



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

## "DISEÑO DE UN CALORÍMETRO"

JUAN EDUARDO SALLES WIGGE

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-I-93.

Zapopan, Jal., Febrero de 1998.



CLASIF: \_\_\_\_\_  
ADQUIS: 495K  
FECHA: 09 / Mayo / 03  
DONATIVO DE \_\_\_\_\_  
\$ \_\_\_\_\_





**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

SEDE GUADALAJARA

## "DISEÑO DE UN CALORÍMETRO"

**JUAN EDUARDO SALLES WIGGE**

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-I-93.

Zapopan, Jal., Febrero de 1998.



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

## SEDE GUADALAJARA

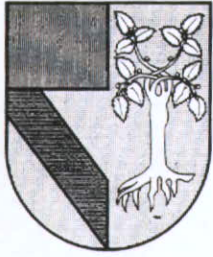
PROLONGACIÓN CALZADA CIRCUNVALACIÓN PONIENTE No. 49  
CD. GRANJA C.P. 45010 ZAPOPAN, JALISCO MÉXICO  
TEL.: 679-0708 FAX: 679-0709

“ DISEÑO DE UN CALORÍMETRO “

JUAN EDUARDO SALLES WIGGE

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,  
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-I-93.

Zapopan, Jal., febrero de 1998



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

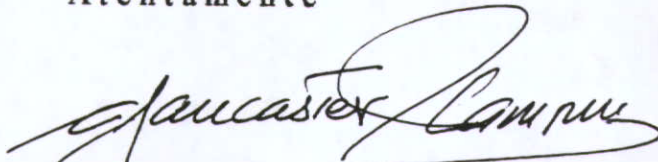
## *DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN*

**JUAN EDUARDO SALLES WIGGE**

Presente

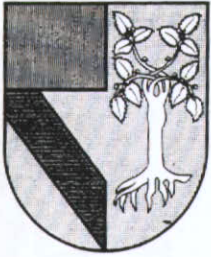
En mi calidad de Presidente de la Comisión de Exámenes Profesionales y después de haber analizado el trabajo de titulación en la alternativa tesis titulado "DISEÑO DE UN CALORÍMETRO", presentado por usted, le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado de Examen Profesional, por lo que deberá entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

Atentamente



EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

Zapopan, Jal. mayo 20 de 1999



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

Febrero 9 de 1997

COMITE DE EXAMENES PROFESIONALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Hago constar que el alumno: **JUAN EDUARDO SALLES WIGGE**, ha terminado satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado: "**DISEÑO DE UN CALORÍMETRO**", que presentó para optar por el título de la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Se extiende la presente para los fines que convengan al interesado.

Atentamente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ing. Casillas', written over a horizontal line.

ING. FERNANDO MAYORGA CASILLAS  
Asesor de Tesis  
Escuela de Ingeniería Electromecánica

Agradezco a mi Abuelo, que en paz descanse,  
por haberme impulsado y aconsejado  
en tomar esta carrera.

También agradezco a mi madre en el  
haberme apoyado y ayudado durante  
toda mi vida, y en el haberme guiado  
por un buen camino.



## INDICE

**Introducción ..... Pag. 6**

### **CAPITULO 1**

- 1.1. Teoría involucrada en el Calorímetro (definiciones)..... **Pag. 7**
- 1.2. Tipos de calorímetros..... **Pag. 11**
- 1.3. Explicación general del diseño..... **Pag. 14**
- 1.4. Características de algunos combustibles..... **Pag. 16**

### **CAPITULO 2**

- 2.1. Cálculos Térmicos (P,T,masa).....**Pag. 21**
  - 2.1.1. Presión y cantidad de muestra a utilizar.....**Pag. 21**
  - 2.1.2. Cálculo del tamaño del recipiente de agua.....**Pag. 48**
  - 2.1.3. Temperatura máxima de alcance del recipiente.....**Pag. 51**

### **CAPITULO 3**

- 3.1. Explicación de los cálculos mecánicos (Brida).....**Pag. 56**
- 3.2. Cálculos de la Brida a Presión de 3000 psi .....**Pag. 58**
- 3.3. Cálculos de la Brida a Presión de 2000 psi .....**Pag. 65**

### **CAPITULO 4**

- 4.1. Diseño Calorímetro (Dibujos).....**Pag. 72**

4.2. Análisis mediante el programa Ansys.....	Pag. 73
4.3.1. Dibujos Ansys.....	Pag. 76
4.4. Cálculo del Esfuerzo.....	Pag. 79
 <b>CAPITULO 5</b>	
5.1. Resultados.....	Pag. 82
 <b>CONCLUSIONES.....</b>	
<b>Pag. 83</b>	
<b>APENDICE A (Gráficas u-T).....</b>	<b>Pag. 84</b>
<b>APENDICE B (Gráficas Brida).....</b>	<b>Pag. 88</b>
<b>APENDICE C (Tablas Wark, Faires).....</b>	<b>Pag. 106</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>Pag. 122</b>

## INTRODUCCIÓN

Por lo general, el estudiante quiere ir más allá de las aulas y comprobar con sus propios ojos que lo que se le dice que es real. Pero no siempre tiene a la mano los medios para satisfacer esa inquietud. Esta tesis pretende proporcionar al alumno un medio más para llevar a cabo esa comprobación.

Aquí se presenta el diseño de un calorímetro, dispositivo que sirve para evaluar el poder calorífico de los combustibles sólidos o líquidos. Se presentan todos los elementos que la constituyen para que posteriormente se proceda a su construcción y que pueda formar parte de las prácticas de laboratorio en que el estudiante tiene un acercamiento con los fenómenos naturales.

En el primer capítulo se presentan los conceptos técnicos que ayudan a comprender el principio de funcionamiento del calorímetro, así como los diferentes tipos que existen, y algunas características de combustibles que pueden ser utilizados en el proyecto.

Posteriormente se procede a explicar los cálculos requeridos para este proyecto en el aspecto termodinámico para cada uno de los combustibles seleccionados. De este análisis se obtienen tres datos importantes, los cuales son la temperatura, presión y cantidad de muestra a utilizar, para posteriores cálculos.

En el tercer capítulo se encuentra el cálculo de la brida que va a servir para cerrar el calorímetro en su parte superior. Finalmente, en el cuarto capítulo se presenta el cálculo mecánico de resistencia del recipiente en el que ocurre la explosión del combustible, así como la constitución final del calorímetro.

En el último capítulo se encuentran concentrados los cálculos y resultados obtenidos en el proceso de diseño de este aparato.

# CAPITULO 1

## 1.1. TEORIA INVOLUCRADA CON EL CALORIMETRO

1ª Ley de la termodinámica: Es cuando un sistema cerrado se altera adiabáticamente, la cantidad total de trabajo asociada con el cambio de estado, es la misma para todos los procesos posibles entre los dos estados de equilibrio posible.

\* Expresión matemática de la 1ª Ley de la termodinámica para sistema cerrado:

$$Q + W = \Delta U, \text{ donde}$$

Q: calor transferido por el sistema desde sus alrededores o hacia sus alrededores..

W: Trabajo efectuado sobre el sistema por sus alrededores.

$\Delta U$ : Energía interna.

\* Expresión matemática de la 1ª Ley de la termodinámica para sistema abierto.

$$Q + W_s = \Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p, \text{ donde}$$

$W_s$ : Trabajo efectuado sobre el fluido del proceso por una parte móvil del sistema.

$\Delta H$ : Cambio entalpía.

$\Delta E_k$ : Energía cinética.

$\Delta E_p$ : Energía potencial

\*Significado de cada uno de los términos 1ª Ley de la Termodinámica.

-Calor (Q): Energía que fluye como resultado de una diferencia de temperatura entre un sistema y sus alrededores. Se define positivo cuando se transfiere al sistema desde sus alrededores, es decir, cuando el calor entra al sistema, y negativo cuando sale del sistema hacia los alrededores.

-Trabajo (W): Energía que fluye en respuesta a cualquier fuerza impulsora diferente de una diferencia de temperatura.

-Energía Cinética (Ec): La energía debido al movimiento de un sistema como un todo respecto de algún marco de referencia.

-Energía Potencial (Ep): Es la energía debida a la posición del sistema en un campo potencial.

- Entalpía (H): Es una propiedad que se define como  $H= U+PV$ . Puede medirse indirectamente y debe relacionarse con algunas otras cantidades medibles, como pueden ser la temperatura y la presión.

-Calor sensible: Representa una capacidad de la materia de almacenar energía, para en un momento dado transferirla a otro cuerpo, o transformarla en otra forma de energía .

-Calor latente: es el calor absorbido o desprendido por una sustancia pura durante un cambio de fase a presión constante sin que haya cambio de temperatura.

Calor específico a presión constante: Si  $\Delta H$  es el cambio en la entalpía específica, que resulta a partir de un aumento en la temperatura a presión constante desde  $T_1$  hasta  $T_2$ , entonces a medida que  $\Delta T$  tiende a  $\Phi$ , la relación  $\frac{\Delta H}{\Delta T}$  se aproxima a un valor limitado como la capacidad calorífica a presión constante.

Calor específico a volumen constante: El cambio de temperatura desde  $T_1$  conduce a un cambio en la energía interna específica a medida que  $\Delta T$  tiende a cero.

2ª Ley de la termodinámica: Es imposible construir una máquina térmica cuyo único efecto sea el intercambio de calor con una sola fuente de equilibrio, y la producción de trabajo neto.

Calor de combustión: Es un cambio químico que va acompañado por una generación o una absorción de calor. La unión de un combustible con el oxígeno produce calor, y el calor así engendrado, usando 1 lb de combustible quemado completamente, se llama calor de combustión o valor calorífico del combustible, o valor o poder calorífico del mismo.

Las potencias caloríficas se determinan experimentalmente por medio de calorímetros en los cuales se enfrían los productos de la combustión hasta la temperatura inicial y se mide el calor absorbido por el medio refrigerante. a esta se le llama valor calorífico alto.

Valor calorífico a volumen constante ( $H_v$ ): Considerando un proceso de combustión a volumen constante, donde se combinan varios reactivos bajo condiciones apropiadas, para formar uno o varios productos. De acuerdo con la primera ley, el calor de combustión bajo condiciones de volumen constante ( $H_v$ ) se expresa como:

$H_v = \sum (Nu)_p - \sum (Nu)_r$  , donde N se refiere a la cantidad de material y el símbolo u significa la cantidad de energía interna por la cantidad unitaria de material. Los subíndices p y r se refieren a los productos y reactivos. Se concluye que  $H_v$  es igual al cambio en la energía interna.

También puede describirse el calor de combustión bajo condiciones de volumen constante como la cantidad de calor transferido desde un calorímetro a los alrededores externos, cuando la temperatura y el volumen de los productos de la combustión se llevan a temperatura y volumen de la mezcla gaseosa antes de ser quemada.

Valor calorífico superior e inferior: Cualquier combustible que contenga hidrógeno cede agua como producto de combustión. A la presión atmosférica, la presión parcial del vapor de agua en la mezcla de gas resultante de la combustión por lo general es

suficientemente elevada para que se condense el agua, si se permite que la temperatura descienda por debajo de su punto de saturación. Esto origina la liberación de calor de vaporización de toda el agua condensada. El poder calorífico inferior se valúa suponiendo que no se condensa nada del vapor de agua, mientras que el superior se calcula admitiendo que todo se condensa.

Balance de Energía en un sistema reactivo:

$$Q + W_{eje} = \sum_{\text{prod}} N_i (\Delta h^{\circ}_{f,298} + \Delta h)_i - \sum_{\text{reac}} N_i (\Delta h^{\circ}_{f,298} + \Delta h)_i$$

donde  $\Delta h = h_{T,P} - h_{298,1atm}$

Restricciones: - En muchos procesos de combustión no existe trabajo mecánico para el volumen de control elegido.

- El efecto de la presión sobre la entalpía se puede ignorar, como en el caso de los gases a bajas presiones.

$$Q = \sum_{\text{prod}} N_i (\Delta h^{\circ}_{f,298} + h_T - h_{298})_i - \sum_{\text{reac}} N_i (\Delta h^{\circ}_{f,298} + h_T - h_{298})_i$$

Las reacciones químicas que liberan energía en forma de calor reciben el nombre de exotérmicas, y las que absorben energía son endotérmicas.

Análisis termoquímico de sistema a volumen constante:

Balance de energía básico:  $Q = U_{\text{prod}} - U_{\text{reac}} = \sum_{\text{prod}} N_i u_i - \sum_{\text{reac}} N_i u_i$

La energía interna específica  $u = h - Pv$

$$u_{i,T} = h_{i,T} - (Pv)_{i,T} = [\Delta h^{\circ}_{f,298} + h_T - h_{298} - (Pv)_{T}]_i$$

$$\therefore Q = \sum_{\text{prod}} N_i (\Delta h^{\circ}_{f,298} + u_T - u_{298})_i - \sum_{\text{reac}} N_i (\Delta h^{\circ}_{f,298} + u_T - u_{298})_i - \Delta NRT_{298}$$

Temperatura de flama: es la temperatura máxima alcanzada en una reacción de combustión, en la cual se encuentra adiabáticamente.

## 1.2. TIPOS DE CALORÍMETROS

### QUÉ ES UN CALORÍMETRO

Un calorímetro es un instrumento que sirve para medir el poder calorífico de los combustibles, es decir, la energía generada por la combustión completa de una muestra de combustible sólido o líquido.

### TIPOS DE CALORÍMETROS

Hay dos tipos de calorímetros: a volumen constante y a presión constante.

Un calorímetro a volumen constante es aquel en que se combinan varios reactivos (combustible y oxígeno o aire) bajo condiciones apropiadas dentro de un recipiente, de manera que la mezcla se mantiene ocupando el mismo volumen antes y después de la combustión, de la cual se desprenden varios productos (dióxido de carbono, agua y nitrógeno generalmente).

Como se acaba de explicar, de acuerdo con la primera ley de la termodinámica, el calor de combustión bajo condiciones de volumen constante ( $H_v$ ) se puede obtener fundamentalmente como la diferencia entre la energía interna de los productos y los reactivos,

$H_v = \sum (Nu)_p - \sum (Nu)_r$ , donde  $N$  es la cantidad de material y el símbolo  $u$  es la energía interna por unidad. Los subíndices  $p$  y  $r$  se refieren a los productos y reactivos. Se concluye que  $H_v$  es igual al cambio en la energía interna.

Para la condición de volumen constante, el calor de combustión también puede definirse como la cantidad de calor que transmite un calorímetro a sus alrededores cuando



los productos de combustión alcanzan la temperatura y el volumen de la mezcla de reactivos original.

El recipiente en el que se llevará a cabo la reacción es sumergido en un baño de agua a condiciones estándar (25 °C y 1 atmósfera de presión), de manera que la energía calorífica generada por la combustión es absorbida por el agua, que experimenta un cambio de temperatura. Este incremento en la temperatura del agua es lo que nos permite calcular el poder calorífico de la sustancia ( $Q = m * C * \Delta t$ ).

El calorímetro a presión constante es usado para determinar el calor específico de los combustibles gaseosos.

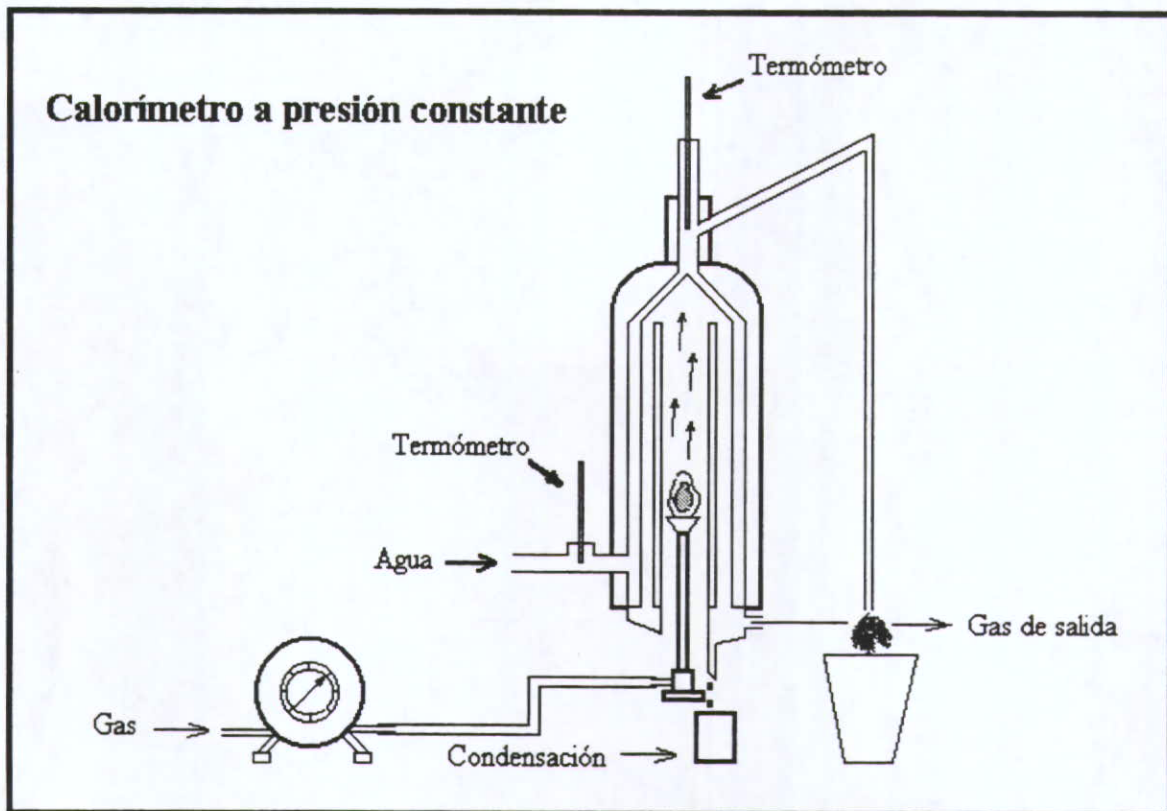


Figura # 1 Calorímetro a presión constante

Este calorímetro consta básicamente de un quemador y una cámara por la que circula agua de enfriamiento, de manera que conociendo el flujo de agua y su incremento de temperatura es posible determinar la energía desprendida por el combustible (ver figura# 1).

### 1.3. EXPLICACIÓN GENERAL DEL DISEÑO

El calorímetro consta de un tubo de acero al carbón cédula 180, de aproximadamente 7 pulgadas de diámetro exterior y 5.5 pulgadas de diámetro interior, como se muestra en la figura # 2.

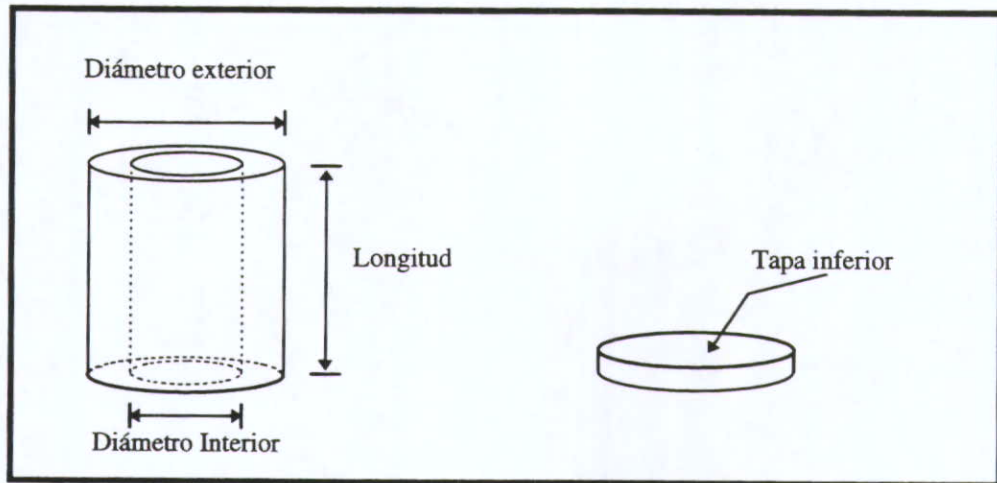


Figura # 2. Vista lateral del recipiente y tapa.

El tubo lleva en la parte inferior una tapa soldada de diámetro igual al diámetro exterior del recipiente y espesor mayor o igual al del recipiente mismo. La parte superior del recipiente será cerrada mediante una brida con su tapa sujeta mediante espárragos. La tapa cuenta con unos pequeños orificios para introducir en el recipiente un termopar, un cable para generar la chispa, y dos conductos: uno para la inyección y otro para el escape de los gases de la combustión (ver figura # 3).

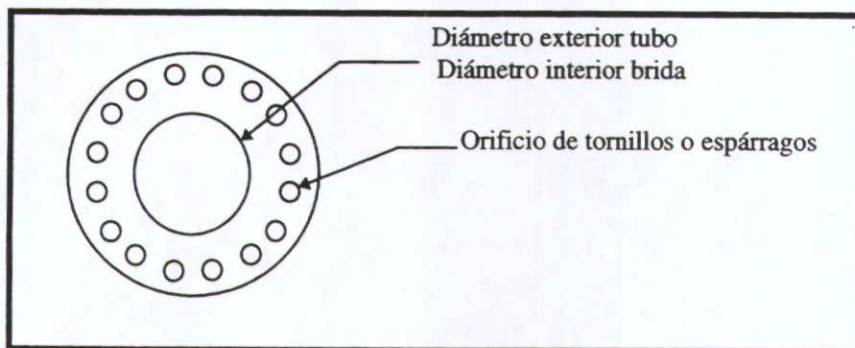


Figura # 3. Vista Superior de la Brida

El calorímetro estará contenido en un recipiente lleno de agua, de manera que el calor generado será absorbido por el agua. En la figura # 4 se puede observar que tanto la pared del calorímetro como las partes superior e inferior están en contacto con el agua.

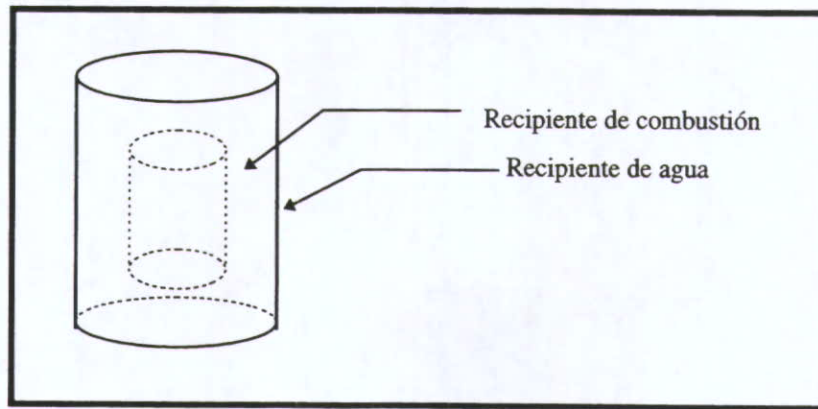


Figura # 4. Vista del recipiente dentro del recipiente de agua

Este incremento de temperatura del agua es el que nos servirá para poder calcular el poder calorífico de los combustibles respectivos, ya que lo que se busca es medir el  $\Delta t$  que se emplea en la fórmula  $Q = m * C_p * \Delta t$ . Dentro de este volumen de agua se hallará un termómetro, el cual servirá para medir la temperatura que haya después de la explosión.

Alrededor de este segundo recipiente se colocará un aislamiento ( fibra ), como se muestra en la figura # 5, para que no vaya a haber algún tipo de transferencia de calor del medio ambiente al recipiente y viceversa, y de esta manera poder tener una adecuada lectura de temperatura.

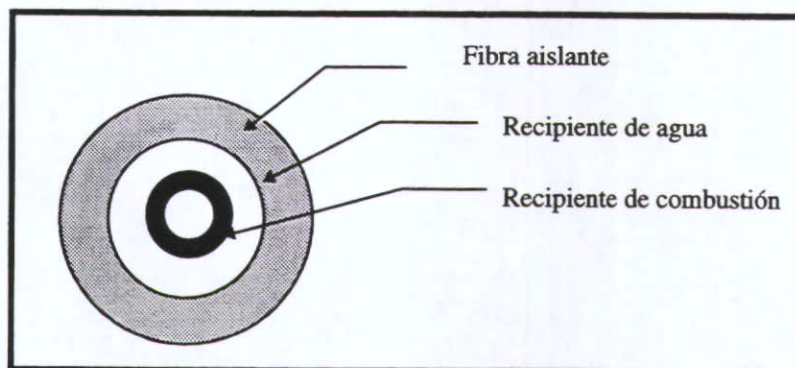


Figura # 5. Vista superior del calorímetro

## 1.4. CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

**Gasolina<sup>1</sup>:** Es una mezcla compleja de hidrocarburos, producto de la destilación del petróleo, a temperaturas entre 100 y 400 °C. Las gasolinas más comerciales son: Gasolinas de destilación directa, de desintegración, reformadas y naturales.

La gasolina de destilación directa es la que se recupera del petróleo crudo por destilación simple y contiene una proporción grande de hidrocarburos normales. El octanaje de este tipo de gasolinas es muy bajo para utilizarla en los motores, por lo que para mejorar sus propiedades de combustión hay que mezclarla con otros productos.

La gasolina de desintegración se fabrica calentando las fracciones de destilación del petróleo crudo o los residuos, a presión o sin presión, en presencia de un catalizador. El octanaje es un poco mayor que la gasolina de destilación directa.

La gasolina reformada se obtiene pasando las fracciones de la gasolina sobre catalizadores, haciendo que los hidrocarburos de bajo octanaje se conviertan en moléculas de alto octanaje.

La gasolina natural se obtiene del gas natural, revolviendo los elementos constitutivos que hierven en el intervalo de la gasolina. Ésta es muy volátil por lo que se combina con otras de menor octanaje para mejorar sus características.

Algunos datos típicos de la gasolina son:

Fórmula	Poder calorífico	Masa molecular
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	46520-48265 KJ/Kg	112 Kg/Kgmol

<sup>1</sup> Marks, Manual del Ingeniero. Mecánico, pag 7-16,7-17,7-18

**Benceno**<sup>1</sup>: El benceno es uno de los productos resultantes del calentamiento a ciertas temperaturas del benzol. El benzol comercial proviene de la brea de la hulla.

Para obtener el benceno se somete la brea a destilación a grandes temperaturas en grandes retortas de hierro (destiladores verticales y/o horizontales). Los vapores se condensan en serpentines refrigerantes de plomo o de cobre, o mediante un sistema de tubos de hierro. Este líquido destilado se divide en tres fracciones principales, atendiendo a su punto de ebullición: 1.- Aceite ligero, 2.- Aceite pesado y 3.- Hidrocarburos sólidos. El benceno se encuentra en el primer grupo, aceites ligeros, los cuales se destilan hasta llegar a una temperatura de 160°. Es más ligero que el agua. Los aceites pesados destilan entre 160 y 300°C, y los hidrocarburos sólidos destilan entre 300 y 400°C.

Algunos datos típicos del benceno son:

Fórmula	Poder calorífico	Masa molecular
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	40577 KJ/Kg	78.11 Kg/Kgmol

**Alcoholes**<sup>2</sup>: Con este nombre se conoce a un gran número de combinaciones orgánicas que son derivados de los hidrocarburos por substitución de uno o más átomos de hidrógeno y/o por uno o más grupos hidroxílicos (-OH) unidos cada uno de ellos a un átomo de carbono.

Se conoce un sinnúmero de alcoholes por lo que se dividen en dos grandes grupos: alcoholes de la serie grasa y alcoholes de la serie aromática. A su vez, estos grupos se

<sup>1</sup> Enciclopedia Universal Ilustrada, tomo 8 pag 172-174

<sup>2</sup> Op. Cit. Pp. 301,307

dividen en otros subgrupos, por lo que nada más se mencionarán algunas características del primer grupo, que es en el que se encuentran los alcoholes que interesan en esta tesis.

Los alcoholes de la serie grasa se dividen en alcoholes saturados y no saturados. En el grupo de los alcoholes saturados se encuentran los alcoholes etílico y metílico, además de otros, y se representan por la fórmula general  $C_nH_{3n+1}OH$ .

El Alcohol Etílico ( $C_2H_5OH$ ) tiene un alto número de octanos (99), y su elevado calor latente de evaporación es más alto que el de la gasolina. A pesar de que tiene dos tercios del poder calorífico de la gasolina, las mezclas con más del 15% de alcohol proporcionan un poco más de potencial y menor consumo de combustible que la gasolina normal.

Algunos datos típicos del alcohol etílico son:

Fórmula	Poder calorífico	Masa molecular
$C_2H_5OH$	26843.6 KJ/Kg	46 Kg/Kgmol

El Alcohol Metílico ( $CH_3OH$ ), sólo tiene el 48% del poder calorífico de la gasolina, pero se ha empleado como combustible en países que han tratado de reducir su independencia con respecto a la gasolina importada. Este alcohol muchas veces es empleado en motores de autos de carrera sobrecargados debido a su elevado calor de evaporación.

Algunos datos típicos del alcohol metílico son:

Fórmula	Poder calorífico	Masa molecular
CH <sub>3</sub> OH	19917.3 KJ/Kg	32 Kg/Kg <sub>mol</sub>

**Carbono<sup>1</sup>**: Es un cuerpo simple, sólido, insípido e inodoro, infusible a altas temperaturas en recipientes cerrados. El carbono se encuentra en la naturaleza en forma de diamante y de grafito, pero es más abundante en estado de combinación, formando parte de un gran número de componentes que se encuentran en el reino mineral, vegetal y animal. Todos los compuestos orgánicos, todas las sustancias vegetales o animales contienen carbono.

El carbono se reconoce por su color negro, su insolubilidad en todos los disolventes usuales, su estabilidad al calentarlo fuera del contacto del aire y la combustibilidad sin llama, dando anhídrido carbónico cuando se le calienta en contacto con el aire.

Se conoce el carbono en tres estados alotrópicos: el diamante, el grafito y el carbono amorfo. En los primeros dos estados el carbono se presenta en forma cristalina. Los tres estados alotrópicos del carbono presentan grandes diferencias en sus propiedades físicas, pero concuerdan en que son infusibles y sólo se volatilizan aproximadamente a 3,500°C en un horno eléctrico, y al calentarlo con oxígeno se combina con él formando anhídrido carbónico.

El carbono amorfo es una masa negra, opaca, infusible e insoluble en todos los solventes, con excepción de algunos metales fundidos como el hierro. La densidad es difícil de determinar ya que es un elemento muy poroso, pero de cualquier manera es menos denso que el grafito. Es mal conductor del calor y la electricidad cuando no se ha calentado a una

---

<sup>1</sup> enciclopedia universal Ilustrada, tomo 11, pag. 780-790



temperatura muy elevada. Si se expone largo tiempo al rojo blanco, como ocurre en las capas de carbono que se depositan en las paredes de las retortas del gas del alumbrado, adquiere propiedades parecidas a las del grafito, volviéndose conductor del calor y la electricidad. El carbono finamente dividido arde hasta con explosión cuando está en presencia de suficiente oxígeno.

Algunos datos típicos del carbono son:

Fórmula	Poder calorífico	Masa molecular
C	32793.33 KJ/kg	12 Kg/K <sub>g</sub> mol

## CAPITULO 2

### 2.1. CÁLCULOS TÉRMICOS

#### 2.1.1. CÁLCULO DE MASA DE COMBUSTIBLE A UTILIZAR (MUESTRA)

Primeramente, para la elaboración del calorímetro es necesario saber los combustibles con los cuales se contará. Se eligieron cinco combustibles, debido a sus buenas características y a su fácil manejo para este proyecto. Algunas características de los combustibles se encuentran en sección 1.4 del capítulo 1. Los combustibles propuestos a emplearse son:

Alcohol etílico ( $C_2H_5OH$ )  
Benceno ( $C_6H_6$ )  
Carbono (C)  
Alcohol Metílico ( $CH_3OH$ )  
Gasolina ( $C_8H_{16}$ )

Debido a que la combustión se llevará a cabo adiabáticamente, la temperatura y presión resultantes serán muy elevadas. Por lo tanto, lo siguiente que se hace es buscar o diseñar un recipiente que soporte las grandes presiones y temperaturas que se alcanzarán después de la combustión. Después de tener ese recipiente y con los datos mencionados, lo que se debe obtener es la cantidad de masa de combustible que se pondrá en el recipiente y con esto determinar la presión máxima y la temperatura que alcanzará cada combustible.

Se buscó en el mercado un tubo que tuviera algunas características en particular, como son una gran resistencia a las altas presiones que se manejarían y sobre todo que no fuera un recipiente de dimensiones muy grandes. Se consiguió un tubo de acero al carbón de cédula 180 (alrededor de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor de pared), con una longitud de 10 pulgadas y un diámetro exterior de aproximadamente 7 pulgadas. Este tamaño de tubo es un tamaño casi ideal para el proyecto.

Un dato importante que se pudo conseguir fue la presión máxima que puede soportar un recipiente <sup>1</sup> de acero al carbón, que es de  $3077 \text{ lb/in}^2$ .

Como ya se explicó anteriormente, el poder calorífico para un proceso de combustión a volumen constante se determina a partir del calor transferido del calorímetro a sus alrededores

Por medio de la ecuación de los gases ideales se determina la cantidad de moles de oxígeno que ocupará el recipiente a condiciones atmosféricas:

$$n_{O_2} = \frac{(P_{atm.})(V)}{(R_u)(T_{298})}$$

El siguiente paso es determinar la temperatura de flama que se logrará al quemar por completo el combustible dentro del recipiente. Esto sirve para obtener la presión máxima instantánea que se alcanzará durante la reacción. Para esto, se parte del balance de energía para un sistema reactivo a volumen constante. Primero se balancea la ecuación estequiométrica, de la cual se obtienen los moles de los productos y reactantes. La expresión general de una reacción de combustión se expresa como:

Reacción estequiométrica.



,donde

x = No. de átomos de Carbono en el combustible.

y = No. de átomos de Hidrógeno en el combustible.

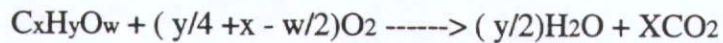
w = No. de átomos de Oxígeno en el combustible.

$$\text{Balance de H: } y = 2a \text{ --->} a = \frac{y}{2}$$

---

<sup>1</sup> Información proporcionada por Swecomex.

Balance de O:  $w + 2b = a + 2x \rightarrow b = \frac{y}{4} + x - \frac{w}{2}$



Después de haber balanceado la ecuación se busca en tablas <sup>1</sup>,o en el apéndice C, los valores del calor de formación estándar ( $\Delta h_f^\circ$ ) de los productos gaseosos y de los

reactantes líquidos. Los valores obtenidos ( $\Delta h_f^\circ = \frac{KJ}{Kg_{mol}}$ )son:

$$\Delta h_{f_{C_2H_5OH(L)}}^\circ = -277690$$

$$\Delta h_{f_{C_6H_6(g)}}^\circ = 82930$$

$$\Delta h_{f_C}^\circ = 0$$

$$\Delta h_{f_{CH_3OH(L)}}^\circ = -238810$$

$$\Delta h_{f_{C_8H_{16}}}^\circ = -225184$$

$$\Delta h_{f_{O_2(g)}}^\circ = 0$$

$$\Delta h_{f_{H_2O(g)}}^\circ = -241820$$

$$\Delta h_{f_{H_2O(L)}}^\circ = -285830$$

$$\Delta h_{f_{CO_2(g)}}^\circ = -393520$$

Para la gasolina, se obtuvo su poder calorífico <sup>2</sup>:

$$\text{Poder calorífico de la gasolina} = 46520 - 48265 \frac{KJ}{Kg}$$

Por medio de las siguientes ecuaciones, que surgen de un balance de energía, se determina el valor de la temperatura de flama. Esta se obtiene por prueba y error de la ecuación:

$$0 = \Delta H_R^\circ - (\Delta n)_g * R_u (298) + \left[ \frac{y}{2} (u_{TP_{H_2O}} - u_{298_{H_2O}}) + X (u_{TP_{CO_2}} - u_{298_{CO_2}}) \right]$$

Balance de energía. Sistemas reactivos a volumen constante.

$$(\Delta n)_g = n_{\text{produc. gaseosos}} - n_{\text{reactantes. gaseosos}}$$

<sup>1</sup> Wark, tablas

<sup>2</sup> Keating "Applied Combustión...."

$$n_{\text{reactantes,gaseosos}} = b$$

$$n_{\text{productos,gaseosos}} = \frac{y}{2} + X$$

$$(\Delta n)_g = \frac{y}{2} + X - b$$

$$\Delta H_R^\circ = \left[ \frac{y}{2} \left( -\Delta h_{f, H_2O(g)}^\circ \right) + X \left( -\Delta h_{f, CO_2(g)}^\circ \right) \right] - \left[ 1 \left( -\Delta h_{f, \text{Combustible}}^\circ \right) + \left( \frac{y}{4} + X - \frac{w}{2} \right) (0) \right]$$

$$U_{298, H_2O} = 7425 \frac{KJ}{Kg_{mol}}$$

$$U_{298, CO_2} = 6885 \frac{KJ}{Kg_{mol}}$$

$$0 = \Delta H_R^\circ - (\Delta n)_g * R_u (298) + \left[ \frac{y}{2} (u_{TP, H_2O} - 7425) + X (u_{TP, CO_2} - 6885) \right]$$

Para los combustibles mencionados anteriormente, los valores de energía interna que se encuentran en tablas no llegan a la temperatura que se alcanzará en el recipiente, por lo que se procedió a utilizar un programa de computación de la editorial Mc.Graw Hill para obtener la energía interna a temperaturas más altas. Pero este programa tampoco llega a las temperaturas requeridas, por lo que se procedió a elaborar una gráfica con los datos proporcionados por estas dos fuentes para posteriormente hacer una estimación de la tendencia hasta llegar a las temperaturas necesarias. Estas gráficas se encuentran en el apéndice A.

Después de haber obtenido el valor de la temperatura de flama, los moles de combustible que entran en la reacción estequiométrica, los cuales se obtienen dividiendo los moles de oxígeno que caben en el recipiente entre los moles de oxígeno que entran en la

$$\text{reacción estequiométrica: } n_{\text{Comb}} = \frac{n_{O_2 \text{ recipiente}}}{n_{O_2 \text{ entrantes}}}$$

---

<sup>1</sup> Tablas wark

Sabiendo cuántos moles de combustible se tienen al principio de la reacción, se puede determinar la masa y el volumen que se requiere introducir en el recipiente; la masa se obtiene multiplicando el número de moles de combustible por su masa molecular:

$$m_{Comb} = n_{Comb} * MM$$

Y el volumen se obtiene dividiendo esta masa de combustible entre su densidad:

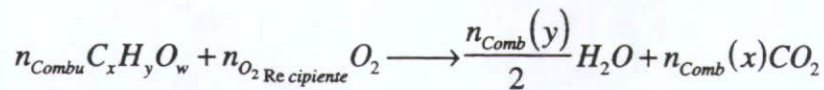
$$V = \frac{m_{Comb}}{\rho}$$

Volviendo a balancear la ecuación estequiométrica, pero ahora con los moles de combustible y los moles de oxígeno que caben en el recipiente, tenemos que:



$$\text{Balanceando H: } n_{Comb}(y) = 2a \longrightarrow a = \frac{n_{Comb}(y)}{2}$$

$$\text{Balanceando C: } n_{Comb}(x) = b$$

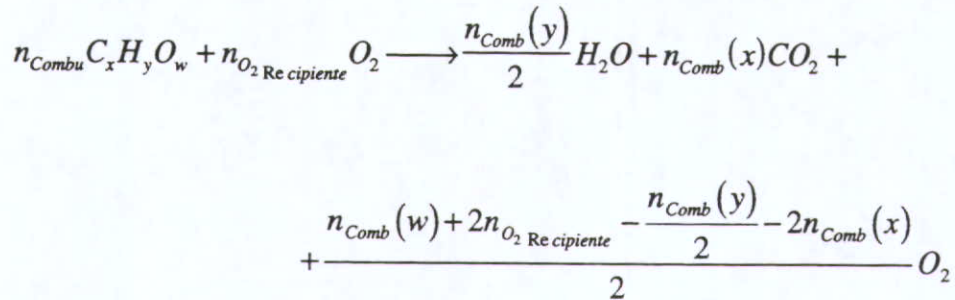


Después hay que sumar los moles de los productos para obtener, mediante la ecuación de los gases ideales, la presión máxima que se alcanzará después de la combustión.

$$P_{max} = \frac{(\sum n_{product})(R_u)(T_f)}{V}$$

Debido a razones de seguridad se utilizará la mitad de moles de combustible respecto a la cantidad estequiométrica, es decir, la mitad del volumen de la muestra. Al

reducir esta cantidad, habrá un 50% de exceso de oxígeno, por lo que la reacción ya balanceada quedará:



Para la obtención de la temperatura de flama se procede como se explicó con anterioridad. El  $\Delta H_R^\circ$  antes obtenido se multiplica por los moles de combustible.

Ya teniendo la temperatura de flama para la mitad de combustible, se vuelve a utilizar la ecuación de los gases ideales para la obtención de la máxima presión que se alcanzará.

$$P_{max} = \frac{(\sum n_{product})(R_u)(T_f)}{V}$$

El valor de esta presión máxima sirve para la fabricación de la brida que se le colocará al recipiente.

Para calcular la cantidad de agua de enfriamiento que rodeará el recipiente, el dato que se necesita es la cantidad de calor desprendida de la explosión, Este valor es el calculado para  $\Delta H_R^\circ$ , expresado en KJ, esto se hace multiplicándolo por la masa de combustible que se introduce en el recipiente y dividirlo entre su masa molecular. De esta manera la masa de agua se obtiene con la fórmula  $m = \frac{Q}{C_p * \Delta t}$ . La capacidad calorífica del

agua <sup>1</sup> ( $C_p$ ) es de  $4.18 \frac{KJ}{Kg * K}$ , y el incremento de temperatura es un dato que debemos suponer, aunque este valor luego quedará determinado por la cantidad de agua que se utilice en la construcción del calorímetro. Para este caso consideramos  $\Delta t = 5^\circ C$ .

En este cálculo se ha estado considerando que la diferencia de temperatura en la pared del recipiente es cero. Este valor es de aproximadamente  $2^\circ C$ , de manera que el calor que absorbe el agua es un poco menor, y por lo tanto también es menor la cantidad de agua necesaria. Haciendo esta pequeña corrección, la ecuación final para la masa de agua es:

$$m_{H_2O} = \frac{Q - m_{acero} * c_{P_{acero}} * \Delta t}{c_{P_{H_2O}} * \Delta t_{5^\circ}}, \text{ donde el } C_{P_{acero}} = 0.47 \frac{J}{Kg * ^\circ C}^2.$$

A continuación están los cálculos de cada uno de los combustibles con los que se va a trabajar.

---

<sup>1</sup> Tablas Wark

<sup>2</sup> Tablas Faires



## Cálculo para los combustibles

Para alcohol etílico  $C_2H_5OH$

$$V = \pi * r^2 * l$$

$$V = \pi \left( \frac{13}{2} \right)^2 (26.5) \text{cm}$$

$$V = 3517.40 \text{cm}^3 \rightarrow 3.5174 * 10^{-3} \text{m}^3 \rightarrow 214.64 \text{in}^3$$

La cantidad máxima de oxígeno que se alimenta al recipiente a las condiciones atmosféricas es de:

$$n_{O_2} = \frac{(0.085 \text{bar})(0.0035 \text{m}^3)}{\left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{\text{mol}} * \text{K}} \right) (298 \text{K})} = 0.0001 \text{Kg}_{\text{mol}} \quad , \text{donde}$$

$$P_{\text{atm}} = 0.85 \text{bar}$$

$$T = 298 \text{K}$$

$$V = 0.0035 \text{m}^3$$

Reacción estequiométrica:



$$\text{Balance H: } 6=2a \longrightarrow a = 3$$

$$\text{Balance O: } 1 + 2b = 3 + 2(2) \longrightarrow b=3$$

$$\text{Balance C: } 2 = x$$

}  
}  
}



$$(\Delta n)_g = 3 + 2 - 3 = 2$$

$$\Delta H_R^\circ = [3(-241820) + 2(-393520)] - [1(-277690)] = -1234810$$

$$0 = -1234810 - 2(8.314)(298) + [3(u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 2(u_{TP_{CO_2}} - 6885)]$$

$$0 = -1275810.144 + 3u_{TP_{H_2O}} + 2u_{TP_{CO_2}}$$

Temperatura K	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
1000 K	27568	34455	151614
2000 K	65965	84185	366265
3000 K	111321	137283	608529
4000 K	161234	191552	866806
5000 K	213045	246674	1132483
5200 K	223655	257739	1186443
5400 K	234343	268809	1240647

Esta es la máxima temperatura que se alcanzará en la reacción.  
Cálculos realizados con la cantidad estequiométrica de alcohol etílico.

Para  $0.0001 \text{Kg}_{mol}$  de oxígeno, reaccionan  $n_{alc} = \frac{n_{O_2}}{3} = 3.333 * 10^{-5} \text{Kg}_{mol}$ .

El volumen necesario de alcohol etílico que se debería introducir al recipiente es:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ donde } m = n_{alc} * MM = (3.333 * 10^{-5})(46) = 1.533 * 10^{-3} \text{Kg}$$

$$\rho = 1.532 \frac{\text{slugs}}{\text{pie}^3} (515.4) = 789.59 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{1.533 * 10^{-3}}{789.59} = 1.9419 * 10^{-6} \text{m}^3 \longrightarrow \underline{\underline{1.9419 \text{ml}}} \text{ de alcohol.}$$

El cálculo de la presión máxima que habrá en el recipiente con la cantidad estequiométrica de moles de alcohol etílico es:



Sumando los moles de producto da:  $0.0001666 \text{Kg}_{mol}$

$$P_{max} = \frac{(0.0001666 \text{Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (5400 \text{K})}{0.000352 \text{m}^3} = 212 \text{bar} \longrightarrow \underline{\underline{3080 \text{Lb}/\text{in}^2}}$$

<sup>1</sup> Marks, Manual del Ingeniero Mecánico

Utilizando la mitad del combustible respecto a la cantidad estequiométrica se tendrá un 50% de exceso de oxígeno.

$$\left(\frac{0.0001}{3}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 1.666 * 10^{-5} Kg_{mol} \text{ de alcohol etílico}$$

La reacción estequiométrica queda:



Para obtener la temperatura máxima se repite el proceso anterior.

$$\Delta H_R^\circ = -1234810 \frac{KJ}{Kg_{mol}} (1.666 * 10^{-5} Kg_{mol}) = -2058 KJ$$

$$\Delta n_g = (5 + 3.333 + 5) * 10^{-5} - 0.0001 = 0.0000333$$

$$\Delta n_g * R_u * T_0 = 8.2577 * 10^{-4}$$

$$0 = -2058 - 8.2577 * 10^{-4} + \left[ 3.33 * 10^{-5} (u_{TP_{CO_2}} - 6885) + 5 * 10^{-5} (u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 5 * 10^{-5} (u_{TP_{O_2}} - 6203) \right]$$

$$21.4914 = 3.333 * 10^{-5} u_{TP_{CO_2}} + 5 * 10^{-5} u_{TP_{H_2O}} + 5 * 10^{-5} u_{TP_{O_2}}, \text{ dividiendo entre } 5 * 10^{-5} \text{ da:}$$

$$429829 = 0.666 u_{TP_{CO_2}} + u_{TP_{H_2O}} + u_{TP_{O_2}}$$

Temperatura (K)	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
3000	81837	137270	111801	102159
3250	89804	150754	123891	314097
3750	106064	177894	148626	373167
4000	114341	191552	161234	403148
4100	117678	197032	166318	415219
4200	121028	202521	171424	427330

Y sumando los moles de producto de la reacción estequiométrica:

$$P_{max} = \frac{(0.0001333 Kg_{mol}) \left( 0.08314 \frac{bar * m^3}{Kg_{mol} * K} \right) (4200K)}{0.000352 m^3} = 132.2 bar \longrightarrow \underline{\underline{1918 Lb/in^2}}$$

Cálculo del agua necesaria para cubrir el recipiente

Considerando que todo el calor se transfiere al agua:

$$Q = 1234810 \frac{KJ}{Kg_{mol}} \left( \frac{0.0007665 Kg}{46 \frac{Kg}{Kg_{mol}}} \right) = 205756 KJ$$

$$m = \frac{205756 KJ}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = 0.984 Kg \longrightarrow \underline{\underline{0.984 L}}$$

Tomando el cuenta el calor que se pierde al pasar por el recipiente:

$$m_{H_2O} = \frac{205756 KJ - \left( 18 Kg * 0.47 \frac{J}{Kg * ^{\circ} C} * 2^{\circ} C \right)}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = \underline{\underline{0.9836 L}}$$

Para Benceno  $C_6H_6$

$$V = \pi * r^2 * l$$

$$V = \pi \left( \frac{13}{2} \right)^2 (26.5) \text{cm}$$

$$V = 3517.40 \text{cm}^3 \rightarrow 3.5174 * 10^{-3} \text{m}^3 \rightarrow 214.64 \text{in}^3$$

La cantidad máxima de oxígeno que se alimenta al recipiente a las condiciones atmosféricas es de:

$$n_{O_2} = \frac{(0.085 \text{bar})(0.0035 \text{m}^3)}{\left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{\text{mol}} * \text{K}} \right) (298 \text{K})} = 0.0001 \text{Kg}_{\text{mol}} \quad , \text{donde}$$

$$P_{\text{atm}} = 0.85 \text{bar}$$

$$T = 298 \text{K}$$

$$V = 0.0035 \text{m}^3$$

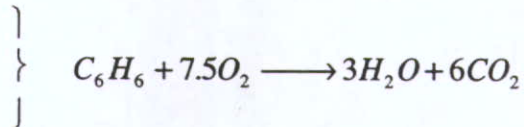
Reacción estequiométrica:



$$\text{Balance H: } 6=2a \longrightarrow a=3$$

$$\text{Balance O: } 2b=3+2x \longrightarrow b=7.5$$

$$\text{Balance C: } 6=x$$



$$(\Delta n)_g = 3+6-7.5=1.5$$

$$\Delta H_R^\circ = [3(-241820) + 6(-393520)] - [1(82930)] = -3169510$$

$$0 = -3169510 - 1.5(8.314)(298) + [3(u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 6(u_{TP_{CO_2}} - 6885)]$$

$$0 = -3236811.35 + 3u_{TP_{H_2O}} + 6u_{TP_{CO_2}}$$

Temperatura K	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
3000 K	111321	137283	1157661
5000 K	213045	246674	2119179
5200 K	223655	257739	2217399
5600 K	245107	279884	2414625
6400 K	288883	324230	2812029
7000 K	322415	357549	3112539
7200 K	333715	368664	3213129

Esta es la máxima temperatura que se alcanzará en la reacción.  
Cálculos realizados con la cantidad estequiométrica de benceno.

Para  $0.0001 \text{Kg}_{mol}$  de oxígeno, reaccionan  $n_{alc} = \frac{n_{O_2}}{7.5} = 1.333 * 10^{-5} \text{Kg}_{mol}$ .

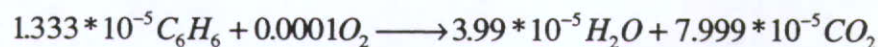
El volumen necesario de benceno que se debería introducir al recipiente es:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ donde } m = n_{Benceno} * MM = (1.333 * 10^{-5})(78.11) = 1.04143 * 10^{-3} \text{Kg}$$

$$\rho = 1.705 \frac{\text{slugs}}{\text{pie}^3} (515.4) = 878.75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{1.04143 * 10^{-3}}{878.75} = 1.1851 * 10^{-6} \text{m}^3 \longrightarrow \underline{\underline{1.185 \text{ml}}} \text{ de benceno.}$$

El cálculo de la presión máxima que habrá en el recipiente con la cantidad estequiométrica de moles de benceno es:



Sumando los moles de producto da:  $1.1999 * 10^{-4} \text{Kg}_{mol}$

$$P_{max} = \frac{(0.00011999 \text{Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (7200 \text{K})}{0.000352 \text{m}^3} = 204 \text{bar} \longrightarrow \underline{\underline{2959 \text{Lb}/\text{in}^2}}$$

<sup>1</sup> Marks, Manual del Ingeniero Mecánico

Utilizando la mitad del combustible respecto a la cantidad estequiométrica se tendrá un 50% de exceso de oxígeno.

$$\left(\frac{0.0001}{75}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 6.666 * 10^{-6} \text{ Kg}_{mol} \text{ de benceno}$$

La reacción estequiométrica queda:



Para obtener la temperatura máxima se sigue el mismo procedimiento anterior.

$$\Delta H_R^\circ = -3169510 \frac{KJ}{Kg_{mol}} (6.666 * 10^{-6} Kg_{mol}) = -21.13 KJ$$

$$\Delta n_g = (2 + 3.999 + 5) * 10^{-5} - 0.0001 = 0.00001$$

$$\Delta n_g * R_u * T_0 = 2.477 * 10^{-4}$$

$$0 = -21.13 - 2.47 * 10^{-4} + \left[ 3.999 * 10^{-5} (u_{TP_{CO_2}} - 6885) + 2 * 10^{-5} (u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 5 * 10^{-5} (u_{TP_{O_2}} - 6203) \right]$$

$$21.864 = 3.999 * 10^{-5} u_{TP_{CO_2}} + 2 * 10^{-5} u_{TP_{H_2O}} + 5 * 10^{-5} u_{TP_{O_2}}, \text{ dividiendo entre } 2 * 10^{-5} \text{ queda:}$$

$$1093217 = 1.9995 u_{TP_{CO_2}} + u_{TP_{H_2O}} + 2.5 u_{TP_{O_2}}$$

Temperatura (K)	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
3000	81837	137270	111801	590905
4500	131154	219039	186875	952794
4600	134552	224559	192067	977520
4700	137960	230085	197281	1002304
4800	141376	235614	202515	1027135
4900	144800	241145	207770	1052011
5000	148230	246674	213045	1076918

Sumando los moles de producto de la reacción estequiométrica: 0.00011 Kg<sub>mol</sub>

$$P_{max} = \frac{(0.00011 \text{Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (5000 \text{K})}{0.000352 \text{m}^3} = 129.9 \text{bar} \longrightarrow \underline{\underline{1884 \text{ Lb}/\text{in}^2}}$$

Cálculo del agua necesaria para cubrir el recipiente

Considerando que todo el calor lo absorbe el agua:

$$Q = 3169510 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_{mol}} \left( \frac{0.0005207 \text{Kg}}{78.11 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}_{mol}}} \right) = 21.1293 \text{KJ}$$

$$m = \frac{21.129322 \text{KJ}}{\left( 4.18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (5^\circ \text{C})} = 1.01097 \text{Kg} \longrightarrow \underline{\underline{1.01097 \text{L}}}$$

Tomando el cuenta el calor que se pierde al pasar por el recipiente:

$$m_{H_2O} = \frac{21.129322 \text{KJ} - \left( 18 \text{Kg} * 0.47 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * ^\circ \text{C}} * 2^\circ \text{C} \right)}{\left( 4.18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (5^\circ \text{C})} = \underline{\underline{1.01016 \text{L}}}$$



Para Alcohol metílico  $CH_3OH$

$$V = \pi * r^2 * l$$

$$V = \pi \left( \frac{13}{2} \right)^2 (26.5) cm$$

$$V = 3517.40 cm^3 \rightarrow 3.5174 * 10^{-3} m^3 \rightarrow 214.64 in^3$$

La cantidad máxima de oxígeno que se alimenta al recipiente a las condiciones atmosféricas es de:

$$n_{O_2} = \frac{(0.085 bar)(0.0035 m^3)}{\left( \frac{0.08314 \text{ bar} * m^3}{Kg_{mol} * K} \right) (298 K)} = 0.0001 Kg_{mol} \quad , \text{donde} \quad \begin{array}{l} P_{atm} = 0.85 bar \\ T = 298 K \\ V = 0.0035 m^3 \end{array}$$

Reacción estequiométrica:



$$\begin{array}{l} \text{Balance H: } 4=2a \longrightarrow a=2 \\ \text{Balance O: } w + 2b = 2 + 2x \longrightarrow b=1.5 \\ \text{Balance C: } 1 = x \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Balance H: } 4=2a \longrightarrow a=2 \\ \text{Balance O: } w + 2b = 2 + 2x \longrightarrow b=1.5 \\ \text{Balance C: } 1 = x \end{array}} \right\} CH_3OH + 1.5O_2 \longrightarrow 2H_2O + CO_2$$

$$(\Delta n)_g = 2 + 1 - 1.5 = 1.5$$

$$\Delta H_R^\circ = [2(-241820) + 1(-393520)] - [1(-238810)] = -638350$$

$$0 = -638350 - 1.5(8.314)(298) + [2(u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 1(u_{TP_{CO_2}} - 6885)]$$

$$0 = -663801.35 + 2u_{TP_{H_2O}} + 1u_{TP_{CO_2}}$$

Temperatura K	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
3000 K	111321	137283	359925
5000 K	213045	246674	672764
4950 K	210405	243910	664720
4942 K	209983	243467	663433
4944 K	210089	243578	663756
4945 K	210141	243633	663915

Esta es la máxima temperatura que se alcanzará en la reacción.  
Cálculos realizados con la cantidad estequiométrica de alcohol metílico.

Para  $0.0001 \text{Kg}_{mol}$  de oxígeno, reaccionan  $n_{alc} = \frac{n_{O_2}}{1.5} = 6.666 * 10^{-5} \text{Kg}_{mol}$ .

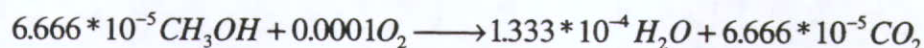
El volumen necesario de alcohol metílico que se debería introducir al recipiente es:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ donde } m = n_{alc} * MM = (6.666 * 10^{-5})(32.05) = 2.13666 * 10^{-3} \text{Kg}$$

$$\rho = 809 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{2.13666 * 10^{-3}}{809} = 2.6411 * 10^{-6} \text{m}^3 \longrightarrow \underline{\underline{2.641 \text{ lml}}} \text{ de alcohol.}$$

El cálculo de la presión máxima que habrá en el recipiente con la cantidad estequiométrica de moles de alcohol metílico es:



Sumando los moles de producto da:  $0.0002 \text{Kg}_{mol}$

$$P_{max} = \frac{(0.0002 \text{Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (4945 \text{K})}{0.000352 \text{m}^3} = 233.59 \text{bar} \longrightarrow \underline{\underline{3388 \text{ Lb}/\text{in}^2}}$$

<sup>1</sup> Marks, Manual del Ingeniero Mecánico

Utilizando la mitad del combustible respecto a la cantidad estequiométrica se tendrá un 50% de exceso de oxígeno.

$$\left(\frac{0.0001}{15}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 3.333 * 10^{-5} Kg_{mol} \text{ de alcohol metílico}$$

La reacción estequiométrica queda:



Para obtener la temperatura máxima se sigue el mismo procedimiento anterior.

$$\Delta H_R^\circ = -638350 \frac{KJ}{Kg_{mol}} (3.333 * 10^{-5} Kg_{mol}) = -21.278 KJ$$

$$\Delta n_g = (6.666 + 3.333 + 5) * 10^{-5} - 0.0001 = 0.00004999$$

$$\Delta n_g * R_u * T_0 = 1.2385 * 10^{-3}$$

$$0 = -21.278 - 1.238 * 10^{-3} + \left[ 3.33 * 10^{-5} (u_{TP_{CO_2}} - 6885) + 6.666 * 10^{-5} (u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 5 * 10^{-5} (u_{TP_{O_2}} - 6203) \right]$$

$$22.3141 = 3.333 * 10^{-5} u_{TP_{CO_2}} + 6.666 * 10^{-5} u_{TP_{H_2O}} + 5 * 10^{-5} u_{TP_{O_2}} \text{ ,dividiendo entre } 5 * 10^{-5}$$

queda:

$$446282 = 0.666 u_{TP_{CO_2}} + 1.333 u_{TP_{H_2O}} + u_{TP_{O_2}}$$

Temperatura (K)	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
3000	81837	137270	111801	322289
3250	89804	150754	123891	355352
3600	101145	169728	141135	402316
3700	104420	175170	146123	415865
3800	107712	180621	151136	429469
4000	114341	191552	161524	457226

Sumando los moles de producto de la reacción estequiométrica: 0.0001499 Kg<sub>mol</sub>

$$P_{max} = \frac{(0.0001499 Kg_{mol}) \left( 0.08314 \frac{bar * m^3}{Kg_{mol} * K} \right) (4000K)}{0.000352 m^3} = 141.6 bar \longrightarrow \underline{\underline{2054 Lb/in^2}}$$

Cálculo del agua necesaria para cubrir el recipiente

Considerando que todo el calor lo absorbe el agua:

$$Q = 638350 \frac{KJ}{Kg_{mol}} \left( \frac{0.001068 Kg}{32.05 \frac{Kg}{Kg_{mol}}} \right) = 21.27826 KJ$$

$$m = \frac{21.27826 KJ}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = 1.01809 Kg \longrightarrow \underline{\underline{1.01809 L}}$$

Tomando el cuenta el calor que se pierde al pasar por el recipiente:

$$m_{H_2O} = \frac{21.27826 KJ - \left( 18 Kg * 0.47 \frac{J}{Kg * ^{\circ} C} * 2^{\circ} C \right)}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = \underline{\underline{1.017289 L}}$$

Para Carbono C

$$V = \pi * r^2 * l$$

$$V = \pi \left( \frac{13}{2} \right)^2 (26.5) \text{cm}$$

$$V = 3517.40 \text{cm}^3 \rightarrow 3.5174 * 10^{-3} \text{m}^3 \rightarrow 214.64 \text{in}^3$$

La cantidad máxima de oxígeno que se alimenta al recipiente a las condiciones atmosféricas es de:

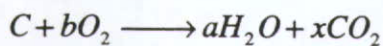
$$n_{O_2} = \frac{(0.085 \text{bar})(0.0035 \text{m}^3)}{\left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{\text{mol}} * \text{K}} \right) (298 \text{K})} = 0.0001 \text{Kg}_{\text{mol}} \quad , \text{donde}$$

$$P_{\text{atm}} = 0.85 \text{bar}$$

$$T = 298 \text{K}$$

$$V = 0.0035 \text{m}^3$$

Reacción estequiométrica:



$$\text{Balance H: } 0 = 2a \longrightarrow a = 0 \quad \left. \vphantom{\text{Balance H: } 0 = 2a \longrightarrow a = 0} \right\}$$

$$\text{Balance O: } 2b = 0 + 2x \longrightarrow b = x \quad \left. \vphantom{\text{Balance O: } 2b = 0 + 2x \longrightarrow b = x} \right\}$$

$$\text{Balance C: } 1 = x \quad \left. \vphantom{\text{Balance C: } 1 = x} \right\}$$



$$(\Delta n)_g = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta H_R^\circ = [1(-393520)] - [1(0)] = -393520$$

$$0 = -393520 - (0)(8.314)(298) + [1(u_{TP_{CO_2}} - 6885)]$$

$$0 = -400405 + u_{TP_{CO_2}}$$

Temperatura K	CO <sub>2</sub>	
3000 K	137283	137283
5000 K	246674	246674
7600 K	390909	390909
7800 K	402039	402039

Esta es la máxima temperatura que se alcanzará en la reacción.  
Cálculos realizados con la cantidad estequiométrica de carbono.

Para  $0.0001 \text{Kg}_{mol}$  de oxígeno, reaccionan  $n_{alc} = \frac{n_{O_2}}{1} = 1 * 10^{-4} \text{Kg}_{mol}$ .

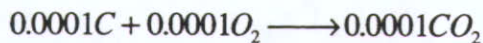
El volumen necesario de carbono que se debería introducir al recipiente es:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ donde } m = n_{alc} * MM = (1 * 10^{-4})(12) = 1.2 * 10^{-3} \text{Kg}$$

$$\rho = 753 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{1.2 * 10^{-3}}{753} = 1.5936 * 10^{-6} \text{m}^3 \longrightarrow \underline{\underline{1.5936 \text{ml}}} \text{ de carbono.}$$

El cálculo de la presión máxima que habrá en el recipiente con la cantidad estequiométrica de moles de carbono es:



Sumando los moles de producto da:  $0.0001 \text{Kg}_{mol}$

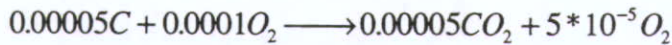
$$P_{max} = \frac{(0.0001 \text{Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (7800 \text{K})}{0.000352 \text{m}^3} = 184.23 \text{bar} \longrightarrow \underline{\underline{2672 \text{Lb}/\text{in}^2}}$$

<sup>1</sup> Marks, Manual del Ingeniero Mecánico

Utilizando la mitad del combustible respecto a la cantidad estequiométrica se tendrá un 50% de exceso de oxígeno.

$$\left(\frac{0.0001}{1}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 5 * 10^{-5} Kg_{mol} \text{ de carbono}$$

La reacción estequiométrica queda:



Para obtener la temperatura máxima se sigue el mismo procedimiento anterior.

$$\Delta H_R^\circ = -393520 \frac{KJ}{Kg_{mol}} (0.00005 Kg_{mol}) = -19.67 KJ$$

$$\Delta n_g = (5 + 5) * 10^{-5} - 0.0001 = 0$$

$$\Delta n_g * R_u * T_0 = 0$$

$$0 = -19.67 + \left[ 5 * 10^{-5} (u_{TP_{CO_2}} - 6885) + 5 * 10^{-5} (u_{TP_{O_2}} - 6203) \right]$$

$20.3244 = 5 * 10^{-5} u_{TP_{CO_2}} + 5 * 10^{-5} u_{TP_{O_2}}$ , dividiendo entre  $5 * 10^{-5}$  queda:

$$406488 = u_{TP_{CO_2}} + u_{TP_{O_2}}$$

Temperatura (K)	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	
3000	81837	137270	219107
4000	114341	191552	305893
4500	131154	219039	350193
4600	134552	224559	359111
5000	148230	246674	394904
5100	151628	252194	403822

Sumando los moles de producto de la reacción estequiométrica :  $0.0001 Kg_{mol}$

$$P_{max} = \frac{(0.0001 Kg_{mol}) \left( 0.08314 \frac{bar * m^3}{Kg_{mol} * K} \right) (5100K)}{0.000352 m^3} = 120.45 bar \longrightarrow \underline{\underline{1747 Lb/in^2}}$$

Cálculo del agua necesaria para cubrir el recipiente

Considerando que todo el calor lo absorbe el agua:

$$Q = 393520 \frac{KJ}{Kg_{mol}} \left( \frac{0.0006Kg}{12 \frac{Kg}{Kg_{mol}}} \right) = 19.676KJ$$

$$m = \frac{19.676KJ}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = 0.941435Kg \longrightarrow \underline{\underline{0.941435L}}$$

Tomando el cuenta el calor que se pierde al pasar por el recipiente:

$$m_{H_2O} = \frac{19.676KJ - \left( 18Kg * 0.47 \frac{J}{Kg * ^{\circ} C} * 2^{\circ} C \right)}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = \underline{\underline{1.0940625L}}$$



Para Gasolina  $C_8H_{16}$

$$V = \pi * r^2 * l$$

$$V = \pi \left( \frac{13}{2} \right)^2 (26.5) \text{cm}$$

$$V = 3517.40 \text{cm}^3 \rightarrow 3.5174 * 10^{-3} \text{m}^3 \rightarrow 214.64 \text{in}^3$$

La cantidad máxima de oxígeno que se alimenta al recipiente a las condiciones atmosféricas es de:

$$n_{O_2} = \frac{(0.085 \text{bar})(0.0035 \text{m}^3)}{\left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{\text{mol}} * \text{K}} \right) (298 \text{K})} = 0.0001 \text{Kg}_{\text{mol}} \quad , \text{donde} \quad \begin{array}{l} P_{\text{atm}} = 0.85 \text{bar} \\ T = 298 \text{K} \\ V = 0.0035 \text{m}^3 \end{array}$$

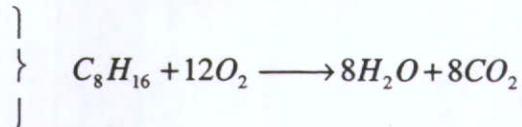
Reacción estequiométrica:



$$\text{Balance H: } 16 = 2a \longrightarrow a = 8$$

$$\text{Balance O: } 2b = 8 + 2x \longrightarrow b = 12$$

$$\text{Balance C: } 8 = x$$



$$(\Delta n)_g = 8 + 8 - 12 = 4$$

$$\Delta H_R^\circ = [8(-241820) + 8(-393520)] - [1(-225184)] = -4857536$$

$$0 = -4857536 - 4(8.314)(298) + [8(u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 8(u_{TP_{CO_2}} - 6885)]$$

$$0 = -4981926.28 + 8u_{TP_{H_2O}} + 8u_{TP_{CO_2}}$$

Temperatura K	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
5000 K	213045	246674	3677752
5400 K	234343	268809	4025216
5800 K	255945	290964	4375272
6200 K	277835	313139	4727792
6400 K	288883	324230	4904904
6500 K	294440	329782	4993776

Esta es la máxima temperatura que se alcanzará en la reacción.  
Cálculos realizados con la cantidad estequiométrica de gasolina.

Para  $0.0001 \text{Kg}_{mol}$  de oxígeno, reaccionan  $n_{alc} = \frac{n_{O_2}}{12} = 8.333 * 10^{-6} \text{Kg}_{mol}$ .

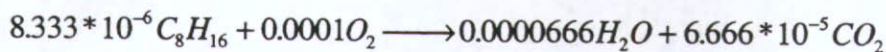
El volumen necesario de gasolina que se debería introducir al recipiente es:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ donde } m = n_{alc} * MM = (8.333 * 10^{-6})(112) = 9.333 * 10^{-4} \text{Kg}$$

$$\rho = 1.310 \frac{\text{slug}}{\text{pie}^3} (515.4) = 615.17 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{9.333 * 10^{-4}}{615.17} = 1.3823 * 10^{-6} \text{m}^3 \longrightarrow \underline{\underline{1.3823 \text{ml}}} \text{ de gasolina.}$$

El cálculo de la presión máxima que habrá en el recipiente con la cantidad estequiométrica de moles de gasolina es:



Sumando los moles de producto da:  $0.0001333 \text{Kg}_{mol}$

$$P_{max} = \frac{(0.0001333 \text{Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (6500 \text{K})}{0.000352 \text{m}^3} = 204 \text{bar} \longrightarrow \underline{\underline{2969 \text{Lb}/\text{in}^2}}$$

<sup>1</sup> Marks, Manual del Ingeniero Mecánico

Utilizando la mitad del combustible respecto a la cantidad estequiométrica se tendrá un 50% de exceso de oxígeno.

$$\left(\frac{0.0001}{12}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 4.1666 * 10^{-6} \text{ Kg}_{mol} \text{ de gasolina.}$$

La reacción estequiométrica queda:



Para obtener la temperatura máxima se sigue el mismo procedimiento anterior.

$$\Delta H_R^\circ = -4857536 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_{mol}} (4.1666 * 10^{-6} \text{ Kg}_{mol}) = -20.23 \text{ KJ}$$

$$\Delta n_g = (3.333 + 3.333 + 5) * 10^{-5} - 0.0001 = 1.666 * 10^{-5}$$

$$\Delta n_g * R_u * T_0 = 4.1288 * 10^{-4}$$

$$0 = -20.23 - 4.1288 * 10^{-4} + \left[ 3.33 * 10^{-5} (u_{TP_{CO_2}} - 6885) + 3.333 * 10^{-5} (u_{TP_{H_2O}} - 7425) + 5 * 10^{-5} (u_{TP_{O_2}} - 6203) \right]$$

$21.017 = 3.333 * 10^{-5} u_{TP_{CO_2}} + 3.333 * 10^{-5} u_{TP_{H_2O}} + 5 * 10^{-5} u_{TP_{O_2}}$ , dividiendo entre  $3.33 * 10^{-5}$  queda:

$$630588.51 = u_{TP_{CO_2}} + u_{TP_{H_2O}} + 1.5u_{TP_{O_2}}$$

Temperatura (K)	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
3500	97886	164295	136173	447297
4000	114341	191552	161524	524587
4200	121028	202521	171424	555487
4500	131154	219039	186875	602645
4700	137960	230085	197281	634306

Sumando los moles de producto de la reacción estequiométrica:  $0.00011666 \text{ Kg}_{mol}$

$$P_{max} = \frac{(0.00011666 \text{ Kg}_{mol}) \left( 0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{mol} * \text{K}} \right) (4700 \text{ K})}{0.000352 \text{ m}^3} = 129.5 \text{ bar} \longrightarrow \underline{\underline{1878 \text{ Lb}/\text{in}^2}}$$

Cálculo del agua necesaria para cubrir el recipiente

Considerando que todo el calor lo absorbe el agua:

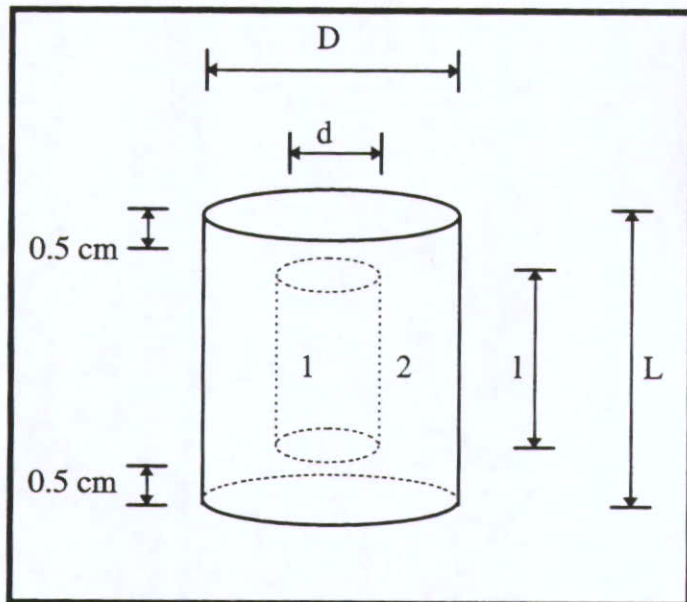
$$Q = 4857536 \frac{KJ}{Kg_{mol}} \left( \frac{0.00046665 Kg}{112 \frac{Kg}{Kg_{mol}}} \right) = 20.23901 KJ$$

$$m = \frac{20.23901 KJ}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = 0.96837 Kg \longrightarrow \underline{\underline{0.96837 L}}$$

Tomando el cuenta el calor que se pierde al pasar por el recipiente:

$$m_{H_2O} = \frac{20.23901 KJ - \left( 18 Kg * 0.47 \frac{J}{Kg * ^{\circ} C} * 2^{\circ} C \right)}{\left( 4.18 \frac{KJ}{Kg * K} \right) (5^{\circ} C)} = \underline{\underline{0.967564 L}}$$

### 2.1.2. CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL RECIPIENTE DE AGUA



,donde  $d=17.8$  cm (externo)  
 $D$ = diámetro a encontrar  
 $L$ = longitud del recipiente externo (suponer 26cm)  
 $l$ = longitud del recipiente interno (25 cm).

Figura # 6. Acotaciones laterales del calorímetro

Para poder calcular el volumen del recipiente número 2 es necesario conocer las dimensiones del recipiente número 1, que en este caso son las dimensiones exteriores del recipiente de combustión (ver figura # 6).

Para la longitud del recipiente 2 se toma en cuenta que el recipiente 1 estará cubierto de agua en su totalidad, y que tanto la parte superior como la inferior estará cubierto por una capa de agua de aproximadamente 0.5 cm, de manera que la longitud total del recipiente 2 será de 26 cm.

Conocemos ya la cantidad de agua que rodeará al calorímetro (1 litro), misma que estará entre el recipiente 2 y la parte exterior del recipiente 1, y por lo que el cálculo del diámetro interior del recipiente 2 es:

$$V = (\pi * R^2 * L) - (\pi * r^2 l)$$

$$V = 1 \text{ Litros} \longrightarrow 1000 \text{ cm}^3$$

$$1000 \text{ cm}^3 = (\pi * R^2 * 26 \text{ cm}) - (\pi * 79.21 \text{ cm}^2 * 25 \text{ cm})$$

$$R = \sqrt{\frac{1000 \text{ cm}^3 + 6221.1 \text{ cm}^3}{\pi * 26 \text{ cm}}} = 9.4024 \text{ cm} \xrightarrow{*2} \underline{\underline{D = 18.8049 \text{ cm}}} \longrightarrow \underline{\underline{7.4035 \text{ in}}}$$

El diámetro D es sólo un centímetro mayor que el del recipiente 1, por lo que sería muy difícil colocar este recipiente dentro del recipiente 2, además de que para este cálculo no se tomó en cuenta el diámetro de la brida, por lo que la colocación de este segundo recipiente es casi imposible; el recipiente dejaría un espacio muy pequeño entre las dos paredes. En la figura # 7 se muestra cómo quedaría el arreglo de los recipientes con la brida.

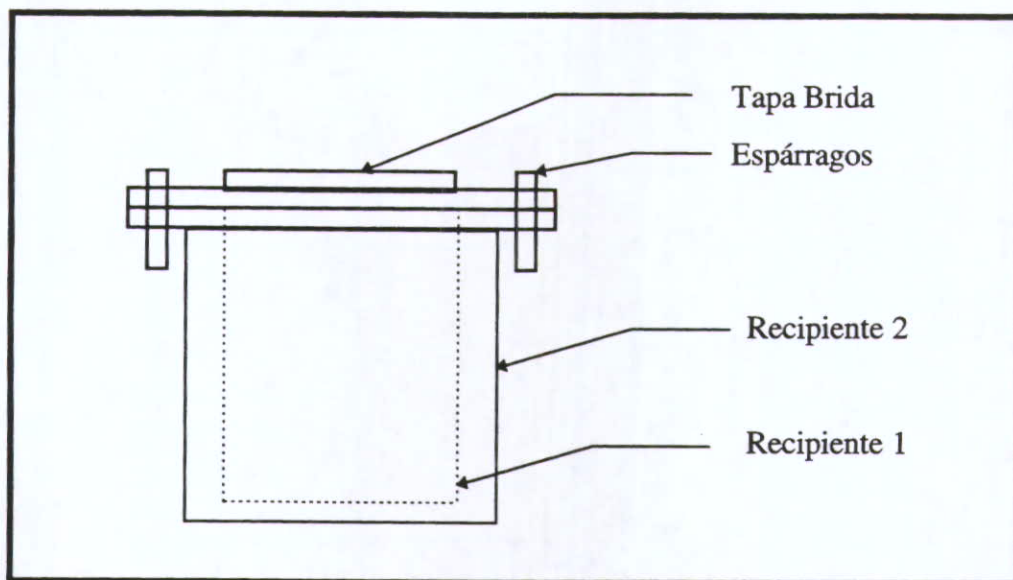


Figura # 7. Vista lateral del calorímetro con la brida

## CONCLUSIONES SOBRE EL RECIPIENTE DE AGUA

Después de realizar los cálculos para cada uno de los combustibles de la cantidad de agua necesaria para enfriar el recipiente, se observa que en todos los casos se requiere de aproximadamente un litro de agua, y acabamos de ver las complicaciones que existen para hacer el acomodo de los dos recipientes y la brida. La brida no puede quedar fuera del recipiente, ya que también por allí también fluye el calor.

Por lo tanto, y debido a que la transferencia de calor no es muy grande, podemos concluir que el agua no es necesaria en este caso, y que se puede tomar la lectura de temperatura directamente de la pared del calorímetro.

### 2.1.3. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA QUE PUEDE ALCANZAR EL ACERO SI LLEGA A ABSORBER TODO EL CALOR DE LA REACCIÓN.

Este cálculo se tiene que hacer para obtener la temperatura máxima que podría llegar a alcanzar el recipiente, para de esta manera poder proceder al cálculo de la brida que sellará el calorímetro, ya que con las temperaturas máximas que se lograban determinar, en la sección del cálculo de la muestra de combustible, el programa con el que se calculaban las temperaturas, da erróneo el cálculo de la brida.

El calor absorbido por el recipiente es proporcional a la capacidad térmica específica del acero por la diferencia de temperaturas entre el estado final y el inicial. Considerando que en un principio, el recipiente se encuentra a temperatura ambiente (25°C), de manera que la ecuación queda expresada como:

$$Q = m * C(T_2 - T_0) \text{ , donde } Q = \text{calor absorbido por el material}$$

m= masa del acero (recipiente)

T<sub>2</sub>=Temperatura alcanzada o absorbida por el recipiente.

T<sub>0</sub>= Temperatura ambiente.

PCS= Poder calorífico superior.

m<sub>0</sub>= masa del combustible

C= Capacidad térmica específica del acero.

Despejando para T<sub>2</sub>:  $T_2 = \frac{Q}{mC} + T_0$  , donde  $Q = m_0 PCS$  , y al sustituirlo en la ecuación de temperatura se obtiene que:  $T_2 = \frac{m_0 PCS}{m_{acero} C} + T_0$

De tablas de capacidades térmicas específicas se obtiene el valor de C y de PCS, los cuales son:  $C_{acero} = 0.47 \frac{KJ}{Kg^\circ C}^1$  y  $PCS = \frac{\Delta H_R^\circ}{MM} \frac{KJ}{Kg}^2$

<sup>1</sup> Tablas Fairies

<sup>2</sup> Tablas Wark



Se recurrió a la ecuación de los gases ideales para calcular los moles de oxígeno que habrá en el recipiente  $n_{O_2} = \frac{(P_{atm.})(V)}{(R_u)(T_{298})}$ , tomando en cuenta que la presión atmosférica de Guadalajara es de 640 mmHg y 25°C (298 K) de temperatura ambiente. Con este resultado y la ecuación estequiométrica de la reacción se puede obtener los moles de combustible necesarios para llevar a cabo la combustión. Finalmente, estos moles de combustible se convierten a unidades de masa, para lo cual hay que multiplicarlos por su masa molecular y proceder a obtener la temperatura del recipiente.

Se tiene que calcular esta temperatura para cada uno de los combustibles propuestos para observar cual de ellos es el que produce la máxima temperatura en el recipiente y entonces proceder a calcular la brida de acuerdo a esa temperatura.

A continuación se presentan los cálculos de la temperatura que absorbe el recipiente para cada uno de los combustibles seleccionados.

GASOLINA:

$$Q = m_{\text{acero}} C(T_2 - T_0) \xrightarrow{\text{Despejando}} T_2 = \frac{Q}{mC} + T_0 = \frac{m_{\text{gasolina}} PCS}{(mC)_{\text{acero}}} + T_0$$

Ecuación estequiométrica:  $C_8H_{16} + 12O_2 = 8CO_2 + 8H_2O$

$$n_{O_2} = \frac{(0.85\text{bar})(0.0035\text{m}^3)}{\left(0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{\text{mkol}} * \text{K}}\right)(298\text{K})} = 0.0001\text{Kg}_{\text{mol}}$$

$$m_{\text{gasolina}} = \left(\frac{n_{O_2}}{12}\right) MM_{\text{gasolina}} = \left(\frac{0.0001}{12}\right)(112) = 0.0011\text{Kg} = 1.12\text{gr}$$

$$T_2 = \frac{(0.0011\text{Kg})\left(47392 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)}{\left(0.47 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}\right)(18\text{Kg})} + 25^\circ\text{C} = \underline{\underline{31.16^\circ\text{C}}}$$

BENCENO:

$$Q = m_{\text{acero}} C(T_2 - T_0) \xrightarrow{\text{Despejando}} T_2 = \frac{Q}{mC} + T_0 = \frac{m_{\text{gasolina}} PCS}{(mC)_{\text{acero}}} + T_0$$

Ecuación estequiométrica:  $C_6H_6 + 7.5O_2 = 6CO_2 + 3H_2O$

$$n_{O_2} = \frac{(0.85\text{bar})(0.0035\text{m}^3)}{\left(0.08314 \frac{\text{bar} * \text{m}^3}{\text{Kg}_{\text{mkol}} * \text{K}}\right)(298\text{K})} = 0.0001\text{Kg}_{\text{mol}}$$

$$m_{\text{Benceno}} = \left(\frac{n_{O_2}}{7.5}\right) MM_{\text{gasolina}} = \left(\frac{0.0001}{7.5}\right)(78.11) = 1.04143 * 10^{-3} \text{Kg} = 1.041\text{gr}$$

## CAPITULO 3

### 3.1. CÁLCULOS MECANICOS

#### EXPLICACIÓN DE LA BRIDA

Para calcular lo concerniente a la brida del calorímetro, se hechó mano de la tecnología: se utilizó un programa de computadora<sup>1</sup> diseñado específicamente para este tipo de cálculos. Recurrir a este programa representa varias ventajas entre las que se encuentran un ahorro considerable de tiempo y una ganancia en exactitud, ya que el cálculo manual requiere de un procesos iterativo y del uso de gráficas cuya lectura puede prestarse a errores, aunque estos cálculos se pueden hacer sin el programa utilizando estas gráficas, mismas que se encuentran en la sección B, y las fórmulas para hacer el cálculo mismo. Hay que tomar en cuenta la precisión y exactitud con la que se puede leer la gráfica.

El programa calcula todas las dimensiones de la brida además de los elementos auxiliares que necesita, como son el empaque, espárragos para sujeción y el número de estos, y la tapa del mismo.

Para proceder al cálculo el programa requiere los siguientes datos iniciales. Presión máxima de 3000 psi, temperatura de 125 °F, diámetro interior de 5.5 pulgadas, espesor de  $\frac{3}{4}$  y cero de corrosión. Al introducir estos valores, el programa no puede llegar a una respuesta debido a que la presión era muy alta o el espesor del recipiente era muy pequeño. Como el espesor de pared del recipiente no se puede cambiar hay que recurrir a disminuir la presión. Esto se puede lograr simplemente reduciendo la cantidad de combustible a quemar en el recipiente.

---

<sup>1</sup> Hecho por Swecomex

Tomando la mitad de la muestra de combustible, la presión máxima se reduce alrededor de 2000 psi, y con este nuevo dato el programa sí puede proceder al cálculo de la brida.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con una presión de 2000 psi y espesor de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, y una presión de 3000 psi y espesor de  $\frac{7}{8}$  de pulgada. Además del dibujo con las dimensiones de la brida para poder comprender mejor los cálculos de la misma.

Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A

### HEADINGS

..... 1-5 lines which will appear on each page of printed output.

Company: Plant:  
 Location: Engineer:  
 Service of Unit: File:  
 Item No.: P.O.:  
 Req.: Dsgn. by: Job No.: PRUEBA

### APPLICATION TYPE

Type of Application ..... 1  
 1 = single flange  
 2 = single flange mated to a fixed tubesheet or backing ring  
 3 = mating flanges around tubesheet  
 4 = inside floating head flanges  
 5 = cylinder or cover thickness external pressure  
 6 = nozzle and reinforcement design  
 7 = fixed tubesheet and expansion joint design  
 8 = external loads of fittings - WRC method  
 9 = external loads of fittings - HEI method  
 10 = Zick shell stress analysis

### CODES & STANDARDS

System of Measure ..... 1 1 = US  
 2 = SI  
 3 = metric  
 Code Requirements ..... 1 0 = program  
 1 = ASME - American  
 2 = CODAP - French  
 3 = AD-Merkblätter - German  
 TEMA Class ..... - 0 = program  
 1 = B - chemical service  
 2 = C - general service  
 3 = R - refinery service  
 9 = code only

Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A

### FLANGE DESIGN SPECIFICATIONS

Design Pressure ..... psig 3000 typical values  
 psig: 150 300 450 600 900 1500 2500  
 bar: 10 16 20 25 40 50 100 150 250  
 Design Temperature ..... F 125  
 50 100 150 200 250 300 350  
 400 450 500 550 600 650 700  
 Corrosion Allowance ..... in - 0 = program -1 = none  
 0.0625 0.125 1.6 2 3 3.2

Radiographing ..... 0 = program 1 = none 2 = spot 3 = full

### FLANGE GEOMETRY

Flange Type ..... 6 0 = program  
 per ASME Figure 2-4  
 1 = lap joint, figure 1  
 2 = lap joint, figure 1a  
 3 = loose ring, figure 3a  
 4 = loose ring, figure 4a  
 5 = straight hub, figure 5  
 6 = tapered hub, figure 6  
 7 = integral ring, figure 7  
 8 = ring, figure 8  
 9 = ring, figure 9  
 10 = ring, figure 10  
 11 = ring, figure 11

Flange Attached to ..... - 0 = program  
 1 = cylinder  
 2 = ellipsoidal head  
 3 = torispherical head

### FLANGE GEOMETRY

Flange Facing ..... 0 = program  
 per ASME Table 2.5.2  
 1 = flat, figure 1a  
 2 = serrated, figure 1b  
 3 = nubbin (w<=N), figure 1c  
 4 = serrated nubbin (w<=N), fig 1d  
 5 = nubbin (w<=N/2), figure 2  
 6 = nubbin both sides, figure 3  
 7 = serrated, figure 4  
 8 = serrated both sides, fig 5  
 9 = ring, figure 6  
 Flange Nubbin Width ..... in - 0 = program

Filename: BORRAR

Date: 12/03/97

Time: 17:30:47

Teams case: A

**MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM**

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Vessel Material ..... 1109

pipe  
 1102 = SA-106 grade B (seamless)  
 1181 = SA-312 TP304 (welded)  
 1183 = SA-312 TP316 (welded)  
 1185 = SA-312 TP347 (welded)

plate

1109 = SA-516 grade 70  
 1123 = SA-240 grade 304  
 1127 = SA-240 grade 316  
 1131 = SA-240 grade 347

Allowable Stresses for Vessel Material

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

**MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM**

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Flange Material ..... 1176

forging  
 1176 = SA-105  
 1266 = SA-350 grade LF2  
 1288 = SA-266 grade 2  
 1235 = SA-182 F304L

plate

1109 = SA-516 grade 70  
 1123 = SA-240 grade 304  
 1127 = SA-240 grade 316  
 1131 = SA-240 grade 347

Allowable Stresses for Material

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

**MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM**

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Bolt Material ..... 1159

1159 = SA-193 B7 (default)  
 1165 = SA-193 B8 Cl.1  
 1166 = SA-193 B8M Cl.1

Allowable Stresses for Bolts

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

Filename: BORRAR

Date: 12/03/97

Time: 17:30:47

Teams case: A

**MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM**

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Gasket Material ..... 1322

1330 = compressed fiber (thin)  
 1331 = compressed fiber (thick)  
 1320 = metal jacketd fiber steel  
 1309 = metal jacketd fiber stnls  
 1322 = solid metal steel

1313 = solid metal stnls

1303 = spiral-wound steel-fiber

1304 = spiral-wound stnls-fiber

1345 = Garloc B-G 3000 (thin)

1346 = Garloc B-G 3100 (thick)

Gasket Sealing Stress y Value ..... psi - 0 = program

Gasket m Factor ..... psi - 0 = program

**MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM**

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Flat Cover Material (if present) ..... 1109

forging  
 1176 = SA-105  
 1266 = SA-350 grade LF2  
 1288 = SA-266 grade 2  
 1235 = SA-182 F304L

plate

1109 = SA-516 grade 70

1123 = SA-240 grade 304

1127 = SA-240 grade 316

1131 = SA-240 grade 347

Allowable Stress of Material

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

Modulus of Elasticity ( $X 10^{**}(-6)$ ) .....

at Design Temperature ..... 0 = program

**FLANGE DESIGN SPECIFICATIONS**

Vessel Outside Diameter .....

(0 if ID specified) ..... in -

Vessel Inside Diameter .....

(0 if OD specified) ..... 5.5

Vessel Thickness ..... in 0.875 0 = program

Gasket Thickness ..... in 0.125 0 = program

Effective Gasket Width Column .....

Selection per ASME Table 2-5.2 - 0 = program

1 = as shown in column I

2 = as shown in column II

Number of Tube Side Passes .....

if Head Flange of Heat Exchanger - 0 = program

1 2 3 4 6 8 10 12 14 16

Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A

**OPTIONAL PARAMETERS**

If Transferred from Another Flange  
 Required Cross-sectional Area of Bolts (Am) .....  
 Operating Bolt Load WM1 .....

**Bolt Holes**  
 Tapped for Ring Flange at ..... 1 = no (default)  
 Front Cover ..... 2 = yes  
 Slotted Bolt Holes ..... 1 = no (default)  
 ..... 2 = yes  
 Minimum Bolt Diameter ..... in  
 0 = program  
 0.625 0.75 1.0 1.25 1.5  
**Torspherical Head**  
 Inside Crown Radius as % of OD ..... 0 = program 100 90 80  
 Inside Knuckle Radius as % of OD ..... 0 = program 6 10 15 20  
**Ellipsoidal Head**  
 Ratio of Major to Minor Axis ..... 0 = program 1.9 2.0

**OPTIONAL PARAMETERS**

**Gaskets**  
 Effective Gasket Seating Width ..... in  
 Total Length of Gasket Ribs (if present) ..... in  
**Joint Efficiency of Vessel Material** ..... 0 = program 0.7 0.85 1.0  
**Tapered Hub Optimization** .....  
 1 = minimum total cost  
 2 = minimum machining  
 3 = minimum rough weight

**RATING**

**Flange**  
 Outside Diameter ..... in  
 Bolt Circle ..... in  
 Thickness ..... in  
**Bolts**  
 Number of Bolts .....  
 Nominal Diameter ..... in  
**Gasket**  
 Outside Diameter ..... in  
 Width ..... in  
**Hub Flange**  
 Hub Length ..... in  
 Hub Slope .....  
**Lap Joint Flange**  
 Outside Diameter of ..... in  
 Lap Joint Ring

Company: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A  
 Location: .....  
 Service of Unit: .....  
 Item No.: .....  
 Req.: .....  
 Dsgn. by: PRUEBA Job No.: PRUEBA

Plant: .....  
 Engineer: .....  
 File: .....  
 P.O.: .....  
 Job No.: PRUEBA

**Component: Flange**

ASME Section VIII Div. 1 Appendix 2  
 Rules for Bolted Flange Connections  
 With Ring Type Gaskets

**Flange type:** Hub  
**Flange material:** SA-105 Carbon Steel Forg  
**Int. design pressure** PI = 3000 psi  
**Ext. design pressure** PE = 0 psi  
**Design temperature** T = 125 F  
**Inside corr. allow** CAI = 0.0625 in  
**Outside corr. all.** CAO = 0.0 in  
**Stress (operating)** SFO = 17500 psi  
**Stress (atmos.)** SFA = 17500 psi  
**Outside diameter** A = 12.75 in  
**Inside spherical rad.** L = -  
**Inside diameter** B = 5.625 in  
**Hub thickness** g1 = 0.9375 in  
**Bolt circle diameter** C = 10.5 in  
**Hub tks. at attach.** go = 0.8125 in  
**Mean gasket diameter** G = 6.3125 in  
**Weid leg/hub length** h = 1.25 in  
**Hub to bolt circle** R = 1.5 in  
**Bolt circle to OD** E = 1.125 in  
**Flange ring tks.** Inom = 2.75 in  
**B1 = B+g1 or B+go** B1 = 6.5625 in

**Gasket material:** Solid Fit Metal Sft Steel  
**Gasket outside dia.** ODG = 6.6875 in  
**Gasket thickness** tks = 0.125 in  
**Gasket width** Wth = 0.375 in  
**Gasket seating stress** y = 18000 psi  
**Gasket factor** m = 5.5  
**Gasket rib length** Rib = 0.0 in  
**Gasket eff. width** b = 0.1875 in  
**Gasket rib eff width** Br = 0.125 in  
**Seating width** bo = 0.1875 in  
**(Table 2-5.2 facing 1a/1b Col. II)**

**Bolt material:** SA-193 B7 Steel Bit  
**Bolt diameter** Dia = 1.125 in  
**No. of bolts** No. = 12  
**Bolt root area** Area = 0.728 in<sup>2</sup>  
**Stress (operating)** SB = 25000 psi  
**Stress (atmos.)** SA = 25000 psi  
**Joint-contact compr. load** HP = 6.2832\*b\*G\*PI\*m+2\*Br\*m\*PI\*RIB = 122706 lbf  
**Hydrostatic end force** H = 0.7854\*G\*G\*PI = 93889 lbf

**Operating conditions:**

Min. calc. bolt load WM1 = HP+H = 216596 lbf  
 Min. used bolt load WM1 = max of 2 mating flanges = 216596 lbf

**Bolting up conditions:**

Minimum bolt load WM2 = b\*3.1416\*G\*Y+Br\*Y\*RIB = 66931 lbf  
 Min. used bolt load WM2 = max of 2 mating flanges = 66931 lbf  
 Required bolt area AM = WM2/SA or WM1/SB = 8.66 in<sup>2</sup>  
 Available bolt area AB = No.Bolt\*Area = 8.74 in<sup>2</sup>  
 Design bolt load W = 0.5\*(AM+AB)\*SA = 217498 lbf  
 Minimum gasket width NMN = AB\*SA/(6.283\*Y\*G) = 0.3059 in

Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A  
 Company: Location: Plant:  
 Service of Unit: Engineer:  
 Item No.: File:  
 Req.: P.O.: Job No.: PRUEBA  
 Dsgn. by:

### Integral Flange Calculations

Operating conditions:  
 Hydrostatic end load  
 Gasket load  
 Result. hydrostatic force  
 Boltting up conditions:  
 Gasket load

Operating conditions:  
 Hydrostatic lever arm  
 Gasket load lever arm  
 Result. hydro. lever arm

Bolting up conditions:  
 Gasket load lever arm

Operating conditions:  
 Hydrostatic moment  
 Gasket moment  
 Result. hydro. moment  
 Total operating moment

Bolting up conditions:  
 Bolt up moment  
 Effective bolt moment  
 Total moment

Bolt spacing correction  
 (TEMA RCB-11.23) Cf= 1

### Flange shape constants:

K = A/B  
 TF = Fig.2-7.1  
 Z = Fig.2-7.1  
 Y = Fig.2-7.1  
 U = Fig.2-7.1  
 G1/G0 = G1/G0  
 t =  
 D = U\*ho\*go\*go/V  
 Beta = 1.333\*t\*e+1.0  
 Delta = t\*t\*U/D

### Stress calculations:

Long. hub SH = (F\*M)/(Lambda\*g1\*g1) = 20588 psi  
 Radial SR = Beta\*M/(Lambda\*t\*t) = 5999 psi  
 Tangential ST1 = M\*Y/(t\*t)-(Z\*SR) = 14218 psi  
 (greater) ST2 = (SH+SR)/2 or (SH+ST1)/2 = 17403 psi

### Allowable stress:

1.5\*SFO = 26250 psi  
 SFO = 17500 psi  
 SFO = 17500 psi  
 SFO = 17500 psi

Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A  
 Company: Location: Plant:  
 Service of Unit: Engineer:  
 Item No.: File:  
 Req.: P.O.: Job No.: PRUEBA  
 Dsgn. by:

Component: Channel Cover  
 ASME Section VIII Div.1 UG-34 Unstayed Flat Heads and Covers

### Calculations — Channel Cover Internal Pressure

Material: SA-516 Gr 70 Steel Plt  
 Design pressure P = 3000 psi  
 Stress (operating) SO = 17500 psi Design temperature T = 125 F  
 Corr. allowance CAI = 0.0625 in Stress (atmos.) SA = 17500 psi  
 Outside diameter OD = 12.75 in  
 Bolt circle diameter C = 10.5 in  
 Mean gasket diameter G = 6.3125 in  
 Mod. of elasticity ME = 0 psi  
 Required thickness t = 3.1383 in

Gasket load lever arm hg = (C-G)/2 = 2.0938 in

ASME Section VIII Div.1 UG-34 Unstayed Flat Heads and Covers

### Calculations — Channel Cover Internal Pressure

Operating bolt load Wo = 216596 lbf  
 Gasket seating bolt load Wb = 217498 lbf  
 Available bolt area Ab = 8.736 in<sup>2</sup>  
 Bolt stress (operating) Sb = 25000 psi

### Code required cover thickness:

Operating: t = G\*sqrt(0.3\*P/SO+1.9\*Wo\*hg/(SO\*G\*G)) = 3.1383 in  
 Bolting: t = G\*sqrt(1.9\*Wb\*hg/(SA\*G\*G)) = 2.7986 in

### TEMA RCB-9.21 (cover deflection)

Y = G\*(0.0435\*G\*\*3\*P+0.5\*Sb\*Ab\*hg)/(ME\*t\*\*3)  
 Ymax = 0.03 in. (0.076 mm) or OD/800  
 t = (G\*(0.0435\*G\*\*3\*P+0.5\*Sb\*Ab\*hg)/(ME\*Ymax))\*\*.333

Thicknesses do NOT include corrosion or recesses.



Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A  
 Company: Location: Plant:  
 Service of Unit: Engineer:  
 Item No.: File:  
 Req.: P.O.: Job No.: PRUEBA  
 Dsgn. by:

**Component: Flange**  
 ASME Section VIII Division 1, Appendix S, S-2 Flange Rigidity

— Calculations —

Operating moment,  $M_o = 447502 \text{ lbf}\cdot\text{in}$  Gasket seat. moment  $M_a = 455386 \text{ lbf}\cdot\text{in}$   
 Factor V  $V = 0.437$  Factor L  $L = 3.8349$   
 Mod. elast.design T  $E_d = 28875000 \text{ psi}$  Mod.elast.atm. temp  $E_a = 29201000 \text{ psi}$   
 Thickness  $g_o = 0.8125 \text{ in}$  Factor  $h_o = 2.1378 \text{ in}$   
 Factor KI  $KI = 0.3$  Factor KL  $KL = 0.2$   
 Corrosion allowance  $ca = 0.0625 \text{ in}$  Factor K  $K = 2.2667$   
 Thickness, T  $T = 2.75 \text{ in}$

Rigidity index, J, loose flange type

Gasket seating  $J = 109.4 \cdot M_o / (E \cdot T \cdot \cdot 3 \cdot \text{Log}(K))$   $KL) = -$   
 Operating  $J = 109.4 \cdot M_o / (E \cdot T \cdot \cdot 3 \cdot \text{Log}(K))$   $KL) = -$

Rigidity index, J, integral flange type

Gasket seating  $J = 52.14 \cdot M_o \cdot V / (L \cdot E \cdot (G_o + ca) \cdot \cdot 2 \cdot \text{ho} \cdot$   $KI) = 0.19$   
 Operating  $J = 52.14 \cdot M_o \cdot V / (L \cdot E \cdot G_o \cdot \cdot 2 \cdot \text{ho} \cdot$   $KI) = 0.22$

Filename: BORRAR Date: 12/03/97 Time: 17:30:47 Teams case: A  
 Company: Location: Plant:  
 Service of Unit: Engineer:  
 Item No.: File:  
 Req.: P.O.: Job No.: PRUEBA  
 Dsgn. by:

**Component: Cylinder**  
 ASME Section VIII Div.1 UG-27 Thickness of Shells under Internal Pressure

— Calculations — Cylinder Internal Pressure

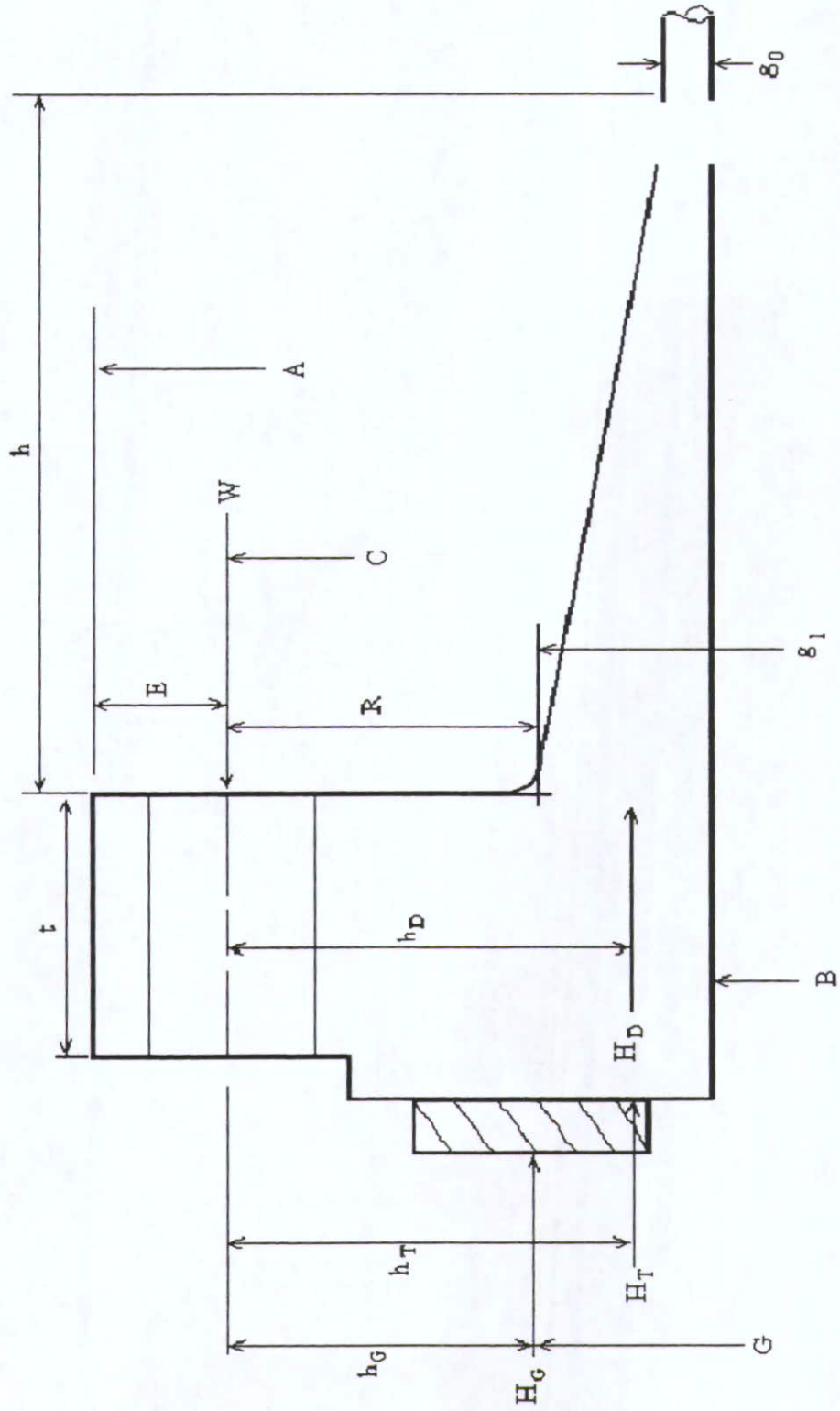
Material: SA-516 Gr 70 Steel Plt Design temperature  $T = 125 \text{ F}$   
 Design pressure  $P = 3000 \text{ psi}$  Joint efficiency  $E = 0.7$   
 Radiography = None TEMA min. thickness  $t_m = 0.245 \text{ in}$   
 Design stress  $S = 17500 \text{ psi}$  Outside corr. all.  $CAO = 0 \text{ in}$   
 Inside corr. allow.  $CAI = 0.0625 \text{ in}$  Material tolerance  $Tol = 0 \text{ in}$   
 Outside diameter  $OD = 7.25 \text{ in}$  Corroded radius  $IR = 2.8125 \text{ in}$

Required wall thickness of the cylinder:

$t = (P \cdot IR / (S \cdot E \cdot 0.6 \cdot P)) + CAI + CAO + Tol = 0.8699 \text{ in}$  UG-27(C)  
 Actual wall thickness of cylinder:  $t_{nom} = 0.875 \text{ in}$

(Required wall thks. for nozzle attachments,  $E = 1$ ,  $tri = 0.5374 \text{ in}$ )

Vista lateral de la Brida



### 3.3. CÁLCULOS DE LA BRIDA CON UNA PRESIÓN DE 2000 PSI Y ESPESOR DE $\frac{3}{4}$

A continuación se presentan los cálculos de la brida a estas condiciones.

Filename: borrar

Date: 12/17/97

Time: 11:11:05

Teams case: A

## HEADINGS

..... 1-5 lines which will appear on each page of printed output.

Company:  
Location:  
Service of Unit:  
Item No.:  
Req.:

Plant:  
Engineer:  
File:  
P.O.:

Job No.: PRUEBA

Dsgn. by:

## APPLICATION TYPE

Type of Application ..... 1

- 1 = single flange
- 2 = single flange mated to a fixed tubesheet or backing ring
- 3 = mating flanges around tubesheet
- 4 = inside floating head flanges
- 5 = cylinder or cover thickness external pressure
- 6 = nozzle and reinforcement design
- 7 = fixed tubesheet and expansion joint design
- 8 = external loads of fittings - WRC method
- 9 = external loads of fittings - HEI method
- 10 = Zick shell stress analysis

## CODES &amp; STANDARDS

System of Measure ..... 1

- 1 = US
- 2 = SI
- 3 = metric

Code Requirements ..... 1

- 0 = program
- 1 = ASME - American
- 2 = CODAP - French
- 3 = AD-Merkblätter - German

TEMA Class .....

- 0 = program
- 1 = B - chemical service
- 2 = C - general service
- 3 = R - refinery service
- 9 = code only

Filename: borrar

Date: 12/17/97

Time: 11:11:05

Teams case: A

## FLANGE DESIGN SPECIFICATIONS

Design Pressure ..... psig 2000

typical values  
psig: 150 300 450 600 900 1500 2500  
bar: 10 16 20 25 40 50 100 150 250

Design Temperature .....F 125

50 100 150 200 250 300 350  
400 450 500 550 600 650 700

Corrosion Allowance ..... in -

0 = program -1 = none  
0.0625 0.125 1.6 2 3 3.2

Radiographing ..... 0 = program

1=none 2=spot 3=full

## FLANGE GEOMETRY

Flange Type ..... 6 0 = program  
per ASME Figure 2-4

- 1 = lap joint, figure 1
- 2 = lap joint, figure 1a
- 3 = loose ring, figure 3a
- 4 = loose ring, figure 4a
- 5 = straight hub, figure 5
- 6 = tapered hub, figure 6
- 7 = integral ring, figure 7
- 8 = ring, figure 8
- 9 = ring, figure 9
- 10 = ring, figure 10
- 11 = ring, figure 11

Flange Attached to .....

- 0 = program
- 1 = cylinder
- 2 = ellipsoidal head
- 3 = torispherical head

## FLANGE GEOMETRY

Flange Facing ..... 0 = program  
per ASME Table 2.5.2

- 1 = flat, figure 1a
- 2 = serrated, figure 1b
- 3 = nubbin (w<=N), figure 1c
- 4 = serrated nubbin (w<=N), fig 1d
- 5 = nubbin (w<=N/2), figure 2
- 6 = nubbin both sides, figure 3
- 7 = serrated, figure 4
- 8 = serrated both sides, fig 5
- 9 = ring, figure 6

Flange Nubbin Width ..... in -

0 = program

Filename: borrar Date: 12/17/97

Time: 11:11:05

Teams case: A

MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Vessel Material ..... 1109

- 1102 = SA-106 grade B (seamless) pipe
- 1181 = SA-312 TP304 (welded)
- 1183 = SA-312 TP316 (welded)
- 1185 = SA-312 TP347 (welded)
- 1109 = SA-516 grade 70 plate
- 1123 = SA-240 grade 304
- 1127 = SA-240 grade 316
- 1131 = SA-240 grade 347

Allowable Stress of Vessel Material

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Flange Material ..... 1176

- 1176 = SA-105 forging
- 1266 = SA-350 grade LF2
- 1288 = SA-266 grade 2
- 1235 = SA-182 F304L
- 1109 = SA-516 grade 70 plate
- 1123 = SA-240 grade 304
- 1127 = SA-240 grade 316
- 1131 = SA-240 grade 347

Allowable Stresses for Material

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Bolt Material ..... 1159

- 1159 = SA-193 B7 (default)
- 1165 = SA-193 B8 Cl.1
- 1166 = SA-193 B8M Cl.1

Allowable Stresses for Bolts

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

Filename: borrar Date: 12/17/97

Time: 11:11:05

Teams case: A

MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Gasket Material ..... 1322

- 1330 = compressed fiber (thin)
- 1331 = compressed fiber (thick)
- 1320 = metal jacketd fiber steel
- 1309 = metal jacketd fiber stnls
- 1322 = solid metal steel
- 1313 = solid metal stnls
- 1303 = spiral-wound steel-fiber
- 1304 = spiral-wound stnls-fiber
- 1345 = Garloc B-G 3000 (thin)
- 1346 = Garloc B-G 3100 (thick)

Gasket Seating Stress y Value ..... psi - 0 = program

Gasket m Factor ..... - 0 = program  
 - 0 = program

MATERIALS OF CONSTRUCTION - ASTM

Use the designators shown below or press F1 for other material designators.

Flat Cover Material (if present) ..... 1109

- 1176 = SA-105 forging
- 1266 = SA-350 grade LF2
- 1288 = SA-266 grade 2
- 1235 = SA-182 F304L
- 1109 = SA-516 grade 70 plate
- 1123 = SA-240 grade 304
- 1127 = SA-240 grade 316
- 1131 = SA-240 grade 347

Allowable Stress of Material

at Design Temperature ..... psi - 0 = program  
 at Ambient Temperature ..... psi -

Modulus of Elasticity (X 10\*\*(-6)) ..... 0 = program

at Design Temperature

FLANGE DESIGN SPECIFICATIONS

Vessel Outside Diameter ..... in

(0 if ID specified)

Vessel Inside Diameter ..... in 5.5

(0 if OD specified)

Vessel Thickness ..... in 0.75 0 = program

Gasket Thickness ..... in 0.125 0 = program

Effective Gasket Width Column ..... 0 = program

Selection per ASME Table 2-5.2

1 = as shown in column I

2 = as shown in column II

0 = program

Number of Tube Side Passes ..... 0 = program

if Head Flange of Heat Exchanger

1 2 3 4 6 8 10 12 14 16

Filename: borrar Date: 12/17/97 Time: 11:11:05 Teams case: A

Filename: borrar Date: 12/17/97 Time: 11:11:05 Teams case: A

OPTIONAL PARAMETERS

If Transferred from Another Flange
Required Cross-sectional Area of Bolts (Am)
Operating Bolt Load WM1
Bolt Holes
Tapped for Ring Flange at
Front Cover
Slotted Bolt Holes
Minimum Bolt Diameter
Torispherical Head
Inside Crown Radius as % of OD
Inside Knuckle Radius as % of OD
Ellipsoidal Head
Ratio of Major to Minor Axis

OPTIONAL PARAMETERS

Company:
Location:
Service of Unit:
Item No.:
Req.:
Dsgn. by:
Component: Flange
ASME Section VIII Div. 1 Appendix 2
Rules for Bolted Flange Connections With Ring Type Gaskets
Flange type: Hub
Flange material: SA-105 Carbon Steel Forged
Int. design pressure
Ext. design pressure
Inside corr. allow
Stress (operating)
Outside diameter
Inside diameter
Bolt circle diameter
Mean gasket diameter
Hub to bolt circle
Flange ring tks.

OPTIONAL PARAMETERS

Gaskets
Effective Gasket Seating Width
Total Length of Gasket Ribs (if present)
Joint Efficiency of Vessel Material
Tapered Hub Optimization

OPTIONAL PARAMETERS

Gasket material: Solid Fit Metal Sft Steel
Gasket outside dia.
Gasket thickness
Gasket seating stress
Gasket rib length
Gasket rib eff width
Bolt material: SA-193 B7 Steel Bolt
Bolt diameter
Bolt root area
Stress (operating)
Joint-contact compr. load
Hydrostatic end force

RATING

Flange
Outside Diameter
Bolt Circle
Thickness
Bolts
Number of Bolts
Nominal Diameter
Gasket
Outside Diameter
Width
Hub Flange
Hub Length
Hub Slope
Lap Joint Flange
Outside Diameter of Lap Joint Ring

RATING

Operating conditions:
Min. calc. bolt load
Min. used bolt load
Bolting up conditions:
Minimum bolt load
Min. used bolt load
Required bolt area
Available bolt area
Design bolt load
Minimum gasket width

Filename: borrar Date: 12/17/97 Time: 11:11:05 Teams case: A  
 Company: Plant:  
 Location: Engineer:  
 Service of Unit: File:  
 Item No.: P.O.:  
 Req.: Job No.: PRUEBA  
 Dsgn. by:

Component: Channel Cover  
 ASME Section VIII Div.1 UG-34 Unstayed Flat Heads and Covers

— Calculations — Channel Cover Internal Pressure  
 Material: SA-516 Gr 70 Steel P11  
 Design pressure P = 2000 psi Design temperature T = 125 F  
 Stress (operating) SO = 17500 psi Stress (atmos.) SA = 17500 psi  
 Corr. allowance CAI = 0.0625 in  
 Outside diameter OD = 12.3125 in  
 Bolt circle diameter C = 10.1875 in  
 Mean gasket diameter G = 6.1875 in  
 Mod. of elasticity ME = 0 psi  
 Required thickness t = 2.4974 in

Gasket load lever arm hg = (C-G)/2 = 2.0 in

ASME Section VIII Div.1 UG-34 Unstayed Flat Heads and Covers

— Calculations — Channel Cover Internal Pressure  
 Operating bolt load Wo = 140323 lbf  
 Gasket seating bolt load Wb = 152811 lbf  
 Available bolt area Ab = 6.612 in<sup>2</sup>  
 Bolt stress (operating) Sb = 25000 psi

Code required cover thickness:

Operating: t = G\*sqrt(0.3\*P/SO+1.9\*Wo\*hg/(SO\*G\*G)) = 2.4974 in  
 Bolting: t = G\*sqrt(1.9\*Wb\*hg/(SA\*G\*G)) = 2.3158 in

TEMA RCB-9.21 (cover deflection)

Y = G\*(0.0435\*G\*\*3\*P+0.5\*Sb\*Ab\*hg)/(ME\*t\*\*3) = 0.0  
 Ymax = 0.03 in. (0.076 mm) or OD/800 = 0.0  
 t = (G\*(0.0435\*G\*\*3\*P+0.5\*Sb\*Ab\*hg)/(ME\*Ymax))\*\*.333 = 0.0 in

Thicknesses do NOT include corrosion or recesses.

Filename: borrar Date: 12/17/97 Time: 11:11:05 Teams case: A  
 Company: Plant:  
 Location: Engineer:  
 Service of Unit: File:  
 Item No.: P.O.:  
 Req.: Job No.: PRUEBA  
 Dsgn. by:

Integral Flange Calculations

HD = 0.785\*B\*B\*PI = 49701 lbf  
 HG = WM1-H = 80184 lbf  
 HT = H-HD = 10437 lbf  
 HG = W = 152811 lbf

hd = R+0.5\*g1 = 1.8313 in  
 hg = (C-G)/2.0 = 2.0 in  
 ht = (R\*g1+hg)/2.0 = 2.1406 in

hg = (C-G)/2 = 2.0 in

MD = HD\*hd = 91015 lbf\*in  
 MG = HG\*hg = 160369 lbf\*in  
 MT = HT\*ht = 22342 lbf\*in  
 MOP = MD+MG+MT = 273726 lbf\*in

MATM = W\*hg = 305623 lbf\*in  
 MB = MATM\*SFO/SFA = 305623 lbf\*in  
 MO = MOP or MB = 305623 lbf\*in  
 M = MO\*Cf/(B or B1) = 46839 lbf\*in

ho = SQ(B\*G0) = 1.9665  
 h/ho = h/ho = 0.5403  
 F = Fig.2-7.2 = 0.8609  
 V = Fig.2-7.3 = 0.3668  
 f = Fig.2-7.6 = 1.0  
 e = F/ho = 0.4378

Alpha = t\*e+1.0 = 1.9577  
 Gamma = Alpha/TF = 1.3605  
 Lambda = Gamma+Delta = 2.79

Allowable stress:

1.5\*SFO = 26250 psi  
 SFO = 17500 psi  
 SFO = 17500 psi  
 SFO = 17500 psi

Loads:

Operating conditions:

Hydrostatic end load  
 Gasket load  
 Result. hydrostatic force  
 Bolting up conditions:  
 Gasket load

Operating conditions:

Hydrostatic lever arm  
 Gasket load lever arm  
 Result. hydro. lever arm

Bolting up conditions:

Gasket load lever arm

Operating conditions:

Hydrostatic moment  
 Gasket moment  
 Result. hydro. moment  
 Total operating moment

Bolting up conditions:

Bolt up moment  
 Effective bolt moment  
 Total moment

Bolt spacing correction  
 (TEMA RCB-11.23) Cf = 1

Flange shape constants:

K = A/B  
 TF = Fig.2-7.1  
 Z = Fig.2-7.1  
 Y = Fig.2-7.1  
 U = Fig.2-7.1  
 G1/G0 = G1/Go  
 t =  
 D = U\*ho\*g0/g0V  
 Beta = 1.333\*t\*e+1.0  
 Delta = t\*t/VD

Stress calculations:

Long. hub SH = (F\*M)/(Lambda\*g1\*g1)  
 Radial SR = Beta\*M/(Lambda\*t\*t)  
 Tangential ST1 = M\*Y/(t\*t)\*(Z\*SR)  
 (greater) ST2 = (SH+SR)/2 or (SH+ST1)/2



Filename: borrar

Date: 12/17/97

Time: 11:11:05

Teams case: A

Company:

Location:

Service of Unit:

Item No.:

Req.:

Plant:

Engineer:

File:

P.O.:

Job No.: PRUEBA

Dsgn. by:

Dsgn. by: PRUEBA

**Component: Flange**

ASME Section VIII Division 1, Appendix S, S-2 Flange Rigidity

## — Calculations

Operating moment,

Factor V

Mod. elast. design T

Thickness g0

Factor KI

Corrosion allowance

Thickness, T

Mo = 273726 lbft<sup>2</sup>in

V = 0.367

Ed = 28875000 psi

g0 = 0.6875 in

KI = 0.3

ca = 0.0625 in

T = 2.1875 in

Gasket seat. moment

Factor L

Mod. elast. atm. temp

Factor h0

Factor KL

Factor K

Ma = 305623 lbft<sup>2</sup>in

L = 2.79

Ea = 29201000 psi

h0 = 1.9665 in

KL = 0.2

K = 2.1889

Rigidity index, J, loose flange type

Gasket seating

Operating

J = 109.4 \* Mo / (E \* T \*\* 3 \* Log(K) \* KL) = -

J = 109.4 \* Mo / (E \* T \*\* 3 \* Log(K) \* KL) = -

Rigidity index, J, integral flange type

Gasket seating

Operating

J = 52.14 \* Mo \* V / (L \* E \* (G0+ca)\*\*2 \* ho \* KI) = 0.22

J = 52.14 \* Mo \* V / (L \* E \* G0 \*\* 2 \* ho \* KI) = 0.23

Filename: borrar

Date: 12/17/97

Time: 11:11:05

Teams case: A

Company:

Location:

Service of Unit:

Item No.:

Req.:

Plant:

Engineer:

File:

P.O.:

Job No.: PRUEBA

Dsgn. by:

Dsgn. by: PRUEBA

**Component: Cylinder**

ASME Section VIII Div.1 UG-27 Thickness of Shells under Internal Pressure

## — Calculations — Cylinder Internal Pressure

Material: SA-516 Gr 70 Steel P11

Design pressure

Radiography

Design stress

Inside corr. allow.

Outside diameter

P = 2000 psi

= None

S = 17500 psi

CAI = 0.0625 in

OD = 7 in

Design temperature

Joint efficiency

TEMA min. thickness

Outside corr. all.

Material tolerance

Corroded radius

T = 125 F

E = 0.7

tm = 0.245 in

CAO = 0 in

Tol = 0 in

IR = 2.8125 in

Required wall thickness of the cylinder:

$$t = \frac{(P \cdot R / (S \cdot E \cdot 0.6 \cdot P)) + CAI + CAO + Tol}{1} = \frac{(P \cdot R / (S \cdot E \cdot 0.6 \cdot P)) + CAI + CAO + Tol}{1} = 0.5715 \text{ in}$$

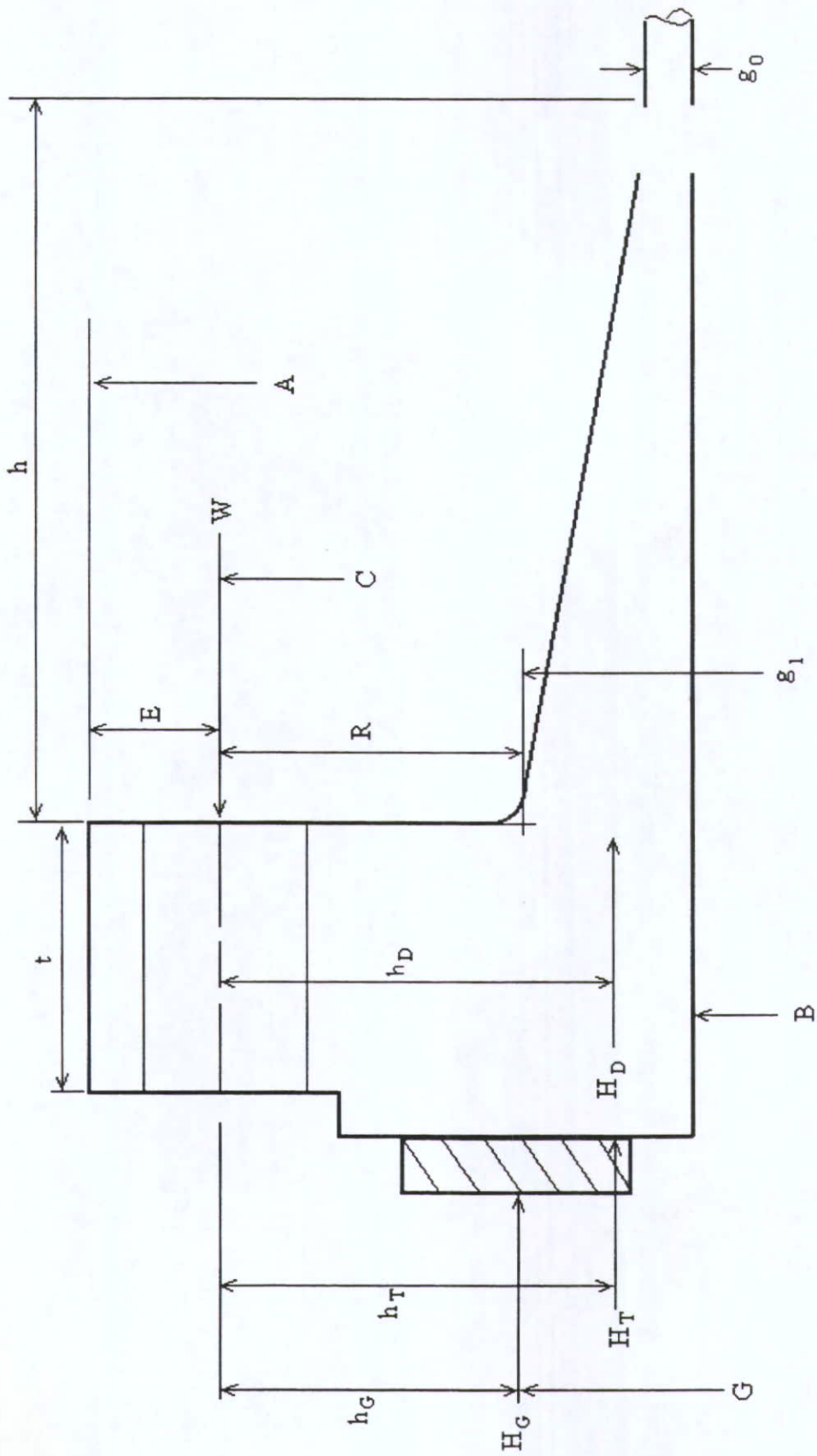
Actual wall thickness of cylinder:

$$t_{nom} = 0.75 \text{ in}$$

(Required wall thks. for nozzle attachments, E= 1 , tri = 0.3451 in )

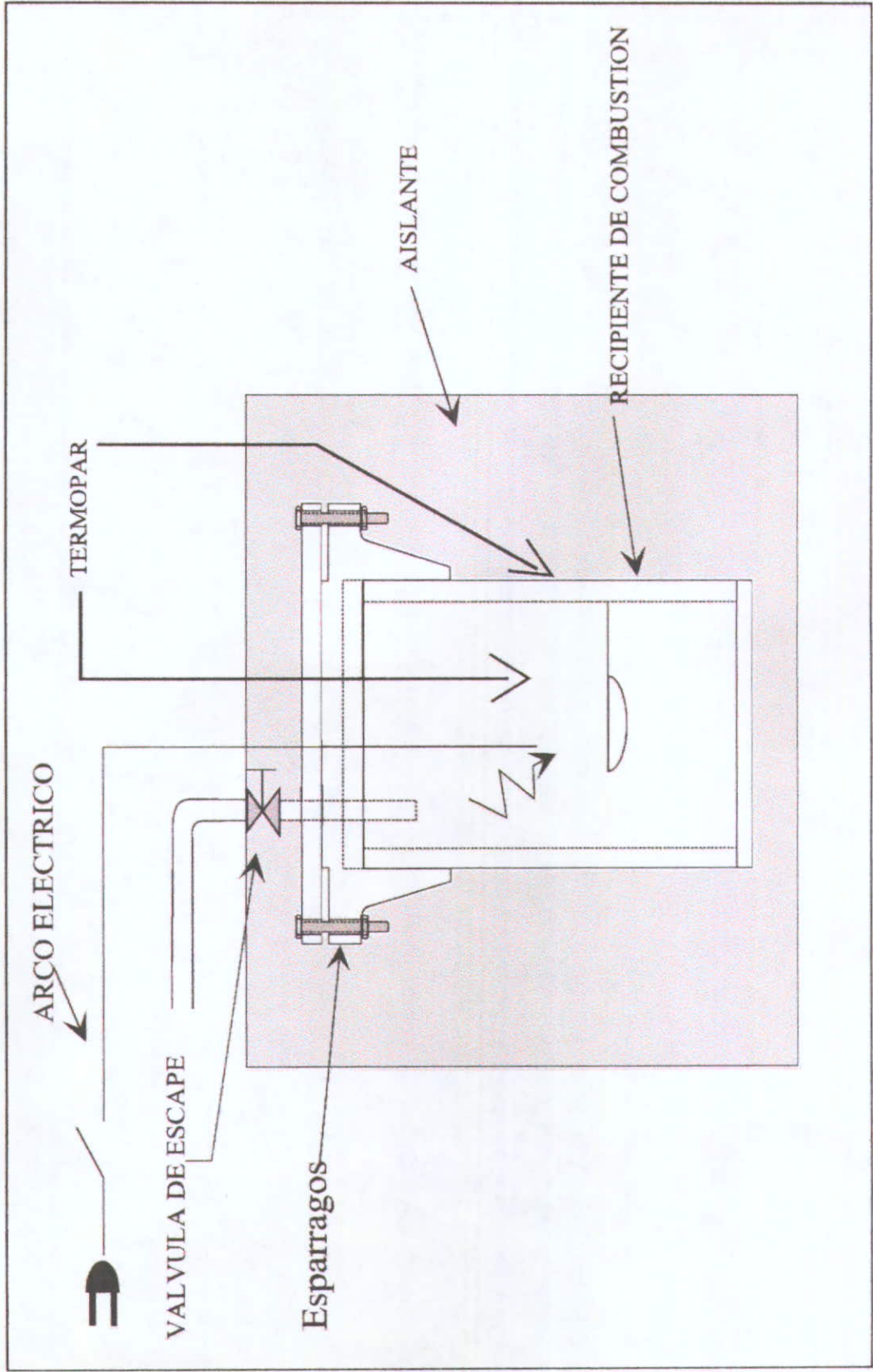


Vista lateral de la Brida



# CAPITULO 4

## DIBUJO LATERAL DEL CALORIMETRO CON SUS ADITAMENTOS



## 4.2. ANÁLISIS MEDIANTE EL PROGRAMA “ANSYS”

### **Qué es el Ansys:**

El ansys es un programa de análisis de diseño que utiliza como herramienta el método de elementos finitos. El enfoque del ansys es el desarrollamiento de herramientas y servicios que sean de uso fácil y nos ayude en algún proceso a reducir costos, ciclos costosos de diseño e imponer calidad en el producto y así poder mantener los altos estándares que se buscan en las nuevas tecnologías.

Ansys es una industria que fue fundada en 1970 por el Dr. John A. Swanson para el desarrollo, dar soporte, usado como un código de análisis de elementos finitos en el campo de la ingeniería.

Este programa permite a los ingenieros construir mediante la computadora modelos estructurales, componentes mecánicos o sistemas complejos, ofreciendo la posibilidad de aplicar diversas cargas, condiciones de frontera y otros criterios de diseño, para arrojar estudios de respuestas físicas, niveles de tensión, distribuciones de temperatura, presión, etc. Esto permite una evaluación del diseño sin tener que construir o destruir múltiples prototipos de prueba.

Este análisis de diseño tiene una gran variedad de aplicaciones en muchos campos para elementos que se utilizan hoy en día, como las máquinas de lavado, automóviles, sistemas altamente sofisticados como la aviación, construcción de contenedores nucleares, rayos X en equipo y satélites en órbita.

### **Descripción del uso del Ansys para el Calorímetro:**

El ansys nos sirve en este proyecto para poder analizar qué es lo que va a pasar con el recipiente cuando esté sometido a la presión generada por la explosión del combustible.

Debido a la sencillez del recipiente, el modelaje del mismo resulta muy simple. Como se puede observar, el recipiente es simétrico respecto a los ejes coordenados, de ahí que sólo es necesario modelar una cuarta parte de éste y extender los resultados a cada uno de los “cuadrantes” restantes. Por lo tanto, se dibuja la cuarta parte del recipiente de acuerdo a sus dimensiones. 26.5 cm de longitud, 13 cm de diámetro interior y  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor de pared (ver figura # 9).

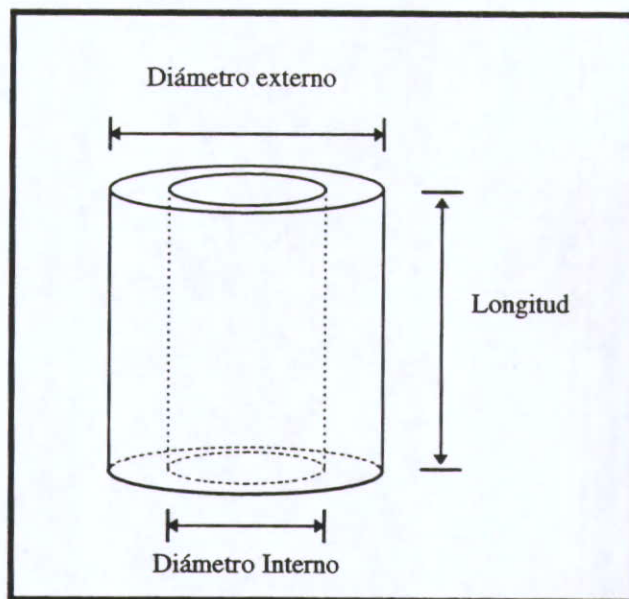


Figura # 9. Vista lateral del recipiente

Para fines del modelaje se va a utilizar la presión máxima que puede soportar el recipiente (que ya se mencionó que es de  $3000 \text{ Lb/in}^2$ ) aunque de antemano sabemos que esta presión nunca va a ser alcanzada por ninguno de los combustibles (ver los cálculos térmicos). Finalmente, esta presión se aplica en el modelo como dos cargas distribuidas sobre cada una de las caras del recipiente.

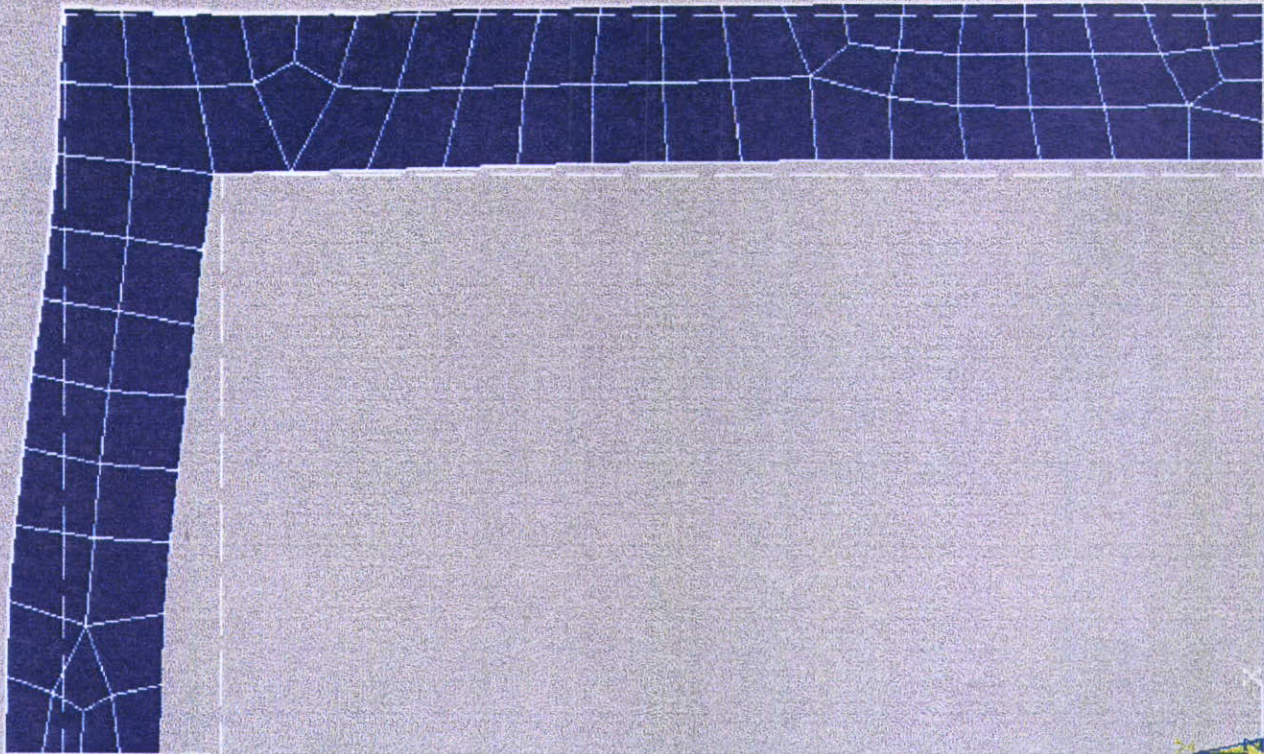
### **Resultados obtenidos en análisis.**

Del modelaje de nuestro sistema se obtienen dos resultados principales. El primero de ellos es el estado de deformación del recipiente bajo la presión actuante. En el dibujo de la figura # 10 se puede observar esto: la línea punteada indica el estado del recipiente en sus condiciones normales, es decir, sin presión, mientras que las líneas continuas son el recipiente deformado por la aplicación de la presión (ver figura # 10 y # 11). En el dibujo de la figura # 11 también se puede observar la forma de la red de mallado que permite el análisis en elementos finitos.

El dibujo de la figura # 12 muestra como están distribuidos los esfuerzos a través de una gráfica de colores. En ella se puede observar que el esfuerzo máximo a que se encuentra sometido el recipiente está localizado justo en la parte exterior del centro de la tapa y del fondo del recipiente. Además, se observa que los lados del recipiente se encuentra sometidos a un bajo esfuerzo.

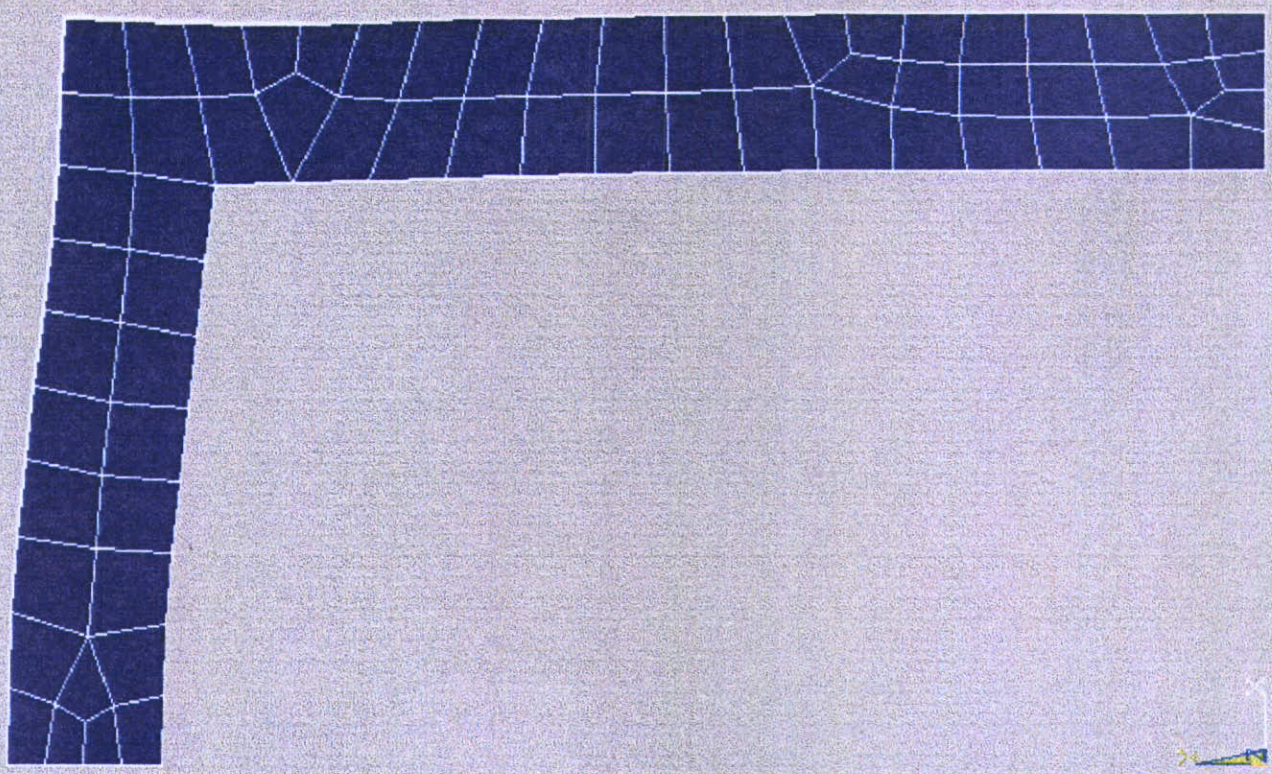
```
ANSYS 5.3  
NOV 13 1997  
17:49:02  
DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
RSYS=0  
DMX =.005499  
SEPC=28.721  
  
DSCA=52.281  
ZV =1  
DIST=3.316  
XF =1.778  
YF =3.015  
Z-BUFFER
```

FIGURA # 10



```
ANSYS 5.3  
NOV 13 1997  
17:44:01  
DISPLACEMENT  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
RSYS=0  
DMX =.005499  
SEPC=28.721  
  
DSCA=52.281  
ZV =1  
DIST=3.316  
XF =1.778  
YF =3.015  
Z-BUFFER
```

FIGURA # 11



ANSYS 5.3  
NOV 13 1997  
17:36:45  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
SEQV (AVG)  
DMX =.005499  
SMN =3342  
SMX =32060  
SMXB=37265

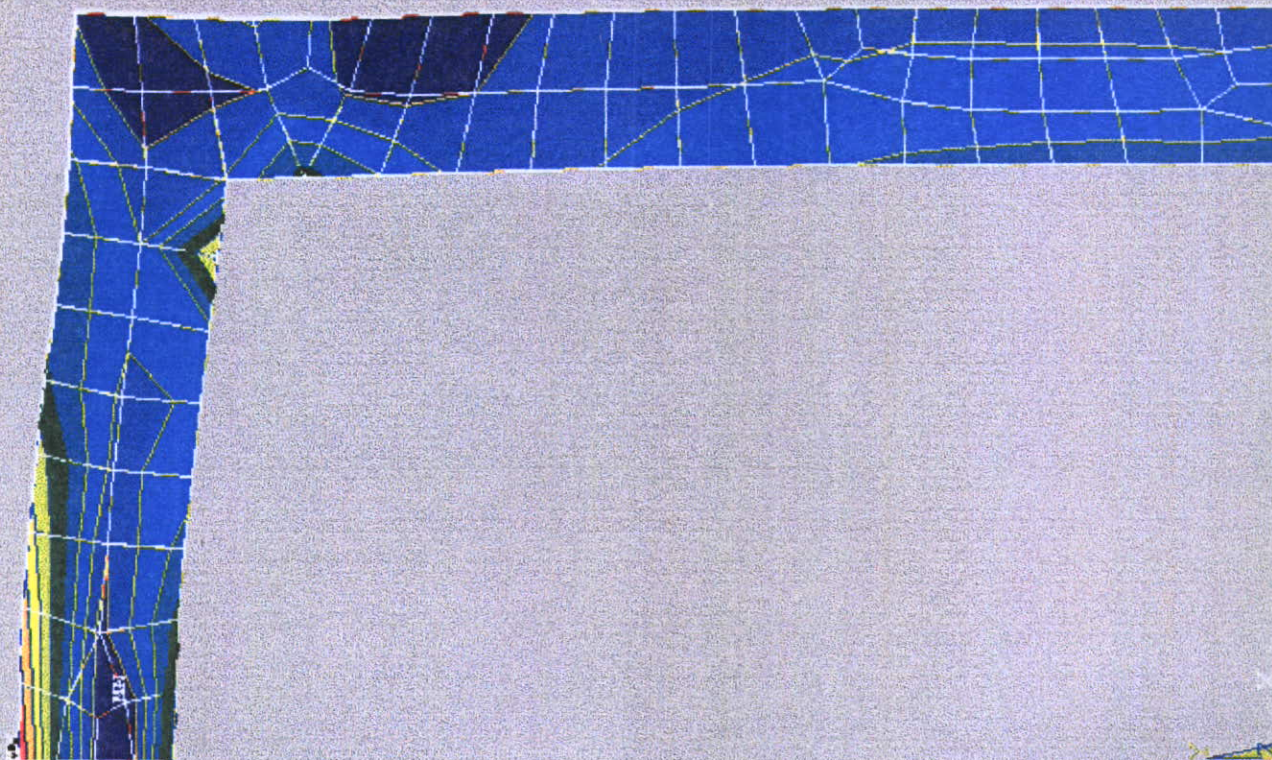
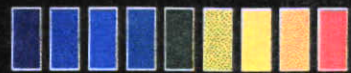


FIGURA # 12



#### 4.4. CÁLCULO DEL ESFUERZO

Para calcular el esfuerzo circunferencial  $\sigma_1$  se aísla un cuerpo libre como se muestra en la figura # 13. Sobre la cara vertical longitudinal de este cuerpo libre actúan los esfuerzos  $\sigma_1$  en la pared y la presión interna P. Sobre las caras transversales actúan también esfuerzos y presiones, pero no intervienen en la ecuación. Las fuerzas horizontales debidas al esfuerzo  $\sigma_1$  y la presión P actúan en direcciones opuestas, por lo que se obtiene:

$$\sigma_1(2 * b * t) - P(2 * b * r) = 0$$

$$\sigma_1 = \frac{P * r}{t}$$

, donde t= espesor de la pared.

r= Radio interior.

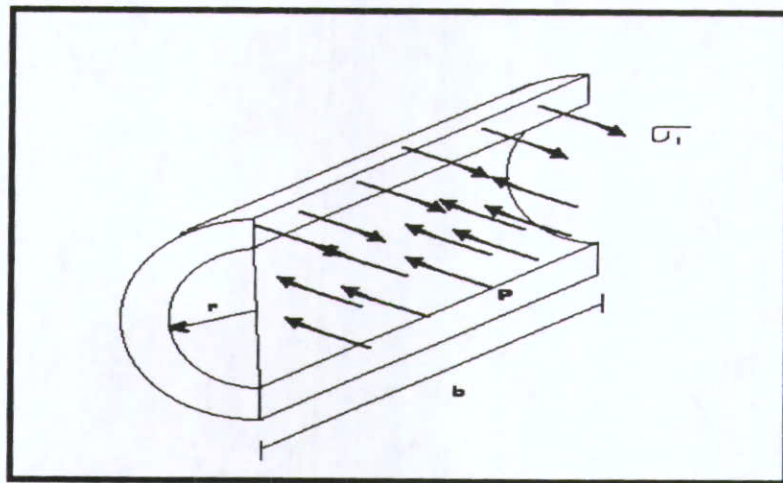


Figura # 13. Vista del esfuerzo circunferencial

Con una presión de 3000 psi se tiene un esfuerzo circunferencial de:

$$\sigma_1 = \frac{(3000 \text{ psi})(2.75 \text{ in})}{\frac{3}{4} \text{ in}} = \underline{\underline{11000 \text{ psi}}} = \underline{\underline{75.842 \text{ MPa}}}$$

Con una presión de 2000 psi se tiene un esfuerzo circunferencial de:

$$\sigma_1 = \frac{(2000 \text{ psi})(2.75 \text{ in})}{\frac{3}{4} \text{ in}} = \underline{\underline{7333.33 \text{ psi}}} = \underline{\underline{50.5615 \text{ MPa}}}$$

El esfuerzo longitudinal se obtiene a partir de un diagrama de cuerpo libre de la parte del tanque que se muestra en la figura # 14. La ecuación de equilibrio es:

$$\sigma_2(2 * \pi * r * t) - P(\pi * r^2) = 0$$

$$\sigma_2 = \frac{P * r}{2 * t}$$

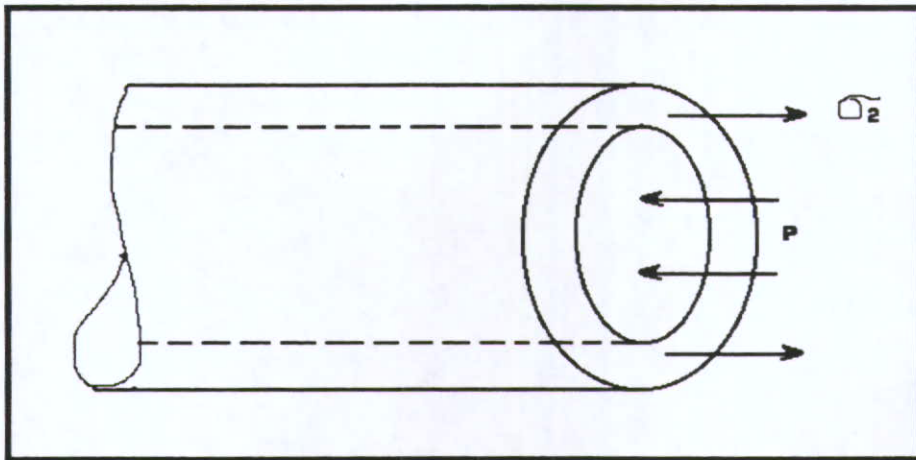


Figura # 14. Vista del esfuerzo longitudinal

Comparando las dos ecuaciones se observa.

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{2}$$

El esfuerzo cortante máximo absoluto ocurre cuando el elemento se gira 45° respecto al eje X.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_2}{2} = \frac{P * r}{2 * t}$$

Con una presión de 3000 psi se tiene un esfuerzo longitudinal de:

$$\sigma_2 = \frac{(3000 \text{ psi})(2.75 \text{ in})}{2 * \frac{3}{4} \text{ in}} = \underline{\underline{5500 \text{ psi}}} = \underline{\underline{37.9211 \text{ MPa}}}$$

Con una presión de 2000 psi se tiene un esfuerzo longitudinal de:

$$\sigma_2 = \frac{(2000 \text{ psi})(2.75 \text{ in})}{2 * \frac{3}{4} \text{ in}} = \underline{\underline{3666.66 \text{ psi}}} = \underline{\underline{25.2807 \text{ MPa}}}$$

Con estos valores obtenidos mediante las fórmulas anteriores de los esfuerzos, podemos compararlos con los valores que se encuentran en tabla<sup>1</sup> de las propiedades típicas de los materiales, que se encuentran en el apéndice C, por lo que estos esfuerzos calculados son menores a los que se encuentran en la tabla, esto significa que el recipiente no tendrá un gran esfuerzo producido por la presión que se ejercería en el recipiente.

Los cálculos se hacen tomando en cuenta tanto una presión de 3000 psi y 2000 psi para comparar la resistencia de estos esfuerzos.

---

<sup>1</sup> Tablas Beer and Johnson

## CAPITULO 5

### 5.1. RESULTADOS

Combustible	Temp. Máx. Interior (K)	Presión $Lb/in^2$	Cantidad de muestra (ml)	Volumen de agua (Lt)	Temp. Absorbida por el recipiente (°C)
Alcohol Etflico	4200	1918	0.97095	0.9836	29.86
Benceno	5000	1884	0.59255	1.01016	30.00
Alcohol Metflico	4000	2054	1.32055	1.01728	30.03
Carbono	5100	1747	0.7968	1.09406	29.65
Gasolina	4700	1878	0.69115	0.96756	31.16

La temperatura máxima que se alcanza dentro del recipiente es de alrededor de los 5000 K, ya que la combustión se lleva a cabo mediante oxígeno puro y no mediante aire.

La presión que se tomó para la elaboración de la brida es de 2000 psi, ya que para el diseño de la brida no se podía tomar la presión de 3000 psi porque se requería un espesor mayor para el recipiente.

La cantidad de la muestra varía, dependiendo del tipo de combustible que se tome.

El volumen de agua para todos los combustibles es de alrededor de un litro, por lo que no es suficiente para poder cubrir el recipiente en donde se llevará la combustión.

## CONCLUSIONES

Para poder concluir este proyecto es necesario hablar de los resultados que se obtuvieron, tanto de la muestra de combustible a utilizar como la cantidad de agua que se emplearía y las razones por la que no se utilizará este recurso.

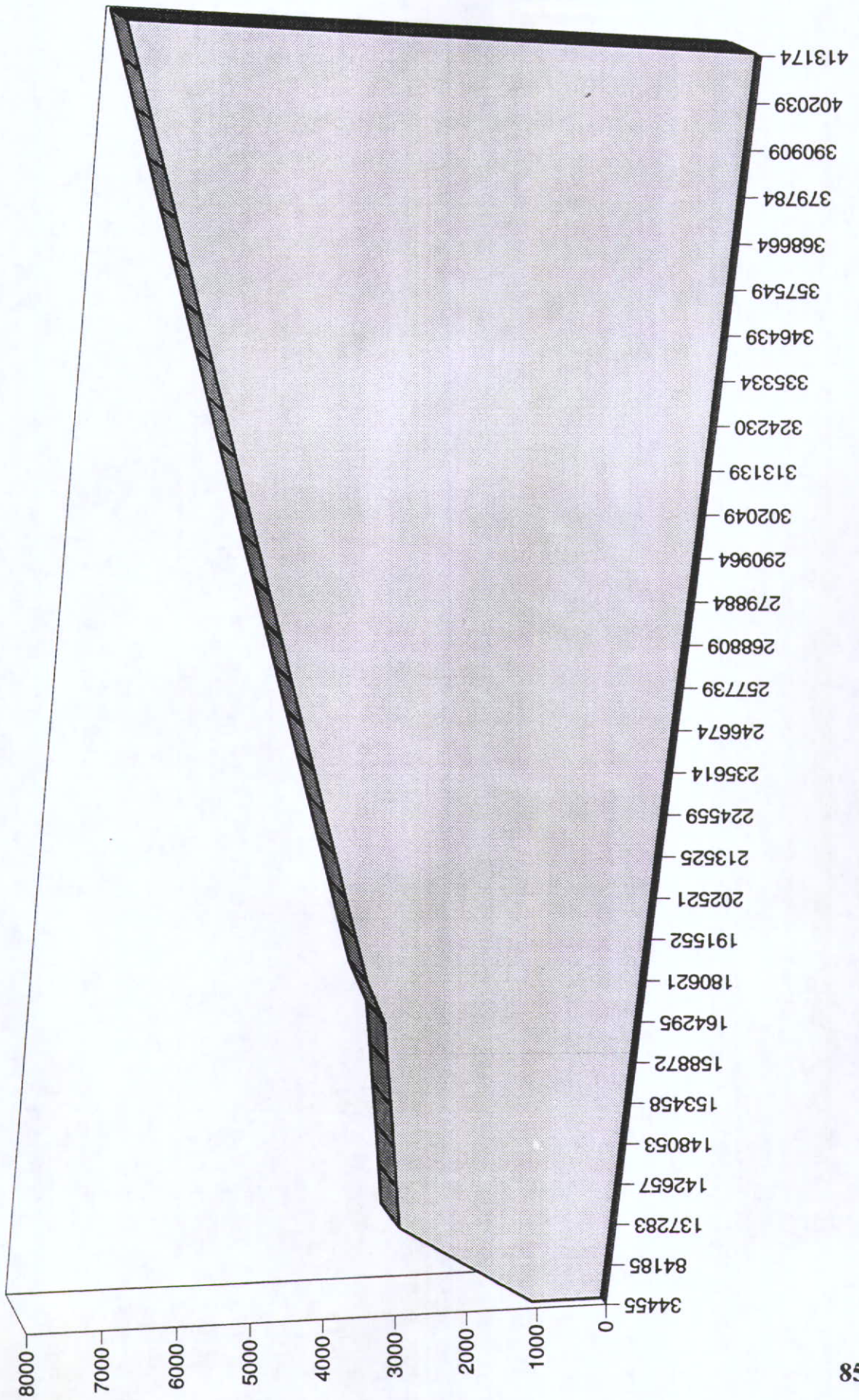
Empezando con la cantidad de muestra de combustible a utilizar, es necesario recordar que para lograr una combustión segura y fuera de riesgos, es recomendable utilizar la cuarta parte de ella para no correr ninguna clase de accidente. De acuerdo a los resultados obtenidos la cantidad varía muy poco. La cantidad de muestra utilizada en los cálculos es la mitad de la muestra total que se había obtenido, ya que también se buscaba disminuir la presión interna del recipiente, para así poder calcular la brida.

Siguiendo con otro punto, el de introducir el recipiente, donde se llevara a cabo la combustión, a un recipiente de agua era para tomar la lectura de temperatura que hubiera durante el flujo de calor que se tendría entre el recipiente y el agua, y así mediante la formula  $Q = m * C_p * \Delta t$  poder analizar el poder calorífico que se tendría. Al hacer los cálculos se observó que la cantidad de agua que se necesitaría era muy poca, alrededor de un litro, por lo que se decidió no colocar un recipiente de agua, ya que hacer un recipiente con unos cuantos centímetros mayor que el recipiente de combustión ocasionaría problemas al introducirlo. El otro problema que surge es que la brida no se podría introducir dentro de éste recipiente con agua, además que por la brida también hay un flujo de calor.

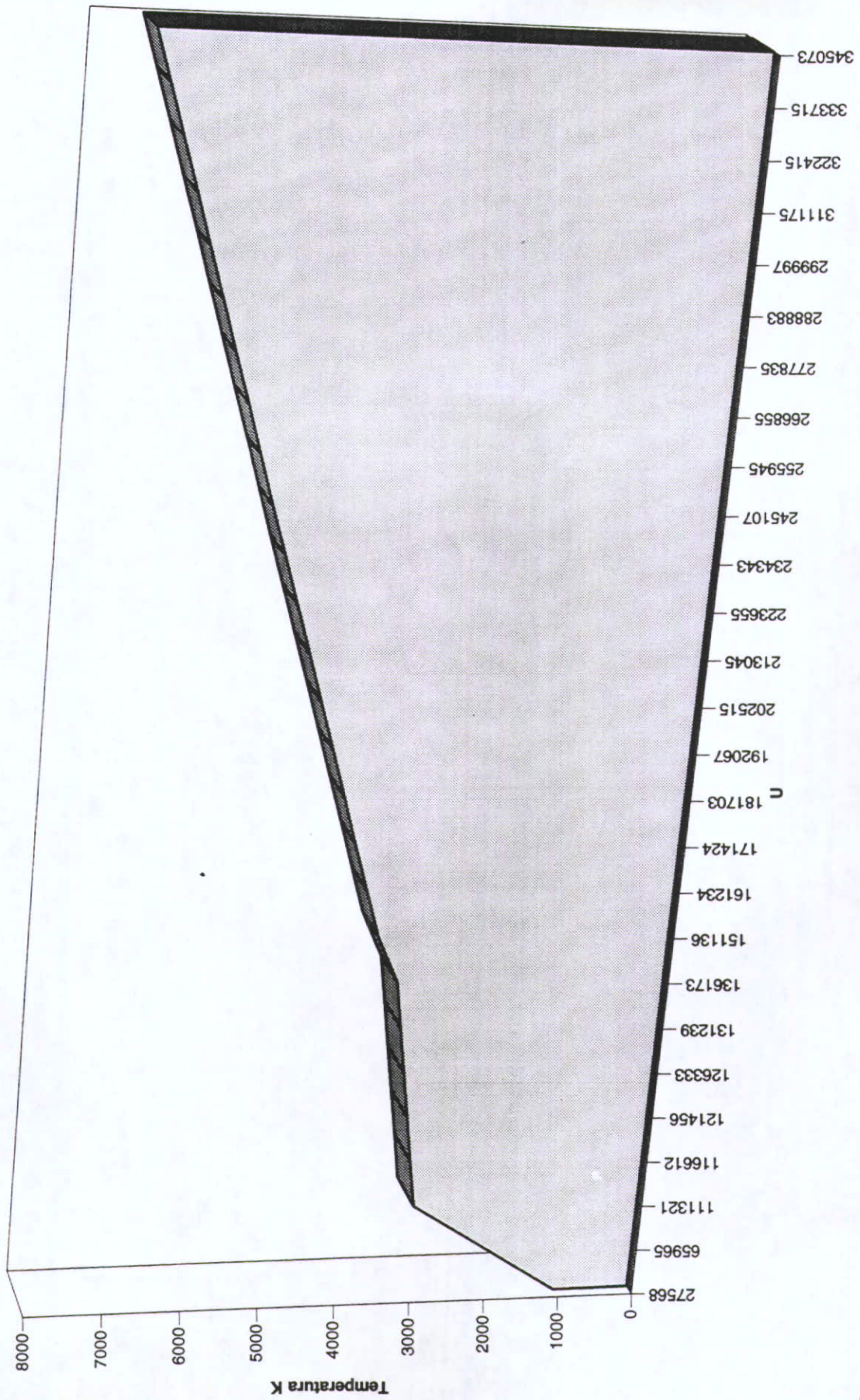
De acuerdo al los objetivos planteados para elaborar este proyecto se puede decir que el proyecto es factible y que serviría para comprobar prácticamente lo que en clase se dice, que el alumno pueda corroborar físicamente que lo que se dijo en las aulas es real y cierto.

**APENDICE A**  
**(Gráficas u-T)**

Grafica CO2

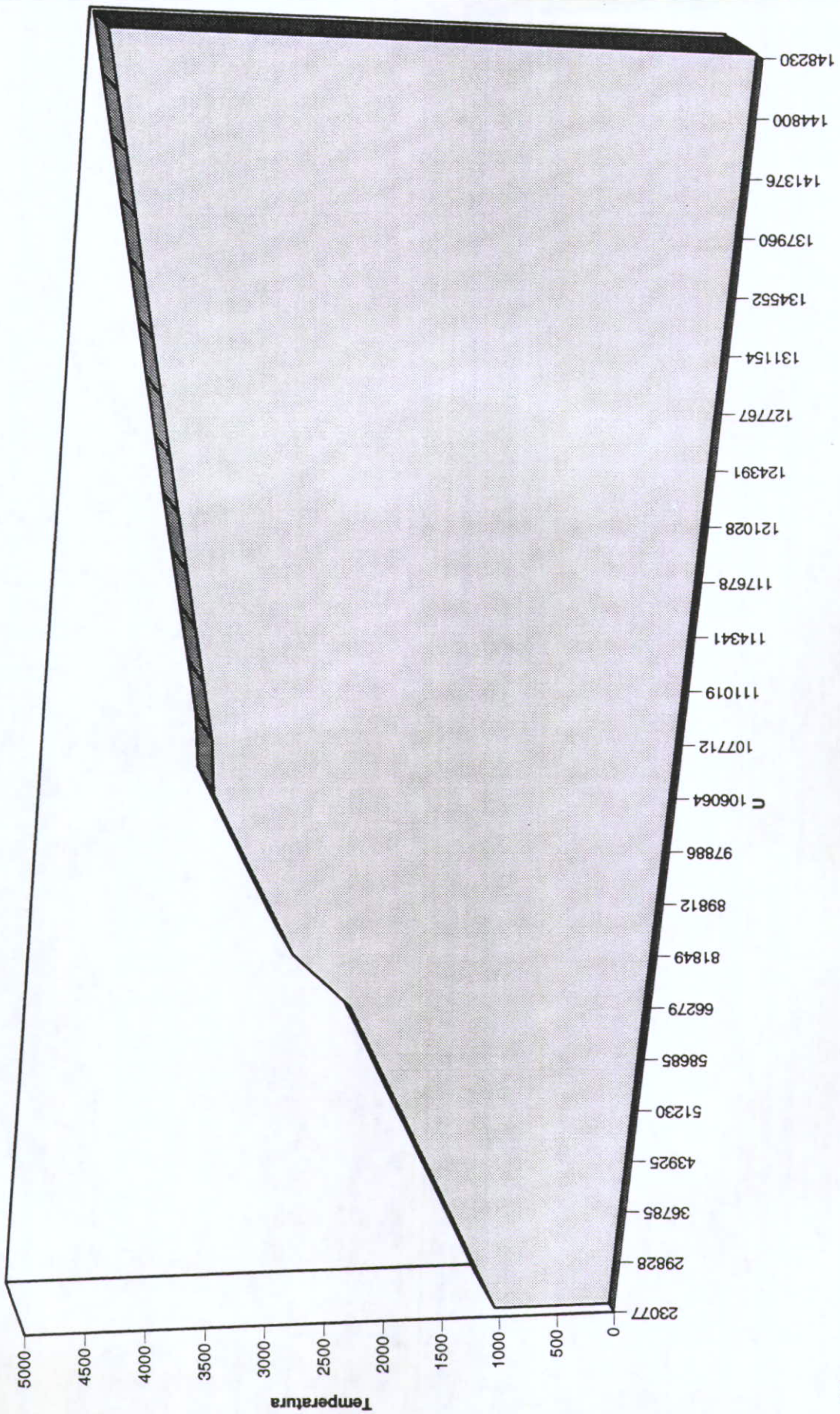


Garfica H2O






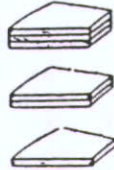


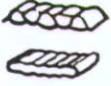


Grafica O2








**APENDICE B**  
**(Gráficas de valores brida)**

**TABLE 2-5.1**  
**GASKET MATERIALS AND CONTACT FACINGS<sup>1</sup>**  
 Gasket Factors  $m$  for Operating Conditions and Minimum Design Seating Stress  $y$

Gasket Material	Gasket Factor $m$	Min. Design Seating Stress $y$ , psi	Sketches	Facing Sketch and Column in Table 2-5.2
Self-energizing types (O rings, metallic, elastomer, other gasket types considered as self-sealing)	0	0	...	...
Elastomers without fabric or high percent of asbestos fiber:				
Below 75A Shore Durometer	0.50	0		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
75A or higher Shore Durometer	1.00	200		
Asbestos with suitable binder for operating conditions:				
$\frac{1}{8}$ in. thick	2.00	1600		(1a),(1b),(1c),(1d), - (4),(5); Column II
$\frac{1}{16}$ in. thick	2.75	3700		
$\frac{1}{32}$ in. thick	3.50	6500		
Elastomers with cotton fabric insertion	1.25	400		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
Elastomers with asbestos fabric insertion (with or without wire reinforcement):				
3-ply	2.25	2200		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
2-ply	2.50	2900		
1-ply	2.75	3700		
Vegetable fiber	1.75	1100		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
Spiral-wound metal, asbestos filled:				
Carbon	2.50	10,000		(1a),(1b); Column II
Stainless, Monel, and nickel-base alloys	3.00	10,000		
Corrugated metal, asbestos inserted, or corrugated metal, jacketed asbestos filled:				
Soft aluminum	2.50	2900		(1a),(1b); Column II
Soft copper or brass	2.75	3700		
Iron or soft steel	3.00	4500		
Monel or 4%-6% chrome	3.25	5500		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.50	6500		

**TABLE 2-5.1 (CONT'D)**  
**GASKET MATERIALS AND CONTACT FACINGS<sup>1</sup>**  
 Gasket Factors  $m$  for Operating Conditions and Minimum Design Seating Stress  $y$

Gasket Material	Gasket Factor $m$	Min. Design Seating Stress $y$ , psi	Sketches	Facing Sketch and Column in Table 2-5.2
<b>Corrugated metal:</b>				
Soft aluminum	2.75	3700		(1a),(1b),(1c),(1d); Column II
Soft copper or brass	3.00	4500		
Iron or soft steel	3.25	5500		
Monel or 4%–6% chrome	3.50	6500		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.75	7600		
<b>Flat metal, jacketed asbestos filled:</b>				
Soft aluminum	3.25	5500		(1a),(1b),(1c), <sup>2</sup> (1d); <sup>2</sup> (2) <sup>2</sup> ; Column II
Soft copper or brass	3.50	6500		
Iron or soft steel	3.75	7600		
Monel	3.50	8000		
4–6% chrome	3.75	9000		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.75	9000		
<b>Grooved metal:</b>				
Soft aluminum	3.25	5500		(1a),(1b),(1c),(1d), (2),(3); Column II
Soft copper or brass	3.50	6500		
Iron or soft steel	3.75	7600		
Monel or 4%–6% chrome	3.75	9000		
Stainless steels and nickel-base alloys	4.25	10,100		
<b>Solid flat metal:</b>				
Soft aluminum	4.00	8800		(1a),(1b),(1c),(1d), (2),(3),(4),(5); Column I
Soft copper or brass	4.75	13,000		
Iron or soft steel	5.50	18,000		
Monel or 4%–6% chrome	6.00	21,800		
Stainless steels and nickel-base alloys	6.50	26,000		
<b>Ring joint:</b>				
Iron or soft steel	5.50	18,000		(6); Column I
Monel or 4%–6% chrome	6.00	21,800		
Stainless steels and nickel-base alloys	6.50	26,000		

**NOTES:**

(1) This Table gives a list of many commonly used gasket materials and contact facings with suggested design values of  $m$  and  $y$  that have generally proved satisfactory in actual service when using effective gasket seating width  $b$  given in Table 2-5.2. The design values and other details given in this Table are suggested only and are not mandatory.

(2) The surface of a gasket having a lap should not be against the nubbin.

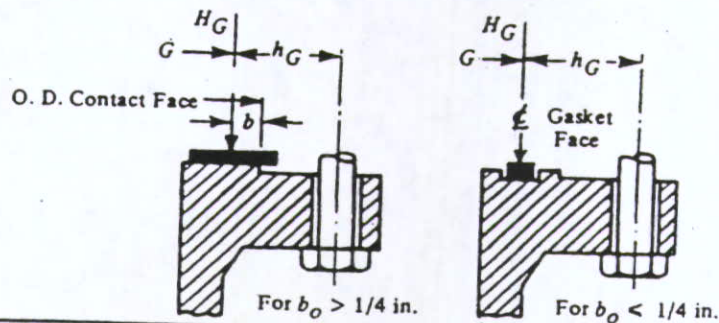
TABLE 2-5.2  
EFFECTIVE GASKET WIDTH<sup>2</sup>

Facing Sketch (Exaggerated)	Basic Gasket Seating Width, $b_g$	
	Column I	Column II
(1a)	$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{2}$
(1b) See Note (1)		
(1c) $w' \leq N$	$\frac{w + T}{2}; \left(\frac{w + N}{4} \text{ max.}\right)$	$\frac{w + T}{2}; \left(\frac{w + N}{4} \text{ max.}\right)$
(1d) See Note (1)		
(2) 1/64 in. Nubbin $w' \leq N/2$	$\frac{w + N}{4}$	$\frac{w + 3N}{8}$
(3) 1/64 in. Nubbin $w' \leq N/2$	$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
(4) See Note (1)	$\frac{3N}{8}$	$\frac{7N}{16}$
(5) See Note (1)	$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
(6)	$\frac{w}{8}$	...

Effective Gasket Seating Width,  $b$

$$b = b_g \text{ when } b_g \leq \frac{1}{4} \text{ in.}; b = 0.5 \sqrt{b_g} \text{ when } b_g > \frac{1}{4} \text{ in.}$$

Location of Gasket Load Reaction



NOTES:

- Where serrations do not exceed  $\frac{1}{16}$  in. depth and  $\frac{1}{32}$  in. width spacing, sketches (1b) and (1d) shall be used.
- The gasket factors listed only apply to flanged joints in which the gasket is contained entirely within the inner edges of the bolt holes.





Figs. CS-1, CS-2

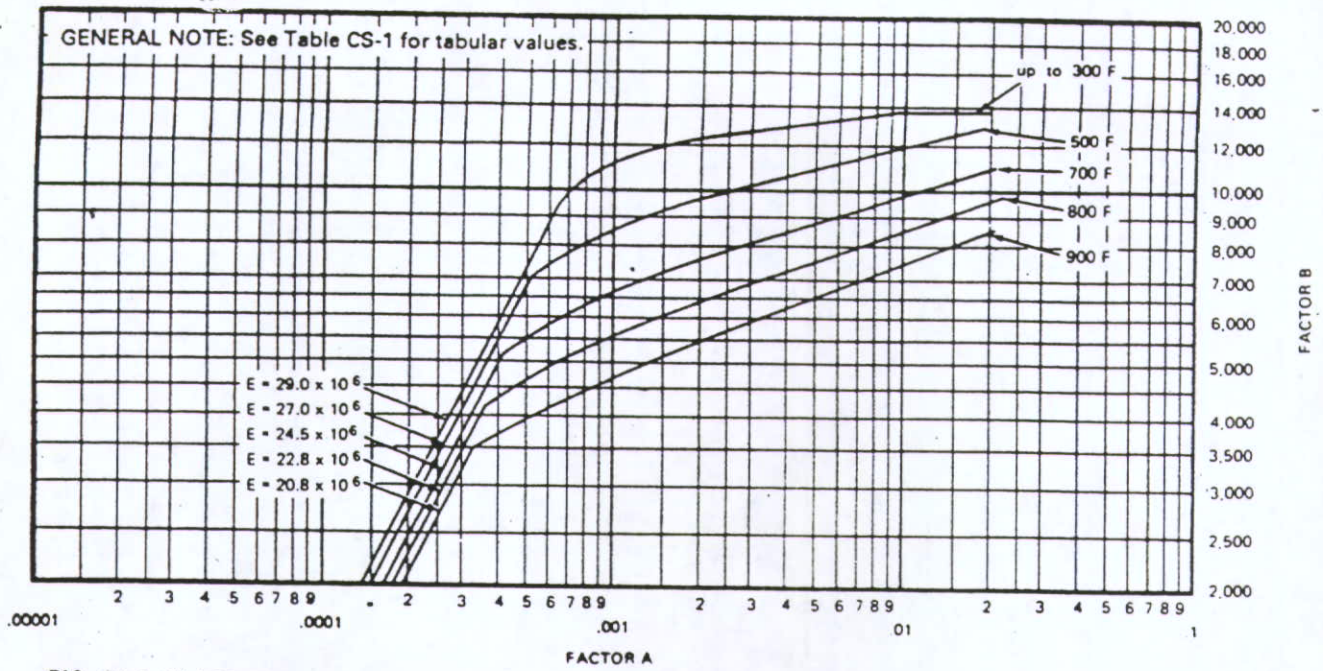


FIG. CS-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 24,000 psi TO, BUT NOT INCLUDING, 30,000 psi) [NOTE (1)]



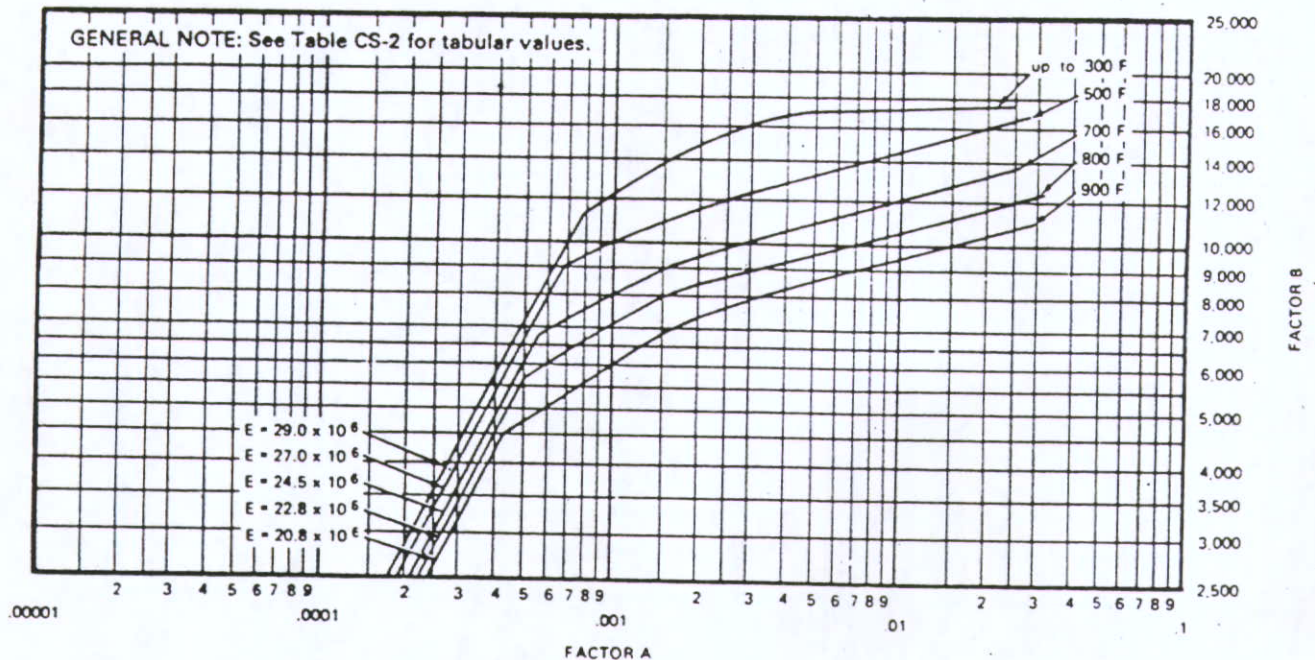


FIG. CS-2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 30,000 psi AND OVER EXCEPT FOR MATERIALS WITHIN THIS RANGE WHERE OTHER SPECIFIC CHARTS ARE REFERENCED) AND TYPE 405 AND TYPE 410 STAINLESS STEELS [NOTE (1)]

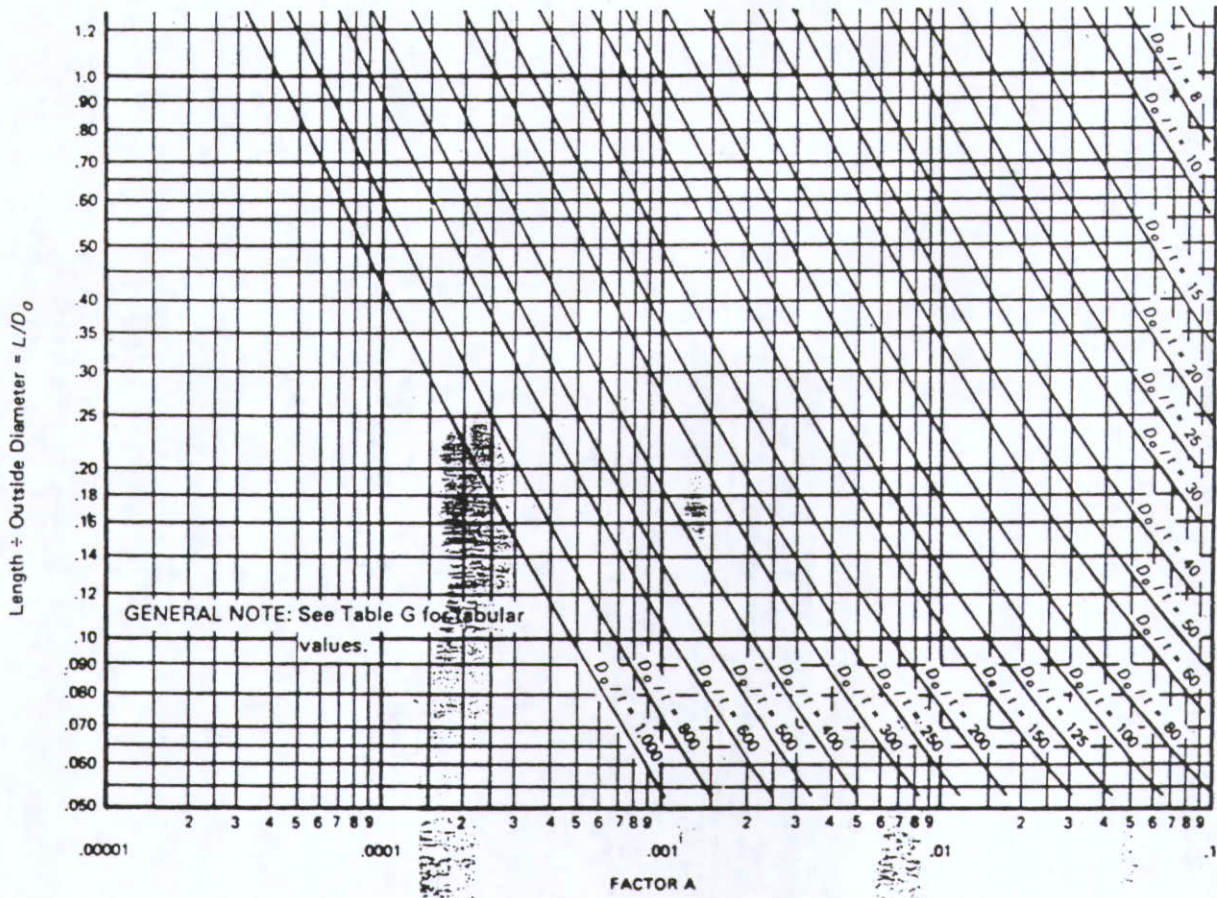
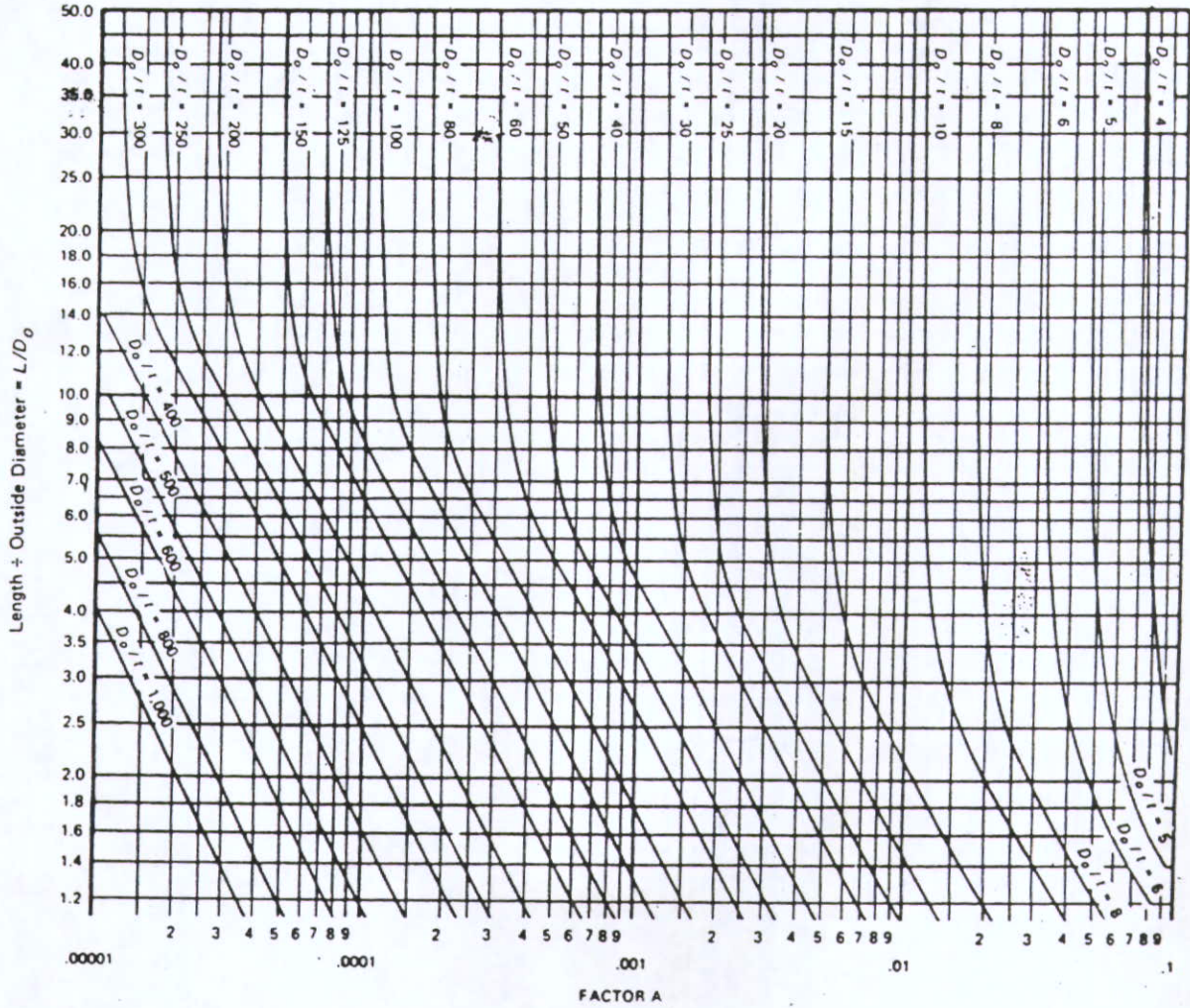


FIG. G GEOMETRIC CHART FOR COMPONENTS UNDER EXTERNAL OR COMPRESSIVE LOADINGS (FOR ALL MATERIALS)



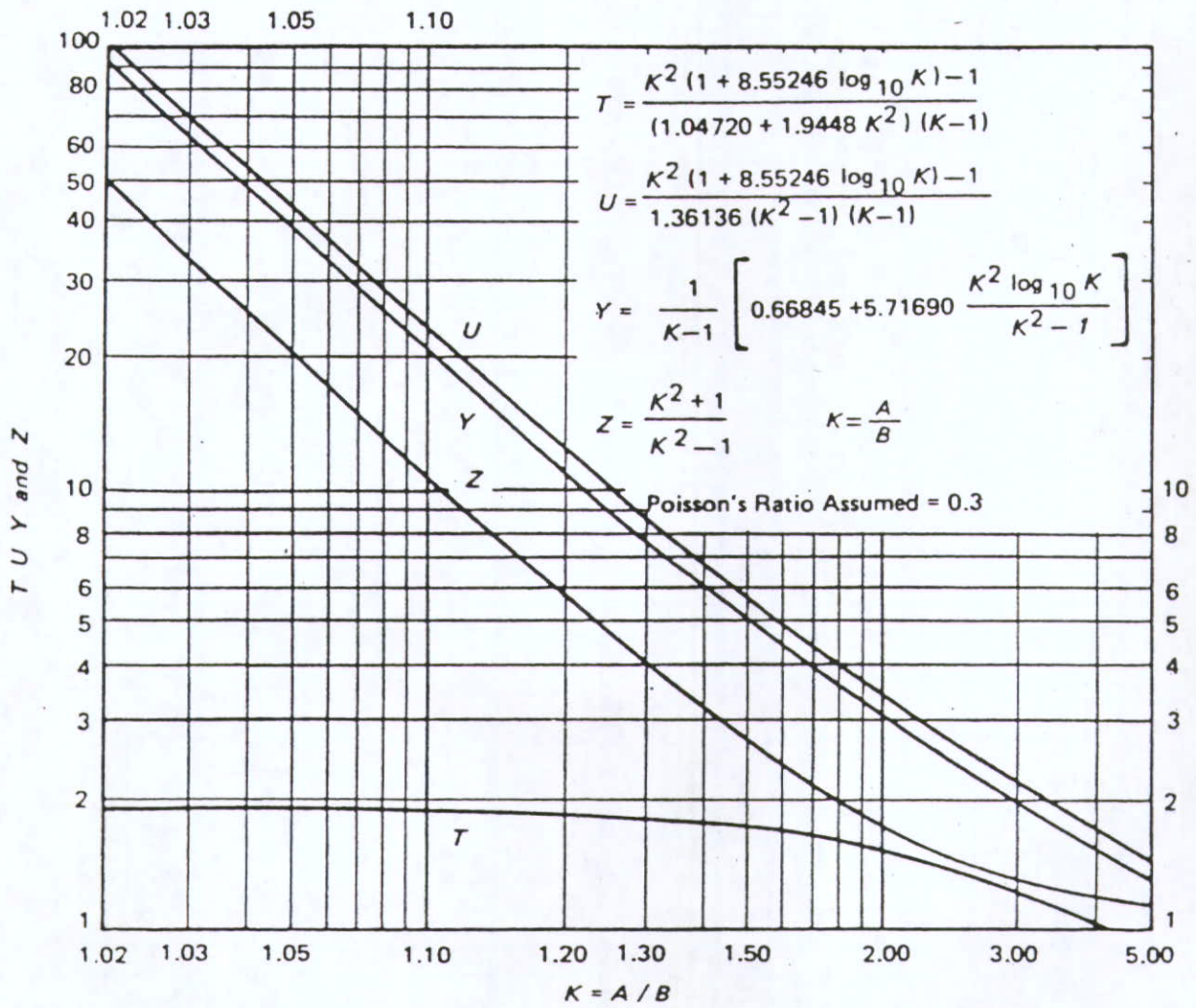


FIG. 2-7.1 VALUES OF T, U, Y, AND Z  
(Terms Involving K)

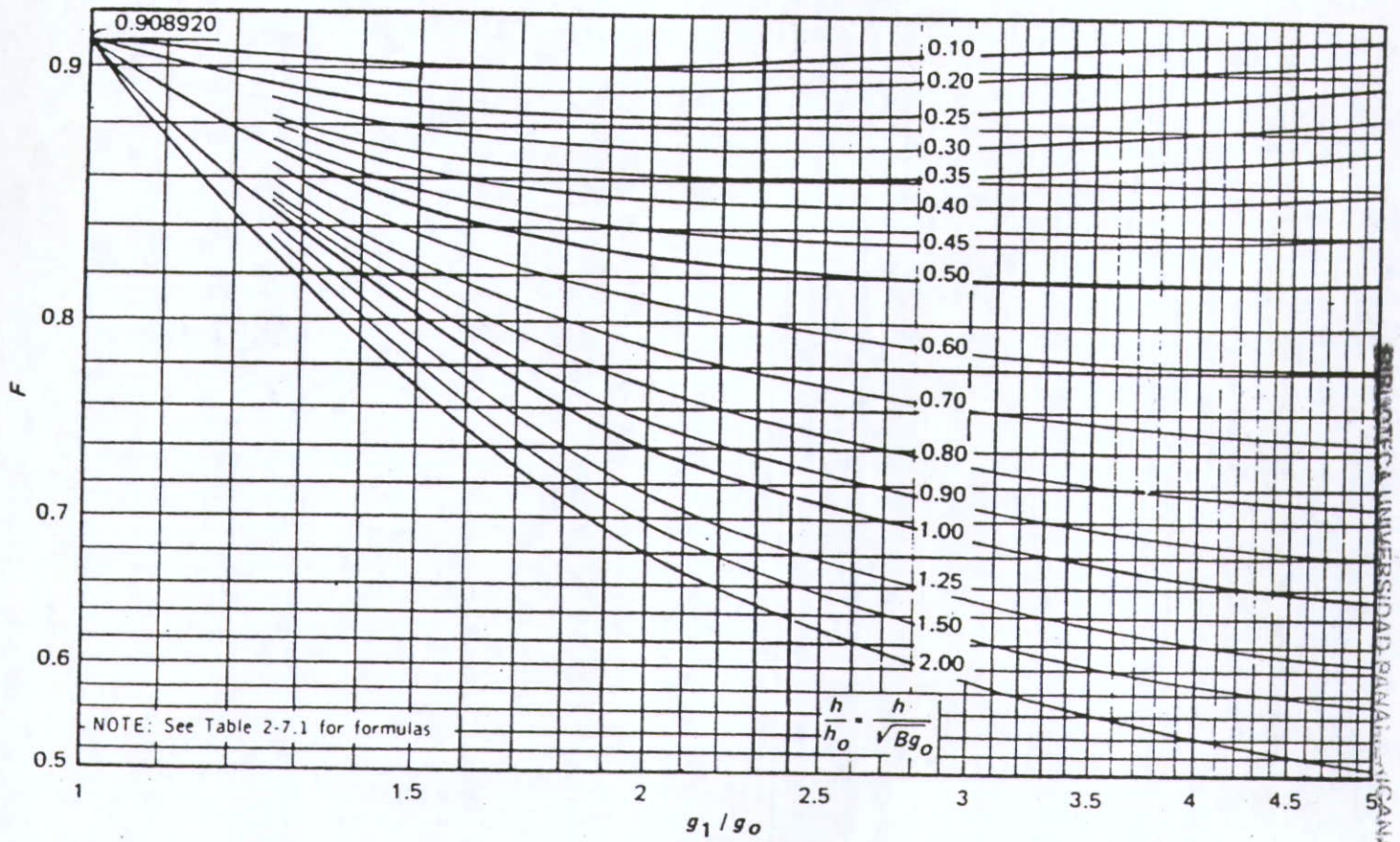


FIG. 2-7.2 VALUES OF  $F$   
(Integral Flange Factors)

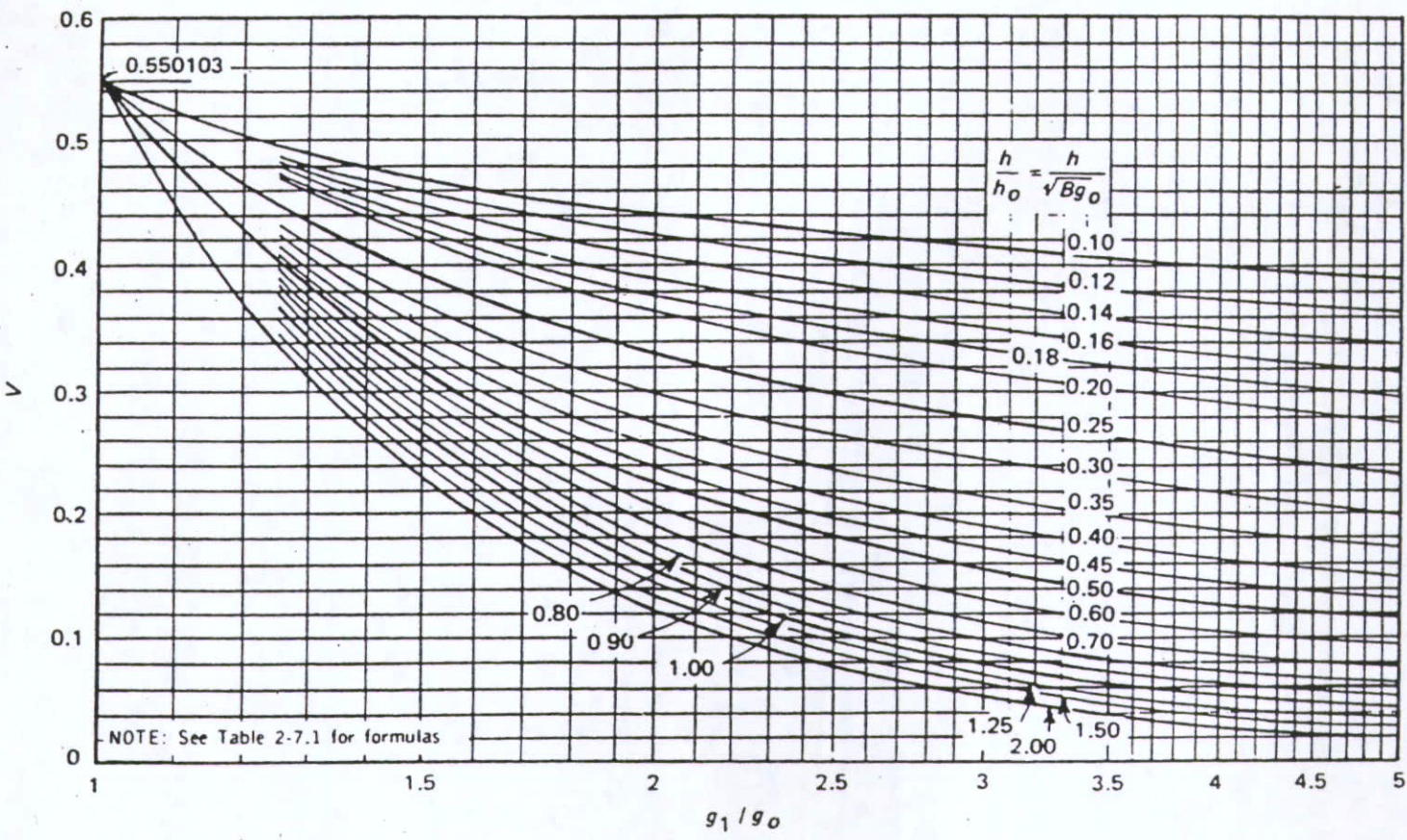


FIG. 2-7.3 VALUES OF  $V$   
(Integral Flange Factors)

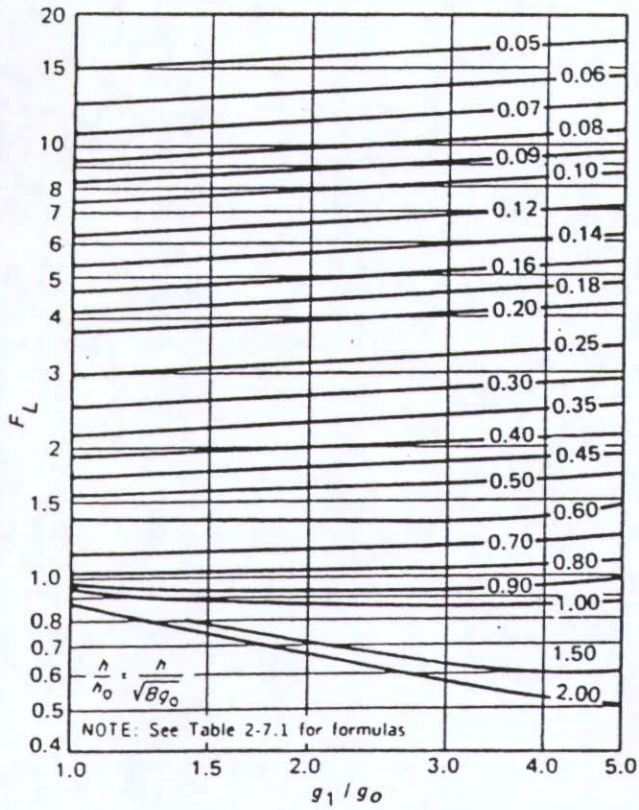


FIG. 2-7.4 VALUES OF  $F_L$   
(Loose Hub Flange Factors)

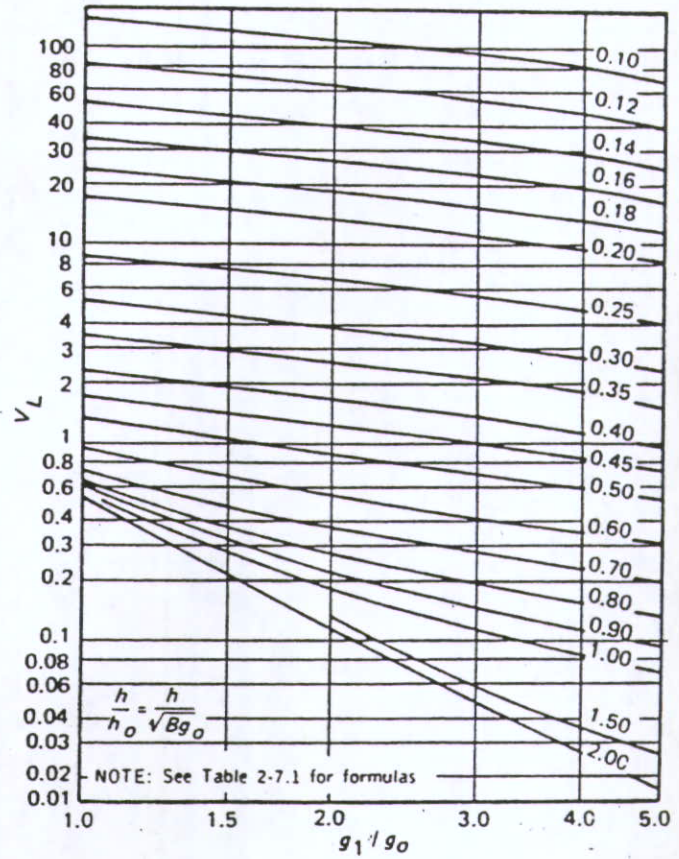


FIG. 2-7.5 VALUES OF  $V_L$   
(Loose Hub Flange Factors)

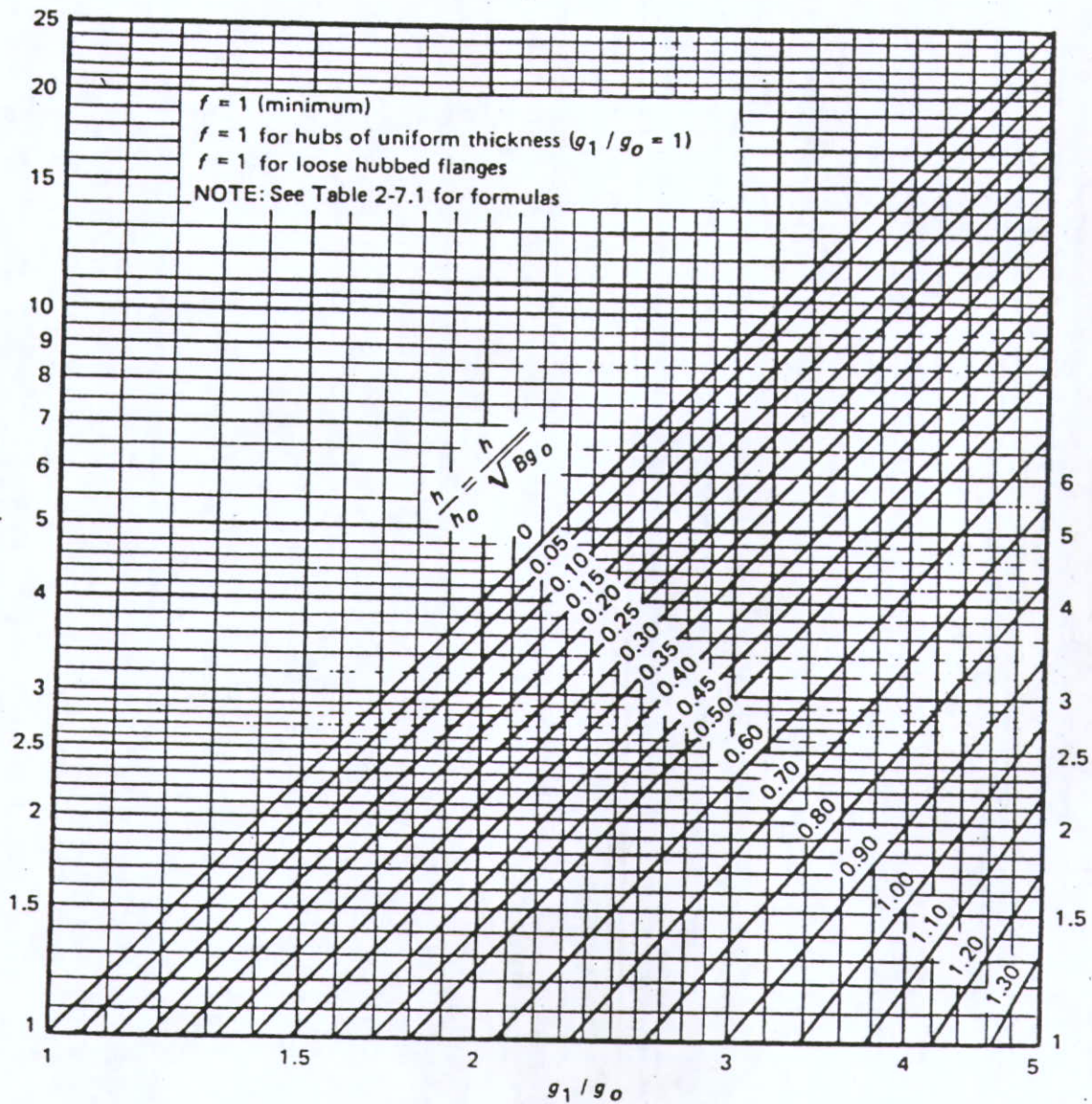


FIG. 2-7.6 VALUES OF  $f$   
(Hub Stress Correction Factor)



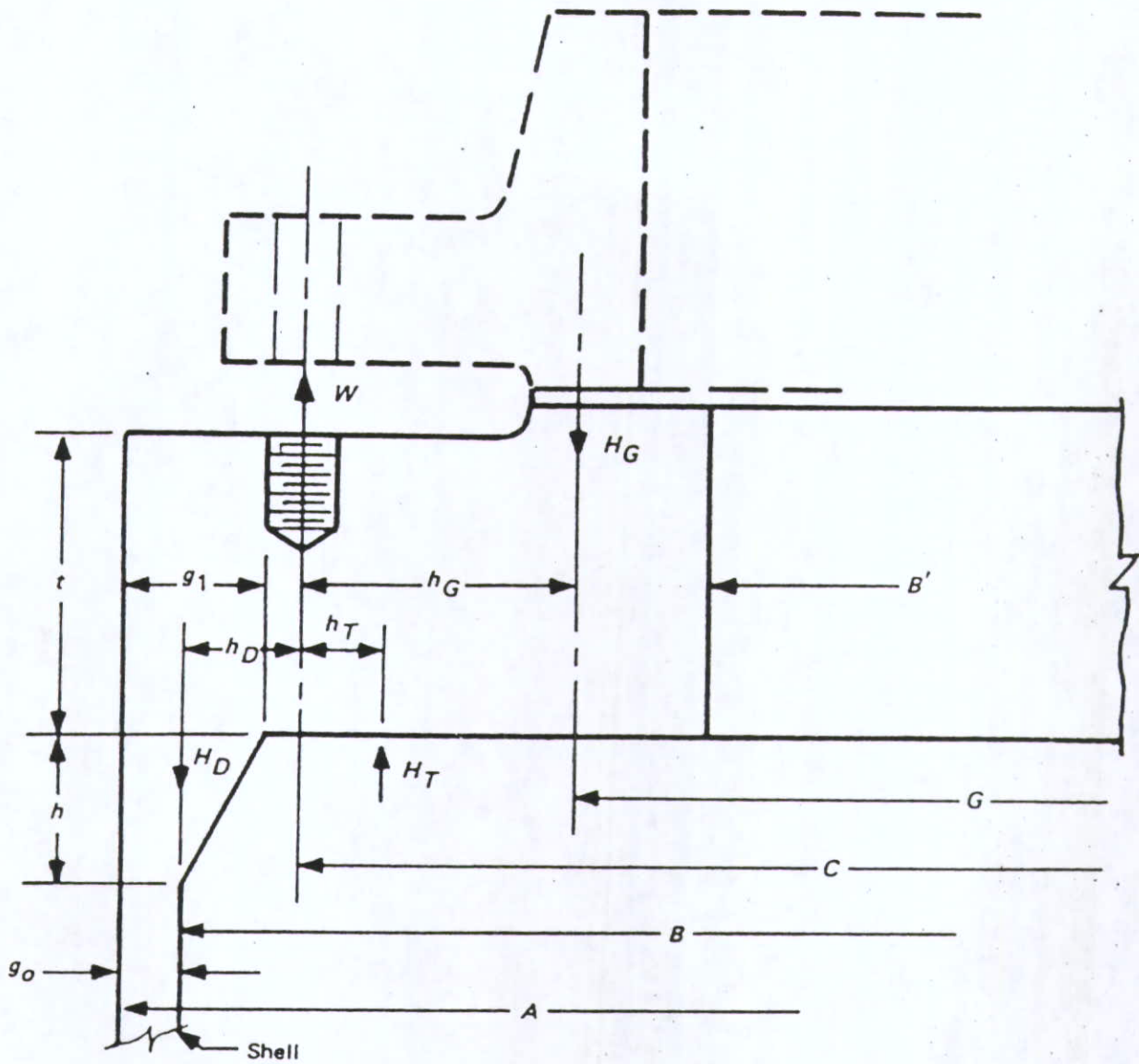
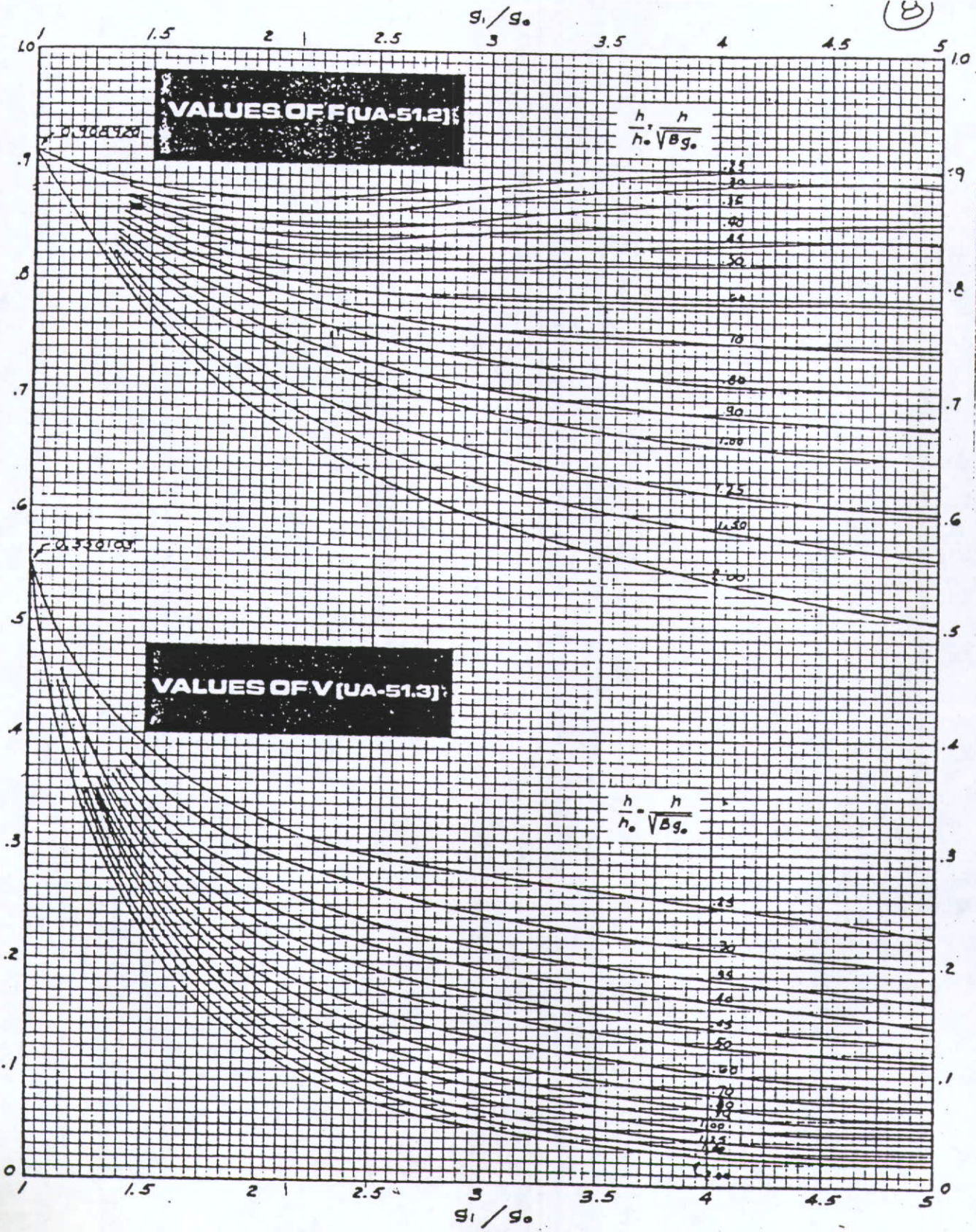


FIG. 2-13 REVERSE FLANGE

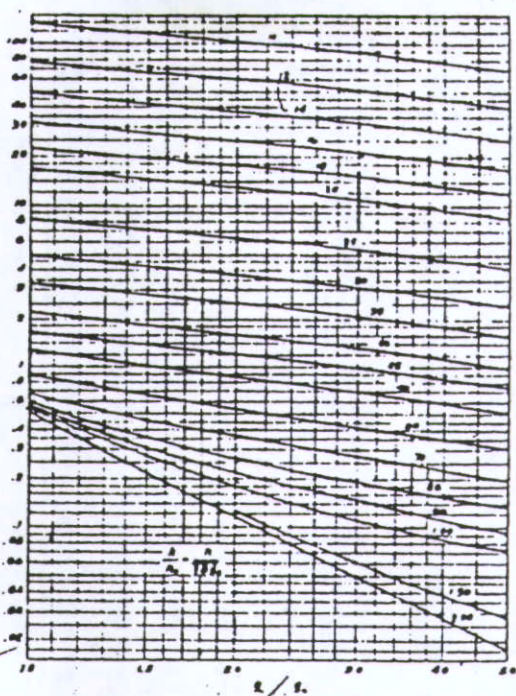
(8)



VALUES OF  $F_L$  (UA-51.4)

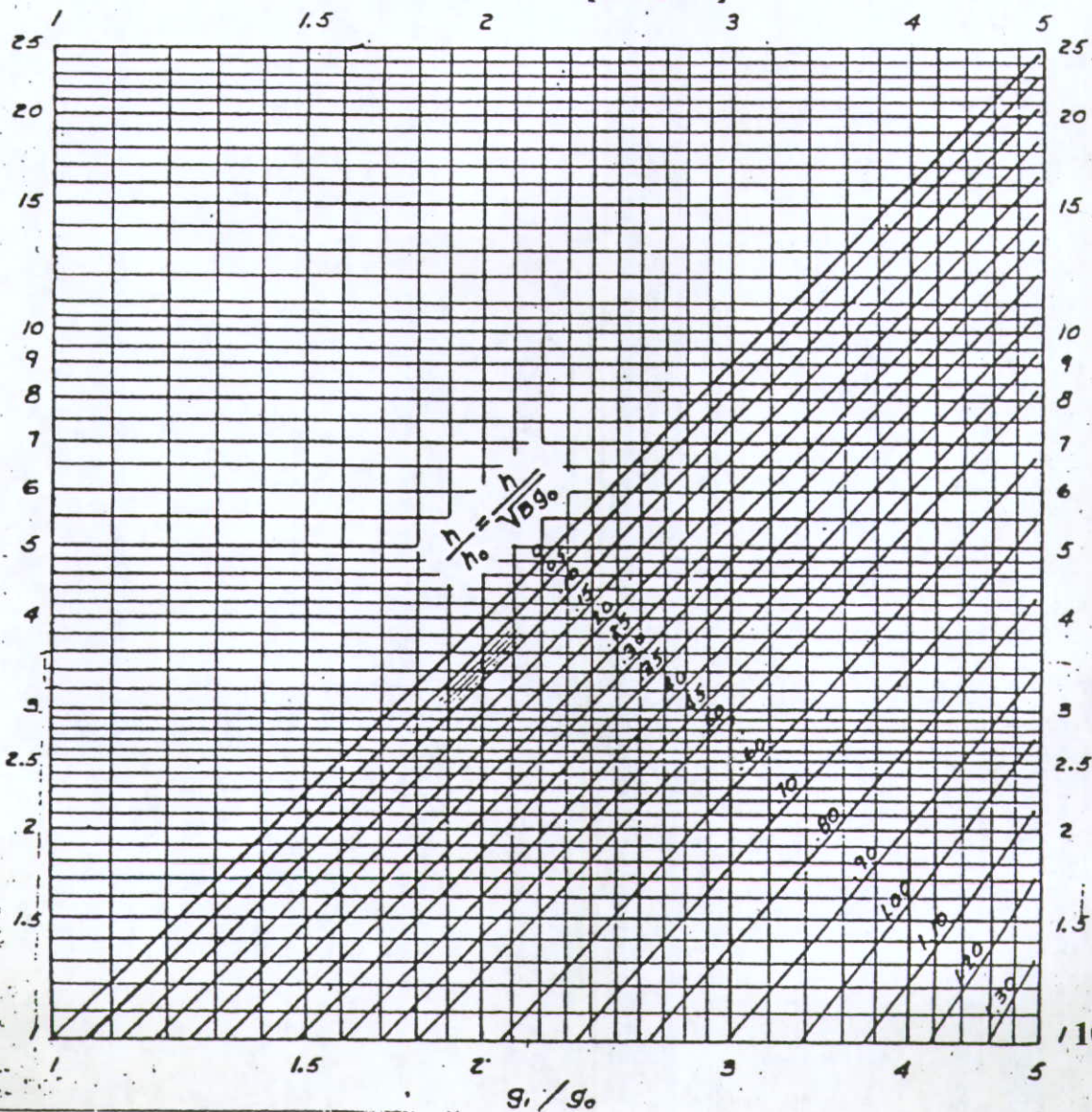


VALUES OF  $V_L$  (UA-51.5)



(9)

VALUES OF  $f$  (UA-51.8)



**APENDICE C**  
**(Tablas Wark, Faires, etc)**

Tabla 1. Densidad de líquidos a presión atmosférica

Líquido	Temp:					
	0 °C °F	20 68	40 104	60 140	80 176	100 212
	$\rho$ , slugs/pie <sup>3</sup> (515.4 kg/m <sup>3</sup> )					
Alcohol etílico <sup>f</sup>	1.564	1.532	1.498	1.463		
Benceno <sup>a,b</sup>	1.746	1.705	1.663	1.621	1.579	
Tetracloruro de carbono <sup>a,b</sup>	3.168	3.093	3.017	2.940	2.857	
Gasolina, <sup>c</sup> p.e. 0.68	1.345	1.310	1.275	1.239		
Glicerina <sup>a,b</sup>	2.472	2.447	2.423	2.398	2.372	2.346
Kerosena, <sup>c</sup> p.e. 0.81	1.630	1.564	1.536	1.508	1.480	
Mercurio <sup>b</sup>	26.379	26.283	26.188	26.094	26.000	25.906
Aceite para máquina, <sup>c</sup> p.e. 0.907	1.778	1.752	1.727	1.702	1.677	1.651
Agua fresca (dulce) <sup>d</sup>	1.940	1.937	1.925	1.908	1.885	1.859
Agua salada <sup>e</sup>	1.995	1.988	1.975			

Calculados a partir de datos proporcionados por:

<sup>a</sup>"Handbook of Chemistry and Physics," 52d ed., Chemical Rubber Company, 1971-1972.

<sup>b</sup>"Smithsonian Physical Tables," 9th rev. ed., 1954.

<sup>c</sup>ASTM-IP, "Petroleum Measurement Tables."

<sup>d</sup>"Steam Tables," ASME, 1967.

<sup>e</sup>"American Institute of Physics Handbook," 3d ed., McGraw-Hill, 1972.

<sup>f</sup>"International Critical Tables," McGraw-Hill.

## DATOS FÍSICOS

Composición promedio del aire entre el nivel del mar y 90 km de altitud y seco

Elemento	Fórmula	% en vol	% en masa	Peso molecular
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.084	75.55	28.0134
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.948	23.15	31.9988
Argón	Ar	0.934	1.325	39.948
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.0314	0.0477	44.00995
Neón	Ne	0.00182	0.00127	20.183
Helio	He	0.00052	0.000072	4.0026
Kriptón	Kr	0.000114	0.000409	83.80
Metano	CH <sub>4</sub>	0.0002	0.000111	16.043

Del 0.0 al 0.00005% en volumen de otros 9 gases.

El peso molecular compuesto promedio del aire es 28.9644.

Datos tomados del U.S. Standard Atmosphere, 1962, Government Printing Office.

Tabla 9. Análisis y poder calorífico superior de petróleos crudos, destilados típicos y aceites combustibles

Producto	Densidad, grados API	Densidad relativa a 60°F	Peso por galón, x lbs	Poder calorífico superior, Btu por lb*	Análisis elemental, porcentajes				
					C	H	S	N	O
Petróleo crudo de California.....	22.8	0.917	7.636	18 910	84.00	12.70	0.75	1.70	1.20
Petróleo crudo de Kansas .....	22.1	0.921	7.670	19 130	84.15	13.00	1.90	0.45	
Petróleo crudo de Oklahoma .....	31.3	0.869	7.236	19 502	85.70	13.11	0.40	0.30	
Petróleo crudo de Oklahoma .....	31.0	0.871	7.253	19 486	85.00	12.90	0.76		
Petróleo crudo de Pennsylvania .....	42.6	0.813	6.769	19 505	86.06	13.88	0.06	0.00	0.00
Petróleo crudo de Texas .....	30.2	0.875	7.286	19 460	85.05	12.30	1.75	0.70	0.00
Petróleo crudo de Wyoming .....	31.5	0.868	7.228	19 510					
Petróleo crudo de México .....	13.6	0.975	8.120	18 755	83.70	10.20	4.15		
Gasolina .....	67.0	0.713	5.935	.....	84.3	15.7			
Gasolina .....	60.0	0.739	6.152	20 750	84.90	14.76	0.08		
Mezcla de gasolina y benceno .....	46.3	0.796	6.627		88.3	11.7			
Keroseno .....	41.3	0.819	6.819	19 810					
Gasóleo .....	32.5	0.863	7.186	19 200					
Aceite combustible (México).....	11.9	0.987	8.220	18 510	84.02	10.06	4.93		
Aceite combustible (América Central).....	27.1	0.892	7.428	19 376	85.62	11.98	0.35	0.50	0.60
Aceite combustible (California) .....	16.7	0.9554	7.956	18 835	84.67	12.36	1.16		

\*Btu/lb x 2 328 = kJ/kg.

TABLA A-3M

Masa molar, constantes críticas y capacidades térmicas específicas de la fase gaseosa a 25 K y 1 atm para algunas sustancias comunes

$T_c$ , K;  $P_c$ , bares;  $v_c$ , m<sup>3</sup>/kgmol;  $c_v$  y  $c_p$ , kJ/(kg · K)

Sustancia	Masa molar	$T_c$	$P_c$	$v_c$	$Z_c$	$c_v$	$c_p$
Acetileno (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	26.04	309	62.4	0.112	0.272	1.37	1.69
Aire (equivalente)	28.97	133	37.7	0.0829	0.284	0.718	1.005
Amoniaco(NH <sub>3</sub> )	17.04	406	112.8	0.0723	0.242	1.66	2.15
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	78.11	562	48.3	0.256	0.274		
n-butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	58.12	425.2	37.8	0.257	0.274	1.56	1.71
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	44.01	304.2	73.9	0.0941	0.276	0.657	0.846
Monóxido de carbono (CO)	28.01	133	35.0	0.0928	0.294	0.744	1.04
Refrigerante 12 (CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	120.92	385	41.2	0.216	0.278	0.550	0.620
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	30.07	305.4	48.8	0.148	0.285	1.48	1.75
Etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	28.05	283	51.2	0.128	0.279	1.23	1.53
Helio (He)	4.003	5.2	2.3	0.0579	0.300	3.12	5.19
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	2.016	33.2	13.0	0.0648	0.304	10.2	14.3
Metano (CH <sub>4</sub> )	16.04	190.7	46.4	0.0991	0.290	1.70	2.22
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	28.01	126.2	33.9	0.0897	0.291	0.743	1.04
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	32.00	154.4	50.5	0.0741	0.290	0.658	0.918
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	44.09	370	42.7	0.200	0.278	1.48	1.67
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	64.06	431	78.7	0.124	0.268	0.471	0.601
Agua (H <sub>2</sub> O)	18.02	647.3	220.9	0.0558	0.230	1.40	1.86

Fuente: Tomado principalmente de D. Ambrose, Vapor-Liquid Critical Properties, National Physical Laboratory Report 107, 1980.

Fórmulas y valores adicionales de la masa molar de algunos elementos y compuestos comunes

Sustancia	Fórmula	Masa molar	Sustancia	Fórmula	Masa molar
Argón	Ar	39.94	Plata	Ag	107.88
Aluminio	Al	26.97	Sodio	Na	22.997
Carbono	C	12.01	Peróxido de hidrógeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	34.02
Cobre	Cu	63.54	Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08
Hierro	Fe	55.85	n-pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15
Plomo	Pb	207.2	n-octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.22
Mercurio	Hg	200.6	Alcohol metílico	CH <sub>3</sub> OH	32.05
Potasio	K	39.096	Alcohol etílico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46.07



TABLA A-24M

Valores de la entalpía de formación, de la función de Gibbs de formación, de la entropía absoluta y de la entalpía de vaporización a 25°C y 1 atm

$\Delta h_f^0$ ,  $\Delta g_f^0$ , y  $h_{fg}$  en kJ/kgmol;  $s^0$  en kJ/(kgmol · K)

Sustancia	Fórmula	$\Delta h_f^0$	$\Delta g_f^0$	$s^0$	$h_{fg}$
Carbono	C(s)	0	0	5.74	
Hidrógeno	H <sub>2</sub> (g)	0	0	130.57	
Nitrógeno	N <sub>2</sub> (g)	0	0	191.50	
Oxígeno	O <sub>2</sub> (g)	0	0	205.04	
Monóxido de carbono	CO(g)	-110,530	-137,150	197.56	
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub> (g)	-393,520	-394,380	213.67	
Agua	H <sub>2</sub> O(g)	-241,820	-228,590	188.72	
Agua	H <sub>2</sub> O(l)	-285,830	-237,180	69.95	44,010
Peróxido de hidrógeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	-136,310	-105,600	232.63	61,090
Amoniaco	NH <sub>3</sub> (g)	-46,190	-16,590	192.33	
Oxígeno	O(g)	249,170	231,770	160.95	
Hidrógeno	H(g)	218,000	203,290	114.61	
Nitrógeno	N(g)	472,680	455,510	153.19	
Hidroxilo	OH(g)	39,040	34,280	183.75	
Metano	CH <sub>4</sub> (g)	-74,850	-50,790	186.16	
Acetileno (etino)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	226,730	209,170	200.85	
Etileno (eteno)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	52,280	68,120	219.83	
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84,680	-32,890	229.49	
Propileno (propeno)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	20,410	62,720	266.94	
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-103,850	-23,490	269.91	15,060
n-butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-126,150	-15,710	310.03	21,060
n-pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g)	-146,440	-8,200	348.40	31,410
n-octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	-208,450	17,320	463.67	41,460
n-octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (l)	-249,910	6,610	360.79	
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	82,930	129,660	269.20	33,830
Alcohol metílico	CH <sub>3</sub> OH(g)	-200,890	-162,140	239.70	37,900
Alcohol metílico	CH <sub>3</sub> OH(l)	-238,810	-166,290	126.80	
Alcohol etílico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	-235,310	-168,570	282.59	42,340
Alcohol etílico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	-277,690	-174,890	160.70	
Mercurio	Hg(l)	0	0	77.24	
Óxido de mercurio	HgO(c)	-90,210	-58,400	70.45	
Manganeso	Mn(c)	0	0	31.8	
Dióxido de manganeso	MnO <sub>2</sub> (c)	-520,030	-465,180	53.14	
Trióxido de manganeso	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c)	-958,970	-881,150	110.5	
Plomo	Pb(c)	0	0	64.81	
Óxido de plomo	PbO <sub>2</sub> (c)	-277,400	-217,360	68.6	
Sulfato de plomo	PbSO <sub>4</sub> (c)	-919,940	-813,200	148.57	
Cinc	Zn(c)	0	0	41.63	
Óxido de cinc	ZnO(c)	-348,280	-318,320	43.64	
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	-813,990	-690,100	156.90	
Ácido sulfúrico	(ac, m = 1)	-909,270	-744,630	20.1	
Óxido de plata	Ag <sub>2</sub> O(c)	-31,050	-11,200	121.7	

TABLA A-22M

Capacidades térmicas específicas de algunos líquidos y sólidos comunes

$c_p$ , kJ/(kg·°C)

A. Líquidos

Sustancia	Estado	$c_p$	Sustancia	Estado	$c_p$
Agua	1 atm, 273 K	4.217	Benceno	1 atm, 15°C	1.80
	1 atm, 280 K	4.198		1 atm, 65°C	1.92
	1 atm, 300 K	4.179	Glicerina	1 atm, 10°C	2.32
	1 atm, 320 K	4.180		1 atm, 50°C	2.58
	1 atm, 340 K	4.188	Mercurio	1 atm, 10°C	0.138
	1 atm, 360 K	4.203		1 atm, 315°C	0.134
	1 atm, 373 K	4.218	Sodio	1 atm, 95°C	1.38
Amoniaco	sat., -20°C	4.52		1 atm, 540°C	1.26
	sat., 50°C	5.10	Propano	1 atm, 0°C	2.41
Refrigerante 12	sat., -40°C	0.883		Bismuto	1 atm, 425°C
	sat., -20°C	0.908	1 atm, 760°C		0.164
	sat., 50°C	1.02	Alcohol etílico	1 atm, 25°C	2.43

B. Sólidos

Sustancia	Temp.	$c_p$	Sustancia	Temp.	$c_p$
Hielo	200 K	1.56	Plata	20°C	0.233
	220 K	1.71		200°C	0.243
	240 K	1.86	Plomo	-173°C	0.118
	260 K	2.01		-50°C	0.126
	270 K	2.08		27°C	0.129
	273 K	2.11		100°C	0.131
	Aluminio	200 K	0.797	Cobre	200°C
250 K		0.859	-173°C		0.254
300 K		0.902	-100°C		0.342
350 K		0.929	-50°C		0.367
400 K		0.949	0°C		0.381
450 K		0.973	27°C		0.386
500 K		0.997	100°C		0.393
Hierro	293 K	0.448		200°C	0.403

6-8 PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES

Sustancia	Densidad relativa	Densidad promedio	
		lb/pie <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Almidón	1.53	96	1 539
Azufre	1.93-2.07	125	2 001
Caucho	0.92-0.96	59	946
Caucho, artículos de	1.0-2.0	94	1 506
Cereales, avena, a granel	0.41	26	417
Cereales, cebada, a granel	0.62	39	625
Cereales, maíz, centeno, a granel	0.73	45	721
Cereales, trigo, a granel	0.77	48	769
Corcho	0.22-0.26	15	240
Cuero	0.86-1.02	59	945
Grasas	0.90-0.97	58	925
Harina, suelta	0.40-0.50	28	448
Harina, prensada	0.70-0.80	47	753
Lana	1.32	82	1 315
Paja para forraje, sombreros, etc., en balas	0.32	20	320
Papel	0.70-1.15	58	929
Papas, apiladas	0.67	44	705
Sal, granular, apilada	0.77	48	769
Sabitre	2.11	132	2 115
Vidrio, cilíndrico o crown	2.45-2.72	161	2 580
Vidrio, común	2.40-2.80	162	2 595
Vidrio, cristal	2.90-3.00	184	1 950
Vidrio, flint	3.2-4.7	247	3 960
<b>Madera, secada al aire</b>			
Abedul ( <i>spruce</i> ) blanco, rojo	0.71-0.72	44	705
Abeto, bálsamo	0.40	25	401
Abeto blanco, rojo	0.45	28	449
Abeto Douglas	0.48-0.55	32	513
Acacia falsa (robinia)	0.67-0.77	45	722
Álamo	0.43	27	433
Arce blanco	0.53	33	529
Arce dulce	0.68	43	689
Caoba	0.56-0.85	44	705
Castaño	0.48	30	481
Cedro, blanco, rojo	0.35	22	352
Cerezo rojo silvestre	0.43	27	433
Ciprés	0.45-0.48	29	465
Fresno blanco	0.64-0.71	42	673
Fresno negro	0.55	34	545
Manzano	0.66-0.74	44	705
Nogal americano	0.74-0.80	48	769
Nogal negro	0.59	37	593
Olmo blanco	0.56	35	561
Pinabete ( <i>hemlock</i> )	0.45-0.50	29	465
Pino blanco	0.43	27	433
Pino de Noruega	0.55	34	541
Pino de Oregón	0.51	32	513
Pino del Sur	0.61-0.67	38-42	610-673
Pino gigantesco de California	0.42	26	417
Pino rojo	0.48	30	481
Roble blanco	0.77	48	770
Roble castaño	0.74	46	737
Roble o encina perenne	0.87	54	866
Roble rojo, negro	0.64-0.71	42	673
Sauce	0.42-0.50	28	449
Tea africana	0.99	62	994
Tea de la India	0.66-0.88	48	769
<b>Líquidos diversos</b>			
Aceites minerales, lubricantes	0.88-0.94	57	914
Aceites vegetales	0.91-0.94	58	930
Ácido muriático, 40%	1.20	75	1,201
Ácido nítrico, 91%	1.50	94	1,506
Ácido sulfúrico, 87%	1.80	112	1,795
Agua a 4°C	1.0	62.426	999.97

Sustancia	Densidad relativa	Densidad promedio	
		lb/pie <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Agua a 100°C	0.9584	59.812	958.10
Agua del mar	1.02-1.03	64	1,025
Agua en hielo	0.88-0.92	56	897
Agua en nieve recién caída	0.125	8	128
Alcohol etílico (100%)	0.789	49	802
Alcohol metílico (100%)	0.796	50	809
Cloroformo	1.500	95	1 532
Éter	0.736	46	738
Lejía de sosa, 66%	1.70	106	1 699
Trementina, esencia de	0.861-0.867	54	866
<b>Obra de piedra labrada o sillería</b>			
Granito, sienita, gneis	2.4-2.7	159	2 549
Caliza	2.1-2.8	153	2 450
Mármol	2.4-2.8	162	2 597
Arenisca	2.0-2.6	143	2 290
Piedra azul	2.3-2.6	153	2 451
<b>Obra de mampostería o piedra sin labrar</b>			
Granito, sienita, gneis	2.3-2.6	153	2 451
Caliza	2.0-2.7	147	2 355
Arenisca	1.9-2.5	137	2 194
Piedra azul	2.2-2.5	147	2 355
Mármol	2.3-2.7	156	2 500
<b>Mampostería en seco o concertada</b>			
Granito, sienita, gneis	1.9-2.3	130	2 082
Caliza, mármol	1.9-2.1	125	2 001
Arenisca, piedra azul	1.8-1.9	110	1 762
<b>Obra de ladrillo (tabique)</b>			
Ladrillo duro	1.8-2.3	128	2 051
Ladrillo medio	1.6-2.0	112	1 794
Ladrillo blando	1.4-1.9	103	1 650
Ladrillo de arena y cal	1.4-2.2	112	1 794
<b>Obra de hormigón</b>			
Cemento, de piedra, arena	2.2-2.4	144	2 309
Cemento, de escoria, etc.	1.9-2.3	130	2 082
Cemento, de cenizas, etc.	1.5-1.7	100	1 602
<b>Materiales diversos de construcción</b>			
Cenizas, carbonillas	0.64-0.72	40-45	640-721
Cemento Portland suelto	1.5	94	1 505
Cemento Portland	3.1-3.2	196	3 140
Cal, yeso, sueltos	0.85-1.00	53-64	849-1 025
Mortero de cal, fraguado	1.4-1.9	103	1 650
		94	1 505
Mortero de cemento Portland	2.08-2.25	135	2 163
Escorias sin cribar	1.1-1.2	67-72	1 074-1 153
Escorias cribadas	1.5-1.9	98-117	1 570-1 874
Escorias trituradas a máquina	1.5	96	1 538
Escorias trituradas al tamaño de arena	0.8-0.9	49-55	785-849
<b>Tierra, etc., excavadas</b>			
Arcilla seca	1.0	63	1 009
Arcilla húmeda, plástica	1.76	110	1 761
Arcilla y grava secas	1.6	100	1 602
Tierra seca, suelta	1.2	76	1 217
Tierra seca, envasada	1.5	95	1 521
Tierra húmeda, suelta	1.3	78	1 250
Tierra húmeda, envasada	1.6	96	1 538
Tierra, lodo de, fluido	1.7	108	1 730
Tierra, lodo de, envasado	1.8	115	1 841
Escollera de caliza	1.3-1.4	80-85	1 282-1 361
Escollera de arenisca	1.4	90	1 441
Escollera de esquisto arcilloso	1.7	105	1 681
Arena y grava secas, sueltas	1.4-1.7	90-105	1 441-1 681
Arena y gravas secas, envasadas	1.6-1.9	100-200	1 602-1 922
Arena y grava húmedas	1.89-2.16	126	2 019

TABLA A-7M

Entalpía, energía interna y entropía absoluta del oxígeno diatómico (O<sub>2</sub>) como gas ideal

$\Delta h_f = 0$  kJ/kgmol

T, K; h y u, kJ/kgmol; s, kJ/(kgmol · K)

T	h	u	s <sup>o</sup>	T	h	u	s <sup>o</sup>
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6,404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6,694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6,984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7,275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7,566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7,858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8,150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8,443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8,682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8,736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9,030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9,325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9,620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9,916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10,213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10,511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10,809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11,109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11,409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11,711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12,012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12,314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12,618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12,923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13,228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13,535	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13,842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14,151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14,460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14,770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15,082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15,395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	243.120

TABLA A-7M (Continuación)

$T$	$h$	$u$	$s^0$	$T$	$h$	$u$	$s^0$
1000	31,389	23,075	243.471	1760	58,880	44,247	263.861
1020	32,088	23,607	244.164	1780	59,624	44,825	264.283
1040	32,789	24,142	244.844	1800	60,371	45,405	264.701
1060	33,490	24,677	245.513	1820	61,118	45,986	265.113
1080	34,194	25,214	246.171	1840	61,866	46,568	265.521
1100	34,899	25,753	246.818	1860	62,616	47,151	265.925
1120	35,606	26,294	247.454	1880	63,365	47,734	266.326
1140	36,314	26,836	248.081	1900	64,116	48,319	266.722
1160	37,023	27,379	248.698	1920	64,868	48,904	267.115
1180	37,734	27,923	249.307	1940	65,620	49,490	267.505
1200	38,447	28,469	249.906	1960	66,374	50,078	267.891
1220	39,162	29,018	250.497	1980	67,127	50,665	268.275
1240	39,877	29,568	251.079	2000	67,881	51,253	268.655
1260	40,594	30,118	251.653	2050	69,772	52,727	269.588
1280	41,312	30,670	252.219	2100	71,668	54,208	270.504
1300	42,033	31,224	252.776	2150	73,573	55,697	271.399
1320	42,753	31,778	253.325	2200	75,484	57,192	272.278
1340	43,475	32,334	253.868	2250	77,397	58,690	273.136
1360	44,198	32,891	254.404	2300	79,316	60,193	273.981
1380	44,923	33,449	254.932	2350	81,243	61,704	274.809
1400	45,648	34,008	255.454	2400	83,174	63,219	275.625
1420	46,374	34,567	255.968	2450	85,112	64,742	276.424
1440	47,102	35,129	256.475	2500	87,057	66,271	277.207
1460	47,831	35,692	256.978	2550	89,004	67,802	277.979
1480	48,561	36,256	257.474	2600	90,956	69,339	278.738
1500	49,292	36,821	257.965	2650	92,916	70,883	279.485
1520	50,024	37,387	258.450	2700	94,881	72,433	280.219
1540	50,756	37,952	258.928	2750	96,852	73,987	280.942
1560	51,490	38,520	259.402	2800	98,826	75,546	281.654
1580	52,224	39,088	259.870	2850	100,808	77,112	282.357
1600	52,961	39,658	260.333	2900	102,793	78,682	283.048
1620	53,696	40,227	260.791	2950	104,785	80,258	283.728
1640	54,434	40,799	261.242	3000	106,780	81,837	284.399
1660	55,172	41,370	261.690	3050	108,778	83,419	285.060
1680	55,912	41,944	262.132	3100	110,784	85,009	285.713
1700	56,652	42,517	262.571	3150	112,795	86,601	286.355
1720	57,394	43,093	263.005	3200	114,809	88,203	286.989
1740	58,136	43,669	263.435	3250	116,827	89,804	287.614

TABLA A-9M

Entalpia, energia interna y entropia absoluta del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como gas ideal

$\Delta h_f = -393,520 \text{ kJ/kgmol}$

T, K; h y u, kJ/kgmol; s, kJ/(kgmol·K)

T	h	u	s°	T	h	u	s°
0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,552	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	30,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670

TABLA A-9M (Continuación)

$T$	$h$	$u$	$s''$	$T$	$h$	$u$	$s''$
1000	42,769	34,455	269.215	1760	86,420	71,787	301.543
1020	43,859	35,378	270.293	1780	87,612	72,812	302.271
1040	44,953	36,306	271.354	1800	88,806	73,840	302.884
1060	46,051	37,238	272.400	1820	90,000	74,868	303.544
1080	47,153	38,174	273.430	1840	91,196	75,897	304.198
1100	48,258	39,112	274.445	1860	92,394	76,929	304.845
1120	49,369	40,057	275.444	1880	93,593	77,962	305.487
1140	50,484	41,006	276.430	1900	94,793	78,996	306.122
1160	51,602	41,957	277.403	1920	95,995	80,031	306.751
1180	52,724	42,913	278.362	1940	97,197	81,067	307.374
1200	53,848	43,871	279.307	1960	98,401	82,105	307.992
1220	54,977	44,834	280.238	1980	99,606	83,144	308.604
1240	56,108	45,799	281.158	2000	100,804	84,185	309.210
1260	57,244	46,768	282.066	2050	103,835	86,791	310.701
1280	58,381	47,739	282.962	2100	106,864	89,404	312.160
1300	59,522	48,713	283.847	2150	109,898	92,023	313.589
1320	60,666	49,691	284.722	2200	112,939	94,648	314.988
1340	61,813	50,672	285.586	2250	115,984	97,277	316.356
1360	62,963	51,656	286.439	2300	119,035	99,912	317.695
1380	64,116	52,643	287.283	2350	122,091	102,552	319.011
1400	65,271	53,631	288.106	2400	125,152	105,197	320.302
1420	66,427	54,621	288.934	2450	128,219	107,849	321.566
1440	67,586	55,614	289.743	2500	131,290	110,504	322.808
1460	68,748	56,609	290.542	2550	134,368	113,166	324.026
1480	69,911	57,606	291.333	2600	137,449	115,832	325.222
1500	71,078	58,606	292.114	2650	140,533	118,500	326.396
1520	72,246	59,609	292.888	2700	143,620	121,172	327.549
1540	73,417	60,613	292.654	2750	146,713	123,849	328.684
1560	74,590	61,620	294.411	2800	149,808	126,528	329.800
1580	76,767	62,630	295.161	2850	152,908	129,212	330.896
1600	76,944	63,741	295.901	2900	156,009	131,898	331.975
1620	78,123	64,653	296.632	2950	159,117	134,589	333.037
1640	79,303	65,668	297.356	3000	162,226	137,283	334.084
1660	80,486	66,592	298.072	3050	165,341	139,982	335.114
1680	81,670	67,702	298.781	3100	168,456	142,681	336.126
1700	82,856	68,721	299.482	3150	171,576	145,385	337.124
1720	84,043	69,742	300.177	3200	174,695	148,089	338.109
1740	85,231	70,764	300.863	3250	177,822	150,801	339.069

TABLA A-10M

Entalpía, energía interna y entropía absoluta del agua (H<sub>2</sub>O)

$\Delta h_f = -241,820 \text{ kJ/kgmol}$

T, K; h y u, kJ/kgmol; s, kJ/(kgmol · K)

T	h	u	s <sup>o</sup>	T	h	u	s <sup>o</sup>
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212,920
220	7,295	5,466	178,576	610	20,765	15,693	213,529
230	7,628	5,715	180,054	620	21,130	15,975	214,122
240	7,961	5,965	181,471	630	21,495	16,257	214,707
250	8,294	6,215	182,831	640	21,862	16,541	215,285
260	8,627	6,466	184,139	650	22,230	16,826	215,856
270	8,961	6,716	185,399	660	22,600	17,112	216,419
280	9,296	6,968	186,616	670	22,970	17,399	216,976
290	9,631	7,219	187,791	680	23,342	17,688	217,527
298	9,904	7,425	188,720	690	23,714	17,978	218,071
300	9,966	7,472	188,928	700	24,088	18,268	218,610
310	10,302	7,725	190,030	710	24,464	18,561	219,142
320	10,639	7,978	191,098	720	24,840	18,854	219,668
330	10,976	8,232	192,136	730	25,218	19,148	220,189
340	11,314	8,487	193,144	740	25,597	19,444	220,707
350	11,652	8,742	194,125	750	25,977	19,741	221,215
360	11,992	8,998	195,081	760	26,358	20,039	221,720
370	12,331	9,255	196,012	770	26,741	20,339	222,221
380	12,672	9,513	196,920	780	27,125	20,639	222,717
390	13,014	9,771	197,807	790	27,510	20,941	223,207
400	13,356	10,030	198,673	800	27,896	21,245	223,693
410	13,699	10,290	199,521	810	28,284	21,549	224,174
420	14,043	10,551	200,350	820	28,672	21,855	224,651
430	14,388	10,813	201,160	830	29,062	22,162	225,123
440	14,734	11,075	201,955	840	29,454	22,470	225,592
450	15,080	11,339	202,734	850	29,846	22,779	226,057
460	15,428	11,603	203,497	860	30,240	23,090	226,517
470	15,777	11,869	204,247	870	30,635	23,402	226,973
480	16,126	12,135	204,982	880	31,032	23,715	227,426
490	16,477	12,403	205,705	890	31,429	24,029	227,875
500	16,828	12,671	206,413	900	31,828	24,345	228,321
510	17,181	12,940	207,112	910	32,228	24,662	228,763
520	17,534	13,211	207,799	920	32,629	24,980	229,202
530	17,889	13,482	208,475	930	33,032	25,300	229,637
540	18,245	13,755	209,139	940	33,436	25,621	230,070
550	18,601	14,028	209,795	950	33,841	25,943	230,499
560	18,959	14,303	210,440	960	34,247	26,265	230,924
570	19,318	14,579	211,075	970	34,653	26,588	231,347
580	19,678	14,856	211,702	980	35,061	26,913	231,767
590	20,039	15,134	212,320	990	35,472	27,240	232,184



TABLE A-10M (Continuación)

$l$	$h$	$u$	$s'$	$l$	$h$	$u$	$s''$
1000	35.882	27.568	232.597	1760	70.535	55.902	258.151
1020	36.709	28.228	233.415	1780	71.523	56.723	258.708
1040	37.542	28.895	234.223	1800	72.513	57.547	259.262
1060	38.380	29.567	235.020	1820	73.507	58.375	259.811
1080	39.223	30.243	235.806	1840	74.506	59.207	260.357
1100	40.071	30.925	236.584	1860	75.506	60.042	260.898
1120	40.923	31.611	237.352	1880	76.511	60.880	261.436
1140	41.780	32.301	238.110	1900	77.517	61.720	261.969
1160	42.642	32.997	238.859	1920	78.527	62.564	262.497
1180	43.509	33.698	239.600	1940	79.540	63.411	263.022
1200	44.380	34.403	240.333	1960	80.555	64.259	263.542
1220	45.256	35.112	241.057	1980	81.573	65.111	264.059
1240	46.137	35.827	241.773	2000	82.593	65.965	264.571
1260	47.022	36.546	242.482	2050	85.156	68.111	265.838
1280	47.912	37.270	243.183	2100	87.735	70.275	267.081
1300	48.807	38.000	243.877	2150	90.330	72.454	268.301
1320	49.707	38.732	244.564	2200	92.940	74.649	269.500
1340	50.612	39.470	245.243	2250	95.562	76.855	270.679
1360	51.521	40.213	245.915	2300	98.199	79.076	271.839
1380	52.434	40.960	246.582	2350	100.846	81.308	272.978
1400	53.351	41.711	247.241	2400	103.508	83.553	274.098
1420	54.273	42.466	247.895	2450	106.183	85.811	275.201
1440	55.198	43.226	248.543	2500	108.868	88.082	276.286
1460	56.128	43.989	249.185	2550	111.565	90.364	277.354
1480	57.062	44.756	249.820	2600	114.273	92.656	278.407
1500	57.999	45.528	250.450	2650	116.991	94.958	279.441
1520	58.942	46.304	251.074	2700	119.717	97.269	280.462
1540	59.888	47.084	251.693	2750	122.453	99.588	281.464
1560	60.838	47.868	252.305	2800	125.198	101.917	282.453
1580	61.792	48.655	252.912	2850	127.952	104.256	283.429
1600	62.748	49.445	253.513	2900	130.717	106.605	284.390
1620	63.709	50.240	254.111	2950	133.486	108.959	285.338
1640	64.675	51.039	254.703	3000	136.264	111.321	286.273
1660	65.643	51.841	255.290	3050	139.051	113.692	287.194
1680	66.614	52.646	255.873	3100	141.846	116.072	288.102
1700	67.589	53.455	256.450	3150	144.648	118.458	288.999
1720	68.567	54.267	257.022	3200	147.457	120.851	289.884
1740	69.550	55.083	257.589	3250	150.272	123.250	290.756

Apéndice B. Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en ingeniería<sup>1,5</sup>  
(Unidades SI)

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Resistencia última			Fluencia <sup>3</sup>		Módulo de elasticidad, GPa	Módulo de rigidez, GPa	Coeficiente de expansión térmica 10 <sup>-6</sup> /°F	Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm <sup>1</sup>
		Tensión, MPa	Compresión <sup>2</sup> , MPa	Cortante, MPa	Tensión, MPa	Cortante, MPa				
<b>ACERO:</b>										
Estructural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	200	77	11.7	23
Alta resistencia										
ASTM-A242	7860	480			345	205	200	77	11.7	22
ASTM-A441	7860	460			320		200	77	11.7	21
ASTM-A572	7860	415			290		200	77	11.7	24
Templado										
ASTM A-514	7860	760			690	380	200	77	11.7	18
AISI 302										
Laminado en frío	7920	860			520		190	75	17.3	12
Recocido	7920	655			260	150	190	75	17.3	50
Aero de refuerzo										
Resistencia media	7860	480			275		200	77	11.7	
Alta resistencia	7860	620			415		200	77	11.7	
<b>CONDICIÓN:</b>										
Condición gris										
0.5% C, ASTM A-48	7200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Hierro fundido										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
<b>ALUMINIO:</b>										
Alcación 1100-H14 (99% Al)	2710	110		70	100	55	70	26	23.6	9
Alcación 2014-T6	2800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Alcación 2024-T4	2800	470		280	325		73		23.2	19
Alcación 5456-H116	2630	320		185	230	130	72		23.9	16
Alcación 6061-T6	2710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Alcación 7075-T6	2800	570		330	500		72	28	23.6	11
<b>COBRE:</b>										
Libre de oxígeno (99.9% Cu)										
Recocido	8910	220		150	70		120	44	16.9	45
Endurecido	8910	390		200	265		120	44	16.9	4
Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)										
Laminado en frío	8470	510		300	410	250	105	39	20.9	8
Recocido	8470	320		220	100	60	105	39	20.9	65
Latón rojo (85% Cu, 15% Zn)										
Laminado en frío	8740	585		320	435		120	44	18.7	3
Recocido	8740	270		210	70		120	44	18.7	48
Estano bronce (88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			145		95		18.0	30
Manganeso bronce (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	8360	655			330		105		21.6	20
Aluminio bronce (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	8330	620	900		275		110	42	16.2	6

**Apéndice B. Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en ingeniería<sup>1,5</sup>**  
(Unidades americanas)

Material	Peso específico lb/pulg <sup>3</sup>	Resistencia última			Fluencia <sup>a</sup>		Módulo de Elasticidad 10 <sup>6</sup> psi	Módulo de Rigidez 10 <sup>6</sup> psi	Coeficiente de expansión térmica 10 <sup>-6</sup> /°F	Ductilidad, porcentaje de elongación en 2 pulg
		Tensión ksi	Compresión ksi	Cortante ksi	Tensión ksi	Cortante ksi				
<b>ACERO:</b>										
(ASTM-A36) Estructural Alta resistencia	0.284	58			36	21	29	11.2	6.5	23
ASTM-A242	0.284	70			50	30	29	11.2	6.5	22
ASTM-A441	0.284	67			46		29	11.2	6.5	21
ASTM-A572	0.284	60			42		29	11.2	6.5	24
Templado										
ASTM A-514	0.284	110			100	55	29	11.2	6.5	18
<b>ACERO INOXIDABLE:</b>										
ASTI 302 Inoxidable										
Laminado en frío	0.286	125			75		28	10.8	9.6	12
Recocido	0.286	95			38	22	28	10.8	9.6	50
<b>ACERO DE REFORZO:</b>										
Resistencia media	0.283	70			40		29	11	6.5	
Alta resistencia	0.283	90			60		29	11	6.5	
<b>FUNDICIÓN:</b>										
Fundición gris 4.5% C, ASTM A-48	0.260	25	95	35			10	4.1	6.7	0.5
Hierro fundido 2% C, 1% Si, ASTM A-47	0.264	50	90	48	33		24	9.3	6.7	10
<b>ALUMINIO:</b>										
Aleación 1100-H14 (99% Al)	0.098	16		10	14	8	10.1	3.7	13.1	9
Aleación 2014-T6	0.101	66		40	58	33	10.9	3.9	12.8	13
Aleación 2024-T4	0.101	68		41	47		10.6		12.9	19
Aleación 5456-H116	0.095	46		27	33	19	10.4		13.3	16
Aleación 6061-T6	0.098	38		24	35	20	10.1	3.7	13.1	17
Aleación 7075-T6	0.101	83		48	73		10.4	4	13.1	11
<b>COBRE:</b>										
Libre de oxígeno (99.9% Cu)										
Recocido	0.322	32		22	10		17	6.4	9.4	45
Endurecido	0.322	57		29	53		17	6.4	9.4	4
<b>Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)</b>										
Laminado en frío	0.306	74		43	60	36	15	5.6	11.6	8
Recocido	0.306	46		32	15	9	15	5.6	11.6	65
<b>Latón rojo (85% Cu, 15% Zn)</b>										
Laminado en frío	0.316	85		46	63		17	6.4	10.4	3
Recocido	0.316	39		31	16		17	6.4	10.4	48
Estaño bronce (88 Cu, 8Sn, 4Zn)	0.318	45			21		14		10	30
Manganeso bronce (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	0.302	95			48		15		12	20
Aluminio bronce (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	0.301	90	130		40		16	6.1	9	6

## BIBLIOGRAFIA

- Código ASME  
Tomo 8 sección 4
  
- Enciclopedia Universal Ilustrada  
Europeo América.  
Tomo 4, 8 y 11.
  
- Eugene L Keating  
Applied Combustion  
Mexico, 1990
  
- Faires, Simmang  
Termodinámica  
6ª ed, UTEHA
  
- Gere-Tinoshenko  
Mecánica de materiales  
Segunda edición  
pp. 329-337
  
- Kenneth Wark, Jr.  
Termodinámica  
5º Ed. Mc. Graw Hill

- Marks

Manual del Ing. Mecánico

Ed. Mc. Graw Hill

pp. 7.14 pp. 7.21

USA

- Marks

Manual del Ing. Mecánico

Ed. Mc. Graw Hill

pp. 7.14 pp. 7.21

USA

*Servitesis*

OTRA OPCION PARA SU TESIS

**615-18-61**

AV. MEXICO 2210

(CASI ESQUINA CON AMERICAS)