



# CONOCIMIENTO Y USO DEL VISCOSÍMETRO



Laboratorio de  
**ribología**

## **CONOCIMIENTO Y USO DEL VISCOSÍMETRO.**



Ilustración 81.- Viscosímetro.

### **OBJETIVOS**

- a) Comprender y describir con detalle el Viscosímetro BROOKFIELD DV-I PRIME
- b) Describir el funcionamiento del viscosímetro y sus parámetros de medición.
- c) Que el alumno aprenda a utilizar y montar el viscosímetro, además de la importancia que tiene.
- d) Familiarizarse con el concepto de viscosidad, y estudiar las propiedades viscosas de distintos fluidos.

### **INTRODUCCIÓN**

De todas las propiedades de los fluidos, la viscosidad requiere la mayor consideración en el estudio del flujo de los fluidos. La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se la aplica una fuerza externa: El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de resistencia, al deslizamiento o a sufrir

deformaciones internas. La melaza es un fluido muy viscoso en comparación con el agua.

La viscosidad es una manifestación del movimiento molecular dentro del fluido. Las moléculas de regiones con alta velocidad global chocan con las moléculas que se mueven con una velocidad global menor, y viceversa, estos choques permiten transportar cantidad de movimiento de una región de fluido a otra.

Los fluidos presentan diferentes propiedades que los distinguen, como la viscosidad, densidad, peso específico, volumen específico, presión, etc. Al analizar las distintas propiedades que poseen los fluidos, la viscosidad requiere la mayor consideración para el estudio de estos materiales; su naturaleza y características, así como las dimensiones y factores de conversión.

Los aceites presentan notables diferencias en su grado de viscosidad o fluidez, influyendo mucho estas diferencias en algunas de sus aplicaciones. El grado de viscosidad de los aceites tiene importancia en los aceites destinados a arder y los utilizados como

lubricantes. En los primeros influye la viscosidad de modo que los aceites fluidos ascienden fácilmente por capilaridad en las mechas de las lámparas, mientras que los muy viscoso o poco fluidos requieren disposiciones especiales para conseguir que llegue a la llama en la unidad de tiempo suficiente cantidad de combustible. Cuando se emplea aceites como lubricantes, la materia grasa debe tener consistencia apropiada para impedir el contacto inmediato de las superficies que frotan entre sí impidiendo con ello se desgaste; para lograr esto conviene que la materia grasa no sea demasiado fluida ni tampoco demasiado viscosa.

La clasificación de los aceites atendiendo a su velocidad, generan en la etiqueta de los envases una serie de siglas, acompañados por unos dígitos, identificando el grado de viscosidad del lubricante, qué se refiere a su temperatura sin añadir datos alguno de sobre atrás apreciaciones o condiciones. El índice de viscosidad representa la tendencia más o menos que se espera a medida que se enfriá o se calienta. Los aceites multigrados con base sintéticos se obtienen haciendo una mezcla de aceites de síntesis de baja graduación SAE y de aceites mineral de altas viscosidad.

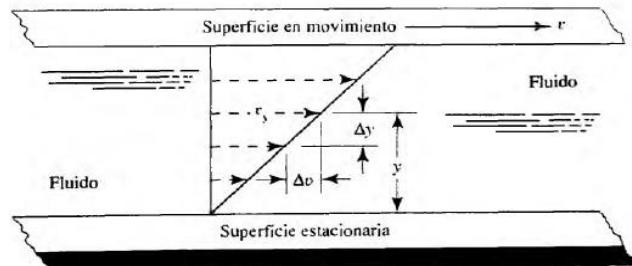
La Organización de Estandarización Internacional (**ISO**), estableció su ordenación para los lubricantes de aplicación industrial, o a la Sociedad de Ingenieros de Automoción -Society of Automotive Engineers- (**SAE**) de los Estados Unidos, creó su escala de denominación para definir rangos de viscosidad en los lubricantes de automóviles.

## MARCO TEORICO

El concepto de viscosidad nació con Newton, cuando en su obra "Philosophiae Naturalis. Principia Mathematica" afirmó que la resistencia ejercida, y que surge a partir de una falta en el deslizamiento de un fluido, si el resto de los factores se mantienen, es proporcional a la velocidad a la que las partes de un fluido son separadas entre sí. Conforme un fluido se mueve, dentro de él se desarrolla un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define al esfuerzo cortante, detonado con la letra griega  $\tau$  (tau), como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra. Entonces,  $\tau$  es una fuerza dividida entre un área, y se mide en las unidades de N/m<sup>2</sup>(Pa) o lb/ pie<sup>2</sup>. En fluidos como el agua, el alcohol u otros

líquidos comunes, la magnitud del esfuerzo cortante es directamente proporcional al cambio de velocidad entre las posiciones diferentes del fluido. En la ilustración se muestra el concepto de cambio de velocidad en un fluido con el esquema de una capa delgada de fluido entre dos superficies, una de las cuales es estacionaria, en tanto que la otra está en movimiento.

Una condición fundamental, cuando un fluido real está en contacto con una superficie de frontera, es que el fluido tenga la misma velocidad que ésta. Entonces en la figura la parte del fluido en contacto con la superficie inferior tiene una velocidad igual a cero, y aquella en contacto con la superficie superior tiene una velocidad  $v$ . Si la distancia entre las dos superficies es pequeña, entonces la tasa de cambio de velocidad con posición  $y$  es lineal. Es decir, varía en forma lineal. El *gradiente de velocidad* es una medida del cambio de velocidad, y se define como  $\Delta v / \Delta y$ . También se le denomina *tasa cortante*.



**Ilustración 82.- Gradiente de velocidad de un Fluido.**

El hecho de que el esfuerzo cortante en el fluido sea directamente proporcional al gradiente de velocidad se enuncia en forma matemática así:

$$\tau = \eta (\Delta v / \Delta y)$$

Donde a la constante de proporcionalidad  $\eta$  (letra eta, en griego) se le denomina viscosidad dinámica del fluido. En ocasiones se emplea el término *viscosidad absoluta*.

Para expresar la viscosidad empleamos varios sistemas de unidades diferentes. Las más usuales son las siguientes

$$\eta = \frac{N}{m^2} \times \frac{m}{m/s} = \frac{N.s}{m^2} = Pa.s \text{ ó } \eta = N \times \frac{s}{m^2} = \frac{kg}{m.s}$$

Para diversas publicaciones se utilizan las unidades del poise o el centipoise, estas forman parte del sistema CGS.

Sistema de unidades	Unidades para la viscosidad dinámica.
Sistema Internacional (SI)	$\frac{N \cdot s}{m^2}$ , $Pa \cdot s$ o $\frac{kg}{m \cdot s}$
Sistema Tradicional de Estados Unidos	$\frac{lb \cdot s}{pie^2}$ o $\frac{slug}{pie \cdot s}$
Sistema CGS (obsoleto)	$poise = \frac{dina \cdot s}{cm^2} = \frac{g}{cm \cdot s} = 0.1 Pa \cdot s$ $Centipoise = \frac{poise}{100} = 0.001 Pa \cdot s$ $s = 0.1 mPa \cdot s$

Tabla 6.- Unidades para la viscosidad dinámica (Poises).

Muchos cálculos de la dinámica de fluidos involucran la razón de la viscosidad dinámica en la densidad del fluido. Por conveniencia, la viscosidad cinemática  $\nu$  (letra nu, en griego) se define como:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Debido a que  $\eta$  y  $\rho$  son propiedades del fluido,  $\nu$  también es una propiedad. Las unidades para la viscosidad cinemática en el SI es  $m^2/s$ , en la siguiente tabla se muestran los tres sistemas más empleados, pero para cuestión de publicaciones se usan las unidades de Stokes y centistoke.

Sistema de unidades	Unidades para la viscosidad dinámica.
Sistema Internacional (SI)	$m^2/s$
Sistema Tradicional de Estados Unidos	$pie^2/s$
Sistema CGS (obsoleto)	$stoke = \frac{cm^2}{s} = 1 * 10^{-4} \frac{m^2}{s}$ $centistoke = \frac{stoke}{100} = 1 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} = \frac{1 mm^2}{s}$

Tabla 7.- Unidades para la viscosidad dinámica (Stokes).

Es importante saber si un fluido es newtoniano o no newtoniano. A cualquier fluido que se comporte de acuerdo con la ecuación  $\tau = \eta(\Delta\nu/\Delta y)$  se le llama fluido newtoniano.

La viscosidad  $\eta$  solo es función de la condición del fluido, en particular de su temperatura. La magnitud del gradiente de velocidad  $\Delta\nu/\Delta y$  no tiene ningún efecto sobre la magnitud  $\eta$ .

Los fluidos más comunes como el agua, aceite, gasolina, alcohol, keroseno, benceno y glicerina, se le clasifica como newtonianos. A la inversa, un fluido que no se comporte de acuerdo con la ecuación  $\tau = \eta(\Delta\nu/\Delta y)$  se le denomina no newtoniano. La viscosidad del fluido no newtoniano depende del gradiente de velocidad, además de la condición del fluido.

La variación de la viscosidad depende de la temperatura, es decir, conforme aumenta la temperatura del aceite, su viscosidad disminuye en forma notable.

El índice de viscosidad de un fluido (en ocasiones conocido como VI) nos indica cuánto cambia esta con la temperatura. Es especialmente útil cuando se trabaja con aceites lubricantes y fluidos hidráulicos utilizados en equipos que deben operar a extremos amplios de 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.*

El índice de viscosidad está determinado por la medición de la viscosidad cinemática de la muestra de fluido a 40 °C y a 100 °C (104 °F y 212 °F), y con la comparación de estos valores con los de ciertos fluidos de referencia a los que se asignó valores VI de 0 y 100. 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 (Todos los valores de viscosidad cinemática tienen la unidad de  $mm^2/s$ ):

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

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 210 °C tiene la misma viscosidad que el aceite de prueba.

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 fluidos diferentes. ASTM International produce estándares para medir y reportar mediciones de viscosidad.

## VISCOSÍMETRO DE TAMBOR ROTATORIO

Mide la viscosidad por medio de la definición de viscosidad dinámica que se da en la ecuación y que puede escribirse

$$\eta = \tau(\Delta v / \Delta y)$$

El recipiente exterior se mantiene estático mientras que el motor acoplado al medidor hace girar el tambor rotatorio. El espacio  $\Delta y$  entre el tambor rotatorio y el recipiente es pequeño. La parte del fluido que está en contacto con éste es estacionaria, mientras que el fluido en contacto con la superficie del tambor interior se mueve a una velocidad similar a dicha superficie. Por tanto, en el fluido se establece un gradiente de velocidad conocido  $\Delta v / \Delta y$ . La viscosidad del fluido ocasiona en él un esfuerzo cortante  $\tau$  que ejerce un torque de arrastre sobre el tambor rotatorio. El medidor detecta el arrastre e indica la viscosidad directamente en la pantalla analógica. Damos especial énfasis al fluido en contacto con la superficie inferior del tambor, porque su velocidad varía desde cero, en el centro, al valor más elevado, en el diámetro externo.

## VISCOSÍMETRO BROOKFIELD DV-I PRIME

El Viscosímetro Brookfield DV-I PRIME mide la viscosidad de fluidos en una proporción dada. El principio de operación del viscosímetro DV-I PRIME es manejar una aguja (la cual sumergida en el fluido de prueba) a través de un resorte calibrado. La resistencia viscosa del fluido en contra de la aguja es medida por la deformación del resorte. La deformación del resorte es medida con un transductor rotativo. Este sistema proporciona detección continua y muestra las medidas durante toda la prueba. El rango de medida de un viscosímetro DV-I PRIME (en centipoise o mmPa\*s) es determinado por la velocidad rotacional de la aguja, el tamaño y la forma, el contenedor de la aguja está rotando y el torque a la escala completa del resorte calibrado. Todas las unidades de medida son mostradas de acuerdo con los dos sistemas de unidades es decir el CGS o SI.

1.- La viscosidad aparece en unidades de centipoises (mostrado como "cP") o miliPascal-segundo

(mostrado como mPa-s) en la pantalla del viscosímetro DV-I PRIME.

2.- El torque aparece en unidades de dinas-cm o Newton-m (mostrado como "%" en ambos casos) en la pantalla del viscosímetro DV-I PRIME.

3.- La temperatura aparecerá en unidades de grados Celsius (mostrado como "C") o Fahrenheit (mostrado como "F") en la pantalla del viscosímetro DV-I PRIME. Sus unidades equivalentes se muestran en la siguiente tabla:

	SI	CGS
Viscosidad	1 mPa.s	1 cP
Torque	1 Newton·m	$10^7$ dina·cm

Tabla 8.- Conversiones de unidades

La serie básica del torque de resorte es la siguiente tabla

Torque del Resorte		
Modelo	Dina-cm	milliNewton-m
LVDV-I PRIME	673.70	0.0673

Tabla 9.- Especificaciones del torque del resorte

El viscosímetro DV-I PRIME está disponible con un sensor de temperatura el cual le permitirá obtener lecturas por encima del rango de -100 °C a +300 °C (-148 °F a +572 °F). Esta opción te permite medir la temperatura del ambiente o la temperatura de la muestra durante la prueba.

En la siguiente tabla se muestran los componentes que conforman el viscosímetro DV-I y sus especificaciones técnicas.

Componentes	Número de partes	Cantidad
Viscosímetro DV-I PRIME	Varias	1
Soporte para Laboratorio Modelo S	Modelo 2	1
Juego de agujas con estuche: LVDV-I PRIME Juego de seis agujas (#61 al #67)	SSL	1
Tapón de Montaje	B-30-3Y	
Cable de energía (115 V/230 V)	DVP-65/66	1
Protector de aguja LVDV-I PRIME	Varias B-20Y	1
Estuche	DVE- 106	1
Manual de Operación	M/07-022	1
Calcomanías de Torque	T005-1012	1
Sensor de temperatura RTD	DVP-94Y	1
Sujetador del sensor	DVE-50A	1
Requerimientos Técnicos		
Voltaje de Entrada:	115 V AC o 230 V AC	
Frecuencia de Entrada:	50/60 Hz	
Potencia de Consumo:	22 W	
Código de colores del cable:		
	Estados Unidos	Fuera de los Estados Unidos
Corriente (Vivo)	Negro	Marrón
Neutro	Blanco	Azul
Conexión a tierra	Verde	Verde/Amarillo

Tabla 10.- Especificaciones Viscosímetro DV-I PRIME

## DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES



Ilustración 83.- Componentes del Viscosímetro DV-I PRIME

## FUNCIONES DE TECLAS



Ilustración 84.- Tablero del viscosímetro DV-I PRIME.

La figura muestra las teclas de control de la carátula del Viscosímetro DV-I PRIME. En seguida se describen las funciones de cada tecla.



**FLECHA HACIA ARRIBA** Esta tecla es usada para desplazarse hacia arriba en el menú (la dirección incrementa un valor) a lo

largo de las velocidades disponibles o en la tabla de agujas.



**FLECHA HACIA ABAJO** Esta tecla es usada para desplazarse hacia abajo en el menú (la dirección disminuye un valor) a través de las velocidades disponibles o en la tabla de agujas.

**NOTA:** Presiona y mantén sostenida la tecla de la FLECHA HACIA ABAJO cuando enciendes el viscosímetro y cambiara las unidades de temperatura de °C a °F



**ENCENDIDO O APAGADO DEL MOTO (ON/OFF)** Para encender o apagar el motor.



### AJUSTE DE VELOCIDAD

Causa que el viscosímetro DV-I PRIME comience a funcionar correctamente en la velocidad seleccionada. Es usada para aplicar el tiempo en el Torque y ajustar el tiempo de paro de la prueba.



### AUTO RANGO/ENTRAR

La tecla auto rango presenta la máxima viscosidad alcanzable (Torque al 100%) conocida como máximo rango de escala, para la aguja o velocidad seleccionada. Esta característica es funcional cuando el motor está funcionando. La exactitud del viscosímetro es de 1 % del máximo valor de viscosidad (Torque al 100 %); el rango mínimo recomendado de viscosidad es de 10 % del máximo valor de viscosidad.

**Nota:** Presiona y mantén sostenida la tecla de AUTO RANGO, durante el encendido del viscosímetro y cambiarás las unidades de viscosidad entre CGS y SI.

**ENTER/ENTRAR:** Esta función es usada para entrar o aceptar parámetros en el Modo de Paro de Prueba.



### OPCION DE TEMPORIZADO

Es usada para seleccionar el modo de temporizado para medir la viscosidad, y seleccionar el modo de compensación de temperatura.



### SELECCIÓN DE AGUJA

Inicia la selección de la aguja con presionar una vez el botón y con las flechas avanzas a los diferentes tipos de agujas al presionar una segunda vez.

La tecla SELECT SPINDLE es usada para el tiempo del Torque y el tiempo de paro de prueba.



## IMPRESIÓN

Inicia el modo de impresión.

NUMERO	DESCRIPCIÓN
1	BARRA VERTICAL DE 14"
2	BASE INCLUYE DOS TORNILLOS NIVELADORES VS-3
3	TORNILLO NIVELADOR (Disponibles por separado o ensamblados)
4	TORNILLOS DE 5/16x1" HEX. 1/2
5	RONDANA PLANA
6	ABRAZADERA UNIVERSAL CON BUJES
7	TORNILLO ENGRANE
8	TORNILLO DE ABRAZADERA
9	CILINDRO PRISIONERO
10	ARANDELA DE MUELLE BELLEVILLE
11	TORNILLO PRISIONERO

Tabla 11.- Nombre de Componentes.

## PUESTA EN MARCHA

Para empezar a utilizar el viscosímetro lo primero que se tiene que realizar es la nivelación, para ello se muestra la siguiente ilustración y tabla en donde se muestran los componentes del soporte para laboratorio Modelo S.

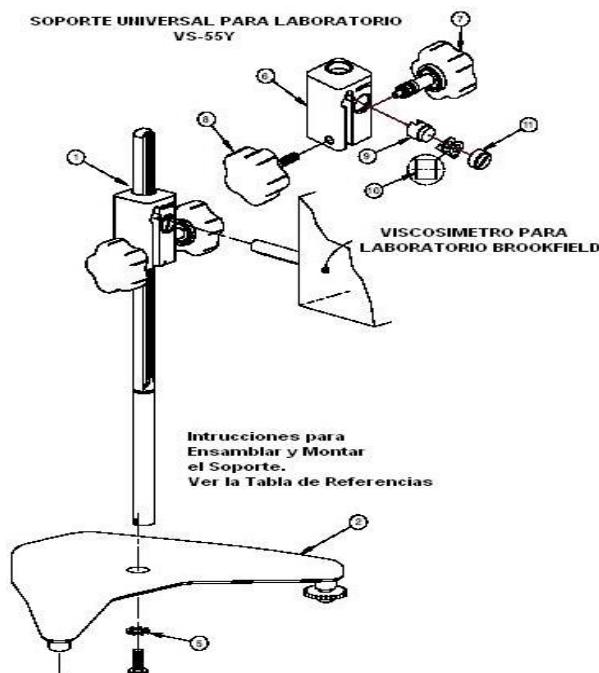


Ilustración 86.- Montaje de Soporte.

1.- Para montar el soporte para laboratorio modelo s, coloca la barra vertical dentro de la base. La cremallera y la abrazadera de ensamble deben quedar con la cara hacia el frente de la base. La barra vertical se mantiene en su lugar con un tornillo sujeto a la parte inferior de la base. Apretar este tornillo considerablemente.

2.- Debes estar seguro de que el tornillo de la abrazadera este flojo. Insertar la varilla de montaje que se encuentra en la parte posterior del viscosímetro DV-I PRIME, dentro del agujero de la abrazadera ensamblada.

3.- Apretar el tornillo de la abrazadera. Ajustar viscosímetro para que este tan cerca como sea posible mientras se aprieta el tornillo de la abrazadera.

4.- Conecte el sensor de temperatura RTD al puerto en la parte trasera del viscosímetro DV-I PRIME.



Ilustración 85.- Conexión Sensor de Temperatura.

5.- El viscosímetro debe estar a nivel. El nivel es ajustado usando los dos Tornillos de Nivelación (VS-3) en la base. Ajustar hasta que la burbuja de nivel que se encuentra en la parte superior del viscosímetro DV-I PRIME, este centrado dentro del círculo. Checar el nivel periódicamente durante su uso. Véase la ilustración



Ilustración 87.- Nivelación Viscosímetro.

6.- Asegurarse de que el interruptor que se encuentra en la parte posterior del viscosímetro DV-I PRIME, se encuentre en la posición de apagado (**OFF**). Conectar

el cable al tomacorriente, localizado en el panel trasero del instrumento y conéctalo a la línea apropiada de corriente alterna (115 V AC). Pon el interruptor en ON, para encenderlo.



Ilustración 88.- Botón encendido/apagado.

7.- Antes de que la lectura pueda ser tomada, el Viscosímetro debe ser autocensado. Esta acción es realizada cada vez que se enciende el instrumento como se muestra en la ilustración.

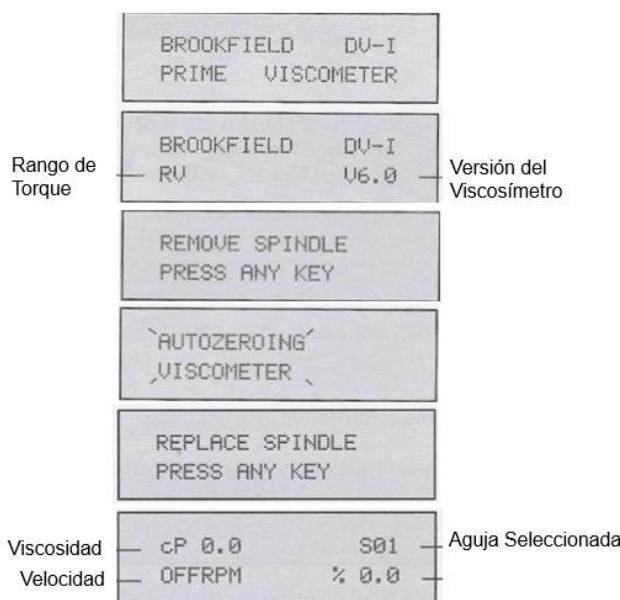


Ilustración 89.- Autocensado del Viscosímetro.

8.-Remover el tapón de montaje de la aguja girando hacia la izquierda.



Ilustración 90.- Tapón de Aguja.

9.- Seleccione la aguja con la cual se realizará la prueba de viscosidad, tomando en consideración la que produzca el mayor porcentaje de torque y velocidad (el porcentaje de torque deberá estar entre el 10% y 100%).

Presione la tecla SELECT SPINDLE y seleccione la aguja con las teclas de arriba o abajo y visualice en el display la aguja, presione nuevamente SELECT SPINDLE para guardar el número de aguja seleccionada.



Ilustración 91.- Selección de aguja.

10.- Colocar 600 ml en un vaso de precipitado de líquido al cual se le medirá la viscosidad, antes de colocar la aguja, introducirla de forma inclinada en el fluido y después atornillar presionando hacia arriba y girándola hacia la izquierda.



Ilustración 92.- Colocación de Aguja.

11.- Colocar el vaso de precipitado de forma que quede centrada la aguja y el líquido alcance el nivel de la muesca.



Ilustración 93.- Nivel de Líquido.

12.- Seleccionar la velocidad con el botón SET SPEED, con las flechas modificar la velocidad a un valor con el cual se iniciará la prueba.

13.- Presione el botón MOTOR ON/OFF para encender el motor, después verificar las lecturas de porcentaje del torque que sean las adecuadas.

14.- Si los valores de torque no se encuentran entre el 10% y 100% modificar la velocidad como se indica en el paso 12. Si no se logra estar en los rangos, parar motor presionando MOTOR ON/OFF y cambiar aguja.

## **SELECCIÓN DE LA AGUJA Y VELOCIDAD**

El proceso para la selección de una aguja y velocidad para un fluido desconocido es normalmente a prueba y error. Una selección apropiada resultara en una medición hecha entre 10 y 100 % de la escala de torque del instrumento. Dos reglas generales que te ayudaran en el proceso de prueba y error.

1.- El rango de viscosidad es inversamente proporcional al tamaño de la aguja.

2.- El rango de viscosidad es inversamente proporcional a la velocidad de rotación.

En otras palabras: para medir una viscosidad alta, se debe seleccionar una aguja pequeña y/o una velocidad pequeña. Si se selecciona una aguja y velocidad que resulte en una lectura por encima del 100 %, entonces reduce la velocidad o selecciona una aguja más pequeña.

La experimentación puede demostrar que la combinación de diferentes agujas y velocidades producirá resultados satisfactorios entre 10 – 100 %. Cuando ocurren estas circunstancias, cualquiera de las agujas puede ser seleccionada.

## **REFERENCIAS**

Manual del viscosímetro

Viscosímetro (Guía Operativa)

Mecánica de Fluidos, Roberto L. Mott, Sexta Edición