

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION DE CALIDAD COMERCIAL  
PARA TEMPLAR ACEROS DE MEDIO CARBONO Y BAJAMENTE ALEADOS,  
QUE UTILIZA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO AGUA.**

DANIEL OLIVA DIAZ

EDGARDO L. FERNANDEZ TAPIA

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2004**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION DE CALIDAD COMERCIAL  
PARA TEMPLAR ACEROS DE MEDIO CARBONO Y BAJAMENTE ALEADOS,  
QUE UTILIZA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO AGUA.**

DANIEL OLIVA DIAZ

EDGARDO L. FERNANDEZ TAPIA

Trabajo de investigación sobre tratamientos térmicos de aceros de medio carbono y bajamente aleados, presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Asesor

JUAN FAJARDO CUADROS

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**2004**

## **AUTORIZACION**

Cartagena de Indias, D.T.C.H.,

Yo Daniel Oliva Díaz, identificado con numero de cedula de ciudadanía 9'068.950 expedida en Cartagena Bol., autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de investigación y publicarlo en el catalogo online de la biblioteca.

**DANIEL OLIVA DIAZ**

## **AUTORIZACION**

Cartagena de Indias, D.T.C.H.,

Yo Edgardo Luis Fernández Tapia, identificado con numero de cedula de ciudadanía 77'195.248 expedida en Valledupar Cesar., autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de investigación y publicarlo en el catalogo online de la biblioteca.

**EDGARDO LUIS FERNANDEZ TAPIA**

Cartagena de Indias D.C. y T., Mayo 28 de 2004

Señores:

**U.T.B.**

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Respetados señores:

Comedidamente me permito presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación la monografía **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION DE CALIDAD COMERCIAL PARA TEMPLAR ACEROS DE MEDIO CARBONO Y BAJAMENTE ALEADOS, QUE UTILIZA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO AGUA,”** realizada por los estudiantes, Daniel Oliva Díaz y Edgardo Luis Fernández Tapia como requisito para optar al título de Ingenieros Mecánicos.

Atentamente,

---

JUAN FAJARDO CUADROS

Asesor del proyecto

Cartagena de Indias D.C. y T., Mayo 28 de 2004

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACION**

Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
Ciudad

Estimados Señores:

De la manera más cordial, nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación de trabajo de investigación “ **DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION DE CALIDAD COMERCIAL PARA TEMPLAR ACEROS DE MEDIO CARBONO Y BAJAMENTE ALEADOS, QUE UTILIZA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO AGUA**”, trabajo de investigación presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Esperamos que el proyecto sea de su total agrado y llene las expectativas del lector que la frecuente.

Cordialmente,

---

DANIEL OLIVA DIAZ

---

EDGARDO L. FERNANDEZ T.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Cartagena de indias, 28 de Mayo de 2004

## RESUMEN

Con la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los aceros de medio carbono y bajamente aliados se realiza un temple, el cual debe llevarse a cabo bajo ciertas condiciones, como es el medio enfriante, el gradiente de temperatura y la velocidad de enfriamiento para producir el cambio de estructura deseado; la forma de conseguir tal fin es el diseño un sistema hidráulico-refrigerado que permitirá controlar las variables en mención.

En el proceso de diseño del sistema, se aplicaron la bases teóricas de soporte para los cálculos pertinentes en la ejecución del proyecto, como también la selección de los equipos del mismo. Se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos durante el pregrado en el área de las térmicas, específicamente las termodinámicas, refrigeración y transferencia de calor, y mecánica de los fluidos; además, como soporte para el diseño mencionado se utilizó la información suministrada en el minor en Diseño Mecánico, en especial los softwares de Solid Edge, ANSYS e Hidráulica.

El diseño del sistema hidráulico permite la recirculación del agua logrando una convección forzada, que incrementa la transferencia de calor del material hacia el medio convectivo, contribuyendo en gran medida a la consecución del objetivo principal del sistema, que es retirar en el menor tiempo posible el calor del elemento.

Con la finalidad de aumentar el rango de aplicabilidad del sistema, se seleccionaron componentes que permiten modificar las variables de funcionamiento utilizando un compresor multietapa (sistema de refrigeración) y un caudalímetro (sistema hidráulico), que en conjunto aumentan o disminuyen la capacidad de refrigeración y el caudal: esto hace posible templar piezas con menor o mayor masa, partiendo de los treinta kilogramos de acero de medio carbono y baja aleación.



## CONTENIDO

### INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### 1. CONCEPTO BASICOS DE REFRIGERACION

##### 1.1 INTRODUCCION

##### 1.2 DEFINICIONES

##### 1.2.1 Refrigeración

##### 1.2.2 Refrigeración Mecánica

##### 1.2.3 Frío

##### 1.2.4 Calor

##### 1.2.5 Ashrae

##### 1.2.6 Acca

##### 1.2.7 Retrofit

##### 1.2.8 Termodinámica

##### 1.2.9 Calor Sensible y Latente

##### 1.3 REFRIGERANTE

##### 1.3.1 Antecedentes Históricos

##### 1.3.2 Propiedades

##### 1.3.2.1 Eficiencia

##### 1.3.3 Efecto de la Humedad

##### 1.3.4 Inflamabilidad y Explosibilidad

##### 1.3.5 Toxicidad

##### 1.3.5.1 Refrigerantes del Grupo 1

##### 1.3.5.2 Refrigerantes del Grupo 2

##### 1.3.5.3 Refrigerantes del Grupo 3

1.3.6 Medio Ambiente

1.3.6.1 Que refrigerantes sustituyen a los CFC's?

1.3.7 Los Hidroclorofluorocarburo

1.3.8 Los Hidrofluorocarburos

1.3.9 Conversión Retrofit

## **CAPITULO II**

### **2. TRATAMIENTOS TERMICOS, PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y CALCULOS DEL SISTEMA**

#### **2.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

2.1.1 Introducción

2.1.2 Microestructuras de los Aceros

2.1.2.1 Ferrita

2.1.2.2 Cementita

2.1.2.3 Perlita

2.1.2.4 Austenita

2.1.2.5 Martensita

2.1.2.6 Troostita

2.1.2.7 Sorbita

2.1.2.8 Bainita

2.1.3 Aceros al Carbono

2.1.4 Tratamientos Térmicos

2.1.4.1 Endurecimiento del Acero

2.1.4.2 Temple (Revenido)

2.1.4.3 Recocido

2.1.4.4 Cementado

2.1.4.4.1 Carburización por Empaquetado

2.1.4.4.2 Carburización en Baño Líquido

2.1.4.4.3 Carburización con Gas

- 2.1.4.5 Carburado, Cianurazo y Nitrurado
- 2.2 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO
  - 2.2.1 Diagrama TI y las Curvas de Enfriamiento
    - 2.2.1.1 Procesos de Endurecimiento
    - 2.2.1.2 Diagrama de Transformación Isotérmica (TI) o de Tiempo-Temperatura-Transformación (TTT)
    - 2.2.1.3 Productos de Transformación
    - 2.2.1.4 Curvas de Enfriamiento
    - 2.2.1.5 Tasa de Enfriamiento Crítica
  - 2.2.2 Factor de Enfriamiento o Temple
- 2.3 CALCULOS DEL SISTEMA
  - 2.3.1 Carga Térmica
  - 2.3.2 Cargas Térmica en Paredes
  - 2.3.3 Sistema Hidráulico
    - 2.3.3.1 Perdidas Menores
    - 2.3.3.2 Potencia de la Bomba
    - 2.3.3.3 Velocidad en la Flauta
      - 2.3.3.3.1 Tiempo de cambio total del agua
      - 2.3.3.3.2 Software de Hidráulica de Tubería

### **CAPITULO III**

- 3. **CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO.**
  - 3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE REFRIGERACION
    - 3.1.1 Componentes
    - 3.1.2 Dimensiones
    - 3.1.3 Características técnicas
    - 3.1.4 Capacidades y consumo de energía
    - 3.1.5 Selección del tamaño del equipo

## **CAPITULO IV.**

### **4. ANALISIS DE ESTRUCTURA (ANSYS).**

#### **4.1 FUERZA HIDROSTATICA SOBRE LAS PAREDES DEL RECIPIENTE.**

4.1.1 Calculo de la presión en las paredes del recipiente

#### **4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL RECIPIENTE MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS 5.5**

4.2.1 Enmallado

4.2.2 Aplicación de cargas

4.2.3 Solución

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Temperaturas para Templar Acero Endurecido.

**Tabla 2.** Acero para Temple y Revenido.

**Tabla 3.** Capacidades y consumo de energía.

**Tabla 4.** Datos para el cálculo del centro de gravedad.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Diagrama Fe-C.
- Figura 2.** Microestructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita.
- Figura 3.** Microestructura del acero 1%, red blanca de cementita.
- Figura 4.** Microestructura del acero al carbono, cristales oscuros de perlita.
- Figura 5.** Microestructura de la austenita.
- Figura 6.** Microestructura de la sartenita.
- Figura 7.** Forma, tamaño y distribución de los cristales o granos en la microestructura del acero para comparación a 100x.
- Figura 8.** Temperaturas para endurecidos de metales.
- Figura 9.** Diagrama que muestra las temperaturas de temple (rango de autenización).
- Figura 10.** Método para graficar un diagrama TTT.
- Figura 11.** El diagrama TTT de un acero con 0.89% de C.
- Figura 12.** La temperatura  $M_s$ .
- Figura 13.** Diagrama TTT del acero SAE 1095.
- Figura 14.** La curva de enfriamiento para temple en salmuera del acero al carbono SAE 1008.
- Figura 15.** La curva de enfriamiento para el temple en salmuera del acero Mn modificado 1034.
- Figura 16.** La curva de enfriamiento de un acero SAE 4140.
- Figura 17.** Las curvas de enfriamiento interno y externo de la misma parte.
- Figura 18.** Diseño de un dado de conformado agrietado.
- Figura 19.** Diagrama del factor de enfriamiento o temple.
- Figura 20.** Diagrama del factor de enfriamiento o temple.
- Figura 21.** Diagrama de refrigeración e hidráulico.
- Figura 22.** Recipiente de agua.

**Figura 23.** Diagrama de flujo de calor a través de las paredes y tapa superior.

**Figura 24.** Diagrama hidráulico.

**Figura 25.** Circuito hidráulico.

**Figura 26.** Diagrama perimetral de la flauta.

**Figura 27.** Análisis de la geometría del recipiente.

**Figura 28.** Cuadro comparativo de variables.

**Figura 29.** Logotipo del software de hidráulica de tuberías.

**Figura 30.** Datos de altas pérdidas menores. Diseño de tuberías simples.

**Figura 31.** Resultados de altas pérdidas menores. Diseño de tuberías simples.

**Figura 32.** Datos potencia de tuberías simples.

**Figura 33.** Resultados de potencia de tuberías simples.

**Figura 34.** Enfriador de agua E15AE.

**Figura 35.** Cotas del equipo.

**Figura 36.** Dimensiones del equipo.

**Figura 37.** Características Técnicas.

**Figura 38.** Fuerzas en las paredes del recipiente

**Figura 39.** Centroides de figuras básicas en hidráulicas

**Figura 40.** Geometría de la pared del recipiente

**Figura 41.** Triángulo representativo

**Figura 42.** Elemento importado de Solid Edge.

**Figura 43.** Enmallado de la geometría.

**Figura 44.** Aplicación de presión en las paredes.

**Figura 45.** Esfuerzos Principales en el eje X.

**Figura 46.** Esfuerzos Principales en el eje Y.

**Figura 47.** Esfuerzos principales en el eje Z.

## INTRODUCCION

Desde la revolución industrial, el hombre ha procurado obtener el mayor provecho de los materiales, en especial del acero; modificando sus propiedades físicas por medio de procesos como el temple, que consiste en elevar la temperatura del material y luego disminuirla rápidamente. Es muy difícil concebir un escenario de la vida urbana o rural donde no haya al menos un objeto de acero. Hay piezas de acero en nuestra ropa, en nuestras casas, en las calles y en el campo y no son pocas. Si alguien pidiera hacer un libro sobre los metales, donde el número de páginas asignado a cada aleación fuera proporcional al volumen total producido, más del 95% tendría que referirse a los aceros. Aun si se incluyera al resto de los materiales que empleamos, como los cerámicos, los polímeros, las maderas, etc., la presencia del acero tendría que ser grande.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, no cuenta con un Sistema de enfriamiento para temple de materiales para Tratamientos Térmicos, con el fin de hacer el proceso continuo, en el sentido que introducida la pieza en el elemento de Transmisión de Calor, el  $\Delta$  de temperatura esté en un rango óptimo, lo cual no ocurre con el sistema existente; con esta situación el proceso para futuros trabajos de la Universidad y proyección hacia las Empresas, se hará lento e ineficiente debido a que no se alcanza los niveles de producción para ser competitiva. Actualmente este proceso se realiza con muy baja eficiencia, puesto que el fluido (agua) utilizado para disminuir la temperatura de las piezas es generalmente desechada. Para optimizar el proceso y cumplir con normas ambientales, se hace necesario que el agua sea reutilizada; es decir, que recobre su temperatura inicial y se haga circular de nuevo por la zona de alta temperatura, en el menor tiempo posible.



Al comenzar esta investigación, se pretende dar una visión general sobre el temple de aceros de medio carbono y bajamente aleados, partiendo de la práctica del mismo en agua, analizando el sistema con que cuenta la Universidad Tecnología para esta actividad, apreciando el proceso y así tener una concepción clara de la proyección del trabajo; para ello se ha programado una serie de actividades sobre la conceptualización del proceso de temple del acero, refrigeración mecánica y los elementos constitutivos del sistema. En segunda instancia se hallarán las bases teóricas de soporte para los cálculos pertinentes en la ejecución del proyecto, como también la selección de los equipos del mismo. La expectativa del trabajo no es solo la Monografía, sino investigar profundamente y optimizar el proceso para hacerlo confiable en un alto porcentaje, es decir, patentarlo.

# **CAPITULO I**

## **1. CONCEPTO BASICOS DE REFRIGERACION**

### **1.1 INTRODUCCION**

En el transcurso de unas pocas décadas, la refrigeración ha tenido un crecimiento asombroso y actualmente se ha extendido con rapidez a la industria. Este crecimiento explosivo es el resultado de varios factores. Con el desarrollo de métodos de fabricación muy precisos, ha hecho posible la fabricación de equipos pequeños y eficientes. Esto, unido al desarrollo de refrigerantes “seguros” y a la invención de motores eléctricos de potencia fraccional, ha hecho posible la fabricación de pequeñas unidades de refrigeración muy usadas en la actualidad en aplicaciones tales como refrigeradores y congeladores domésticos, acondicionadores de aire pequeños e instalaciones comerciales. Actualmente, en los Estados Unidos, países Industrializados y del tercer mundo, solo pocos hogares y establecimientos comerciales no pueden ufanarse de tener una o más unidades-de refrigeración mecánica de cierta especie.

Desde mediados de la década del 80, los sistemas de refrigeración comerciales han pasado por un proceso de transición, desde usar compuestos refrigerantes que reducen el ozono, incluyendo los clorofluorocarburos (CFC), a compuestos de baja o ninguna reducción de ozono, tal como los hidroc fluorocarburos (HCFC) y los hidrofluorocarburos (HFC). El amoníaco, los hidrocarburos y el dióxido de carbono se usan en menor medida. Varios de estos compuestos, aunque no reducen el ozono, tienen potencial de calentamiento global (GWP).

La lista de procesos o productos que es posible hacer o perfeccionar mediante el empleo de la refrigeración mecánica, es casi infinita y de muchos otros nuevos

productos útiles, entre ellos, se tienen mejoras en los métodos para tratamiento térmico de aceros usados en las máquinas herramientas, **lo cual es el objetivo de esta Monografía.** Esto representa sólo unos pocos de los cientos de formas en los cuales la refrigeración mecánica está utilizándose en la actualidad y cada año se encuentran muchas aplicaciones más.

## **1.2 DEFINICIONES**

### **1.2.1 REFRIGERACION**

Refrigeración o enfriamiento, es la remoción de calor no deseado desde espacios u objetos seleccionados y su transferencia a otros espacios u objetos. La remoción del calor baja la temperatura y puede ser llevada a cabo mediante el uso de nieve, hielo, agua fría o refrigeración mecánica

### **1.2.2 REFRIGERACION MECANICA**

Utilización de componentes mecánicos arreglados en un “Sistema de refrigeración”, con el propósito de transferir calor

### **1.2.3 FRIO**

Término relativo que se refiere a la carencia de calor en un objeto o espacio, algunas definiciones lo describen como ausencia de calor, pero no hay nada conocido en el mundo hoy día del cual el calor esté totalmente ausente (Ningún proceso ha sido capaz de alcanzar el estado “Cero absoluto” en el cual todo calor ha sido removido de un espacio u objeto) Teóricamente este punto cero sería:

**459.69 °F ó 273.16 °C**

#### **1.2.4 CALOR**

El calor es una forma de energía, creada principalmente por la transformación de otros tipos de energía en energía de calor; por ejemplo, la energía mecánica que opera una rueda causa fricción y crea calor. Calor es frecuentemente definido como energía en tránsito, porque nunca se mantiene estática, ya que siempre está transmitiéndose de los cuerpos cálidos a los cuerpos fríos.

#### **1.2.5 ASHRAE**

Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración, ASHRAE, es una organización internacional con más de 50,000 personas en capítulos por todas partes del mundo. Se organiza la Sociedad con el propósito de buscar avances en las ciencias y artes de la calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración, para el beneficio del público a través de la investigación, escritura de las normas, educación continua y publicaciones

#### **1.2.6 ACCA**

La ACCA representa a contratistas para aire acondicionado en Norte América, una asociación del comercio de los EE.UU. que interviene en el área de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración.

#### **1.2.7 RETROFIT**

Tecnología de adecuación de un equipo de refrigeración, originalmente diseñado, para utilización de un CFC, por un gas alternativo con pequeños cambios para que el equipo pueda funcionar durante al resto de su vida útil.

Pasos para hacer Retrofit:

1. Datos básicos de operación del sistema, operado con CFC.
2. Remover el CFC del sistema.
3. Drenar el aceite mineral del sistema.
4. Añadir el nuevo lubricante, alquilbenceno para RMP39-MP66-HP80-HP81
5. Reemplazar el filtro deshidratador por uno adecuado.
6. Hacer vacío profundo en el sistema.
7. Cargar el sistema con el nuevo R.
8. Arrancar el sistema y optimizar la carga.

### **1.2.8 TERMODINAMICA**

La Termodinámica es una rama de la ciencia que trata sobre la acción mecánica del calor. Hay ciertos principios fundamentales de la naturaleza, llamados Leyes Termodinámicas, que rigen nuestra existencia aquí en la tierra, varios de los cuales son básicos para el estudio de la refrigeración. La primera y la más importante de estas leyes dice: *La energía no puede ser creada ni destruida, sólo puede transformarse de un tipo de energía en otro.*

### **1.2.9 CALOR SENSIBLE Y LATENTE**

Cuando aplicamos calor a una sustancia y esta responde aumentando la temperatura estamos aplicando *calor sensible*. Cuando aplicamos calor a una sustancia y esta no aumenta la temperatura pero si cambia de estado estamos aplicando *calor latente*. Pero para cambiar de estado un fluido evaporándolo se necesita muchísimo calor, este calor se llama *calor latente de evaporación*.

## 1.3 REFRIGERANTES

### 1.3.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

En años anteriores cuando los refrigerantes mecánicos estaban limitados a unas pocas aplicaciones de gran tamaño, los únicos refrigerantes prácticamente disponibles eran el amoníaco y el dióxido de carbono. Después con el desarrollo de unidades automáticas pequeñas para uso comercial y doméstico, se empezaron a usar refrigerantes tales como el dióxido de azufre y el cloruro de metilo el cual fue desarrollado para usarse con compresores centrífugos

**DUPONT** ha sido el líder en gases refrigerantes por más de 60 años. A mediados de los años 30 DuPont sacó al mercado sus gases refrigerantes marca **Freon** convirtiéndose así en el promotor directo del crecimiento de la industria del aire acondicionado y la refrigeración. Las propiedades de estos gases permitieron almacenar y transportar productos de manera más sencilla, segura y a un costo razonable. En la década de los 80's, después de varias investigaciones realizadas en el medio ambiente, se descubrió que los **CFC's** (clorofluorocarbonos) emitidos a la atmósfera, estaban relacionados con la destrucción de la capa estratosférica de ozono y que era necesario sustituirlos gradualmente en múltiples aplicaciones incluyendo la refrigeración. Por esta razón, en 1987 se firma el **Protocolo de Montreal** en donde se regula la Producción, Venta y Consumo de CFC's y **HCFC's** (hidroclorofluorocarbonos) a Nivel Mundial. Este documento y sus ratificaciones fueron firmadas por casi la totalidad de los países que integran la Organización de las Naciones Unidas y México, se comprometieron a eliminar los CFC's a final del año 2000.

**DuPont** como empresa líder en gases refrigerantes y reafirmando su compromiso con el medio ambiente, en 1991 fue el primero en sacar al mercado los nuevos

gases refrigerantes ambientalmente amigables marca **Suva** que pueden ser usados en equipos nuevos y existentes. Los refrigerantes marca Suva de DuPont representan la nueva alternativa que tiene la industria del aire acondicionado y la refrigeración de usar refrigerantes que son no inflamables, con cero o bajo potencial de agotamiento de la capa de ozono, clasificados por la ASHRAE y aceptados por la mayoría de los Fabricantes de Equipo Original (FEO's). Además, DuPont tiene la experiencia de haber probado estos refrigerantes en millones de equipos alrededor del mundo.

### 1.3.2 PROPIEDADES

Para tener uso apropiado como refrigerante, se busca que los fluidos cumplan con la mayoría de las siguientes características

**Baja temperatura de ebullición:** Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica. (Evaporador)

**Fácilmente manejable en estado líquido:** El punto de ebullición debe ser controlable con facilidad, de tal forma, que su capacidad de absorber calor sea controlable también.

**Alto calor latente de vaporización:** Cuanto mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.

**No inflamable, no explosivo, no tóxico.**

**Químicamente estable:** A fin de tolerar años de repetidos cambios de estado.

**No corrosivo:** Para asegurar que en la construcción del sistema, puedan usarse materiales comunes y la larga vida de todos los componentes.

**Moderadas presiones de trabajo:** las elevadas presiones de condensación (mayor a 25-28kg/cm.) requieren un equipo extrapesado. La operación en vacío (menor a 0kg/ cm.) hace que exista la posibilidad de penetración de aire en el sistema.

**Fácil detección y localización de pérdidas:** Las pérdidas producen la disminución del refrigerante y la contaminación del sistema.

**Inocuo para los aceites lubricantes:** La acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.

**Bajo punto de congelación:** La temperatura de congelación tiene que estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cuál pueda operar el evaporador.

**Alta temperatura crítica:** Un vapor que no se condense a temperatura mayor que su valor crítico, sin importar cuál elevada sea la presión. La mayoría de los refrigerantes poseen temperaturas críticas superiores a los 93 °C

**Moderado volumen específico de vapor:** Para reducir al mínimo el tamaño del compresor.

**Bajo costo:** A fin de mantener el precio del equipo dentro de lo razonable y asegurar el servicio adecuado cuando sea necesario.

### 1.3.2.1 EFICIENCIA

Las propiedades más importantes del refrigerante que influyen en su capacidad y eficiencia son:

- El calor latente de Evaporación
- La relación de compresión
- El calor específico del refrigerante tanto en estado líquido como de vapor.

Excepto para sistemas muy pequeños, es deseable tener un valor alto de calor latente para que sea mínimo el peso del refrigerante circulando por unidad de capacidad. Cuando se tiene un valor alto del calor latente y un volumen específico bajo en la condición de vapor, se tendrá un gran aumento en la capacidad y eficiencia del compresor, lo que disminuye el consumo de potencia y permite el uso de un equipo pequeño y más compacto. En los sistemas pequeños, si el valor



del calor latente del refrigerante es muy alto, la cantidad de refrigerante en circulación será insuficiente como para tener un control exacto del líquido. Es mejor tener un calor específico bajo en el líquido y un valor alto en el vapor, en tanto que ambos tiendan a aumentar el efecto refrigerante por unidad de peso, el primero se logra aumentando el efecto de subenfriamiento y el último disminuyendo el efecto de sobrecalentamiento. Cuando se cumplen estas condiciones en un fluido simple, se logrará mejorar la eficiencia del intercambiador de calor líquido-succión.

Con relaciones de compresión bajas, se tendrá un consumo menor de potencia y alta eficiencia volumétrica, siendo esto último más importante en sistemas pequeños ya que esto permitirá usar compresores pequeños.

Con un coeficiente de conductancia alto, pueden mejorarse las relaciones de transferencia de calor, sobre todo en caso de enfriamiento de líquidos y de esta forma se pueden reducir el tamaño y el costo del equipo de transferencia.

La relación presión-temperatura del refrigerante debe ser tal que la presión en el evaporador siempre esté por arriba de la atmosférica. En el caso de tener una fuga en el lado de menor presión del sistema, si la presión es menor a la atmosférica, se introducirá una considerable cantidad de aire y humedad en el sistema, mientras que si la presión vaporizante es mayor a la atmosférica, se minimiza la posibilidad de introducción de aire y humedad al sistema al tenerse una fuga.

La presión condensante debe ser razonablemente baja, ya que esto permite usar materiales de peso ligero en la construcción del equipo para condensación, reduciéndose así el tamaño y el costo.

### **1.3.3 EFECTO DE LA HUMEDAD.**

Al combinarse la humedad en diferentes grados de temperatura, la gran mayoría de los refrigerantes comúnmente usados, da lugar a la formación de compuestos altamente corrosivos (ácidos), los cuáles podrán reaccionar con el aceite lubricante y con algunos otros materiales del sistema, incluyendo a los metales, lo que provoca daños en las válvulas, sellos, chumaceras, paredes de cilindros y de otras superficies pulidas. Causa deterioro en el aceite lubricante y forma sedimentos, lo cual tiende a obstruir las válvulas y los conductos de aceite, reduce la velocidad del equipo y contribuye a la falla de las válvulas del compresor y en los motocompresores herméticos; con frecuencia causa la rotura de los aislamientos del devanado del motor: produciéndole cortocircuito en el devanado o aterrizamiento.

El nivel mínimo de humedad que produzca efectos nocivos en el sistema refrigerante no está del todo definido y varía en forma considerable de acuerdo a la naturaleza del refrigerante, la cantidad del aceite lubricante y las temperaturas de funcionamiento del sistema, sobre todo, la de descarga del compresor. La humedad de un sistema refrigerante puede existir como "agua libre" o puede estar en solución con el refrigerante. Si está como agua libre, está se congelará formándose hielo en la válvula de control del refrigerante y/o en el evaporador, en el caso de que la temperatura en el evaporador sea menor que la temperatura de congelamiento del agua. La formación de hielo en el orificio de control (válvula de expansión o tubo capilar) del refrigerante, podrá evitar el flujo de refrigerante líquido a través de dicha parte y hacer que el sistema se vuelva inoperante hasta que el hielo se derrita y pase a través del orificio de control. En tales casos por lo general la refrigeración es intermitente en la medida en que el flujo del líquido es iniciado y detenido por la fusión y congelamiento alternado del hielo en el orificio de control

Se tendrá agua libre en el sistema cuando la cantidad en el mismo exceda a la que el refrigerante puede llevar en solución, el que se tenga congelamiento será siempre una indicación de que el contenido de humedad en el sistema está por encima del nivel mínimo que produzca corrosión. La ausencia de congelamiento no puede ser considerada como una indicación de que el sistema está necesariamente debajo del nivel que cause corrosión. El congelamiento nunca ocurrirá en sistemas de aire acondicionado o algunos otros sistemas donde la temperatura en el evaporador es superior al punto de congelamiento del agua. Los sistemas de alta temperatura con frecuencia están mas expuestos a corrosión debido a la humedad, que en aquellos equipos que operan con temperaturas de evaporación mas bajas, debido a las cantidades relativamente altas de humedad que pueden llevar sin que se note y por periodos relativamente grandes. Debido a la habilidad de cada refrigerante en particular para llevar la humedad en solución disminuye al aumentar la temperatura, se deduce que el contenido de la humedad en sistemas de baja temperatura deberá ser mantenido a un nivel mas bajo para evitar la acción de los congelamientos. Por esto, la corrosión en los sistemas de baja temperatura debido a la humedad generalmente es pequeña.

Para la serie de los hidrocarburos tales como propano, butano, etano, etc., absorben muy poca o casi nada de humedad. Cualquier contenido de humedad en tales sistemas estará en el control del refrigerante, ya que esta humedad debe ser inmediatamente eliminada a fin de conservar el sistema en funcionamiento, la corrosión por humedad generalmente no constituirá problema alguno cuando se usen este tipo de refrigerantes.

El amoníaco tiene afinidad con el agua y por lo tanto es capaz de absorber humedad en cantidades grandes, de tal manera que es raro encontrar agua libre en los sistemas que usen este refrigerante. La combinación de agua y amoníaco produce agua amoniacal, que es un álcali fuerte, el cual ataca a los metales no

ferrosos, tales como cobre y latón. Los sistemas que emplean amoníaco funcionan con mucho éxito aún cuando se tengan cantidades relativamente altas de humedad en el sistema.

Los refrigerantes halocarburos se hidrolizan muy ligeramente y por lo tanto solo forman cantidades pequeñas de ácidos u otros compuestos corrosivos. Como regla general, no se tendrá corrosión en los sistemas que usan refrigerantes halo carburos cuando el contenido de humedad es mantenido abajo del nivel que causa congelamiento, en el supuesto de que los lubricantes empleados sean de alta calidad y que las temperaturas en la descarga sean relativamente bajas.

#### **1.3.4 INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD.**

Casi todos los refrigerantes de uso común no son inflamables ni explosivos.

Una notable excepción es el **amoníaco** y la serie de **hidrocarburos**. El amoníaco es ligeramente inflamable y explosivo cuando se lo mezcla en determinadas proporciones con el aire. La serie de hidrocarburos son altamente inflamables y explosivos y deben usarse como refrigerantes tan solo para algunas aplicaciones especiales. Debido a sus excelentes propiedades, la serie de hidrocarburos frecuentemente se usa para aplicaciones de temperaturas muy bajas.

#### **1.3.5 TOXICIDAD.**

Debido a que todos los fluidos no son otra cosa que aire tóxico, en el sentido que pueden causar sofocación cuando se tienen en concentraciones suficientemente altas que evitan tener el oxígeno necesario para sustentar la vida, la toxicidad es un término relativo, el cual tiene relevancia, solo cuando se especifica el grado de concentración y tiempo de exposición requeridos para producir efectos nocivos. El grado de peligro en que se incurre con el uso de refrigerantes tóxicos, depende de varios factores, tales como la cantidad de refrigerante usado con relación al tamaño del espacio dentro del cuál se pueden tener fugas de refrigerante, del tipo

de ocupación, de sí se tengan flamas o fuego y de, si el personal experimentado tenga la obligación de atender al equipo. Los refrigerantes tóxicos (incluyendo productos de descomposición) despiden olores muy peculiares que tienden a dar aviso de su presencia. Son peligrosos para el caso de niños y personas que por razones de enfermedad o confinamiento son incapaces de escapar de los humos. De acuerdo a su toxicidad el **American Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration** (Código Americano Estándar de Seguridad para la Refrigeración Mecánica) y la norma **ASHRAE 12-58**, agrupan los refrigerantes en tres clases. Puesto que muchos de ellos no se utilizan, solo describiremos los de uso más corriente.

#### **1.3.5.1 Refrigerantes del grupo 1:**

Son los de toxicidad e inflamabilidad despreciables. De ellos, los refrigerantes 11, 113 y 114 se emplean en compresores centrífugos. Los refrigerantes 12, 22, 500 y 502 se usan normalmente en compresores alternativos y en los centrífugos de elevada capacidad. <sup>1</sup>

#### **1.3.5.2 Refrigerantes del grupo 2:**

Son los tóxicos o inflamables, o ambas cosas. El grupo incluye el Amoníaco, Cloruro de etilo, Cloruro de metilo y Dióxido de azufre, pero solo el Amoníaco (R-717) se utiliza aún en cierto grado. <sup>2</sup>

#### **1.3.5.3 Refrigerantes del grupo 3:**

Estos refrigerantes son muy inflamables y explosivos. A causa de su bajo costo se utilizan donde el peligro está siempre presente y su uso no agrega otro peligro, como por ejemplo, en las plantas petroquímicas y en las refinerías de petróleo. El grupo incluye el Butano, Propano, Izobutano, Etano, Etileno, Propileno y Metano.

---

<sup>1</sup> Mas detalles en: [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx)

<sup>2</sup> Mas detalles en: [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx)

Estos refrigerantes deben trabajar a presiones mayores que la atmosférica para evitar que aumente el peligro de explosión. Las presiones mayores que las atmosféricas impiden la penetración de aire por pérdidas, porque es la mezcla aire-refrigerante la que resulta potencialmente peligrosa.<sup>3</sup>

### 1.3.6 MEDIO AMBIENTE.

Los estudios han demostrado que los químicamente inalterables CFC son poco estables hacia la radiación UV-C, se produce una reacción fotoquímica que da lugar a la liberación de átomos de cloro, los cuáles son muy reactivos y colisionan con los átomos de ozono produciendo monóxido de cloro y oxígeno molecular. El monóxido de cloro puede reaccionar con los átomos de oxígeno y se regenera el cloro atómico. Los átomos de cloro liberados cierran el llamado “ciclo cloro catalítico del ozono”. Se estima que un solo átomo liberado de un **CFC** puede dar origen a una reacción en cadena que destruya 100000 moléculas de ozono. Este ciclo puede ser bloqueado por dióxido de nitrógeno, que puede secuestrar monóxido de cloro mediante una reacción química en la que se forma nitrato de cloro, esta reacción es conocida como “reacción de interferencia”, porque bloquea la degradación del ozono producida por derivados del CFC. Los **HCFC** continúan destruyendo la capa de ozono, aunque algo menos que los CFC, y tanto los HCFC como los **HFC** son gases de invernadero potente. Debido a que los HCFC destruyen el ozono, solo son considerados “compuestos de transición” lo que significa que tendrán que ser reemplazados a su vez por compuestos mas aceptables desde el punto de vista ambiental. Lo mismo puede decirse con respecto a los HFC, que por su elevado potencial de calentamiento global han sido incluidos en el **Protocolo de Kyoto**. El absurdo paso intermedio entre los HCFC y HFC, doblará los costos de los nuevos equipos, de los cambios en las líneas de producción y del entrenamiento del personal. Las actuales fechas de eliminación

---

<sup>3</sup> Mas detalles en: [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx)

de los HCFC, CFC y bromuro de metilo son inadecuadas para la producción de Ozono.

### **1.3.6 ¿Qué refrigerantes sustituyen a los CFC's?**

Los CFC's están siendo reemplazados por refrigerantes alternativos llamados HCFC's y HFC's mejor conocidos como Suva, que ofrecen mejores propiedades ambientales. Los gases refrigerantes definitivos son los HFC's que no contienen cloro, por lo tanto **NO** dañan la capa de ozono y pueden ser utilizados en todas las aplicaciones de los CFC's con un alto grado de seguridad.

### **1.3.7 LOS HIDROCLOROFUOROCARBURO.**

El primer paso para evitar la destrucción de la capa de ozono fue la sustitución de los fluorocarbonados con dos átomos de cloro (CFC) por fluorocarbonados con un átomo de cloro y otro de hidrógeno (HCFC). Estos refrigerantes contribuyen en menor medida a la destrucción de la capa de ozono por su mayor estabilidad, pero influyen en el calentamiento global en mayor medida que estos. Sin embargo en la última revisión del protocolo de Montreal los HCFC fueron también incluidos en la lista de sustancias controladas, y se decidió su parada de fabricación en el año 2020 con la completa desaparición en el año 2030. Alemania ha acelerado la desaparición del R-22 debiendo completarse esta en el año 2000. Estados Unidos está considerando tomar medidas de este tipo. El R-22 es una solución intermedia y se usa para reemplazar el R-12, R-500 y R-502 en algunas aplicaciones. Para reemplazar el R-114 en procesos industriales a alta temperatura se recurre a los siguientes HCFC's (Hidro-Cloro-Fluoro-Carbonados): R-124, R-123 y R-141b. Al tener algún hidrógeno en su molécula se oxidan en la atmósfera baja. Al ser su tiempo de vida muy corto, se reduce enormemente su ODP (Alto poder de

agotamiento del ozono). Por ejemplo: HCFC-22 (clorodifluormetano, HCIF2C), producto empleado en el A/A de viviendas, **ODP = 0,05**. Un 95 % menor que el CFC-12.

Desde mediados de la década del 80, los sistemas de refrigeración comerciales han pasado por un proceso de transición, desde usar compuestos refrigerantes que reducen el ozono, incluyendo los clorofluorocarburos (CFC), a compuestos de baja o ninguna reducción de ozono, tal como los hidroc fluorocarburos (HCFC) y los hidrofluorocarburos (HFC). El amoníaco, los hidrocarburos y el dióxido de carbono se usan en menor medida. Varios de estos compuestos, aunque no reducen el ozono, tienen potencial de calentamiento global (GWP). Hay dos aspectos relacionados al calentamiento global que deben considerarse al seleccionar un refrigerante. Uno es el potencial de calentamiento global del compuesto refrigerante mismo si se emite, el "efecto directo". Otro a aspecto es la cantidad de energía consumida para que funcione el equipo, el "efecto indirecto".

Los dos aspectos considerados conjuntamente representan las porciones más significativas del Rendimiento climático del ciclo de vida. Otras consideraciones significativas adicionales incluyen el costo del sistema y la seguridad de los usuarios, los técnicos de servicio y el público. Los productos recomendados para sustituir a los HCFC son: <sup>4</sup>

- Refrigerante Suva HP80 (R-402A) Reemplaza R-502
- Refrigerante Suva 408<sup>a</sup> (R-408A) Reemplaza al R-502.
- Refrigerante Suva HP81 (R-402B) Reemplaza R-502.
- Refrigerante Suva MP66 (R-401B) Reemplaza R-500, R-12.
- Refrigerante Suva MP39 (R-401A) Reemplaza R-12.

---

<sup>4</sup> Mas detalles en: [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx)



### 1.3.8 LOS HIDROFLUOROCARBUIROS.

Los HFC son fluidos refrigerantes sin cloro, y por tanto sin efecto sobre la reducción de la capa de ozono, pero algunos de ellos tienen un efecto importante sobre el efecto invernadero. Se utilizan en la Bomba de Calor el R-134a, R-152a, R-32, R-125 y R-143a.

Los refrigerantes alternativos están compuestos a base de HFCs, Hidro-Fluoro-Carbonados. Este tipo de refrigerantes son la tendencia para nuevos equipos e instalaciones. Las soluciones disponibles tomando como base las propiedades termodinámicas de los refrigerantes que se van a sustituir, por lo que no es necesario una reingeniería del frío. Sin embargo, no es posible aplicarlos directamente en los equipos existentes, pues no se mezclan en ninguna condición de presión ni temperatura con el aceite mineral remanente en una instalación que ha funcionado. Es necesario lavar dicha instalación hasta que el contenido en aceite mineral residual sea inferior al 5% del total. Por esto, su aplicación está dirigida principalmente a las instalaciones por construir. De todas formas, existen desde hace años en el mercado sistemas automáticos de limpieza, sin emitir ningún residuo a la atmósfera, capaces de conseguir el desengrase necesario para aplicar esta familia de productos en los equipos existentes.<sup>5</sup>

- Refrigerante Suva 134A (R-134a) Reemplaza al R-12.
- Refrigerante Suva HP62 (R-404A) Reemplaza R-502.
- Refrigerante Suva 507(R-507) Reemplaza R-502.
- Refrigerante Suva 407C (R-407C) Reemplaza al R-22 (Anteriormente conocido como Suva® 9000)
- Refrigerante Suva® 410A (R-410A) Reemplaza R-22.

---

<sup>5</sup> Mas detalles en: [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx)

### 1.3.9 CONVERSIÓN RETROFIT.

Debido a su ataque a la capa de ozono y a su alta contribución al efecto invernadero, los gases refrigerantes CFC han de ser eliminados y sustituidos por otros de similares características que no presenten estos inconvenientes. Ha sido elegido como sustituto del CFC-12 el HFC-134a. Los ingenieros de SAE (Sociedad de Standards de Automóviles) americanos definen los pasos y procedimientos para el Retrofitting de sistemas de Aire Acondicionado de automóviles, o sea, simplemente el cambio de CFC-12 a HFC-134a. En algunos automóviles es una operación bastante simple y en otros presenta altas dificultades.<sup>6</sup> En forma básica puede decirse que algunas partes deberán ser cambiadas como son:

- Filtro secador.
- Juntas teóricas.
- Aceite lubricante.
- Válvula de servicio.

Otras podrían ser modificadas o acondicionadas:

- Compresor.
- Válvula de expansión.

Finalmente hay otras que deben ser estudiadas en cada caso:

- Condensador.
- Mangueras.

---

<sup>6</sup> El Retrofit es uno de los aspectos más importantes de la refrigeración moderna para el reemplazo de CFC a HCFC y HFC. Mayor información en: [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx) . REFRIGERACION. Ing. Helbert A. Carrillo C. CUTB

## **CAPITULO II**

### **2. TRATAMIENTOS TERMICOS, PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO Y CALCULOS DEL SISTEMA**

#### **2.1 TRATAMIENTOS TERMICOS**

##### **2.1.1 INTODUCCION**

A través de todos los tiempos y con especial interés, desde la revolución industrial, el hombre ha procurado obtener el mayor provecho de los materiales, en especial del acero; modificando sus propiedades físicas por medio de procesos como el temple, que consiste en elevar la temperatura del material y luego disminuirla rápidamente.

No se conoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir el metal para ser utilizado. Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto, datan del año 3.000 a.c., y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro; los griegos ya conocían hacia el 1.000 a.c, la técnica de cierta complejidad para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico. Las aleaciones producidas por los primeros artesanos del hierro (y, de hecho, todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.c.) se clasifican en la actualidad como hierro forjado. Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico lleno de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba

con pesados martillos para expulsar la escoria y dejar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño, el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero. La producción moderna de arrabio emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. El proceso de refinado del arrabio para la producción de acero mediante chorros de aire se debe al inventor británico Henry Bessemer, que en 1855 desarrolló el horno o convertidor que lleva su nombre. Desde la década de 1960 funcionan varios minihornos que emplean electricidad para producir acero a partir de chatarra. Las aleaciones de hierro y carbono, aceros y fundiciones, son las aleaciones metálicas más importantes de la civilización actual. Por su volumen, la producción de fundición y de acero supera en más de diez veces la producción de todos los demás metales juntos.

Corrientemente se da el nombre de acero y fundición, a las aleaciones hierro - carbono (si tienen más del 2% de C son fundiciones y si tienen menos del 2% de C son aceros).

## 2.1.2 MICROESTRUCTURAS DE LOS ACEROS

Los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son: ferrita, cementita, perlita, sorbita, trostita, martensita, bainita, y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos.

El análisis de las microestructuras de los aceros al carbono recocidos y fundiciones blancas deben realizarse en base al diagrama metaestable Hierro-carburo de hierro o Cementita.

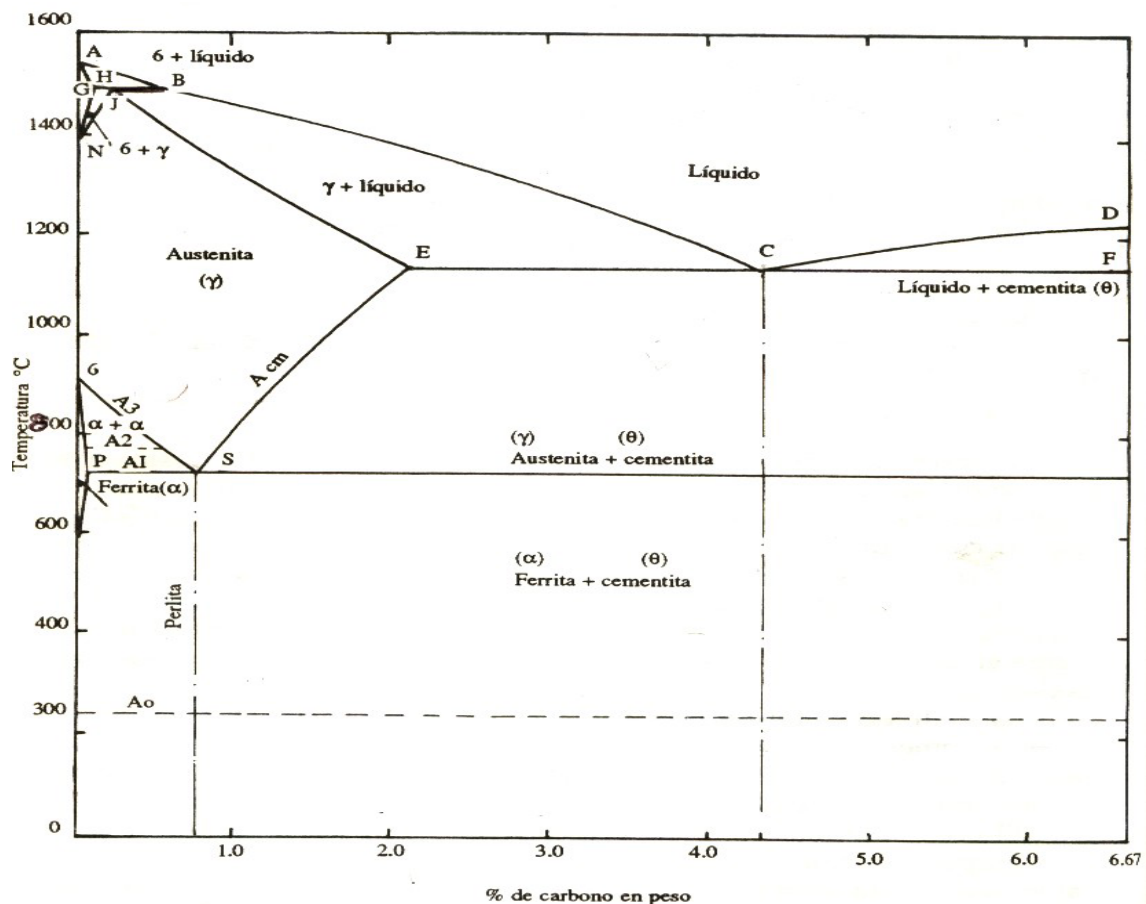
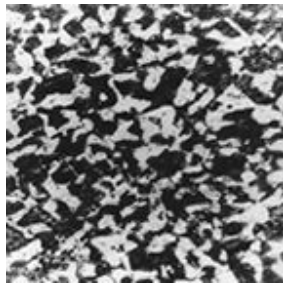


Figura 1 Diagrama Fe-C

Las micro estructuras que presenta el diagrama de equilibrio para los aceros al carbono son:

### 2.1.2.1 FERRITA

Es una solución sólida de carbono en hierro alfa ( $\alpha$ ), su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa ( $\alpha$ ) es de 0,02% a 723 °C.



**Figura 2**

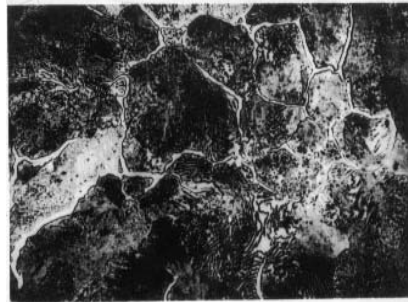
**Micro estructura del acero al carbono, cristales blancos de ferrita**

La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm<sup>2</sup>, llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros. En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6%C, **figura 7.6**; formando una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85%C en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita como en los aceros en bruto de colada o en aceros que han sido sobrecalentados. Este tipo de estructura se denomina Widmanstatten. La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras

láminas de cementita, en la estructura globular de los aceros de herramientas aparece formando la matriz que rodea los glóbulos de cementita, figura 9, en los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita cuando el temple no ha sido bien efectuado.

### 2.1.2.2 CEMENTITA

Es el carburo de hierro de fórmula  $Fe_3C$ , contiene 6.67 %C y 93.33 % de hierro, es el microconstituyente más duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rc) y cristaliza en la red ortorómbica.



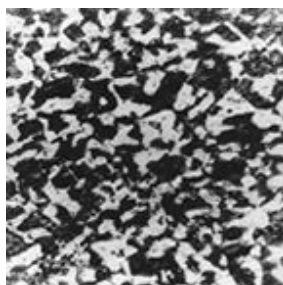
**Figura 3**

Microestructura del acero 1%C, red blanca de cementita

En las probetas atacadas con ácidos se observa de un blanco brillante y aparece como cementita primaria o proeutéctica en los aceros con más de 0.9%C formando una red que envuelve los granos de perlita, formando parte de la perlita como láminas paralelas separadas por otras láminas de ferrita, se presenta en forma de glóbulos o granos dispersos en una matriz de ferrita, cuando los aceros de alto carbono se han sometido a un recocido de globulización, en los aceros hipoeutectoides que no han sido bien templados.

### 2.1.2.3 PERLITA

Es el microconstituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, compuesta por el 88 % de ferrita y 12 % de cementita, contiene el 0.8 %C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia a la tracción de 80 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 15%; el nombre de perlita se debe a las irisaciones que adquiere al iluminarla, parecidas a las perlas. La perlita aparece en general en el enfriamiento lento de la austenita y por la transformación isotérmica de la austenita el rango de 650 a 723°C Si el enfriamiento es rápido (100-200°C/seg.), la estructura es poco definida y se denomina Sorbita, si la perlita laminar se somete a un recocido a temperatura próxima a 723°C, la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, denominándose perlita globular.



**Figura 4**

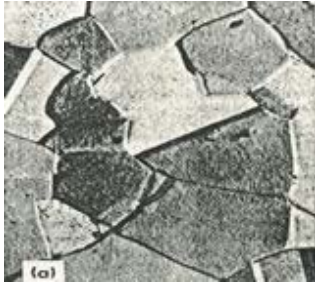
Microestructura del acero al carbono, cristales oscuros de perlita

### 2.1.2.4 AUSTENITA

Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma ( $\gamma$ ). La cantidad de carbono disuelto, varía de 0.8 al 2 % C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente, pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos



centrados en las caras, con una dureza de 300 Brinell, una resistencia a la tracción de 100 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 30 %, no es magnética.



**Figura 5** Microestructura de la austenita

La austenita no puede atacarse con nital, se disuelve con agua regia en glicerina apareciendo como granos poligonales frecuentemente maclados, puede aparecer junto con la martensita en los aceros templados.

#### **2.1.2.5 MARTENSITA**

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas. El contenido de carbono suele variar desde muy poco carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido en carbono hasta un máximo de 0.7 %C.



**Figura 6** Microestructura de la martensita

La martensita tiene una dureza de 50 a 68 Rc, resistencia a la tracción de 170 a

250 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 0.5 al 2.5 %, muy frágil y presenta un aspecto acicular formando grupos en zigzag con ángulos de 60 grados.

Los aceros templados suelen quedar demasiado duros y frágiles, inconveniente que se corrige por medio del revenido que consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la crítica inferior (727°C), dependiendo de la dureza que se desee obtener, enfriándolo luego al aire o en cualquier medio.

#### **2.1.2.6 TROOSTITA**

Es un agregado muy fino de cementita y ferrita, se produce por un enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento ligeramente inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en el rango de temperatura de 500 a 600°C, o por revenido a 400°C. Sus propiedades físicas son intermedias entre la martensita y la sorbita, tiene una dureza de 400 a 500 Brinell, una resistencia a la tracción de 140 a 175 kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 5 al 10%. Es un constituyente nodular oscuro con estructura radial apreciable a unos 1000X y aparece generalmente acompañando a la martensita y a la austenita.

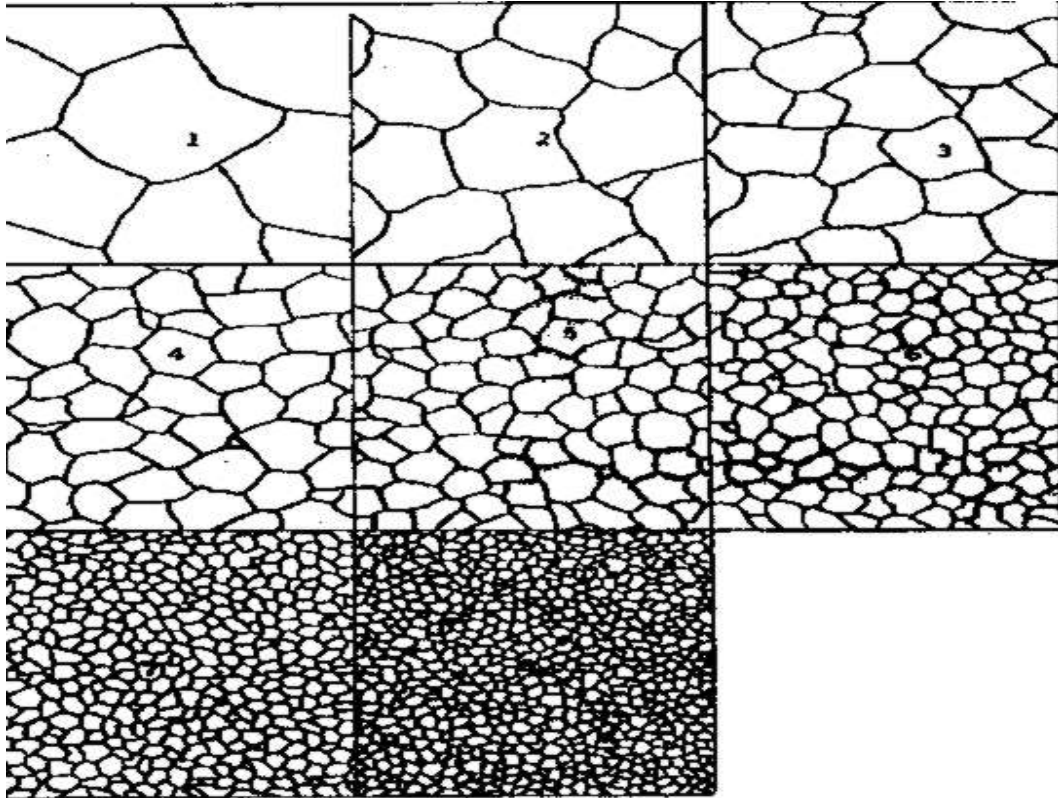
#### **2.1.2.7 SORBITA**

Es también un agregado fino de cementita y ferrita. Se obtiene por enfriamiento de la austenita con una velocidad de enfriamiento bastante inferior a la crítica de temple o por transformación isotérmica de la austenita en la zona de 600 a 650°C, o por revenido a la temperatura de 600°C. Su dureza es de 250 a 400 Brinell, su resistencia a la tracción es de 88 a 140 kg/mm<sup>2</sup>, con un alargamiento del 10 al 20%. Con pocos aumentos aparece en forma muy difusa como manchas, pero con 1000X toma la forma de nódulos blancos muy finos sobre fondo oscuro, **Figura 7.7**; de hecho tanto la troostita como la sorbita pueden considerarse como perlita de grano muy fino.

### 2.1.2.8 BAINITA

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500°C. Se diferencian dos tipos de estructuras: la bainita superior de aspecto arborescente formada a 500-580°C, compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos. Bainita inferior, formada a 250-400°C tiene un aspecto acicular similar a la martensita y constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos. La bainita tiene una dureza variable de 40 a 60 Rc comprendida entre las correspondientes a la perlita y a la martensita.

Los constituyentes que pueden presentarse en los aceros aleados son los mismos de los aceros al carbono, aunque la austenita puede ser único constituyente y además pueden aparecer otros carburos simples y dobles o complejos. La determinación del tamaño de grano austenítico o ferrítico, puede hacerse por la norma ASTM o por comparación de la microfotografías de la probeta a 100X, con las retículas patrón numeradas desde el 1 para el grano más grueso hasta el 8 para el grano más fino. En el sistema ASTM el grosor del grano austenítico se indica con un número convencional **n**, de acuerdo con la fórmula:  **$\log G = (n - 1) \log 2$** . Donde G es el número de granos por pulgada cuadrada sobre una imagen obtenida a 100 aumentos; este método se aplica a metales que han recristalizado completamente, **n** es el número de tamaño de grano de uno a ocho.



**Figura 7**

Forma, tamaño y distribución de los cristales o granos en la microestructura del acero para comparación a 100X

### **2.1.3 ACEROS AL CARBONO**

El principal producto siderúrgico es el acero, siendo aproximadamente el 90% de la producción acero al carbono y el 10%, acero aleado. Por lo tanto, el material metálico más importante para la industria es el acero al carbono. El acero al carbono es una aleación de composición química compleja. Además de hierro, cuyo contenido puede oscilar entre 97,0-99,5%-, hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a los procesos de su producción (manganeso y silicio), a la dificultad de excluirlos totalmente del metal (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) o a circunstancias casuales (cromo, níquel, cobre y otros).

El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad. Los aceros se clasifican teniendo en cuenta sus propiedades y utilización, en tres grandes grupos: *aceros de construcción, aceros de herramientas y aceros inoxidables.*<sup>7</sup>

#### **2.1.4 TRATAMIENTOS TERMICOS**

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido, para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico, es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro - hierro - carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos. Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión.

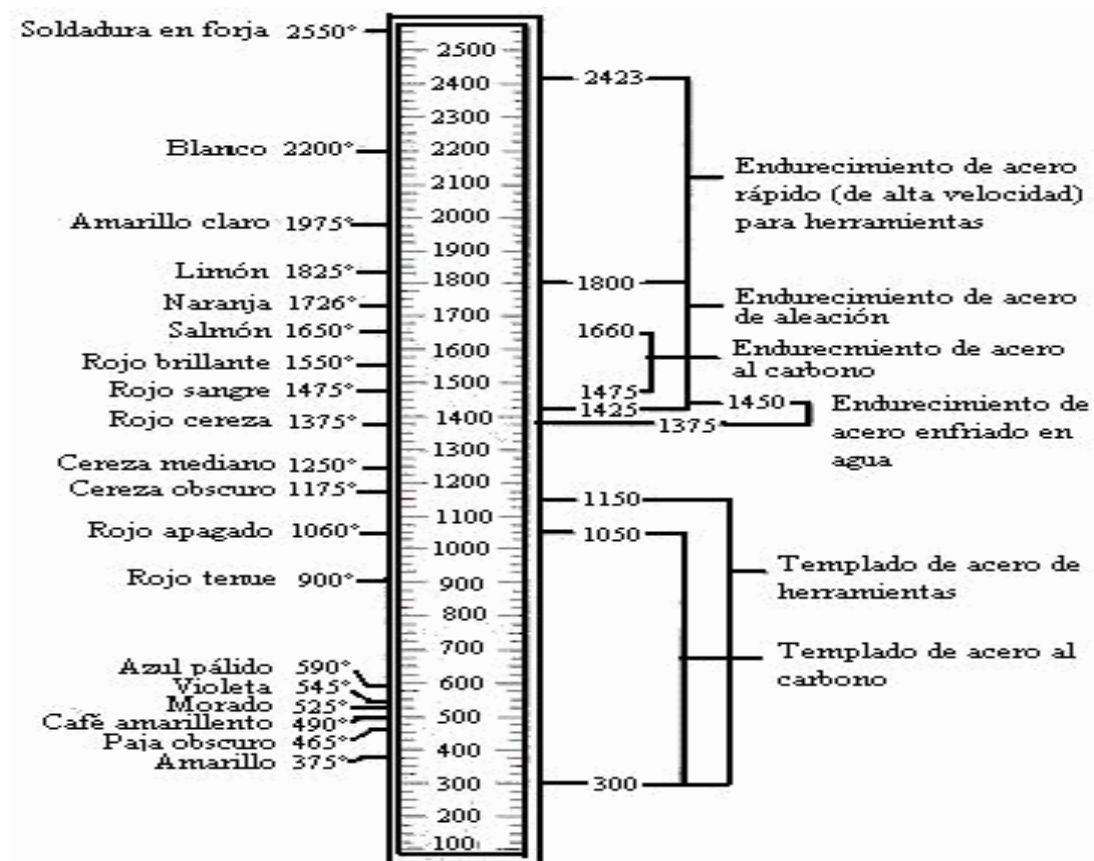
##### **2.1.4.1 ENDURECIMIENTO DEL ACERO**

El proceso de endurecimiento del acero consiste en el calentamiento del metal de manera uniforme a la temperatura correcta y luego enfriarlo con agua, aceite, aire o en una cámara refrigerada. El endurecimiento produce una estructura granular fina que aumenta la resistencia a la tracción (tensión) y disminuye la ductilidad.

---

<sup>7</sup> Mas detalles en: [www.elprisma.com](http://www.elprisma.com) Ingeniería Mecánica

El acero al carbono para herramientas se puede endurecer al calentarse hasta su temperatura crítica, la cual se adquiere aproximadamente entre los 1450 °F y 1525 °F (790 a 830 °C) lo cual se identifica cuando el metal adquiere el color rojo cereza brillante. Cuando se calienta el acero la perlita se combina con la ferrita, lo que produce una estructura de grano fino llamada austenita. Cuando se enfría la austenita de manera brusca con agua, aceite o aire, se transforma en martensita, material que es muy duro y frágil.



**Figura 8**

Temperaturas para endurecido de metales

#### 2.1.4.2 TEMPLE (REVENIDO)

Después que se ha endurecido el acero es muy quebradizo o frágil lo que impide su manejo pues se rompe con el mínimo golpe debido a la tensión interior generada por el proceso de endurecimiento. Para contrarrestar la fragilidad se recomienda el temple del acero (en algunos textos a este proceso se le llama revenido y al endurecido temple). Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza. El proceso consiste en limpiar la pieza con un abrasivo para luego calentarla hasta la temperatura adecuada (ver tabla), para después enfriarla con rapidez en el mismo medio que se utilizó para endurecerla.<sup>8</sup>

**Tabla 1 Temperaturas para templar acero endurecido**

Color	Grados F	Grados C	Tipos de aceros
Paja claro	430	220	Herramientas como brocas, machuelos
Paja mediano	460	240	Punzones dados y fresas
Paja oscuro	490	255	Cizallas y martillos
Morado	520	270	Árboles y cinceles para madera
Azul oscuro	570	300	Cuchillos y cinceles para acero
Azul claro	600	320	Destornilladores y resortes

#### 2.1.4.3 RECOCIDO

---

<sup>8</sup> Mayor información: TECNOLOGIA DEL TRATAMIENTO DE LOS METALES, Asdrúbal Valencia, Segunda Edición ,Capítulos 4-5-6-7-8-9

Cuando se tiene que maquinar a un acero endurecido, por lo regular hay que recocerlo o ablandarlo. El recocido es un proceso para reducir los esfuerzos internos y ablandar el acero. El proceso consiste en calentar al acero por arriba de su temperatura crítica y dejarlo enfriar con lentitud en el horno cerrado o envuelto en ceniza, cal, asbesto o vermiculita.

#### **2.1.4.4 CEMENTADO**

Consiste en el endurecimiento de la superficie externa del acero al bajo carbono, quedando el núcleo blando y dúctil. Como el carbono es el que genera la dureza en los aceros, en el método de cementado se tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de carbono en los aceros de bajo contenido de carbono antes de ser endurecido. El carbono se agrega al calentar el acero a su temperatura crítica, mientras se encuentra en contacto con un material carbonoso. Los tres métodos de cementación más comunes son: *empacado para carburación, baño líquido y gas.*

##### **2.1.4.4.1 CARBURIZACIÓN POR EMPAQUETADO**

Este procedimiento consiste en meter al material de acero con bajo contenido carbónico en una caja cerrada con material carbonáceo y calentarlos hasta 1650 o 1700 °F (900 a 927 °C) durante 4 a 6 horas. En este tiempo el carbón que se encuentra en la caja penetra a la superficie de la pieza a endurecer. Entre más tiempo se deje la pieza en la caja con carbón, de mayor profundidad será la capa dura. Una vez caliente la pieza a endurecer a la temperatura adecuada, se enfría rápidamente en agua o salmuera. Para evitar deformaciones y disminuir la tensión superficial se recomienda dejar enfriar la pieza en la caja, para posteriormente sacarla y volverla a calentar entre 1400 y 1500 °F (rojo cereza) y proceder al enfriamiento por inmersión. La capa endurecida más utilizada tiene un espesor de 0.38 mm, sin embargo se pueden tener espesores de hasta 4 mm.



#### **2.1.4.4.2 CARBURIZACIÓN EN BAÑO LÍQUIDO**

El acero a cementar se sumerge en un baño de cianuro de sodio líquido. También se puede utilizar cianuro de potasio pero sus vapores son muy peligrosos. Se mantiene la temperatura a 1500 °F (845 °C) durante 15 minutos a 1 hora, según la profundidad que se requiera. A esta temperatura el acero absorberá el carbono y el nitrógeno del cianuro. Después se debe enfriar con rapidez al acero en agua o salmuera. Con este procedimiento se logran capas con espesores de 0.75 mm.

#### **2.1.4.4.3 CARBURIZACIÓN CON GAS**

En este procedimiento se utilizan gases carburizantes para la cementación. La pieza de acero con bajo contenido carbónico se coloca en un tambor al que se introduce gas para carburizar como derivados de los hidrocarburos o gas natural. El procedimiento consiste en mantener al horno, el gas y la pieza entre 1650 y 1750 °F (900 y 927 °C). después de un tiempo predeterminado se corta el gas carburizante y se deja enfriar el horno. Luego se saca la pieza y se recalienta a 1400 °F (760 °C) y se enfría con rapidez en agua o salmuera. Con este procedimiento se logran piezas cuya capa dura tiene un espesor hasta de 6 mm, pero por lo regular no exceden de 0.7 mm.

#### **2.1.4.5 CARBURADO, CIANURADO Y NITRURADO**

Existen varios procedimientos de endurecimiento superficial con la utilización del nitrógeno y cianuro a los que por lo regular se les conoce como carbonitrurado o cianurado. En todos estos procesos con ayuda de las sales del cianuro y del amoníaco se logran superficies duras como en los métodos anteriores.

## Tabla2 Acero para Temple y Revenido

IRAM- SAE	Composi- ción Química	Característ icas	Aplicacion es	Tratamiento s Térmicos	Característica				
					sr MPa	s 0,2 Mpa	Al %	F %	Dureza HB
IRAM/ SAE 1038	C: 0,35 / 0,42 Mn: 0,60 / 0,90	Acero al C. Con estructura globulizada es apto para estampar en frio. Baja templabilidad	Piezas fabricadas por estampad o en frio ( Bulones, tuercas, tornillos, etc.) Otras piezas forjadas en caliente poco exigidas	Laminado forjado: 1200 / 850 °C	650	420	25	50	192
				Normalizado 870 / 900 °C	680	420	28	52	183
				Recocido de ablandamient o 650 / 700 °C	510	320	30	70	149
				Recocido de regeneración 840 / 870 °C	530	350	28	65	156
				Temple 850 °C aceite; Revenido: 540 °C	820	650	15	52	240
				Temple 850 °C aceite; Revenido: 650 °C	720	580	22	65	197
IRAM/ SAE 1045	C: 0,43 / 0,50 Mn: 0,60 / 0,90	Acero al C. De baja templabilidad. En estado templado tiene alta	Piezas de alta dureza y buena tenacidad (manivelas ,	Laminado forjado: 1200 / 850 °C	685	460	24	50	212
				Normalizado: 850 / 875 °C	700	450	25	46	207

		dureza y buena tenacidad. Es apto para temple superficial.	chavetas, ejes, cigueñales, bielas, engranajes, espárragos, etc.)	mecanizar 810 / 860 °C					
				Temple: aceite 815 / 840 °C; Revenido: 540 °C	710	610	15	45	269
				Temple: aceite 815 / 840 °C Revenido: 650 °C	700	500	25	60	212
IRAM/ SAE 1541	C: 0,36 / 0,44 Mn: 1,35 / 1,65	Acero al C. Con templabilidad mejorada	Piezas de dimensiones medianas y chicas. Engranajes, árboles, pernos, palieres, etc.	Laminado forjado: 1200 / 850 °C	720	480	13	35	217
				Normalizado: 850 / 875 °C	710	480	20	48	212
				Recocido: 830 °C	610	380	25	50	183
				Temple: 840 °C aceite; Revenido: 540 °C	900	680	23	58	269
				Temple: 840 °C aceite; Revenido: 650 °C	700	520	25	60	217
SAE 3135	C: 0,33 / 0,38 Mn: 0,60 / 0,80 Si: 0,20 / 0,35	Acero al Cr-Ni de mediana templabilidad con muy buena	Piezas de dimensiones medianas y grandes, expuestas	Laminado forjado: 1100 / 850 °C	840	610	16	48	255
				Normalizado 860 / 890 °C	860	570	19	57	262

	Cr: 0,55 / 0,75 Ni: 1,10 / 1,40	tenacidad.	a	830 °C					
				Temple: 830° aceite; Revenido: 540 °C	910	805	20	54	293
			Puntas de ejes, bielas, ejes delanteros , eslabones de cadenas, etc.	Temple: 830° aceite; Revenido: 650 °C	800	700	21	60	248
SAE 3335	C: 0,30 / 0,40 Mn: 0,30 / 0,60 Si: 0,15 / 0,30 Cr: 1,25 / 1,75 Ni: 3,25 / 3,75	Acero al Cr-Ni de muy alta templabilidad y de extrema tenacidad	Piezas grandes expuestas a solicitaciones muy elevadas, especialm ente a la fatiga. Por ej.: cigüeñales , pernos de acople, ejes de piñones, etc.	Laminado forjado: 1100 / 850 °C	880				277
				Normalizado: 850°C	860				265
				Recocido: 630 / 650 °C	785				235
				Temple: 830° aceite					
				Revenido con enfriamiento rápido: 540 °C	1130	930	12	45	331
				Revenido con enfriamiento rápido: 650	880	750	18	54	269

				°C					
IRAM/ SAE 4140	C: 0,38 / 0,43 Mn: 0,75 / 1,00 Cr: 0,80 / 1,10 Mo: 0,15 / 0,25	Acero al Cr-Mo de mediana templabilidad y buena tenacidad. No presenta fragilidad de revenido. Apto para temple superficial. Con estructura globulizada puede estampar en frío	Piezas de alta exigencia para la construcción de vehículos en general. Cigüeñales, árboles, palieres, engranajes de transmisión, etc. Piezas confeccionadas por estampado o en frío (bulones de alta calidad)	Laminado Forjado: 1100 /850°C	1030	720	15	40	311
			Recocido de globulización: 755°C	650			65	92HRb	
			Recocido para mecanizar: 830°C	650	420	25	56	192	
			Recocido de ablandamiento: 680°C	650			62	92HRb	
			Temple: 840°C ,aceite; Revenido: 540 °C	1120	1040	14	56	321	
			Temple: 840°C ,aceite; Revenido: 650 °C	915	810	19	60	277	
IRAM/ SAE 4340	C: 0,38 / 0,43 Mn: 0,65 / 0,85 Si: 0,20 / 0,35 Cr: 0,70 / 0,90 Ni: 1,65 /	Acero al Cr-Ni-Mo de alta templabilidad, de alta resistencia y excelente tenacidad. No	Piezas de aviones y automóviles sometidas a las más grandes exigencias y los más	Laminado Forjado: 1150/900°C	1300	860			401
			Normalizado: 870°C	1280	860	12	35	388	
			Recocido de ablandamiento: 680°C	740	460	22	45	217	

	2,00 Mo: 0,20 / 0,30	presenta fragilidad de revenido. Alta resistencia a la fatiga.	altos esfuerzos estáticos y dinámicos. Piezas para temperaturas debajo de 0 °C.	para mecanizar: 830°C					
				Temple: 840°C,aceite; Revenido: 540 °C	1210	1100	14	45	352
				Temple: 840°C,aceite; Revenido: 650°C	805	650	22	63	235
IRAM/ SAE 5140	C: 0,38 / 0,43 Mn: 0,70 / 0,90 Si: 0,20 / 0,35 Cr: 0,70 / 0,90	Acero al Cr de baja templabilidad, alta resistencia al desgaste. Apto para endurecimiento superficial por cianurado directo.	Piezas de dimensiones medianas. Engranajes, ejes, árboles, puntas de ejes, etc.	Laminado Forjado: 1050/850°C	770	520			229
				Normalizado: 870°C	760	470	23	53	227
				Recocido de ablandamiento: 680°C	570				183
				Recocido para mecanizar: 830°C	570	320	25	55	179
				Temple: 840°C,aceite; Revenido: 540 °C	970	840	18	58	293
				Temple: 840°C,aceite; Revenido: 650°C	805	650	22	63	235
IRAM/ SAE	C: 0,38 / 0,43	Acero al Cr-Ni-Mo	Bulones especiales						

8640	Mn: 0,75 / 1,00 Cr: 0,40 / 0,60 Ni: 0,40 / 0,70 Mo: 0,15 / 0,25	de mediana templabilidad. Tiene alta resistencia y muy buena tenacidad. Con estructura globulizada es apto para estampar en frío. No presenta fragilidad del revenido	de alta resistencia a esfuerzos estáticos y dinámicos. Piezas de alta responsabilidad, especialmente a la fatiga, hasta aprox. 100 mm de espesor.	1100/850 °C					
				Normalizado: 870°C	850	570	16	45	255
				Recocido de globulización: 755°C	610			70	170
				Recocido para mecanizar: 830°C	620	360	28	52	179
				Recocido de ablandamiento: 860°C	670			45	183
				Temple: 840°C, aceite; Revenido: 540 °C	1100	1020	15	55	341
				Temple: 840°C, aceite; Revenido: 650 °C	870	760	19	65	255

## 2.2 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

### 2.2.1 DIAGRAMA TI Y LAS CURVAS DE ENFRIAMIENTO

Cuando se mantiene el acero en la fase austenita a una temperatura inferior a su mínima temperatura de estabilidad, se transforma en diversos productos de transformación. Para mostrar estos resultados se utiliza una gráfica. Esta se conoce como diagrama tiempo-temperaturas-transformación (TTT) o diagrama de transformación isotérmica (TI). Después de estudiar este diagrama se pueden explicar los procedimientos de endurecimiento, la rapidez de enfriamiento y los diferentes productos de transformación, así como la forma en que se obtienen y lo más importante: comprobar el concepto de ASDRUBAL VALENCIA " *Como la microestructura deseada en el temple es la martensita, la velocidad de enfriamiento debe ser igual o superior a la crítica de temple. Las velocidades críticas de temple varían para los aceros al carbono, de 200 a 600 °C/segundos según el contenido de carbono.*" <sup>9</sup>

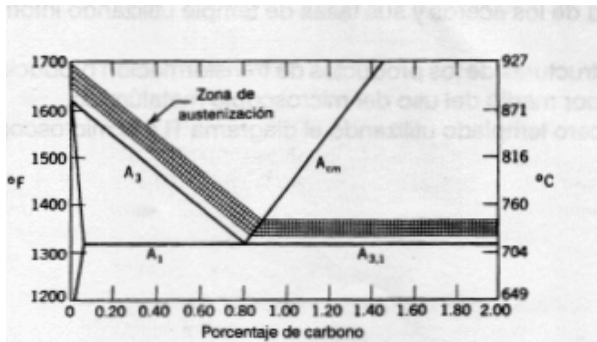
### **2.2.1.1 PROCESO DE ENDURECIMIENTO**

Para endurecer el acero se efectúan dos operaciones. La primera etapa consiste en calentar el acero hasta el rango austenita (austenización), lo cual significa calentarlo hasta una temperatura más alta que la temperatura crítica superior. La segunda etapa consiste en enfriar rápidamente o temprar cerca de la temperatura ambiente. La austenización produce la solución sólida del carbono en la estructura cúbica centrada en las caras. La temperatura usual de austenización es de 50 °F (28 °C) por encima de las líneas A3 ó A3.1 (**figura 2.2.1**). Las aleaciones con 0.8% de carbono o menos se vuelven 100% austenita a esta temperatura, mientras que el acero con más de 0.8 % de carbono se convertirá en austenita con algo de cementita libre.

---

<sup>9</sup> TECNOLOGIA DEL TRATAMIENTO TERMICO, Asdrúbal Valencia, Página 227





**Figura 9** Diagrama que muestra las temperaturas de temple (rango de austenización)

Los aceros con mayor contenido de carbono que contienen elementos formadores de carburo tales como cromo, molibdeno, tungsteno o vanadio requieren más tiempo de permanencia a esta temperatura de austenización debido a que los carburos complejos son relativamente lentos para disolverse. Si la temperatura es demasiado baja, puede haber una solución incompleta de carburos y el acero puede contener aún granos de ferrita sin disolver, los cuales no son benéficos en un acero para herramientas endurecido. Si la temperatura es demasiado alta, pueden formarse granos grandes, esto provocaría el agrietamiento durante el tratamiento térmico, lo cual causaría la falla de la parte. El temple subenfía la austenita para formar una nueva estructura por debajo de la temperatura MS. Esta estructura se conoce como martensita.

### 2.2.1.2 DIAGRAMAS DE TRANSFORMACIÓN ISOTÉRMICA (TI) O DE TIEMPO-TEMPERATURA-TRANSFORMACIÓN (TTT)

Isotérmica significa la misma o temperatura constante. Los diagramas TI también se conocen como curvas S de Bain o diagramas TTT (tiempo-temperatura-transformación). Una vez que se descubrió que el tiempo y la temperatura de transformación de la austenita influían notablemente en los productos de transformación, fue necesario un nuevo tipo de gráfica o diagrama. El diagrama

fierro-carbono no sería conveniente porque representa condiciones de equilibrio o de enfriamiento lento, mientras que la transformación de la austenita ocurre en condiciones de no equilibrio con varias tasas de enfriamiento. La austenita es inestable a temperaturas por debajo de la línea A1 del diagrama hierro-carbono y casi inmediatamente se empieza a transformar en productos tales como perlita o bainita. Un diagrama TTT representa muy bien este proceso. Cuando se grafica un diagrama TTT deben recordarse tres factores.

1. Cuando la austenita se enfría por debajo de la línea A1 a una temperatura determinada y se mantiene a esa temperatura, se empieza a transformar en un tiempo determinado y se completa la transformación después de cierto tiempo característico del acero.
2. La martensita se forma únicamente a temperaturas relativamente bajas y de manera casi instantánea.
3. Si la austenita se transforma en algún punto de la curva en una estructura que es estable a temperatura ambiente, un enfriamiento rápido no cambiará el producto ya transformado, pero la austenita restante se transformará en martensita.

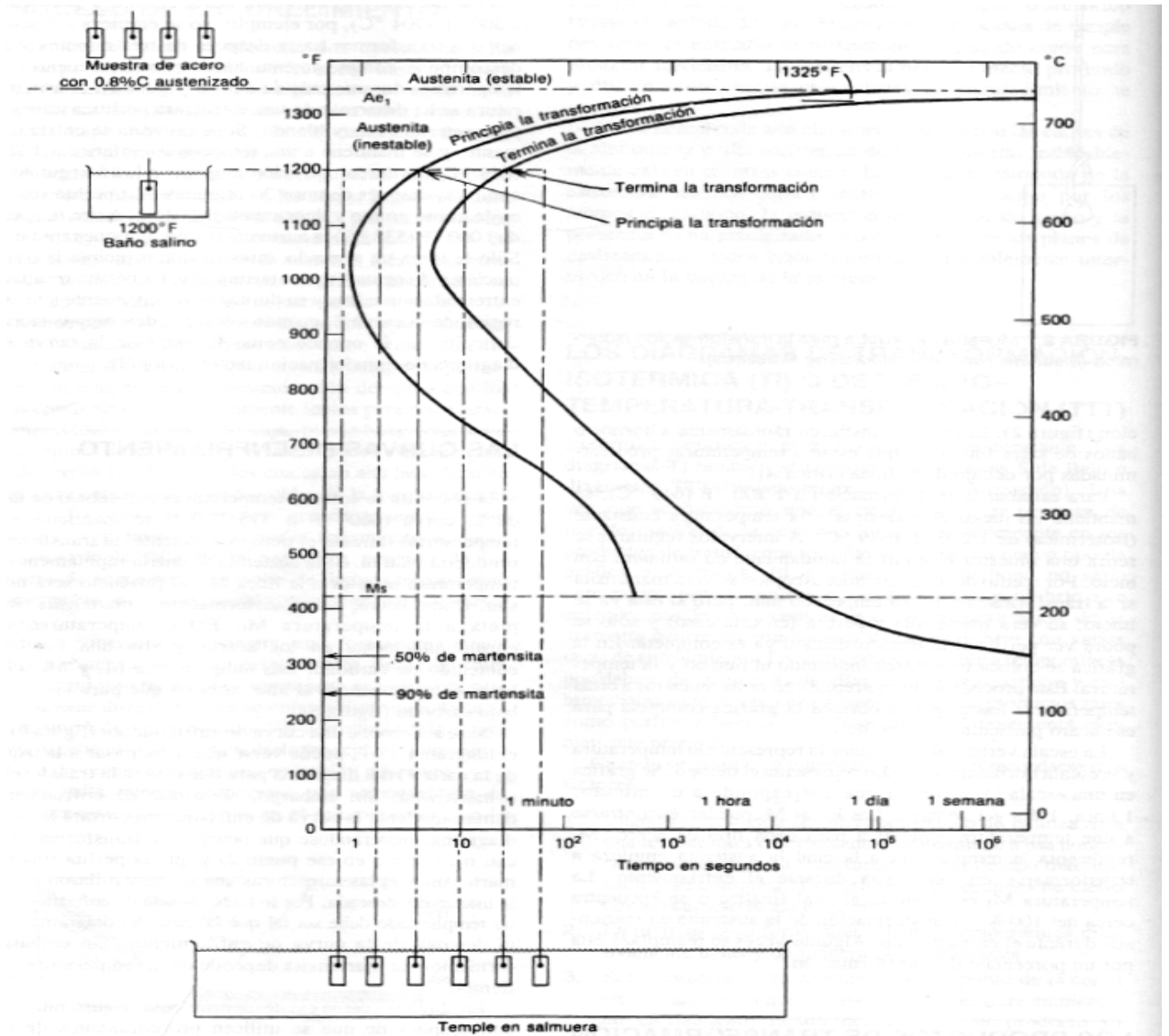
Los datos de los diagramas de transformación isotérmica se obtienen calentando grandes cantidades de muestras pequeñas de acero de un tipo específico a la temperatura de austenización. Luego se transfieren rápidamente a hornos o baños de sales fundidas, que están a temperaturas predeterminadas por debajo de la línea crítica A1. Para estudiar la transformación a 1 200 °F (649 °C), se mantiene un juego de muestras a la temperatura constante (isotérmica) de 1 200 °F (649 °C). A intervalos regulares se retira una muestra y se enfría rápidamente en salmuera con hielo. Por medio del examen microscópico se verá martensita si

la transformación no ha empezado aún, pero si ésta ya se inició, se verá martensita y perlita (en este caso) y sólo se podrá ver perlita si la transformación ya es completa. En la gráfica se coloca una marca indicando el tiempo y la temperatura. Este procedimiento se repite con otras muestras a otras temperaturas hasta que se obtiene la gráfica completa para ese acero particular (**figura 10**).

La escala vertical de la izquierda representa la temperatura y la escala horizontal de abajo representa el tiempo. Se grafica en una escala logarítmica que corresponde a un minuto, 1 hora, 1 día y 1 semana. Las letras Ms pueden encontrarse a una temperatura específica para cada tipo de acero. Ms representa la temperatura a la cual la austenita empieza a transformarse en martensita durante el enfriamiento. La temperatura Mf es el punto al cual finaliza o se encuentra cerca del 100% la transformación de la austenita en martensita durante el enfriamiento. Algunas veces se reemplaza ésta por un porcentaje de transformación.

### **2.2.1.3 PRODUCTOS DE TRANSFORMACIÓN**

La austenita, cuando se enfría a una temperatura inferior a la de transformación y se mantiene a una temperatura constante, se descompone en varios productos de transformación tales como perlita, ferrita o bainita. La austenita que contiene 0.89%

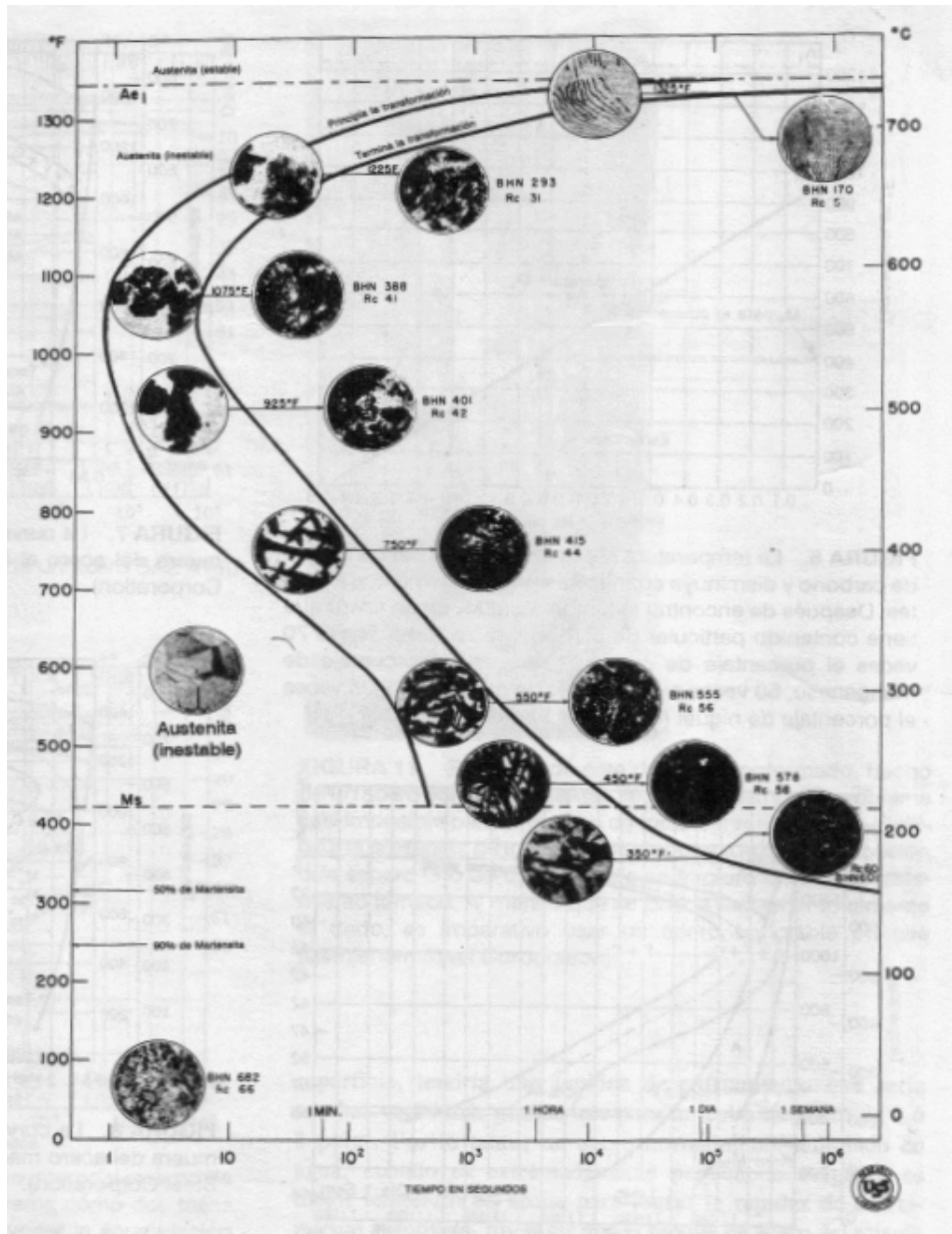


**Figura 10** Método para graficar un diagrama TTT. Las muestras austenizadas se colocan en un horno o baño de sal y se mantienen a una temperatura específica. A intervalos específicos se sacan y se templan en salmuera. Se marca cada muestra según su periodo y luego se prepara y se examina con un microscopio para verificar la falta de productos de transformación (en ese caso sería totalmente martensita) o su porcentaje de transformación y el tiempo al cual el intervalo de transformación principió y terminó. Probablemente se usarían muchas más muestras para una gráfica a una temperatura simple que lo que indica este diagrama.

enfriada rápidamente de carbono y mantenida a 1 300 °F (704 °C), por ejemplo, no se empieza a descomponer o a transformar hasta después de tres minutos y no se descompone completamente hasta que se encuentra a esa temperatura durante más de 1 hora (**figura 11**). A esta temperatura se ha desarrollado una estructura perlítica muy gruesa y el material es muy blando. Si la austenita se enfría rápidamente, y se mantiene a una temperatura inferior a 1 200 °F (649 °C), la descomposición empieza a los 5 segundos y es completa después de unos 30 segundos. La perlita resultante es de grano grueso y ligeramente más dura. A una temperatura de 1 000 °F (538 °C) la austenita se descompone rápidamente. Sólo le toma un segundo antes de que principie la transformación y 5 segundos para terminarla. La perlita resultante es extremadamente fina y su dureza es relativamente alta. A esta región de la curva S. cuando ocurre la descomposición de la austenita, se le conoce como *la nariz de la curva de un diagrama de transformación isotérmica (TI)*.

#### **2.2.1.4 CURVAS DE ENFRIAMIENTO**

Si la austenita se enfría a temperaturas por debajo de la nariz de la curva (600 °F ó 315 °C) y se mantiene a estas temperaturas durante el tiempo suficiente, la transformación producirá bainita. Si la austenita se enfría rápidamente a una temperatura inferior a la línea Ms, el producto será martensita. Como se ve, esta transformación a martensita es completa a la temperatura Mf. Estas temperaturas varían considerablemente en los aceros y son una función del contenido de carbono. Las temperaturas Ms y Mf son más bajas para los aceros al alto carbono que para los aceros al bajo carbono (**figura 12**).



**Figura 11** El diagrama TTT de un acero con 0.89% de carbono (Copyright 1951, United States Steel Corporation)

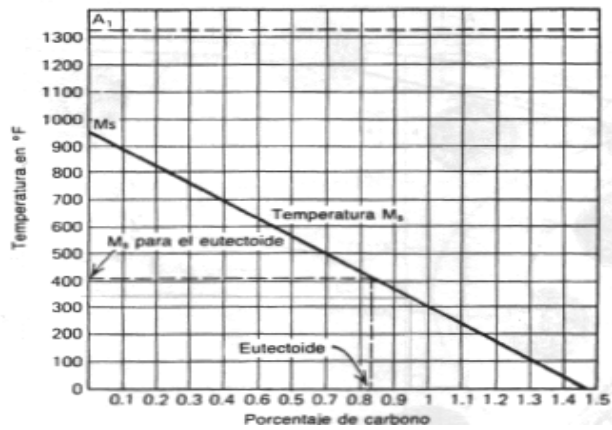
Si se superpone una curva de enfriamiento (**figura 14**) sobre el diagrama ITT, puede verse que debe pasar a la izquierda de la nariz 1 del diagrama para que ocurra la transformación a martensita. Sin embargo, si la tasa de enfriamiento es demasiado

lenta la curva de enfriamiento cortará la nariz del diagrama, mostrándose que ocurre una transformación parcial o completa en ese punto 2) y que la perlita fina más la martensita son las estructuras que se desarrollaron en vez de la martensita deseada. Por lo tanto, la tasa de enfriamiento para un temple dado debe ser tal que la nariz del diagrama quede a la derecha de la curva de enfriamiento. Sin embargo, la formación de martensita depende de la temperatura, no del tiempo.

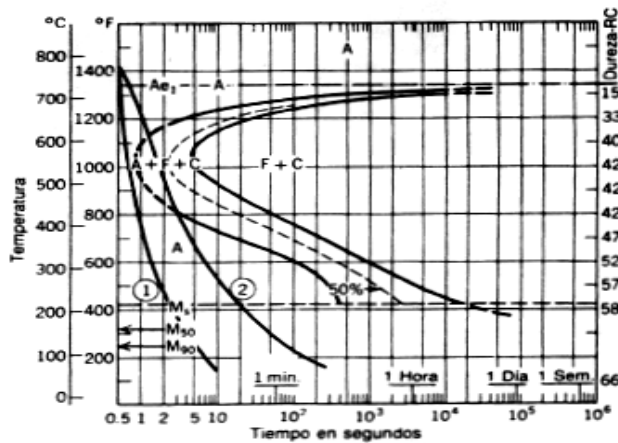
En algunos aceros existe un problema de austenita retenida aún después de que se utilicen procedimientos de temple correctos. Algunos aceros para herramientas retendrán austenita aun por debajo de la temperatura  $M_f$ . Un revenido apropiado o tratamientos de subcero usualmente transformarán en forma completa la austenita a martensita. La austenita retenida puede causar serios problemas en los aceros para herramientas endurecidas, tales como fragilidad y agrietamientos, debido a una transformación a martensita no revenida en cualquier momento, provocados por esfuerzos externos o ciclos térmicos.

#### **2.2.1.5 TASA DE ENFRIAMIENTO CRÍTICA**

Aleaciones diferentes pueden afectar la forma de los diagramas TTT. Un incremento en el contenido de carbono mueve la curva S hacia la derecha (incrementa el tiempo antes de que ocurra la transformación). El tamaño de grano también afecta la templabilidad (la propiedad que determina la profundidad y la distribución de la dureza inducida por el temple de una aleación ferrosa). Los aceros al carbono de grano más grande también disponen de más tiempo para la transformación. Esto también mueve la curva S hacia la derecha. La adición de aleación al acero también mueve la curva S hacia la derecha.

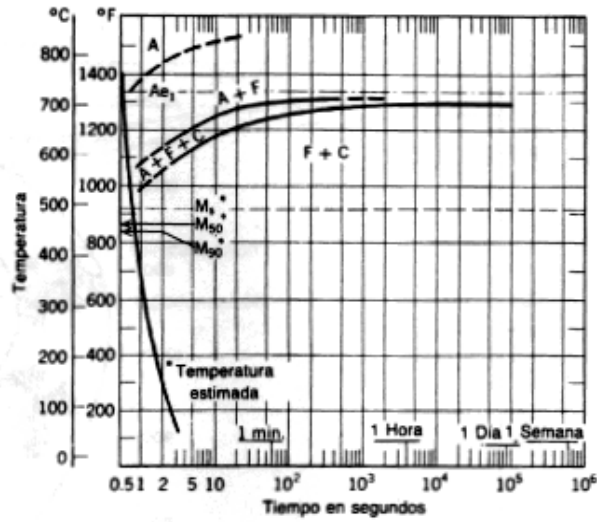


**figura 12** La temperatura M. es una función del contenido de carbono y disminuye cuando se agregan elementos aleantes. Después de encontrar la temperatura Ms de un acero que tiene contenido particular de carbono, reste lo siguiente: 70 veces el porcentaje de cromo, 70 veces el porcentaje de manganeso, 50 veces el porcentaje de molibdeno y 35 veces el porcentaje de níquel (en grados Fahrenheit)

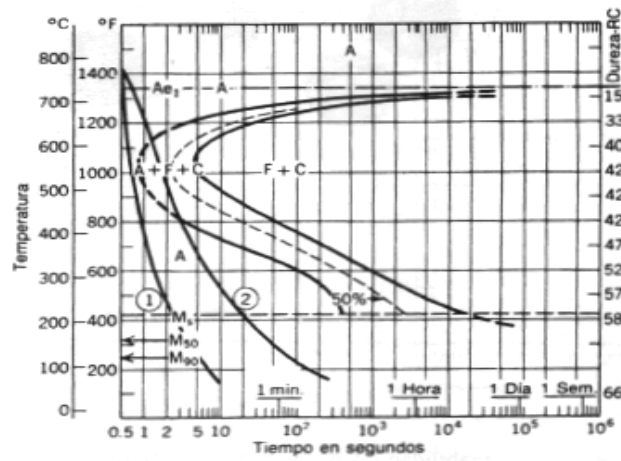


**Figura 13** Se muestran dos curvas de enfriamiento aproximadas sobre un diagrama ITT del acero SAE 1095 para ilustrar la necesidad de un enfriamiento suficientemente rápido con el fin de evitar el corte de la nariz del diagrama (United States Steel Corporation).

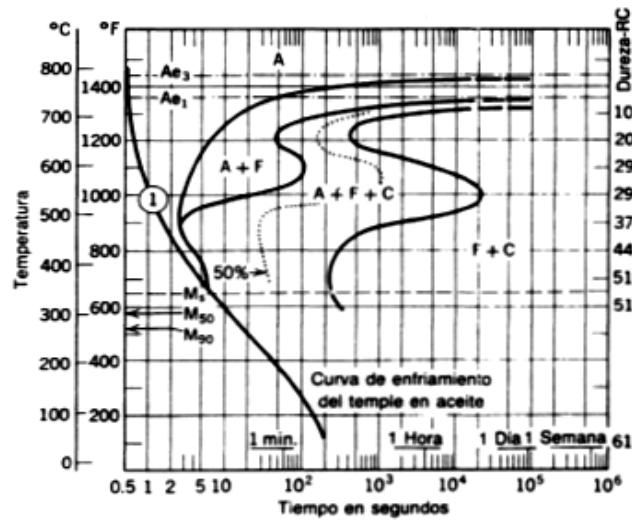




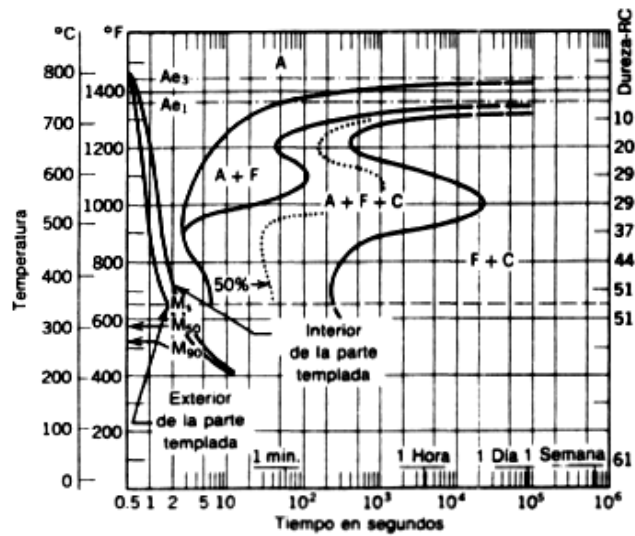
**Figura 14** La curva de enfriamiento para el temple en salmuera del acero al carbono SAE 1008 (United States Steel Corporation).



**Figura 15** La curva de enfriamiento para el temple en salmuera del acero manganeso modificado 1034 (United States Steel Corporation).



**Figura 16** La curva de enfriamiento de un acero SAE 4140 (United States Steel Corporation)



**Figura 17** Las curvas de enfriamiento interno y externo de la misma parte muestran en este diagrama cómo dos tasas diferentes de enfriamiento pueden provocar la acumulación de altos esfuerzos los cuales resultan algunas veces en agrietamientos debidos al temple (United States Steel Corporation).

Un acero al bajo carbono simple no puede endurecerse para propósitos prácticos debido a que la nariz del diagrama está en o cae cerca de la línea de tiempo cero y sería imposible evitar cortarla con el temple o la curva de enfriamiento (**figura 14**). Sin embargo, con aceros de más de 0.30% de carbono es posible enfriar lo bastante rápido como para efectuar una transformación parcial a martensita (**figura 15**). El acero al carbono simple de 0.83% C debe enfriarse rápidamente en agua para que el temple sea lo suficientemente rápido como para que ocurra en los 1 ó 2 segundos necesarios para evitar el corte de la nariz en el diagrama. Por lo tanto, la tasa de enfriamiento crítica es la tasa de enfriamiento a la cual se evita el corte de la nariz de la curva S.

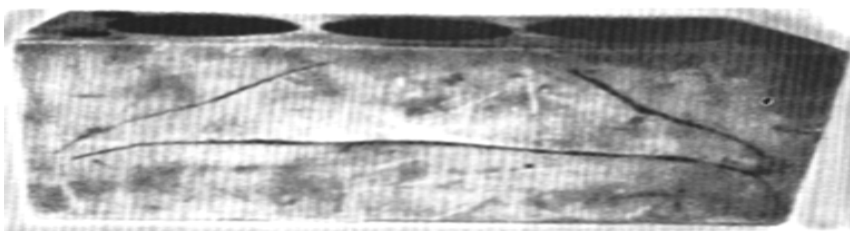
Los aceros endurecidos en aceite con elementos aleantes, tales como cromo y molibdeno, hacen que la nariz del diagrama se mueva hacia la derecha, incrementando así el tiempo en el cual puede ocurrir el endurecimiento. A menudo, también se modifica la forma de la nariz. Estos cambios permiten muchas veces disponer de un largo tiempo para que ocurra el temple. Es fácil ver en el diagrama TTT cómo afecta la rapidez de enfriamiento a los aceros templados en aceite (**figura 17**) y a los aceros templados en el aire (temple profundo). La transformación a martensita depende de tres factores:

1. Masa de la probeta
2. Severidad del temple
3. Templabilidad del material

El área de superficie de la probeta y el espesor tienen un efecto considerable en la rapidez de enfriamiento. Una parte muy delgada, tal como una hoja de rasurar, con una gran área de superficie, tendría una rapidez de enfriamiento que sería muchas veces más grande que para un cubo de acero de 2 ó 3 pulga. Por lo tanto, un acero normalmente templado en agua, cuando es extremadamente pequeño o delgado, es mejor templarlo en aceite para lograr la rapidez de enfriamiento

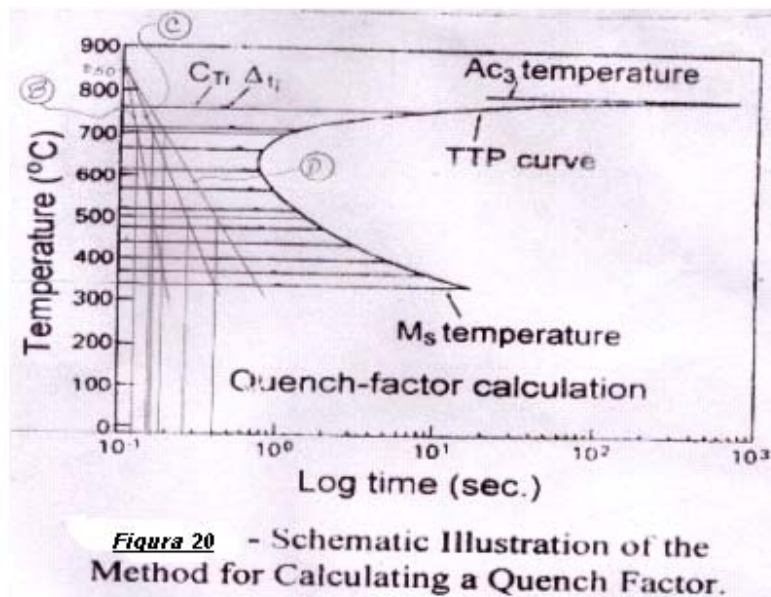
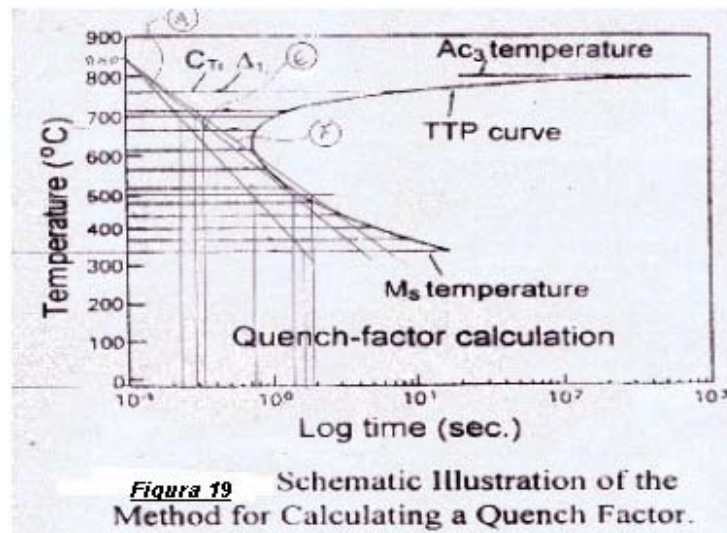
apropiada, mientras que el bloque de acero del mismo material, no logrará el enfriamiento crítico ni en un temple severo de agua salada fría.

Normalmente, los aceros templados en agua se endurecerán sólo hasta una profundidad de aproximadamente 1/8 de pulg mientras que el núcleo queda bastante blando. Estos aceros se denominan aceros de temple superficial. Un acero de 1 o 2 pulg de espesor enfriado al aire puede enfurecerse completamente hasta el núcleo. Este es un acero de temple profundo. Al incrementarse el tiempo en el cual ocurre el temple, se incrementa la profundidad del endurecimiento. Cuando se utilizan velocidades drásticas de temple, tales como en salmuera o en agua, los esfuerzos en la parte provocados por la rapidez de enfriamiento diferentes del interior y el exterior de la parte pueden causar arqueo y agrietamiento (**figura 17**). Los aceros templados en agua son particularmente propensos a este problema. La rapidez menor de enfriamiento del aceite y del aire permiten un enfriamiento más uniforme y, por ello, estos aceros se agrietan y arquean menos. Por esta razón, cuando tengan que tratarse térmicamente secciones grandes o pesadas, debe seleccionarse un acero aleado que pueda templarse en aceite o en aire (**figura 18**)



**Figura 18** El diseño de este dado de conformado, hecho de un acero para herramientas tipo W1, presenta un problema casi imposible para el técnico de tratamientos térmicos. Debido a la presencia de los agujeros ciegos ya la delgada sección que separa uno de otro, el dado se fracturó durante el tratamiento térmico. Al menos que se pueda rediseñar totalmente el dado, es imperativo usar un acero templeable en aire (Bethlehem Steel Corporation).

## 2.2.2 FACTOR DE ENFRIAMIENTO O TEMPLE



En las **Figuras 19 y 20** se trazan pendientes para determinar los tiempos de Cambio de estructura del Acero AISI 1045, el cual por sus propiedades <sup>10</sup> se toma para los cálculos del Factor de Temple o Enfriamiento, <sup>11</sup> corroborando a su vez, la velocidad crítica de Enfriamiento (200, 600) °C/seg. Los parámetros de cálculos son: temperatura de temple (850 °C), puntos de la pendiente (700, 500) C° y tiempo (segundos).

$$\begin{array}{l} \mathbf{A.-} \quad 700 \rightarrow 0.155 \quad 10^x = 1.4289 \quad \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{700 - 500}{5.14 - 1.4289} = 53.88 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg} \\ \quad \quad 500 \rightarrow 0.71 \quad 10^x = 5.14 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{B.-} \quad 700 \rightarrow 0.0366 \quad 10^x = 1.088 \quad \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{700 - 500}{1.183 - 1.088} = 2105 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg} \\ \quad \quad 500 \rightarrow 0.0733 \quad 10^x = 1.183 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{C.-} \quad 700 \rightarrow 0.0696 \quad 10^x = 1.1728 \quad \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{700 - 500}{1.54 - 1.1728} = 543.62 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg} \\ \quad \quad 500 \rightarrow 0.188 \quad 10^x = 1.54 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \mathbf{D.-} \quad 700 \rightarrow 0.0977 \quad 10^x = 1.252 \quad \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{700 - 500}{2.137 - 1.252} = 223.98 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg} \\ \quad \quad 500 \rightarrow 0.33 \quad 10^x = 2.137 \end{array}$$

<sup>10</sup> Tabla 2.1.2 Aceros para Temple y Revenido

<sup>11</sup> HEAT TREATING, Sandra j. midea-George D Pfaffmann, Artículo "Simplified Property Predictions for AISI 1045 Based on Quench Factor Analysis, Página 292.

**E.-**

700 → 0.209	$10^x = 1.618$	$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{700 - 500}{11.35 - 1.618} = 20.55 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg}$
500 → 1.055	$10^x = 11.35$	

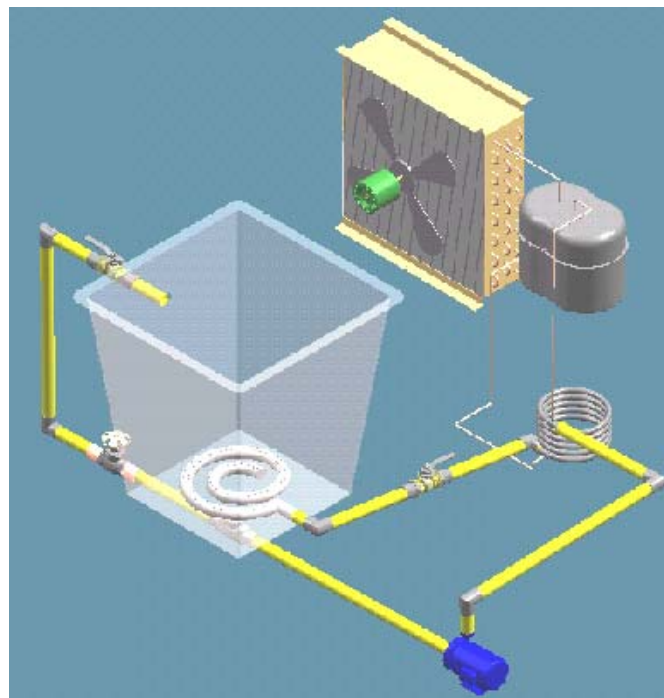
**D.-**

700 → 0.2563	$10^x = 1.8042$	$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{700 - 500}{12.525 - 1.8042} = 18.65 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{seg}$
500 → 1.097	$10^x = 12.525$	

Las Pendientes C y D están dentro del rango crítico de Velocidad de Enfriamiento, el cual es de 200 a 600 °C/seg

## 2.3 CALCULOS DEL SISTEMA

### 2.3.1 CARGA TERMICA



**Figura. 21**  
Diagrama de Refrigeración e Hidráulico

$$Q = mc\Delta T = \rho v c \Delta T$$

Se evalúan las propiedades a  $T_m = \frac{T_s + T_e}{2} = \frac{860^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{2} = 440^\circ\text{C} = 440^\circ\text{K}$

**Datos:**

**T<sub>s</sub>** = Temperatura con la cual, la pieza sale del horno

**T<sub>e</sub>** = " del flujo convectivo, distante de la película hidrodinámica

**Pieza**  $m = 30 \text{ Kg}$

**AISI 1045**

$$\rho = 7840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad K = 40.474 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad C = 643.5475 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q = (30)\text{Kg} (643.5475) \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} (860 - 20)^\circ\text{K} = 16217397 \text{ J} = 15371.1265 \text{ BTU}$$

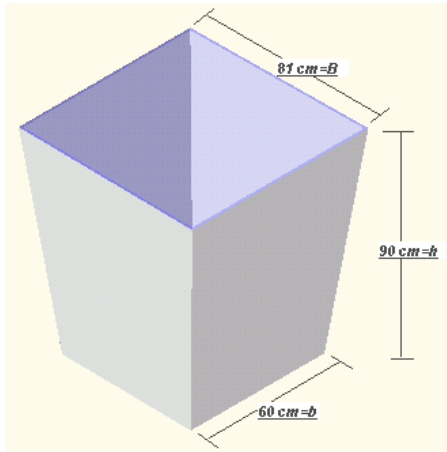
**Volumen de agua**

$$Q = mc\Delta T = \rho v c \Delta T \quad \Delta T = (25 - 15)^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C} \quad \rho = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \quad C = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}}$$

$$v = \frac{Q}{\rho c \Delta T} = \frac{(15371.1265)\text{BTU}}{(62.4)\text{lb}/\text{ft}^3 (1)\text{BTU}/\text{lb} \cdot \text{F} (18)^\circ\text{F}} = 13.68 \text{ ft}^3 = 387.51 \text{ l}$$

**Volumen recipiente**





**H** = Altura.

**B** = Area base superior.

**b** = Area base inferior

$$V = \frac{h}{3} [B + b + \sqrt{B * b.}]$$

$$V = 0.45 m^3 = 450 l$$

**Figura 22**

### 2.3.2 CARGAS TERMICAS EN PAREDES

**Datos:**

**Placa Metálica**

Acero..A36      $x = \frac{1}{8} in$       $K = 460 \frac{BTU in}{h ft^2 \circ F}$

**Aire**

$Vel = 7.5 mph$       $T = 32^\circ C$       $C = 4 \frac{BTU}{h ft^2 \circ F}$

**Aislante Térmico**

Poliuretano :      $\rho = 35 \frac{Kg}{m^3}$       $C = 0.17 \frac{BTU}{h ft^2 \circ F}$       $x = 1.5 in$  <sup>12</sup>

<sup>12</sup> Roy J. Dossat, Tabla 10.4, página 196

## Agua

$$x = 1 \text{ in capa hidrodinámica } K = 4.14 \frac{\text{BTU in}}{\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \quad C = \frac{K}{x} = \frac{4.14}{1} \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \quad 13$$

$$Q = UA\Delta T \quad \frac{1}{U} = \frac{1}{f_0} + \frac{x_1}{K_1} + \frac{x_2}{K_2} + \frac{1}{f_i} \quad 14$$

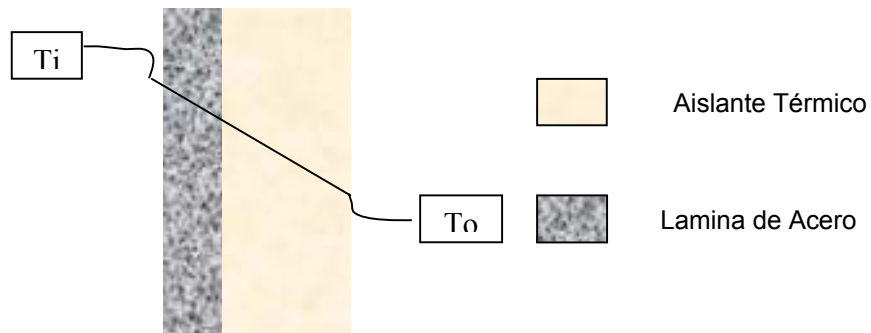
Q = Cantidad de calor transferida en BTU por hora.

A = Área de la superficie de la pared externa en pies cuadrados

U = Coeficiente total de transmisión de calor en BTU por hora por pie cuadrado por grado Fahrenheit.

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura a través de la pared en grados Fahrenheit.

## Paredes laterales y tapa superior



**Figura 23** Diagrama de flujo de calor a través de las paredes y tapa superior

<sup>13</sup> B.V. Karlekar R.M. Desmond, Apéndice E-1, página 755

<sup>14</sup> Roy J. Dossat, Ec. 10-5, página 197

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1.5}{0.17} + \frac{0.125}{460} + \frac{1}{4.14}} = \frac{1}{9.3153} = 0.10735 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A_{lateral} = \frac{(B+b)}{2} h = \frac{(0.74+0.55)}{2} m (0.7)m = 0.4515 m^2 = 0.0486 \text{ ft}^2$$

$$A_{tapa} = l^2 = (0.74)^2 m^2 = 0.5476 m^2 = 0.05894 \text{ ft}^2$$

$$4A_{lateral} = (4)(0.0486) \text{ ft}^2 = 0.1944 \text{ ft}^2 \quad A_{base} = l^2 = (0.55)^2 = 0.3025 m^2 = 0.03256 \text{ ft}^2$$

$$\Delta T = (89.6 - 68)^\circ\text{F} = 21.6^\circ\text{F}$$

$$Q_{laterales} = UA\Delta T = (0.10735) \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} (0.1944) \text{ ft}^2 (21.6)^\circ\text{F} = 0.4508 \text{ BTU/h}$$

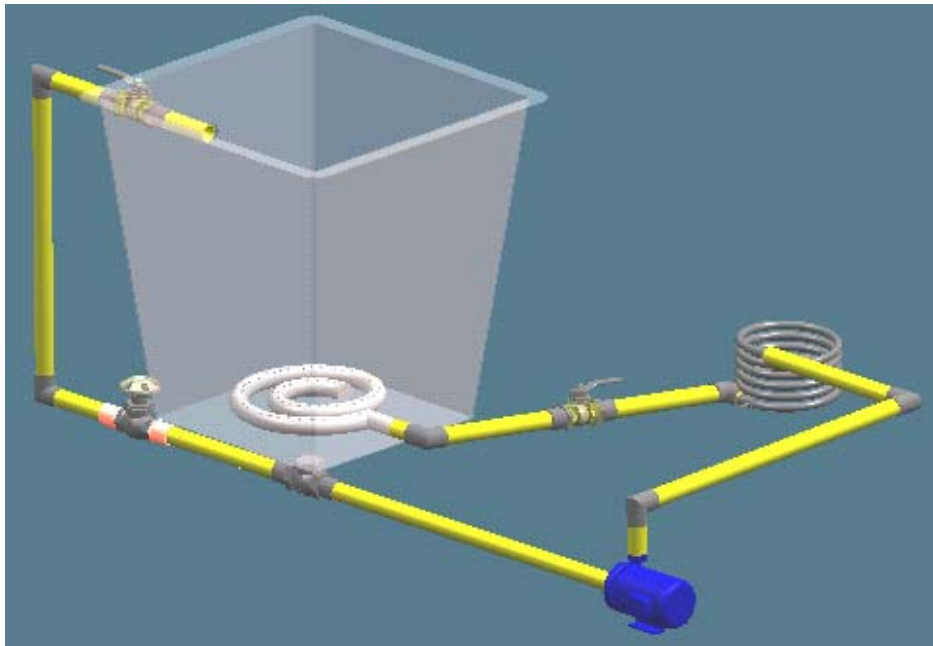
$$Q_{base} = (0.10735) \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} (0.03256) \text{ ft}^2 (21.6)^\circ\text{F} = 0.0755 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{tapa} = (0.10375) \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} (0.05894) \text{ ft}^2 (21.6)^\circ\text{F} = 0.1321 \text{ BTU/h}$$

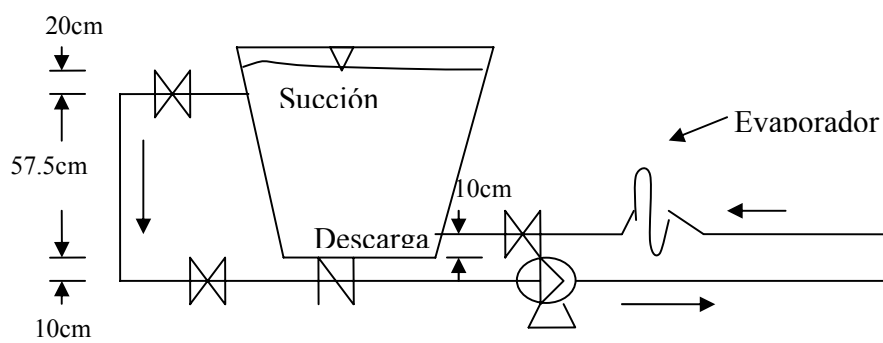
$$Q_{total} = (0.4508+0.0755+0.1321) \text{ BTU/h} = 0.6584 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{TOTAL} = Q_{probeta} + Q_{total} = 15371.1265 \text{ BTU/h} + 0.6584 \text{ BTU/h} = 15371.7849 \text{ BTU/h}$$

### 2.3.3 SISTEMA HIDRAULICO



**Figura 24** Diagrama Hidráulico



**Figura 25** Circuito Hidráulico.

## Datos:

### Agua

$$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 68\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\nu = 1.02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg} \quad \mu = 1.02 * 10^{-3} \text{ N seg}/\text{m}^2 (\text{Pa seg})$$

### Tubería PVC

$$\phi_{no\ min\ al} = 1.5\ in \quad \phi_{real} = 0.0488\ m = 1.92126\ in \quad \phi_{pared} = 3.4\ mm \quad \phi_{int\ erno} = 0.042\ m$$

### Rapidez de flujo de volumen:

$$Q = Vel * A = \frac{\pi (10) \text{ ft}/\text{seg} (0.1378)^2 \text{ ft}^2}{4} = 0.1491 \text{ ft}^3/\text{seg} = 0.00422 \text{ m}^3/\text{seg} = 4.22 \text{ l}/\text{Seg}$$

$$Q = .02533 \text{ m}^3/\text{min} = 66.92 \text{ gal}/\text{min}$$

### Rapidez de flujo de peso:

$$W = \gamma * Q = (9.79) \text{ KN}/\text{m}^3 (0.02533) \text{ m}^3/\text{min} = 2.4798 \text{ KN}/\text{min}$$

### Rapidez de flujo de masa:

$$M = \rho * Q = 998 \text{ Kg}/\text{m}^3 (0.02533) \text{ m}^3/\text{min} = 252.7934 \text{ Kg}/\text{min}$$

### Reynolds:

$$Re = \frac{Vel * D * \rho}{\mu} = \frac{Vel * D}{\nu} = \frac{(3.048) \text{ m}/\text{seg} (0.042) \text{ m}}{1.02 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}} = 125505.88$$

**Factor de fricción:**

$$f = 0.01735 \quad (\text{Diagrama de Moody})^{15}$$

**Rugosidad absoluta PVC:**

$$\epsilon = 1.5 * 10^{-6} \text{ m}^{16}$$

**Rugosidad relativa:**  $\frac{\epsilon}{D} = \frac{1.5 * 10^{-6} \text{ m}}{0.042 \text{ m}} = 3.57 * 10^{-5}$

### 2.3.3.1 PERDIDAS MENORES<sup>17 18</sup>

**K<sub>m</sub>** = Coeficiente de pérdidas menores del accesorio.

Dos válvulas de compuerta:

$$K_m = (2)(16) = 0.32$$

Una válvula de verificación de bola (Caudalímetro):

$$K_m = 7.1$$

Una válvula de retención:

$$K_m = 2.5$$

Cuatro codos de 90°:

$$K_m = (4)(.63) = 2.52$$

$$\sum K_m = 13.48$$

**h<sub>m</sub>** = Energía por unidad de peso, perdida en el accesorio.

**Vel** = Velocidad media del flujo en la tubería.

**G** = Aceleración de la gravedad.

$$h_m = K_m \frac{Vel^2}{2g} = (13.48) \frac{[(3.048) \text{ m/seg}]^2}{2 (9.81) \text{ m/seg}^2} = 6.383 \text{ m}$$

**h<sub>f</sub>** = Pérdidas por fricción en las tuberías.

**L** = Longitud de la tubería.

---

<sup>15</sup> MECANICA DE FLUIDOS APLICADA, Robert L. Mott, Págin 241

<sup>16</sup> MECANICA DE FLUIDOS APLICADA, Robert L. Mott, Página 240

<sup>17</sup> MECANICA DE FLUIDOS APLICADA, Robert L. Mott, Capítulo 10, Página 267

<sup>18</sup> MINOR EN DISEÑO DE INGENIERIA, Módulo: Cálculo y Diseño de Tuberías

**D** = Diámetro interno de la tubería.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{Vel^2}{2g} = (0.01735) \frac{(7.35)m}{(0.042)m} \frac{\left[ \frac{(3.048)m}{seg} \right]^2}{2(9.81)m/seg^2} = 1.4377 m$$

$$h_L = h_m + h_f = 6.383 m + 1.4377 m = 7.8207 m$$

**Ecuación general de la energía:**

**p / γ** = Cabeza de succión.

**Z** = Cabeza de elevación.

**V<sup>2</sup> / 2g** = Cabeza de velocidad.

**H** = Cabeza total.

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

**V<sup>2</sup> / 2g:** Es igual en la succión y en la descarga por lo tanto su diferencia es cero, entonces queda la siguiente expresión:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L \quad \text{pero } p = \gamma * h \quad \text{entonces:}$$

$$H = \left( \frac{h_2 - h_1}{\gamma} \right) \gamma + (Z_2 - Z_1) + h_L = (0.675 - 0.20)m + (0.20 - 0.675)m + 7.8207 m \rightarrow$$

$$\mathbf{H = 7.8207 m}$$

### 2.3.3.2 POTENCIA DE LA BOMBA

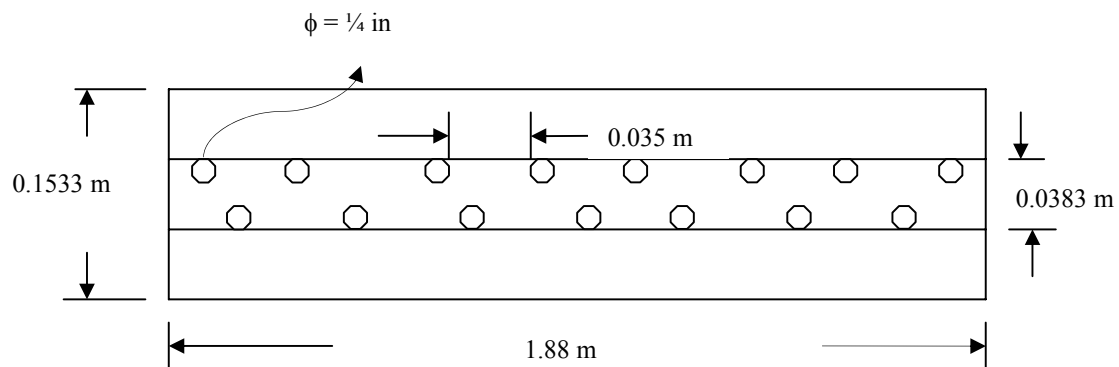
$\eta$  = Eficiencia mecánica de la bomba = 70% <sup>19</sup>

**P** = Potencia de la bomba.

$$P = \frac{1}{\eta} \gamma Q H = \frac{1}{0.7} (9.79) \text{ KN/m}^3 (0.00422) \text{ m}^3/\text{seg} (7.8207) \text{ m} = 0.4615755 \text{ Kw}$$

**P = 0.618983 Hp**

### 2.3.3.3 VELOCIDAD EN LA FLAUTA



**Figura 26** Diagrama perimetral de la Flauta. 43 orificios distribuidos en  $\frac{1}{4}$  del perímetro a lo largo de 1.88 mts.

**P<sub>e</sub>** = Perímetro del tubo.

**D<sub>e</sub>** = Diámetro exterior del tubo.

**A<sub>o</sub>** = Area orificio.

**D<sub>o</sub>** = Diámetro orificio

$$P_e = \pi * D_e = \pi(0.0488)m = 0.1533m$$

$$A_o = \pi * \frac{D_o^2}{4}$$

<sup>19</sup> MECANICA DE FLUIDOS APLICADA, Robert L Mott, ,Página 202



$$Vel = \frac{Q}{A_o} = \frac{(0.00422)m^3/seg (4)}{\pi (0.00635)^2 m^2} = 133.2524 m/seg = (437.1799) ft/seg \quad (Por \ un \ orificio)$$

### Flauta:

Radio medio círculo interior = 20 cm

$$P_e = \pi * D = \pi (40) cm = 125.66 cm$$

Radio medio círculo exterior = 10 cm

$$P_e = \pi * D = \pi (20) cm = 62.83 cm$$

**Pe<sub>Total</sub> = 188 cm**

### Número de orificios de la flauta:

Con la velocidad de flujo calculamos el número de orificios, entonces:

**A** = Area transversal del orificio.

**Q** = Rapidez de flujo de volumen

$$V = \frac{Q}{A} \Rightarrow (3.048)m^3/seg = \frac{(0.00422)m^3/seg (4)}{x \pi (0.00635)^2 m^2} \Rightarrow x = 43 \text{ orificios}$$

### Espacio entre orificios:

$$Espaciado = \frac{P_e - (x * D)}{\#_{espacios}} = \frac{188 cm - (43)(0.00635) cm}{45} = 3.5 cm$$

### 2.3.3.3.1 TIEMPO DE CAMBIO TOTAL DEL AGUA:

Este cálculo se hace de dos formas: dividiendo el *volumen del agua entre la rapidez de flujo de volumen* y utilizando el *Tiempo de vaciado de depósitos*<sup>20</sup>

**Volumen del agua entre la rapidez de flujo de volumen:**

$$t = \frac{V_{\text{agua}}}{Q} = \frac{381.5194 \text{ l}}{4.22 \text{ l/seg}} = 90.41 \text{ seg}$$

$$\mathbf{t = 1_{\text{min}} 30.41_{\text{seg}}}$$

**Tiempo de vaciado de depósitos.**

$$Q = -A_T h$$

En el intervalo de tiempo  $dt$ , el pequeño volumen  $dv$  evacuado será  $Q dt$ . En el mismo intervalo de tiempo, la altura de carga disminuirá  $dh$  y el volumen evacuado será el área del depósito  $A_T$  por  $dh$ , entonces queda:

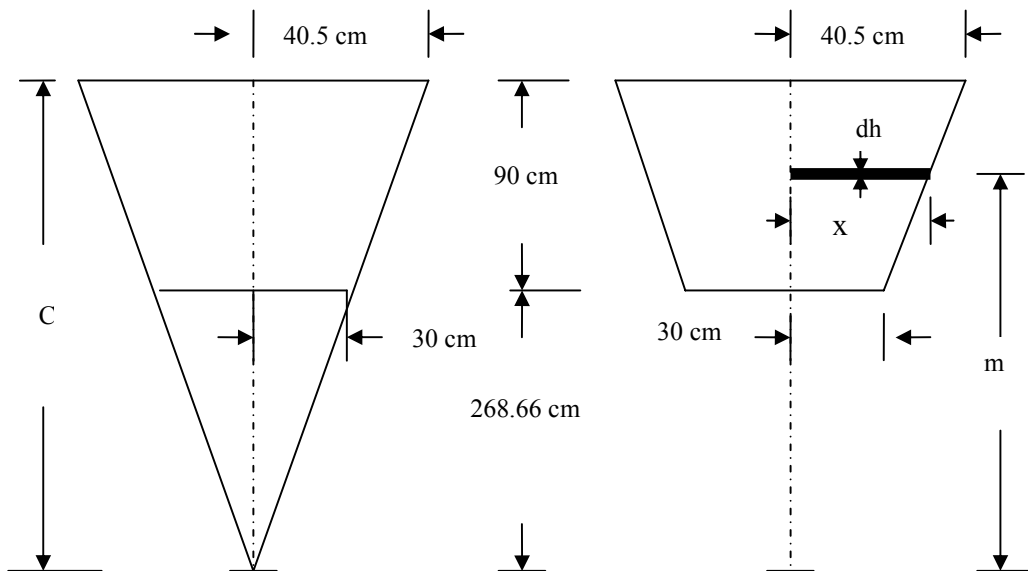
$$Q dt = -A_T dh \text{ }^{21}$$

donde el signo negativo indica que  $h$  disminuye al aumentar  $t$ .

---

<sup>20</sup> MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E HIDRÁULICA, Schaun, Tercera edición, Página 281

<sup>21</sup> MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E HIDRÁULICA, Schaun, Tercera edición, Páginas 307-308



**Figura 27**

Por semejanza de triángulos se halla la dimensión  $C$  pero  $m = C - 90$  entonces:

$$\frac{m}{C} = \frac{30\text{ cm}}{40.05\text{ cm}} \Rightarrow \frac{C - 90\text{ cm}}{C} = \frac{30\text{ cm}}{40.05\text{ cm}} \Rightarrow \frac{90\text{ cm}}{C} = 1 - \frac{30\text{ cm}}{40.05\text{ cm}} \Rightarrow C = 358.66\text{ cm}$$

luego, se puede expresar  $x$  en función de  $h$  para hallar el área transversal  $A_T$ .  
entonces por semejanza de triángulos nuevamente:

$$\frac{x}{40.05} = \frac{268.66\text{ cm} + h}{358.66\text{ cm}} \Rightarrow x = \frac{2.6866m + h}{8.955} \quad \text{reemplazando } x \text{ en } A_T, \text{ se tiene que}$$

$$A_T = 2x * 2x = 4x^2 \Rightarrow A_T = 4 \left( \frac{2.6866 + h}{8.955} \right)^2 = (4.988 * 10^{-2}) (2.6866 + h)$$

Siendo la rapidez de flujo de volumen  $Q = 0.00422 \text{ m}^3/\text{seg}$ , entonces se reemplaza  $Q$  y  $A_T$  en la ecuación

$$Q dt = -A_T dh \Rightarrow (0.00422) dt = -(4.988 * 10^{-2})(2.6866 + h)^2 dh$$

$$dt = -(11.82)(2.6866 + h) dh \Rightarrow \int_0^t dt = -(11.82) \int_{0.9}^0 (2.6866 + h)^2 dh \Rightarrow$$

$$\int_0^t dt = (11.82) \int_0^{0.9} (2.6866 + h)^2 dh \quad \text{entonces integrando se tiene}$$

$$t = (11.82) \left[ (2.6866)^2 h + (2.6866)h^2 + \frac{h^3}{3} \right]_0^{0.9} = (11.82) [6.496 + 2.1761 + 0.243] \Rightarrow$$

$$t = (11.82)(8.5191) = 105.37 \text{ seg}$$

$$\mathbf{t = 1_{\min} 45.37_{\text{seg}}}$$

### 2.3.3.3.2 SOFTWARE DE HIDRAUICA DE TUBERIAS <sup>22</sup>

Este Software permite hacer el cálculo de las perdidas por accesorio, por fricción en las tuberías, la potencia requerida para impulsar el fluido, diámetro real y comercial, caudal y velocidad de flujo; con ello le proporciona al Ingeniero versatilidad, seguridad y confianza para el diseño. En las **figuras 30, 31, 32 y 33** se presentan los resultados obtenidos con el software que comparados con los cálculos hechos manualmente dan un error promedio del 10.29 %, lo cual es

---

<sup>22</sup> MINOR EN DISEÑO DE INGENIERIA MECANICA 2003-2004, Módulo: Calculo y diseño de tuberías.

satisfactorio comparado con el 12 % de los parámetros normales en los casos de cálculo con software.

Variable	Calculo manual		Calculo software		Error	
Vel	3.048	m/seg	3.095	m/seg	1.5	%
Q	0.00422	m <sup>3</sup> /seg	0.006	m <sup>3</sup> /seg	30	%
D <sub>nominal</sub>	1.5	in	2	in	25	%
D <sub>interno</sub>	0.042	m	0.05	m	16	%
H	7.8207	m	7.813	m	-0.098	%
P	0.4616	Kw	0.4612	Kw	-0.087	%
Re	125505.88		125171.085		-0.2675	%

**Figura 28** Cuadro comparativo de variables



**Figura 29** Logotipo del software de hidráulica de tuberías.

Longitud	<input type="text" value="7.35"/>	<input type="text" value="mts."/>			
caudal Q	<input type="text" value="4.22"/>	<input type="text" value="lts/s"/>			
Rugosidad ks	<input type="text" value=".0015"/>	<input type="text" value="mm."/>			
$\Sigma$ km	<input type="text" value="13.48"/>				
Cabeza Total H	<input type="text" value="7.8207"/>	<input type="text" value="mts."/>	Densidad $\rho$	<input type="text" value="998"/>	<input type="text" value="kg/m³"/>
Altura Z2	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="cms."/>	Viscosidad $\mu$	<input type="text" value="0.00102"/>	<input type="text" value="Pa·s"/>

**Figura 30** Datos de Altas pérdidas menores Diseño de tubería simples. Programa 5

## RESULTADOS

Diámetro real:	<input type="text" value="0.050"/>	<input type="text" value="mts."/>	Caudal:	<input type="text" value="0.006"/>	<input type="text" value="m³/s"/>
Pérdidas por fricción hf:	<input type="text" value="1.238"/>	<input type="text" value="mts."/>	Velocidad:	<input type="text" value="3.095"/>	<input type="text" value="m/s"/>
Pérdidas menores hm:	<input type="text" value="6.58"/>	<input type="text" value="mts."/>			
<hr/>					
Diámetro Comercial:	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="pulg."/>	Caudal:	<input type="text" value="0.006"/>	<input type="text" value="m³/s"/>
Pérdidas por fricción hf:	<input type="text" value="1.238"/>	<input type="text" value="mts."/>	Velocidad:	<input type="text" value="3.095"/>	<input type="text" value="m/s"/>
Pérdidas menores hm:	<input type="text" value="6.583"/>	<input type="text" value="mts."/>			

**Figura 31** Resultado de Altas pérdidas menores Diseño de tubería simples Programa 5

Diámetro	0.042	mts.
Longitud	7.35	mts.
Rugosidad (ks)	0.0015	mm.
$\Sigma$ km	13.48	

Cabeza H1	0.20	mts.
Altura Z1	0.675	mts.
Cabeza H2	0.675	mts.
Altura Z2	0.20	mts.
Eficiencia de Bombeo	70	%

Densidad $\rho$	998	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad $\mu$	1.02e-3	Pa·s
Caudal Q	4.22	lts/s

Figura 32 Datos Potencia tuberías simples. Programa 3

## RESULTADOS

Cabeza de Bombeo:	7.813	mts.
Potencia:	46118.125	wa.

---

Pérdidas menores hm:	6.374	mts.
Pérdidas por fricción hf:	1.439	mts.
No. de Reynolds Re:	125171.085	

Figura 33 Resultado Potencia tuberías simples. Programa 3

## CAPITULO III

### 3. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO.

#### 3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE REFRIGERACION <sup>23</sup>

Las Unidades Enfriadoras de Agua E15AE pertenecen a la familia EQUIPRAC de Enfriadores de Agua, diseñados especialmente para el sector comercial (hoteles, oficinas, centros) e industrial (plásticos, recubrimientos electro químicos). El equipo se compone de dos elementos básicos: Una Unidad Condensadora E10AE, con características como ahorro de energía, bajo nivel de ruido, gran calidad y versatilidad; Un Módulo de Enfriamiento de agua (AG). Los Enfriadores E15AE, se caracterizan principalmente por:

- **Ahorro de energía**

Están diseñados para trabajar con presiones de condensación reducidas, mejorando de esta manera La eficiencia del compresor hasta en un 30% frente a los convencionales. Esto significa mayor capacidad de enfriamiento con un menor consumo de energía.

- **Bajo nivel de ruido**

EQUIPRAC ha incorporado en este nuevo diseño características como serpentines curvos con una mayor área de transferencia; ventiladores axiales de bajas revoluciones y alta eficiencia; compresor instalado en compartimiento cerrado para evitar que el ruido se propague por fuera del equipo; anillo de entrada del aire al equipo; flujo del aire a través del serpentín a muy baja velocidad para incrementar La transferencia de calor y reducir ruidos.

---

<sup>23</sup> EQUIPRAC S.A., Manufacturera de Equipos para Refrigeración y Aire Acondicionado, Enfriador de Agua Serie E15AE.



- **Calidad**

A diferencia de un Enfriador convencional de tipo industrial, el Enfriador de Agua E15AE EQUIPRAC, ofrece una solución rápida, eficiente y acorde con las necesidades del cliente. La inversión en un producto EQUIPRAC garantiza la máxima rentabilidad tanto por el rendimiento y eficiencia, como por el costo de operación y mantenimiento. La larga vida útil de los equipos está asegurada por la calidad de los componentes, que combinada con las partes piezas producidas en nuestra planta con maquinaria de alta tecnología y personal con más de 15 años de experiencia, garantizan su inversión.

- **Versatilidad**

Los módulos evaporadores AG (Enfriadores de Agua) se producen en tamaños de 36.000, 42.000, 48.000, 60.000 BTU/H. Las Condensadoras E10AE son fabricadas en tamaños desde 12.000 hasta 60.000 BTU/H. Por razones comerciales, EQUIPRAC combina estas unidades, en los Enfriadores de Agua E15AE, a partir del tamaño 036. Los Enfriadores de Agua E15AE (Condensadoras E10EA + Módulo AG) pueden ordenarse con accesorios adicionales. (Según "Accesorios"). Los 15AE pueden ser conectados paralelamente con excelentes resultados si se requiere multiplicar varias veces su Capacidad. Además de lo anterior, si se instalan sobre la fachada de una planta de producción, prestan en forma simultánea los servicios de Enfriamiento de Agua, Extracción y Ventilación de esta área.

- **Servicio**

EQUIPRAC S.A., a través de una amplia red de instaladores o directamente desde la fábrica, garantiza el suministro de repuestos originales y accesorios para sus equipos.

### 3.1.1 COMPONENTES

**Ventiladores Axiales:** Balanceados estática y dinámicamente, garantizando un mínimo nivel de ruido.

**Motores totalmente cerrados:** Evitan la entrada de polvo o agua. Las bajas revoluciones garantizan su larga vida.

**Compresores Herméticos:** Fabricados por proveedores reconocidos mundialmente. Garantizan máxima eficiencia con un mínimo consumo de energía.

**Evaporadores tubo-tubo:** Sistema tubo-tubo (acero-cobre) de alta eficiencia. Su diseño permite trabajar con bajos caudales de agua y poca carga de presión, generando un significativo ahorro de la energía que consume la motobomba del sistema de agua para condensación.

**Circuitos eléctricos:** Completo sistema eléctrico con circuitos de controles y de protección probados en fábrica, que establecen otra diferencia entre las unidades EQUIPRAC y las demás marcas.

**Válvulas de Servicio:** Para conectar no es necesario destapar la Unidad ya que sus válvulas son externas.

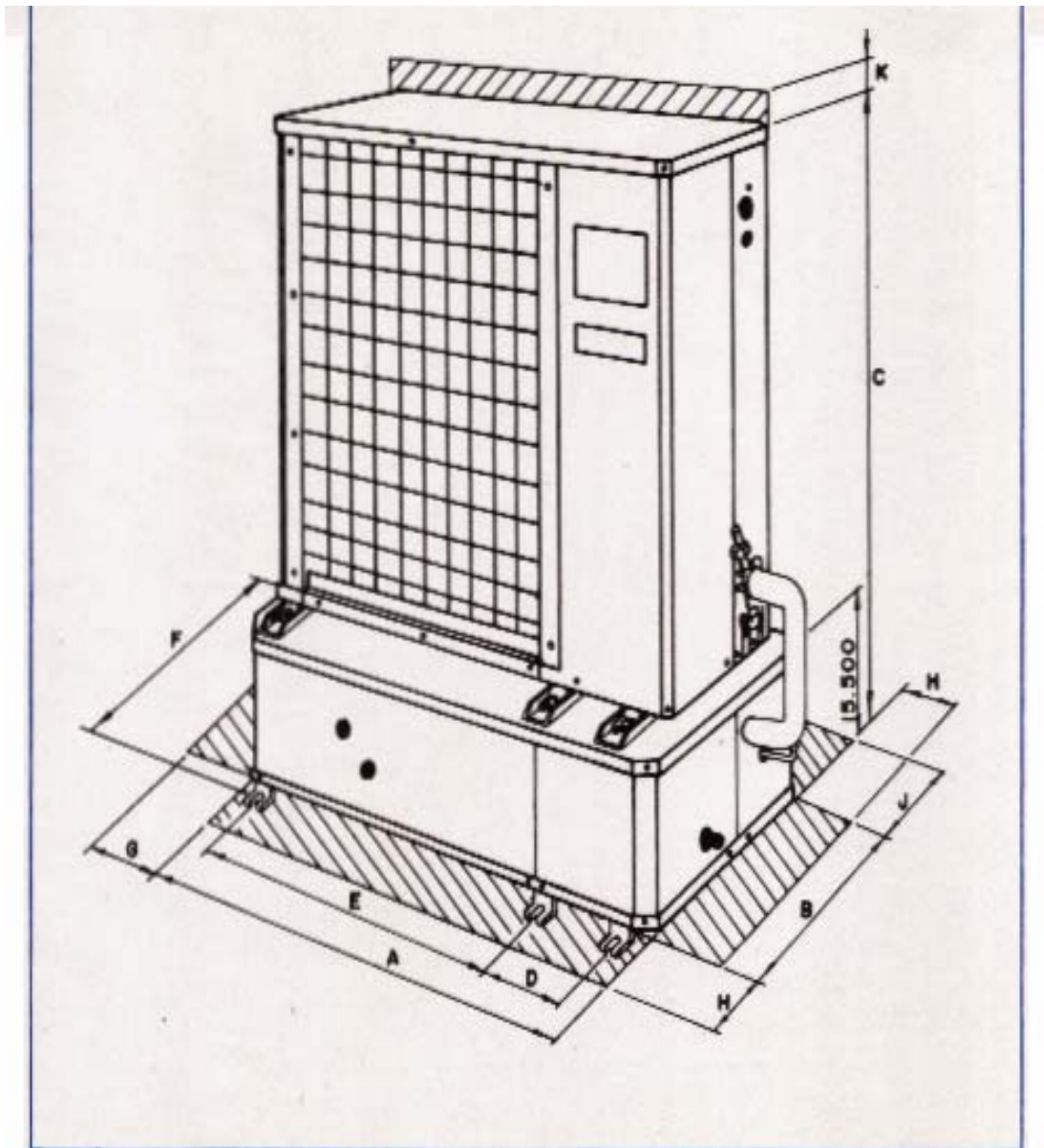
**Serpentín Curvo:** De alta eficiencia. Con aletas de aluminio, opcionalmente de cobre, y tubos de cobre expandidos mecánicamente para garantizar una máxima transferencia de calor.

**Mueble:** En lámina galvanizada con pintura en polvo horneada.



**Figura 34.** Enfriador de agua E15AE

### 3.1.2 DIMENSIONES



**Figura 35.** Cotas del equipo.

UNIDAD		E15AE
MODELO		036 - 042 048 - 060
<b>DIMENSIONES</b> (Pulgadas)	Línea de succión	3/4
	Línea de líquido	3/8
	Largo (A)	44 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	Ancho (B)	22.0
	Alto (C)	52 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	Apoyo (D)	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	Apoyo (E)	30 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
	Apoyo (F)	23 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>
	Area de servicio (G y K)	6 mínimo
	Area de servicio (H) <sub>(1)</sub>	24 mínimo
	Area de servicio (I)	36 mínimo
	Area de servicio (J) <sub>(1)</sub>	18 mínimo

(1) H + J siempre debe ser superior a 80"

Figura 36. Dimensiones del equipo.

### 3.1.3 CARACTERISTICAS TECNICAS

UNIDAD		E15AE					
MODELO		036	042	048	060 MONOF.	060 TRIF.	
PESO DE OPERACION (Lbs.)		324	349	366	382	379	
REFRIGERANTE		R-22					
CARGA REFRIGERANTE (Lbs.)		2.5	3.0	3.3	3.7	3.7	
CAPACIDAD NOMINAL (Ton.)		3.0	3.5	4.0	5.0	5.0	
EVAPORADOR	TIPO/CANTIDAD		TUBO - TUBO/1				
	CAUDAL AGUA (GPM)		7.2	8.4	9.6	12	
	CONEXION DE AGUA	ENTRADA	7/8		1 1/8		
SALIDA							
VENTILADOR	TIPO - CANTIDAD		AXIAL - 1				
	DESCARGA		HORIZONTAL				
	CAUDAL (NOMINAL)		4600				
	DIAMETRO		24"				
MOTOR	POTENCIA (HP)		1/4				
	VELOCIDAD (RPM)		850				
	VOLT/PH/HZ		208-230/1/60				
	AMPERAJE DE MARCHA		145				
CONDENSADOR	TIPO - CANTIDAD		ALETA - TUBO - 1				
	FILAS - ALETAS/PULG.		1-15	2-15			
	AREA (Pies <sup>2</sup> )		12.5				
	MATERIAL		ALUMINIO - COBRE				
COMPRESOR	TIPO		HERMETICO				
	CANTIDAD		1				
	VOLTIOS/PH/HZ		208-230/1/60			208-230/3/60	
	AMPERAJES	MARCHA (FLA)	15.6	18.7	20.7	25.8	16.1
		MARCHA (RLA)	19.9	23.9	26.5	30.7	19.6
		ARRANQUE (LRA)	83.5	95.4	114	135	105
	VOLTAJE PERMITIDO	MAXIMO	253				
MINIMO		197			180		
BOMBA <sup>(1)</sup>	SUCCION		1 1/4"				
	DESCARGA		1"				
	DIAMETRO IMPULSOR		4"				
	HP MOTOR/CABEZA (FT)		1/2 / 40		3/4 / 70		

(1) Sin motobomba - Motobomba opcional

Para versiones diferentes a las especificadas consultar a la fábrica. Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

Figura 37. Características Técnicas.



### 3.1.4 CAPACIDADES Y CONSUMO DE ENERGIA

TAMAÑO E15AE	TSA	TEMPERATURA DEL AIRE ENTRANDO AL CONDENSADOR												TAMAÑO E15AE
		75				85				95				
		CAP	KW	CAUDAL	C.P.	CAP	KW	CAUDAL	C.P.	CAP	KW	CAUDAL	C.P.	
<b>036</b>	<b>42</b>	34.49	2.82	6.90	1.03	32.0	2.98	6.40	0.90	28.80	3.10	5.76	0.75	<b>036</b>
<b>042</b>		41.0	2.98	8.20	1.35	38.20	3.18	7.64	1.21	36.20	3.36	7.24	1.11	<b>042</b>
<b>048</b>		46.90	3.65	9.38	1.82	43.60	3.92	8.72	1.61	40.25	4.07	8.05	1.43	<b>048</b>
<b>060 M</b>		56.10	4.69	11.22	1.91	52.50	4.96	10.50	1.73	49.60	5.21	9.92	1.58	<b>060 M</b>
<b>060 T</b>		56.40	4.58	11.28	1.93	52.80	4.89	10.561	1.75	49.70	5.14	9.94	1.58	<b>060 T</b>
<b>036</b>	<b>44</b>	35.78	2.87	7.16	1.10	33.30	3.03	6.66	0.98	30.15	3.17	6.03	0.80	<b>036</b>
<b>042</b>		42.40	3.03	8.48	1.42	39.70	3.24	7.94	1.28	37.40	3.42	7.48	1.17	<b>042</b>
<b>048</b>		48.30	3.72	9.66	1.91	45.30	3.99	9.06	1.73	42.00	4.16	8.40	1.52	<b>048</b>
<b>060 M</b>		57.90	4.76	11.58	2.00	54.20	5.05	10.84	1.81	50.90	5.31	10.18	1.65	<b>060 M</b>
<b>060 T</b>		58.40	4.68	11.68	2.03	54.70	4.97	10.94	1.83	51.40	5.25	10.28	1.68	<b>060 T</b>
<b>036</b>	<b>46</b>	37.0	2.92	7.40	1.15	34.58	3.08	6.92	1.03	31.50	3.25	6.30	0.88	<b>036</b>
<b>042</b>		43.80	3.07	8.76	1.49	41.20	3.29	8.240	1.36	38.80	3.49	7.76	1.24	<b>042</b>
<b>048</b>		49.70	3.79	9.94	1.97	47.00	4.06	9.40	1.82	43.70	4.26	8.74	1.61	<b>048</b>
<b>060 M</b>		60.00	4.83	12.00	2.10	56.18	5.13	11.24	1.91	52.60	5.42	10.52	1.73	<b>060 M</b>
<b>060 T</b>		60.40	4.78	12.08	2.13	56.70	5.06	11.34	1.93	53.00	5.35	10.60	1.75	<b>060 T</b>

Capacidades para rango de 10°F Rango = TEA - TSA.

NOTA:  
 — Para obtener la capacidad en Kcal/Hr multiplicar por 0.252.  
 — Para obtener caudal en L/min multiplicar por 3.8.  
 — Para obtener presión en mt. H<sub>2</sub>O multiplicar por 0.70.

TEA = Temperatura entrada del agua (°F)  
 TSA = Temperatura salida del agua (°F)  
 CAP = Capacidad (1000 BTU/Hr)  
 KW = Consumo energía (Sin motobomba)  
 CAUDAL = Caudal de agua (GPM)  
 C.P. = Caída de presión (PSI)

**Tabla 3.** Capacidades y Consumo de Energía.

#### Accesorios

Todos los equipos se entregan con:

- Relé de Arranque Compresor
- Capacitor Arranque Compresor
- Capacitor marcha compresor
- Capacitor motor ventilador
- Presóstato de alta y baja
- Contactador

- Relé de Tiempo
- Borne a tierra
- Resistencia de carter

Las unidades 060 trifásica no necesitan relé de arranque, capacitor de arranque y capacitor de marcha del compresor. Para las unidades 036 la resistencia del carter es opcional. Accesorios opcionales para todas las unidades:

- Control electromecánico o electrónico de temperatura
- Juego de rodachines
- Motobomba
- Accesorios de ensamble (tubería de cobre, mirilla, filtro secador).

### 3.1.5 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL EQUIPO

Para conocer el tamaño del equipo en toneladas de refrigeración, se efectúa una extrapolación con los datos de la figura, en razón de la ausencia del catalogo correspondiente a la capacidad requerida. Los datos de entrada a tabla son:

- Temperatura del aire entrando al condensador = 85°F.
- Temperatura de salida del agua = 46°F.
- La Capacidad requerida = 16 (1000 BTU/Hr).

TAMAÑO (X)	CAPACIDAD (Y)
X'	15.37
36	34.58
42	41.20



Realizando la extrapolación:  $X' = 15.83$ ; sabemos que comercialmente se consiguen equipos de 18000 BTU (1.5 TON de refrigeración), se itera con este valor para conocer la capacidad disponible,  $Y' = 17.48$  (1000 BTU/Hr).

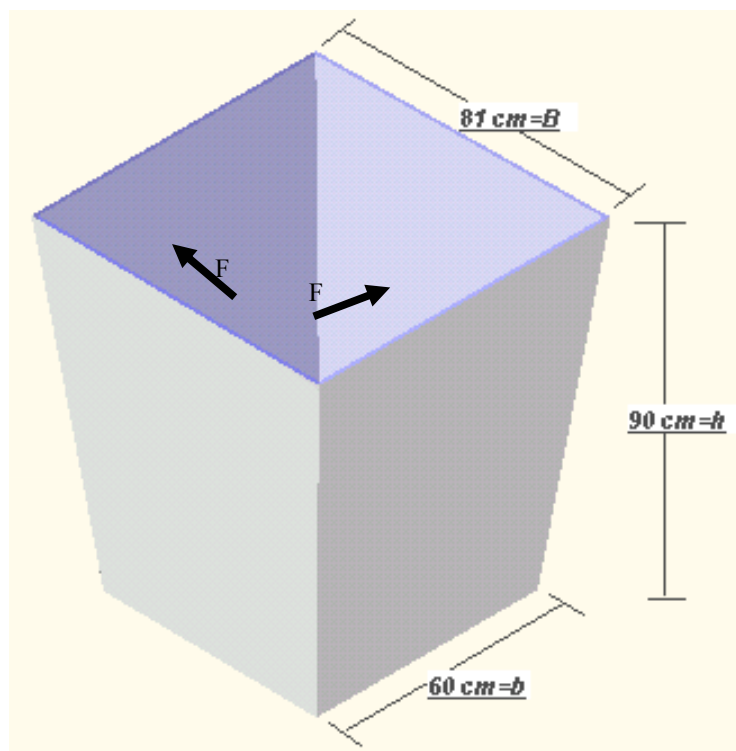
***El equipo seleccionado es de 18000 BTU (1.5 TON de refrigeración), que brinda una capacidad disponible de 17480 BTU/Hr.***

Este equipo por tener características especiales (compresor multietapa), se solicita a EQUIPRAC S.A. sujeto a especificaciones de diseño.

## CAPITULO IV.

### 4. ANALISIS DE ESTRUCTURA (ANSYS).

#### 4.1 FUERZA HIDROSTATICA SOBRE LAS PAREDES DEL RECIPIENTE. <sup>24</sup>



**Figura 38.** Fuerzas en las paredes del recipiente

La fuerza  $F$  ejercida por un líquido sobre un área  $A$  plana es igual al producto del peso específico  $\gamma$  del líquido por la profundidad  $h_{cg}$  del centro de gravedad de la superficie y por el área de la misma.

<sup>24</sup> MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA, Schaum, Tercera edición, Capítulo 3, Página 40

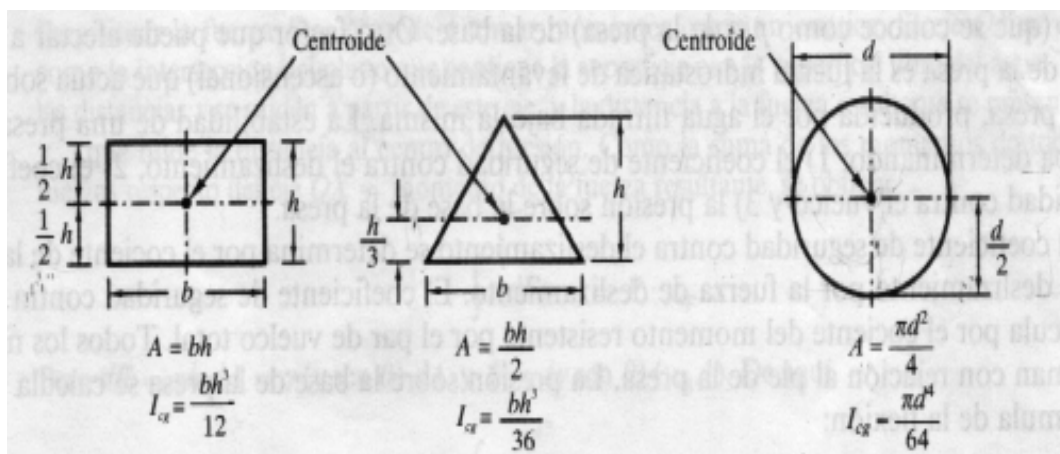
La ecuación es:  $F = \gamma h_{cg} A$

Se observa que el producto del peso específico  $\gamma$  por la profundidad del centro de gravedad de la superficie es igual a la presión en el centro de gravedad del área.

La línea de acción de la fuerza pasa por el centro de presión, que se localiza mediante la formula:

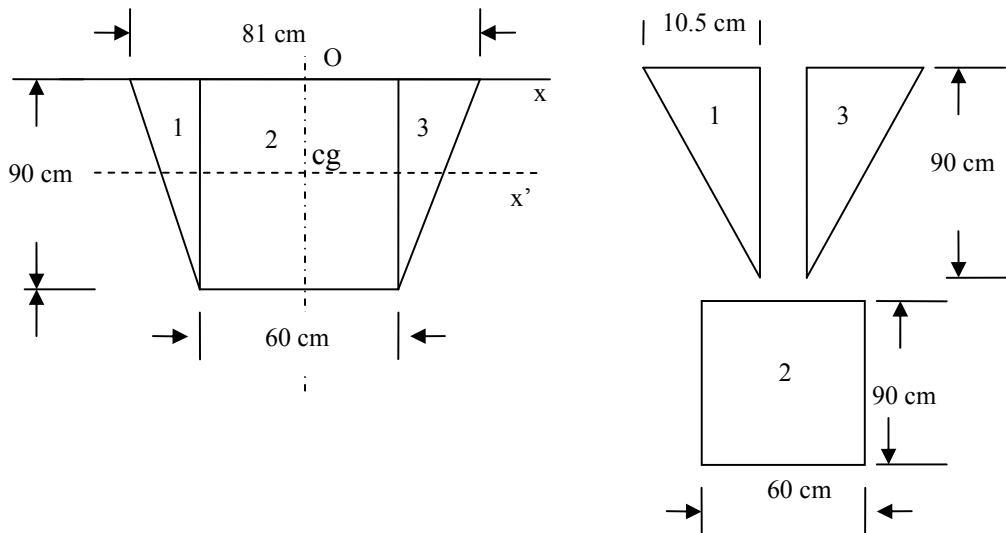
$$y_{cp} = \frac{I_{cg}}{y_{cg} A} + y_{cg}$$

donde  $I_{cg}$  es el momento de inercia del área respecto a un eje que pasa por su centro de gravedad (véase **figura 35**). Las distancias y se miden a lo largo del plano y a partir de un eje determinado por la intersección del plano que contiene la superficie y de la superficie libre del liquido.



**Figura 39.** Centroides de figuras básicas en hidráulicas

#### 4.1.1 CALCULO DE LA PRESION EN LAS PAREDES DEL RECIPIENTE



**Figura 40.** Geometría de la pared del recipiente

Figura	DIMENSIONES		Ya cm.	AREAS	PRODUCTO
	H	B		Cm <sup>2</sup>	IBA cm <sup>3</sup>
1	10.5	90	30	472.5	14175
2	60	90	45	5400	243000
3	10.5	90	30	472.5	14175
Σ				6345	271350

**Tabla 4.** Datos para el cálculo del centro de gravedad.

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y^1 A}{\sum A} = \frac{271350}{6345} \Rightarrow \underline{\underline{\bar{Y} = 42.766 \text{ cm}}}$$

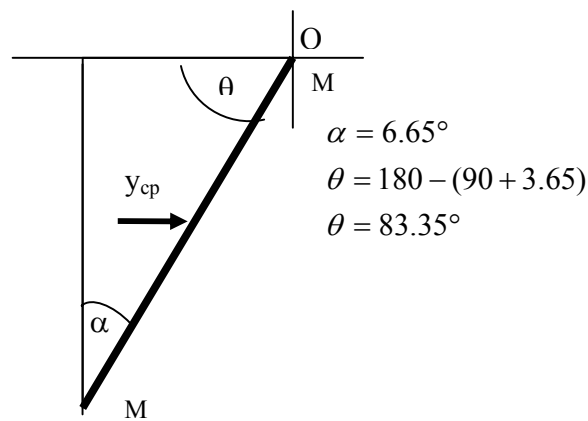
se procede al cálculo de los momentos de inercia de cada elemento y la suma de estos es el momento de inercia de la pared del recipiente.

$$I_{cg} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = I_3 = \frac{bh^3}{36} = \frac{(90)(10.5)^3}{36} \Rightarrow I_1 = I_3 = 2894.0625 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{bh^3}{12} = \frac{(90)(60)^3}{12} \Rightarrow I_2 = 1620000 \text{ cm}^4$$

$$I_{cg} = 1625788.125 \text{ cm}^4$$



**Figura 41. Triangulo representativo**

Centro de presión medido verticalmente:

$$y_{cp} = \frac{I_{cg}}{y_{cg} A} + y_{cg} \Rightarrow y_{cp} = \frac{1625788.125}{(42.766)(6345)} + 42.766$$

$$\underline{\underline{y_{cp} = 48.76 \text{ cm}}}$$

Centro de presión medido sobre el plano M-M:

$$y_{cp} = \frac{I_{cg}}{y_{cg}A} + y_{cg} \Rightarrow y_{cp} = \frac{1625788.125}{\left(\frac{42.766}{\text{sen } 83.35^\circ}\right)(6345)} + \frac{42.766}{\text{sen } 83.35^\circ}$$

$$\underline{\underline{y_{cp} = 49 \text{ cm}}}$$

por lo tanto la presión en la pared será la fuerza que ejerce el fluido por unidad de área:

$$F = \gamma h_{cg} A \Rightarrow P = \frac{F}{A} = (9.79) \text{ KN/m}^3 (0.42766) \text{ m}$$

$$P = 4.1868 \text{ KN/m}^2$$

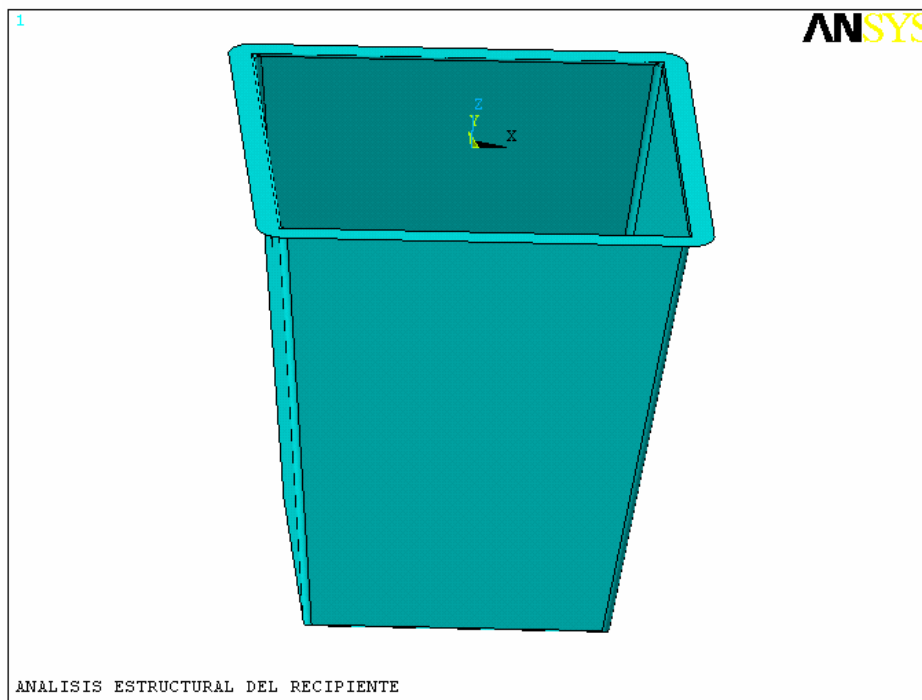
$$\underline{\underline{P = 0.6072 \text{ psi.}}}$$

#### **4.2 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL RECIPIENTE MEDIANTE EL SOFTWARE ANSYS 5.5**

ANSYS es un programa de "Uso General", incluye muchas capacidades generales tales como funciones de preprocesador, soluciones postprocesador, gráficos, modelado paramétrico y utilidades que facilitan el uso del programa. La utilización de este software para la simulación de diseños se basa en el uso de prototipos virtuales en un proceso de desarrollo de producto, el cual ayuda a minimizar los costos y mejorar el tiempo para concretar el diseño de un producto. Con el ANSYS se puede determinar el real comportamiento de diferentes campos, por ejemplo: estructurales, térmicos, electromagnéticos y la conducta de fluido-flujo en 3-D,

este programa puede ayudar a simular incluso los efectos de físicas múltiples cuando ellos se acoplan juntos con alta exactitud y fiabilidad.

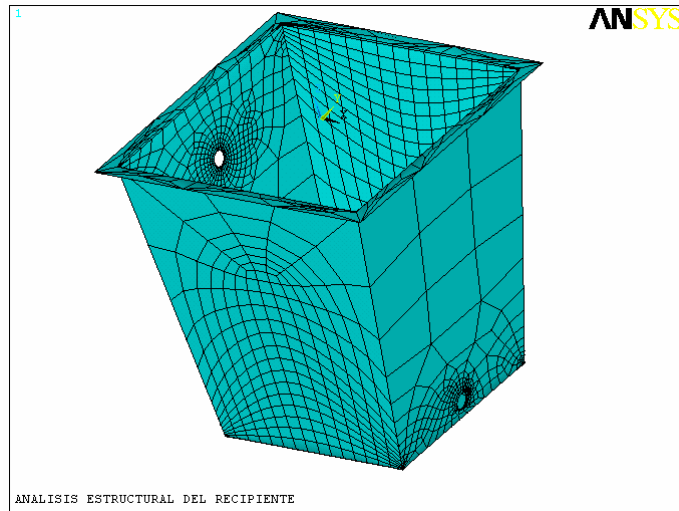
Se efectuará una simulación del comportamiento estructural del recipiente de agua, con la finalidad de verificar los esfuerzos debido a la presión del líquido ejercida sobre las paredes y compararlos con el esfuerzo de fluencia del material (Acero ASTM-A36 estructural); con las siguientes figuras se mostrara la secuencia de la simulación y los esfuerzos calculados por el programa.



**Figura 42.** Elemento importado de Solid Edge.

#### 4.2.1 ENMALLADO

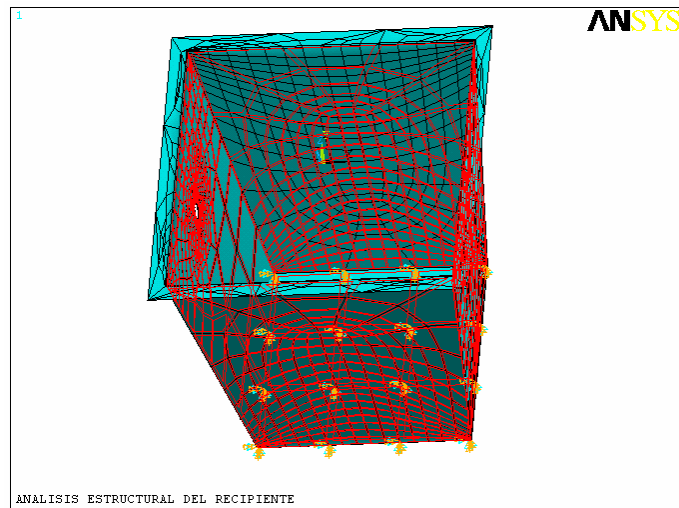
Se realiza el enmallado (divisiones por triángulos del elemento) del recipiente.



**Figura 43.** Enmallado de la geometría.

#### 4.2.2 APLICACIÓN DE CARGAS

Se aplica una presión al área de las paredes del recipiente con valor de 4186.498 Pa (0.6072 psi).

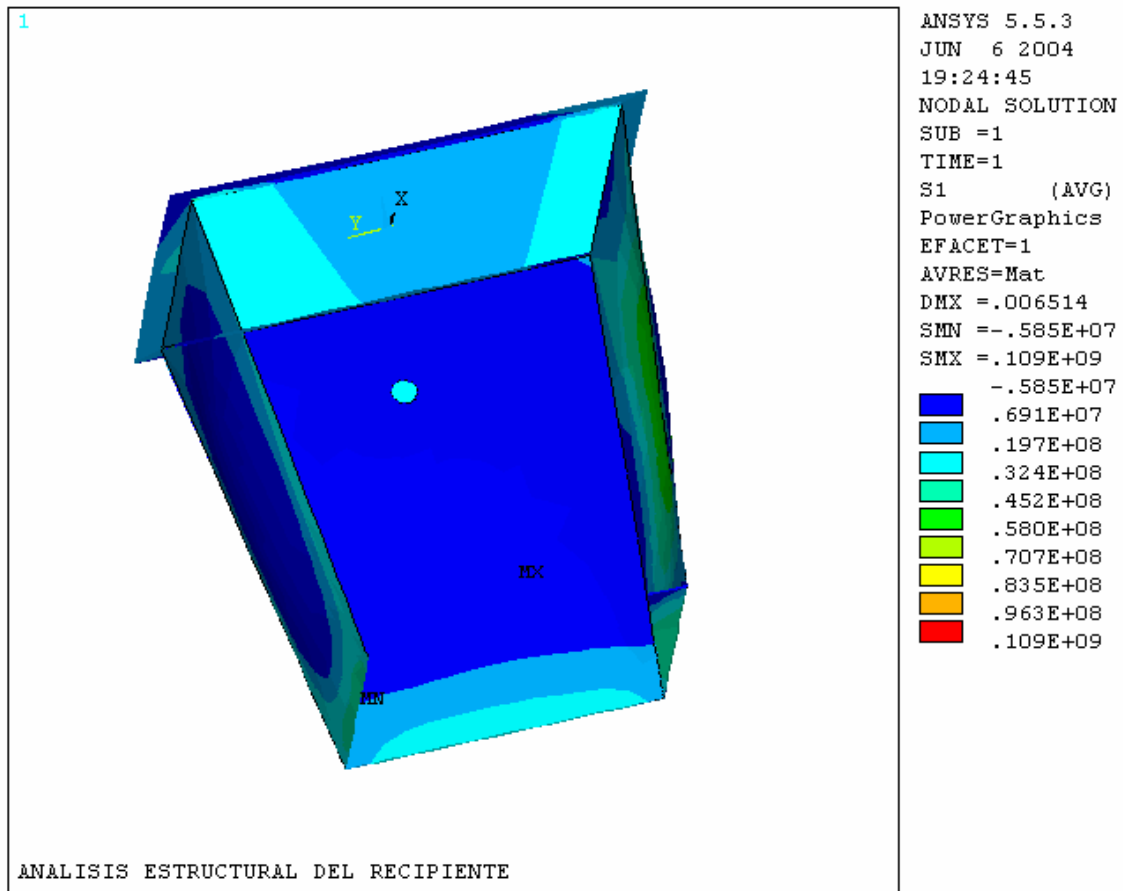


**Figura 44.** Aplicación de presión en las paredes.

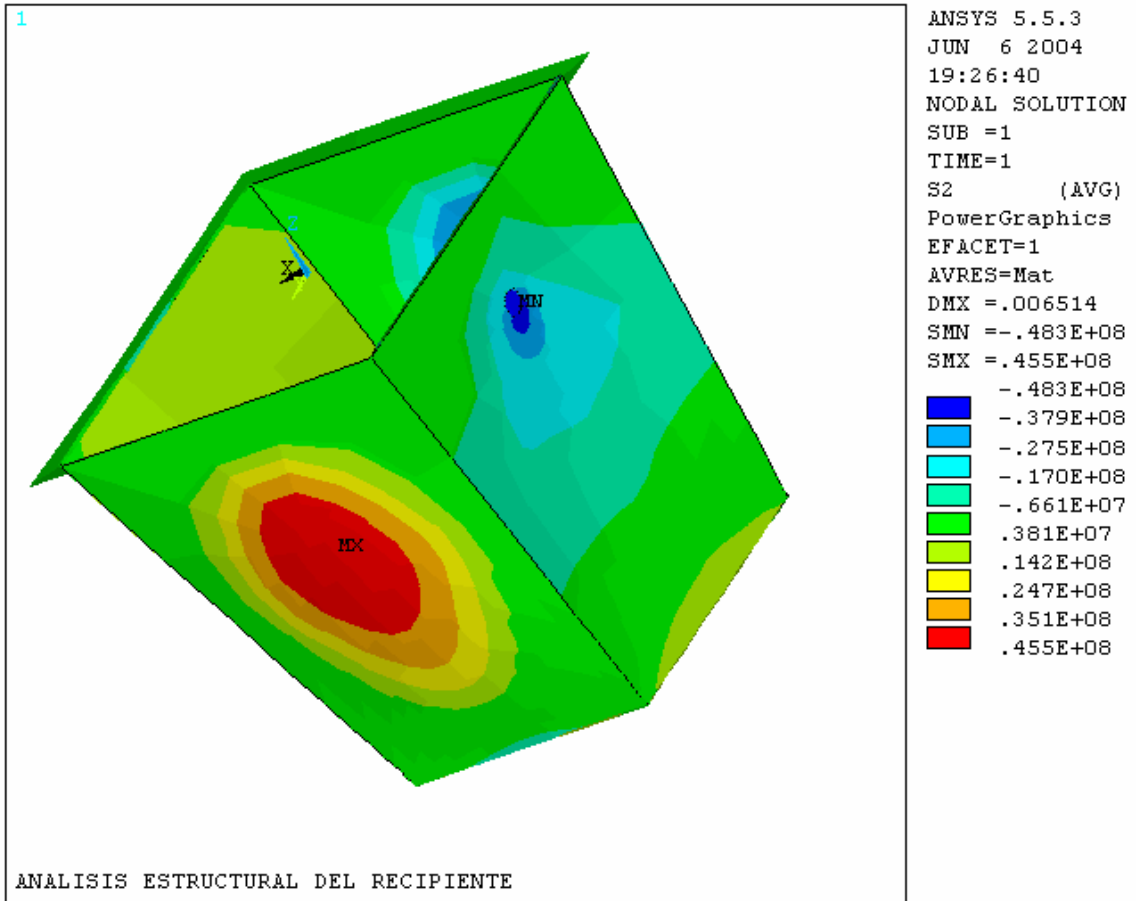


### 4.2.3 SOLUCION

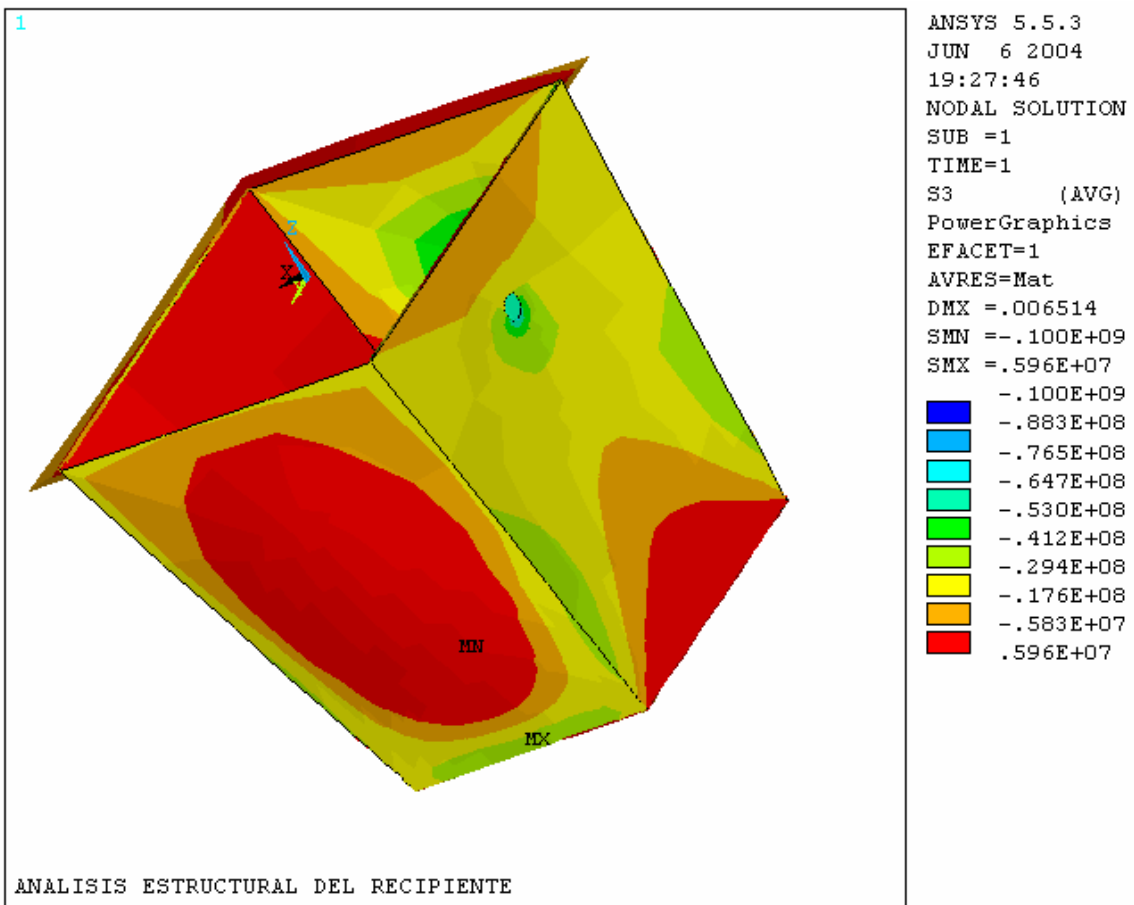
Se mostrarán los esfuerzos principales en cada eje coordenado.



**Figura 45.** Esfuerzos Principales en el eje X.



**Figura 46.** Esfuerzos Principales en el eje Y.



**Figura 47.** Esfuerzos principales en el eje Z.

En el siguiente cuadro se aprecian los valores máximos y mínimos para cada eje.

Eje	S <sub>MAX.</sub> (Pa)	S <sub>MIN</sub> (Pa)
X	0.109x10 <sup>9</sup>	-0.585x10 <sup>7</sup>
Y	0.455x10 <sup>8</sup>	-0.483x10 <sup>8</sup>
Z	0.596x10 <sup>7</sup>	-0.100x10 <sup>9</sup>

Se observa que el mayor esfuerzo se produce en el eje X, con un valor de 109x10<sup>6</sup> Pa (15809.11 psi), el cual es menor comparado con el valor del esfuerzo de fluencia en tensión (36 Ksi) <sup>25</sup> para el acero estructural ASTM-A36, que es el material del recipiente.

---

<sup>25</sup> MECANICA DE MATERIALES, Ferdinand P. Beer, Russell Johnston, Jr. Apéndice B, Pagina 698.

## CONCLUSION

- En la medida que se incrementa el contenido de carbono la curva de la nariz austenítica se mueve a la derecha, esto quiere decir que el tiempo para que ocurra la transformación se incrementa, además, el tamaño del grano afecta la templabilidad lo cual determina la profundidad y la distribución de la dureza inducida en el temple de una aleación ferroza, es más, los aceros de granos mas grande aumentan el tiempo de transformación, lo anterior conlleva a que la curva S (nariz austenítica) se desplace hacia la derecha.
- Es necesario mantener la temperatura del medio enfriante, en el caso particular la temperatura del agua, puesto que a medida que se incrementa la temperatura en el fluido, este pierde capacidad de absorción de calor, por ende disminuye la rata de enfriamiento y provoca la formación de estructuras no deseadas en el acero; en virtud a ello los controles de temperatura, son de vital importancia, ya que de sobrepasar y permanecer por mucho tiempo sobre una temperatura bastante alejada de la temperatura de austenización, se ocasionarían daños irreversibles en el material.
- Los tratamientos térmicos permiten conseguir diferentes grados de dureza en un mismo acero a partir del control de variables como temperatura (Ej.: temperatura de austenización), tiempo de sostenimiento en el horno, medio de enfriamiento (Ej.: agua helada) y velocidad de enfriamiento.

- Con la implementación del sistema de recirculación del agua se logra una convección forzada, la cual incrementa la transferencia de calor del material hacia el medio convectivo, contribuyendo en gran medida a la consecución del objetivo principal del sistema que es retirar en el menor tiempo posible el calor del elemento.
- Para aumentar el rango de aplicabilidad del sistema, se seleccionaron componentes que permiten modificar las variables de funcionamiento en el sentido de utilizar un compresor multietapa (sistema de refrigeración) y un caudalímetro (sistema hidráulico) que en conjunto aumentan o disminuyen la capacidad de refrigeración y el caudal, para que sea posible templar piezas con menor o mayor masa, partiendo de los treinta kilogramos de acero de medio carbono y baja aleación.
- La lamina de acero estructural ASTM-A36 de 1/8 pulg. de espesor, utilizada en el diseño del recipiente, cumple con las especificaciones estructurales para las condiciones de carga debido a la presión del agua, puesto que su resistencia última a tensión (36Ksi) es aproximadamente el doble que la resultante del esfuerzo arrojado por la simulación de ANSYS 5.5 (15809.11psi); ello quiere decir, que el factor de seguridad es de 2.28.

## BIBLIOGRAFIA

- DOSSAT, ROY J, Principios de Refrigeración, 2ª Edición, Ed. C.E.C.S.A.
- KARLEKAR, B. V., Transferencia de Calor, 2ª Edición, Ed. Mc Graw Hill.
- NEELY, JOHN E., Metalurgia y Materiales Industriales, Ed. LIMUSA.
- SCHAUM, Mecánica de los Fluidos, 3ª Edición, Ed. Mc Graw Hill.
- MILLS, A. F., Transferencia de Calor, 1995, Ed. IRWIN.
- MOTT, ROBERT L., Mecánica de Fluidos Aplicada, 4ª Edición 1995, Ed. Prentice may.
- CRANE, Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías, 1989, Ed. Mac Graw Hill.
- MIDEA SANDRA J., PFAFFMANN, Heat Treating, An international symposium in honor professor George Krauss, 1-4 November 1999 Cincinnati Ohio, Proceeding of the 19<sup>th</sup> conference.
- ALARCON CREUS J., Tratado Práctico de Refrigeración.
- Valencia Asdrúbal, Tecnología del tratamiento de los metales, 2ª Edición,
- CANTILLO JULIO, Minor en diseño de Ing. Mecánica, 203-2004, Modulo, Calculo y Diseño de tuberías.
- BEER, FERDINAND, JOHNSTON RUSSELL ,JR, Mecánica de Materiales, 2ª Edición, Ed. Mc Graw Hill.
- [www.asm.intl.org](http://www.asm.intl.org).
- [www.suva.com.mx](http://www.suva.com.mx)
- [www.elprisma.com/ing.mecanica](http://www.elprisma.com/ing.mecanica)