

Construcción de un viscosímetro Saybolt Universal

Ruby Eneida Maza Zuleta; Rodrigo Alonso Palacio Osorio; Hernán de Jesús Restrepo Estrada
Tecnólogos Mecánicos – Instituto Tecnológico Pascual Bravo.
Integrantes del Semillero de Investigación en Gestión de Mantenimiento de Lubricantes, ITPB.

Resumen

Este artículo se refiere a la construcción y experimentación con un Viscosímetro Saybolt Universal para medir la viscosidad de aceites lubricantes usados y nuevos bajo la norma ASTM D88; el cual fue desarrollado con materiales y tecnología colombiana por estudiantes de Tecnología Mecánica pertenecientes al Semillero de Investigación en "Gestión de Mantenimiento de Lubricantes" del Instituto Tecnológico Pascual Bravo (ITPB) cuyo Director fue el Especialista en Gerencia de Mantenimiento William Orozco Murillo, entre los años 2002 al 2004.

En reconocimiento al aporte generado por los estudiantes, el Tecnológico otorgó a este proyecto el reconocimiento académico a la Investigación Formativa Estudiantil, en la modalidad moción de felicitación en el año 2004.

Palabras Clave. *Viscosímetro Saybolt Universal, Viscosidad absoluta, Viscosidad cinemática, Semillero de investigación*

Abstract

This article talks about to the construction and experimentation of Universal a Saybolt Viscometer to measure the used and new lubricating oil viscosity under norm ASTM D88; which was developed with materials and Colombian technology by students of Mechanical Technology pertaining to the Seed plot of Investigation in «Management of Maintenance of Lubricants» of the Technological Institute Pascual Bravo, whose Director was the Specialist in Management of Maintenance William Orozco Murillo, between years 2002 to 2004.

In recognition to the contribution generated by the students, the Technological one granted to him to this project in 2004, academic recognition to the student formative investigation in the modality Motion of Congratulation.

Key Words. *Universal Saybolt viscometer, absolute Viscosity, Kinematic viscosity, Seed plot of investigation*

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Tecnológico Pascual Bravo coherente con la necesidad de implementar desarrollos especializados en el estudio y en el análisis del comportamiento de los aceites lubricantes; opta por liderar con los estudiantes de los últimos semestres, proyectos con énfasis en el diseño y construcción de equipos.

Este grupo decidió aceptar el reto y aportar al Programa de Mecánica, un equipo llamado «Viscosímetro Saybolt Universal», el cual se construyó siguiendo los procedimientos determinados en las normas ASTM (American Society For Testing And Materials) dona a este programa el equipo en muestra de agradecimiento para con la institución; demostrando con esto, no sólo el empuje que se preserva en los graduandos sino también la capacidad de éstos para desempeñarse en el campo laboral.

Se espera que este trabajo sea el inicio en la dotación para un laboratorio de análisis de lubricantes mostrando que los egresados han apropiado los conocimientos y las habilidades suficientes que requiere un tecnólogo para afrontar los retos que le impone la sociedad.

II. VISCOSIDAD: IMPORTANCIA

En la actualidad se persigue como un objetivo básico, el incremento del tiempo de explotación de los elementos de una máquina, lo que se alcanza con un diseño, montaje y explotación adecuados. Dentro de las condiciones de trabajo de los equipos juega un papel vital la lubricación, con el fin de evitar el contacto metal-metal de las superficies, lo que hace que disminuya la fricción, el desgaste, las pérdidas de energía y se incremente la vida útil de dichos elementos.

Sin el empleo de un lubricante entre dos superficies que se desplazan en movimiento relativo, la una con respecto a la otra, sería imposible mantener una máquina en movimiento por mucho tiempo, llegando a soldarse todos los elementos que la constituyen y convirtiéndola en un montón de chatarra en unos cuantos minutos,

Cualquier sustancia que se coloque entre estas superficies, con el fin de disminuir la fricción, se

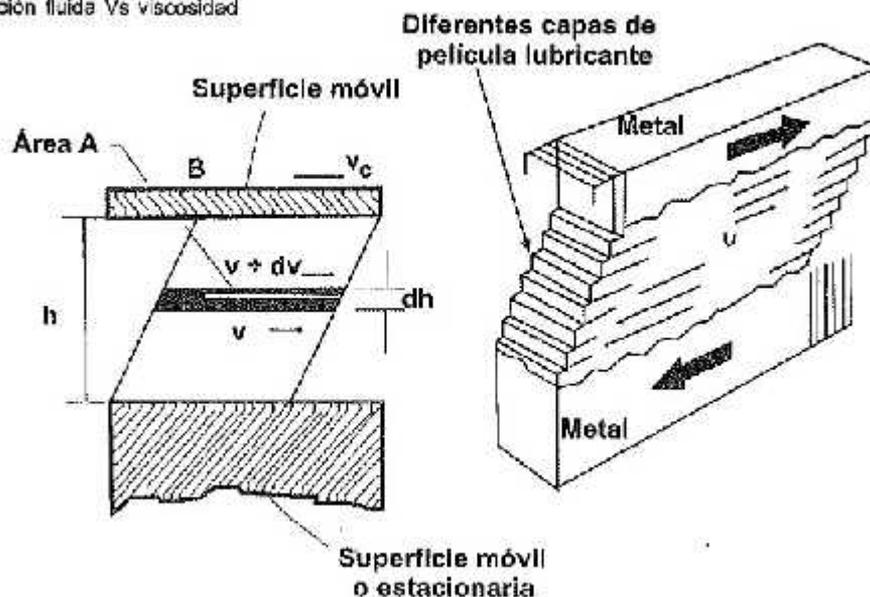
denomina lubricante, el cual ayuda también a evacuar el calor generado. La función básica de un lubricante es mantener completamente separadas dos superficies en movimiento, de tal forma que el único rozamiento que se presente sea entre las diferentes capas que conforman la película lubricante y que se conoce como **fricción fluida**.

Viscosidad. "Es la propiedad más importante que tienen los aceites y se define como la resistencia de un fluido a fluir. Es un factor determinante en la formación de la película lubricante"

La viscosidad es una propiedad que depende de la presión y temperatura y se define como el cociente resultante de la división de la tensión de cizallamiento por el gradiente de velocidad(D). Afecta la generación de calor entre superficies giratorias (cojinetes, cilindros, engranajes). Tiene que ver con el efecto sellante del aceite, determina la facilidad con que la maquinaria arranca bajo condiciones de baja temperatura ambiente.

El concepto básico de viscosidad se muestra a continuación, donde un componente rectangular es deslizado a velocidad uniforme sobre una película de aceite.

Figura 1. Fricción fluida Vs viscosidad



*Fuente: Distribuidora MARSAL & COMPAÑIA Ltda. Catálogo de productos técnicas

El aceite se adhiere tanto a la superficie en movimiento como a la superficie estacionaria. El aceite en contacto con la superficie en movimiento se desliza con la misma velocidad (U) de la superficie, mientras que el aceite en contacto con la superficie estacionaria tiene velocidad cero. La película de aceite puede visualizarse como una serie de capas de aceite que se deslizan a una fracción de la velocidad U , la cual es proporcional a la distancia desde la superficie estacionaria.

Una fuerza F debe ser aplicada a la superficie en movimiento para contrarrestar la fricción entre las capas de fluido. Como la fricción es el resultado de la viscosidad, la fuerza es proporcional a la viscosidad. **La viscosidad puede ser determinada midiendo la fuerza requerida para contrarrestar la fricción fluida en una película de dimensiones conocidas.**

La viscosidad determinada de esta manera se llama viscosidad dinámica o absoluta. Su unidad de medida es el poise (p) o centipoise (cp) o en unidades de SI en pascal segundos (Pas); $1 Pas = 10 p$.

Viscosidades dinámicas son función solamente de la fricción interna del fluido.

La viscosidad de cualquier fluido cambia con la temperatura, incrementa a medida que la temperatura disminuye y disminuye a medida que la temperatura aumenta. Por consiguiente, es necesario determinar las viscosidades de un aceite lubricante a temperaturas diferentes.

"Esto se logra midiendo la viscosidad a dos temperaturas de referencia y utilizando una gráfica de viscosidad (desarrollada por la ASTM). Una vez indicadas las viscosidades medidas se unen los puntos. De esta manera, puede determinarse con gran precisión las viscosidades a otras temperaturas. Las dos temperaturas de referencia son $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ".

Una vez seleccionado el aceite para la aplicación, la viscosidad debe ser lo suficientemente alta para garantizar una película lubricante pero no tan alta que la fricción fluida sea excesiva.

La viscosidad cinemática de un fluido es el cociente entre su viscosidad dinámica y su densidad, ambas medidas a la misma temperatura.

Sus unidades son Stokes (st) o centistokes (cst), o en unidades del SI milímetros cuadrados por segundos. ($mm^2/s = 1cst$)

La determinación directa de esta viscosidad absoluta es difícil, y para fines prácticos la industria petrolera encuentra satisfactorio tomar como medida de la viscosidad el lapso de tiempo necesario para que una cantidad determinada de aceite fluya por un tubo capilar calibrado. Estas medidas se toman usando diversos instrumentos llamados viscosímetros. El tipo comúnmente usado en los Estados Unidos para efectuar estas medidas prácticas es el llamado Saybolt Universal (ASTM D 88).

La viscosidad de un aceite se puede dar en algunas de las siguientes unidades, a una temperatura estándar de referencia específica ASTM para los aceites industriales derivados del petróleo.

- Segundos Saybolt Universal (SUS).
- Segundos Saybolt Furol (SSF).
- Centistoke (Cst).
- Segundos Redwood Nro. 1 (S.R. No. 1), Universal.
- Segundos Redwood Nro. 2 (S.R. No. 2), Admiralty.
- Grados Engler ($^{\circ}\text{E}$).

III. MÉTODOS O PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR VISCOSIDAD MÁS USADOS

A. Viscosidad Saybolt de asfaltos INVE 714

Este método se refiere a los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $99\text{ }^{\circ}\text{C}$ (70 y $210\text{ }^{\circ}\text{F}$). Se incluye un procedimiento especial para productos parafinados.

Nota. Los métodos INVE 715 y ASTM D 445 se prefieren para determinar la viscosidad cinemática. Ellos requieren muestras más pequeñas, menor tiempo de ejecución y proporcionan mayor precisión. La viscosidad cinemática puede convertirse a Saybolt

¹ASTM. Edición previa original Nomenclatura D 445 - 37T. Last Previous edition D 445 - 97. Annual Book of ASTM Standards. Cuarta edición, Volumen 05.01. Publicado en marzo de 2001.

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.

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.

B. Viscosidad Saybolt Universal

Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 mililitros de muestras 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.

C. Viscosidad Saybolt Furol

Es el tiempo en segundos, corregidos 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).

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 s.

En la tabla 1 se puede observar los métodos para medir la viscosidad de un aceite más comunes y la temperatura de referencia.

Tabla 1. Viscosímetros empleados en lubricación y sus temperaturas de referencia

Viscosímetro	Unidades	Temperatura de Referencia	Especificación	Países Donde se utiliza	Características
Saybolt Universal	Segundos (S.U.S.) 210°F	100° F 130° F	Tiempo de escape de 80 cm ³ de aceite	Estados Unidos	Tubo cilíndrico con un orificio de unas dimensiones específicas
Saybolt Furol	Segundos (S.S.F.) 130° F	100° F 210° F	Tiempo de escape de 60 cm ³ de aceite	Estados Unidos	Tubo cilíndrico con un orificio de salida más grande que el Saybolt.
Ostwald	Centistoke (cSt)	40° C 100° C	Tiempo en segundos que demora en fluir por un tubo capilar un volumen específico de aceite. En Centistoke es igual al tiempo en segundos por la constante del viscosímetro.	Estados Unidos	Tubo capilar con 3 bulbos
Reitwood N° 1	Segundos (S.R. N°1)	70° F 140° F 200° F	Tiempo de escape de 50 cm ³ de aceite.	Inglaterra	Tubo cilíndrico con un orificio de salida de 10 mm de diámetro
Reitwood N° 2	Segundos (S.R. N°2)	70° F 140° F 200° F	Tiempo de escape de 50 cm ³ de aceite.	Inglaterra	Tubo cilíndrico con un orificio de salida de 50 mm de longitud y 3.80 mm de diámetro.
Engler	Grados (°E)	20° C 38° C 50° C 100° C	Tiempo de escape de 200 cm ³ de aceite a la temperatura de prueba (20°C, 38°C, etc.), dividido entre el tiempo de escape de 200 cm de agua a 20° C.	Europa Continental	Tubo cilíndrico con un orificio de salida de 20 mm de longitud y de 2.8 a 2.9 mm de diámetro.

IV. RESULTADOS DEL PROYECTO

Viscosímetro Saybolt Universal construido en el ITPB

En la fabricación del viscosímetro Saybolt Universal se utilizaron diversos materiales; teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ASTM D88 y D445.

Estructura metálica: Esta se diseña de acuerdo al peso y tamaño de los elementos que va a soportar, está construida con tubería cuadrada de acero de bajo carbono de 1" en calibre 1/8" unida por soldadura 6011.

Tanque: Está elaborado en lámina de acero inoxidable 304 de 1/8" con una capacidad de dos galones de aceite para el baño. Se encuentra en la parte superior de la estructura y dentro de este se hallan los tubos de ensayo, la termocupla, el agitador y las resistencias.

Tubos de ensayo: Están fabricados en bronce fosforado, en estos se vierten los aceites para la prueba.

Boquillas: Están unidas a los tubos de ensayo por montaje roscado; fabricadas igualmente en bronce fosforado.

Motor agitador: Está compuesto de un motor General Electric que gira a 1500 RPM con un acople en aluminio donde está ensamblado un agitador en acero inoxidable, el cual mueve el aceite del baño que se encuentra en el tanque para homogenizar su temperatura.

Resistencias: Son de tipo electrodo las cuales se sujetan a la tapa del tanque.

Tapa del tanque: Está elaborada en madera, soporta las resistencias, el motor agitador y la termocupla.

Termocupla: Es de tipo J y se encarga de sensar la temperatura en el baño de aceite.

Lámpara: Es una lámpara fluorescente ubicada en la parte media de la estructura, su finalidad es iluminar la zona de pruebas para facilitar la medición.

Matraz: Se utilizan matraz de 60 ml para recolección de la prueba. Este es un recipiente de vidrio.

Selectores de muletilla: Se utiliza uno para energización general y el otro para encendido y apagado del equipo.

Cronómetro: Con este se hace la medición del tiempo en segundos que demora la muestra en pasar a través del orificio calibrado.

Pirómetro: Este elemento recibe el dato de temperatura enviado por la termocupla para así regular y mantener una temperatura estable de 100 ° C en el baño de aceite.

Lámpara de energización: Esta indica que hay energía en el circuito.

Guarda: Esta conformada en lámina galvanizada calibre 20 en la que se encuentran fijados el cronómetro, el pirómetro, la lámpara de energización y los selectores de muletillas.

Figura 2. Partes del viscosímetro



Funcionamiento Básico del Viscosímetro Saybolt Universal

Al girar el selector de energización, una luz verde señala la existencia de energía en el circuito. Luego, girando el selector off/on hacia esta última posición se inicia el movimiento del motor agitador al igual que el calentamiento de las resistencias para alcanzar la temperatura indicada de 100 ° C en el baño de aceite.

Encendido/apagado: Mientras el equipo esta apagado los dos selectores se encuentran en su posición inicial hacia el lado izquierdo. Cuando el equipo está encendido ambos deben estar hacia el lado derecho y la lámpara de energización está encendida.

El controlador de temperatura (pirómetro) se enciende también con el selector off/on, registrando el incremento de temperatura grado a grado hasta llegar a la indicada de 100 ° C, para mantenerla así durante el tiempo que dure la prueba.

El cronómetro está encendido permanentemente, sólo registra tiempos cuando se presiona la tecla D ó tecla start/stop. Para regresar el cronómetro a ceros, es necesario presionar la tecla S ó tecla reset.

Parámetros utilizados en las pruebas del Viscosímetro

Como parte de los resultados del proyecto se realizaron pruebas de ensayo del equipo y del

procedimiento para la toma de muestras con aceites nuevos y usados.

Pruebas con aceites nuevos. Para esta prueba se utilizan aceites SAE 20W50 (Hellix, Shell para motor), Mincroil hidráulico ISO 46 y un Spirax 80w90 Shell para transmisión (Tabla 2).

Con el grado del aceite se entra a la Tabla 3, donde se ubica el grado SAE correspondiente del aceite y la viscosidad en Centistokes a 100° C; así se obtiene la viscosidad de dicho aceite, luego utilizando los valores de la viscosidad en Cst se va a la tabla de Sistemas de viscosidades y se obtiene en SUS (Columna 1) tabla 2.

Para elaborar la segunda columna de la tabla 2 de la viscosidad de prueba se llevaron muestras de los mismos aceites al laboratorio de crudos y derivados de la Universidad Nacional para obtener una viscosidad patrón.

En la columna tres, se ingresan los valores de viscosidad obtenidos en las pruebas con el viscosímetro construido obteniendo así la viscosidad del aceite.

Siguiendo el procedimiento anterior se construyó la tabla de pruebas para cada uno de los aceites.

Análisis de resultados de la prueba para los aceites nuevos: Para obtener la viscosidad del aceite SAE 20W50, por pruebas se hizo un promedio de las

Tabla 2. Resultados de pruebas con aceites nuevos

Nro. De prueba	VISCOSIDAD por tabla SUS	VISCOSIDAD patrón SUS	VISCOSIDAD de prueba SUS	Tipo de aceite nuevo
1	70 - 85	101.99	116.44	Shell - Hellix 20W50
2	70 - 85	101.99	113.03	113.98
3	70 - 85	101.99	112.47	Promedio de prueba
4	45 - 50	-	58	Mineroil Hidráulico ISO 46
5	45 - 50	-	58.03	58.01 Promedio de prueba
6	55 - 75	-	98	Spirax 80W90 Shell transmisión
7	55 - 75	-	97	97.5 Promedio de prueba

Tabla 3. Clasificación de los aceites multigrados

Grado SAE	Límite de viscosidad en Centistokes			
	CSt +40°C Mínimo	CSt +40°C Máximo	CSt +100°C Mínimo	CSt +100°C Máximo
5W40	100	120	16,3	19,7
10W30	60	70	9,3	13,7
15W40	90	110	13,7	16,3
15W50	120	130	16,3	19,7
20W20	61	69	5,6	9,3
20W30	90	110	9,3	13,7
20W40	120	130	13,7	16,3
20W50	150	182	16,3	19,7

Fuente: ALBARRACINAGUILLÓN, Pedro Ramón. Lubricación industrial y automotriz. Volumen 1. Medellín: Copiservicio. 1993. p 77.

viscosidades obtenidas en las tres pruebas (ver tabla 2) cuyo valor es de 113,98 SUS.

Comparando este valor con el valor de 77,5 SUS por tabla y con la viscosidad patrón se encuentra una diferencia de 36,48 SUS y 11,99 SUS respectivamente, lo que significa que:

El nivel de precisión del viscosímetro construido es de 89,5 %, lo que indica que este viscosímetro es bastante confiable porque solo difiere en 10,5 %, con el ideal teniendo en cuenta que es un viscosímetro construido con materiales y tecnología Colombiana.

Para obtener la viscosidad de los otros aceites se sigue el mismo procedimiento.

Pruebas con aceites usados. Para esta prueba es necesario patronar el viscosímetro construido con el de la Universidad Nacional para verificar el nivel de precisión de éste.

Para esta prueba se sigue el procedimiento indicado en el numeral 6 de la norma ASTM D88 y ASTM D445.

El aceite analizado tiene las siguientes especificaciones: SAE 20W50 Hellix, Shell para motor.

Los resultados de prueba se aprecian en la tabla 3.

La diferencia con el valor por tabla fue de 29,61 SUS y la diferencia patrón 22,0 SUS.

Comparando el nivel de precisión del viscosímetro construido versus el patrón se obtuvo que fue de 79,5 %, lo que indica que este viscosímetro es lo bastante confiable porque solo difiere con éste en 20,5%.

Nota: Se pueden realizar pruebas de viscosidad a cualquier tipo de aceite, siempre y cuando se tengan los valores de viscosidad referenciados en los catálogos de fabricación o de distribución.

Tabla 4. Resultados de prueba con aceites usados

Nro. de prueba	Viscosidad por tabla SUS	Viscosidad patrón SUS	Viscosidad de prueba SUS	Tipo de aceite usado
1	70 - 85	85.11	115.97	Shell - Hellix 20W50
2	70 - 85	85.11	95.65	
3	70 - 85	85.11	109.71	107.11 Promedio de prueba

V. CONCLUSIONES

- El viscosímetro servirá como referencia y apoyo para la realización de nuevos proyectos de grado y de investigación en lo concerniente a lubricantes para el semillero.
- El proyecto contribuyó a que los estudiantes del semillero de investigación en gestión de mantenimiento de lubricantes adquirieran conocimientos en la investigación formativa promovida por la institución.
- El viscosímetro es de gran impacto ambiental, ya que colaborará con la disminución de la contaminación causada por el desecho de los lubricantes usados, puesto que permitirá el aumento de la vida útil del lubricante al poderse tomar las acciones de mantenimiento preventivo, si se detecta una variación de su viscosidad.
- Este tecnofacto tiene grandes posibilidades de mercado tanto en instituciones de educación, como en entidades dedicadas al suministro, preparación y comercialización de lubricantes por los beneficios que presta y por su bajo costo.
- A través de este proyecto se podrá dar comienzo a la implementación del laboratorio en gestión de mantenimiento de lubricantes promovido por el semillero y la línea de investigación para el Pascual Bravo.

RECOMENDACIONES

- Utilizar para el baño, aceite térmico referencia Tersol 15.
- Verifíquese que los cilindros, boquillas y el matraz se encuentren limpios antes de comenzar las pruebas.
- La temperatura de trabajo al momento de cada una de las pruebas que se realicen, debe encontrarse entre los 97 ° C y los 101 ° C; observar el indicador con cierta frecuencia.

- Verificar que el nivel de aceite para el baño se encuentre en la mitad de la copa del viscosímetro según se ilustra en la norma.
- Revisar que antes de cada prueba los viscosímetros estén completamente limpios y sin rastros de polvo o partículas de otros materiales.
- Para cada prueba se debe poner el cronómetro en ceros.
- Después de cada prueba se deben lavar los viscosímetros con disolvente (varsol).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Ingeniero Mecánico Bonnel Mejía por su colaboración para la ejecución de este proyecto.

Referencias

1. ALBARRACIN AGUILLÓN, Pedro Ramón. Lubricación industrial y automotriz. Volumen 1. Medellín: Copiservicio. 1985. 263 p.
2. ASTM. Edición previa original Norma D 445 - 37T. Last Previous edition D 445 - 97. Annual Book of ASTM Standards. Cuarta edición, Volumen 05.01. Publicada en Marzo de 2001.
3. Catálogo de la Movil de descripción de productos. 3ª Edición, Bogotá: Movil de Colombia S.A. 2000. 30 p.
4. DEL HIERRO, Eduardo. Catálogo ESSO Standard Oil Company USA. Colombia; 2002. 83 p.
5. K. TROJAN, Richard y HINN Paul. Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones. 3ª Edición, México: Mc Graw Hill. 1998. 742 p.
6. NORMAS DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS. Tomo 3. Santa Fe de Bogotá: Impreandes. 1998. 750 p.