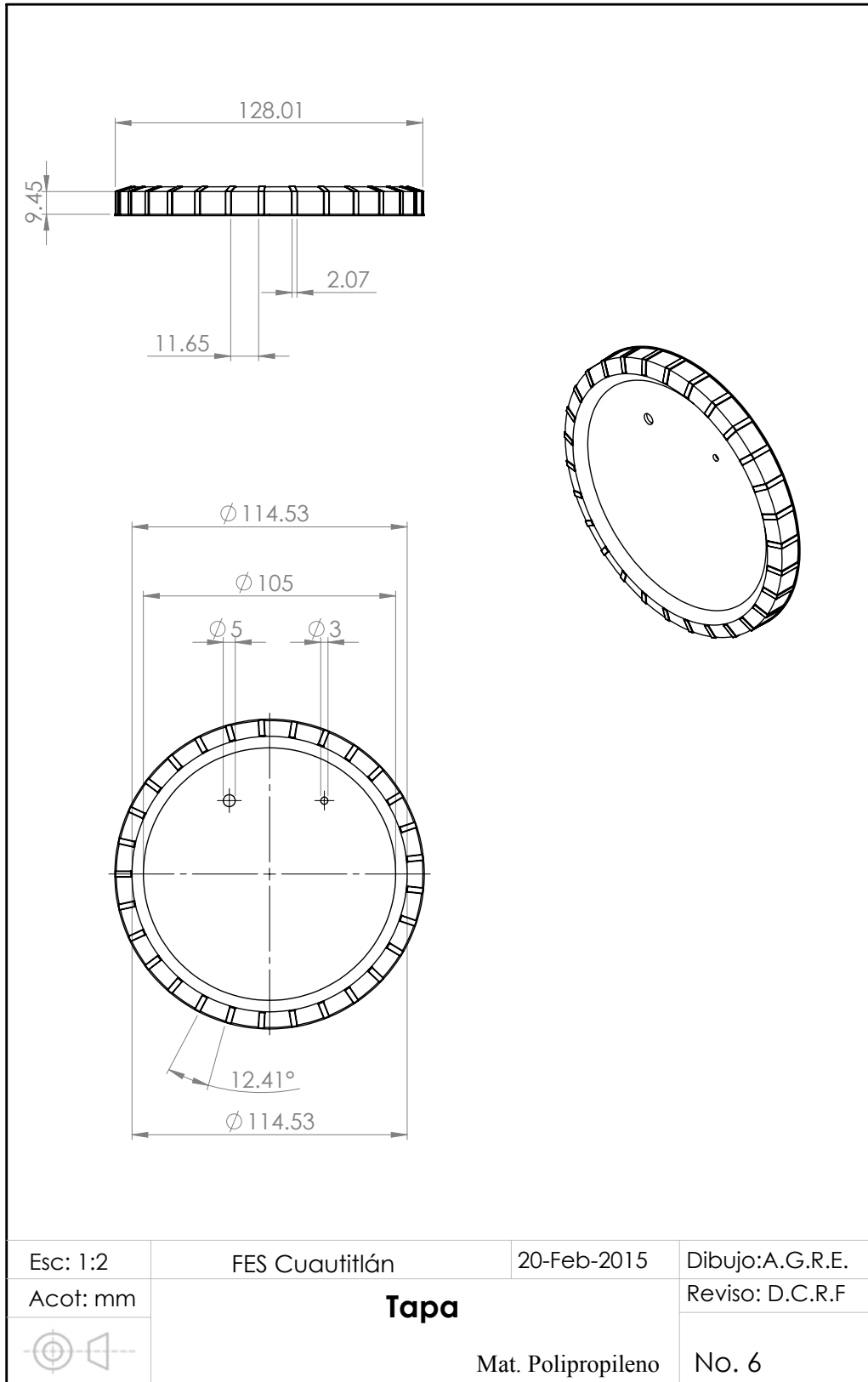
**Figura 4.3. Bote Interior.**



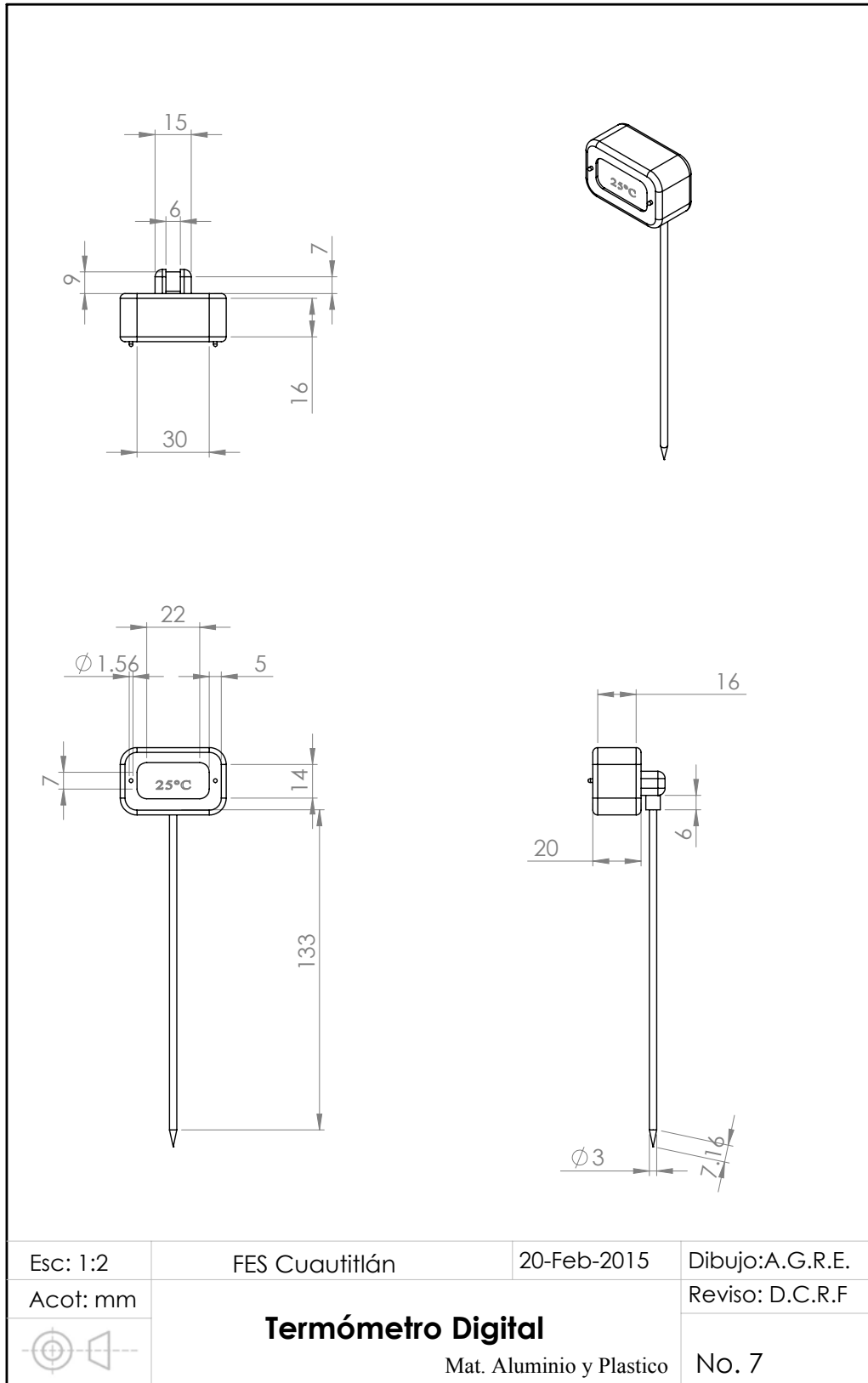
**Figura 4.4. Bote Exterior.**



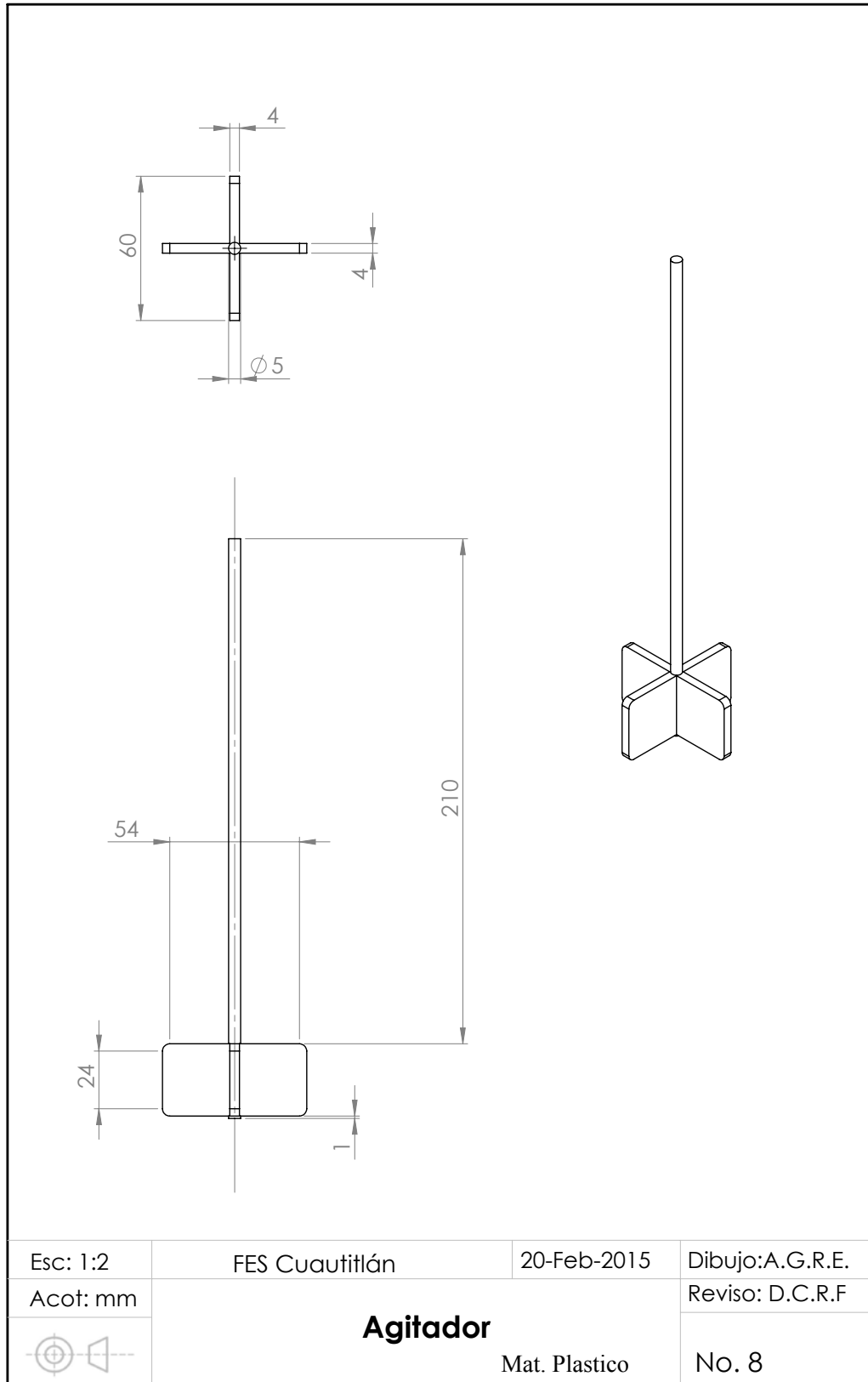
**Figura 4.5. Resistencia eléctrica.**



**Figura 4.6. Tapa.**



**Figura 4.7. Termómetro digital.**



**Figura 4.8. Agitador.**



### 4.3. Calculos de las perdidas por transferencia de calor.

Los calculos siguientes se realizaron para determinar la perdida de calor con respecto a la energia suministrada.

Inicialmente y para fines de cálculo se considera que el calorímetro está expuesto en su interior a una temperatura de aproximadamente 70 °C (343.15 K) y a una temperatura exterior (ambiente) de 20°C (293.15 K). La Conductividad térmica del agua es  $0.58 \frac{W}{mK}$ .

Para poder calcular dicha perdida es necesario tomar en cuenta las características de cada uno de los componentes del calorímetro, dichas características se presentan a continuación:

#### **Bote exterior:**

$$D_{Exterior} = 14 \text{ cm}$$

$$D_{Interior} = 13.63 \text{ cm}$$

$$Espesor (l) = .185 \text{ cm}$$

$$Longitud = 17 \text{ cm}$$

$$Conductividad térmica (K) = 0.22 \text{ W/mK}$$

#### **Aislante:**

$$D_{Exterior} = 19.6 \text{ cm}$$

$$D_{Interior} = 14 \text{ cm}$$

$$Espesor (l) = 2.8 \text{ cm}$$

$$Longitud = 19.8 \text{ cm}$$

$$Conductividad térmica (K) = 0.023 \text{ W/mK}$$

#### **Bote interior:**

$$D_{Exterior} = 21.2 \text{ cm}$$

$$D_{Interior} = 19.6 \text{ cm}$$

$$Espesor (l) = 0.8185 \text{ cm}$$

$$Longitud = 21 \text{ cm}$$

$$Conductividad térmica (K) = 204 \text{ W/mK}$$

**Tapa:**

$$D_{Exterior} = 12.9 \text{ cm}$$

$$D_{Interior} = 11.4 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor } (l) = 0.15 \text{ cm}$$

$$\text{Conductividad térmica } (K) = 0.22 \text{ W/mK}$$

Para obtener la pérdida de calor por conducción en la superficie plana (fondo) se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{l}{(KA)_{Recipiente}} + \frac{l}{(KA)_{Aislante}} + \frac{l}{(KA)_{Contenedor}}} \dots\dots(4.1)$$

Donde:

q= Calor transmitido por conducción. En ella q (w) representa la velocidad de transferencia de calor

T = Temperatura

l= Espesor del cuerpo

K= Conductividad térmica

A= Área del cuerpo

Sustituyendo valores en la ec. 4.1 se obtiene:

$$q = \frac{(343.15 - 293.15)K}{\frac{.00185m}{.22 \frac{W}{mK} (\pi(0.07m)^2)} + \frac{.028m}{.023 \frac{W}{mK} (\pi(0.098m)^2)} + \frac{.008m}{204 \frac{W}{mK} (\pi(0.106m)^2)}}$$

Reduciendo la ecuación:

$$q = \frac{50 \text{ K}}{(0.5462 + 40.34 + 0.0011)K/W}$$

La pérdida de la superficie plana es:

$$q = 1.228 \text{ W}$$

Para obtener la pérdida de calor por conducción en la superficie plana (tapa) se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{l}{(KA)_{\text{Tapa}}} + \frac{l}{(KA)_{\text{Aislante}}}} \dots\dots(4.2)$$

Donde:

q= Calor transmitido por conducción. En ella q (w) representa la velocidad de transferencia de calor

T = Temperatura

l= Espesor del cuerpo

K= Conductividad térmica

A= Área del cuerpo

Sustituyendo valores en la ec. 4.2 se obtiene:

$$q = \frac{(343.15k - 293.1)K}{\frac{0.0015m}{(0.22W/mK)\pi(0.114m)^2} + \frac{0.02m}{(0.023\frac{W}{mK})\pi(0.114m)^2}}$$

Reduciendo la ecuación:

$$q = \frac{50 K}{(0.1669 + 21.2981)K/W}$$

La pérdida de la superficie plana es:

$$q = 2.3293 \text{ W}$$

Para obtener la pérdida de calor por conducción en la superficie cilíndrica se emplea la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi KL \text{ Recipiente}} + \frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi KL \text{ Aislante}} + \frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi KL \text{ Contenedor}}}. \dots (4.3)$$

Donde:

q= Calor transmitido por conducción. En ella q (w) representa la velocidad de transferencia

T = Temperatura.

r<sub>0</sub>= Radio exterior.

r<sub>i</sub>= Radio interno.

K= Conductividad térmica.

L= Longitud.

Sustituyendo valores en la ec. 4.3 se obtiene:

$$q = \frac{(343.15 - 293.15)K}{\frac{\ln\left(\frac{0.07m}{0.068m}\right)}{2\pi\left(0.22\frac{W}{mK}\right)(0.17m)} + \frac{\ln\left(\frac{0.098m}{0.07m}\right)}{2\pi\left(0.023\frac{W}{mK}\right)(0.198m)} + \frac{\ln\left(\frac{0.106m}{0.098m}\right)}{2\pi\left(204\frac{W}{mK}\right)(0.21m)}}$$

Reduciendo la ecuación:

$$q = \frac{50 K}{\left(\frac{0.0289}{0.2349\frac{W}{K}} + \frac{0.3364}{0.0286\frac{W}{K}} + \frac{0.784}{269.17\frac{W}{K}}\right)}$$

Obteniéndose:

$$q = \frac{50 K}{11.88\frac{k}{w}} = 4.237 W$$

Para obtener la pérdida de calor por convección en la superficie plana (fondo) se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{l}{(KA)_{\text{Recipiente}}} + \frac{l}{(KA)_{\text{Aislante}}} + \frac{l}{(KA)_{\text{Contenedor}}} + \frac{1}{h_2 A}} \dots\dots (4.4)$$

Donde:

q= Calor transmitido por conducción. En ella q (w) representa la velocidad de transferencia de calor

T = Temperatura

l= Espesor del cuerpo

K= Conductividad térmica

A= Área del cuerpo

$h_1$ = Coeficiente convectivo del agua 1000 W/(m<sup>2</sup>K).

$h_2$ =Coeficiente convectivo del aire 5 W/(m<sup>2</sup>K).

Sustituyendo valores en la ec. 4.4 se obtiene:

$$q = \frac{(343.15 - 293.15)K}{\frac{1}{(1000 \text{ W/m}^2\text{K})\pi(0.07\text{m})^2} + \frac{.00185\text{m}}{.22 \frac{\text{W}}{\text{mK}}(\pi(0.07\text{m})^2)} + \frac{.028\text{m}}{.023 \frac{\text{W}}{\text{mK}}(\pi(0.098\text{m})^2)} + \frac{.008\text{m}}{204 \frac{\text{W}}{\text{mK}}(\pi(0.106\text{m})^2)} + \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2\text{K})\pi(0.106\text{m})^2}}$$

Reduciendo la ecuación:

$$q = \frac{50 K}{(0.064 + 0.5462 + 40.34 + 0.0011 + 5.665)K/W}$$

La pérdida de la superficie plana es:

$$q = 1.072 \text{ W}$$

Por otra parte, la transferencia de calor por convección para la parte plana superior (tapa), se calcula por medio de la ecuación siguiente:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{l}{KA_{Tapa}} + \frac{1}{h_2 A}} \dots\dots (4.5)$$

Donde:

q= Calor transmitido por convección.

$T_1$ = Temperatura ambiente.

$T_2$  = Temperatura después de calentar.

l= Espesor de la tapa.

A= Área ( $\pi r^2$ )

K= Conductividad térmica.

$h_1$ = Coeficiente convectivo del agua 1000 W/(m<sup>2</sup>K) w/m<sup>2</sup>k. [3] y [4]

$h_2$ =Coeficiente convectivo del aire 5 W/(m<sup>2</sup>K). [3] y [4]

Sustituyendo valores en la ec. 4.5:

$$q = \frac{(343.15k - 293.1)K}{\frac{1}{(1000W/m^2K)\pi(0.114m)^2} + \frac{0.0015m}{(22W/mK)\pi(0.114m)^2} + \frac{1}{(5W/m^2K)\pi(0.114m)^2}}$$

Reduciendo la ecuación obtiene:

$$q = \frac{50 K}{2.4 \times 10^{-2} \frac{K}{W} + 0.166 \frac{K}{W} + 4.8 \frac{K}{W}}$$

Obteniéndose

$$q = 10.01 W$$

La transferencia de calor por convección para la superficie cilíndrica.

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi KL}\right)_{\text{Recipiente}} + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi KL}\right)_{\text{Aislante}} + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi KL}\right)_{\text{Contenedor}} + \left(\frac{1}{hA}\right)_{\text{Aire}}} \dots\dots (4.6)$$

Donde:

q= Calor transmitido por conducción.

T = Temperatura.

A= Área ( $\pi DL$ )

$r_0$ = Radio exterior.

$r_i$ = Radio interno.

K= Conductividad térmica.

L= Longitud bote exterior

h= Coeficiente convectivo del aire  $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Sustituyendo valores en la ec. 4.6, se obtiene:

$$= \frac{(343.15 - 293.15)K}{\frac{\ln\frac{0.07m}{0.068m}}{2\pi(0.22\frac{W}{mK})(0.17m)} + \frac{\ln\frac{0.098m}{0.07m}}{2\pi(0.023\frac{W}{mK})(0.198m)} + \frac{\ln\frac{0.106m}{0.098m}}{2\pi(204\frac{W}{mK})(0.21m)} + \frac{1}{5\frac{W}{m^2K}(\pi(0.212m)(0.21m))}}$$

Reduciendo la ecuación.

$$q = \frac{50 K}{\left(\frac{0.0289}{0.2349\frac{W}{K}} + \frac{0.3364}{0.0286\frac{W}{K}} + \frac{0.784}{269.17\frac{W}{K}} + \frac{1}{0.6993\frac{W}{K}}\right)}$$

La pérdida de calor por convección en la superficie cilíndrica es.

$$q = \frac{50 K}{13.31\frac{K}{W}} = 3.756W$$

Finalmente, la pérdida total de calor en el calorímetro se puede calcular así:

$$q_T = (1.228 + 2.3293 + 1.072 + 4.237 + 10.01 + 3.756)W$$

$$q = 22.632 W$$

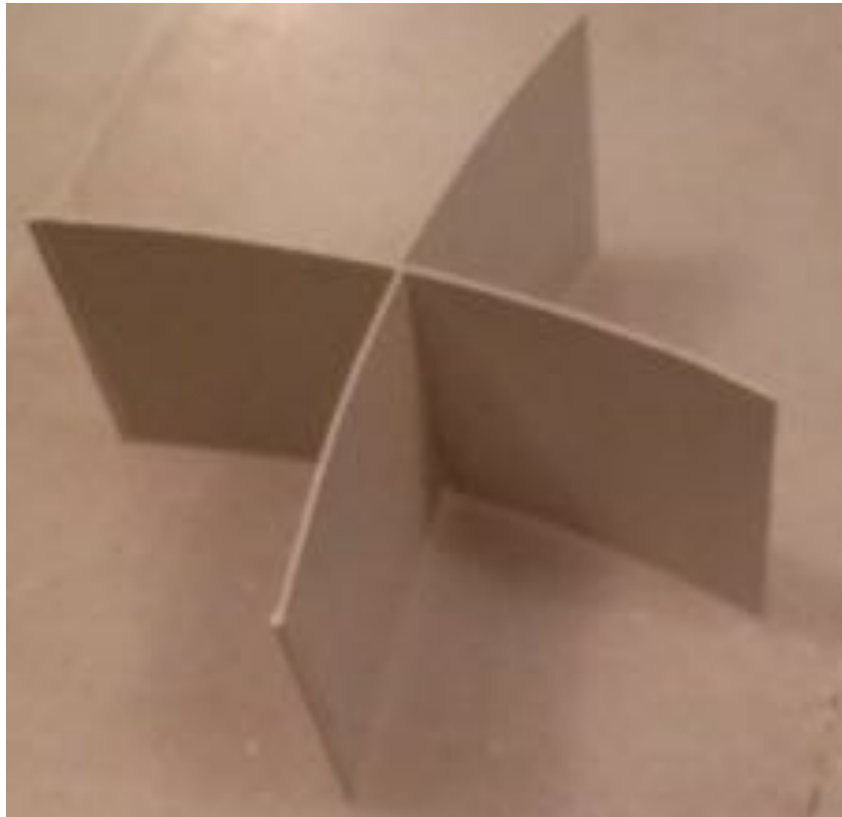


## **CAPITULO 5.**

### **FABRICACIÓN DEL CALORÍMETRO.**

Partiendo de que el calorímetro se diseñó utilizando principalmente partes y materiales disponibles comercialmente, el proceso de fabricación fue muy sencillo y se describe a continuación:

1.- Para la elaboración del agitador se cortó y unió las paletas de plástico que van en el vástago del agitador, figura 5.1.



*Figura 5.1. Unión de paletas.*

2.- Una vez unidas las paletas se pegaron al eje del agitador, figura 5.2.



*Figura 5.2. Agitador*

3.- Se cortó el poliuretano en un rectángulo y en un círculo, figura 5.3.



*Figura 5.3. Corte del poliuretano.*

4.- Se pegó el aislante por dentro del contenedor de aluminio, figura 5.4.



*Figura 5.4. Aislante pegado al contenedor.*

5.- Se perforo el recipiente de polipropileno por unos de los lados, figura 5.5.



*Figura 5.5. Recipiente perforado.*

6.- Posteriormente se colocó la resistencia en las perforaciones, de tal manera que el cable quedara por fuera, figura 5.6.



***Figura 5.6. Recipiente con la resistencia.***

7.- Se perforo la tapa del recipiente principal para introducir el termómetro y el agitador, figura 5.7.



***Figura 5.7. Tapa perforada.***

8.- Se le puso aislante a la tapa, figura 5.8



*Figura 5.8. Tapa con aislante.*

9.- Una vez perforada la tapa y con aislante se introdujeron el termómetro y el agitador, figura 5.9.



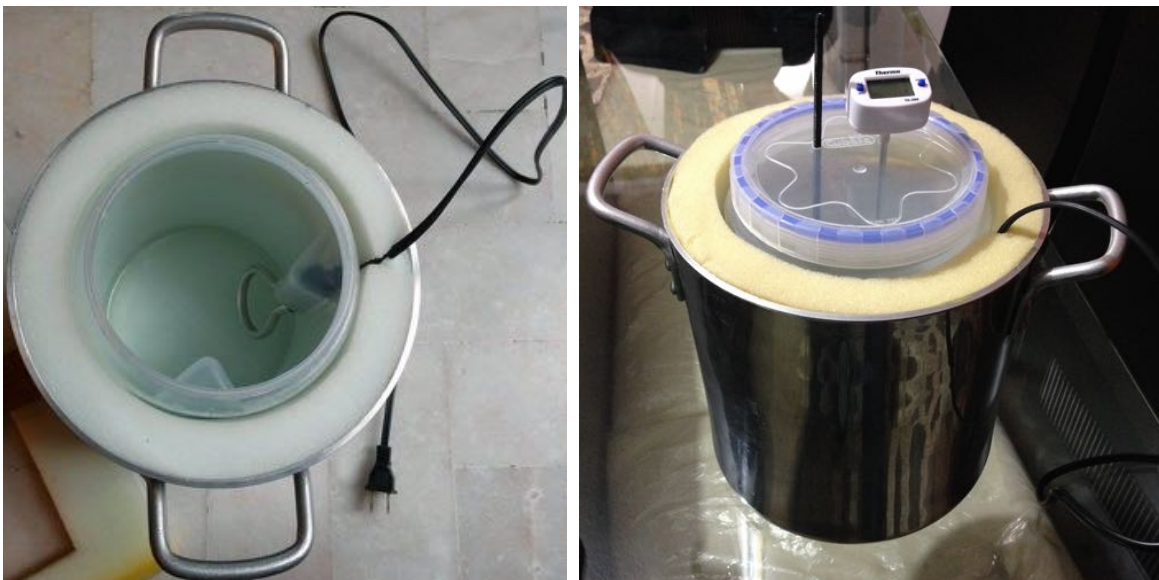
*Figura 5.9. Tapa con termómetro y agitador.*

10.- Se coloca la tapa con los accesorios en el recipiente. Figura 5.10.



*Figura 5.10. Recipiente.*

11.- Se introdujo el recipiente principal en el contenedor, para así tener completo el calorímetro, figura 5.11.



*Figura 5.11. Calorímetro.*

## CAPITULO 6.

### MASA EQUIVALENTE EN AGUA DEL CALORÍMETRO.

El producto de la masa del calorímetro por su calor específico, es su capacidad calorífica, que se denomina  $K$ . Como el calor específico del agua es  $1\text{cal/g } ^\circ\text{C}$ , esto equivale a considerar una masa de  $K$  gramos de agua, que absorbería (o cedería) la misma cantidad de calor que el calorímetro, para la misma variación de temperatura. Por eso a  $K$  se le llama equivalente en agua del calorímetro. El valor de  $K$  se refiere tanto al recipiente como a sus accesorios; el termómetro y el agitador. Si dentro del calorímetro se tiene una masa de agua  $M_1$  a la temperatura  $T_1$ , y se mezcla con otra masa de agua  $M_2$  a la temperatura  $T_2$ , una vez alcanzado el equilibrio térmico, el conjunto se encontrará a la temperatura de equilibrio  $T$ . Si  $K$  es el equivalente en agua del calorímetro y  $T_2 < T < T_1$ , el balance energético es:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{absorbido}} \dots\dots (6.1)$$

De dicha ecuación se obtiene:

$$(M_1C + K)(T_1 - T) = M_2C(T - T_2) \dots\dots (6.2)$$

De donde:

$$K = M_2C \frac{(t - T_2)}{(T_1 - t)} - M_1C \dots\dots (6.3)$$

Siendo  $c$  el calor específico del agua;  $c = 1\text{cal/g } ^\circ\text{C}$ . Considerando que está determinado con un error absoluto de  $\pm 0,1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ .

#### 6.1. Método Operativo.

- 1) Se limpió el calorímetro por la parte interior y exterior.
- 2) Se pesó el calorímetro vacío con todos los accesorios. Obteniendo una masa, la cual fue registrada como  $M_0$ .

- 3) Se vertió agua en un vaso de cristal y se enfrió con hielos.
- 4) Se calentó agua en un vaso de precipitado, hasta llegar a una temperatura 15°C mayor que la ambiente.
- 5) Se vació el agua caliente al calorímetro y se cerró.
- 6) Se pesó el calorímetro con el agua caliente y los accesorios. La masa obtenida se registró como  $M'$ . La masa del agua caliente es:

$$M_1 = M' - M_0 \dots\dots (6.4)$$

- 7) Se agitó el agua del calorímetro y la del vaso con agua fría, hasta que observó que sus temperaturas se estabilizaron. Se anotaron estas temperaturas,  $T_1$  la del calorímetro y  $T_2$  la del vaso frío.
- 8) Se vertió rápidamente el agua fría, en el calorímetro, hasta un par de centímetros por debajo de su borde. Se cerró el calorímetro y se agitó la mezcla. Se observó el descenso de la temperatura hasta que esta alcanza un valor estacionario. Y esta temperatura final se registró como  $t$ .
- 9) Se pesó nuevamente el calorímetro completo. El valor de la masa obtenida quedó registrado como  $M''$ . La masa de agua fría es:

$$M_2 = M - M' \dots\dots (6.5)$$

- 10) Mediante la expresión anterior, se calculó  $k$ , equivalente en agua del calorímetro.
- 11) Se repitió el experimento un par de veces más y se tomó como valor, la media de los tres valores obtenidos.



Prueba 1

$$M_0 = 1.339kg$$

$$T_1 = T_{amb.} + 15^\circ\text{C} \dots\dots (6.6)$$

$$T_1 = 23.9 + 15 = 38.9^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 4^\circ\text{C}$$

$$M^I = 2.282kg$$

$$M_1 = 2.282 - 1.339 = 0.943kg$$

$$M^{II} = 3.303kg$$

$$M_2 = 3.303 - 2.282 = 1.021kg$$

$$t = 22.4^\circ\text{C}$$

$$K = 1021 \left( \frac{22.4 - 4}{38.9 - 22.4} \right) - 943$$

$$K = 195.56g$$

Prueba 2

$$M_0 = 1.395kg$$

$$T_1 = 23.6 + 15 = 38.6^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 5^\circ\text{C}$$

$$M^I = 2.302kg$$

$$M_1 = 2.302 - 1.395 = 0.907kg$$

$$M^{II} = 3.333kg$$

$$M_2 = 3.333 - 2.302 = 1.031kg$$

$$t = 22.3^\circ\text{C}$$

$$K = 1031 \left( \frac{22.3 - 5}{38.6 - 22.3} \right) - 907$$

$$K = 187.25g$$

Prueba 3.

$$\begin{aligned}M_0 &= 1.393kg \\T_1 &= 23.9 + 15 = 38.9^\circ\text{C} \\T_2 &= 5^\circ\text{C} \\M^I &= 2.343kg \\M_1 &= 2.343 - 1.393 = 0.950kg \\M^{II} &= 3.350kg \\M_2 &= 3.350 - 2.343 = 1.007kg \\t &= 22.6^\circ\text{C} \\K &= 1007 \left( \frac{22.6 - 5}{38.9 - 22.6} \right) - 950 \\K &= 137.31g\end{aligned}$$

Se observó que los cambios en la masa equivalente del calorímetro varían de acuerdo a la temperatura a la que este el agua, es por eso que en cada prueba el resultado de K fue distinto, para calcular la media de los valores obtenidos se utiliza la ecuación siguiente:

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3} \dots\dots (6.7)$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$K = \frac{195.56 + 187.25 + 137.31}{3}$$

Siendo la masa equivalente igual a:

$$K = 173.37g$$

## **CAPITULO 7.**

### **PRACTICAS DE TERMODINÁMICA.**

En este capítulo se desarrollan las prácticas del Laboratorio de Termodinámica en las cuales se puede utilizar el calorímetro diseñado y fabricado, lo cual permite comprobar el funcionamiento correcto del mismo. Las practicas propuestas son: “Ley de Joule”, “Ley Cero de la Termodinámica” y “Calor Sensible y Calor Latente”.

#### **7.1. Ley de Joule.**

##### **Objetivo.**

Revisar los conceptos de trabajo, calor, energía y primera ley de la Termodinámica.

##### **Introducción.**

El calor representa la cantidad de energía que un cuerpo transfiere a otro como consecuencia de una diferencia de temperatura. Aun cuando no sea posible determinar el contenido total de energía calorífica de un cuerpo, puede medirse la cantidad que se toma o se cede al ponerlo en contacto con otro a diferente temperatura.

Un sistema termodinámico posee una cierta energía que llamamos energía interna (U), debida a la propia constitución de la materia. Por lo tanto, la energía total de un sistema es la suma de su energía interna, su energía potencial, su energía cinética, y la debida al hecho de encontrarse sometido a la acción de cualquier campo.

Si se hace variar la energía interna del sistema, la primera ley de la termodinámica dice, que esta variación viene acompañada por la misma variación de energía, pero de signo contrario en los alrededores. De modo que la energía total del sistema más el entorno, permanece constante.

Joule demostró que no sólo la energía térmica permite elevar la temperatura, sino cualquier otra forma de energía suministrada a un sistema puede realizar el mismo efecto.

En esta práctica se mide el equivalente eléctrico, transformando la energía eléctrica en térmica.

Si se introduce una resistencia eléctrica en un recipiente con una cierta cantidad de agua, se sabe que la potencia consumida por la resistencia es:

$$Pot = V.I \dots\dots (7.1)$$

De acuerdo a la Ley de Ohm:

$$V = IR \Rightarrow I = \frac{V}{R} \dots\dots (7.2)$$

Por lo tanto:

$$Pot = \frac{V^2}{R} \dots\dots (7.3)$$

La energía eléctrica  $W$  suministrada al calorímetro al cabo de un tiempo  $t$ , es:

$$W = \frac{V^2}{R} t \quad [\text{Joules}] \dots\dots (7.4)$$

Donde:

$V$ = Voltaje de línea,

$R$ = resistencia del calorímetro en ohms,

$t$ = tiempo en segundos.

Esta energía se transforma en calor.

Por otro lado, si la temperatura inicial es  $T_1$  y la final  $T_2$ , entonces:

$$Q = c(m + k)(T_2 - T_1) \quad [\text{cal}] \dots\dots (7.5)$$

Donde:

$Q$ = Energía térmica suministrada al agua.

$c$ = Calor específico del agua (1 cal/g K).

$m$ =Masa en gramos del agua.

$k$ = Masa equivalente del agua.

De ese modo el equivalente,  $J_E$ , del calor, es:

$$J_E = \frac{W}{Q} \dots\dots (7.6)$$

**Material y equipo:**

- Calorímetro.
- Termómetro.
- Vaso de precipitados.
- Multímetro.
- Cronometro.

**Procedimiento.**

1. Con el multímetro se mide la resistencia del elemento calefactor del calorímetro y se registra el valor en ohms ( $\Omega$ ).
2. Se mide el voltaje de línea con ayuda del multímetro y se registra su valor en volts (V).
3. Se agregan 1.6 litros de agua al calorímetro, se mide su temperatura y se registra como  $T_1$ .
4. Se calienta el agua durante 5 minutos y se vuelve a medir su temperatura, esta queda registrada como  $T_2$ .
5. Se hace el cálculo para determinar la energía suministrada al calorímetro aplicando la ecuación 7.4.

$$W = \frac{V^2}{R} t$$

6. Se calcula la energía térmica suministrada al agua, partiendo de la ecuación 7.5.

$$Q = c(m + k)(T_2 - T_1) \quad [\text{cal}]$$

7. Se calcula el equivalente de calor ( $J_E$ ), utilizando la ecuación 7.6.

$$J_E = \frac{W}{Q}$$

### **Cuestionario.**

- 1.- Defina los conceptos de calor y trabajo.
- 2.- ¿Qué es una función de trayectoria y una propiedad de estado? Dé un ejemplo de cada una.
- 3.- ¿Qué es un proceso reversible y que un proceso irreversible?
- 4.- ¿Cómo definiría UD. la eficiencia de un proceso y por qué?
- 5.- ¿Bajo qué condiciones el calor puede ser positivo o negativo para un sistema?
- 6.- ¿Qué dice de manera general la Primera Ley de la Termodinámica?
- 7.- ¿A qué se debe que un trabajo pueda ser de expansión o de compresión para una misma cantidad de gas y una temperatura constante?
- 8.- ¿El valor calculado coincide con el encontrado en la bibliografía?
- 9.- Por una secadora de pelo circula una corriente de 10 A y tiene una bobina calefactora con una resistencia igual a  $22 \Omega$ . Calcule el calor disipado en 2 minutos. Si el costo de la energía es de \$2.00 el kW-h ¿Cuánto cuesta la electricidad que usó en esta aplicación?

## 7.2. Ley Cero de la Termodinámica.

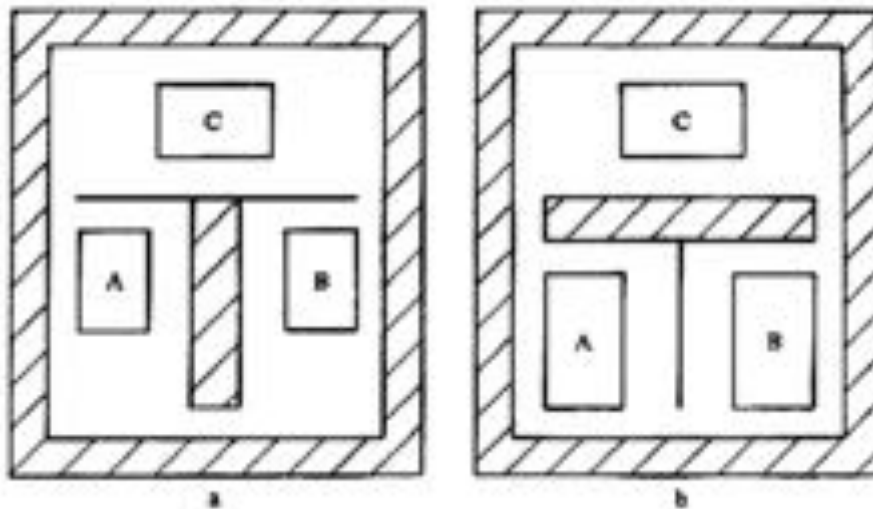
### Objetivo.

- Revisar conceptos de Entalpía y calor específico  $C_p$ .
- Determinar entalpía de fusión.
- Establecer la Ley Cero de la Termodinámica.

### Introducción.

La Ley cero de la termodinámica dice que si se tienen dos cuerpos llamados A y B, con diferente temperatura uno de otro, y los ponemos en contacto, en un tiempo determinado  $t$ , estos alcanzarán la misma temperatura, es decir, tendrán ambos la misma temperatura. Si luego un tercer cuerpo, que llamaremos C se pone en contacto con A y B, también alcanzará la misma temperatura y, por lo tanto, A, B y C tendrán la misma temperatura mientras estén en contacto.

De este principio se puede inducir el de temperatura, la cual es una condición que cada cuerpo tiene y que el hombre ha aprendido a medir mediante sistemas arbitrarios y escalas de referencia (escalas termométricas).



*Figura 7.1. Ley cero de la Termodinámica.*

Se define calor específico  $c$  como la cantidad de calor que hay que proporcionar a un gramo de sustancia para que eleve su temperatura en un grado centígrado. En el caso particular del agua  $c$  vale  $1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$  ó  $4186 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{K})$ .

En calorimetría se utiliza el calorímetro para aislar los materiales que serán puestos en contacto térmico y al medir masas y cambios de temperatura se puede determinar el calor específico de un material. Partiendo de un análisis de las transferencias de energía en forma de calor que se presentan dentro del calorímetro, se puede determinar el calor específico. Por ejemplo si en este proceso están involucrados dos materiales a y b, y si la energía en forma de calor que transfiere a es completamente absorbida por b, entonces:

$$\text{Energía cedida por a} = \text{Energía absorbida por b} \quad \dots(7.7)$$

Relación que se puede expresar como:

$$Q_{\text{agua}} = Q_{\text{metal}} \quad \dots\dots (7.8)$$

Por lo tanto:

$$(m_{\text{agua}} + k)(c_{\text{agua}})(T_{\text{final}} - T_{\text{equilibrio}}) = m_{\text{metal}} c_{\text{metal}}(T_{\text{equilibrio}} - T_{\text{inicial}}) \quad \dots\dots (7.9)$$

Despejando el calor específico del metal se obtiene:

$$c_{\text{metal}} = \frac{(m_{\text{agua}} + k)(c_{\text{agua}})(T_{\text{final}} - T_{\text{equilibrio}})}{m_{\text{metal}}(T_{\text{equilibrio}} - T_{\text{inicial}})} \quad \dots\dots (7.10)$$

Donde:

$m_{\text{agua}}$  = masa del agua [g].

$m_{\text{metal}}$  = masa del metal [g].

$T_{\text{final}}$  = temperatura a la que se calienta el agua [°C].

$T_{\text{inicial}}$  = temperatura del metal (ambiente) [°C].

$T_{\text{equilibrio}}$  = Temperatura que alcanza el agua después de introducir el metal [°C].

$K$  = masa equivalente del calorímetro [g].



### **Material y equipo.**

- Calorímetro.
- Termómetro de mercurio.
- Vaso de precipitados.
- Pieza de acero.
- Pieza de aluminio.
- Pieza de bronce.
- Pieza de metal babbit.

### **Procedimiento.**

1. Se agregan 1.6 litros de agua en el calorímetro y se calientan a 75 °C, dicha temperatura se registra como  $T_{final}$ .
2. Se pesa el material que se va a utilizar y se registra el valor en gramos (g).
3. Se mide la temperatura ambiente y se toma esta como temperatura del metal la cual quedar registrada como  $T_{inicial}$ .
4. Una vez caliente el agua, se mete la probeta y se toma la temperatura de equilibrio.
5. Con ayuda de la ec. (7.10), se hace el cálculo para determinar el calor específico del material.
6. Se repiten los pasos anteriores con cada uno de los materiales a utilizar.

### **Cuestionario.**

- 1.- ¿Qué es la entalpía y por qué se dice que es una función de estado?
- 2.- Calcule el calor específico de cada uno de los metales.
- 3.- Compare el valor obtenido con el que aparece en la bibliografía especializada.
- 4.- ¿Por qué no cambia la temperatura durante un cambio de estado? Explique brevemente.
- 5.- ¿En qué consiste la Ley Cero de la Termodinámica y por qué cree que es útil?

### 7.3. Calor Sensible y Calor Latente.

#### Objetivo.

Determinar el calor sensible y el calor latente del agua.

#### Introducción.

El calor latente  $Q_L$  es el necesario aportar para que una masa  $m$  de cierta sustancia cambie de fase y es igual a:

$$Q_L = mL \dots\dots (7.11)$$

Donde  $L$  es el calor latente de la sustancia y depende del tipo de cambio de fase. Despejando a  $L$  se obtiene:

$$L = Q_L/m \dots\dots (7.12)$$

Sabiendo que:

$$W = Q_L = \frac{V^2}{R} t \dots\dots (7.13)$$

Sustituyendo; se obtiene

$$L = \frac{V^2}{R.m} t \dots\dots (7.14)$$

Calor sensible,  $Q_s$ , es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. Si el proceso se efectúa a presión constante:

$$Q_s = m.C(T_2 - T_1) \dots\dots (7.15)$$

Donde  $m$  es la masa del agua en gramos.

Despejando a  $C$

$$C = \frac{Q_s}{m(T_2 - T_1)} \dots\dots (7.16)$$

Sabiendo que:

$$W = Q_s = \frac{V^2}{R} t \dots\dots (7.17)$$

Sustituyendo se obtiene:

$$C = \frac{V^2}{R.m (T_2 - T_1)} t \dots\dots (7.18)$$

**Material y equipo.**

- Calorímetro.
- Termómetro de mercurio.
- Vaso de precipitados.
- Multímetro.
- Cronometro.

**Procedimiento.**

Se determina experimentalmente el Calor sensible del agua:

1. Con el multímetro se mide el voltaje de línea y se registra su valor en volts (V).
  
2. Se mide también el valor de la resistencia del elemento calefactor del calorímetro y se registra su valor en ohms ( $\Omega$ ).
  
3. Se agrega 1.0 litro de agua (1000 g) al recipiente del calorímetro.
  
4. Se conecta el calorímetro a la red eléctrica.
  
5. Se calienta hasta que ocurra un cambio de fase (empiece a hervir el agua) y con ayuda del cronometro se toma el tiempo que tardó en hacerlo.
  
6. Utilizando la ec. (7.15) se calcula el valor del calor sensible del agua y con la ec. (7.18) se determina el calor específico de dicha sustancia.

Y el calor latente del agua se obtiene así:

1. A partir del momento en que empezó a hervir el agua (cambia de estado) se contabilizan 6 minutos (360 s).
2. Se desconecta el calorímetro.
3. **Con mucho cuidado** vierta el agua restante en el calorímetro al vaso de precipitados y determine la cantidad de agua que se evaporó.
4. Se sustituyen los valores en la ec. (7.14) y se calcula el calor latente.

#### **Cuestionario.**

- 1.- ¿Qué es el calor latente y cuál el calor sensible?
- 2.- ¿Cómo determinaría cada uno de ellos?
- 3.- ¿Qué es la capacidad calorífica, calor específico a presión constante y en qué unidades se mide?
- 4.- Mencione tres calores latentes.
- 5.- Calcule el calor sensible del agua
- 6.- Calcule el calor latente
- 7.- Compare el valor obtenido del calor latente con el que aparece en la tabla
- 8.- Calcule el calor específico del agua (C) en cal y en Joules.

## CONCLUSIONES.

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- Después de una investigación detallada sobre transferencia de calor y tecnología de materiales, fue posible seleccionar los materiales adecuados para la construcción del calorímetro, tales como aluminio, polipropileno y poliuretano.
- El uso de partes disponibles comercialmente facilitó en gran medida el diseño y fabricación del calorímetro.
- El empleo del programa Solidworks hizo más sencillo el diseño del calorímetro, así mismo, fue más fácil llevar a cabo los cambios necesarios en el proceso de diseño.
- La obtención de la masa equivalente del calorímetro permite la obtención de resultados más reales durante la realización de las prácticas.
- Con el desarrollo de las prácticas del laboratorio de Termodinámica que se pueden llevar a cabo con el calorímetro, se comprobó el funcionamiento correcto del calorímetro.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Procesos de Transferencia de Calor

Donald Q. Kern

Editorial Continental S.A de C.V. México. 1984

2. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales

Donald R. Askeland

Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1998

3. Transferencia de Calor y Masa

Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar.

McGraw-Hill. México. 2011 4ª Edición

4. Transferencia de Calor

J. P. Holman.

McGraw -Hill. España. 1998.

5. Ingeniería Termodinámica, Fundamentos y Aplicaciones.

Huang Francis F.

5ª Reimpresión. C.E.C.S.A. México. 2003.

6. Termodinámica.

Wark Kenneth Jr. Richard Donalds E.

McGraw-Hill Interamericana. España. 2001 6ª Edición.

7. Ingeniería Termodinámica

William C. Reynolds.

McGraw-Hill. México. 1980.

8. Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros

James F. Shackelford.

Pearson. Estados Unidos. 2010 7ª Edición.

9. Transferencia de Calor Técnica.

B. Sigalés.

Editorial Reverte, S. A. España. 2003. Vol. 1

10. Ciencia de Materiales, Selección y Diseño.

Pat L. Mangonon, Ph. D., P. E., FASM.

Pearson Education. Estados Unidos. 2001. 1ª Edición.

11. Ingeniería Termodinámica.

R. K. Rajput.

Cengage Learning. México. 2011. 3ª Edición.

12. <http://www.ual.es/~mnavarro/Practica14.pdf>