



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN VISCOSÍMETRO SAYBOLT PARA EL  
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PRESENTA:

**ERIC ALBOR CABRERA**

**MARIO HUMBERTO HERNÁNDEZ CHÁVEZ**

ASESOR: M.I FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

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

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

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

**"DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN VISCOSÍMETRO SAYBOLT PARA EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA"**

Que presenta el pasante: **ERIC ALBOR CABRERA**  
Con número de cuenta: **30601958-4** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Eléctrico**

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

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"**  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de Junio de 2014.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio	
<b>VOCAL</b>	M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Marco Antonio Hernández Rodríguez	
<b>1er SUPLENTE</b>	M.I. Ricardo Alberto Delgadillo Torres	
<b>2do SUPLENTE</b>	Ing. Rogelio Xelhuantzi Parada	

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

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

HHA/Vc



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

U.N.A.M.  
ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

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



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

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

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN VISCOSÍMETRO SAYBOLT PARA EL LABORATORIO DE  
TERMODINÁMICA”**

Que presenta el pasante: **MARIO HUMBERTO HERNÁNDEZ CHÁVEZ**  
Con número de cuenta: **40901024-6** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Eléctrico**

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

**ATENTAMENTE**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”**  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de Junio de 2014.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio	
<b>VOCAL</b>	M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Marco Antonio Hernández Rodríguez	
<b>1er SUPLENTE</b>	M.I. Ricardo Alberto Delgadillo Torres	
<b>2do SUPLENTE</b>	Ing. Rogelio Xelhuantzi Parada	

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

HHA/Vc

# ÍNDICE

	Pág.
<b>OBJETIVOS</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>VISCOSIDAD</b>	
1.1. Viscosidad Dinámica o Viscosidad .....	3
1.1.1. Unidades de la Viscosidad dinámica	
1.2. Viscosidad Cinemática .....	7
1.2.1. Unidades de la Viscosidad cinemática	
1.3. Variación de la viscosidad con la temperatura .....	8
1.4. Fluidos Newtonianos y no Newtonianos .....	10
1.4.1. Fluidos Newtonianos	
1.4.2. Fluidos no Newtonianos	
1.5. Viscosidad de polímeros líquidos.....	14
1.5.1. Viscosidad relativa	
1.5.2. Viscosidad inherente	
1.5.3. Viscosidad específica	
1.5.4. Viscosidad reducida	
1.5.5. Viscosidad intrínseca	
1.6. Índice de Viscosidad.....	16
1.7. Medición de la viscosidad .....	18
1.7.1. Viscosímetro de tambor giratorio	
1.7.2. Viscosímetro de tubo capilar	
1.7.3. Viscosímetros estándar calibrados capilares de vidrio	
1.7.4. Viscosímetros de caída de bola	
1.8. Grados SAE de viscosidad .....	24
1.9. Grados ISO de viscosidad .....	27

**CAPÍTULO 2**  
**VISCOSÍMETRO SAYBOLT**

2.1. Determinar la viscosidad ocupando el Viscosímetro Saybolt.....	32
2.1.1. Uso y Significado	
2.1.2. Definiciones	
2.1.3. Resumen del Método	
2.1.4. Equipo	
2.1.5. Muestreo	
2.1.6. Preparación del equipo	
2.1.7. Calibración y Estandarización	
2.1.8. Procedimiento	
2.1.9. Cálculos	
2.1.10. Informe	
2.1.11. Precisión y tolerancias	

**CAPÍTULO 3**  
**DISEÑO DE VISCOSÍMETRO SAYBOLT**

3.1. Dibujo de conjunto del Viscosímetro Saybolt.....	44
3.2. Dibujo de detalle de los diversos componentes.....	45

**CAPÍTULO 4**  
**FABRICACIÓN DEL VISCOSÍMETRO SAYBOLT**

4.1. Pieza Orificio tipo universal.....	60
4.2. Pieza Orificio tipo Furol.....	64
4.3. Cuerpo Viscosímetro Saybolt.....	68
4.4. Recipiente interior.....	76
4.5. Recipiente exterior.....	79
4.6. Ensamble del equipo.....	82

## **CAPÍTULO 5**

### **PRUEBA DEL VISCOSÍMETRO SAYBOLT**

5.1. Procedimiento .....	90
5.2. Resultados y discusión .....	100
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>105</b>

## **OBJETIVOS**

- Conocer las características y el funcionamiento de un Viscosímetro Saybolt.
- Diseñar con la ayuda del programa Solidworks un Viscosímetro Saybolt eficiente.
- Fabricar el Viscosímetro Saybolt diseñado evitando los altos costos en el procedimiento.
- Probar Viscosímetro Saybolt diseñado y fabricado.

## INTRODUCCIÓN

En los procesos industriales es de suma importancia conocer las propiedades físico químicas de las sustancias con las que se trabaja como es la viscosidad de los fluidos.

La viscosidad es utilizada como indicador de calidad en las industrias que utilizan aceites como es en la petrolera, la farmacéutica, la de pinturas, entre otras.

Un viscosímetro es un instrumento empleado para medir la viscosidad y algunos otros parámetros de flujo de un fluido. Fue Isaac Newton el primero en sugerir una fórmula para medir la viscosidad de los fluidos, postuló que dicha fuerza correspondía al producto del área superficial del líquido por el gradiente de velocidad, además del producto de un coeficiente de viscosidad.

El Viscosímetro Saybolt es útil para caracterizar ciertos productos del petróleo, como un medio para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro. El uso del Viscosímetro Saybolt está avalado por el estándar D88-07 (2013).

La ventaja que tiene este Viscosímetro es la sencillez de su procedimiento y en no requerir equipo complejo, por lo tanto se diseñara y fabricará un Viscosímetro Saybolt el cual será utilizado en el Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4 con el fin de tener una herramienta para medir la viscosidad de los aceites y otros líquidos en las prácticas de laboratorio que ahí se realizan.

## CAPÍTULO 1.

### VISCOSIDAD

<sup>1</sup>La viscosidad es una propiedad físico-química de los fluidos y representa la resistencia que presentan los fluidos al fluir. Los fluidos reales muestran una amplia diversificación de resistencia a los esfuerzos cortantes.

<sup>2</sup>La viscosidad (fricción interna) se debe a una transferencia de impulso, irreversible, de unos puntos donde la velocidad es grande a otros donde la velocidad es pequeña (efecto producido por la disipación de energía, que se produce durante el movimiento de un fluido, sobre el propio movimiento).

<sup>3</sup>La viscosidad es una de las principales características de los combustibles líquidos que determina el método de las operaciones de llenado y vaciado, las condiciones de transporte y bombeo, la resistencia hidráulica durante el transporte por tuberías y el trabajo efectivo de los quemadores.

#### **<sup>4</sup>Viscosidad Dinámica o Viscosidad.**

Las propiedades de densidad y peso específico son medidas en la pesadez de un fluido. Sin embargo resulta claro que estas propiedades no son suficientes para caracterizar de manera única cómo se comportan los fluidos, ya que dos fluidos (como el agua y el aceite) pueden tener aproximadamente el mismo valor de densidad aunque un comportamiento bastante diferente al fluir.

A fin de determinar esta propiedad adicional, considere un experimento hipotético en el que un material se coloca entre dos placas paralelas bastantes anchas, como se muestra en la figura 1.1. La placa inferior esta fija, pero la placa superior se puede mover libremente.

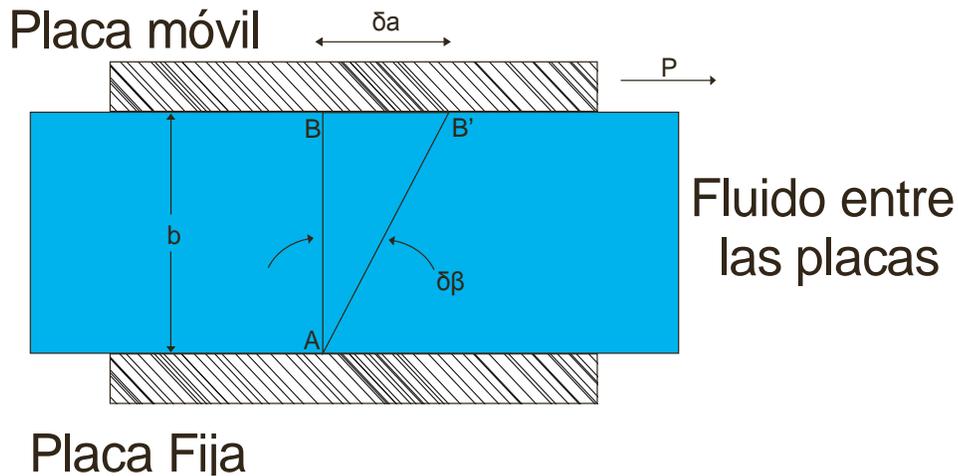
---

<sup>1</sup>Hannibal Brito; Texto Básico de Fenómeno de transporte pág. 18.

<sup>2</sup>Landau y Lifshits; Física Teórica Mecánica de Fluidos pág. 53.

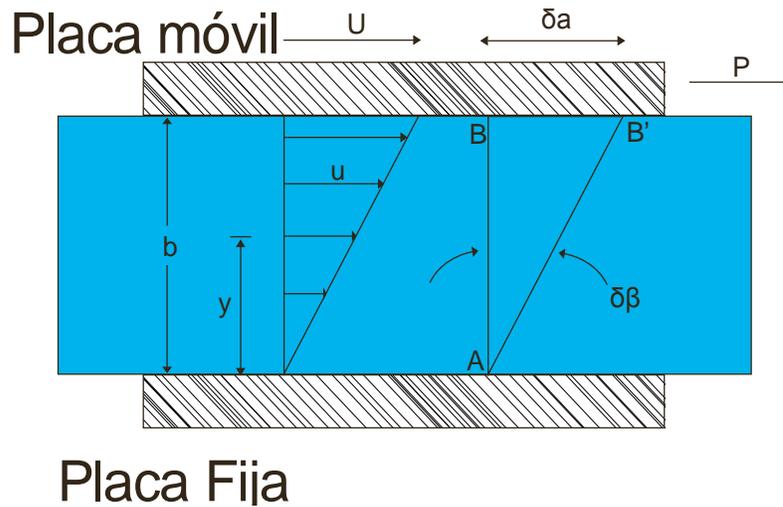
<sup>3</sup>Zabala Gilberto; Apuntes de combustión pág. 19.

<sup>4</sup>Bruce R. Munson, Donald F. Young y Theodore Okiishi; Fundamentos de Mecánica de Fluidos págs. 33-38.



*Figura 1.1. Deformación del material colocado entre dos placas. [Fuente de la imagen: Mecánica de Fluidos Robert L. Mott sexta edición 2006 Pearson Educación. México].*

Cuando la fuerza  $P$  se aplica a la placa superior, ésta se mueve de manera continua con una velocidad,  $U$  (una vez que se extingue el movimiento transitorio inicial), como se ilustra en la figura 1.2. Este comportamiento es consistente con la definición de fluido; es decir, se aplica un esfuerzo cortante a un fluido, éste se deforma de manera continua. Una revisión más detallada del movimiento del fluido entre las dos placas revelaría que el fluido en contacto con la placa superior se mueve a la velocidad de la placa,  $U$ , y que el fluido en contacto con la placa inferior fija posee una velocidad igual a cero. El fluido entre las dos placas se desplaza con una velocidad  $u = u(y)$ , si la distancia entre las dos superficies es pequeña, entonces la tasa de cambio de la velocidad con posición es lineal  $y$  que varía linealmente,  $u = Uy/b$ , como se ilustra en la figura 1.2 Así, en el fluido entre las placas se forma un gradiente de velocidad,  $du/dy$ . En este paso en particular, el gradiente de velocidad es constante, ya que  $du/dy = U/b$ , pero en situaciones de flujo más complejas esto no es cierto. La observación experimental de que el fluido se adhiere a los linderos del sólido es de suma importancia en mecánica de fluidos, y se llama condición de no deslizamiento. Todos los fluidos, tanto líquidos como gaseosos, satisfacen esta condición.



**Figura 1.2. Comportamiento de un fluido colocado entre dos placas paralelas. [Fuente de la imagen: *Mecánica de Fluidos Robert L. Mott sexta edición 2006 Pearson Educación. México*].**

La continuación de este experimento revelaría que a medida que el esfuerzo cortante  $\tau$  se incrementa al aumentar  $P$  (recuérdese que  $\tau = P/A$  [ $N/m^2, Pa, lb/ft^2$ ]), la razón de deformación de corte aumenta en proporción directa; es decir,

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

Este resultado indica que para fluidos comunes como el agua, aceite, gasolina y aire el esfuerzo cortante y la razón de deformación de corte (gradiente de velocidad) se pueden relacionar mediante una expresión de la forma

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.1)$$

Donde la constante de proporcionalidad se designa por la letra griega  $\mu$  (mu), y se denomina viscosidad absoluta, viscosidad dinámica o simplemente viscosidad del fluido.

## Unidades de la Viscosidad dinámica.<sup>5</sup>

Para expresar las unidades de la viscosidad empleamos varios sistemas de unidades diferentes. Describimos los sistemas que se usan con mayor frecuencia para la viscosidad dinámica.

La definición de viscosidad dinámica se obtiene al despejar a  $\eta$  de la ecuación.

$$\mu = \frac{\tau}{\Delta v / \Delta y} = \tau \left( \frac{\Delta y}{\Delta v} \right)$$

Las unidades para  $\eta$  del SI son:

$$\mu = \frac{N}{m^2} \times \frac{m}{m/s} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s$$

A veces cuando las unidades para  $\eta$  se combinan con otros términos, en especial con la densidad, conviene expresarlas en términos de  $kg$  en vez de  $N$ . Debido a que  $1N = 1 kg \cdot m/s^2$ ,  $\eta$  se expresa como:

$$\mu = N \times \frac{s}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2} \times \frac{s}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s}$$

**Tabla 1.1. Unidades de la Viscosidad dinámica.**

Sistema de Unidades	Unidades para la Viscosidad Dinámica
Sistema Internacional (SI)	$N \cdot s/m^2, Pa \cdot s$ o $kg/(m \cdot s)$
Sistema Tradicional de Estados Unidos	$lb \cdot s/ft^2$ o $slug/(ft \cdot s)$
Sistema cgs	$poise = dina \cdot s/cm^2 = g/(cm \cdot s) = 0.1 Pa \cdot s$ $centipoise = poise/100 = 0.001 Pa \cdot s = 1.0 mPa \cdot s$

El sistema cegesimal de unidades, también llamado sistema CGS, es un sistema de unidades basado en el centímetro, el gramo y el segundo. Su nombre es el acrónimo de estas tres unidades. Fue adoptado en 1881, en el Congreso Internacional de los Electricistas realizado en

<sup>5</sup> Robert L. Mott; Mecánica de Fluidos págs. 27-49.

París, Francia, un sistema llamado absoluto: el Sistema Cegesimal o CGS propuesto por el alemán Karl Gauss. El sistema CGS ha sido casi totalmente reemplazado por el Sistema Internacional de Unidades. Sin embargo aún perdura su utilización en algunos campos científicos y técnicos muy concretos, con resultados ventajosos en algunos contextos.

El rango expresado en  $mPa \cdot s$ , va de

$$1.0 \times 10^{-4} Pa \cdot s = 0.10 \times 10^{-3} Pa \cdot s = 0.10 mPa \cdot s$$

a

$$60.0 Pa \cdot s = 60\,000 \times 10^{-3} Pa \cdot s = 60\,000 mPa \cdot s$$

El valor de  $60\,000 mPa \cdot s$  corresponde al aceite lubricante de motores a temperaturas bajas en extremo.

### Viscosidad Cinemática.

La viscosidad cinemática  $\nu$  (nu) se define como

$$\nu = \mu/\rho$$

Debido a que  $\mu$  y  $\rho$  son propiedades del fluido,  $\nu$  también es una propiedad.

### Unidades de la Viscosidad cinemática.

Las unidades para la viscosidad cinemática en el SI se obtienen con la sustitución de las unidades antes desarrolladas para  $\mu$  y  $\rho$ .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \mu \left( \frac{1}{\rho} \right) = \frac{kg}{m \cdot s} \times \frac{m^3}{kg} = \frac{m^2}{s}$$

**Tabla 1.2. Unidades de la Viscosidad cinemática.**

Sistema de Unidades	Unidades de la Viscosidad Cinemática
Sistema Internacional (SI)	$m^2/s$
Sistema Tradicional de Estados Unidos	$ft^2/s$
Sistema cgs	$stoke = cm^2/s = 1 \times 10^{-4} m^2/s$ $centistoke = stoke/100 = 1 \times 10^{-6} m^2/s = 1mm^2/s$

Las unidades stoke y centistoke son obsoletas, pero aparecen aquí porque es frecuente que ciertas publicaciones las empleen.

El rango expresado en  $mm^2/s$ , va de

$$1.0 \times 10^{-7} m^2/s = (0.10 \times 10^{-6} m^2/s)(10^6 mm^2/1.0m^2) = 0.10 mm^2/s$$

a

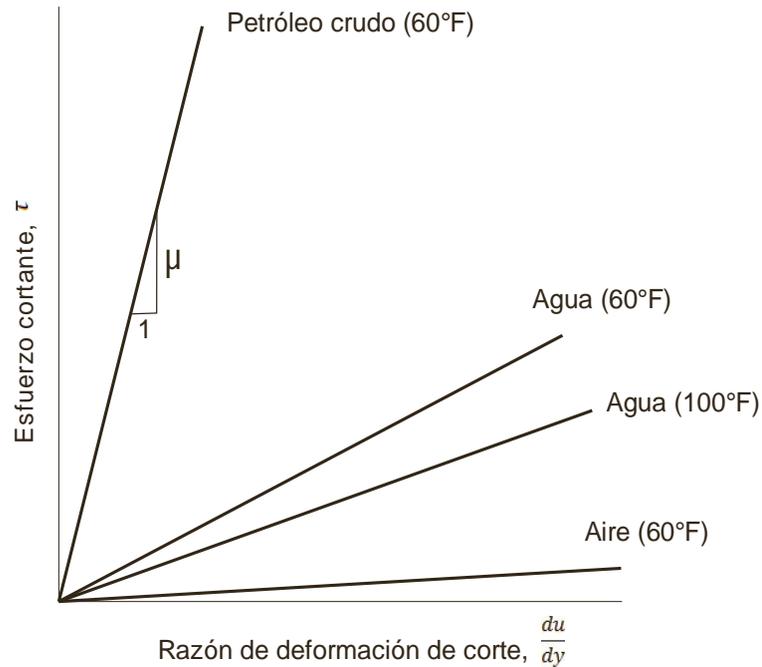
$$7.0 \times 10^{-2} m^2/s = (70\ 000 \times 10^{-6} m^2/s)(mm^2/1.0m^2) = 70\ 000 mm^2/s$$

Otra vez, el valor mayor es para el aceite de motores en frío extremo.

### **Variación de la viscosidad con la temperatura.**

En concordancia con la ecuación 1.1 (ley de viscosidad de Newton) las gráficas de  $\tau$  contra  $du/dy$  deben ser lineales con la pendiente igual a la viscosidad, como se ilustra en la figura 1.3.

El valor real de la viscosidad depende del fluido en cuestión, y para un fluido particular, la viscosidad también depende bastante de la temperatura, como se ilustra en la figura 1.3 con las dos curvas para el agua.



**Figura 1.3. Variación lineal del esfuerzo cortante con la razón de deformación para fluidos comunes.**

La pendiente del esfuerzo cortante contra la razón de deformación de corte se denota como viscosidad aparente ( $\mu_{ap}$ ).

Para fluidos newtonianos, la viscosidad aparente es la misma que la viscosidad y es independiente de la razón de deformación de corte.

Para fluidos que adelgazan con el esfuerzo cortante (fluidos no newtonianos), la viscosidad aparente disminuye con una razón de deformación de corte creciente: mientras más se somete el fluido a esfuerzo cortante, menos viscoso se vuelve.

$$\mu_{ap} = \mu \quad (\text{fluidos newtonianos})$$

$$\mu_{ap} = \frac{\tau}{du/dy} \quad (\text{fluidos no newtonianos})$$

El efecto de la temperatura sobre la viscosidad se puede aproximar bastante usando dos fórmulas empíricas. Para gases, la ecuación de Sutherland se puede expresar como:

$$\mu = \frac{CT^{3/2}}{T+S} \quad (1.2)$$

Donde  $C$  y  $S$  son constantes empíricas y  $T$  es la temperatura absoluta. Por tanto, si se conoce la viscosidad a dos temperaturas es posible determinar  $C$  y  $S$ . O bien, si se conocen más de dos viscosidades es posible correlacionar los datos con la ecuación 1.2 usando algún tipo de esquema de curvas.

Para líquidos, una ecuación empírica que se utiliza es

$$\mu = De^{E/T} \quad (1.3)$$

Donde  $D$  y  $E$  son constantes y  $T$  es la temperatura absoluta. Esta ecuación a menudo se denomina ecuación de Andrade<sup>6</sup>. Así como en el caso de los gases, para poder determinar las dos constantes es necesario conocer la viscosidad por lo menos a dos temperaturas.

La viscosidad se grafica en escala logarítmica, debido al amplio rango de valores numéricos.

Los gases se comportan distinto de los líquidos, ya que su viscosidad se incrementa conforme la temperatura crece. Aunque por lo general, su cambio es menor que el de los líquidos.

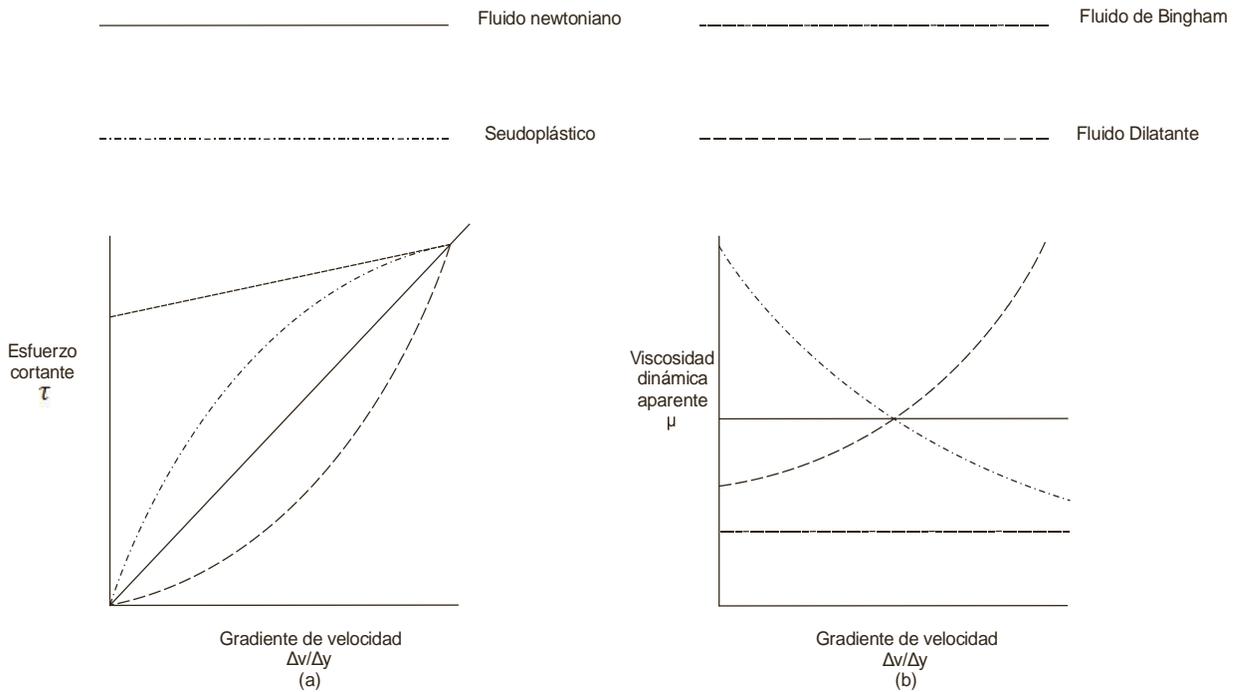
### **<sup>7</sup>Fluidos Newtonianos y no Newtonianos.**

Los fluidos se clasifican como newtonianos o no newtonianos. En un fluido newtoniano existe una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la tasa de deformación resultante [ $\mu$  en la ecuación (1.1) es constante], tal como se muestra en la figura 1.4. En un fluido no newtoniano existe una relación no lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la tasa de deformación angular.

---

<sup>6</sup> Reid, R. C., J. M. Prausnitz, and B. E. Poling; The Properties of Liquids and Gases pág. 439.

<sup>7</sup> Victor L., Benjamin Wiley y Keith Bedford; Mecánica de Fluidos págs. 4-5.



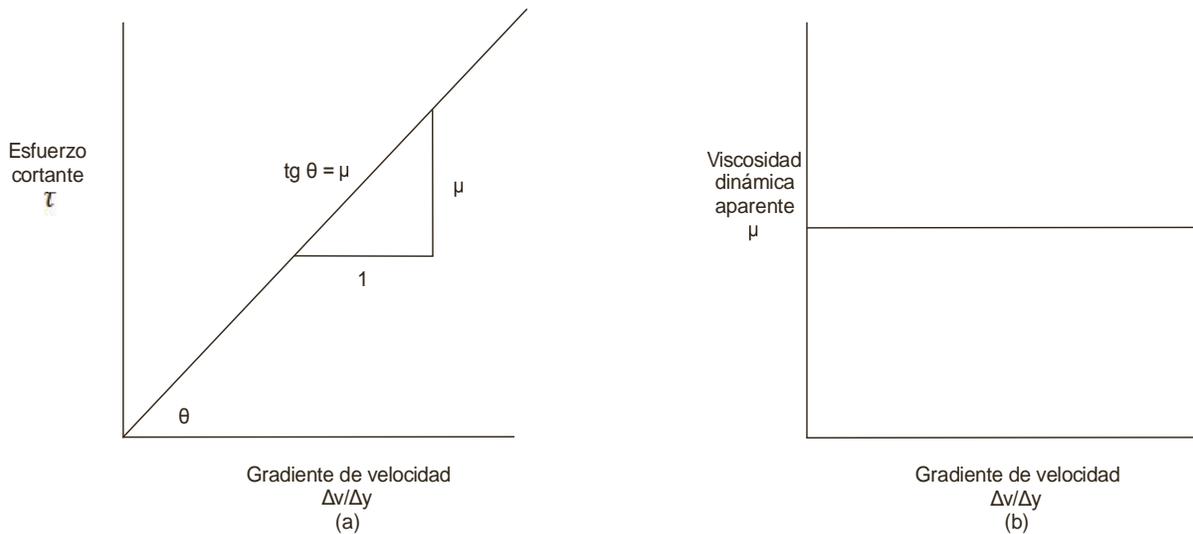
**Figura 1.4 Fluidos newtonianos y no newtonianos.**

Obsérvese en la figura 1.4 (a) que la pendiente de la curva del esfuerzo cortante versus el gradiente de velocidad es una medida de la viscosidad aparente del fluido. Entre más pronunciada es la pendiente, mayor es la viscosidad aparente. Debido a que los fluidos newtonianos tienen una relación lineal entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, la pendiente es constante y, por lo tanto, la viscosidad es constante también. La pendiente de las curvas para los fluidos no newtonianos varía. En la figura 1.4 (b) se aprecia cómo cambia la viscosidad con el gradiente de velocidad.

### **<sup>8</sup>Fluidos Newtonianos**

A los fluidos más comunes como el agua, aceite, gasolina, alcohol, keroseno, benceno y glicerina, se les clasifica como newtonianos.

<sup>8</sup> Robert L. Mott: Mecánica de Fluidos págs. 27-49.



**Figura. 1.5** *Curvas características de un fluido newtoniano.*

### Fluidos no Newtonianos.

Los fluidos no newtonianos se pueden clasificar en tres grandes grupos que son los dependientes del tiempo, independientes del tiempo y los viscoelásticos, aunque se debe aclarar que los límites de clasificación no son muy claros.

Independientes del tiempo.

- Seudoplásticos o Tixotrópicos Son aquellos en los que disminuye su resistencia (viscosidad) al aumentar el esfuerzo. Ejemplos de estos fluidos son el plasma sanguíneo, polietileno fundido, látex, almíbares, la leche, adhesivos, melazas y tintas.
- Fluidos dilatantes Son aquellos en que la resistencia a la deformación (viscosidad efectiva) aumenta al aumentar la fuerza cortante. Algunos ejemplos de fluidos dilatantes son los compuestos acuosos con concentraciones altas de sólidos: el almidón de maíz en etilenglicol, almidón en agua y el dióxido de titanio (ingrediente de las pinturas).
- Plástico ideal o Fluidos de Bingham En ocasiones reciben el nombre de fluidos de inserción, y requieren la aplicación de un nivel significativo de esfuerzo cortante antes de que comience el flujo, una vez que el flujo se inicia, se podría decir que la viscosidad permanece constante. Un ejemplo es la pasta de dientes, que no fluye al exterior hasta que se por apretar el tubo se sobrepasa un cierto esfuerzo, otros ejemplos son el

chocolate, salsa cátsup, mostaza, mayonesa, pintura, asfalto, ciertas grasas y suspensiones de agua.

Dependientes del tiempo.

- **Electrorreológicos** Estos fluidos están en desarrollo y poseen propiedades únicas, controlables por medio de la aplicación de una corriente eléctrica. Se les conoce como fluidos ER, y son suspensiones de partículas finas como almidón, polímeros y cerámicas, en un aceite no conductor (como el aceite mineral o de silicón). Si no se les aplica corriente se comportan como otros líquidos. Pero si se les aplica, se convierten en un gel y se comportan más bien como un sólido. El cambio ocurre en menos de  $\frac{1}{100}$  segundos. Algunas aplicaciones potenciales de estos fluidos las encontramos en suspensiones para vehículos, maquinaria y en actuadores automáticos.
- **Magnetorreológicos (MR)** Son similares a los fluidos ER, y contiene partículas suspendidas en una base de fluido. Sin embargo, en este caso, las partículas son polvos finos de hierro. El fluido base puede ser un aceite de petróleo, de silicón o agua. Cuando no hay un campo magnético presente, el fluido MR se comporta en forma muy parecida a otros, con una viscosidad que varía entre  $0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  y  $0.3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  a  $25^\circ\text{C}$ . La presencia de un campo magnético hace que el fluido MR se convierta, virtualmente, en un sólido tal que soporte un esfuerzo cortante de hasta  $100 \text{ KPa}$ . Vislumbramos eventuales aplicaciones en amortiguadores de vibración, válvulas servo y dispositivos de freno y bloqueo.
- **Tixotrópicos** Se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas. Dichos fluidos, una vez aplicado un estado de cizallamiento (esfuerzo cortante), sólo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo. La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio. Aparece un fenómeno de Histéresis (tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado). Algunos ejemplos de estos fluidos son recubrimientos alcalinos, de látex, aceites de petróleo, nylon, el yogurt y algunas tintas antigoteo.

- **Reopéticos** Son fluidos que se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir, que su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos. Esto es debido a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad. Algunos ejemplos de este tipo de fluido son el yeso, la arcilla bentonítica y algunas tintas para impresora.

#### Viscoelásticos.

Son Aquellos fluidos que poseen propiedades tanto viscosas como elásticas; son ejemplos de estos el bitumen (impermeabilizante destilado del petróleo), la nata, la gelatina, el helado y la masa de harina.

Los fluidos con los que los ingenieros deben tratar con mayor frecuencia son newtonianos, es decir, su viscosidad no depende ni del régimen de corte ni de la duración de éste, y el término “mecánica de los fluidos” se refiere, en general sólo a los fluidos newtonianos. El estudio de los fluidos no newtonianos se denomina “Reología” (estudio de la deformación y las características del flujo de las sustancias).

#### **Viscosidad de polímeros líquidos.**

Los polímeros líquidos son no newtonianos, además son objeto de muchos estudios industriales, debido a su importancia en el diseño de productos, manufactura, lubricación y cuidado de la salud.

Cinco factores en la viscosidad de polímeros:

1. Viscosidad relativa.
2. Viscosidad inherente.
3. Viscosidad reducida.
4. Viscosidad específica.
5. Viscosidad intrínseca (también llamada número limitante de viscosidad).

Para realizar algunas pruebas y hacer los cálculos finales, se le agrega un solvente al polímero líquido. Entre algunos ejemplos de combinaciones de polímeros tenemos:

1. Nylon en ácido fórmico.
2. Nylon en ácido sulfúrico.
3. Resinas epóxicas en metanol.
4. Acetato de celulosa en acetona y cloruro metílico.
5. Policarbonato en cloruro metílico.

Se debe conocer la concentración del polímero, medida en gramos por 100 ml.

Entonces se pueden obtener los cálculos siguientes:

**Viscosidad relativa,  $\mu_{rel}$ .** Relación de las viscosidades de la solución del polímero y el solvente puro a la misma temperatura.

**Viscosidad inherente,  $\mu_{inh}$ .** Relación del logaritmo natural de la viscosidad relativa y la concentración.

**Viscosidad específica,  $\mu_{spec}$ .** Viscosidad relativa de la solución del polímero menos 1.

**Viscosidad reducida,  $\mu_{red}$ .** Viscosidad específica dividida entre la concentración.

**Viscosidad intrínseca,  $\mu_{intr}$ .** Relación de la viscosidad específica a la concentración, extrapolada a la concentración cero. La viscosidad relativa se mide a varias concentraciones, y la línea de tendencia que resulta de las viscosidades específicas se extrapola a la concentración cero. La viscosidad intrínseca es una medida del peso molecular del polímero o el grado de polimerización.

Se deben de elegir con cuidado los procedimientos de prueba para polímeros líquidos, debido a su naturaleza no newtoniana. La figura 2.2 (a) muestra que la viscosidad aparente cambia conforme el gradiente de velocidad varía. Además, la tasa del cortante dentro del fluido también cambia con el cambio de gradiente de velocidad. Por tanto es importante controlar la tasa de corte o tasa de deformación, en el fluido durante las pruebas.

Muchos polímeros líquidos y otros fluidos no newtonianos muestran características viscoelásticas, además de la viscosidad básica. Algunos ejemplos de éstos son los plásticos extruidos, adhesivos, pinturas, recubrimientos y emulsiones. Es importante medir el

comportamiento de estos materiales durante la elongación, a fin de controlar los procesos de manufactura o de aplicación. A esta prueba se le llama reometría de extensión.

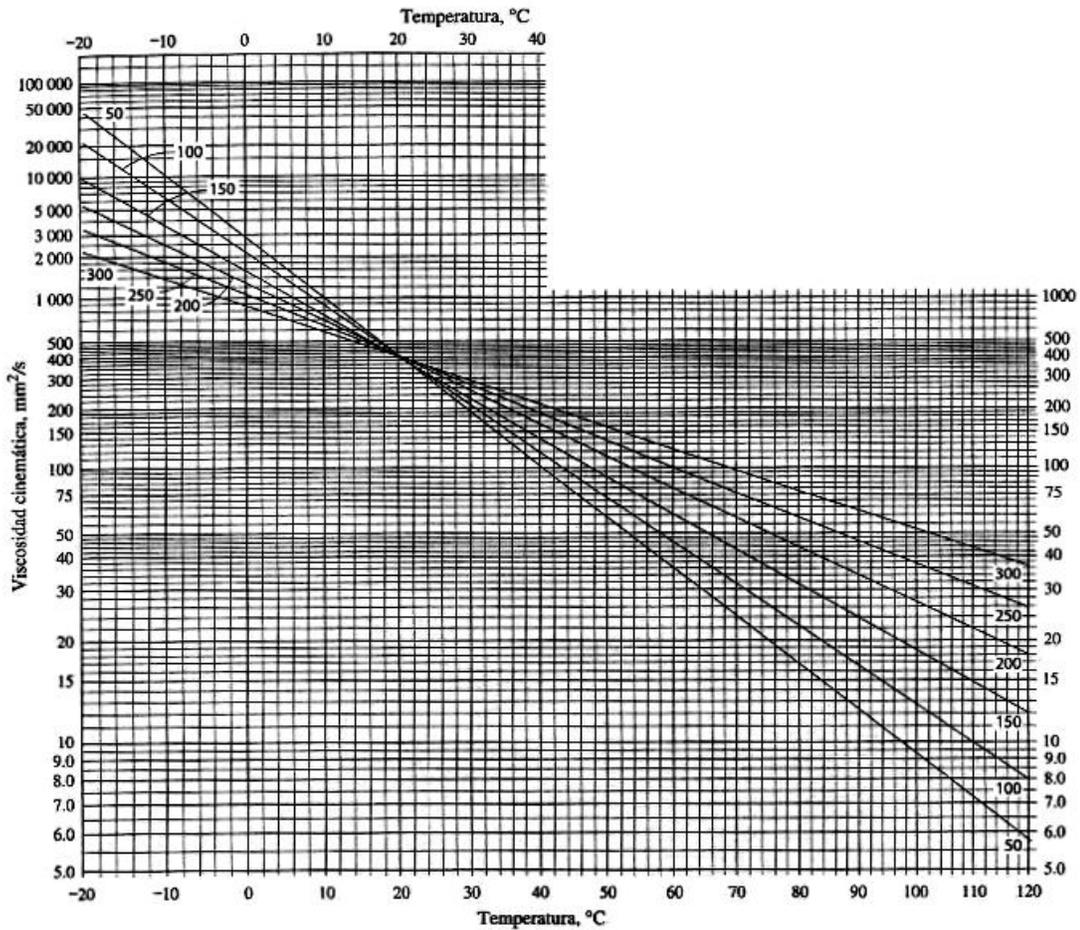
### **Índice de Viscosidad.**

El índice de viscosidad de un fluido o VI nos indica cuanto cambia ésta con la temperatura.

Un fluido con índice de viscosidad alto muestra un cambio pequeño en su viscosidad con la temperatura. Un fluido con índice de viscosidad bajo muestra un cambio grande en su viscosidad con la temperatura.

En la figura 1.6 se muestran curvas comunes para aceites con valores VI de 50, 100, 150, 200, 250 y 300. En ella se emplea papel para graficar, diseñado especialmente para el índice de viscosidad, lo que da como resultado que las curvas se transformen en líneas rectas. El índice de viscosidad está determinado por la medición de la viscosidad cinemática de la muestra del fluido a 40°C y a 100°C, y con la comparación de estos valores con los de ciertos fluidos de referencia los cuales tienen valores VI de 0 y 100. El estándar ASTM D 2270 proporciona el método completo.

La forma general de la ecuación para calcular el índice de viscosidad de un aceite con valor VI menor o igual a 100 es la siguiente dando valores en  $mm^2/s$ .



*Figura 1.6. Curvas de índices de viscosidad comunes.*

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \times 100$$

Donde:

$U$  – Viscosidad cinemática del aceite de prueba a 40°C

$L$  – Viscosidad cinemática de un aceite estándar a 40°C con VI de cero, y que a 100°C tiene la misma viscosidad que el aceite de prueba.

$H$  = Viscosidad cinemática de un aceite estándar a 40°C con VI de 100, y que a 100°C tiene la misma viscosidad que el aceite de prueba.

Los valores de  $L$  y  $H$  se encuentran en una tabla del estándar ASTM D 2270, para aceites con viscosidades cinemáticas entre  $2.0 \text{ mm}^2/\text{s}$  y  $70.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ , a  $100^\circ\text{C}$ . Este rango comprende la mayor parte de los aceites prácticos que se utilizan como combustible o lubricante.

Los valores altos de VI se obtiene con la mezcla de aceites seleccionados que tienen contenido elevado de parafina, o al agregar polímeros especiales que incrementan el VI, y mantienen buenas propiedades de lubricación, así como un rendimiento adecuado en motores, bombas, válvulas y actuadores.

### **Medición de la viscosidad.**

Los procedimientos y equipo para medir la viscosidad son numerosos. Algunos utilizan principios fundamentales de la mecánica de fluidos para expresar la viscosidad en sus unidades fundamentales. Otros, indican solo valores relativos de la viscosidad, usados para comparar diferentes fluidos. Los dispositivos para caracterizar el comportamiento del flujo de los líquidos se llaman viscosímetros o reómetros.

La ASTM Internacional produce estándares para medir y reportar mediciones de viscosidad.

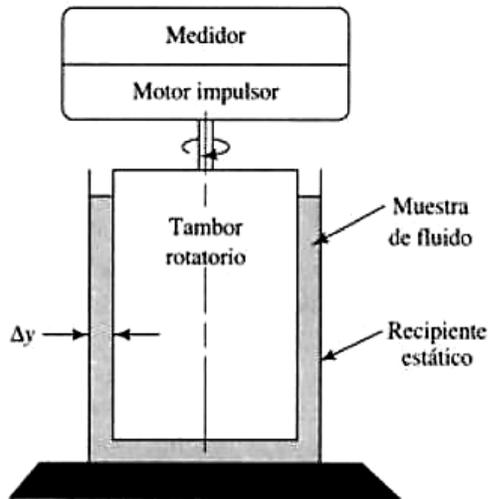
### **Viscosímetro de tambor giratorio**

Este artefacto mide la viscosidad dinámica dada en la ecuación **1.1**

$$\mu = \frac{\tau}{\Delta v / \Delta y} = \tau \left( \frac{\Delta y}{\Delta v} \right)$$

Su funcionamiento consiste en hacer girar el tambor exterior a una velocidad angular constante,  $\omega$ , mientras que el tambor interior se conserva estacionario. Por consiguiente, el fluido que está en contacto con el tambor giratorio tiene una velocidad lineal,  $v$ , conocida, mientras que el fluido que está en contacto con el tambor interior posee una velocidad cero. Si conocemos el grueso,  $\Delta y$ , de la muestra de fluido, entonces podemos calcular el término  $\Delta v / \Delta y$  de la ecuación mostrada. Se pone una consideración especial al fluido que se halla en el fondo del tambor, pues su velocidad no es uniforme en todos los puntos. Debido a la viscosidad del fluido, se presenta una fuerza de arrastre sobre la superficie del tambor interior que ocasiona el desarrollo de un torque cuya magnitud puede medirse con un torquímetro sensible. La magnitud

de dicho torque es una medida de la tensión de torque,  $\tau$ , del fluido. Así pues, la viscosidad  $\mu$  puede calcularse utilizando la ecuación anterior.



**Figura 1.7. Componentes de un viscosímetro de tambor giratorio. [Fuente de la imagen: Mecánica de Fluidos Robert L. Mott sexta edición 2006 Pearson Educación. México].**



**Figura 1.8. Viscosímetro de tambor giratorio marca PROETI. [Fuente de la fotografía: Producción de Equipos Técnicos e Industriales, S.A. Madrid, España].**

Una variante del viscosímetro de tambor giratorio se maneja en la Norma ASTM D2602: *método de prueba estándar para la viscosidad aparente de aceites de motor a baja temperatura utilizando el simulador de manivela fría*. En este aparato, un motor universal hace funcionar un rotor que está estrechamente ajustado dentro de un estator. La prueba se corre a  $-17.78^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ).

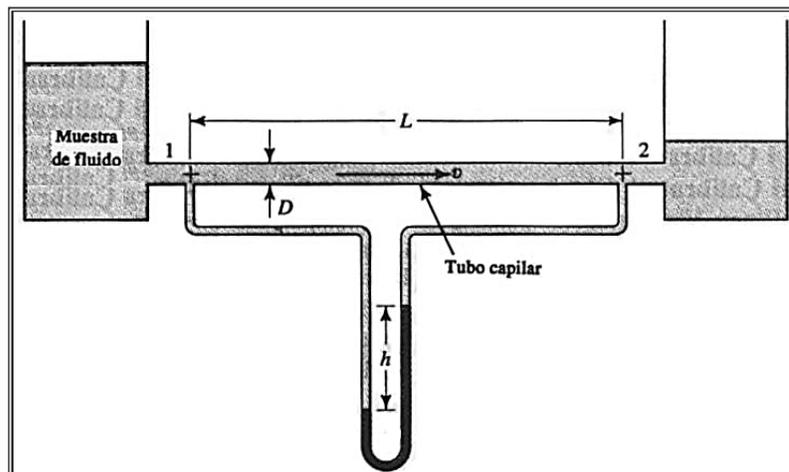
La velocidad del rotor está relacionada con la viscosidad del aceite de prueba que llena el espacio que existe entre el estator y el rotor, debido al arrastre viscoso producido por el aceite. La medición de velocidad esta correlacionada con la viscosidad en centipoises (mPa·s) en referencia a un diagrama de calibración obtenido al correr un conjunto de al menos cinco aceites de calibración estándar de viscosidad conocida en el aparato que se está utilizando. Los datos obtenidos son usados por diseñadores de motores y usuarios para asegurar la operación adecuada del motor a bajas temperaturas.

### Viscosímetro de tubo capilar

Este viscosímetro consiste en dos recipientes conectados por un tubo largo de diámetro pequeño, conocido como tubo capilar. Conforme el fluido fluye a través del tubo con una velocidad constante, el sistema pierde algo de energía, ocasionando una caída de presión que puede ser medida utilizando un manómetro. La magnitud de la caída de presión está relacionada con la viscosidad del fluido mediante la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{(p_1 - p_2)D^2}{32vL}$$

En la ecuación,  $D$  es el diámetro interior del tubo,  $v$  es la velocidad del fluido y  $L$  es la longitud del tubo entre los puntos 1 y 2, en donde se mide la presión.



*Figura 1.9. Componentes de un viscosímetro de tubo capilar. [Fuente de la imagen: Mecánica de Fluidos Robert L. Mott sexta edición 2006 Pearson Educación. México].*

### Viscosímetro estándar calibrados capilares de vidrio

Las normas ASTM D445 y D446 describen el uso de los viscosímetros estándar calibrados capilares de vidrio para medir la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos. En la figura se muestran 7 de los 17 tipos de viscosímetros analizados en la norma.



*Figura 1.10. Viscosímetros estándar calibrados capilares de vidrio. [Fuente de la fotografía: LAUDA DR. R. WOBSE GMBH & CO. KG. Alemania].*



*Figura 1.11. Baño disponible comercialmente marca Scorpion Scientific. [Fuente de la fotografía: SoloStocks México S.A. DE C.V. México].*

En la figura se muestra un baño disponible comercialmente, tiene un control electrónico digital operado por microprocesador que opera desde temperatura ambiente hasta 150° C con resolución de 0.1°C en todo el rango, tiene un agitador motorizado para mayor uniformidad, acepta hasta 3 tubos de viscosidad Cannon Fenske, tiene integrado un timer para medir el tiempo de flujo en minutos y segundos

Para preparar la prueba de viscosidad, el tubo viscosímetro es cargado con una cantidad específica de fluido de prueba.

Después de estabilizarse en la temperatura de prueba, se saca mediante succión el líquido a través del bulbo y se le deja ligeramente por encima de la marca de regulación superior. Se retira la succión y se permite al líquido fluir bajo el efecto de la gravedad. La sección de trabajo del tubo es el capilar que se encuentra por debajo de la marca de regulación superior a la inferior. La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo por la constante de calibración del viscosímetro, proporcionada por el fabricante. La unidad de viscosidad utilizada en estas pruebas es el centistoke (cSt)

### **Viscosímetro de caída de bola**

Cuando un cuerpo cae en un fluido bajo la sola influencia de la gravedad, se acelera hasta que la fuerza que lo jala hacia abajo (su peso) queda balanceada por la fuerza de flotación y la fuerza de arrastre viscoso que actúan hacia arriba. La velocidad que adquiere en ese momento se conoce como velocidad terminal. El viscosímetro de caída de bola utiliza este principio, haciendo que una bola esférica caiga libremente a través del fluido y midiendo el tiempo requerido para que esta recorra una distancia conocida. Así pues la velocidad puede calcularse. Cuando la bola ha alcanzado su velocidad terminal se encuentra en equilibrio, por lo que tenemos que:

$$w - F_b - F_a = 0$$

Donde  $w$  es el peso de la esfera,  $F_b$  es la fuerza de flotación y  $F_a$  es la fuerza de arrastre viscoso que actúan sobre la bola.

Si  $\gamma_s$  es el peso específico de la esfera,  $\gamma_f$  es el peso específico del fluido,  $V$  es el volumen de la esfera y  $D$  es su diámetro, tenemos:

$$w = \gamma_s V = \gamma_s \pi D^3 / 6$$

$$F_B = \gamma_f V = \gamma_f \pi D^3 / 6$$

Para muy viscosos y una velocidad pequeña, la fuerza de arrastre sobre la esfera es:

$$F_d = 3\pi\mu v D$$

Sustituyendo en la ecuación de equilibrio tenemos:

$$\frac{\gamma_s \pi D^3}{6} - \frac{\gamma_f \pi D^3}{6} - 3\pi\mu v D = 0$$

Despejando  $\eta$

$$\mu = \frac{(\gamma_s - \gamma_f) D^2}{18v}$$



**Figura 1.12. Viscosímetro Caída de Bola marca HAAKE. [Fuente de la fotografía: Instrumentos Físicos Ibérica S.L. Barcelona, España].**

## **Grados SAE de viscosidad.**

SAE Internacional desarrolló un sistema de clasificación de aceites para motores (tabla 1.3) y lubricantes de engranes automotrices (tabla 1.4) que indica la viscosidad de los aceites a temperaturas específicas.

Los aceites con sufijo W se basan en la viscosidad dinámica máxima a temperaturas frías, específicas en condiciones que simulan tanto el cigüeñal de un motor como el bombeo del aceite por parte de la bomba. También deben presentar una viscosidad cinemática por arriba de un mínimo especificado de 100 °C, con un viscosímetro capilar de vidrio. Aquéllos sin el sufijo W se clasifican a temperaturas más elevadas con dos métodos diferentes. La viscosidad cinemática en condiciones de poco esfuerzo cortante a 100 °C, debe estar en el rango que se indica en la tabla 1.3. La viscosidad dinámica en condiciones de esfuerzo cortante alto a 150 °F, debe ser mayor que el mínimo que se aprecia en la última columna de la tabla 1.3. Esta clasificación simula las condiciones en rodamientos y para superficies deslizantes. Observe las dos clasificaciones diferentes para el grado SAE 40. El primero es común en los aceites con viscosidad multigrado que se emplean en motores ligeros. El segundo es normal en los aceites con viscosidad de grado único SAE 40, y los de viscosidad multigrado que se usan en motores pesados. Los aceites con viscosidad multigrado, como el SAE 10W-40, deben satisfacer los estándares en condiciones de temperaturas baja y alta.

Las especificaciones de valores de viscosidad máxima a temperatura baja para los aceites, se relacionan con la capacidad de éstos para fluir hacia las superficies que necesitan lubricación, a las velocidades del motor durante el arranque a temperaturas bajas. La viscosidad de bombeo indica la capacidad del aceite para fluir hacia la entrada de la bomba de aceite de un motor. El rango de especificaciones de viscosidad a temperatura alta se relaciona con la capacidad que tiene el aceite de proporcionar una película satisfactoria, que maneje las cargas esperadas sin tener una viscosidad muy alta que incrementara la fricción y pérdidas de energía generadas por las partes móviles.

Observe que los aceites diseñados para operar en rangos amplios de temperatura tienen aditivos para incrementar el índice de viscosidad. Un ejemplo de esto es el aceite de viscosidad multigrado para motor, el cual debe satisfacer límites estrechos de viscosidad a temperatura baja, al mismo tiempo que mantiene una viscosidad suficientemente alta a temperaturas de

operación elevadas del motor, para producir una lubricación eficaz. Además, los aceites para sistemas hidráulicos automotrices que deben operar con rendimiento similar en climas fríos y cálidos, aquéllos para sistemas hidráulicos de máquinas herramienta que operan tanto en el exterior como en el interior deben tener índices altos de viscosidad. El logro de un índice de viscosidad elevado en un aceite, con frecuencia requiere una mezcla de polímeros y petróleo. La mezcla resultante podría tener características no newtonianas, en particular a temperaturas bajas.

Consulte el Apéndice A para conocer las propiedades comunes de los aceites lubricantes derivados del petróleo, utilizados en sistemas hidráulicos y aplicaciones de máquinas herramienta.

**Tabla 1.3 Grados de viscosidad SAE en aceites de motor.**

Grado de Viscosidad SAE	Temperatura baja viscosidad dinámica		Temperatura alta Viscosidad		Temperatura alta, tasa cortante elevada Viscosidad dinámica◇ a 150 °C (cP) Mfn.
	Condición de cigüeñal * (cP) Máx. a (°C)	Condición de bombeo # (cP) Máx. a (°C)	cinemática a 100 °C (cSt) +		
			Mfn.	Máx.	
0W	6200 a -35	60 000 a -40	3.8	-	-
5W	6600 a -30	60 000 a -35	3.8	-	-
10W	7000 a -25	60 000 a -30	4.1	-	-
15W	7000 a -20	60 000 a -25	5.6	-	-
20W	9500 a -15	60 000 a -20	5.6	-	-
25W	13 000 a -10	60 000 a -15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	2.9†
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 L
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

Nota: 1 cP = 1 mPa·s ; 1 cSt = 1 mm<sup>2</sup>/s

\* Con el Estándar ASTM D5293.

# Con el Estándar ASTM D4684.

+ Con el Estándar ASTM D445.

◇ Con los Estándares ASTM D4683, D4741 o D5481.

† Cuando se usa en estos grados de viscosidad múltiple: 0W-40, 5W-40 y 10W-40.

⊥ Cuando se emplea en grado único SAE 40 y en estos grados de viscosidad múltiple: 15W-40, 20W-40 y 25W-40.

**Tabla 1.4 Grados SAE de viscosidad para lubricantes de engranes automotrices.**

Grado de viscosidad SAE	Temperatura máxima para viscosidad dinámica de 150 00 cP* (°C)	Viscosidad cinemática a 100 °C (cSt) #	
		Mín.	Máx
70W	-55	4.1	–
75W	-40	4.1	–
80W	-26	7.0	–
85W	-12	11.0	–
80	–	7.0	<11.0
85	–	11.0	<13.5
90	–	13.5	<24.0
140	–	24.0	<41.0
250	–	41.0	

Nota: 1 cP = 1 mPa·s ; 1 cSt = 1 mm<sup>2</sup>/s

\* Con el ASTM D2983.

#Con el ASTM D445.

## **Grados ISO de viscosidad.**

Los lubricantes empleados en aplicaciones industriales deben estar disponibles en un rango amplio de viscosidad, para satisfacer las necesidades de la maquinaria de producción, rodamientos, arreglo de engranes, máquinas eléctricas, ventiladores y sopladores, sistemas de fluidos de potencia, equipo móvil y muchos otros dispositivos. Los diseñadores de estos sistemas deben asegurarse de que el lubricante tolere las temperaturas a que se expondrá, al mismo tiempo que proporcione suficiente capacidad de carga. El resultado es la necesidad de un rango amplio de viscosidades.

Para cumplir con los requerimientos y contar con cierto número de opciones económicas y factibles, el estándar ASTM D 2422 define un conjunto de 20 grados de viscosidad ISO. La designación del estándar incluye el prefijo ISO VG seguido de un número que representa la viscosidad cinemática en cSt ( $mm^2/s$ ) para una temperatura de 40 °C. La tabla 1.5 proporciona los datos. Los valores máximo y mínimo son  $\pm 10\%$  del valor nominal. Aunque adoptar el estándar es voluntario, se intenta estimular a los productores y usuarios de lubricantes a concordar en la especificación de las viscosidades de la lista. Este sistema está ganando aceptación en los mercados de todo el mundo.

*Tabla 1.5 Grados de viscosidad ISO.*

<b>Grado ISO VG</b>	<b>Viscosidad cinemática a 40°C (cSt) o (mm<sup>2</sup>/s)</b>		
	<b>Nominal</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.98</b>	<b>2.40</b>
<b>3</b>	<b>3.2</b>	<b>2.88</b>	<b>3.52</b>
<b>5</b>	<b>4.6</b>	<b>4.14</b>	<b>5.06</b>
<b>7</b>	<b>6.8</b>	<b>6.12</b>	<b>7.48</b>
<b>10</b>	<b>10</b>	<b>9.00</b>	<b>11.0</b>
<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13.5</b>	<b>16.5</b>
<b>22</b>	<b>22</b>	<b>19.8</b>	<b>24.2</b>
<b>32</b>	<b>32</b>	<b>28.8</b>	<b>35.2</b>
<b>46</b>	<b>46</b>	<b>41.4</b>	<b>50.6</b>
<b>68</b>	<b>68</b>	<b>61.2</b>	<b>74.8</b>
<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90.0</b>	<b>110</b>
<b>150</b>	<b>150</b>	<b>135</b>	<b>165</b>
<b>220</b>	<b>220</b>	<b>198</b>	<b>242</b>
<b>320</b>	<b>320</b>	<b>288</b>	<b>352</b>
<b>460</b>	<b>460</b>	<b>414</b>	<b>506</b>
<b>680</b>	<b>680</b>	<b>612</b>	<b>748</b>
<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>900</b>	<b>1100</b>
<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1350</b>	<b>1650</b>
<b>2200</b>	<b>2200</b>	<b>1980</b>	<b>2420</b>
<b>3200</b>	<b>3200</b>	<b>2880</b>	<b>3520</b>

## CAPITULO 2.

### VISCOSÍMETRO SAYBOLT

<sup>9</sup>La ventaja de este procedimiento es su sencillez además de que no requiere equipo complejo. El uso del Viscosímetro Saybolt lo avala el estándar D88-07 (2013). Sin embargo, dicho estándar recomienda que utilicen otros métodos para medir la viscosidad, como el ASTM Internacional. 2003 ASTM D445-03: Método estándar para la viscosidad cinemática de líquidos de transparentes y opacos y la ASTM Internacional 200 D44-00: Especificaciones estándar para viscosímetros cinemáticos capilares de vidrio, los cuales describen el empleo de viscosímetros capilares de vidrio. Además recomienda que la viscosidad cinemática se reporte en la unidad SI apropiada,  $\text{mm}^2/\text{s}$ . El estándar ASTM2161 describe los métodos de conversión preferibles entre las mediciones de la viscosidad en SUS y la viscosidad cinemática en  $\text{mm}^2/\text{s}$ . En la figura 2.2 se muestra la gráfica de los SSU versus la viscosidad cinemática  $\nu$  en  $\text{mm}^2/\text{s}$ , para un fluido con temperatura de  $100^\circ\text{F}$ . Por arriba de  $\nu = 75 \text{ mm}^2/\text{s}$  la curva se hace recta y tiene la ecuación:

$$SSU = 4.632\nu \quad (2.1)$$



(a)



(b)



(c)

**Figura 2.1. a) Equipo para medir la viscosidad Viscosímetro Saybolt b) Viscosímetro Saybolt con orificio tipo universal o furol c) Matraz de 60 ml, para recolectar la muestra de Saybolt. [Fuente de las fotografías: Clarkson Laboratory & Supply Inc. Chula Vista California, EUA].**

<sup>9</sup> Robert L. Mott: Mecánica de Fluidos págs. 27-49.

Para un Fluido a temperatura de  $210^{\circ}\text{F}$ , la ecuación para la parte de la línea recta es:

$$SSU = 4.664\nu \quad (2.2)$$

Estas ecuaciones se utilizan por abajo de aproximadamente  $\nu = 50 \text{ mm}^2/\text{s}$  con un margen de error menor a 0.5%, y por debajo de aproximadamente  $\nu = 38 \text{ mm}^2/\text{s}$  con un margen de error de menos del 1.0% ( $< 1.0 \text{ SUS}$ ).

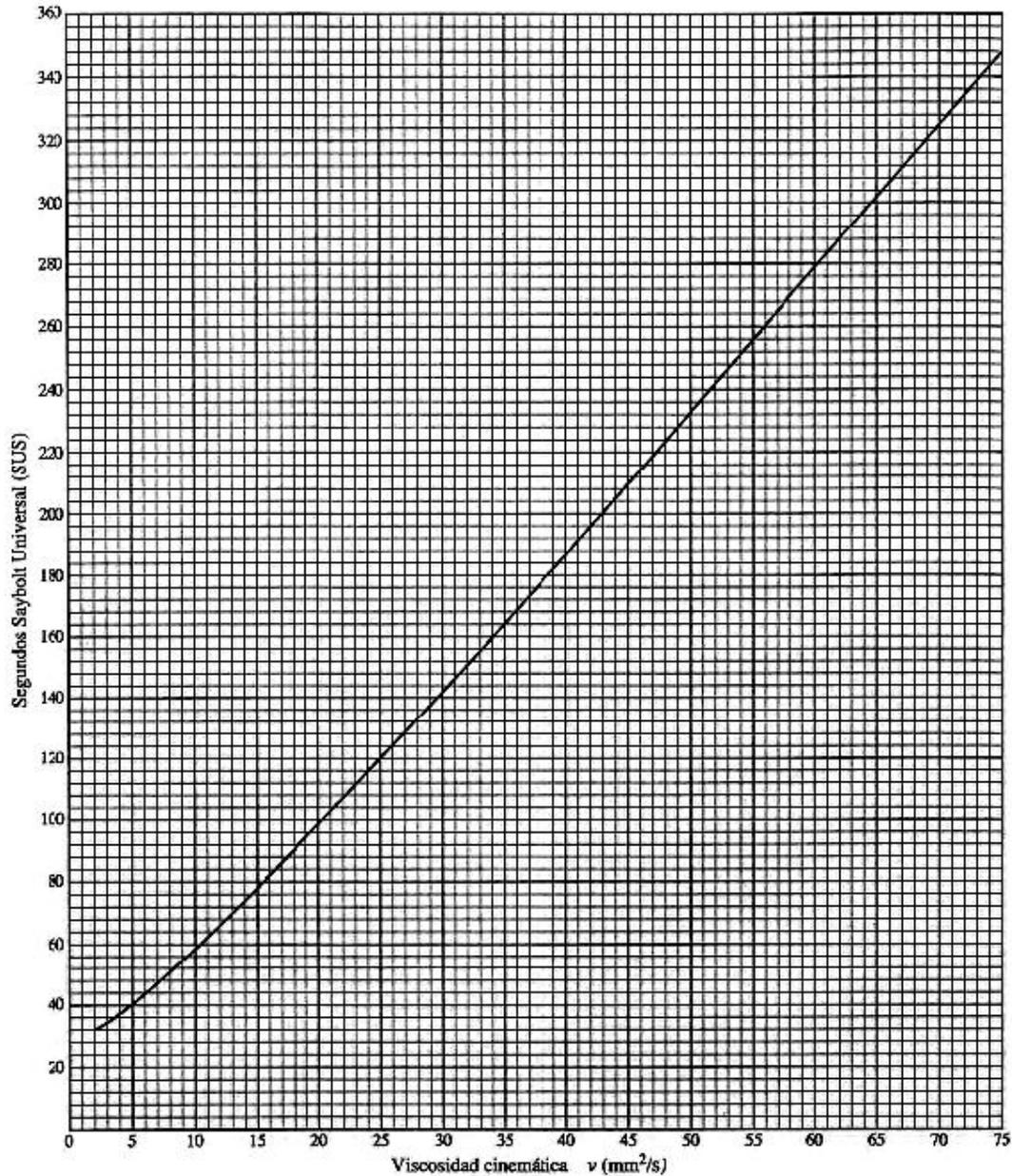
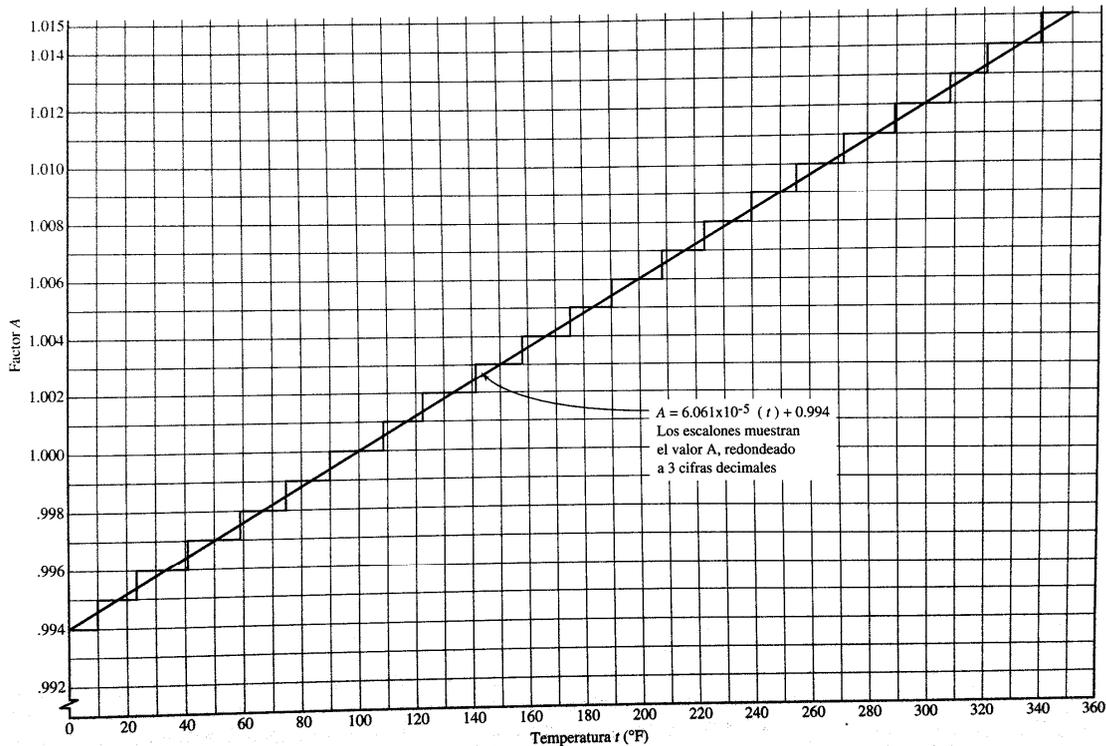


Figura 2.2. Viscosidad cinemática  $\nu$  expresada en SUS versus la expresada en  $\text{mm}^2/\text{s}$  a  $100^{\circ}\text{F}$

•F



**Figura 2.3. Factor A versus la temperatura t en grados Fahrenheit, que se usa para determinar la viscosidad cinemática en SSU para cualquier temperatura.**

El valor SSU para cualquier otra temperatura en grados Fahrenheit se encuentra con la multiplicación del valor SSU para **100°F** por el factor **A** que se aprecia en la figura 2.3. El factor **A** se calcula con la ecuación

$$A = 6.061 \times 10^{-5}t + 0.994 \text{ (Redondeado a tres decimales)} \quad (2.3)$$

### **<sup>10</sup>Procedimiento para convertir Viscosidad Saybolt Furol.**

Se convierte a viscosidad cinemática usando las siguientes ecuaciones

Para un fluido con temperatura de 100 °F, ocupamos la siguiente ecuación:

$$SSF = 0.4717v \quad (2.4)$$

Para un Fluido a temperatura de 210°F, la ecuación es:

$$SSF = 0.4782v \quad (2.5)$$

<sup>10</sup> Instituto Nacional de Vías; Viscosidad Saybolt de asfaltos I.N.V.E – 719 – 07

El valor SSF para cualquier otra temperatura en grados Fahrenheit se encuentra con la multiplicación del valor SSF para ~~100°F~~ por el factor *A* que se aprecia en la figura 2.3.

#### <sup>11</sup>**Determinar la viscosidad ocupando el Viscosímetro Saybolt.**

Este método hace referencia a los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 21° y 99° C (70° y 210° F). Se incluye un procedimiento especial para productos parafinados.

**Nota 1.-** *Los métodos INV E – 715 y ASTM D445 y D2170 se prefieren para determinar la viscosidad cinemática. Ellos requieren muestras más pequeñas, menor tiempo de ejecución y proporcionan mayor precisión. La viscosidad cinemática se puede convertir a Saybolt mediante las tablas de la Norma ASTM D 2161. Se recomienda que los índices de viscosidad se calculen a partir de la viscosidad cinemática y no de Saybolt.*

Los valores dados en unidades SI, deben ser tomados como norma. Los valores en paréntesis son de información solamente.

#### **Uso y Significado.**

Este método es útil para caracterizar ciertos productos del petróleo, como un medio para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.

La determinación de la viscosidad Saybolt de materiales a temperaturas mayores, es cubierta por la norma ASTM E-102.

La viscosidad Saybolt Furol es, aproximadamente, 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y es recomendada para la caracterización de los productos del petróleo tales, como el combustible (Fuel-oil) y otros materiales residuales, que tengan viscosidades Saybolt Universales mayores de 1000 segundos.

#### **Definiciones.**

Viscosidad Saybolt Universal – Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio universal calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en Segundos Saybolt Universales (SSU) a una temperatura especificada.

---

<sup>11</sup> Instituto Nacional de Vías; Viscosidad Saybolt de asfaltos I.N.V.E – 714 – 07

Viscosidad Saybolt Furol – Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en Segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

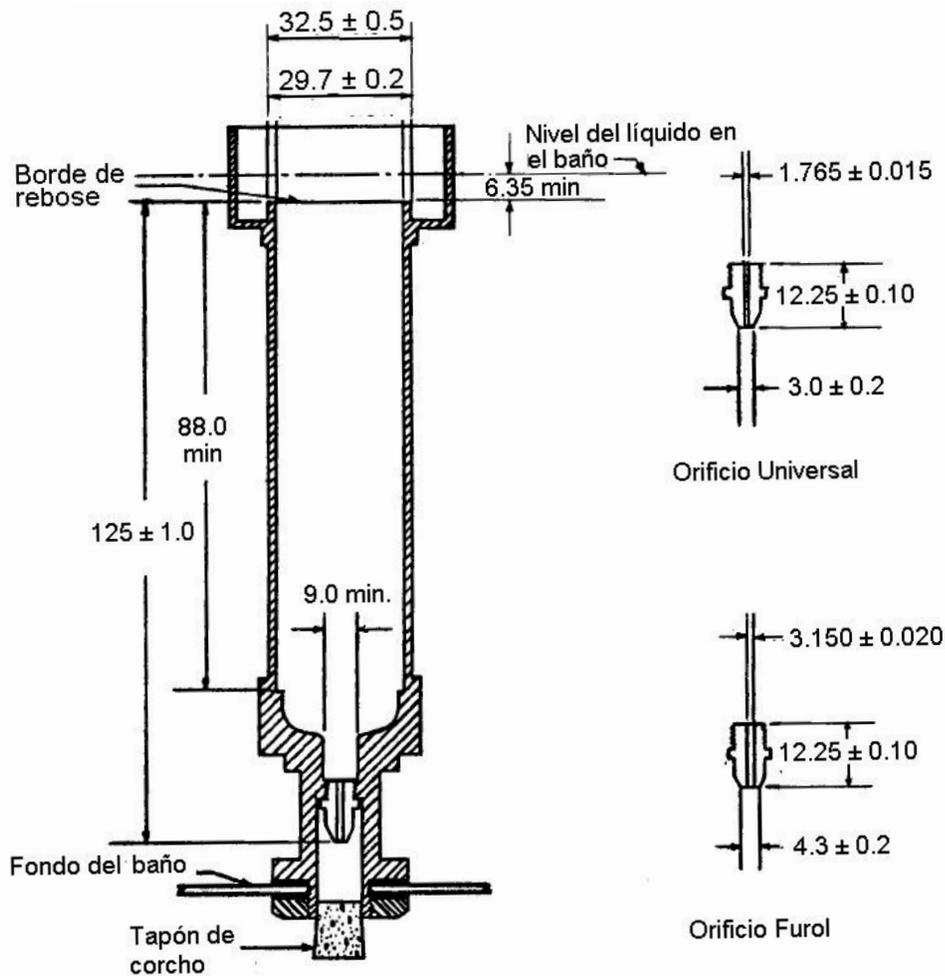
La palabra Furol es una contracción de las palabras "Fuel and road oils" (aceites y combustibles para carreteras).

### **Resumen del Método.**

Consiste en determinar el tiempo en segundos que demora en fluir 60 ml de muestra, a través de un orificio calibrado, medido bajo condiciones cuidadosamente controladas. El tiempo obtenido se corrige por un factor que depende de la abertura del orificio, el cual es reportado como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

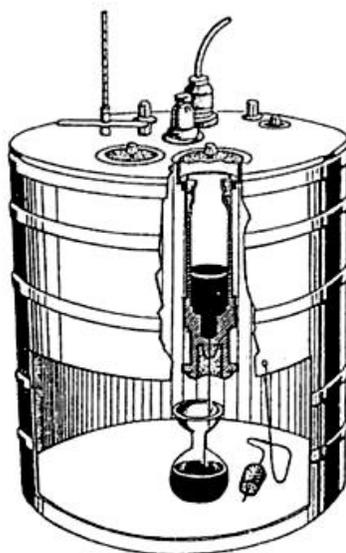
### **Equipo.**

Viscosímetro Saybolt (Figura 2.4) – El viscosímetro se deberá construir de metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas. La punta del orificio, Furol o Universal, se puede fabricar como una parte sustituible. Debe tener una tuerca en el extremo inferior del mismo para asegurarlo en el baño. Se debe contar con un corcho u otro medio para evitar el flujo de la muestra antes de iniciar el ensayo. Una pequeña cadena o una cuerda se puede unir al corcho para facilitar su remoción.



**Figura 2.4 Viscosímetro Saybolt con orificio Universal y Furol todas las dimensiones están en mm.**

Baño (Figura 2.5) – Es un recipiente con un líquido, en el cual se introduce el viscosímetro, con el fin de garantizar una posición vertical del mismo, y proporcionar un aislamiento térmico, provisto con una espiral controlada termostáticamente, que calienta o enfría el baño para que esté dentro de los valores medios especificados en la Tabla 2. Los calentadores y la espiral se deben colocar a una distancia mínima de 100 a 130 mm (4 a 5") del viscosímetro. Debe contar con dispositivos para mantener el líquido del baño al menos a 6 mm (0.236") por encima del borde del rebosadero de flujo. (Figura 2.4). Los líquidos de baño recomendados se dan en la Tabla 2.1.



**Figura 2.5 Conjunto baño Viscosímetro durante el ensayo**

**Tabla 2.1 Líquido del baño recomendado.**

Temperatura estándar de Ensayo °C (°F)	Líquido del baño recomendado	Diferencia máxima de temperatura* °C (°F)	Control de funcionamiento de la temperatura del baño °C (°F)
21.1 (70)	Agua	± 0.05 (0.10)	± 0.05 (0.10)
25.0 (77)	Agua	± 0.05 (0.10)	± 0.05 (0.10)
37.8 (100)	Agua o Aceite de Viscosidad 50 – 70 SSU a 37.8 °C (100°F)	± 0.15 (0.25)	± 0.05 (0.10)
50.0 (122)	Agua o Aceite de Viscosidad 120 – 150 SSU a 37.8 °C (100°F)	± 0.20 (0.35)	± 0.05 (0.10)
54.4 (130)	Agua o Aceite de Viscosidad 120 – 150 SSU a 37.8 °C (100°F)	± 0.30 (0.50)	± 0.05 (0.10)
60.0 (140)	Agua o Aceite de Viscosidad 120 – 150 SSU a 37.8 °C (100°F)	± 0.50 (1.00)	± 0.05 (0.10)
82.8 (180)	Agua o Aceite de Viscosidad 300 – 370 SSU a 37.8 °C (100°F)	± 0.80 (1.50)	± 0.05 (0.10)
98.9 (210)	Aceite de Viscosidad 330 – 370 SSU a 37.8 °C (100°F)	± 1.10 (2.00)	± 0.05 (0.10)

\* Diferencia máxima permisible entre las temperaturas del baño y la muestra al tiempo del ensayo.

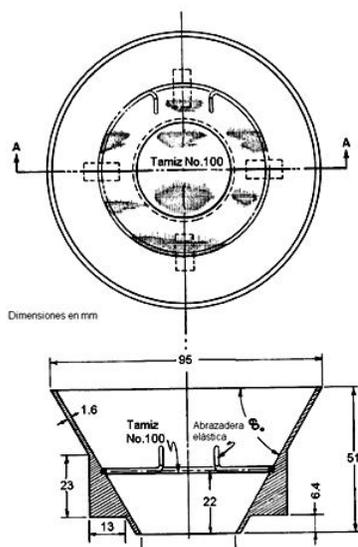
Termómetro para el viscosímetro Saybolt – De los que se indican en la Tabla 2.2, para la lectura de la temperatura de la muestra, que debe cumplir los requerimientos de la norma ASTM E-1.

**Tabla 2.2. Termómetros ASTM para Viscosidad Saybolt.**

Temperatura de Ensayo • (°F)	Termómetro ASTM No	Termómetros	
		Rango °C (°F)	Subdivisiones °C (°F)
21.1 (70)	17C (17F)	19 a 27 (66 a 80)	0.1 (0.2)
25.0 (77)	17C (17F)	19 a 27 (66 a 80)	0.1 (0.2)
37.8 (100)	18C (18F)	34 a 42 (94 a 108)	0.1 (0.2)
50.0 (122)	19C (19F)	49 a 57 (120 a 134)	0.1 (0.2)
54.4 (130)	19C (19F)	19 a 57 (120 a 134)	0.1 (0.2)
60.0 (140)	20C (20F)	57 a 65 (134 a 148)	0.1 (0.2)
82.8 (180)	21C (21F)	79 a 87 (174 a 188)	0.1 (0.2)
98.9 (210)	22C (22F)	95 a 103 (204 a 218)	0.1 (0.2)

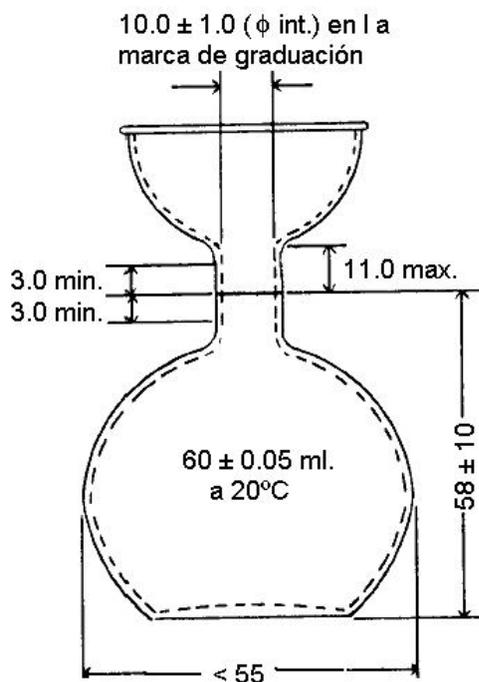
Termómetros para el baño – De los que se usan en el viscosímetro o de otro tipo, pero de precisión similar.

Embudo con filtro (Figura 2.6) – Equipado con tamices intercambiables de  $850 \mu\text{m}$  (No.20),  $150 \mu\text{m}$  (No.100) y  $75 \mu\text{m}$  (No.200). También, se pueden emplear embudos con filtro de diseño adecuado.



**Figura 2.6 Embudo Filtrador para usarlo con el Viscosímetro Saybolt medidas en mm.**

Matraz recibidor – Como el que se muestra en la Figura 2.7.



*Figura 2.7. Matraz recibidor dimensiones en mm.*

Cronómetro – Graduado en décimas (1/10) de segundo y con aproximación a 0.1%, cuando se realiza el ensayo durante un período de 60 minutos. Se pueden aceptar cronómetros eléctricos si son operados en un circuito de frecuencia controlada.

#### **Muestreo.**

El muestreo del material se deberá efectuar de acuerdo con las normas D140, D4057, D4177 o INV E - 701.

#### **Preparación del equipo.**

Para obtener la precisión deseada, se debe usar una punta con orificio Universal para lubricantes y destilados con tiempos de flujo mayores de 32 segundos. Para líquidos con tiempos de flujo superiores a 1000 segundos, no es conveniente usar este orificio.

Se debe usar una punta con orificio Furol para materiales residuales con tiempos de flujo superiores a 25 segundos, para lograr la precisión deseada.

Se limpia completamente el viscosímetro con un solvente apropiado de baja toxicidad; enseguida, se extrae todo solvente de la galería del viscosímetro. Así mismo, se limpia el matraz.

*Nota 2.- El émbolo suministrado comúnmente con el viscosímetro nunca deberá emplearse para limpieza, ya que puede dañar el borde de rebose y las paredes del viscosímetro.*

Se coloca el viscosímetro y el baño en un lugar donde se eviten corrientes de aire, cambios bruscos de temperatura ambiente, polvo o vapores que puedan contaminar la muestra.

Se coloca el matraz receptor debajo del viscosímetro, de tal manera que su marca quede entre 100 y 130 mm (4" a 5") por debajo del fondo del tubo del viscosímetro, y que la descarga de material apenas toque el cuello del matraz.

Se llena el baño hasta una altura de 6 mm (¼") por encima del borde de rebose del viscosímetro, con el líquido adecuado, escogido de acuerdo a las indicaciones de la Tabla 2, para la temperatura de ensayo.

Se produce la agitación y control térmico adecuado para el baño, de manera que la muestra de ensayo en el viscosímetro no varíe en más de  $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.05^{\circ}\text{F}$ ) después de alcanzar la temperatura escogida para el ensayo.

No se deben efectuar medidas de viscosidad por debajo del punto de rocío de la atmósfera de la habitación.

Para ensayos de calibración y referencia, se debe mantener la temperatura ambiente de laboratorio entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$  y  $86^{\circ}\text{F}$ ) y se registra la temperatura real. Sin embargo, temperaturas ambiente hasta de  $37.8^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ), causarán errores en exceso del 1%.

### **Calibración y Estandarización.**

Se calibra el viscosímetro Saybolt Universal por períodos no mayores de 3 años, midiendo el tiempo de flujo a  $37.8^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) de un aceite de viscosidad normal, siguiendo el procedimiento dado. La Tabla 2.3 indica los aceites de viscosidad normal que más se usan.

**Tabla 2.3.** Aceites estándar de Viscosidad Saybolt.\*

Aceite de viscosidad estándar	A 37.8 °C (100 °F)		A 98.9 °C (210 °F)		A 50 °C (122 °F)	
	SSU	<i>mm<sup>2</sup>/s</i>	SSU	<i>mm<sup>2</sup>/s</i>	SSF	<i>mm<sup>2</sup>/s</i>
	S3	36	3.0	...	...	...
S6	46	6.0	...	...	...	...
S20	100	20	...	...	...	...
N26	130	27	...	...	...	...
N35	170	35	...	...	...	...
N44	220	48	...	...	...	...
S60	280	60	...	...	...	...
N75	380	82	...	...	...	...
N100	500	110	...	...	...	...
N140	720	160	...	...	...	...
S200	925	200	105	20	...	...
N250	1300	280	140	29	...	...
N350	1570	340	160	32	...	...
N415	2180	470	200	41	...	...
S600	...	...	240	50	120	310
S2000	...	...	360	72	...	...

\* Estos aceites estándar están disponibles en 0.5-L contenedores Cannon Instrument Co., 2139 High Tech Rd., State College, PA 16803.

El tiempo de flujo del aceite de viscosidad normal deberá ser igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt. Si el tiempo de escurrimiento difiere del valor certificado en más de 0.2%, se calcula un factor de corrección, F, para el viscosímetro así:

$$F = V/t \quad (2.4)$$

Donde:

V = valor certificado de viscosidad Saybolt del aceite de viscosidad normal.

t = tiempo de flujo medido a 37.8° C (100 °F) en segundos.

**Nota 3.-** *Si la calibración se basa en una viscosidad normal que tenga un tiempo de flujo entre 200 y 600 segundos, el factor de corrección se aplica a todos los niveles de viscosidad, a todas las temperaturas.*

Se calibra el viscosímetro Saybolt Furol a 50° C (122 °F) de la misma manera que se indicó arriba, empleando un aceite de viscosidad normal que tenga un tiempo mínimo de flujo de 90 segundos.

No se deberán emplear para ensayos de referencia, viscosímetros de orificios que requieren correcciones mayores del 1.0%.

### **Procedimiento.**

Se obtiene y controla la temperatura del baño para que sea la escogida para el ensayo.

Las temperaturas normales de ensayo para medir viscosidades Saybolt Universal son 21.1, 37.8, 54.4 y 98.9° C (70, 100, 122 y 210 ° F).

Las temperaturas de ensayo para medir viscosidades Saybolt Furol son 25.0, 37.8, 50.0 y 98.9 ° C (77, 100, 122 y 210 ° F).

Otras temperaturas estándar de ensayo que se emplean son 60.0° y 82.2° C (140° y 180 °F).

Se inserta un tapón de corcho, que tenga una cuerda unida para removerlo fácilmente, dentro de la cámara de aire en el fondo del viscosímetro. El corcho se deberá ajustar suficientemente, para evitar el escape de aire, lo cual se evidencia por la ausencia de aceite sobre el corcho cuando éste se retira más tarde.

Si la temperatura escogida para el ensayo está por encima de la temperatura ambiente, el ensayo se puede apresurar calentando previamente la muestra en su recipiente original, no más de 1.7° C (3° F) por encima de la temperatura de ensayo. Nunca se debe precalentar la muestra dentro de los 28° C (50° F) cercanos a su punto de llama, puesto que las pérdidas por volatilidad, pueden alterar su composición.

Se agita bien la muestra y se tamiza a través del embudo filtrador con malla de alambre de **150  $\mu$ m** (No.100), forzándola a caer directamente dentro del viscosímetro, hasta que el nivel quede por encima del borde de rebose.

Para los asfaltos líquidos, que se usan en carreteras y que tienen componentes altamente volátiles, como los de curado rápido y medio, no debe permitirse el precalentamiento en un recipiente abierto.

El siguiente procedimiento de precalentamiento se debe seguir para obtener resultados uniformes a temperaturas por debajo de 93° C (200° F).

Para obtener una muestra representativa, se calienta ésta en el recipiente original a una temperatura cercana a los 50° C (122° F) revolviéndola y agitándola. Se sondea la parte inferior del recipiente con una varilla, para tener la certeza de que todo el material ceroso ésta en solución.

Para obtener una muestra representativa, se calienta ésta en el recipiente original a una temperatura cercana a los 50° C (122° F) revolviéndola y agitándola. Se sondea la parte inferior del recipiente con una varilla, para tener la certeza de que todo el material ceroso ésta en solución.

Se sumerge el franco en el baño con agua en ebullición por 30 minutos.

Se mezcla adecuadamente, se saca del baño y se tamiza la muestra a través de la malla de ~~75 µm~~ (No 200) directamente en el viscosímetro por medio de un embudo filtrante, hasta que rebose el nivel del borde. Se debe completar el ensayo de viscosidad dentro de una hora después del precalentamiento.

El material se deberá vaciar dentro del viscosímetro a temperatura ambiente, si el material es demasiado viscoso para vaciarlo a esta temperatura, se debe precalentar tal como se describió anteriormente.

Para ensayos por encima de la temperatura ambiente, se permite durante el período de calentamiento un mayor diferencial de temperatura que el indicado en la Tabla 2, pero la temperatura del baño se debe ajustar dentro de los límites prescritos, antes del minuto final de agitación, minuto en el cual la temperatura de la mezcla debe permanecer constante.

Se agita la muestra dentro del viscosímetro con el termómetro de viscosidad instalado. Se realiza un movimiento circular, girando entre 30 y 50 rpm en un plano horizontal. Cuando la

temperatura de la mezcla permanezca constante a la temperatura de ensayo  $\pm 0.05$  °C (0.10 °F), durante 1 minuto de agitación continúa, se retira el termómetro.

**Nota 4.-** *Nunca se debe intentar ajustar la temperatura sumergiendo cuerpos calientes o fríos en la muestra, ya que esta forma de tratamiento térmico puede afectar la muestra y la precisión del ensayo.*

Se debe cerciorar que el matraz se halle en la posición adecuada; se jala el corcho del viscosímetro usando el cordel que tiene unido. Se pone en el mismo instante a funcionar el cronómetro, y se detiene en el instante en que el fondo del menisco de material alcance la marca de graduación en el frasco receptor. Se anota el tiempo de flujo en segundos, con aproximación a 0.1 segundos.

#### **Cálculos.**

Se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el Viscosímetro.

#### **Informe.**

Se informa el tiempo de flujo corregido como la viscosidad Saybolt Universal o Furol del material, a la temperatura a la cual se hizo el ensayo.

Se informan los valores con aproximación al segundo para valores superiores a 200 SSU o SSF y con aproximación a 0.1 segundos para resultados inferiores a 200 SSU o SSF.

#### **Precisión y tolerancias.**

Los resultados presentados no deben diferir en más de:

Repetitividad – Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo, sobre una misma muestra, se consideran satisfactorios si no difieren del valor medio en más de 1%.

Reproducibilidad – Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos sobre una misma muestra, se consideran satisfactorios si no difieren del valor medio en más del 2%.

**Nota 5** –*Para productos derivados del petróleo, la precisión se basa en los datos del método E102. Para emulsiones, use el método de ensayo D244, sección 38.*

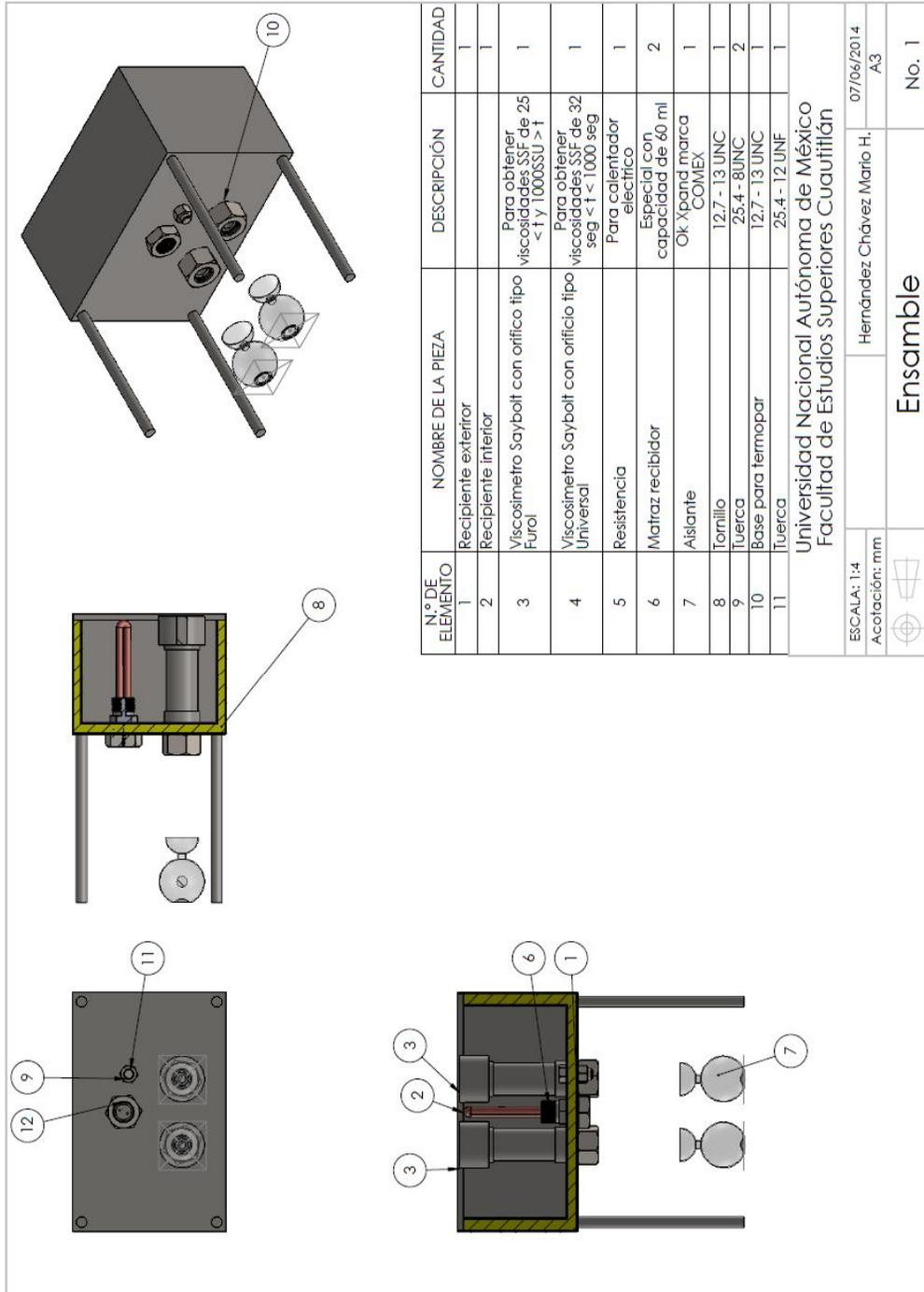
## **CAPÍTULO 3.**

### **DISEÑO DEL VISCOSÍMETRO SAYBOLT**

El diseño del viscosímetro se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D88-07 (2013) y con ayuda del programa Solid Works 2013.

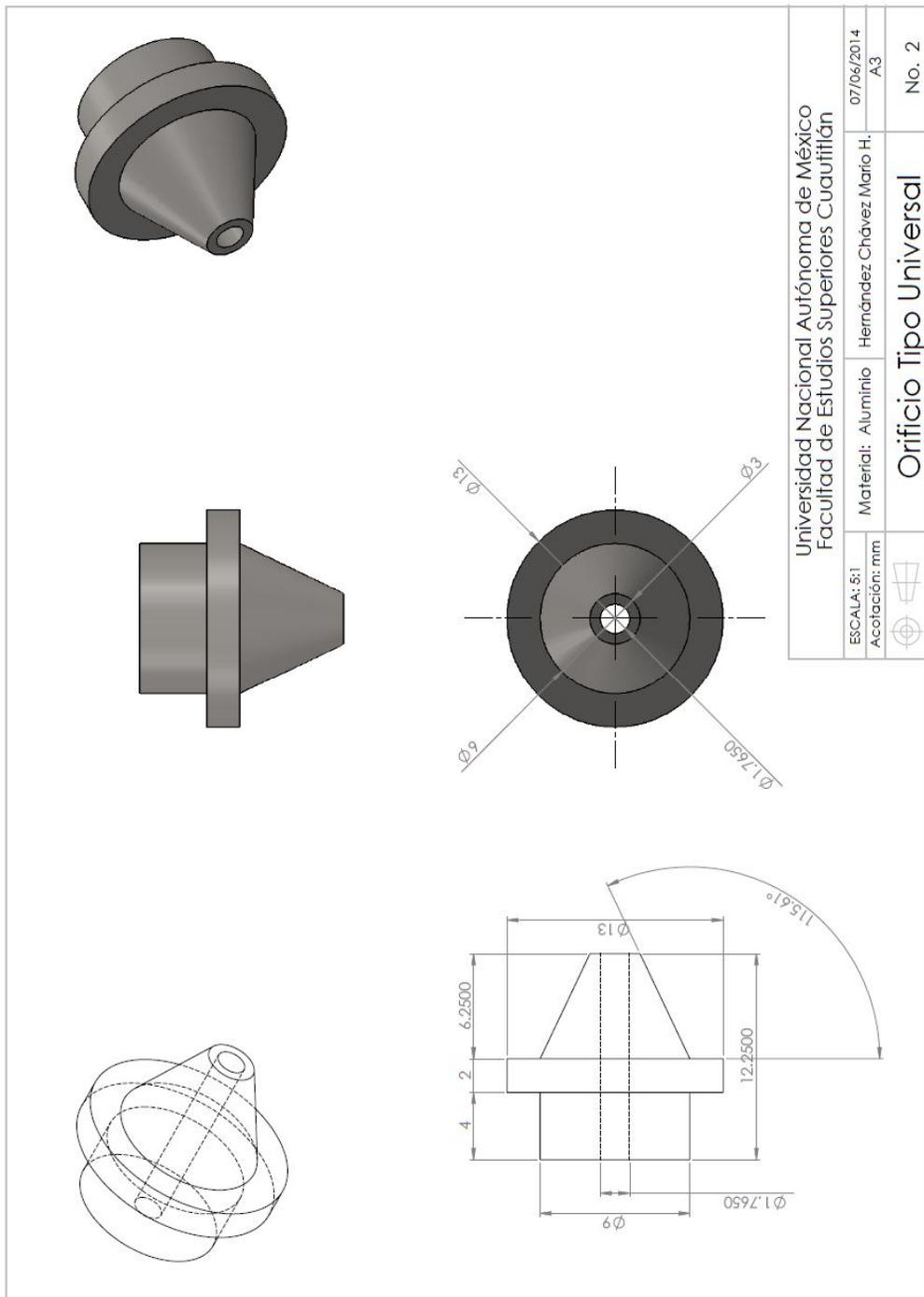
Debe mencionarse que se diseñó un recipiente para soportar y aislar los viscosímetros y la resistencia, teniendo en cuenta el uso de la menor cantidad de material posible para que de esta forma sea más económico, así como de una forma sencilla para minimizar las operaciones a realizar.

De ese modo, en la figura 3.1 se muestra el dibujo de conjunto del Viscosímetro Saybolt.

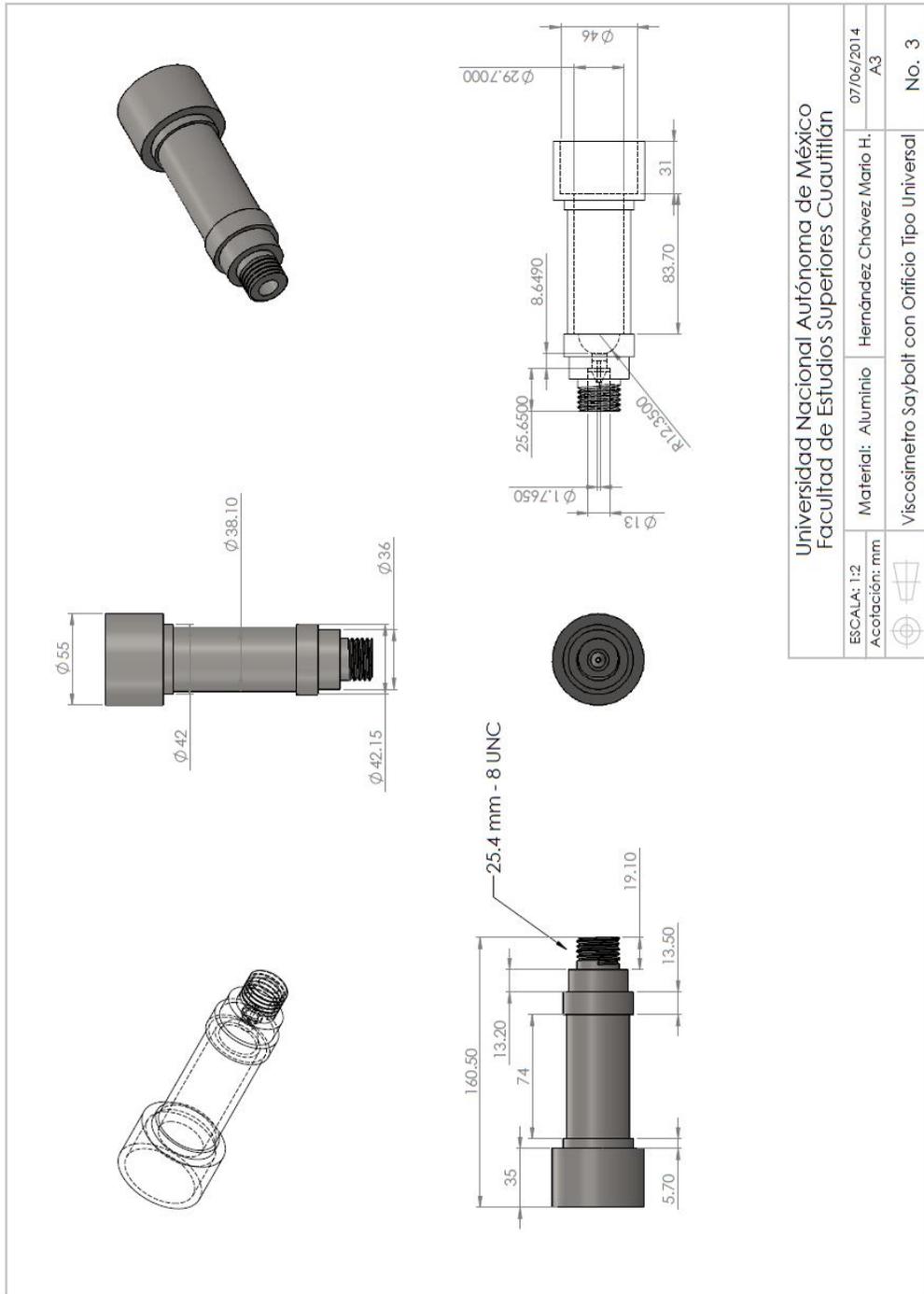


**Figura 3.1. Dibujo de conjunto**

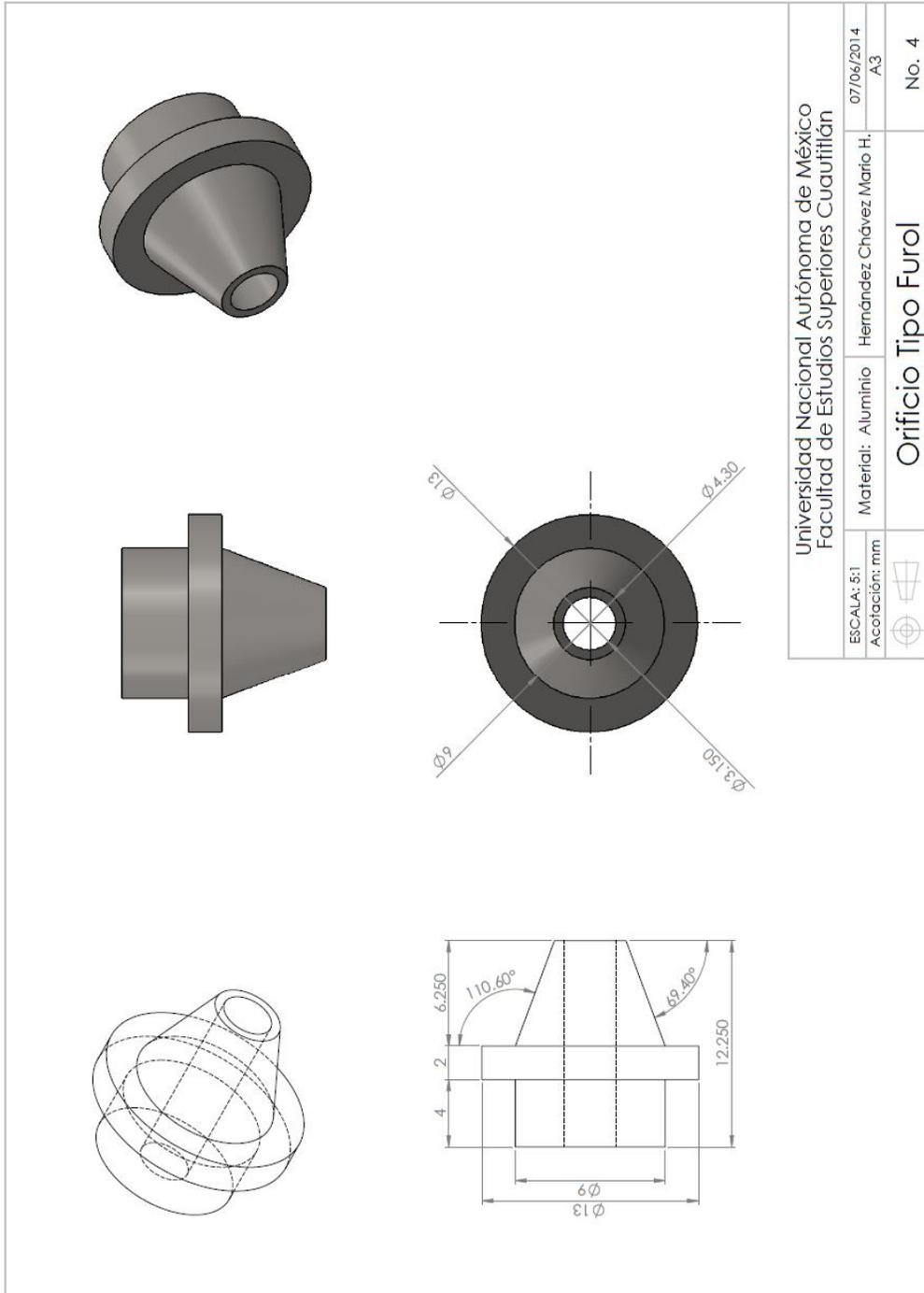
Y el dibujo de detalle de los diversos componentes en las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10



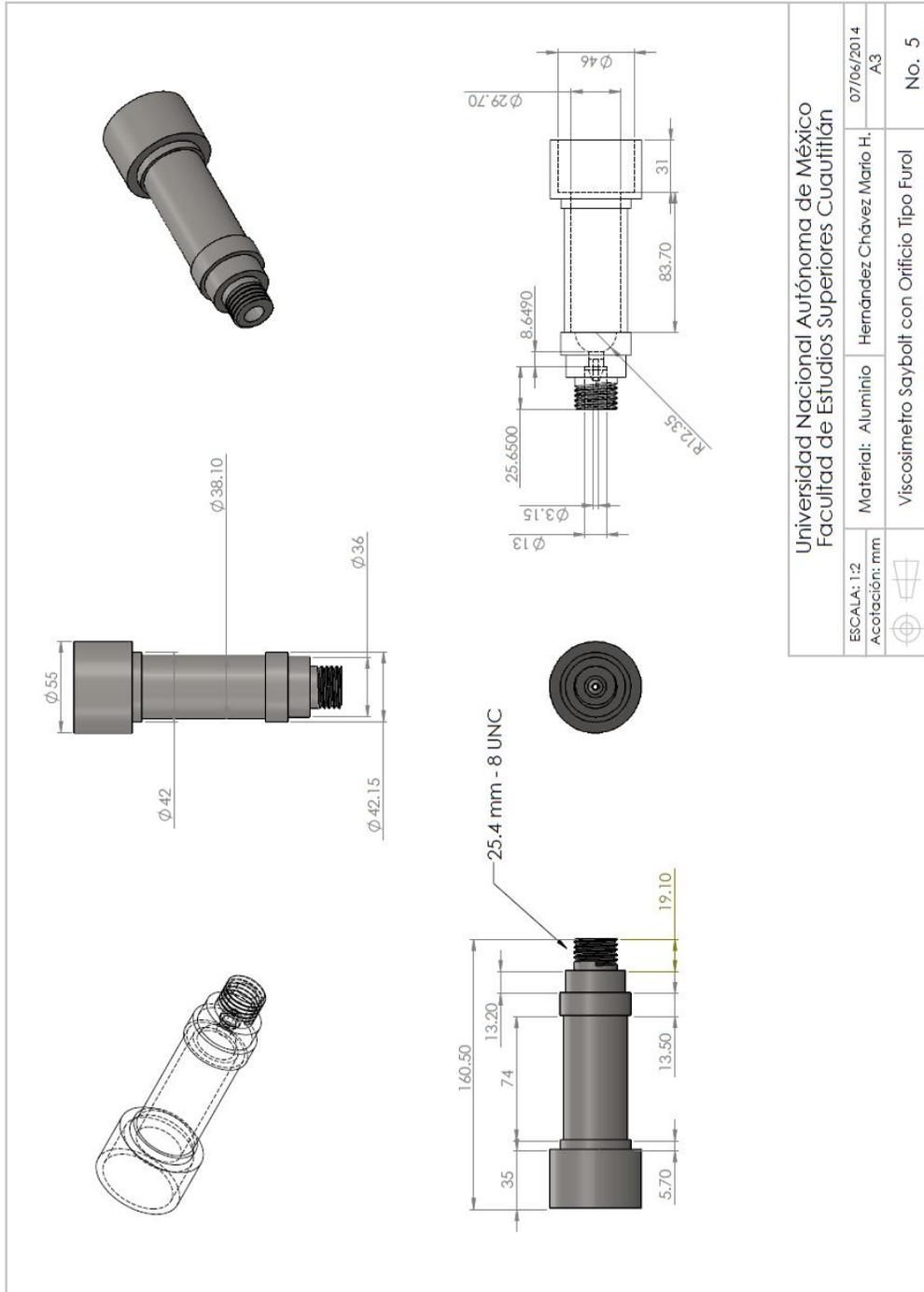
**Figura 3.2. Orificio tipo Universal.**



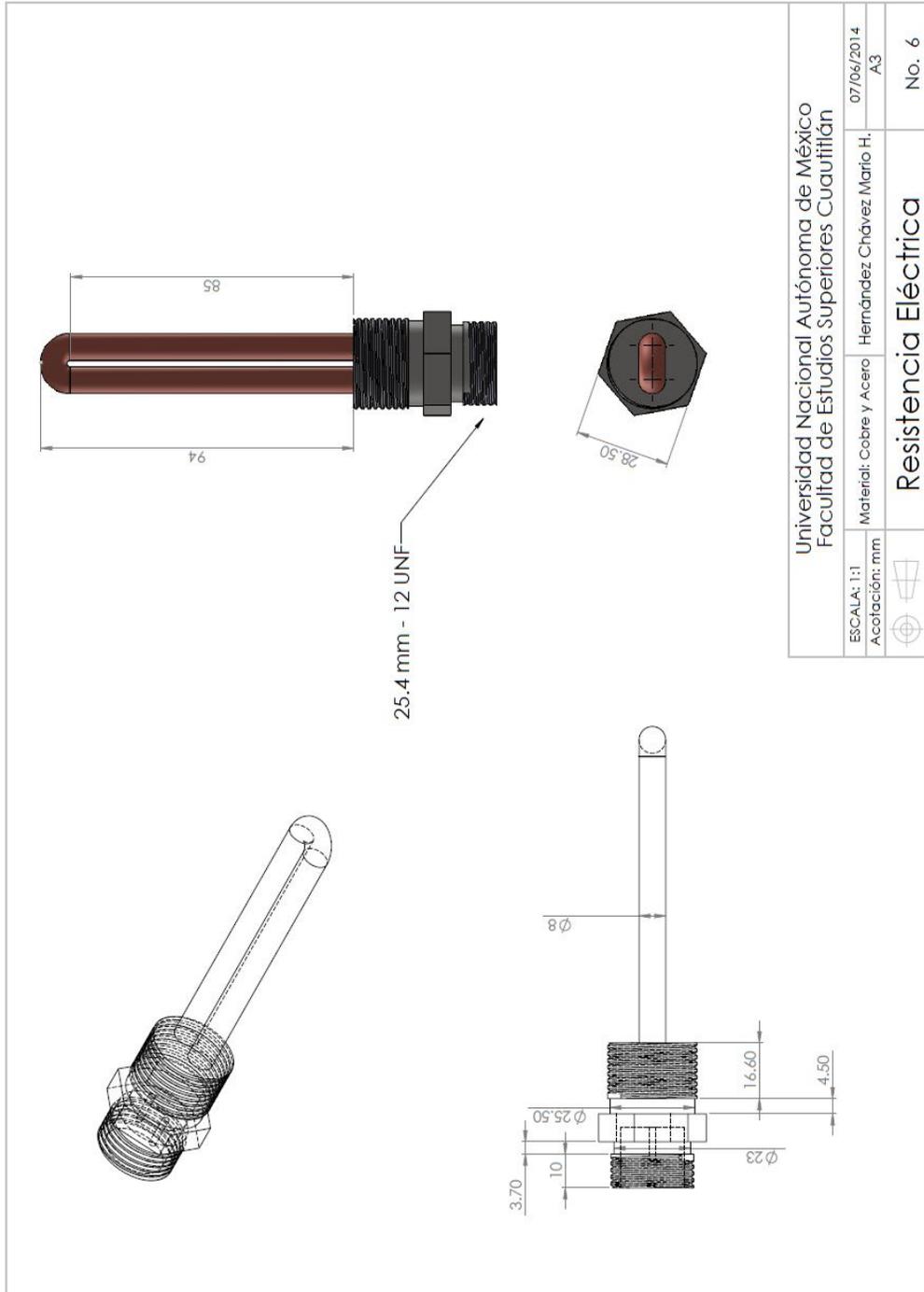
**Figura 3.3. Viscosímetro Saybolt tipo Universal.**



**Figura 3.4 Orificio tipo Furol.**

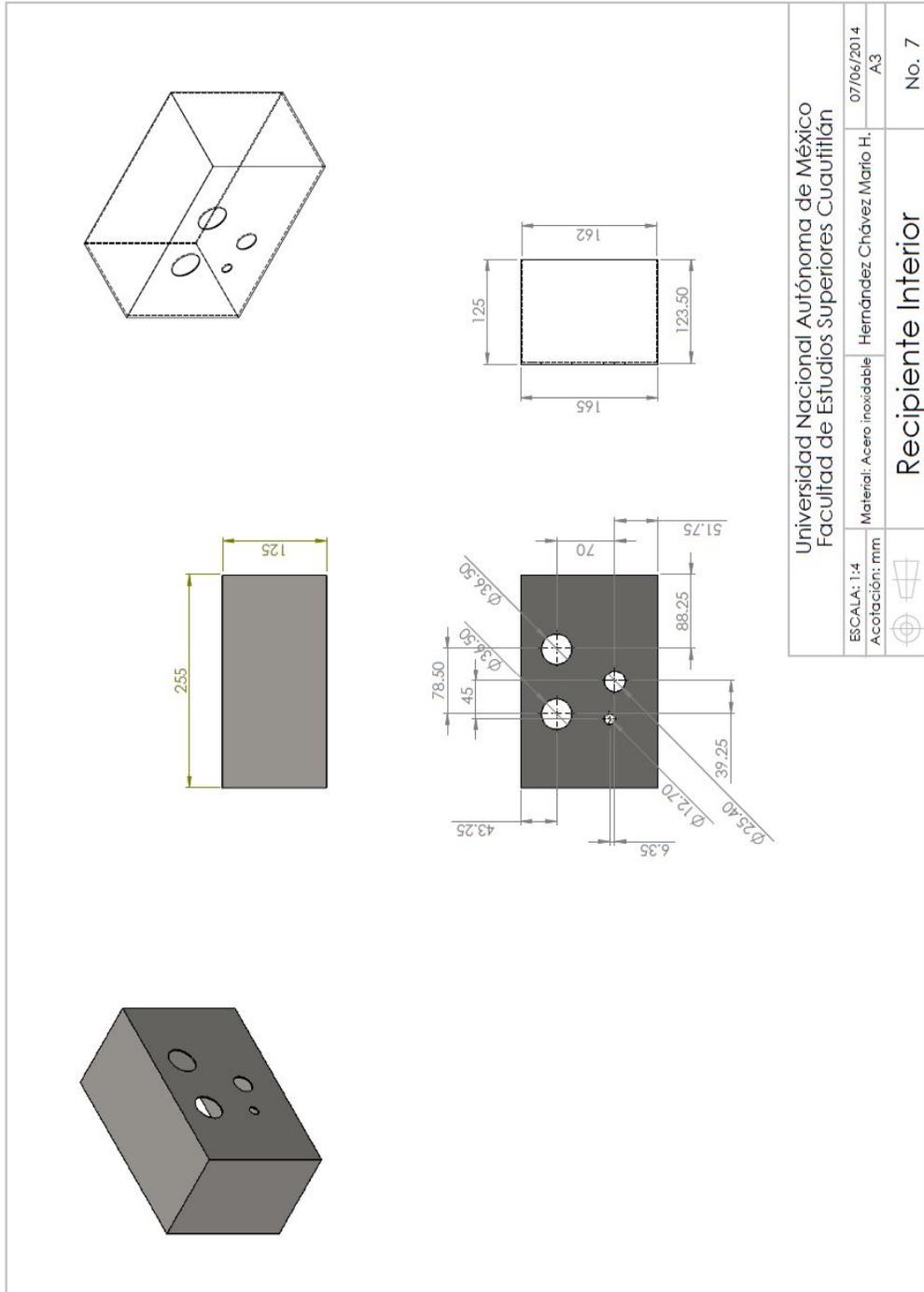


**Figura 3.5. Viscosímetro Saybolt tipo Furoil.**



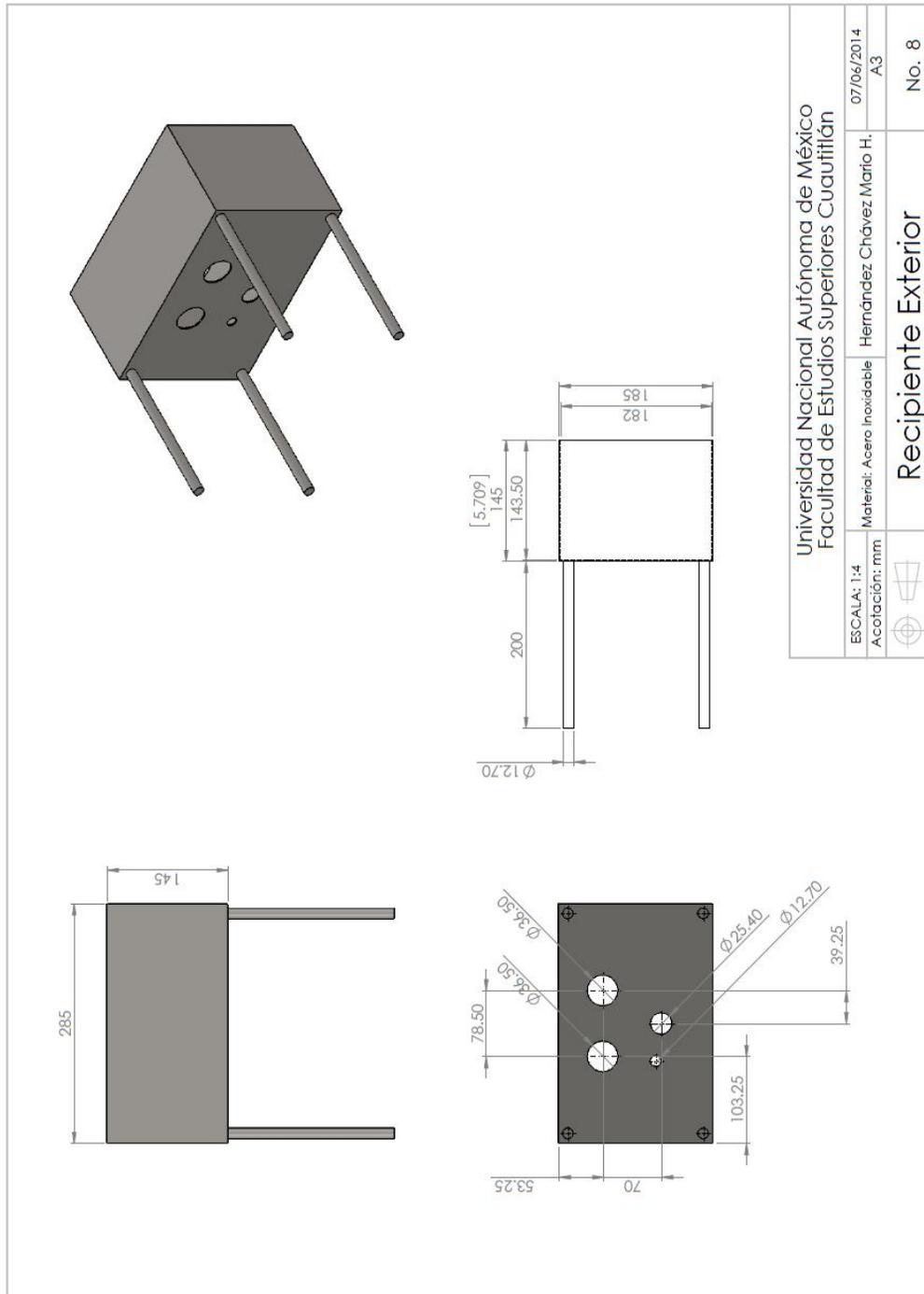
Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán		07/06/2014 A3	No. 6
ESCALA: 1:1 Acotación: mm	Material: Cobre y Acero Hernández Chávez Mario H.	<b>Resistencia Eléctrica</b>	

**Figura 3.6 Resistencia.**

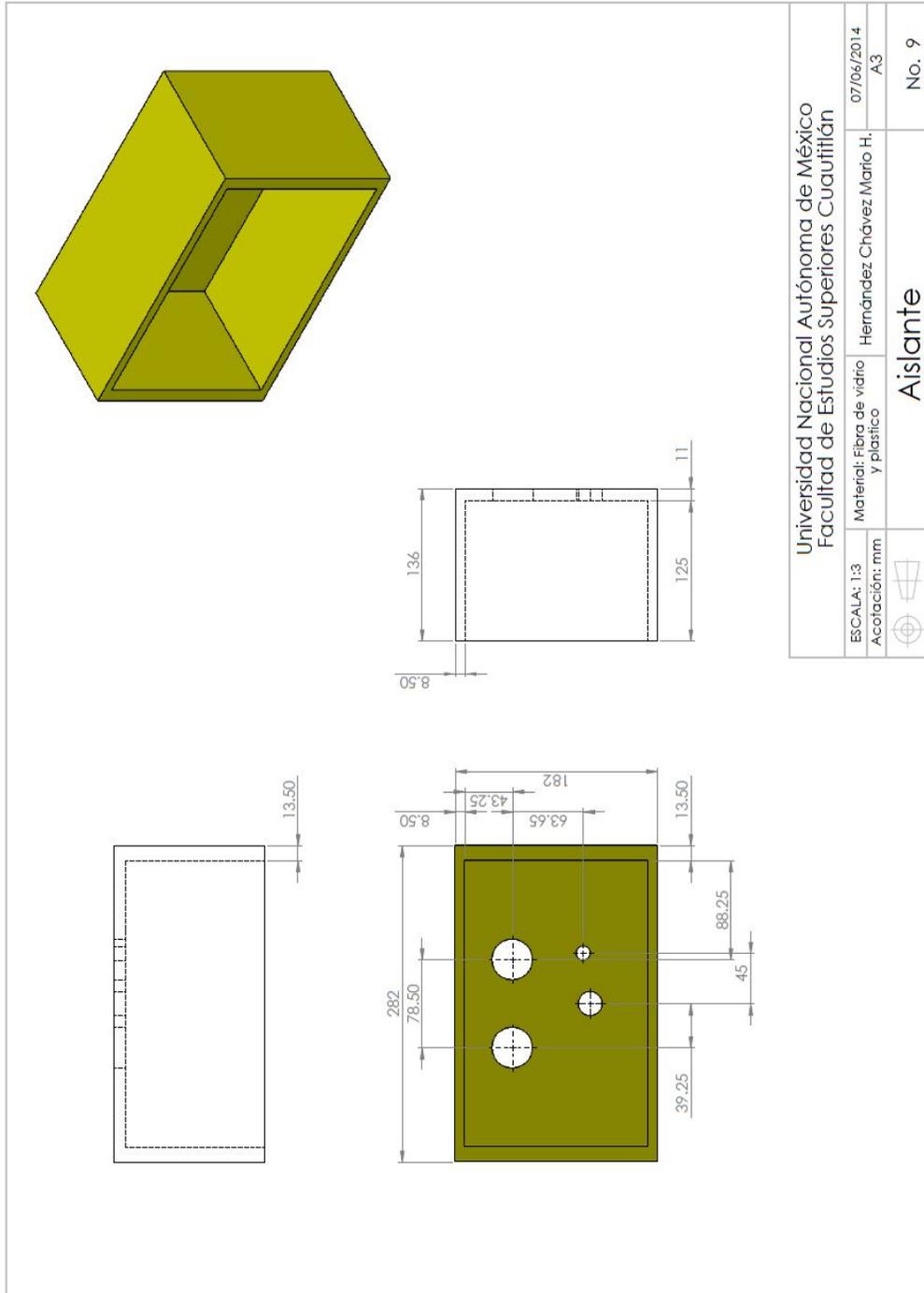


Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán		07/06/2014 A3	No. 7
ESCALA: 1:4	Material: Acero inoxidable	Hernández Chávez Mario H.	Recipiente Interior
Acotación: mm			

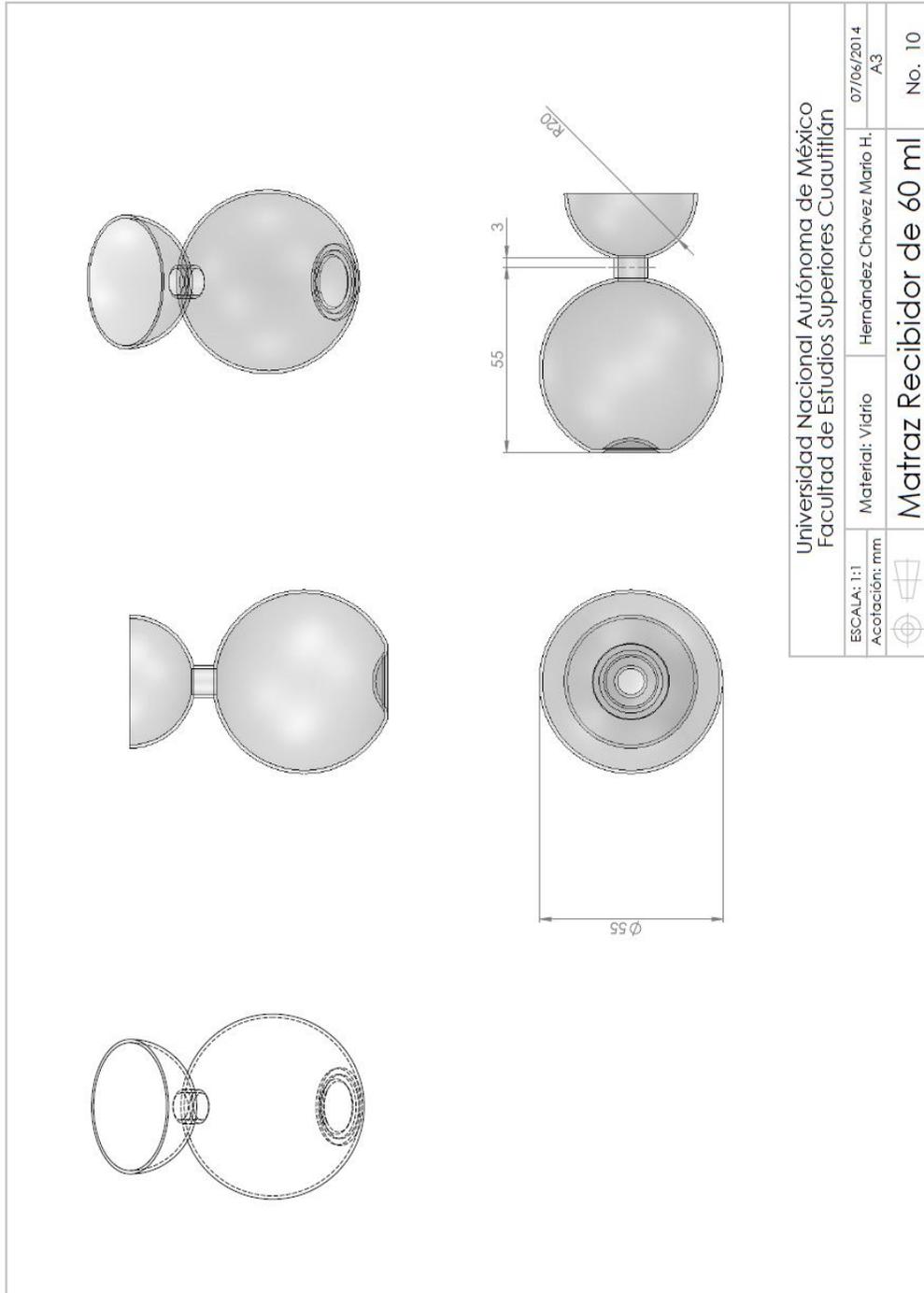
**Figura 3.7 Recipiente interior.**



**Figura 3.8 Recipiente exterior.**



**Figura 3.9. Aislante.**



**Figura 3.10. Matraz de 60 ml.**

## **CAPITULO 4.**

### **FABRICACIÓN DEL VISCOSÍMETRO SAYBOLT**

Se compraron dos barras de aluminio en la compañía Aceros y Metales Cuautitlán S.A. de C.V. para realizar las piezas, teniendo la primera dimensiones de 2 ½ X 15.75 pulg. y la segunda de ½ X 4 pulg.

Para realizar las distintas operaciones se ocuparon las herramientas siguientes en la fabricación:

- Esmeril.
- Torno de banco.
- Porta herramienta con llave.
- Contrapunto.
- Broquero con llave.
- Broca de centros.
- Brocas milimétricas de Ø 1.7, Ø 3.1, Ø 9 y Ø13.
- Brocas en pulgadas de Ø ¼, Ø ½, Ø ¾, Ø 1, y Ø 1 1/8.
- Vernier milimétrico.
- Aceitera.
- Buril de ½” y de 1/8”.
- Llave de Chuck.
- Barra de interiores.
- Lentes de protección.
- Quill Galga.
- Perico de 12”.

- Llave Allen de 3/8”.
- Esmeril.
- Cortadora.
- Segueta.
- Soldadura.
- Máquina para soldar.
- Taladro de banco.
- Fresa.
- Cortador para Fresa de 1/2”.
- Pinzas de Presión.
- Guantes.
- Lija del No. 500 y 1000.
- Martillo.
- Cepillo de alambre para remover escoria.
- Dobladora.
- Bata.
- Careta electrónica.

<b>Ficha Técnica de la Herramienta</b>		
<b>Fabricante:</b> Desconocido	<b>Material:</b> Acero	<b>Código Herramienta:</b> H1, H02, H03, H04, H05, H06 y H07
<b>Nombre de la Herramienta:</b> Brocas HSS de diferentes diámetros		
		
<p>Broca de acero adecuada para taladros portátiles y fijos. Para uso sobre plástico, madera y metal. Diseñadas para una producción de taladrado continuo en diferentes tipos de materiales. Punta afilada de 118° para mejor penetración en los materiales más comunes. Recubrimiento de óxido negro para incrementar la resistencia al desgaste y aumentar la durabilidad.</p>		

<b>MEDIDAS DE LAS BROCAS</b>			<b>CÓDIGO DE HERRAMIENTA</b>
Diámetro en mm	Longitud útil en mm	Longitud total en mm	
1.7	25	43	H01
3.1	41	65	H02
9	89	125	H03
13	114	151	H04

*Tabla 4.1. Código de herramienta asignado a las brocas milimétricas.*

<b>MEDIDAS DE LAS BROCAS</b>			<b>CÓDIGO DE HERRAMIENTA</b>
Diámetro en pulgadas	Longitud útil en pulgadas	Longitud total en pulgadas	
1/4	2 3/4	4	H05
1/2	4 1/2	6	H06
3/4	5 1/2	7 5/8	H07

*Tabla 4.2. Código de herramienta asignado a las brocas en pulgadas.*

<b>Ficha Técnica de la Herramienta</b>		
<b>Fabricante:</b> Desconocido	<b>Material:</b> Acero	<b>Código Herramienta:</b> H08 y H009
<b>Nombre de la Herramienta:</b> Broca con espiga cónica HSS		
		
<p>Espiga Cono Morse. Punta 118° para rápida penetración. Filo revestido con óxido negro para mejorar el fluido de la viruta. Para taladrar agujeros con gran diámetro para uso directo en el husillo tipo Cono Morse de los tornos y taladros.</p>		

<b>MEDIDAS DE LAS BROCAS</b>			<b>CÓDIGO DE HERRAMIENTA</b>
Diámetro en pulgadas	Longitud útil en pulgadas	Longitud total en pulgadas	
1	6 3/8	11	H08
1 1/8	7 1/8	12 3/4	H09

**Tabla 4.3. Código de herramienta asignado a las Broca con espiga cónica.**

<b>Ficha Técnica de la Herramienta</b>		
<b>Fabricante:</b> Desconocido	<b>Material:</b> Acero	<b>Código Herramienta:</b> H010
<b>Nombre de la Herramienta:</b> Broca centro 60°		
		
<p>Agujero previo en una pieza de trabajo para torneear entre centros. Broca para realizar agujeros y avellanes de 60°.</p> <p>Medidas: Diámetro cuerpo 1/8", diámetro punta 3/64" y longitud total 1 1/4".</p>		

<b>Ficha Técnica de la Herramienta</b>		
<b>Fabricante:</b> Desconocido	<b>Material:</b> Acero	<b>Código Herramienta:</b> H011
<b>Nombre de la Herramienta:</b> Cortador de Fresa punta sencilla HSS		
		
<p>Cortador de fresa vertical con cuatro filos.</p> <p>Medidas: Diámetro 1/2", espiga 1/2", longitud filo 1" y longitud total 3".</p>		

<b>Ficha Técnica de la Herramienta</b>		
<b>Fabricante:</b> Desconocido	<b>Material:</b> Acero	<b>Código Herramienta:</b> H012 y H013
<b>Nombre de la Herramienta:</b> Buril HSS		
		
Para aplicaciones generales de torneado y cepillado. Gran rango de materiales de aceros aleados.		

<b>MEDIDAS DE LOS BURILES</b>			<b>CÓDIGO DE HERRAMIENTA</b>
Ancho en pulgadas	Espesor en pulgadas	Longitud total en pulgadas	
1/8	1/8	2 1/2	H012
1/2	1/2	4	H013

***Tabla 4.3. Código de herramienta asignado a los buriles.***

\*Nota Las imágenes e información proporcionada fue tomada del catálogo Herramientas de corte de COPRE. San José, Costa Rica. [En línea; <http://www.copre.co.cr/inicio.html>]

## Hoja de Proceso

<b>Denominación:</b> Pieza Orificio tipo Universal	<b>Material:</b> Aluminio	<b>Dimensiones en bruto:</b> Barra de Ø 2.54 X 10 cm	<b>No. De elementos a realizar:</b> 1
---	------------------------------	--	---------------------------------------



**Fase 10.** Preparación del material.

Operación	Descripción	Maquina	Herramienta	Tiempo (min)	Figura
11	Refrentar la cara de la pieza que sobresale, al montar la pieza 5 cm fuera del chuck.	Tor.06	H013	2	<p>A photograph showing a worker wearing safety glasses and a dark t-shirt, operating a green lathe. The worker is focused on the workpiece, which is mounted on the lathe's chuck. The lathe is in a workshop setting with other equipment visible in the background.</p>

12	Orificio con broca de centros	Tor.06	H010	2	
<b>Fase 20. Barrenado.</b>					
21	Barrenado a $\varnothing$ 1.7 mm X 15 mm.	Tor.06	H01	21	
<b>Fase 30. Cilindrado.</b>					
31	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un $\varnothing$ 13 mm X 15 mm.	Tor.06	H013	13	
32	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un $\varnothing$ 9 mm X 6.25 mm.	Tor.06	H013	8	

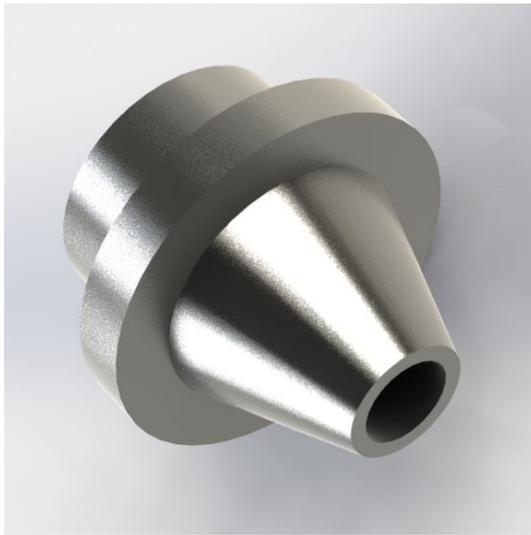
33	Cilindrar a un $\varnothing 9$ mm X 6.25 mm, desde una distancia de 8.25 mm partiendo del extremo de la pieza.	Tor.06	H013	12	
<b>Fase 40.</b> Conizado.					
41	Inclinar el carro orientable a 25° y torneare el cono.	Tor.06	H013	15	
<b>Fase 50.</b> Finalización.					
51	Cortar la pieza a una distancia de 16 mm desde el extremo de la cara mecanizada.	Sierra fija sin fin.		10	

52	<p>Refrentar la cara donde se realizó el corte de la pieza. Dejando la pieza con una longitud final de 12.25 mm.</p>	Tor. Ramiro	H013	6	
----	--	-------------	------	---	---

*Nota: Los tiempos mostrados no contemplan el montaje y desmontaje de las piezas y herramientas.*

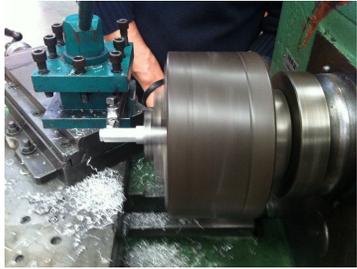
## Hoja de Proceso

<b>Denominación:</b> Pieza Orificio tipo Furol	<b>Material:</b> Aluminio	<b>Dimensiones en bruto:</b> Barra de Ø 2.54 X 9.3 cm	<b>No. De elementos a realizar:</b> 1
---	------------------------------	---	---------------------------------------



**Fase 10.** Preparación del material.

Operación	Descripción	Maquina	Herramienta	Tiempo (min)	Figura
11	Refrentar la cara de la pieza que sobresale, al montar la pieza 5 cm fuera del chuck.	Tor.06	H013	2	<p>A photograph showing a person wearing safety glasses and a dark t-shirt operating a green industrial lathe. The person is focused on the work, with their hands near the tool bit which is cutting a metal workpiece mounted on the lathe's chuck. The background shows a workshop environment with other equipment.</p>

<b>Fase 20. Cilindrado.</b>					
21	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un $\varnothing$ 13 mm X 15 mm.	Tor. Ramiro.	H01	29	
22	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un $\varnothing$ 9 mm X 6.25 mm.	Tor. Ramiro	H01	11	
23	Cilindrar a un $\varnothing$ 9 mm X 6.25 mm con dirección al chuck, desde una distancia de 8.25 mm partiendo del extremo de la pieza.	Tor. Ramiro	H01	20	
<b>Fase 30. Barrenado.</b>					
31	Orificio con broca de centros.	Tor.06	H010	2	

32	Barrenado con broca de Ø 3.1 mm X 20 mm.	Tor.06	H02	18	
<b>Fase 40.</b> Refrentado.					
41	Refrentar la cara con el barreno hasta dejar la pieza con 14 mm de longitud.	Tor. Ramiro	H013	15	
<b>Fase 50.</b> Conizado.					
51	Inclinar el carro orientable a 12.25° y torneare el cono.	Tor. Ramiro	H013	6	
<b>Fase 60.</b> Mecanizado final.					
61	Cortar la pieza a una distancia de 16 mm desde el extremo de la cara mecanizada.	Sierra fija sin fin.		5	

62	Refrentar la cara donde se realizó el corte de la pieza. Dejando la pieza con una longitud final de 12.25 mm.	Tor. Ramiro	H013	6	
----	---	-------------	------	---	---

*Nota: Los tiempos mostrados no contemplan el montaje y desmontaje de las piezas y herramientas.*

## Hoja de Proceso

<b>Denominación:</b> Cuerpo Viscosímetro Saybolt	<b>Material:</b> Aluminio	<b>Dimensiones en bruto:</b> Barra de Ø 6.35 X 40 cm	<b>No. De elementos a realizar:</b> 2
---	------------------------------	--	---------------------------------------



**Fase 10.** Preparación del material.

Operación	Descripción	Maquina	Herramienta	Tiempo (min)	Figura
11	Cortar la barra en dos piezas de la misma longitud.	Sierra fija sin fin.		10	

12	Orificio con broca de centros	Tor.06	H010	5	
13	<p>Cilindrar desde el extremo de la pieza a <math>\varnothing 4.4</math> cm X 4 cm.</p> <p>Para de esta manera invertir la pieza y poder insertarla dentro de chuck.</p>	Tor.06	H013	16	
14	Orificio con broca de centros por el otro lado de la barra.	Tor.06	H010	5	
15	Refrentar la pieza.	Tor.06	H013	8	

**Fase 20. Barrenado.**

21	Barrenado a Ø 1/4" X longitud máxima permisible.	Tor.06	H05	12	
22	Barrenado a Ø 1/2" X longitud máxima permisible.	Tor.06	H06	14	
23	Barrenado a Ø 19.05 mm X 120.35 mm.	Tor.06	H07	41	
24	Barrenado a Ø 25.4 mm X 120.35 mm.	Tor.06	H08	24	
25	Barrenado a Ø 28.575 mm X 120.35 mm.	Tor. Ramiro	H09	33	

<b>Fase 30. Cilindrado.</b>					
31	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un $\varnothing$ 55 mm X longitud máxima permisible.	Tor. Ramiro	H013	50	
32	Refrentar cara.	Tor. Ramiro	H013	3	
<b>Fase 40. Barrenado.</b>					
41	Barrenado a $\varnothing$ 28.575 mm X 120.35 mm.	Tor.06	H09	13	
42	Montamos el buril en la barra de interiores y realizamos un desbaste interior a $\varnothing$ 29.7 mm X longitud máxima aproximadamente 120.35 mm.	Tor. Ramiro	H012	10	

<b>Fase 50. Corte.</b>					
51	Cortar la pieza a una longitud de 18 cm partiendo del extremo que se encontraba dentro del chuck.	Sierra fija sin fin		18	
52	Refrentar la cara donde realizamos el corte.	Tor.06	H013	13	
53	Orificio con broca de centros	Tor.06	H010	2	
<b>Fase 60. Maquinado para reducir el diámetro y la longitud.</b>					
61	Cilindrado de la pieza a un Ø 55 mm X longitud máxima.	Tor.06	H013	15	

62	Barreno de Ø 9 mm X 40 mm	Tor.06	H03	13	
63	Cortar la pieza para que tenga una longitud de 16 cm.	Sierra fija sin fin		13	
63	Refrentar la cara donde se realizó el corte.	Tor.06	H013	21	
<b>Fase 70.</b> Barrenado.					
71	Barrenar con broca Ø 12.7 mm X 25.6 mm.	Tor.06	H06	3	

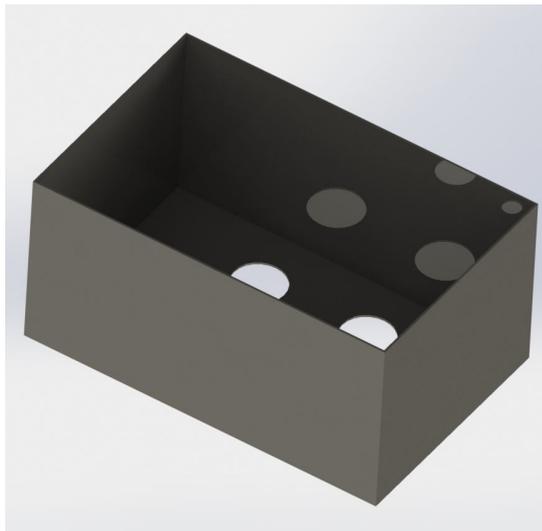
<b>Fase 80. Cilindrado.</b>					
81	Cilindrar a un Ø 42 mm X 125.5 mm, partiendo desde el extremo de la pieza.	Tor.06	H013	38	
82	Cilindrar a un Ø 38 mm X 74 mm, con dirección al chuck, desde una distancia de 45.8 mm partiendo del extremo de la pieza.	Tor.06	H013	19	
83	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un Ø 36 mm X 32.3 mm.	Tor.06	H013	15	
<b>Fase 90. Abocardado.</b>					
91	Abocardar con cortador de Ø 12.7 mm X 25.6 mm.	Tor.06	H011	4	

92	Girar la pieza y abocardar con la barra de interiores a un $\varnothing$ 46 mm X 31 mm.	Tor.06	H012	41	
<b>Fase 100. Cuerda.</b>					
101	Cilindrar desde el extremo de la pieza a un $\varnothing$ 36 mm X 32.3 mm.	Tor.06	H013	12	
102	Realizar cuerda de 8 hilos por 1"	Tor.06	H013	10	

*Nota: Los tiempos mostrados, son el promedio de los tiempos obtenidos al realizar dos piezas, estos no contemplan el montaje y desmontaje de las piezas y herramientas.*

## Hoja de Proceso

<b>Denominación:</b> Recipiente Interior	<b>Material:</b> Acero Inoxidable 304	<b>Dimensiones en bruto:</b> 16.5 X 203.5 cm.	<b>No. De elementos a realizar:</b> 1
---	--	--	---------------------------------------



### Fase 10. Preparación del material

Operación	Descripción	Maquina	Herramienta	Tiempo (min)	Figura
11	Usando la segueta cortar dos laminas, una de 16.5 X 25.5 cm y la otra de 16.5 X 87 cm.	Tornillo de banco.		7	<p>A photograph showing a person's hands using a hand saw to cut a metal plate. The plate is held in a green bench vice. The person is wearing a blue shirt. The background shows a workshop environment.</p>

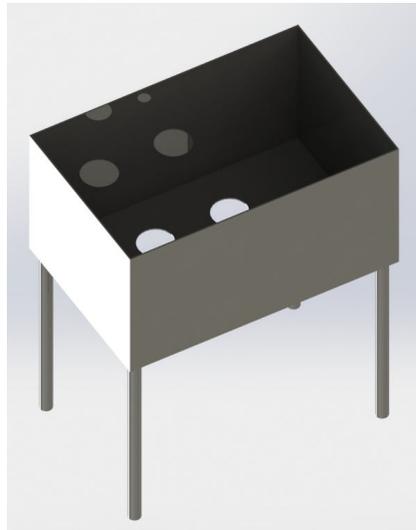
<b>Fase 20. Taladro.</b>					
21	<p>Marcar lo orificios con un <math>\varnothing</math> 36 mm, <math>\varnothing</math> 25.4 mm y <math>\varnothing</math> 12.7 mm.</p> <p>Aproximar los agujeros en el taladro de banco usando la broca de <math>\varnothing</math> 1/2".</p>	Tal.01	H06	60	
22	<p>Finalizar los agujeros de <math>\varnothing</math> 1/2".</p>	Fres.01	H011	90	
<b>Fase 30. Doblado.</b>					
31	<p>Doblar la lámina a lo largo para realizarle una pestaña de 4 cm.</p> <p>Doblar por un extremo de la lámina para tener una pestaña de 3 cm</p>	Dobladora.		5	
32	<p>Realizar cortes de 90° para poder doblar la lámina y que las pestañas queden alineadas.</p>	Abrazadera fija		25	

33	Realizar dobleces de 90° para obtener una caja de 28.5 X 18.5 cm.	Dobladora		5	
<b>Fase 40. Soldado.</b>					
41	Soldar la caja y posteriormente la base, usando las pestañas de ayuda.	Soldadora de arco eléctrico		25	

*Nota: Los tiempos mostrados en la tabla 4.1 no contemplan el montaje y desmontaje de las piezas y herramientas.*

## Hoja de Proceso

<b>Denominación:</b> Recipiente Exterior	<b>Material:</b> Acero Inoxidable	<b>Dimensiones en bruto:</b> Lamina de 18.5 X 35 cm, lamina de 16.5 X 203.5 cm y barra de Ø 12.7 X 90 cm.	<b>No. De elementos a realizar:</b> 1
---	---	---	---------------------------------------



### Fase 10. Preparación del material

Operación	Descripción	Maquina	Herramienta	Tiempo (min)	Figura
11	Usando la segueta cortar dos laminas, una de 16.5 X 97 cm y la otra de 18.5 X 28.5 cm.	Tornillo de banco.		7	

12	Cortar cuatro barras de 20 cm cada una.	Sierra fija sin fin		20	
<b>Fase 20. Taladro.</b>					
21	Marcar lo orificios con un Ø 36 mm, Ø 25.4 mm y Ø 12.7 mm. Aproximar los agujeros en el taladro de banco usando la broca de Ø ½”.	Tal.01	H06	60	
22	Finalizar los agujeros de Ø ½”	Fres.01	H011	90	
<b>Fase 30. Doblado.</b>					
31	Doblar la lámina a lo largo 2 cm y 3 cm de un extremo para tener una pestaña.	Dobladora		8	

32	Realizar dobleces de 90° para obtener una caja de 28.5 X 18.5 cm.	Dobladora		15	
<b>Fase 40. Soldado.</b>					
41	Soldar todas las piezas siguiendo el siguiente orden por la caja, la base y las 4 patas.	Soldadora de arco eléctrico.		45	

*Nota: Los tiempos mostrados en la tabla 4.1 no contemplan el montaje y desmontaje de las piezas y herramientas.*

Las piezas se terminaron de fabricar el día 29 de Noviembre del 2013 agradeciendo el apoyo del Ing. Eusebio Reyes Carranza en laboratorio de Manufactura de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán LIME 2.

### **Ensamble del equipo.**

Se realizó el ensamble del equipo tal y como se tenía planeado de acuerdo al modelo realizado en el programa Solidworks, describiéndose el proceso con ayuda de las figuras 4.75, 4.76, 4.77, 4.78, 4.79, 4.80, 4.81, 4.82, 4.83, 4.84, 4.85, 4.86 y 4.87.



*Figura 4.75 Mezcla de yeso y agua.*



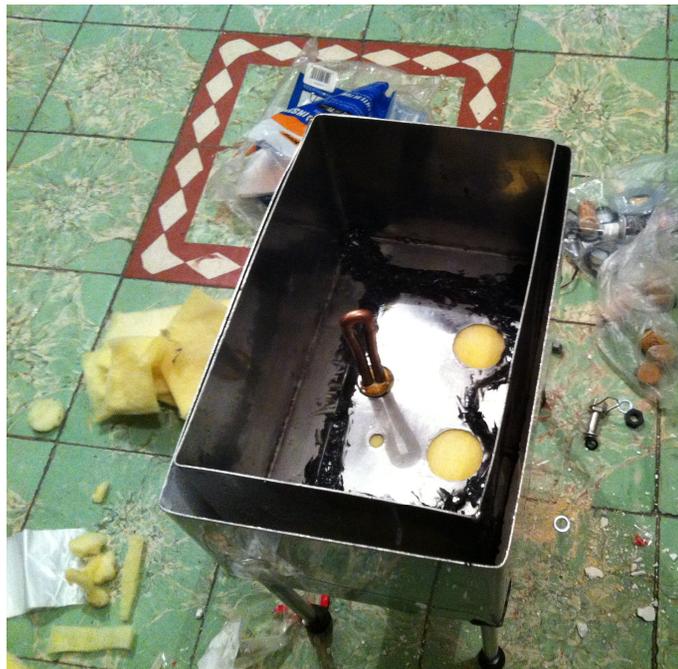
*Figura 4.76 Mezcla en el recipiente exterior del viscosímetro.*



*Figura 4.77 Montaje de la resistencia.*



*Figura 4.78 Colocación de 7 capas de aislante térmico de fibra vidrio y plástico para tuberías*



*Figura 4.79 Colocación del recipiente interior del Viscosímetro para poder realizar los cortes del aislante.*



*Figura 4.80 Montaje del Viscosímetro Universal, Furol y la base para el termopar tipo J, cada uno de estos con su respectivo empaque.*



*Figura 4.81 Sujeción del termopar tipo J en su base.*



*Figura 4.82 Parte inferior del dispositivo.*



*Figura 4.83 Revisión de que el equipo no presente fugas.*



*Figura 4.84 Aplicación de espuma de poliuretano en todos los costados como material aislante.*



*Figura 4.85 Cortado, lijado y tapado de la espuma de poliuretano.*

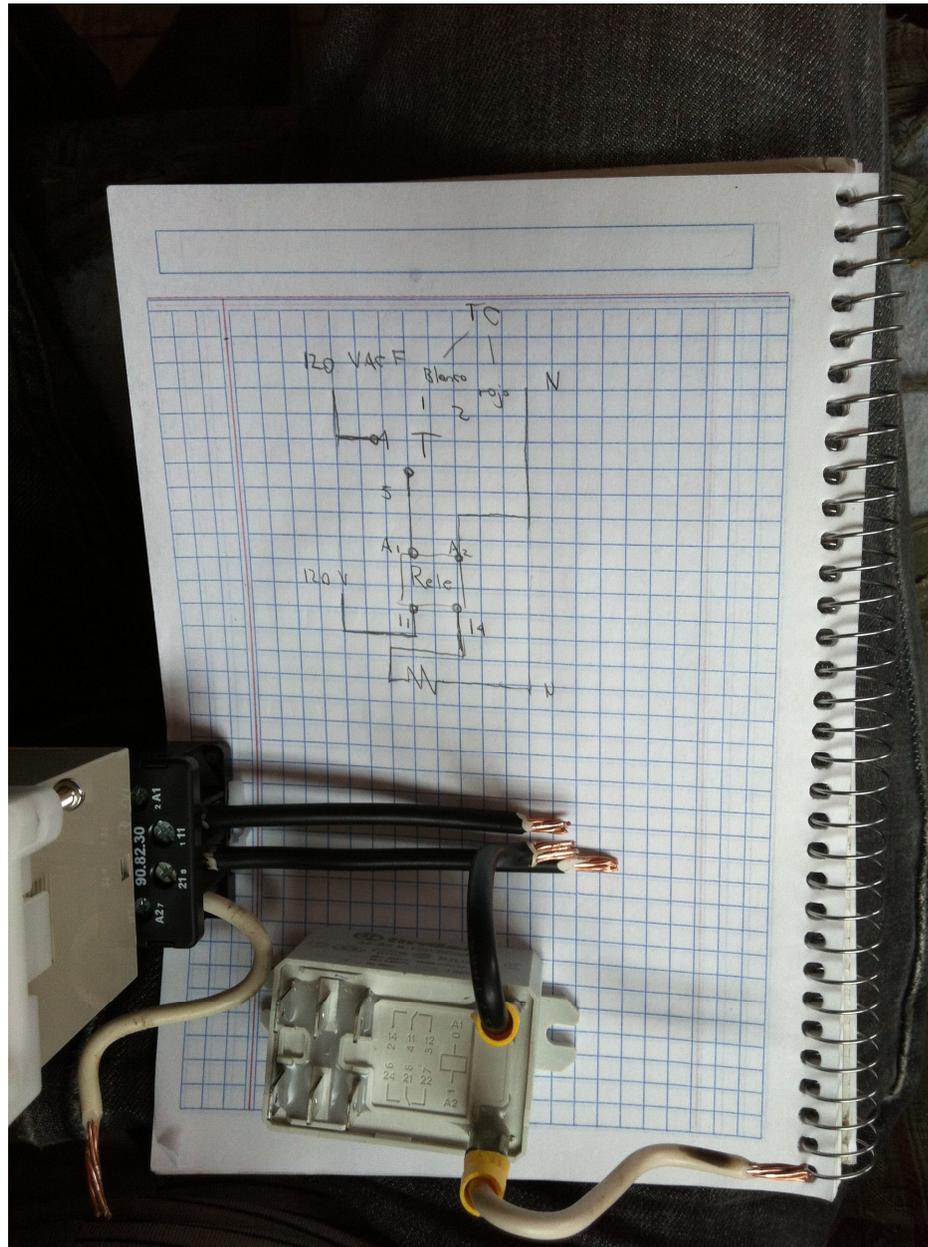


(a)



(b)

*Figura 4.86 (a) y (b) Equipo completamente ensamblado.*



*Figura 4.87 Armado de la parte eléctrica conforme al circuito mostrado, para llevar a cabo la prueba del Viscosímetro Saybolt.*

## CAPÍTULO 5.

### PRUEBA DEL VISCOSÍMETRO SAYBOLT

Habiendo terminado de fabricar el equipo se procedió a realizar una prueba con dos aceites diferentes, saber: SAE 40 monogrado y SAE 15W-40 multigrado, ocupando tres diferentes temperaturas: 40, 50 y 90°C.

#### 5.1. Procedimiento

1. Llenado de los recipientes con aceite grado SAE 40 para realizar la prueba, figura5.1.



*Figura 5.1 Llenado de aceite SAE 40 de los recipientes utilizados para realizar la prueba.*

2. Se sumergió el termómetro bimetálico en el aceite, figura 5.2., quedando el equipo listo para realizar las pruebas, figura 5.3.



*Figura 5.2 Sumergido del termómetro bimetálico en el aceite.*



*Figura 5.3 Equipo listo para realizar pruebas.*

3. Se comenzó con el aceite monogrado SAE 40 a una temperatura de 40 °C en el Viscosímetro tipo Universal, figura 5.4.



*Figura 5.4 Aceite monogrado SAE 40 a una temperatura de 40 °C en el viscosímetro*

4. Se encendió el equipo y la resistencia comenzó a elevar la temperatura del agua, figura 5.5.



*Figura 5.5 Encendido del equipo.*

5. Se realizó una tabla para llenarla con los datos obtenidos, figura 5.6, Tabla 5.1 y 5.2.



**Figura 5.6 Registro de los tiempos a diferentes temperaturas.**

**Tabla 5.1**

Aceite Monogrado SAE 40				
	Temperatura	40 °C	50 °C	90 °C
Tiempo	Viscosímetro Universal	07:33:17	05:40:03	01:19:20
	Viscosímetro Furol	00:58:82	00:38:78	00:15:60

**Tabla 5.2**

Aceite Multigrado SAE 15W-40				
	Temperatura de prueba	40 °C	50 °C	90 °C
Tiempo	Viscosímetro Universal	05:45:06	04:39:20	01:34:43
	Viscosímetro Furol	00:40:11	00:36:48	00:14:57

*Tiempos registrados con cronometro iniciando al retirar el corcho y terminando al llenar el matraz de 60 ml*

*SSU.- Segundos Saybolt Universal SSF.- Segundos Saybolt Furol*

6. Se propuso 40°C como temperatura inicial para la prueba, figura 5.7.



*Figura 5.7 Calentamiento del equipo a 40 °C.*

7. Se retiró el corcho para tomar el tiempo en que el aceite llenó el matraz hasta la línea que indica los 60 ml, figura 5.8.



*Figura 5.8 Remoción del corcho y toma del tiempo que tarda en llenarse el matraz.*

8. De igual manera se retiró el corcho en el Viscosímetro tipo Furol y tomamos el tiempo, figura 5.9.



*Figura 5.9 Realización de la misma operación en el Viscosímetro tipo Furol.*

9. Se llevó a cabo la misma operación a una temperatura de 50 °C, figura 5.10.



*Figura 5.10 Elevación de la temperatura del aceite a 50 °C.*

10. Se calentó hasta  $90^{\circ}\text{C}$ , temperatura donde el agua alcanzó su punto de ebullición, figura 5.11.



*Figura 5.11 Al llegar a  $90^{\circ}\text{C}$  el agua alcanzó el punto de ebullición.*

11. A  $90^{\circ}\text{C}$  se pudo observar como el aceite empaña el matraz y la velocidad con la que fluye el aceite aumenta, figura 5.12.



*Figura 5.12 A  $90^{\circ}\text{C}$ , el aceite empaña el matraz y la velocidad con la que fluye aumenta.*

12. Se iniciaron las pruebas con el aceite multigrado SAE 15W-40 a una temperatura de 90 °C., figura 5.8.



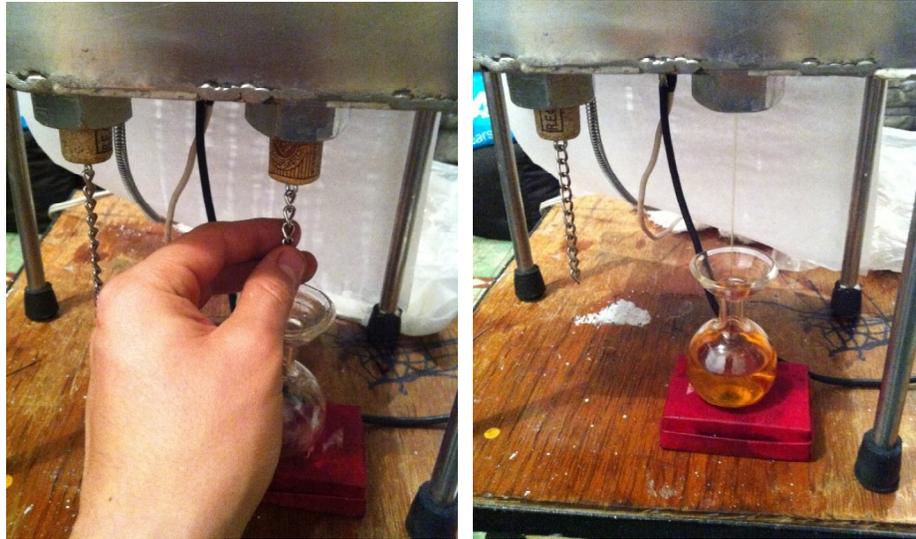
*Figura 5.13 Pruebas con el aceite multigrado SAE 15W-40 a una temperatura de 90 °C.*

13. Utilizando el mismo procedimiento realizando primeramente la prueba con el Viscosímetro tipo Universal, figura 5.14.



*Figura 5.14 Realización de la operación con el Viscosímetro tipo universal.*

14. Posteriormente se realizó la prueba en el Viscosímetro tipo Furol, figura 5.15.



*Figura 5.15 Se procedió de la misma manera con el Viscosímetro tipo Furol.*

15. Se retiraron  $\frac{3}{4}$  partes del agua caliente y se reemplazó con agua fría para realizar la prueba a  $40^{\circ}\text{C}$ , figura 5.16.



*Figura 5.16 Sustitución agua caliente por agua fría para realizar la prueba a  $40^{\circ}\text{C}$ .*

16. Alcanzados los 40 °C se realizó la prueba en ambos viscosímetros, Universal y FuroI, figura 5.17.



*Figura 5.17 A 40 °C se realizó la prueba en ambos Viscosímetro.*

17. Finalización de las pruebas con el aceite multigrado a 50 °C, figura 5.18.



*Figura 5.18 Conclusión de las pruebas con el aceite multigrado a 50 °C.*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ocupando las formulas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5. Y despejando  $\nu$  de estas obtenemos la viscosidad cinemática.

$$SSU = 4.632\nu \quad (2.1)$$

$$\nu = \frac{SSU}{4.632} = \frac{243.17}{4.632} = 52.19$$

$$SSU = 4.664\nu \quad (2.2)$$

$$\nu = \frac{SSU}{4.664} = \frac{79.20}{4.664} = 16.98$$

$$A = 6.061 \times 10^{-5}t + 0.994 \quad (2.3)$$

$$\nu = \frac{SSU * A}{4.632} = \frac{340.03 * 6.061 \times 10^{-5}(50) + 0.994}{4.632} = 73.19$$

$$SSF = 0.4717\nu \quad (2.4)$$

$$\nu = \frac{SSF}{0.4717} = \frac{58.82}{0.4717} = 124.69$$

$$SSF = 0.4782\nu \quad (2.5)$$

$$\nu = \frac{SSF}{0.4717} = \frac{15.60}{0.4782} = 32.62$$

$$\nu = \frac{SSF * A}{0.4717} = \frac{38.78 * 6.061 \times 10^{-5}(50) + 0.994}{0.4717} = 81.96$$

<b>Aceite Monogrado SAE 40</b>			
<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Viscosidad</i> (SSU)	<i>Viscosidad</i> (cSt) <i>Experimental</i>	<i>Viscosidad</i> (cSt) <i>Teórica</i>
<b>40</b>	243.17	52.49	152
<b>50</b>	340.03	73.19	90
<b>90</b>	79.20	16.98	19.9

**Tabla 5.3 Comparación de los valores experimentales SSU y teóricos SAE 40.**

<b>Aceite Monogrado SAE 40</b>			
<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Viscosidad</i> (SSF)	<i>Viscosidad</i> (cSt) <i>Experimental</i>	<i>Viscosidad</i> (cSt) <i>Teórica</i>
<b>40</b>	58.82	124.69	152
<b>50</b>	38.78	81.96	90
<b>90</b>	15.60	32.62	19.9

**Tabla 5.4 Comparación de los valores experimentales SSF y teóricos SAE 40.**

<b>Aceite Multigrado SAE 15W-40</b>			
<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Viscosidad</i> (SSU)	<i>Viscosidad</i> (cSt) <i>Experimental</i>	<i>Viscosidad</i> (cSt) <i>Teórica</i>
<b>40</b>	345.06	74.49	116.00
<b>50</b>	279.20	60.09	74.90
<b>90</b>	94.43	20.24	20.00

**Tabla 5.5 Comparación de los valores experimentales SSU y teóricos SAE 15W-40.**

<b>Aceite Multigrado SAE 15W-40</b>			
<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Viscosidad (SSF)</i>	<i>Viscosidad (cSt) Experimental</i>	<i>Viscosidad (cSt) Teórica</i>
<b>40</b>	40.11	85.03	116.00
<b>50</b>	36.48	77.10	74.90
<b>90</b>	14.57	30.46	20.00

**Tabla 5.6 Comparación de los valores experimentales SSF y teóricos SAE 15W-40.**

\*Nota Los datos de los aceites patrón fueron obtenidos de la página de WIDMAN INTERNATIONAL S.R.L. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Cuyo objetivo principal es ayudar sus clientes a bajar sus costos de mantenimiento con máxima calidad y tecnología, todo esto enfocado desde el punto de los aceites. [En línea; <http://www.widman.biz/index.html>]

En la siguiente tabla se muestran los costos de fabricación.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Importe</b>
1	Norma ASTM D88 - 07 (2013)	\$480.00	\$480.00
1	Broca 9mm.	\$95.00	\$95.00
1	Broca 13 mm.	\$210.00	\$210.00
1	Buril de 1/2 plg.	\$60.00	\$60.00
1	Buril de 1/8 plg.	\$45.00	\$45.00
1	Matraz Volumétrico Cap. 60 ml.	\$305.38	\$305.38
1	Resistencia de cobre para calentador eléctrico.	\$160.00	\$160.00
1	Barra de Aluminio de Ø 6.35 X 40 cm	\$278.40	\$278.40
1	Barra de Aluminio de Ø 2.54 X 10 cm	\$40.00	\$40.00
<b>4.375</b>	Kilo de lámina de Acero Inoxidable tipo 304.	\$80.00	\$350.00
1	Kilo de soldadura para acero inoxidable 304.	\$297.00	\$297.00
1	Tuerca para base de termopar Ø 1/2 plg. - 13 UNC.	\$6.00	\$6.00
1	Tuerca para resistencia eléctrica Ø 1 plg. - 12 UNF.	\$15.00	\$15.00
2	Tuercas Ø 1 plg. - 8 UNC con rondana.	\$22.00	\$44.00
1	Termómetro bimetalico marca Eurosin 11/2 plg. X 4 long. Rango 0 - 300 °C.	\$104.40	\$104.40
1	Temp Analog 0 - 300 °C Out/Rele 100 -240 CA.	\$464.01	\$464.01
1	Base 8 Pines para 60.12 negro.	\$29.20	\$29.20
1	Termopar tipo J de un metro 1 1/2 VAS.	\$37.00	\$37.00
1	Base para termopar.	\$36.00	\$36.00
1	Relevador de potencia 30 A 2 NANC. 120V Faston 8 PIN.	\$130.53	\$130.53
1	Lata de espuma de poliuretano marca COMEX.	\$96.00	\$96.00
2	Aislante de tuberías de fibra de vidrio y plástico.	\$60.00	\$120.00
1	Kilo de yeso.	\$10.00	\$10.00
4	O´ring de Ø 36 mm.	\$6.00	\$24.00
2	O´ring de Ø 1 cm.	\$6.00	\$12.00
2	O´ring de Ø 1".	\$4.00	\$8.00
1	Tubo de silicón negro para juntas.	\$30.00	\$30.00
1	Cinta de aislar.	\$20.00	\$20.00
4	Gomas de caucho para las patas del equipo.	\$2.00	\$8.00
1	Metro de cadena.	\$10.00	\$10.00
2	Armellas.	\$3.00	\$6.00
2	Metro de cable para las conexiones.	\$0.00	\$0.00
1	Litro de aceite lubricante monogrado SAE 40 marca Akron.	\$70.00	\$70.00
<b>200</b>	ml de aceite multigrado SAE 15W-40 marca Akron.	\$0.00	\$0.00
		<b>Total</b>	<b>\$3,600.92</b>

## CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- Gracias al Viscosímetro fabricado podemos obtener medidas de viscosidad de diferentes lubricantes a diferentes temperaturas, aunque con algunos errores de medición. Los errores obtenidos son parte de la dificultad del diseño y la fabricación, un ejemplo de esto son el material seleccionado y la precisión en el uso de máquinas herramientas.
- La información recabada con las características y el funcionamiento del Viscosímetro Saybolt fue concreta y de fácil manipulación, de esta manera se conocieron las características básicas del equipo.
- Se logró diseñar con ayuda del programa Solidworks un Viscosímetro el cual no requiriera operaciones muy complejas para su fabricación, con materiales económicos pero de alta durabilidad, todo esto con los parámetros establecidos en la Norma ASTM D88-07.
- La fabricación del Viscosímetro se llevó de manera eficiente y sin complicaciones en el laboratorio LIME 2 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, en un lapso de 4 meses y medio.
- Comparando los costos de fabricación del Viscosímetro Saybolt fabricado, los cuales ascendieron a \$3,269.52 MXN con el precio que proporcionó Servicios y Maquinados S.A. de C.V. de \$11,500.00 MXN por la fabricación de los principales componentes del mismo, y comparando estos con el precio en el mercado del equipo el cual proporcionó la empresa NEOCITEC, S.A. de C.V. de \$135,000.00 MXN, se puede observar que se cumplió con el objetivo de realizar un Viscosímetro eficiente y de bajo costo (obviamente sin considerar el costo de la mano de obra), el cual podrá ser usado en las practicas del laboratorio de Termodinámica.

## BIBLIOGRAFIA

- Fundamentos de Mecánica de Fluidos Bruce R. Munson, Donald F. Young y Theodore H. Okiishi. Limusa S.A. de C.V. Págs. 33-38.
- Mecánica de Fluidos Robert L. Mott sexta edición 2006 Pearson Educación. Págs. 26-49.
- Mecánica de Fluidos Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie y Keith W. Bedford. Novena edición 2000 Mc Graw Hill. Págs. 4,5.
- Mecánica de Fluidos Bernard Stanford Massey. Primera Edición 1984. Continental. Págs. 56,57.
- Mecánica de Fluidos Merle C. Potter y David C. Wiggert. Tercera edición 2000 Thompson. Págs. 16,17.
- Mecánica de Fluidos Frank M. White. Primera edición 1988. Mc Graw Hill. Págs. 32,33.
- Viscosidad Saybolt de asfaltos I.N.V.E – 714 – 07 Instituto Nacional de Vías. México. 2007.
- Viscosidad Saybolt de Emulsiones Asfálticas I.N.V.E – 763 – 07 Instituto Nacional de Vías. México. 2007.
- Método para convertir Viscosidad Cinemática a Saybolt Universal y a Saybolt Furol I.N.V.E – 719 – 07 Instituto Nacional de Vías. México. 2007.
- ASTM D2161-66(1966): Standard Method for Conversion of kinematic Viscosity to Saybolt Universal Viscosity or to Saybolt Furol Viscosity. American Society for Testing and Materials [En línea, pdf impreso]. [<http://www.astm.org/search/site-search.html?query=d2161-66>].

- Laboratory Instruments, Supplies, Chemicals, Chemical and Microbiological Analysis Manufacturer of Standardized Testing Solutions & Reagents. Clarkson Laboratory & Supply Inc. [En línea]. [<http://store.clarksonlab.com/>].
- ASTM D88-07(2013): Standard Test Method for Saybolt Viscosity. American Society for Testing and Materials [En línea, pdf impreso]. [<http://www.astm.org/search/site-search.html?query=d88-07>].
- PROVEEDOR CIENTÍFICO, S.A. de C.V. [En línea]. [<http://www.proveedorcientifico.com.mx/>].
- Aceros Otero Catalogo 2013 Empresa Otero. Santiago. 2013.
- Acero Inoxidable 316 y 316L propiedades y características Fisico-Quimicas Edwin Gamboa Poveda y Robinson Álvarez Martínez Fundación Universitaria los Libertadores. Colombia. 2011.
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Cegesimal\\_de\\_Unidades](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Cegesimal_de_Unidades)
- <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20100829073358AAhPgVK>
- <http://www.cannoninstrument.com/>
- <http://www.thermoscientific.com/ecommerce/servlet/home?storeId=11152>
- <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3626/1/tema5RUA.pdf> 22/07/2013
- <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0C CwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itescam.edu.mx%2Fprincipal%2Fsyllabus%2Ffpdb%2Frecursos%2Fr13921.DOC&ei=ySkNUu30IKmR2QXS1oDADg&usq=AFQjCN G4Uelyg8wkGLIhs9k3xiAg0dy6zg&sig2=0-JLTP3vDAirG PIRO8kkA&cad=rja>

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%A9resis>
- <http://i162.photobucket.com/albums/t260/anoshawing/viscosimetrotambor.jpg>
- <http://www.proetisa.com/proetisa-producto.php?ID=111&prod=617>
- [http://img.alibaba.com/photo/117297910/LAUDA\\_Glass\\_capillary\\_viscometers.jpg](http://img.alibaba.com/photo/117297910/LAUDA_Glass_capillary_viscometers.jpg)
- <http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/analizadores/otros-analizadores/bano-paraviscosidad-cinematica-a-50190-242787>
- <http://www.ifi.es/Productos/Thermo%20Scientific/Viscosímetros%20y%20reómetros/Caida%20de%20bola.html>
- [https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.unet.edu.ve%2F~aostos%2FLinkedDocuments%2FViscosidad\\_Cinem%25E1tica.doc&ei=vuyXU5DfFMENqga\\_woHgBA&usg=AFQjCNEBB81zzbCFfA7t2zTmxUT4WhlxCQ&sig2=17BipKBQmzINHUTnHvsyDw&cad=rja](https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.unet.edu.ve%2F~aostos%2FLinkedDocuments%2FViscosidad_Cinem%25E1tica.doc&ei=vuyXU5DfFMENqga_woHgBA&usg=AFQjCNEBB81zzbCFfA7t2zTmxUT4WhlxCQ&sig2=17BipKBQmzINHUTnHvsyDw&cad=rja)
- <http://www.widman.biz/index.html>