

Diseño y construcción de un viscosímetro Saybolt y su implementación como instrumento didáctico

Design and construction of a Saybolt viscometer and its implementation like a didactic instrument

Milton Fabián Coba Salcedo^{1*}, Rafael Ramírez Restrepo², Carlos Ahumada Morales³

Ingeniería Mecánica, Grupo DIMER, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia

miltoncoba@mail.uniatlantico.edu.co, miltoncoba@gmail.com

rafael.ramirez@uan.edu.co

carlosahumada@mail.uniatlantico.edu.co

Resumen— En este artículo se presenta el resumen del trabajo diseño y la construcción de un viscosímetro Saybolt y su baño, tomando como base para esto la Norma D88 de la ASTM. La realización de este proyecto surge de la necesidad existente en la Facultad de Ingeniería y más exactamente en los programas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química de contar con un equipo capaz de efectuar mediciones de Viscosidad de aceites ligeros, en un amplio rango de temperaturas. Con este Viscosímetro se pueden lograr mediciones de viscosidad cinemática en un amplio intervalo de temperaturas y observar cómo afectan estas variaciones a la viscosidad del aceite. Las dimensiones del baño y del viscosímetro, fueron establecidas según la Norma ASTM D88, y con estos valores se calcularon los requerimientos de potencia frigorífica y de calentamiento, teniendo en cuenta que se trataba de transferencia de calor en estado inestable. Se dotó al equipo de un sistema de agitación para homogenizar la temperatura en el baño, y de un sistema de control para llevar a cabo las mediciones de la manera más precisa. Este equipo representa una poderosa herramienta para la Universidad y en especial a la Facultad de Ingeniería no solo de tipo Pedagógico, ya que además la Universidad puede ofrecer servicios a diferentes empresas del área de los lubricantes, que deseen realizar caracterizaciones y pruebas a sus aceites, y que no cuenten con estos sistemas de medición.

Palabras clave— Aceites lubricantes, medición, viscosidad, viscosímetro Saybolt.

Abstract— This paper presents the summary of design and construction of a Saybolt viscometer according to Standard, ASTM D88. The realization of this project arises from the need in the Faculty of Engineering in their programs of Mechanical and Chemical Engineering have a team capable of making measurements of light oil viscosity over a broad temperature range. This viscometer can be achieved kinematic viscosity measurements over a wide range of temperatures and observe how these variations affect oil viscosity. The dimensions of the bathroom and the viscometer, were established in accordance with ASTM D88, and these values were calculated cooling power requirements and heat, considering that it was heat transfer in unsteady state. The viscometer has an agitation system to homogenize the temperature in the bath, and a control system to carry out measurements more precise manner. This team represents a powerful tool for the University and especially to the Faculty

of Engineering Teaching not only type, but this also can provide services to various companies in the area of lubricants, wishing to test their characterizations and oils, and who do not have these measurement systems.

Key Word— Lubrications oils, measurement, Viscosity, Saybolt viscometer

I. INTRODUCCIÓN

La viscosidad es la resistencia que opone el aceite a fluir libremente; esta es considerada como una de las propiedades más importantes de un aceite lubricante.

Es uno de los factores responsables de la formación de la capa de lubricación, bajo distintas condiciones de espesor de esta capa la viscosidad afecta la generación de calor en rodamientos, cilindros y engranajes, debido a la fricción interna del aceite. Esto afecta las propiedades sellantes del aceite y la velocidad de su consumo. Determina la facilidad con la que las máquinas se pueden poner en funcionamiento a varias temperaturas, especialmente a las bajas. La operación satisfactoria de una pieza dada de un equipo, depende fundamentalmente del uso de un aceite con la viscosidad adecuada a las condiciones de operación estimadas.

Es por esto que contar con un sistema que permita la medición de esta propiedad a diferentes temperaturas, ayudaría no solo a la caracterización del comportamiento que podría presentar un lubricante en diferentes condiciones de carga y temperatura, sino que sería un aporte importante para el proceso de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería mecánica, en el área de lubricación.

En el área de LUBRICACIÓN, ciencia de gran importancia en la labor del ingeniero mecánico, las herramientas extracurriculares para fortalecer el conocimiento teórico-práctico, en la Universidad del Atlántico son escasas. Es por esto que se ha decidido diseñar y construir, un banco experimental encaminado a potencializar el conocimiento en el área de lubricación.

A. Viscosímetro Saybolt Universal

En el mercado existen diferentes dispositivos utilizados para realizar mediciones de viscosidades cinemáticas de productos que tienen características newtonianas. Entre estos uno de los más importantes es el Viscosímetro de Tipo Saybolt, que se utiliza para realizar mediciones de viscosidad en aceites derivados de petróleo en un amplio rango de temperatura.

Este equipo consiste en un recipiente destinado a contener el fluido cuya viscosidad se quiere determinar, y que tiene en su

parte inferior un orificio de diámetro normalizado, Figura 1. Este recipiente se halla a su vez dentro de otro que le sirve de baño calefactor, para poder determinar viscosidades a distintas temperaturas. Este viscosímetro posee un mechero para calefacción solidario al equipo.

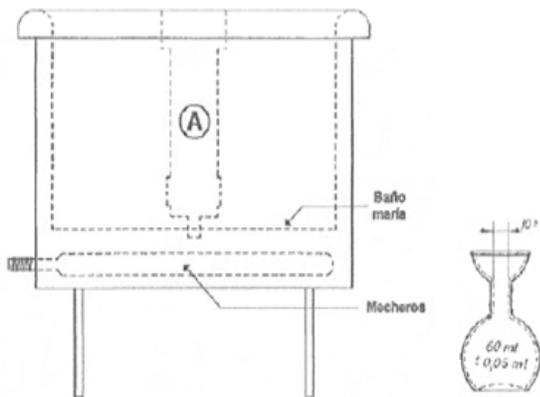


Figura 1. Esquema de un Viscosímetro de Saybolt.

Una clase especial de viscosímetro Saybolt es el denominado Saybolt Furol, que tiene idénticos principios de funcionamiento pero su orificio tiene un diámetro mayor, y sirve para fluidos cuyas viscosidades son altas (desde 480 cP en adelante). La denominación "Furol" proviene de la contracción de las palabras "Fuel and Road Oil"

En estos equipos se mide el tiempo de efusión de 60 ml de muestra a través de un orificio calibrado. El viscosímetro Saybolt Universal sirve para líquidos que tengan entre 32 y 900 segundos de efusión (fuera de esos extremos se observan viscosidades erróneas).

Antes de comenzar a trabajar con este equipo debe ser limpiado totalmente con solvente adecuado y luego secado con una corriente de aire. Además, debe tenerse la precaución de que el orificio esté libre de obstrucciones.

Una vez limpio, se tapa el recipiente con el corcho y se llena con la muestra hasta superar el nivel del rebosadero. Se agita el líquido hasta que éste alcance la temperatura a la cual se quiere determinar la viscosidad. En caso de que

la temperatura del fluido sea muy diferente a la cual se quiere realizar la experiencia, se puede precalentar en un baño maría por separado y luego trasladar al viscosímetro.

Antes de colocar la muestra en el equipo, debe ser filtrada por medio de un tamiz de 200 mallas dispuesto al efecto.

Para hacer la medición se debe mantener la temperatura del líquido constante durante 1 minuto por menos, siempre agitando. Una vez que se estabilizó la temperatura, se saca el termómetro y con una pipeta se elimina el aceite residual del rebosadero, quedando aforado de esta manera. Se coloca luego el baloncito de 60 ml bajo el viscosímetro, se saca el corcho y se dispara el cronómetro al mismo tiempo, deteniéndolo cuando el nivel del líquido en el balón llegue al aforo.

El viscosímetro Saybolt es de amplio uso en la determinación de viscosidad a diferentes temperaturas para lubricantes de máquinas y equipos. A pesar de esto son pocas las referencias acerca del diseño y construcción de este tipo específico de equipos a nivel Universitario a nivel nacional e internacional. La construcción de los mismos prácticamente se atribuye solamente a empresas especializadas.

Solo se obtuvo información acerca de una Universidad en Chimborazo, Ecuador, denominada ESPOCH, que diseñó y construyó un Viscosímetro Saybolt con un sistema de control en cascada [1].

Este contaba con un recipiente o baño María fabricado en acero inoxidable, y un viscosímetro fabricado también en este tipo de acero. El líquido utilizado para transmitir calor era el agua, que a su vez era calentado en otro recipiente por dos resistencias de 1500 W cada una. Este equipo no contaba con un sistema de enfriamiento por lo que debía ser enfriado por convección libre resultando muy tediosa su utilización.

Se requiere entonces un dispositivo que permita realizar mediciones de manera rápida, precisa y a temperaturas tanto por encima como por debajo de la temperatura del ambiente, ya que como se sabe la viscosidad y la variación de esta con la temperatura, es tal vez la propiedad más importante de un aceite lubricante, por lo que se hace necesario contar con un equipo de esta clase en las instalaciones de la Universidad del Atlántico y el Departamento de Ingeniería.

II. METODOS Y MATERIALES

El proyecto se llevó a cabo en dos etapas. La fase de diseño y posteriormente la fase de construcción.

En la fase de diseño fueron utilizados los métodos de análisis y síntesis para desarrollar conceptualmente del Viscosímetro y de esta manera tener la suficiente información para su construcción.

Se generaron métodos matemáticos y modelos teóricos de cada uno de los sistemas con que cuenta el equipo para así llevar a cabo su análisis.

Luego de esta fase se procedió con la construcción. Esta fase se llevo a cabo completamente en talleres de mecánica industrial de la ciudad de Barranquilla, siguiendo para la construcción de cada una de los elementos, los lineamientos generados en la anterior fase.

La fase de diseño y construcción contemplo las siguientes etapas:

- Definición de las dimensiones del baño y su fabricación.
- Definición de las dimensiones de la probeta/viscosímetro Saybolt y su fabricación.
- Diseño del sistema de enfriamiento y su construcción.
- Sistema de control.

A. Definición de las dimensiones del baño y su fabricación.

Inicialmente se estableció el valor de la longitud del tanque (15 cm), se estableció teniendo en cuenta la longitud que puede tomar el viscosímetro según los datos consignación en la norma ASTM D88 [2]. El diámetro del tanque se tomó teniendo en cuenta que en este se ubica no solo la probeta Saybolt sino la resistencia para calentamiento, un dispositivo de agitación y un serpentín de enfriamiento. También se pensó en un valor del diámetro que permitiera una cantidad importante de aceite de medio baño, que sirva como “colchón” térmico para mantener constante la temperatura del aceite que se muestra confinado en la probeta en el momento de realizar la medición de la viscosidad, por esto que se escogió como diámetro D 20 cm. Figura 2.

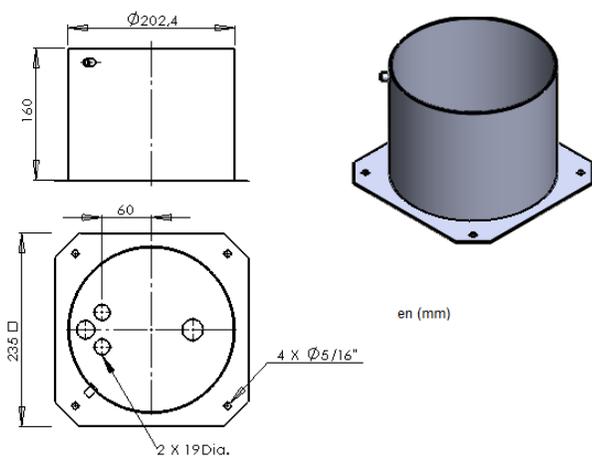


Figura 2. Dimensiones Principales del Baño.

B. Definición de las dimensiones de la probeta/viscosímetro Saybolt y su fabricación.

Para el dimensionamiento de la probeta/viscosímetro se tuvo en cuenta la especificación de la Norma ASTM D88, e igualmente se busco la facilidad de construcción del mismo. De esto fueron generados planos y a continuación se muestra el que se tomo como definitivo para la construcción de la probeta. Figura 3.

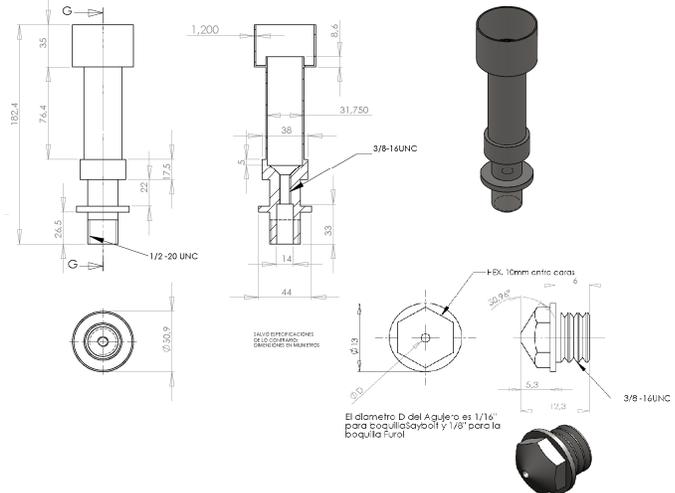


Figura 3. Medidas Probeta Saybolt.

También se muestran en las fotos, la probeta con su respectiva tuerca una vez fue construida, Figura 4, la cual permite que esta se fijara al baño de una manera segura y hermética.



Figura 4. Probeta/Viscosímetro Saybolt.

C. Diseño del sistema de enfriamiento y su construcción.

El medio de enfriamiento consiste en un baño similar al llamado “baño maría” que estará lleno con aceite, o medio de baño recomendado. Las pruebas se hicieron entre 21 y 99 °C que son los rangos recomendados. Se tomaron como temperaturas iniciales y finales en el proceso de enfriamiento las que se han mencionado anteriormente.

El aceite o medio de baño es un aceite que tenga entre 120 a 150 SUS a agua, para las pruebas hasta 60°C. De ahí en adelante se pueden utilizar aceite de 330 SUS a 37.8 °C.

El análisis se ha realizado planteando un medio de enfriamiento isotérmico (Utilización de refrigerante 134a, a una Temperatura de evaporación igual a 21°C – ΔT donde ΔT recomendado es de 9°C aproximadamente).

En el proceso de enfriamiento no se considero la transferencia de calor hacia el medio circundante, debido a que este contribuye a que el sistema alcance más rápidamente la temperatura deseada y de esta manera se obra conservadoramente en el cálculo del serpentín.

Una vez realizado los cálculos y definida el área de transferencia de calor que se requería, se definió por medio de cálculos construir un serpentín con alambre de cobre de 3/8" de pulgada, y aproximadamente de 6.47 vueltas. Figura 5.



Figura 5. Serpentín de enfriamiento.

En la Figura 6, se puede observar el detalle final del baño, la probeta y el serpentín de enfriamiento.

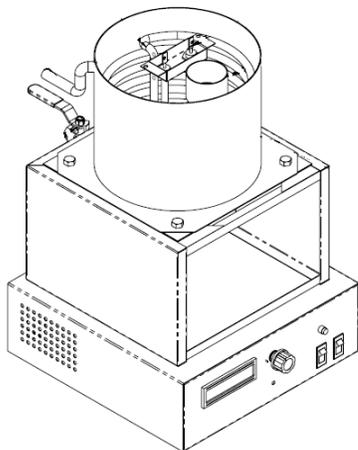


Figura 6. Baño, probeta Saybolt y serpentín de enfriamiento.

D. Diseño del sistema de calentamiento y su construcción.

En la Figura 7, se observa la disposición de los elementos que intervienen en el proceso de calentamiento del aceite del baño.

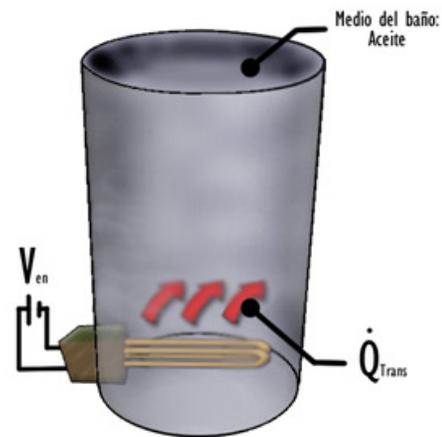


Figura 7. Esquema de los elementos que intervienen en el calentamiento.

El objetivo es calcular los requerimientos de potencia de calentamiento [3], para elevar la temperatura del fluido del baño desde 21 °C hasta 99 °C. Este calentamiento debe efectuarse en un intervalo de tiempo de 15 min.

La demanda de potencia calculada es de 0.79kW con esto se logra conseguir una velocidad de calentamiento de 0.0866 °C/s. Con lo cual se consigue calentar el aceite desde 21 °C hasta 99 °C en un tiempo de 15 min. Se escogió entonces para el proceso de Calentamiento una resistencia de inmersión para aceite de 900 W, ya que en el mercado no se consiguen a 800 W como fue el resultado del cálculo obtenido. Figura 8.



Figura 8. Serpentín de inmersión.

E. Sistema de control del banco de ensayos.

El control del viscosímetro se realiza por medio de un circuito integrado programable denominado Microcontrolador PIC (*Peripheral Interface Controller*), el cual se programó para que realice las funciones de lectura de los sensores, y tome las decisiones necesarias para mantener la temperatura del sistema, al valor programado por el usuario. Figura 9.

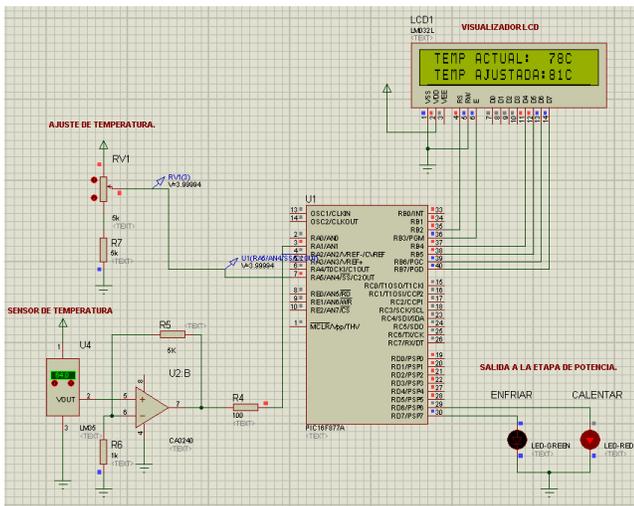


Figura 9. Sistema de control de Temperatura.

Para medir la temperatura se utilizó un sensor de precisión del fabricante *National Instrumental*, el sensor LM35 es un semiconductor el cual proporciona en su salida 10.0mV por cada grado de temperatura, y varía proporcionalmente con ésta.

La salida de los sensores se lleva a un circuito operacional LM324, el cual se encarga de adaptar los niveles de tensión del sensor a valores que puedan ser interpretados por el Microcontrolador. Figura 10.

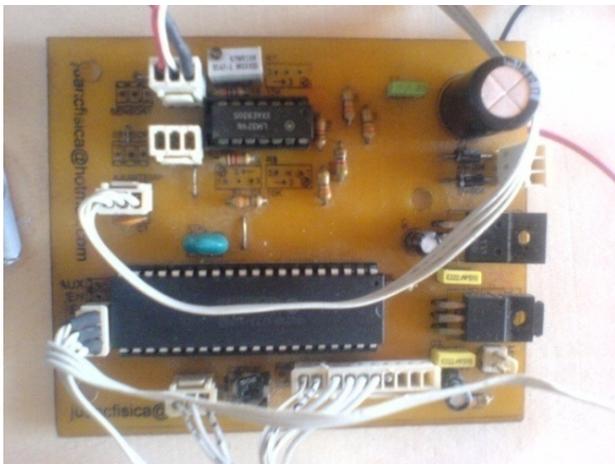


Figura 10. Montaje Microcontrolador PIC

El Microcontrolador utilizado es el 16f877A de *Microchip* el cual está provisto de 8 conversores analógicos a digital de 10bits. Éste se encarga de convertir la señal analógica de los sensores a una señal digital para ser visualizada en un *Display LCD*. La temperatura de trabajo se ajusta con un potenciómetro de precisión de 10 vueltas que se encuentra conectado con el Microcontrolador, el cual internamente compara los voltajes provenientes de los sensores y el potenciómetro.

Cuando la temperatura ajustada por el usuario es mayor que la temperatura actual, el Microcontrolador envía la orden de calentar y cuándo la temperatura ajustada por el usuario es menor que la temperatura actual, envía la orden de enfriar.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Se llevaron a cabo mediciones de viscosidad cinemática en SSU a diferentes temperaturas, de dos tipos diferentes de aceites lubricantes, el SAE 15W40 y el aceite hidráulico ISO68. Las temperaturas a las que fueron realizadas las pruebas con ayuda del baño termostáticamente controlado, fueron medidas con un termómetro de Mercurio con valor de división de 1 °C.

Los resultados obtenidos para cada uno de los aceites se referencian a continuación:

Temperatura Aceite Prueba(°C)	Tiempo (SSU)	Viscosidad cinemática Exp. (cSt)
38	563,15	123,57
50	348,66	76,19
54	302,68	65,99
60	240,94	52,26
82	120,91	25,11
86	104,25	21,21
99	77,10	14,63

Tabla 1. Valores experimentales de aceite SAE 15W40

Temperatura Aceite Prueba (°C)	Tiempo (s)	Viscosidad cinemática Exp. (cSt)
38	376,00	82,24
50	220,79	47,76
54	180,54	38,72
60	142,19	30,02
82	78,97	15,09
86	73,66	13,76
99	54,40	8,66

Tabla 2. Valores experimentales para aceite ISO 68

Estos valores fueron comparados con valores teóricos determinados con el uso de gráficos y Ecuaciones normalizadas por la ASTM.

Según ASTM D88 si el tiempo de flujo difiere del certificado o teórico en más de un 0.2% se debe calcular un factor de corrección que se define como;

$$f = \frac{V}{t}$$

Donde;

- V= Viscosidad teórica a 38 °C (100 °F)
- t=Tiempo medido de flujo a 38 °C (100 °F).

Se tomo entonces para la determinación del factor de corrección el aceite SAE 15W40 que tiene a 38 °C un tiempo de flujo comprendido entre estos valores.

Se realizaron tres mediciones diferentes obteniéndose los siguientes valores:

Corrida	Temp (°C)	Tiempo (s)
1	38	562,63
2	38	564,30
3	38	562,53

Tabla 3. Valores de corridas para determinar factor f

De donde se obtiene un valor promedio de 563.15 s. El valor teórico de la viscosidad de este aceite a 38 °C (100 °F) es de 120.94 cST obtenido con ayuda de la norma ASTM D-341, [4] que corresponde a 556 SUS, según Norma ASTM D-2161 [5]. Por lo que aplicando la formula de la Norma D-88 para calcular *f* se tiene:

$$f = \frac{556}{563.15} = 0.987$$

A continuación se realizó la comparación de los valores experimentales corregidos (resultado de multiplicar el tiempo de efusión por *f*) y teóricos, y los errores generados en el proceso de dicha medición. Tabla 4, aceite SAE 15W40. Tabla 5 aceite ISO 68:

Temp. (°C)	Viscos. (SSU)	Viscos. (cST) Exp.	Viscos. (cST) Teo.	Error (%)
38	555,83	121,96	120,94	0,84
50	344,13	75,19	70,51	6,62
54	298,75	65,12	60,00	8,54
60	237,81	51,56	47,64	8,23
82	119,34	24,74	23,25	6,43
86	102,89	20,89	20,77	0,57
99	76,10	14,38	14,85	3,20

Tabla 4. Error en la medición para el aceite SAE 15W40

Temp. (°C)	Viscos. (SSU)	Viscos. (cST) Exp.	Viscos. (cST) Teo.	Error (%)
38	371,11	81,16	76	6,79
50	217,92,	47,12	50	5,77
54	178,19	38,19	40	4,52
60	140,34	29,59	32	7,52
82	77,94	14,84	14	5,99
86	72,70	13,52	13	3,99
99	53,69	8,46	9	6,01

Tabla 5. Error en la medición para el aceite ISO 68

Se muestran en las siguientes figuras las curvas comparativas (experimental y teórica) para los dos aceites en cuestión:

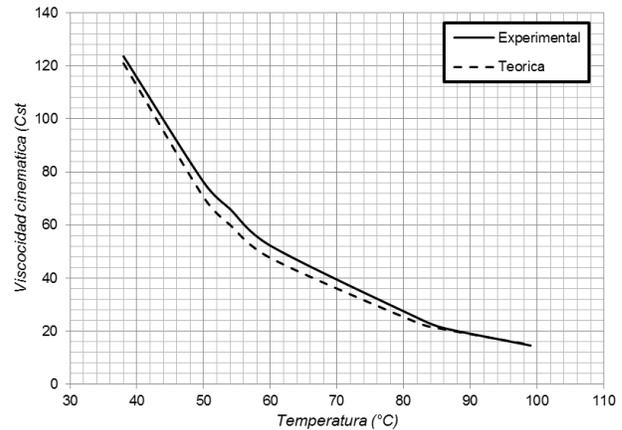


Figura 2. Viscosidad Experimental y Teórica SAE 15W40

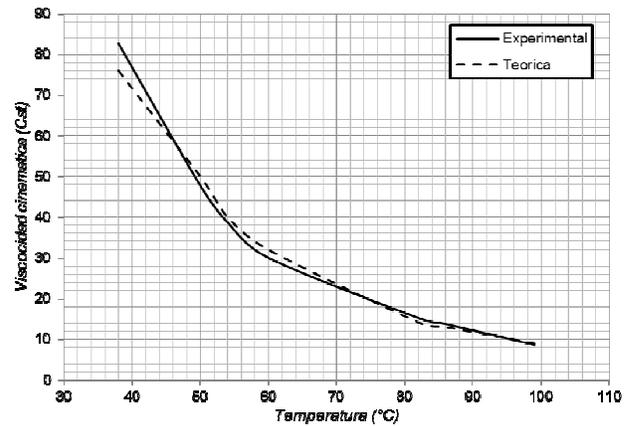


Figura 3. Viscosidad Experimental y Teórica ISO 68

IV. CONCLUSIONES

Por medio de la utilización del viscosímetro construido se pueden obtener medidas de viscosidad cinemática de diferentes tipos de lubricantes a diferentes temperaturas con errores menores al 10%. Los errores se deben en parte a la dificultad de fabricación de la probeta y boquillas para Viscosímetros Saybolt con dimensiones exactas requeridas por la ASTM con las tecnologías de fabricación disponibles en nuestro entorno. Estos errores son máximos cuando se utilizan aceites de naturaleza muy viscosa. Vale decir que el tiempo gastado en la medición de la viscosidad depende de la temperatura a la cual se desea realizar la prueba y del tipo de aceite a usar.

REFERENCIAS

[1] A.P. Machuca, J.A. Yepez, “Diseño y construcción de un Viscosímetro Saybolt con un sistema de control en

cascada”, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2010.

- [2] Standard Test Method for Saybolt Viscosity. ASTM D88-94. 2005.
- [3] D.Q. Kern, “Procesos de Transferencia de Calor”, 13th Ed., México D.F., México: Ed. Mc Graw Hill, 1999.
- [4] Standard Practice for Viscosity-Temperature Charts for Liquid Petroleum Products. ASTM D341 - 2009.
- [5] Standard Practice for Conversion of Kinematic Viscosity to Saybolt Universal Viscosity or to Saybolt Furol Viscosity. ASTM D2161 - 2010.