



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Puesta a punto del equipo viscosímetro del laboratorio optimización de producción & recobro mejorado centro de innovación y tecnología (ICP).

AUTORES

Julian Armando Gomez Castellanos - 1098785056

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BUCARAMANGA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 09-12-2019**



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Puesta a punto del equipo viscosímetro del laboratorio optimización de producción & recobro mejorado centro de innovación y tecnología (ICP).

AUTORES

Julian Armando Gomez Castellanos - 1098785056

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico.

DIRECTOR

Msc. Arly Darío Rincón Quintero

DIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BUCARAMANGA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 09-12-2019**

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado vida y salud para poder llegar a este momento tan importante en mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, a pesar de nuestro distanciamiento siento que estás conmigo siempre, aunque nos faltaron cosas por vivir juntos, sé que te sientes orgulloso a pesar que no lo digas. A mi tía Maritza que la quiero como una madre, por compartir momentos significativos conmigo y ayudarme académicamente cuando lo requerí. A mi prima Diana por acompañarme en mi formación académica y personal, apoyando económica y emocionalmente. A mi familia en general por su apoyo. A mis compañeros de carrera y vida que también están cumpliendo esta meta o están a punto de cumplirla Nicole Castillo, Jhon Pico, Juan Cáceres, Sthevens Sánchez y Sebastián Velasco.

Gracias a mi Institución, por haberme permitido formarme en ella, por facilitarme los medios para poder hacer parte del grupo del convenio con Ecopetrol. Gracias a todas las personas y profesores que fueron partícipes de manera directa o indirecta, fueron ustedes que el día de hoy se ve reflejada la culminación de mi paso por la institución.

Este es un momento muy especial que espero, perdurará en el tiempo, no solo en las mentes de las personas que agradecí, sino también a esos profesores e ingenieros que invirtieron su tiempo para apoyar y revisar este proyecto, a todas estas personas les agradezco mucho.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.4. ANTECEDENTES.....	13
2. MARCOS REFERENCIALES	15
2.1. VISCOSIDAD DE LOS FLUIDOS.....	15
2.1.1. LEY DE NEWTON DE LA VISCOSIDAD	15
2.1.2. VISCOSIDAD DINÁMICA	15
2.1.3. VISCOSIDAD CINÉTICA	16
2.1.4. VISCOSIDAD Y TEMPERATURA.....	16
2.1.5. VISCOSIDAD Y PRESIÓN.....	16
2.2. FACTORES QUE AFECTAN LA CONDUCTA REOLOGICA.....	17
2.2.1. TEMPERATURA	17
2.2.2. GRADIENTE DE VELOCIDAD.....	17
2.2.3. TIEMPO.....	17
2.2.4. CONDICIONES DE MEDIDA	18
2.3. TIPOS DE FLUIDOS	18
2.3.1. FLUIDOS NEWTONIANOS	18
2.3.2. FLUIDOS NO NEWTONIANOS	18
2.4. VISCOSÍMETROS	19
2.4.1. VISCOSÍMETRO DE TUBO CAPILAR	20
2.4.2. VISCOSÍMETROS ROTATORIOS.....	21
2.4.3. VISCOSÍMETROS EMPÍRICOS	22
2.4.4. VISCOSÍMETROS DE HOPPER	23
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	25
4. RESULTADOS	26
4.1. REVISIÓN Y DOCUMENTACIÓN EQUIPO VISCOSÍMETRO DE ACEITES PESADOS (HOV).....	26
4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE FUNCIONAMIENTO VISCOSÍMETRO DE ACEITES PESADOS (HOV).....	28

4.1.2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS/FÍSICAS.....	29
4.2.	DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO	29
4.2.1.	INVENTARIO DE PARTES Y ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL VISCOSÍMETRO (HOV)	29
4.2.2.	REVISIÓN DE PIEZAS FALTANTES Y/O DEFECTUOSAS	34
4.2.3.	FALLAS ADICIONALES DE COMPATIBILIDAD	34
4.3.	PROPUESTA DE ADECUACIÓN	38
4.3.1.	RECOMENDACIONES PARA PUESTA A PUNTO	38
4.3.2.	CALIBRACIÓN DEL VISCOSIMETRO (HOV)	38
4.3.3.	INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL VISCOSÍMETRO (HOV)	39
4.4.	EJECUCIÓN DE LA PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO VISCOSIMETRO, ARMANDO Y CONECTANDO LAS PARTES FALTANTES.	39
4.4.1.	LIMPIEZA DEL EQUIPO	39
4.4.2.	CONEXIÓN DEL HARDWARE DEL EQUIPO	40
4.4.3.	SINCRONIZACIÓN DEL SOFTWARE DEL EQUIPO	41
4.5.	PRUEBAS PRELIMINARES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO A TRAVÉS DEL SEGUIMIENTO A ENSAYOS CON MUESTRA EXPERIMENTAL	45
4.5.1.	PRUEBA NÚMERO UNO PATRÓN ESTÁNDAR	51
4.5.2.	PRUEBA NÚMERO DOS PATRÓN ESTÁNDAR	51
4.5.3.	PRUEBA NÚMERO TRES PATRÓN ESTÁNDAR	52
4.5.4.	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	53
4.6.	REALIZACIÓN EL INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN.....	55
4.6.1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGOS.....	55
4.6.2.	VALORACIÓN RAM	59
4.7.	PRUEBAS FINALES Y ENTREGA DE EQUIPO	61
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>64</u>
6.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>65</u>
7.	<u>REFERENCIAS</u>	<u>66</u>
8.	<u>ANEXOS.....</u>	<u>1</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de la viscosidad en líquidos.	17
Figura 2. Tipos de fluidos no newtonianos.	19
Figura 3. Clasificación de Viscosímetros.	19
Figura 4. Viscosímetro de tubo capilar.	21
Figura 5. Viscosímetro rotatorio.	22
Figura 6. Viscosímetro empírico.	23
Figura 7. Viscosímetro de Hopper.	24
Figura 8. Metodología de desarrollo.	25
Figura 9. Instructivo solicitado al Instituto Colombiano de Petróleo (ICP).	26
Figura 10. Manual de operación del equipo viscosímetro (HOV700) de la empresa Vinci Technologies.	27
Figura 11. Equipo Viscosímetro HOV700.	28
Figura 12. Evidencia incompatibilidad del sensor de presión.	34
Figura 13. Evidencia error en la macro.	35
Figura 14. Evidencia incompatibilidad del viscosímetro con la CPU.	36
Figura 15. Evidencia incompatibilidad de puertos COM RS232.	37
Figura 16. Vista de la celda del viscosímetro (Izq.), Vista explosionada de la celda del viscosímetro (Der.).	40
Figura 17. Esquema de conexión para la comunicación de datos del equipo.	40
Figura 18. ESI USB - Testing del sensor de presión.	41
Figura 19. ESI USB - Pruebas del sensor de presión.	42
Figura 20. Sollae zeVSP con puertos funcionales.	43
Figura 21. Applilab – Aplicación sincronizada con el viscosímetro.	44
Figura 22. Panel de configuración y visualización de la central.	45
Figura 23. Esquema de la celda del viscosímetro y sus válvulas.	46
Figura 24. Medidor de temperatura viscosímetro.	47
Figura 25. Sustancia patrón para realizar las pruebas.	48
Figura 26. Matriz para determinar la viscosidad.	50
Figura 27. Conexión de la bomba de presión.	53
Figura 28. Interior de la bomba de presión antes de introducir el reactivo.	53
Figura 29. Introducción del reactivo.	54
Figura 30. Medición en la central del viscosímetro.	54
Figura 31. Matriz RAM.	59
Figura 32. Patrón de la viscosidad del agua.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33. Viscosímetro de aceites pesados HOV, Instalado en el laboratorio de recobro mejorado.	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Inventario viscosímetro de aceites pesados (HOV).....	30
Tabla 2. Adecuación y recomendación para mejorar viscosímetro de aceites pesados. ...	38
Tabla 3. Propiedades reactivo patrón.	49
Tabla 4. Primera prueba con patrón estandar.	51
Tabla 5. Segunda prueba con patrón estandar.	51
Tabla 6. Tercera prueba con patrón estandar.	52
Tabla 7. Formato análisis de riesgo.	56
Tabla 8. Medición de la viscosidad del agua.	61

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe detalla la Revisión y Documentación para la Operación del Viscosímetro, equipo que se encuentra en las instalaciones del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP), en el Laboratorio de inyección de aire. Este proyecto surgió ante la necesidad de poner en funcionamiento de manera correcta y documentada para posteriores usos de distintos operarios. Meses atrás este equipo no se podía usar y era de vital importancia para Ecopetrol y el ICP ponerla en funcionamiento para poder ser utilizada en distintas áreas de investigación ayudando a brindar datos más fiables, siendo este equipo bastante nuevo y con tecnología reciente.

Los objetivos del proyecto, fue poner en funcionamiento el viscosímetro de aceites pesados y generar un instructivo donde se especificarán los pasos de cómo debe ser utilizado, como realizar los mantenimientos, los riesgos ambientales y personales al utilizar el equipo.

Para alcanzar este objetivo, se han realizado una serie de etapas: primero, se hizo una revisión general del equipo, luego una revisión documental y finalmente su puesta en marcha. Dentro de la revisión se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales de operación del Viscosímetro, buscando detectar posibles fallos, además se revisó la ficha técnica y los documentos pertinentes. A partir de lo encontrado, se realizan las actividades correspondientes de puesta en marcha. Posteriormente, se realizaron las calibraciones de los sensores y las pruebas correspondientes para verificar la funcionalidad del equipo.

Como resultado final se entregó un instructivo de operación y mantenimiento, allí se especifica la manera correcta de conectar, sincronizar y calibrar el equipo cada vez que se use, además del desensamble del mismo para su mantenimiento. También se encuentra la tabla de riesgos ambientales y que equipo de protección personal se debe usar.

PALABRAS CLAVE: Adecuación de equipo, Centipoise, Viscosidad, Viscosímetro de aceites pesados.

INTRODUCCIÓN

La viscosidad es un parámetro esencial que ayuda en el diseño de las instalaciones de la superficie del petróleo y campos de gas en la industria petrolera. Se ha desarrollado una amplia variedad de viscosímetros para estudio de petróleo crudo, petróleo pesado y extrapesado basado en principios físicos (rotación, vibración, etc.).

Entre todos los principios físicos, el viscosímetro de petróleo pesado (HOV) consiste en una varilla de acero que vibra dentro de una muestra de fluido de acuerdo con una frecuencia específica. La amplitud de la vibración varía según la viscosidad del fluido en el que se encuentra la varilla inmersa. La electrónica garantiza una vibración adecuada y trata las variaciones de amplitud para obtener el valor de viscosidad. El módulo del equipo se ensambla con una celda de medición de 15 cc para obtener un viscosímetro independiente. Una válvula de drenaje también permite liberar gas cuando la presión de saturación es alcanzada. La celda está diseñada para ser extraída fácilmente y así realizar una limpieza rápida y eficiente. La sonda del sensor se sumerge en la muestra de viscosidad desconocida a condiciones requeridas de presión y temperatura. Luego, la respuesta de la vibración en función de la viscosidad se muestra en el panel electrónico.

En el laboratorio de inyección de aire hay un viscosímetro que no se encontraba disponible para ser operado debido a piezas faltantes y a una mala sincronización.

El objetivo de este trabajo fue llevar este equipo a sus condiciones óptimas, totalmente calibrado y funcional. Además, se elaboró un instructivo de operación para que el personal futuro pueda usarlo y realizarle sus actividades mantenimiento correspondientes.

Este proyecto está dividido en 5 etapas: primero, se realiza una inspección bibliográfica y ficha técnica. Luego, se elabora un inventario, una verificación funcional de cada componente y su puesta en marcha. Posteriormente se realizarán pruebas y finalmente el instructivo que quedará con el equipo.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) cuenta con equipos de última tecnología y de muy alta calidad, que por falta de personal cualificado e instructivos claros y precisos, estos equipos han quedado sin poder ser operados. Entre estos equipos está el Viscosímetro de aceites pesados (HOV), el cual fue adquirido hace poco tiempo y no ha podido ponerse en funcionamiento.

La viscosidad es un parámetro esencial que ayuda en el diseño de las instalaciones de la superficie del petróleo y campos de gas en la industria petrolera. Se ha desarrollado una amplia variedad de viscosímetro para estudio de petróleo crudo, petróleo pesado y extrapesado basado en principios físicos (rotación, vibración, etc.), (Chang, 2000).

Entre todos los principios físicos, el viscosímetro de petróleo pesado (HOV), con el que cuenta el ICP, consiste en una varilla de acero que vibra dentro de una muestra de fluido de acuerdo con una frecuencia específica. La amplitud de la vibración varía según la viscosidad del fluido en el que se encuentra la varilla inmersa. La electrónica garantiza una vibración adecuada y trata las variaciones de amplitud para obtener el valor de viscosidad (Technologies, 2014).

En conjunto, es un equipo idóneo que favorece la investigación para determinar la calidad del tipo de crudo. Al no poder usarse causa un desaprovechamiento a nivel investigativo e incluso puede llegar a dañarse.

¿Cómo facilitar el uso y la puesta en funcionamiento del Viscosímetro? ¿Qué efectos tendría el acondicionamiento de este equipo en el panorama investigativo del ICP?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) en convenio con las Unidades Tecnológicas de Santander, brinda la oportunidad de desarrollar y fortalecer los conocimientos adquiridos en la universidad, en áreas enfocadas con la formación del estudiante, es por esto que para el ICP es importante dar la opción de trabajar con los equipos que actualmente no están en funcionamiento, para que sean los estudiantes los que puedan revisar y documentar estos equipos, que después serán utilizados en la propia industria y en otros proyectos de investigación.

Trabajar en equipos como el viscosímetro de aceites pesados, permite al estudiante aplicar áreas de conocimiento como mecánica de fluidos, conocimiento adquirido en su formación en las unidades tecnológicas de Santander, aportando como estudiantes y practicantes al área investigativa en el sector del petróleo además de que económicamente empresas como Ecopetrol se ven beneficiadas al poner nuevamente en funcionamiento un equipo de alta calidad, que no se está aprovechando.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Puesta a punto para la operación del equipo Viscosímetro del laboratorio de inyección de aire del centro de innovación y tecnología Instituto Colombiano de Petróleo (ICP)

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar manuales de operación y especificaciones técnicas del equipo lo que permite conocer su funcionamiento.
- Diagnosticar el estado actual del Viscosímetro generando un inventario del mismo y revisando que cumpla con las especificaciones técnicas.
- Ejecutar pruebas preliminares de operación con el seguimiento de ensayos y muestras experimentales a las variables en el proceso.
- Realizar el instructivo donde se detalle cómo proceder para operar este equipo, los resultados que este nos ofrece y el mantenimiento rutinario.

1.4. ANTECEDENTES

Los tópicos aquí trabajados corresponden a aquellos de interés para establecer tanto la actualidad del trabajo propuesto, como la relevancia e importancia del mismo. A continuación, se discutirán los aportes encontrados en cada tópico.

Rediseño y experimentación del banco de pruebas del viscosímetro. En este trabajo se rediseño completamente un viscosímetro que estaba en funcionamiento, sometiéndolo a modificación de sus elementos, además de la modelación matemática y simulación del comportamiento físico y la implementación de dispositivos electrónicos. El desarrollo se enfocó en dotar este equipo con nueva tecnología la cual obligó a realizar la sintonización de los controladores, para la cual se aplicó el método de Ziegler y Nichols lo que permitió obtener variables que posteriormente serían ingresadas en el simulador. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone el análisis de variables que se podrán utilizar en simuladores los cuales nos ayudaran a dar con la fiabilidad de resultados de la puesta a punto del viscosímetro sobre el que se va a trabajar, además de las piezas electrónicas a tener en cuenta en estos equipos (Vinicio, 2011).

Diseño de prototipo de Viscosímetro y Validación de Uso en fluidos de alta, baja y media Viscosidad. Se trata de un proyecto factible apoyado por experimentación de campo, siendo enfocado en el área agroindustrial, utilizando distintos fluidos de esta área, los cuales toma desde el más viscoso (Miel) hasta el menos viscoso (Leche), se produjeron 3 prototipos construidos por esta estudiante, llegando a tener margen de error del 1%. Este estudio demostró los distintos tipos de materiales a utilizar en un viscosímetro, además de evaluar factores como la altura, el diámetro, el volumen, la temperatura del fluido y el tiempo apreciable en la medida del equipo. Este trabajo se relaciona con el proyecto planteado ya que proporciona los parámetros necesarios que se requieren en el viscosímetro para analizar cierto tipo de muestras dependiendo del tipo de viscosidad de la misma, dando un gran abanico de factores que fueron analizados y que afectan la conducta reológica de las muestras a la hora de analizarlas (Nieto, 2018).

Desarrollo de un Viscosímetro de hilo vibrante para la caracterización termo-física a alta presión de nuevos biocombustibles. Se trata de un proyecto especial llevado a cabo en un Doctorado, el cual plantea no usar el viscosímetro habitual de referencia, puesto que altas temperaturas y altas presiones, es complejo poder tener una sustancia que nos de referencia con respecto a la que se va a medir. Este proyecto opta por un sensor con hilo de tungsteno anclado a ambos extremos, con longitud y radio definido, aplicando la teoría del viscosímetro

de hilo vibrante el cual se basa en las vibraciones transversales de un hilo tensionado, las frecuencias de vibración permiten medir la viscosidad del fluido que rodea el hilo vibrante. Además, como soporte se hicieron pruebas con un tubo vibrante el cual podían realizar medidas de la densidad en fluidos comprimidos. Con ambas técnicas se obtuvieron datos experimentales de densidad y viscosidad dinámica de varios fluidos de interés, principalmente hidrocarburos. Todos estos datos se correlacionaron con tablas de densidad de Tammann-Tait y Vogel.Futcher. Este trabajo es pertinente con el proyecto aquí planteado, ya que aborda la medición de la viscosidad desde otro método poco habitual y además de parámetros de referencia para llevarlo a cabo de ser necesario, también se evidencia que en este proyecto se usaron exclusivamente hidrocarburos de distintas viscosidades y densidades, con parámetros diferentes, los cuales ayudaran a guiar cuando se esté en la fase de pruebas de este proyecto (Carranza, 2014).

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. VISCOSIDAD DE LOS FLUIDOS

El líquido a diferencia de los sólidos, tienen la capacidad del movimiento, es decir, cuando un líquido fluye por dos superficies planas esta se moverá en una sola masa para permanecer atómicamente unida, a esta virtud se le atribuye la propiedad de viscosidad. Visto de otro modo, cuando una parte de un fluido se desliza respecto a otra aparece una fricción que se opone a ese deslizamiento. Esta fricción depende de la velocidad relativa y a la viscosidad del fluido, mover una capa de aire respecto a otra no cuesta lo mismo que una capa de un líquido viscoso (por ejemplo, la miel) respecto a otra a la misma velocidad, ni mucho menos. Ese es el efecto de la viscosidad en el comportamiento de los fluidos (Mott, 2006) y (Olmo, Piedras, Rojas, Madrigal, & Erich, 2015)

Como se puede deducir esta propiedad solo está presente en líquidos en movimiento, ya que al estar un fluido estático las moléculas no requieren interactuar entre ellas por lo que la viscosidad es nula (Perez, 2012)

2.1.1. Ley de Newton de la viscosidad

La ley de Newton establece que para ciertos fluidos el esfuerzo cortante sobre una interfaz tangencial a la dirección de fluido, es proporcional a la tasa de cambio de la velocidad con respecto a la distancia, donde la diferenciación se toma en una dirección normal a la interfaz, (Atkins & Paula, 2006), la expresión matemática para la ley de Newton de la viscosidad es:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \tag{1}$$

T = Esfuerzo Cortante

μ = Viscosidad Absoluta

$\frac{dv}{dy}$ = Gradiente de Velocidad

Con esto Newton supuso que un fluido que se encuentre entre dos placas, una fija y una móvil con una velocidad “v” el fluido se desplazara en un régimen laminar, con una velocidad en relación a la capa del fluido, por la cual se transfiere cierta cantidad de movimiento a la capa de fluido vecinal y está la arrastra a la siguiente y así sucesivamente. En la experimentación se deduce que esta fuerza de fricción que ejerce una capa de fluido, es proporcional al área de contacto (Atkins & Paula, 2006) y (Fernandez & Gonzales, 2016).

2.1.2. Viscosidad dinámica

La Viscosidad dinámica, o también conocida como viscosidad absoluta, es la resistencia interna entre las moléculas de un fluido en movimiento y determina las fuerzas que la mueven y deforman, esta designada con la constante μ o η , con unidades en el Sistema internacional (SI), Pascal-segundo, (Pa.s). En el sistema cegesimal se utiliza el Poise (P) $1 \text{ Poise} = 10^{-1} \text{ Pa.s}$ (Galan, 1987) y (Lizard, Terres, Vaca, Flores, & Chavez, 2015).

2.1.3. Viscosidad cinética

La viscosidad cinética relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del líquido. Teniendo el valor de la viscosidad dinámica se puede calcular la viscosidad cinética de un fluido con la siguiente formula:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

v = Viscosidad Cinética
 μ = Viscosidad Dinámica
 ρ = Densidad

En esta medida, la viscosidad es la resistencia de un fluido al deslizamiento, y la densidad es el peso específico dividido por la gravedad. Es importante tener en cuenta que tanto la viscosidad Dinámica y Cinética depende de la naturaleza del líquido y la temperatura (Mott, 1996) y (Cengel, 2015)

2.1.4. Viscosidad y temperatura

La viscosidad tiene una alta dependencia a la temperatura a la cual se encuentre el fluido. La mayoría de los líquidos reduce su viscosidad al aumentar la temperatura, de manera exponencial y a razón de un 10% por cada $^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, ya que el calor dilata los espacios intermoleculares y esto genera un menor gradiente de movimiento. (Páez, Alvis, & Arrazola). Al haber un menor gradiente habrá una mayor velocidad de desplazamiento del fluido, deduciendo que la velocidad y la temperatura son directamente proporcionales, e inversamente proporcional a la viscosidad (Ramirez, 2006).

2.1.5. Viscosidad y presión

La presión se define como a la fuerza aplicada a una sustancia sobre unidad de área, al aumentar la presión en un fluido, la viscosidad aumenta exponencialmente con este, en caso de que la presión difiera en muy pocas unidades, los cambios en la viscosidad son mínima. Por esta este factor apenas se considera, sin embargo, en industrias con fluidos muy viscosos donde se toman medidas a elevada presión y temperatura, este factor cobra mucha relevancia, pero para

presiones bajas la viscosidad, solo depende de la temperatura (Ramirez, 2006), (Villaseca, 2014) y (Villacis, 2016).

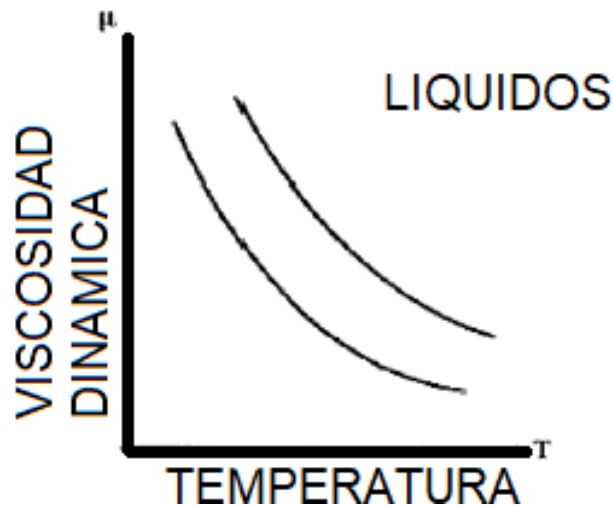
2.2. FACTORES QUE AFECTAN LA CONDUCTA REOLOGICA

La viscosidad es una de las propiedades que se pueden medir más fácilmente dependiendo del material, por lo que con el uso de herramientas y equipos se puede caracterizar un material con los siguientes factores (Villaseca, 2014):

2.2.1. Temperatura

Como ya se comentó, a medida que aumenta la temperatura disminuye la fricción de este al movimiento, o lo que es lo mismo, disminuye su viscosidad, la fuerza de cohesión es la responsable de la disminución de esta propiedad, por lo que se puede concluir que temperatura y viscosidad son inversamente proporcionales, al aumentar la temperatura, la viscosidad de un líquido disminuye (Michaelides, 2014).

Figura 1. Comportamiento de la viscosidad en líquidos.



Fuente: (Mott, *Viscosidad de los fluidos, mecánica de fluidos*, 2006)

2.2.2. Gradiente de velocidad

Cuando un material es sometido a una variedad de rangos de corte durante su procesamiento, es necesario conocer su viscosidad para saber la proyección del rango de corte. Para producir un gradiente de velocidad, es necesario el

movimiento del fluido por un objeto con pendiente, siendo constante la capacidad de desplazamiento del fluido (Diaz, 2006) y (Soriano & Diaz, 2015).

2.2.3. Tiempo

El tiempo de movimiento de un fluido se ve afectado, por la apreciación para ser medido, esto depende del tipo de material, sin embargo, se pueden pasar cambios en la viscosidad por el tiempo, aunque el material no sea una superficie porosa o está cortada (Soriano & Diaz, 2015).

La viscosidad para efectos experimentales se ve afectada significativamente por factores como: La temperatura, presión, conducta reológica, gradiente de velocidad y el tiempo, siendo la temperatura el factor más interesante y el que más afecta al fluido (Avallone, 1992).

2.2.4. Condiciones de medida

Las condiciones de medida, incluyen todos los factores externos que pueden afectar la medida de la viscosidad y alterar el resultado. Por lo que es importante conocer y controlar la mayor cantidad de estos factores como el medio donde se realiza la prueba (Creus, 2010).

La técnica para evaluar la viscosidad de un fluido está sujeta a varios factores externos como: Modelo del equipo donde se realiza la medición, preparación de la muestra, tamaño, temperatura ambiente, Estas variables no solo afectan la precisión en la medición, sino la viscosidad inicial del fluido antes de tomarse la medida (Mott, 2006).

2.3. Tipos de fluidos

El fluido se define como aquellas sustancias que se deforman al aplicar una presión o tensión superficial, cada fluido tiene un comportamiento diferente al recibir fuerzas externas, esto se debe a la viscosidad presente en los fluidos y estos se clasifican en (Ramirez, 2006):

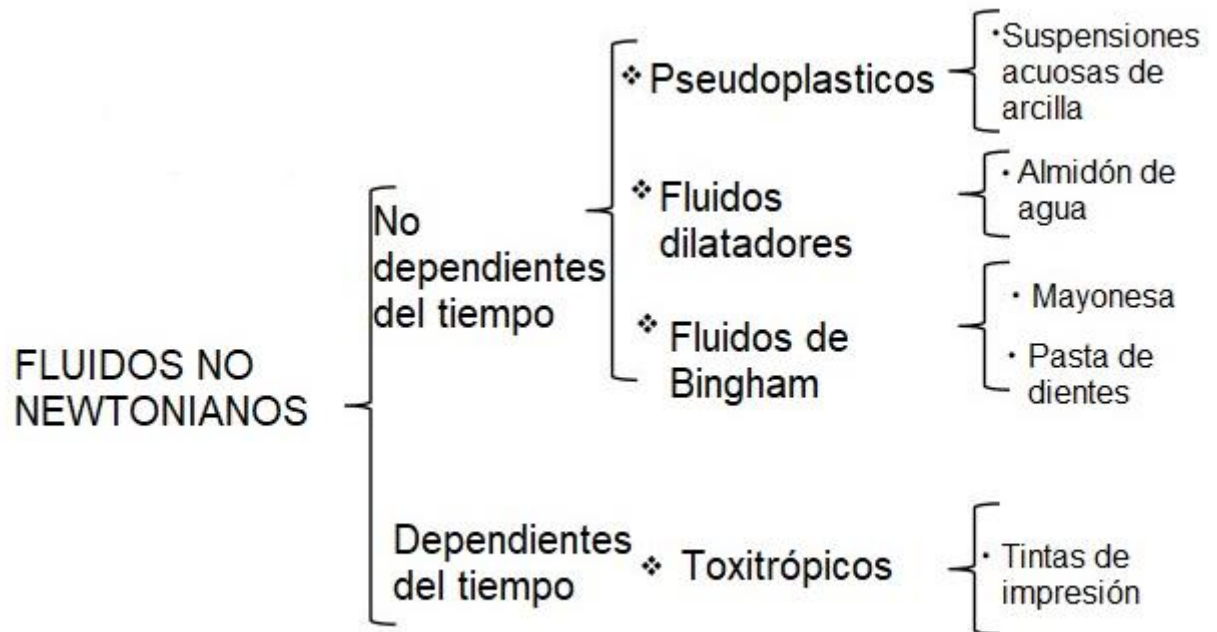
2.3.1. Fluidos newtonianos

Los fluidos newtonianos son aquellos cuya viscosidad se mantiene constante, por lo que el esfuerzo cortante es directamente proporcional al gradiente de velocidad. Aquellos fluidos donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la rapidez de deformación, este tipo de fluidos respetan la ley de newton, por lo que la viscosidad solo depende de la temperatura (Mott, 1996).

2.3.2. Fluidos no newtonianos

Los fluidos no newtonianos son aquellos que no cumplen con la ley de newton, es decir, aquellos en que el esfuerzo cortante no es directamente proporcional a la deformación, estos a su vez se pueden clasificar de la siguiente manera (Mott, 1996).

Figura 2. Tipos de fluidos no newtonianos.



Fuente: Recuperado de https://es.slideshare.net/moises_galarza/mecnica-de-fluidos-propiedades-de-los-fluidos

2.4. Viscosímetros

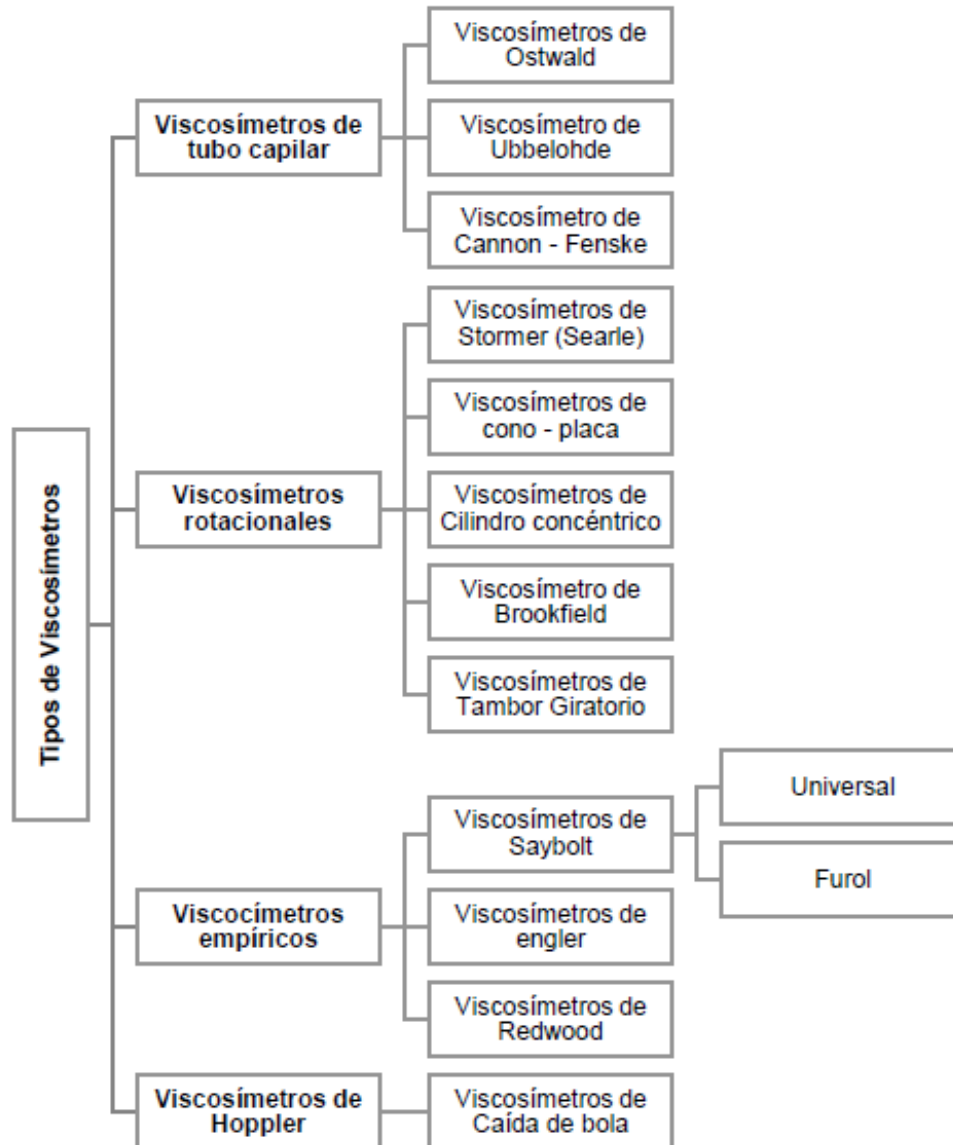
Existen numerosos equipos y procedimientos para la medición de la viscosidad, algunos utilizan los principios fundamentales de fluidos mecánicos, otros indican únicamente el valor relativo de la viscosidad, para ser comparados con otros fluidos (Streeter, 2000). Sin embargo, la mayoría de métodos para obtener resultados precisos se basan en el funcionamiento de un equipo bajo la ley de newton de la viscosidad o de la ley de Poiseuille (Carrasco, Casteañeda , & Altamirano, 2015).

Un viscosímetro es un instrumento para medir la viscosidad y otros parámetros de un fluido dependiendo de la tecnología o fundamento bajo el cual funcione el equipo. Fue Isaac Newton quien postulo por primera vez una fórmula para medir la

viscosidad en los fluidos, sin embargo, en 1884 Poiseuille fue quien mejoro la técnica estudiando el movimiento de líquidos en el paso por capilares de diferentes dimensiones (Sobrino, 2012, pág. 21) y (Tomos, 2015).

A continuación, se detallan los tipos de viscosímetros más comunes:

Figura 3. Clasificación de Viscosímetros

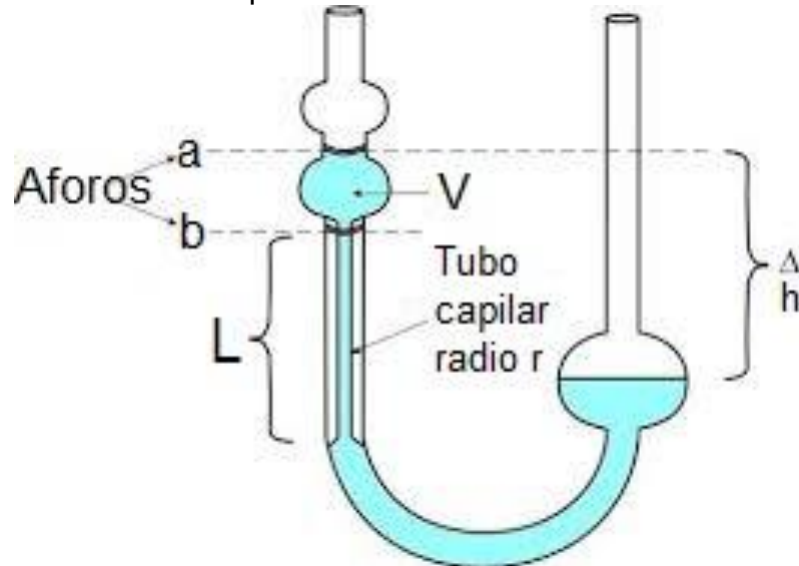


Fuente: (Mott, Mecánica de fluidos, 1996).

2.4.1. Viscosímetro de tubo capilar

En 1839, Hagen realizó el primer experimento científico que se utilizó un tubo o un capilar para medir la viscosidad, seguido por los estudios de Poiseuille quien realizó experimentos con tubos capilares. Así se descubrió la relación entre la velocidad de flujo y la caída de presión de un flujo por un capilar, conocida como ley de Hagen – Poiseuille. (Reymond, Serway, & Faughn, 2001).

Figura 4. Viscosímetro de tubo capilar.



Fuente: Recuperado de <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/iec/LABviscosidad.pdf>

En la figura 4, se puede observar 2 vasos con muestra de un fluido conectado por un tubo capilar que es un tubo largo de un diámetro pequeño. El fluido fluye a una velocidad constante a través del tubo, ocasionando una caída de la presión con el pasar del tiempo. Para el cálculo de la viscosidad en función del flujo que transita por un área transversal (Chang, 2000). La ecuación de Poiseuille es aplicable para gases y líquidos, esta ecuación puede reordenarse como:

$$\mu = \frac{\pi \Delta p R^4 t}{8VL} \quad (3)$$

μ = Viscosidad del fluido (kg/ms).

Δp = Caída de presión a lo largo del capilar (kg/ms²).

R = Radio del capilar (m).

L = Longitud del capilar (m).

V = Volumen del fluido que ha circulado en un determinado tiempo t (m/s).

t = tiempo de recorrido (s).

2.4.2. Viscosímetros rotatorios

Los viscosímetros rotatorios utilizan un eje giratorio para medir la resistencia del fluido al flujo. Este tipo de viscosímetros se componen de un cilindro que gira de un vaso de medición donde el fluido se encuentra en su exterior (Figura 5). El movimiento del rotor es accionado por un motor de corriente continua con velocidad fija o programada (Mott, 1996).

Figura 5. Viscosímetro rotatorio.



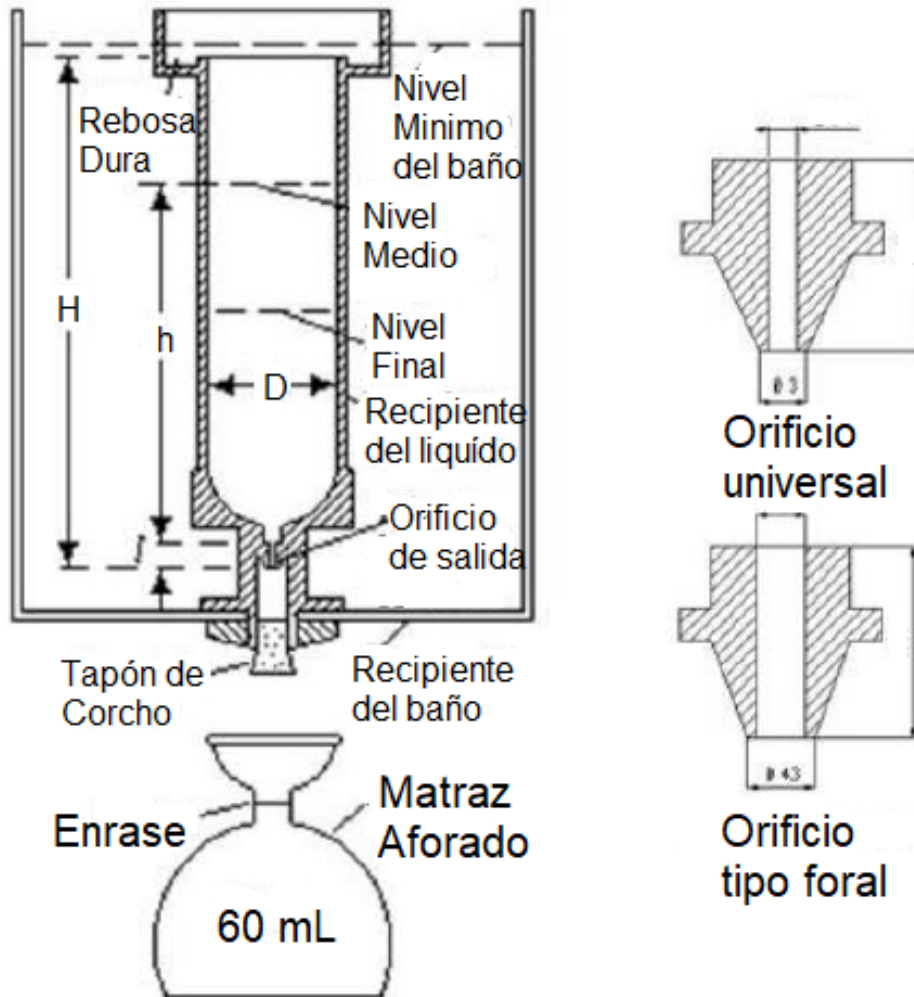
Fuente: *Recuperado* *de*
<https://perforador20.wordpress.com/2017/11/30/viscosimetro-rotatorio/>

Este equipo posee un taco generador que regule la rotación del motor, donde al detectar la mínima desviación la corrige. La resistencia de la muestra al fluir en el vaso provoca una torsión en el resorte de medición de la viscosidad ubicado en el motor, este movimiento es recogido mediante un traductor electrónico que transmite el número de revoluciones para su procesamiento, así este equipo proporciona tres datos, la gradiente, la torsión para mover la cizalla y la temperatura la cual es proporcional a la viscosidad de la sustancia (Tomos, 2015).

2.4.3. VISCOSÍMETROS EMPÍRICOS

Estos viscosímetros se basan en el tiempo requerido para un determinado volumen de líquido en pasar a través de un orificio normalizado (Figura 6).

Figura 6. Viscosímetro empírico.



Fuente: (Mott, Mecánica de fluidos, 1996).

Estos equipos poseen un recipiente final destinado a contener el fluido cuya viscosidad es desconocida, en su parte inferior dispone de un orificio de diámetro conocido por las medidas del equipo, este recipiente a su vez que encuentre dentro de otro que tiene la función de un baño termostato para mantener la temperatura constante, ya que posee un sistema de calentamiento integrado (Sobrino & Segovia, 2012). Con este equipo se puede obtener la viscosidad del fluido a diferentes temperaturas y poder comprobar que la temperatura es directamente proporcional a la viscosidad (Mott, 1996).

2.4.4. Viscosímetros de Hopper

El viscosímetro de Hopper o viscosímetro de caída de bola, utiliza una bola esférica de peso y diámetro conocido la cual cae libremente a través del fluido y se mide el tiempo requerido para que la esfera recorra una distancia conocida. (Figura 7) (Pery & Chilton, 1990).

Figura 7. Viscosímetro de Hopper.



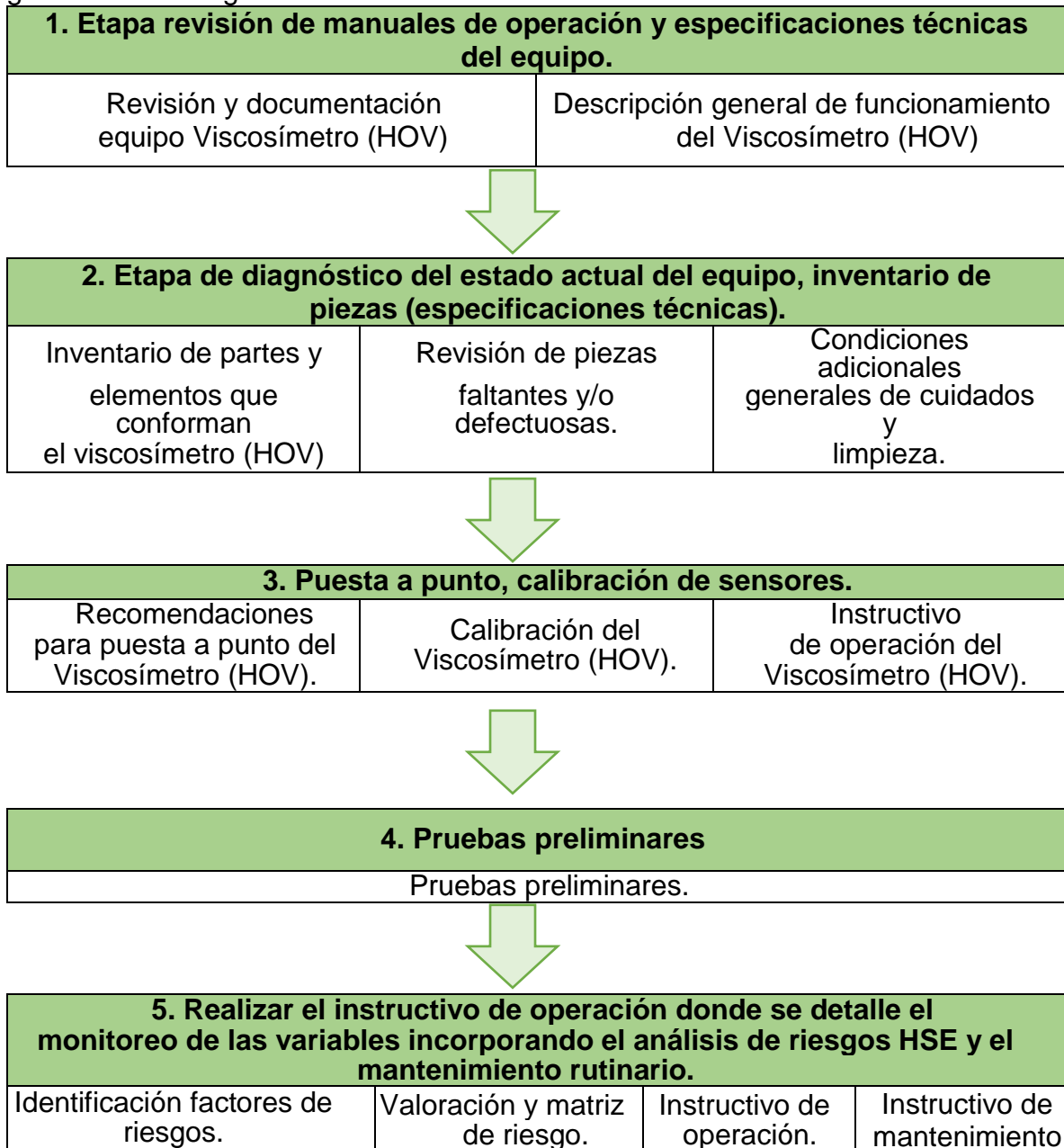
Fuente: Recuperado de <https://www.china.cn/qtyiqiyibiao/3959279031.html>

Cuando un cuerpo cae en un fluido bajo la influencia de la gravedad, este se acelera por la fuerza que lo jala hacia abajo, su propio peso, y queda balanceado por la fuerza de flotación y de arrastre de la viscosidad. La velocidad que adquiere la bola se conoce como terminal. Este tipo de viscosímetros se utiliza principalmente para sustancias de baja viscosidad de la escala de 100.000 mPa.s (Pery & Chilton, 1990) y (Rojas, Torres, & Hoffmann, 2016).

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Este proyecto se desarrolló en una duración de 600 horas totales distribuidas en 8 horas diarias para cumplir con el objetivo establecido. En la figura 8, se observan las etapas con sus respectivos hitos.

Figura 8. Metodología de desarrollo.




4. RESULTADOS

Dando inicio al cumplimiento del plan de trabajo se ejecutan las actividades según el cronograma y objetivos trazados. Inicialmente, se realiza una revisión preliminar del funcionamiento y partes que componen el equipo viscosímetro de aceites pesados. Luego, se desarrolla un diagnóstico identificando y verificando el estado actual de cada elemento. Por último, se propone un plan de adecuación en base al diagnóstico realizado.

4.1. REVISIÓN Y DOCUMENTACIÓN EQUIPO VISCOSÍMETRO DE ACEITES PESADOS (HOV)

Una vez terminada la etapa de capacitación y reconocimiento del área, se solicita información técnica del equipo a los encargados del mismo. Se revisa el instructivo GTN-I-xxx “Operación Equipo HOV”, documento elaborado en el Centro de Innovación y Tecnología (ICP) (Figura 9). Después de terminar su lectura se llega a la conclusión que la información es insuficiente para conocer y diagnosticar el viscosímetro. Por esta razón, se solicitan manuales e instructivos del fabricante o proveedor, Vinci Technologies SA, compañía ubicada en Francia, estos documentos estaban en posesión del ICP.

Figura 9. Instructivo solicitado al Instituto Colombiano de Petróleo (ICP).

	Instructivo para la Operación del Equipo Viscosímetro		
	Gestión de Tecnología de Negocio Centro de Innovación y Tecnología ICP		
	CODIGO GTN-I-xxx	Elaborado 29/10/2018	Versión: 2

1. OBJETIVO

Establecer las tareas a ejecutar en el equipo Viscosímetro para garantizar la operación segura y confiable durante el desarrollo de las corridas de determinación de viscosidades de hidrocarburos para el Laboratorio de Recobro Mejorado, área de inyección de aire.

2. CONDICIONES GENERALES

2.1 Frecuencia de revisión y de ciclo de trabajo

- La revisión del instructivo debe efectuarse cada dos años y la próxima fecha de revisión vence el 08/08/2016.
- Se debe efectuar una revisión del ciclo de trabajo cada vez que se realice la actualización del procedimiento y/o para todo el personal nuevo que requiera entrenamiento para operar el equipo.

2.2 Valoración RAM

La operación del equipo Viscosímetro está integrada en el proceso de caracterización y preparación de muestras para el Laboratorio de Recobro Mejorado, Área de Inyección de Aire, por lo tanto, dicha operación está clasificada con un riesgo, en la matriz de procesos, como bajo.

Figura 1. Matriz RAM

Fuente: (Ecopetrol, 2018).

Una vez conseguida esta información del fabricante, se obtuvieron los siguientes manuales de operación relacionados con el equipo:

- ESI usb Manual.
- GS4200 usb Manual.
- HOV Manual User.
- Model 2416 Process Controller.
- Sollae Manual ezl400 v1.6.
- Sollae Manual ezl400 v2.1.
- Visión 230 Manual.

Esta Información está anexa en el presente informe y en el manual del equipo. En la figura 10, se da constancia de los manuales de operación.

Figura 10. Manual de operación del equipo viscosímetro (HOV700) de la empresa Vinci Technologies.

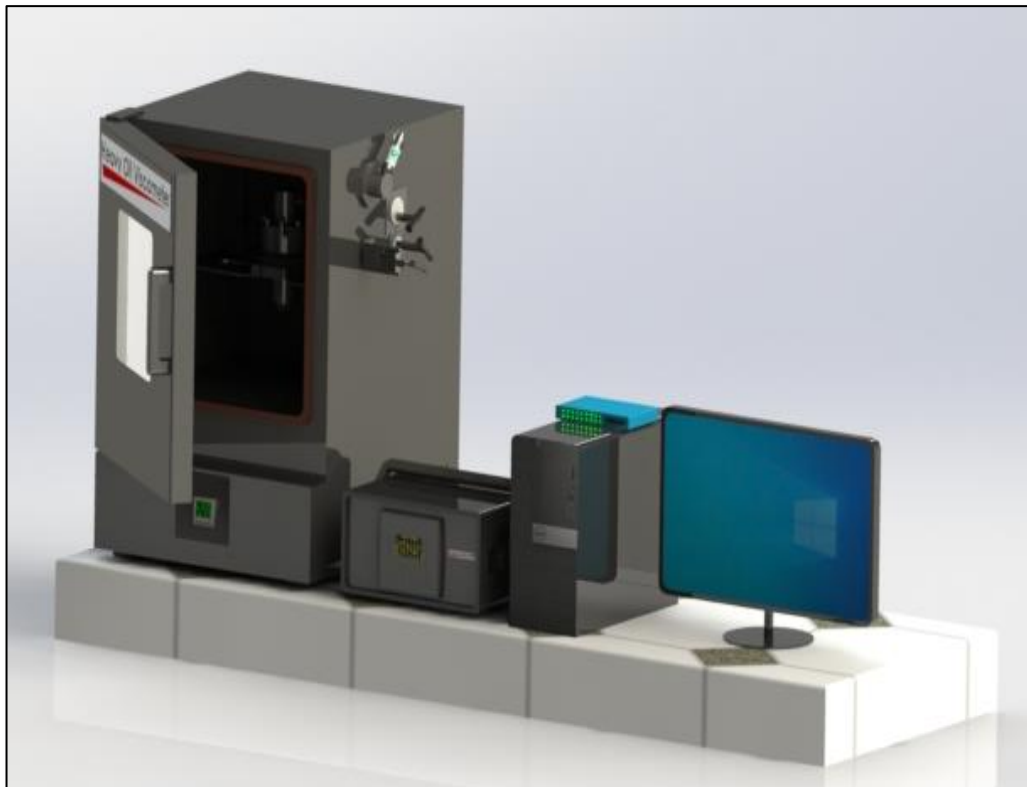


Fuente: (Technologies, 2014).

4.1.1. Descripción general de funcionamiento viscosímetro de aceites pesados (HOV)

El viscosímetro de aceite pesado (Figura 11) consiste en una barra recta de metal que se mantiene en vibración permanente aplicando una potencia constante. La amplitud de la vibración varía en función de la viscosidad del fluido en la que se sumerge la varilla. La electrónica asegura una vibración adecuada y trata la amplitud de las variaciones para obtener el valor de la viscosidad. El módulo del equipo se ensambla con una celda de medición de 15 cc para obtener un viscosímetro independiente, esta a su vez está contenida dentro de una cabina la cual permite variar la temperatura de la muestra hasta los 180 °C Una válvula de drenaje también permite liberar la sustancia cuando se alcanza la presión de saturación. La celda está diseñada para ser retirada fácilmente para su limpieza rápida y eficiente. Además, cuenta con una central, que lee los datos medidos por el viscosímetro y da una respuesta de la temperatura y la viscosidad de la muestra en menos de 60 segundos.

Figura 11. Equipo Viscosímetro HOV700.



Fuente: Autor.

4.1.2. Características técnicas/físicas

Las siguientes especificaciones son las que cuenta el viscosímetro de aceites pesados:

Volumen de la muestra: 10 cc / 15 cc

Presión de operación: 700 bar – 10.000 psi

Temperatura de operación: Arriba de los 180 °C

Rango de Viscosidad: Arriba de los 10⁶ cP (1 000 a 100 000 cP o 10 000 a 1 000 000 cP)

Fluido Newtoniano

Tiempo de respuesta: 1 - 60 segundos

Material de la celda: Acero Inoxidable con barras Hastelloy

Conexiones: 1/8" LP Autoclave o tipo Butech (15 000 psi), 1/8" Tipo HIP (30 000 psi)

Material en contacto: Acero inoxidable, Viton, PTFE, Hastelloy

Dimensiones: 82 x 65 x 60 cm (H X W X D)

Peso: 40 Kg Aprox.

Alimentación: - Computador Controlador: 110/240VAC, 50 o 60 Hz, 10A

- Central HOV: 110/240VAC, 50 o 60 Hz, 3A

- Viscosímetro: 220/240VAC, 50 o 60 Hz, 30A

➤ Nota: A continuación, se especifican algunas abreviaturas para el entendimiento de las características técnicas.

psi: Libra de fuerza por pulgada cuadrada - unidad de presión.

bar: Unidad de presión

cP: Término usado en inglés para referirse a la unidad de viscosidad, Centipoise

cm: Unidad de longitud internacional

°C: Grados Celsius – unidad de temperatura en sistema CGS.

Hz: Hercio o Hertz – unidad de frecuencia en el SI.




4.2. DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO

El diagnóstico que se realizó tuvo como propósito conocer el estado actual del equipo, se evaluó el estado de las piezas actuales o faltantes y se detectaron las condiciones anormales de funcionamiento. Para la realización del diagnóstico se trabajaron en 2 actividades.

4.2.1. Inventario de partes y elementos que conforman el viscosímetro (HOV)

Con la elaboración del inventario se busca relacionar de manera detallada, ordenada y valorada los elementos y componentes que integran el viscosímetro de aceites pesados (HOV700), esta información se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Inventario viscosímetro de aceites pesados (HOV).

INVENTARIO VISCOSÍMETRO DE ACEITES PESADOS (HOV)						
Dependencia o Entidad: Laboratorio de Optimización de Producción y Recobro Mejorado – Área de Recobro Térmico						
Área de investigación: Área de inyección de aire (LIA)						
Equipo: Viscosímetro De Aceites Pesados (HOV)						
Marca: VINCI TECHNOLOGIES					-230VAC SN:1140	-50W
CÓDIGO DE PIEZA	CANT	NOMBRE /MARCA	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACI	EXISTENCIA SI/NO
M1	1	Monitor Dell		Monitor Dell	Óptimo y Funcional.	Si
C1	1	CPU Dell		CPU Dell	Óptimo y Funcional.	Si
T1	1	Teclado		Teclado	No Hay Disponible	No

R1	1	Mouse		Mouse	No Hay Disponible	No
S1	1	Sollae EZL-400S		Sollae EZL-400S	óptimo y funcional.	Si
HOV1	1	Central HOV, Vinci Technologies		Central HOV.	En buenas condiciones. Agarradera superior algo desgastada.	Si
HOV2	1	Viscosímetro, Vinci Technologies		Viscosímetro.	Funcional y con leves golpes en los costados	Si
C2	2	Cable de poder (110v)		1 cable del monitor 1 cable de la cpu	No hay Disponibles	No

C3	1	Cable VGA		1 cable comunicación Monitor – cpu	Óptimo y Funcional.	Si
S2	1	Cable poder 5v – Sollae		Cargador del sollae en buenas condiciones.	Óptimo y Funcional.	Si
S3	1	Cable RJ45		Cable de comunicación Sollae – CPU	Óptimo y Funcional.	Si
HOV3	1	PT100		PT100 Del viscosímetro para censar la temperatura	Óptimo y Funcional.	Si
HOV4	1	Cable de datos del Viscosímetro.		Cable que conecta el sensor del viscosímetro a la central	Óptimo y Funcional.	Si

HOV5	1	Cable de poder (220v)		1 cable Viscosímetro 1 cable Central	Óptimo y Funcional.	Si
S4	2	Cable COM RS232		1 cable Viscosímetro/Sollae 1 cable Central/Sollae	Óptimo y Funcional.	Si
HOV6	1	Sensor de presión ESI USB GS4200		Sensor de presión GS4200	Óptimo y Funcional.	Si
HOV7	1	Cable USB – Micro USB		Cable de comunicación del sensor de presión a la cpu.	Defectuoso	Si

Fuente: Autor / Recuperado de shutterstock.com.

4.2.2. Revisión de piezas faltantes y/o defectuosas

Como se puede apreciar de la actividad, los siguientes componentes son los que faltan o están defectuosos:

- 1 mouse.
- 1 teclado.
- 1 cable de poder 110v.
- 1 cable USB – Micro USB.

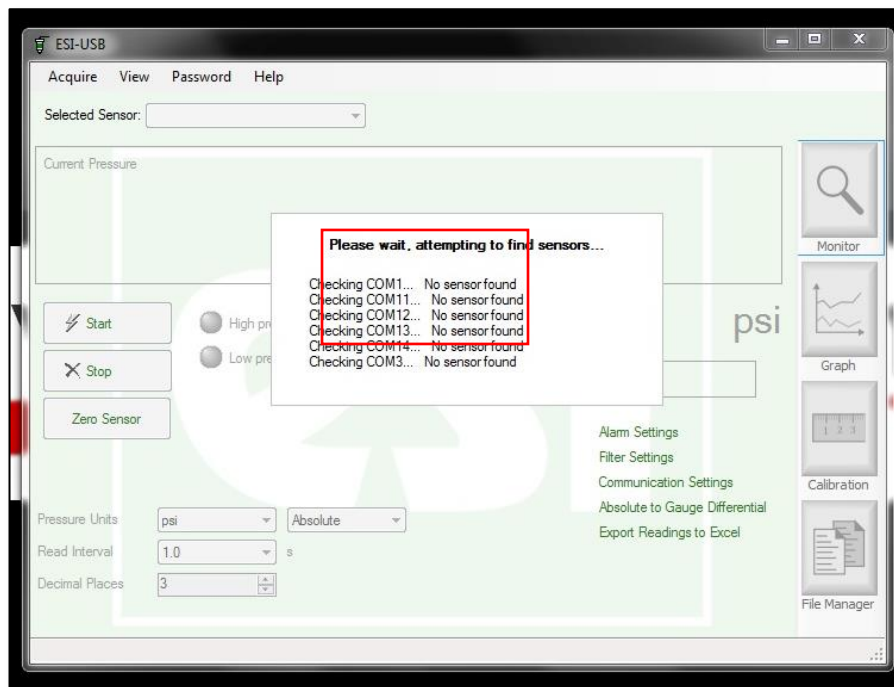
Estos componentes se consiguieron, y se instalaron en el equipo.

4.2.3. Fallas adicionales de compatibilidad

Una vez relacionado el diagnóstico de piezas faltantes y/o defectuosas, se procede a mencionar otros aspectos importantes donde se encontraron fallas en el equipo:

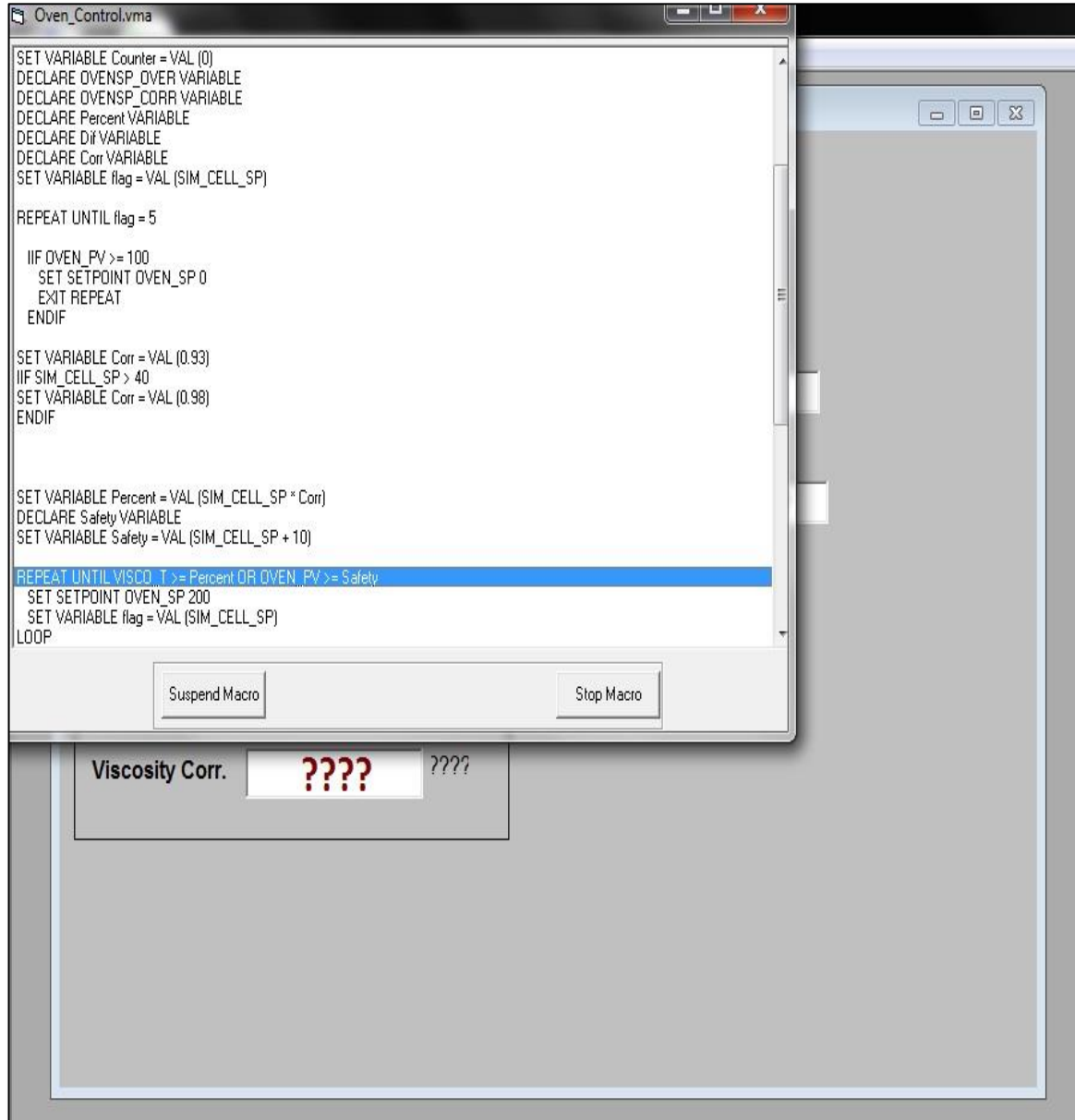
- Se evidencia que hay incompatibilidad con el sensor de presión (Figura 12).
- Se evidencia que hay error en la macro de la aplicación (Figura 13).
- Se evidencia que hay error en la comunicación del viscosímetro, central y CPU (Figura 14).
- Se evidencia que hay incompatibilidad con los puertos virtuales RS232 (Figura 15).

Figura 12. Evidencia incompatibilidad del sensor de presión.



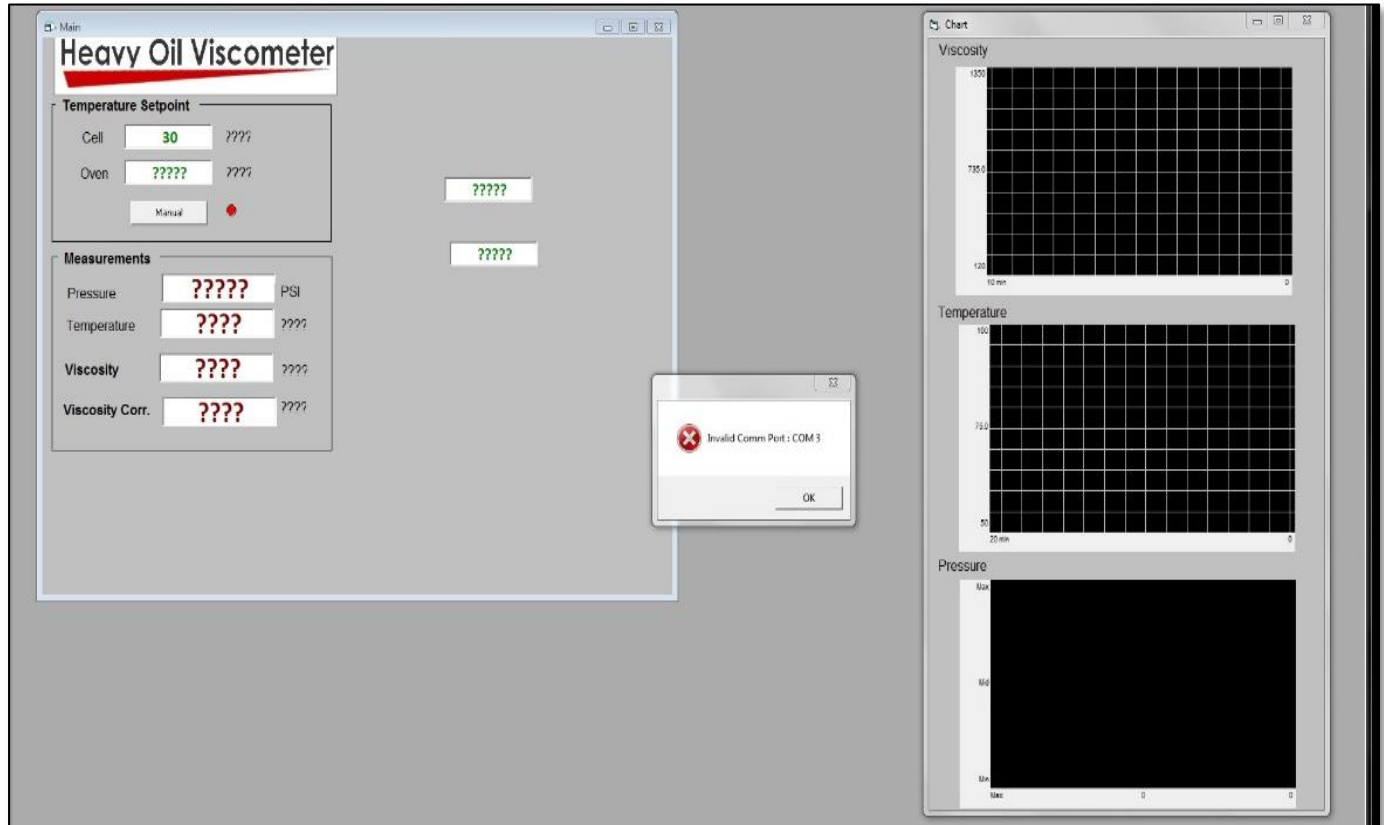
Fuente: Autor, (Genspec, 2015).

Figura 13. Evidencia error en la macro.



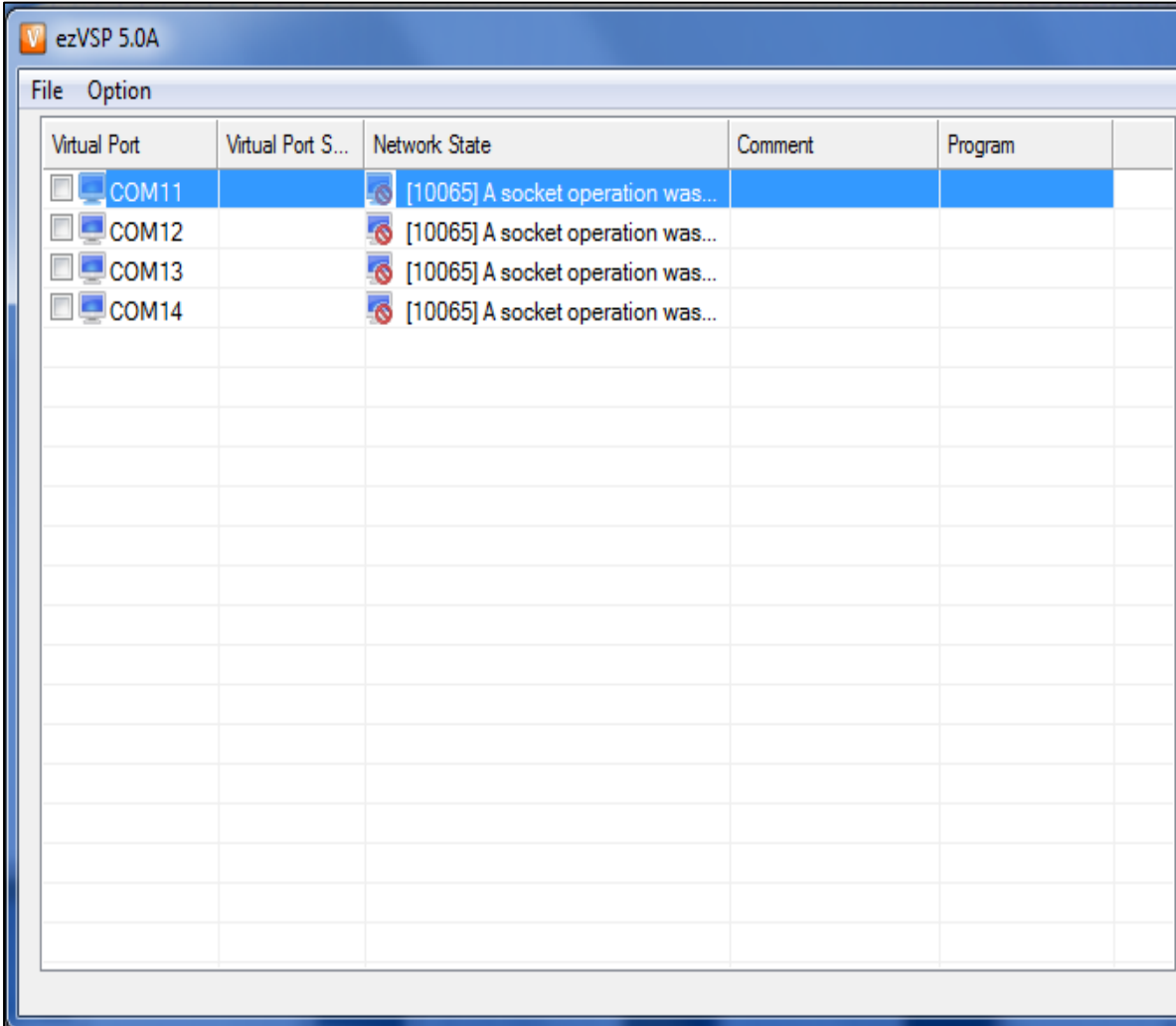
Fuente: Autor, AppliLab.

Figura 14. Evidencia incompatibilidad del viscosímetro con la CPU.







Fuente: Autor, AppliLab.

Figura 15. Evidencia incompatibilidad de puertos COM RS232.



The screenshot shows the 'ezVSP 5.0A' application window. It contains a table with the following columns: 'Virtual Port', 'Virtual Port S...', 'Network State', 'Comment', and 'Program'. The table lists four virtual ports: COM11, COM12, COM13, and COM14. Each of these ports has a 'Network State' of '[10065] A socket operation was...' and a red 'X' icon in the 'Virtual Port S...' column, indicating an incompatibility or error. The 'Comment' and 'Program' columns are empty for all entries.

Virtual Port	Virtual Port S...	Network State	Comment	Program
COM11		[10065] A socket operation was...		
COM12		[10065] A socket operation was...		
COM13		[10065] A socket operation was...		
COM14		[10065] A socket operation was...		

Fuente: Autor, (EzVSP, 2014), (EzVSP, 2015).

4.3. PROPUESTA DE ADECUACIÓN

4.3.1. Recomendaciones para puesta a punto

En la Tabla 2 se ilustran las recomendaciones de adecuación e intervenciones necesarias, para que el equipo pueda operar nuevamente.

Tabla 2. Adecuación y recomendación para mejorar viscosímetro de aceites pesados.

Adecuación Y Recomendación Para Mejorar Hov700		
Nombre Del Elemento O Pieza	Propuesta De Mejora	Existencia En Stock Si/No
Mouse o ratón	Realizar compra del dispositivo e instalar.	No
Teclado	Realizar compra del dispositivo e instalar.	No
Cable de poder 110v	Realizar compra del dispositivo e instalar.	No
Cable USB – Micro USB	Realizar compra del dispositivo e instalar.	No
Bomba de presión manual	Se sugiere la compra de una bomba de presión manual, pequeña y portátil para facilitar el uso del equipo.	No
Nombre Del Software	Propuesta De Mejora	Compatibilizado
AppliLab	Sincronizar con el hardware, ajustar la macro, para que permita visualizar las medidas tomadas.	No
Esi – USB	Sincronizar con el sensor de presión, y calibrarlo.	No
Sollae zeVSP	Sincronizar con los puertos RS232, que permitirán la comunicación del viscosímetro con la CPU.	No

4.3.2. Calibración del viscosímetro (HOV)

La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar). Este proceso se recomienda realizarlo:

- Cada vez que se intervenga el equipo.
- Cuando se realizan pruebas y estas no tienen un valor lógico esperado.
- Cuando allá pasado mucho tiempo sin usar.

Este ítem es de suma importancia, ya que garantiza la calidad de los ensayos. Las variables a calibrar son:

- Calibración del sensor de presión GS4200: este enciso es muy sencillo puesto que cuando se compatibiliza con el software ESE-USB, el mismo se calibra. Se recomienda incluirlo en el plan de calibración de área de Metrología del Centro de Innovación y Tecnología (ICP).
- Calibración de la barra vibratoria: es importante debido a que una mala manipulación podría estropear el sensor, también es sencillo de calibrar, esto se hace desde la central del viscosímetro.
- Calibración de la temperatura: Muy rara vez se descalibra, llegado el caso para calibrar esto se hace desde la central, recordar que el equipo maneja dos temperaturas, la temperatura de la celda (Donde está el PT100), y la temperatura de la cámara.

4.3.3. Instructivo de operación del viscosímetro (HOV)

Para la redacción del instructivo de operación se tomará como referencia el manual de operación entregado por el fabricante y se considerarán los siguientes aspectos:

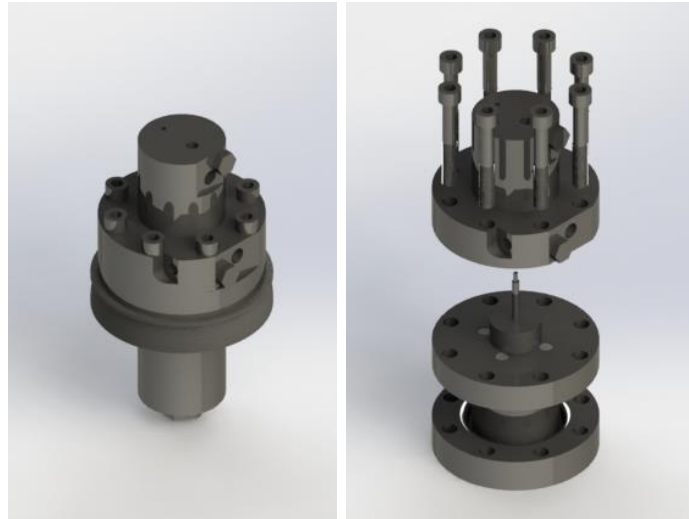
- **Aspectos HSE-análisis de riesgos:** identificación de peligros, análisis de fuentes y riesgos y controles pertinentes (preventivos, y reactivos).
- **Descripción del equipo:** indicando las partes que lo componen.
- **Como realizar la operación del equipo:** Este apartado es de gran importancia para el personal que opere el equipo. Debe ser un paso a paso de la realización de las pruebas de viscosidad, garantizando la integridad de todos los involucrados.
- **Como realizarle mantenimiento al equipo:** Instructivo de mantenimiento esencial para el cuidado y conservación del equipo. Se adicionará el despiece de la celda, con el fin de contar con un soporte gráfico, tomando como referencia el software SolidWorks, de todos los elementos o partes que lo conforma.

4.4. EJECUCIÓN DE LA PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO VISCOSÍMETRO, ARMANDO Y CONECTANDO LAS PARTES FALTANTES.

4.4.1. Limpieza del equipo

El equipo viscosímetro y sus elementos complementarios presentaban suciedad, por tal razón en esta fase se procede a realizar la limpieza usando un paño de lanilla, de esta manera se elimina todo el material particulado. Además, se procedió a desmontar la celda principal con el fin de verificar sus componentes y hacer un diseño en 3D para poder en el instructivo (Figura 16).

Figura 16. Vista de la celda del viscosímetro (Izq.), Vista explosionada de la celda del viscosímetro (Der.).

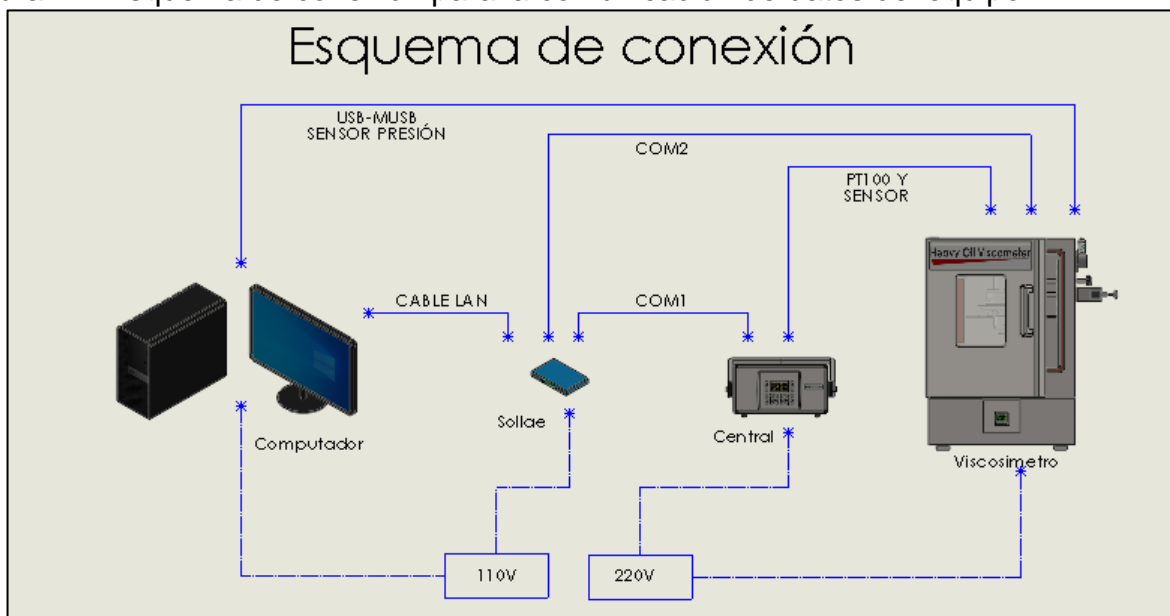


Fuente: Autor.

4.4.2. Conexión del hardware del equipo

Uno de los problemas que se evidenciaron en el diagnóstico fue la falla de conexiones en el equipo. Se hizo la revisión pertinente y un esquema de la correcta conexión del equipo, además se instalaron los cables faltantes (Figura 17).

Figura 17. Esquema de conexión para la comunicación de datos del equipo.



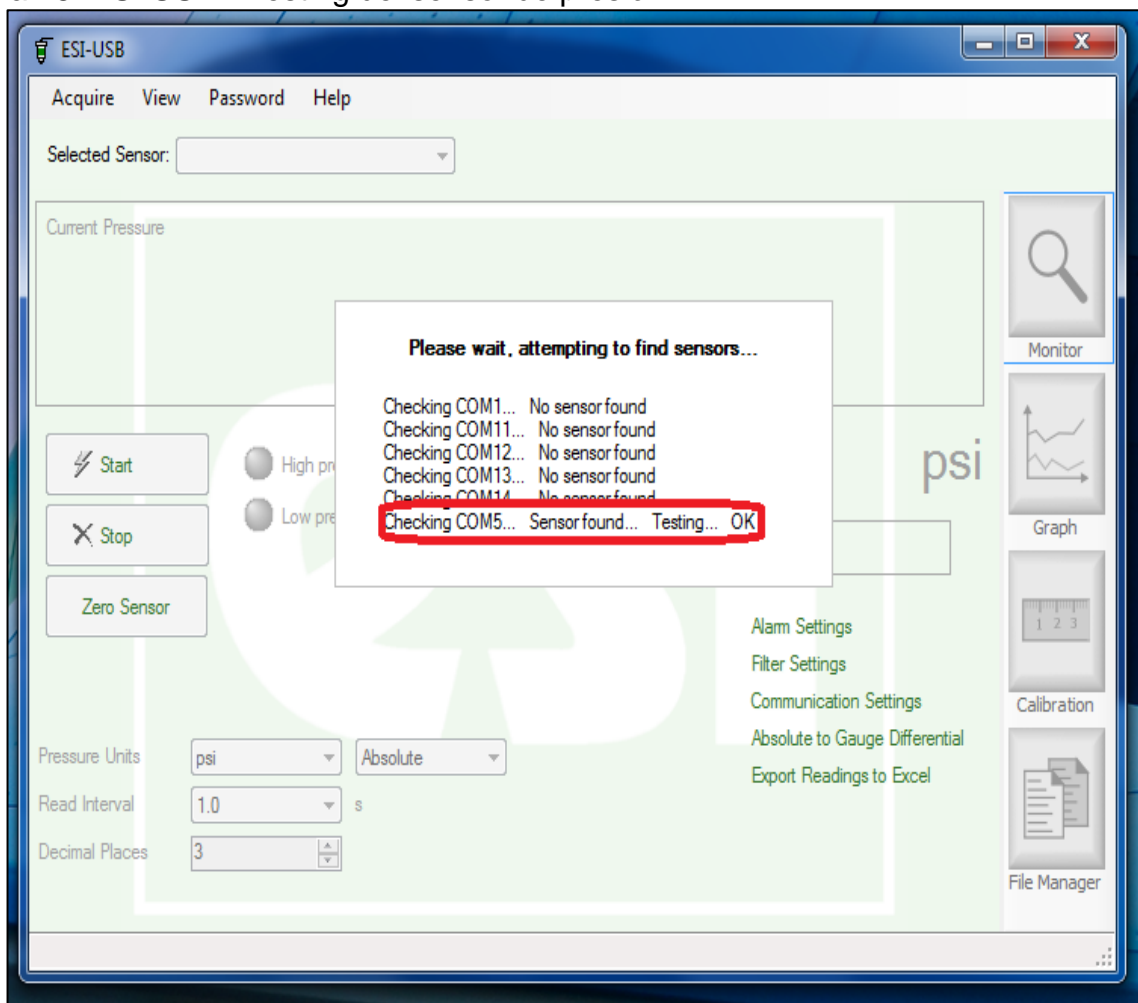
Fuente: Autor.

4.4.3. Sincronización del software del equipo

El equipo presentaba fallos de compatibilidad entre los mismos sensores con los programas. Se procedió a sincronizar correctamente todos los programas con los sensores. Los programas utilizados son:

- Esi – USB: Programa que permite calibrar y sincronizar el sensor de presión del viscosímetro. En la Figura 18 se aprecia la correcta comunicación de puertos, y por ende el estado óptimo del sensor de presión.

Figura 18. ESI USB - Testing del sensor de presión.



Fuente: Autor, ESI USB®

El cable faltante de usb a micro usb, va conectado del sensor de presión GS4200 (Micro USB), a uno de los puertos de la CPU. Tener en cuenta que el programa hace un reconocimiento de todos los puertos, físicos y virtuales, de manera que es indiferente el puerto al que se conecte, pero si tener presente el puerto que sea reconocido (En la figura 19, puerto COM5), puesto que este será el mismo puerto que debemos configurar en el programa AppliLab. En la figura 12 se hacen unas pruebas para verificar la lectura, el propio software calibra el sensor.

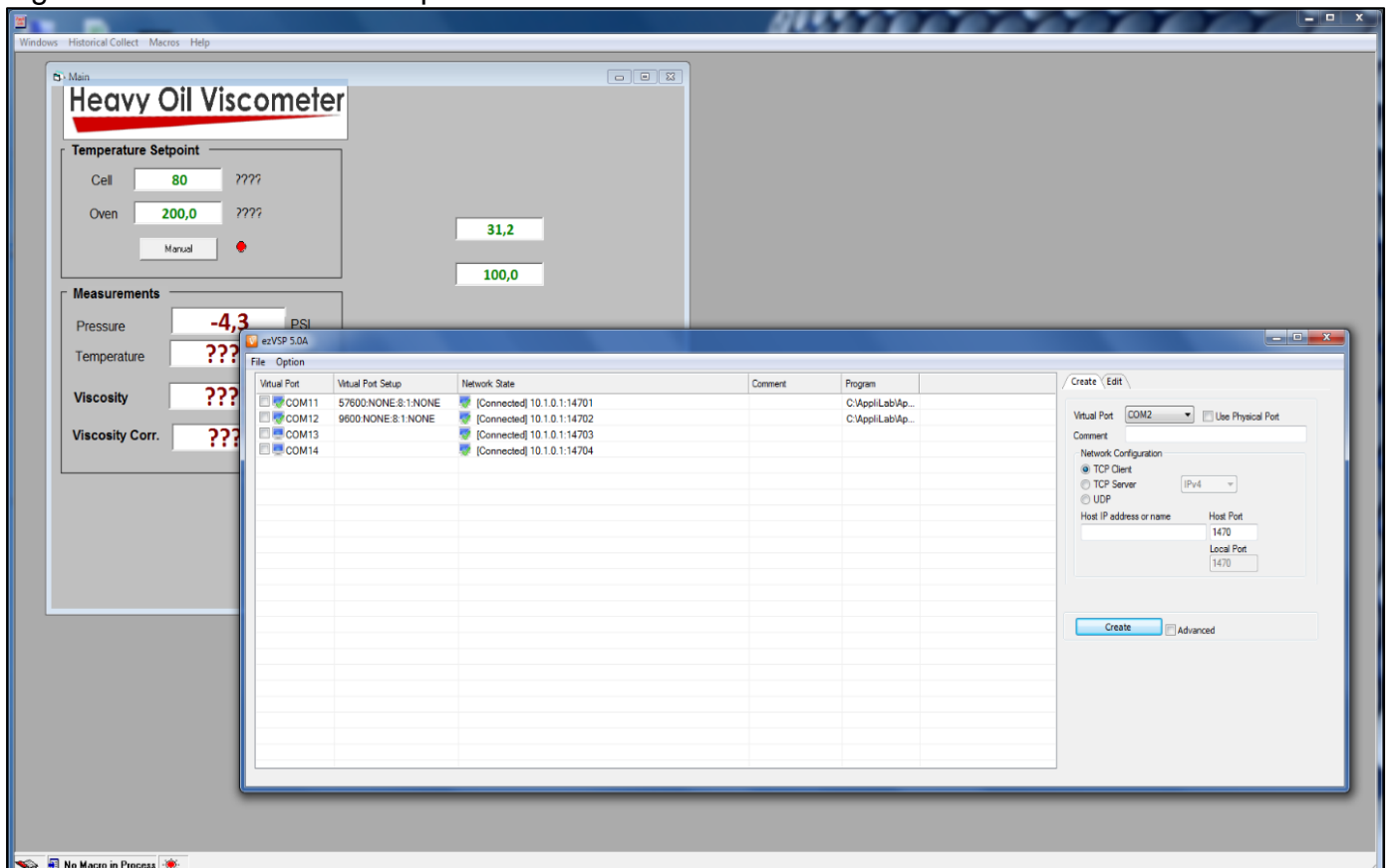
Figura 19. ESI USB - Pruebas del sensor de presión.



Fuente: Autor, ESI USB®

- Solla zeVSP: Programa enfocado a administrar puertos con RS232 virtuales, puesto que estas conexiones físicas se encuentran obsoletas en equipos actuales. El proceso de configuración de este equipo es bastante complejo, se abordará con detalle en el instructivo de operación. En la Figura 20 se aprecia la correcta comunicación del viscosímetro, la central con el Solla, y a su vez el Solla con el computador, esto permitirá usar los programas para tomar las mediciones.

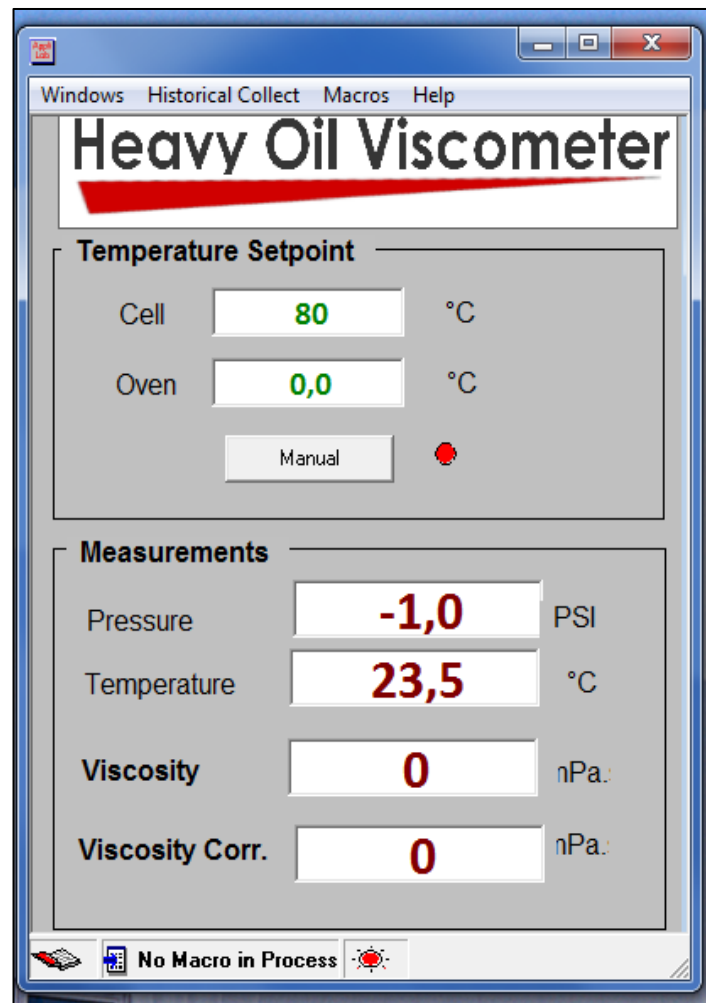
Figura 20. Solla zeVSP con puertos funcionales.



Fuente: Autor, Solla System®

- AppliLab: Software diseñado por el fabricante del viscosímetro de aceites pesados (HOV), Vinci Technologies. Este software también cuenta con un apartado donde se podrán configurar los puertos del viscosímetro, de la central y del sensor de presión, esto se abordará con más detalle en el instructivo de operación. En la figura 21 se aprecia el programa diseñado por el fabricante para tomar las mediciones del viscosímetro.

Figura 21. Applilab – Aplicación sincronizada con el viscosímetro.



Fuente: Autor, AppliLab®

4.5. PRUEBAS PRELIMINARES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO A TRAVÉS DEL SEGUIMIENTO A ENSAYOS CON MUESTRA EXPERIMENTAL

Para verificar y ajustar el viscosímetro, se realiza las siguientes pruebas:

- Ajuste del sensor de viscosidad: El viscosímetro toma alrededor de 20 min en estabilizar la medición en cero, o próxima a cero, además se puede modificar en que unidades dar los resultados, esta configuración se hace desde el panel de ajustes de la central. (Figura 22).

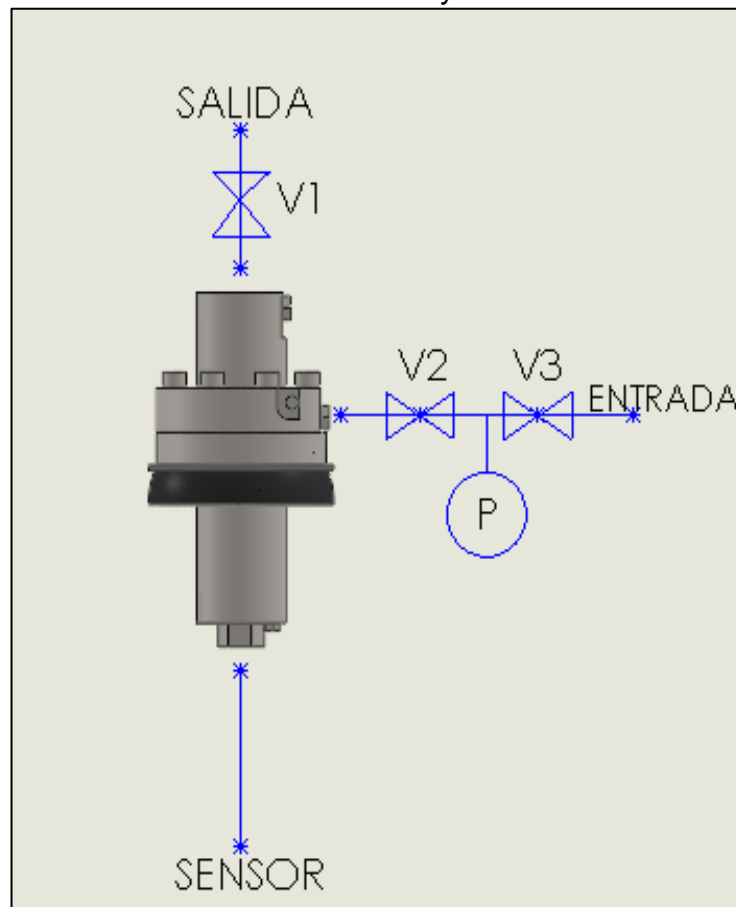
Figura 22. Panel de configuración y visualización de la central.



Fuente: Autor

- Ajuste válvula reguladora de presión: Son las válvulas que sobresalen del equipo, estas se deben abrir o cerrar dependiendo del procedimiento que se esté llevando a cabo. (Figura 23).

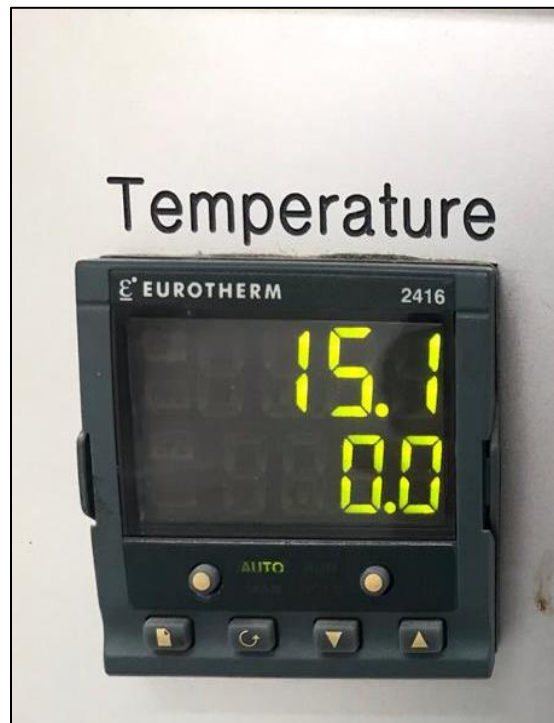
Figura 23. Esquema de la celda del viscosímetro y sus válvulas.



Fuente: Autor

- Ajuste de la temperatura: Se debe ajustar la temperatura que se desea tomar la muestra, teniendo en cuenta que solo se pueden tomar mediciones en orden ascendente, no se puede devolver a un valor de temperatura anterior, porque afectaría los resultados. El valor de la temperatura se puede ajustar desde la central, el software AppliLab o directamente desde el horno/viscosímetro (Figura 24).

Figura 24. Medidor de temperatura viscosímetro.



Fuente: Autor, (Eurotherm, 2014).

Las mediciones tomadas con el equipo Viscosímetro (HOV), estaban previstas para evaluar el desempeño del equipo y comprobar la viscosidad de la sustancia. Para comparar los resultados del equipo, se realizó la prueba con patrones estándares los cuales están completamente caracterizados.

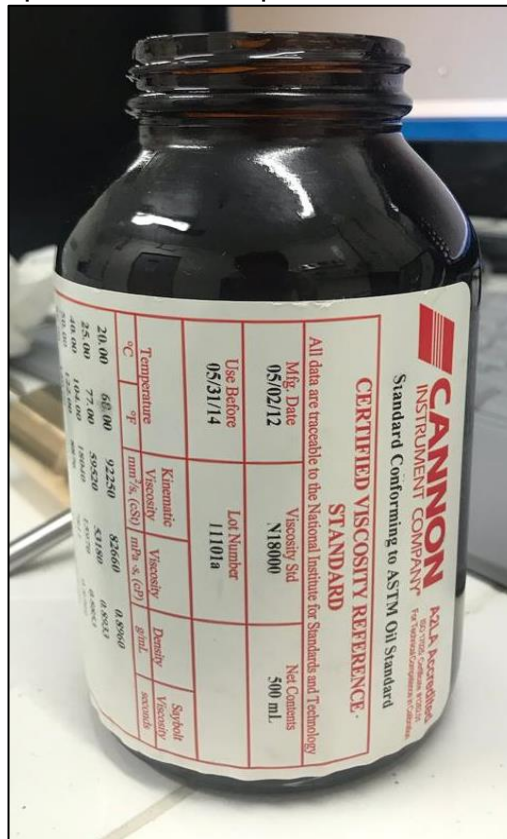
- El error absoluto se define como la diferencia entre el valor real y el valor experimental de la medición. En la ecuación 1 se muestra la forma de calcular el error absoluto y denotará a lo largo del proyecto como (EA) .
- El error relativo resulta de la división entre el error absoluto y el valor que se tienen real o verdadero. En la ecuación 2 se muestra la forma de calcular el error relativo en términos porcentuales y denotará a lo largo del proyecto como $(ER\%)$.

$$EA = \left| V_{real} - V_{experimental} \right| \quad (4)$$

$$ER\% = \left| \frac{V_{real} - V_{experimental}}{V_{real}} \right| * 100 = \frac{EA}{V_{real}} \quad (5)$$

Las pruebas se hicieron con una sustancia estándar de la marca Canon Instrument Company (Figura 25). Este reactivo viene certificado y en la tabla 3 se aprecian sus propiedades.

Figura 25. Sustancia patrón para realizar las pruebas.



Fuente: Autor

Tabla 3. Propiedades reactivo patrón.

Certified viscosity reference standard – Canon instrument company					
Mfg. Date		Viscosity Std.		Net. Contents	
05/02/2012		N18000		500 mL	
Temperature		Kinematic Viscosity	Viscosity	Density	Saybolt Viscosity
°C	°F	mm ² /s, (cSt)	mPa-s, (cP)	g/mL	Seconds
20	68	92250	82660	0.8960	
25	77	59520	53180	0.8933	
40	104	18040	15970	0.8853	
50	122	8876	7811	0.8799	
60	140	4665	4080	0.8746	
80	176	1527	1319	0.8640	
100	212	601.6	513.4	0.8534	

Como apoyo a los datos suministrados por la sustancia patrón, se creó una matriz en Excel para ampliar el rango de datos (Figura 26). La matriz necesita los datos de viscosidad cinemática para distintos valores de temperatura, estos se encuentran aplicando una serie de ecuaciones:

- Fórmula para hallar la viscosidad cinemática.

$$V = v / d \quad (6)$$

Donde: V es la viscosidad cinemática (cSt), v la viscosidad dinámica (cP) y d la densidad (g/mL).

- Fórmula convertir grados Celsius a kelvin.

$$T = t + 273.15 \quad (7)$$

Donde: T es la temperatura en kelvin, t la temperatura en grados Celsius.

- Fórmula para hallar la variación de densidad respecto a la variación de temperatura.

$$D = \frac{d_1 - d_2}{T_2 - T_1} \quad (8)$$

Donde: D es la variable (g/mL*K), d la densidad (g/mL) y T es la temperatura en kelvin.

- Formula de MacCoull's.

$$X = Ln(T) \tag{9}$$

$$Y = Ln(Ln(V + 0.8)) \tag{10}$$

$$Z = d - (D(T2 - T1)) \tag{11}$$

$$B = \frac{Y2 - Y1}{X1 - X2} \tag{12}$$

$$A = Y + (B * X) \tag{13}$$

$$Y = A + BX \tag{14}$$

Donde: X, Y, Z, A, B Son variables de la fórmula de MacCoull's, siendo la ecuación 11 la definición formal.

Figura 26. Matriz para determinar la viscosidad.

Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
TEMP	VISC	TEMP	VISC	TEMP	VISC	TEMP	VISC	TEMP	VISC			TEMP	TEMP	TEMP	TEMP	TEMP	TEMP										
F	(cP)	F	(cP)	F	(cP)	F	(cP)	F	(cP)			C	C	C	C	C	C										
20	30.0	30.0	100.0	110.0	120.0	211	26.7	32.2	37.8	43.3	48.9																
25	30.2	30.2	100.2	110.2	120.2	212	26.8	32.3	37.9	43.4	49.0																
30	30.4	30.4	100.4	110.4	120.4	213	26.9	32.4	38.0	43.6	49.1																
35	30.6	30.6	100.6	110.6	120.6	214	27.0	32.6	38.1	43.7	49.2																
40	30.8	30.8	100.8	110.8	120.8	216	27.1	32.7	38.2	43.8	49.3																
45	31.0	31.0	101.0	111.0	121.0	217	27.2	32.8	38.3	43.9	49.4																
50	31.2	31.2	101.2	111.2	121.2	218	27.3	32.9	38.4	44.0	49.6																
55	31.4	31.4	101.4	111.4	121.4	219	27.4	33.0	38.6	44.1	49.7																
60	31.6	31.6	101.6	111.6	121.6	220	27.6	33.1	38.7	44.2	49.8																
65	31.8	31.8	101.8	111.8	121.8	221	27.7	33.2	38.8	44.3	49.9																
70	32.0	32.0	102.0	112.0	122.0	222	27.8	33.3	38.9	44.4	50.0																
75	32.2	32.2	102.2	112.2	122.2	223	27.9	33.4	39.0	44.6	50.1																
80	32.4	32.4	102.4	112.4	122.4	224	28.0	33.6	39.1	44.7	50.2																
85	32.6	32.6	102.6	112.6	122.6	226	28.1	33.7	39.2	44.8	50.3																
90	32.8	32.8	102.8	112.8	122.8	227	28.2	33.8	39.3	44.9	50.4																
95	33.0	33.0	103.0	113.0	123.0	228	28.3	33.9	39.4	45.0	50.6																
100	33.2	33.2	103.2	113.2	123.2	229	28.4	34.0	39.5	45.1	50.7																
	33.4	33.4	103.4	113.4	123.4	230	28.6	34.1	39.7	45.2	50.8																
	33.6	33.6	103.6	113.6	123.6	231	28.7	34.2	39.8	45.3	50.9																
	33.8	33.8	103.8	113.8	123.8	232	28.8	34.3	39.9	45.4	51.0																
	34.0	34.0	104.0	114.0	124.0	233	28.9	34.4	40.0	45.6	51.1																
	34.2	34.2	104.2	114.2	124.2	234	29.0	34.6	40.1	45.7	51.2																
	34.4	34.4	104.4	114.4	124.4	236	29.1	34.7	40.2	45.8	51.3																
	34.6	34.6	104.6	114.6	124.6	237	29.2	34.8	40.3	45.9	51.4																
	34.8	34.8	104.8	114.8	124.8	238	29.3	34.9	40.4	46.0	51.6																
	35.0	35.0	105.0	115.0	125.0	239	29.4	35.0	40.6	46.1	51.7																
	35.2	35.2	105.2	115.2	125.2	240	29.6	35.1	40.7	46.2	51.8																
	35.4	35.4	105.4	115.4	125.4	241	29.7	35.2	40.8	46.3	51.9																
	35.6	35.6	105.6	115.6	125.6	242	29.8	35.3	40.9	46.4	52.0																
	35.8	35.8	105.8	115.8	125.8	243	29.9	35.4	41.0	46.6	52.1																
	36.0	36.0	106.0	116.0	126.0	244	30.0	35.6	41.1	46.7	52.2																
	36.2	36.2	106.2	116.2	126.2	246	30.1	35.7	41.2	46.8	52.3																
	36.4	36.4	106.4	116.4	126.4	247	30.2	35.8	41.3	46.9	52.4																
	36.6	36.6	106.6	116.6	126.6	248	30.3	35.9	41.4	47.0	52.6																
	36.8	36.8	106.8	116.8	126.8	249	30.4	36.0	41.6	47.1	52.7																
	37.0	37.0	107.0	117.0	127.0	250	30.6	36.1	41.7	47.2	52.8																
	37.2	37.2	107.2	117.2	127.2	251	30.7	36.2	41.8	47.3	52.9																

Fuente: Autor.

4.5.1. PRUEBA NÚMERO UNO PATRÓN ESTÁNDAR

Los resultados de la variable en la primera prueba se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Primera prueba con patrón estandar.

LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN Y RECOBRO MEJORADO – ÁREA DE RECOBRO TÉRMICO, CENTRO DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA. MEDICIÓN DE VISCOSIDAD	
Nombre de la prueba: Medición de viscosidad 01.	
Nombre de la muestra: Estándar N°1	
Fecha: 08/10/2019	Hora: 9:30 am
Viscosidad (cP)	Temperatura (°C)
33780	30
16240	40
7293	50

$$EA = |15970-16240|=270$$

$$ER\% = (270/15970) * 100 = 1.69\%$$

4.5.2. PRUEBA NÚMERO DOS PATRÓN ESTÁNDAR

Los resultados de la variable en la segunda prueba se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Segunda prueba con patrón estandar.

LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN Y RECOBRO MEJORADO – ÁREA DE RECOBRO TÉRMICO, CENTRO DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA. MEDICIÓN DE VISCOSIDAD	
Nombre de la prueba: Medición de viscosidad 02.	
Nombre de la muestra: Estándar N°1	
Fecha: 08/10/2019	Hora: 10:17 am
Viscosidad (cP)	Temperatura (°C)
33757	30
15838	40
7650	50

$$EA = |15970-15838|=132$$

$$ER\% = (132/15970) * 100 = 0.83\%$$

4.5.3. PRUEBA NÚMERO TRES PATRÓN ESTÁNDAR

Los resultados de la variable en la tercera prueba se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Tercera prueba con patrón estándar

LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN Y RECOBRO MEJORADO – ÁREA DE RECOBRO TÉRMICO, CENTRO DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA. MEDICIÓN DE VISCOSIDAD	
Nombre de la prueba: Medición de viscosidad 03.	
Nombre de la muestra: Estándar N°1	
Fecha: 08/10/2019	Hora: 10:56 am
Viscosidad (cP)	Temperatura (°C)
35035	30
16191	40
8023	50

$$EA = |15970 - 15838| = 221$$

$$ER\% = (221/15970) * 100 = 1.38\%$$

Como se evidencia en los resultados anteriores, los valores estándar son muy similares a los valores obtenidos experimentalmente, en ninguna de las pruebas se superó el margen del 5%, por tanto, se puede afirmar que el equipo está en las condiciones idóneas para ejecutar pruebas.

4.5.4. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Figura 27. Conexión de la bomba de presión.



Fuente: Autor.

Figura 28. Interior de la bomba de presión antes de introducir el reactivo.



Fuente: Autor

Figura 29. Introducción del reactivo.



Fuente: Autor

Figura 30. Medición en la central del viscosímetro.



Fuente: Autor.

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

4.6. REALIZACIÓN EL INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN.

Instructivo donde se detalla el monitoreo de las variables incorporando el análisis de riesgos HSE y el mantenimiento rutinario.

4.6.1. Identificación de los factores de riesgos

Existen metodologías para analizar y evaluar los riesgos, es importante entender que la gestión de riesgos permite utilizar diversos métodos de análisis y evaluación de los mismos. Para una correcta identificación las personas encargadas de los procesos de evaluación deben tener los conocimientos necesarios que les permitan reconocer los indicadores y las señales que alerten de la existencia de factores de riesgo y de situaciones deficientes e incorrectas. En estos procesos algunos contemplan características específicas o evaluaciones cualitativas, cuantitativas o semi cuantitativas. Los métodos dependen igual de la identificación de los incumplimientos, deficiencias, de la normativa general y específica que sea aplicable a la empresa en función de sus características de tamaño, actividad productiva, ubicación, de los requerimientos de la industria o los procesos involucrados (Rúgeles, 2017).

- Análisis “Qué pasa si” “What if”: *“Metodología de análisis de riesgo en la cual el equipo de revisión utiliza su experiencia y creatividad para generar, responder, y evaluar una lista de preguntas “que pasa si” para identificar riesgos de proceso potenciales”* (Ecopetrol, 2011).
- Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP): *“Técnica sistemática, cualitativa para identificar riesgos de proceso y problemas potenciales de operación usando una serie de palabras guía para estudiar desviaciones de parámetros relevantes de proceso”* (Ecopetrol, 2011).
- Análisis de árbol de fallas: (FTA) *“Metodología para desarrollar un modelo lógico (p.ej., el árbol combinaciones de eventos básicos (p.ej., fallas de sistema o componentes) que pueden particular (p.ej., un accidente mayor), conocido como el evento tope. Usando álgebra Bool ser evaluado cuantitativamente para determinar la frecuencia estimada del evento tope”* (Ecopetrol, 2011).

En la Tabla 7, se presenta una descripción, evaluación y tratamiento de riesgos para el proceso de caracterización y preparación de muestra.

Tabla 7. Formato análisis de riesgo

FORMATO ANALISIS DE RIESGO																			
											GESTION OPERACIONAL DE HSE DEPARTAMENTO DE GESTION INTEGRAL DE RIESGO								
											GRSC-PRS-F-043	ELABORADO 29/10/2018				VERSION 2			
ANALISIS DEL RIESGO																			
No.	Descripción del Riesgo			Categoría	Evaluación Inherente						Controles o Medidas de Mitigación Existentes	Evaluación Residual						Opción de Tratamiento Seleccionad	Acción y/o Control
	Evento	Causas	Consecuencias		Per	Amb	Eco	Cli	Ima	Nivel de Riesgo		Per	Amb	Eco	Cli	Ima	Nivel de Riesgo		
1	Incendio en el cuarto de manejo de solventes	Inmediata: Fuga del solvente (tolueno) de los equipos dean stark y soxhlet Básica: Falla o rotura de los recipientes que contienen el solvente	Daños a personas y equipos	Operacional	4B	0A	3B	0A	1B	M	1. En la ingeniería de detalle se contempla el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el área de manejo de solventes 2. Los equipos dean stark y soxhlet se encuentran ubicados dentro de cabinas de extracción	3B	0A	2B	0A	1B	L	Mitigar Reducir	Incluir en el procedimiento de operación una sección que describa la frecuencia y plan de mantenimiento para los equipos dean stark y soxhlet
2	Emisión de gases tóxicos en el cuarto de manejo de solventes	Inmediata: Derrame de solvente en el área de trabajo Básica: Inadecuada operación y manejo de los	Daños a personas	Operacional	3B	0A	1B	0A	1B	L	*En la ingeniería de detalle se contempla el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el área de manejo de solventes	1B	0A	1B	0A	1B	N	Mitigar Reducir	Incluir en los instructivos de operación y ensayo de los equipos Dean Stark y Soxhlet los Elementos de Protección

ELABORADO POR:
Cocina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

		recipientes para el cargue y descargue del solvente en los equipos soxhlet y Dean Stark																	Personal de acuerdo a las sustancias presentes en cada equipo.
3	Explosión en la unidad de temperatura controlada	Inmediata: Fuga en las líneas del equipo coreval Básica: Falta o inadecuado mantenimiento en las líneas de Helio o Nitrógeno	Daños a personas y equipos	Operacional	3B	0A	1B	0A	1B	L	N/A	3B	0A	1B	0A	1B	L	Eliminar Evitar	Incluir en el procedimiento de operación y ensayo del equipo coreval una sección para el mantenimiento o y calibración de la instrumentación y las líneas de operación
4	Incendio en el cuarto de emisión de polvo y vibración	Inmediata: Falla en las resistencias de calentamiento del equipo horno de secado al vacío Básica: Falta o inadecuado mantenimiento en la	Daños a personas	Operacional	1C	0A	1C	0A	1C	N	En la ingeniería de detalle está el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el cuarto de emisión de polvo y vibración	1C	0A	1C	0A	1C	N	Mitigar Reducir	Elaborar un procedimiento para el mantenimiento o y calibración de la instrumentación y las líneas de operación

		instrumentación y líneas de operación																	
5	Explosión en la unidad de temperatura controlada	Inmediata: Acumulación de vapores del solvente Básica: Falla en las cabinas de extracción de gases	Daños a personas y equipos	Operacional	3B	0A	3B	0A	1B	L	En la ingeniería de detalle está el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el área de manejo de solventes	2B	0A	1B	0A	1B	N	Eliminar Evitar	Elaborar un procedimiento para la revisión de los sensores de las cabinas de extracción de gases

4.6.2. Valoración ram

La Matriz de Evaluación de Riesgos es una herramienta para la evaluación cualitativa de los riesgos y facilita la clasificación de las amenazas a la salud, seguridad, medio ambiente, relación con clientes, bienes e imagen de la empresa. En resumen, contempla:

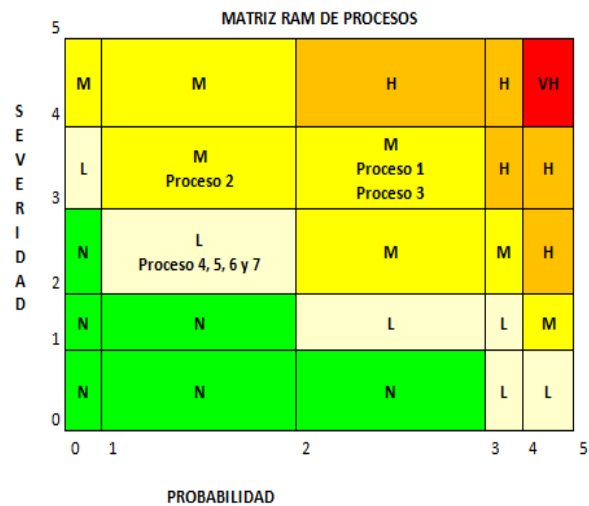
Los ejes de la matriz según la definición de riesgo corresponden a las consecuencias y a la probabilidad. Para cuantificar el nivel de las consecuencias se utiliza una escala de "0" a "5", para evaluar la probabilidad se utiliza una escala de "A" a "E", basándose en la experiencia o evidencia histórica en que las consecuencias identificadas se han materializado dentro de la industria, la empresa o el área, representando la probabilidad de que se desencadenen las consecuencias potenciales o reales estimadas, según el caso.

El cruce de las dos escalas determina la evaluación y clasificación cualitativa del riesgo. Para este caso de la RAM, estimar la probabilidad y las consecuencias no es una ciencia exacta. La estimación de la consecuencia se basa en la respuesta a "qué ocurrió" o "qué pudo o podrá ocurrir; mientras que la estimación de la probabilidad se basa en información histórica respecto de casos ocurridos anteriormente en similares condiciones, sabiendo que las circunstancias nunca son exactamente las mismas (Ecopetrol SA, 2008).

La operación del equipo Viscosímetro está integrada en el proceso de caracterización y preparación de muestras para el Laboratorio de Recobro Mejorado, Área de Inyección de Aire, por lo tanto, dicha operación está clasificada con un riesgo, en la matriz de procesos, como bajo.

Figura 31. Matriz RAM

PROCESOS	PRIORIDAD	VALORACIÓN
Sistema de compresión de gases	Prioridad 1	M
Determinación de los parámetros de desempeño de la combustión in situ	Prioridad 2	M
Tratamiento de gases	Prioridad 3	M
Determinación del mecanismo y tiempo de retardo de la ignición	Prioridad 4	L
Determinación de las características de oxidación y el modo de transición entre los distintos regímenes	Prioridad 5	L
Preparación y caracterización de muestras	Prioridad 6	L
Identificación, recepción y almacenamiento de muestras	Prioridad 7	L



Fuente: (Ecopetrol, 2008)

4.7. Pruebas finales y entrega de equipo

En las pruebas finales se realizó un análisis de repetibilidad para evaluar correctamente el sistema de medición y garantizar la calidad de los datos, teniendo en cuenta la importancia que tiene el análisis del sistema de medición se debe buscar la forma de evaluar los resultados, debido a que cualquier ensayo siempre existe un grado de incertidumbre (Paisan & Moret, 2010) y (Ecopetrol, 2019)

Repetibilidad: *“La diferencia obtenida de los resultados obtenidos por el mismo analista, con los mismos equipos, bajo idénticos parámetros de operación y la misma muestra, en la misma corrida y en normal y correcta operación de los métodos”* (Pedraza, 2016).

Las mediciones fueron ejecutadas dos días diferentes a la misma hora (en bloques), bajo las mismas condiciones para determinar la precisión intermedia (Tabla 8).

Tabla 8. Medición de la viscosidad del agua.

LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN & RECOBRO MEJORADO – ÁREA DE RECOBRO TÉRMICO, CENTRO DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA.				
MEDICIÓN DE VISCOSIDAD				
Nombre de la prueba: Medición de viscosidad				
Nombre de la muestra: Agua				
Toma	Fecha	Hora (am)	Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)
1	28/05/2019	11:01:00	30	805
2	28/05/2019	11:10:00	40	661
3	28/05/2019	11:17:00	50	555
1	29/05/2019	11:00:00	30	807
2	29/05/2019	11:10:00	40	659
3	29/05/2019	11:18:00	50	553

Se tomo como patrón la viscosidad del agua (Figura 25), teniendo presente que $1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 = 1000 \text{ Cp}$.

Tabla 9. Patrón de la viscosidad del agua.

Temperatura °C	Densidad Kg/m ³	Modulo Elasticidad N/m ²	Viscosidad Dinámica N*s/m ²	Viscosidad Cinética m ² /s	Tensión Superficial N/m	Presión de Vapor kPa
0	999.8	1.98	1.781	1.785	0.0756	0.61
5	1000.0	2.05	1.518	1.519	0.0749	0.87
10	999.7	2.10	1.307	1.306	0.0742	1.23
15	999.1	2.15	1.139	1.140	0.0735	1.70
20	998.2	2.17	1.002	1.003	0.0728	2.34
25	997.0	2.22	0.890	0.893	0.0720	3.17
30	995.7	2.25	0.798	0.800	0.0712	4.24
40	992.2	2.28	0.653	0.658	0.0696	7.38
50	988.0	2.29	0.547	0.553	0.0679	12.33
60	983.2	2.28	0.466	0.474	0.0662	19.92
70	977.8	2.25	0.404	0.413	0.0644	31.16
80	971.8	2.20	0.354	0.364	0.0626	47.34
90	965.3	2.14	0.315	0.326	0.0608	70.10
100	958.4	2.07	0.282	0.294	0.0589	101.33

Fuente: (Chang, 2000).

Cálculo de porcentaje de error:

➤ Dia 1

- A 30 °C

$$EA = |798-805|=7$$

$$ER\% = (7/798) * 100 = 0.87\%$$

- A 40 °C

$$EA = |653-661|=8$$

$$ER\% = (8/653) * 100 = 1.22\%$$

- A 50 °C

$$EA = |547-555|=8$$

$$ER\% = (8/547) * 100 = 1.46\%$$

➤ Dia 2

- A 30 °C

$$EA = |798-807|=8$$

$$ER\% = (8/798) * 100 = 1.00\%$$

- A 40 °C

$$EA = |653-659|=6$$

$$ER\% = (6/653) * 100 = 0.91\%$$

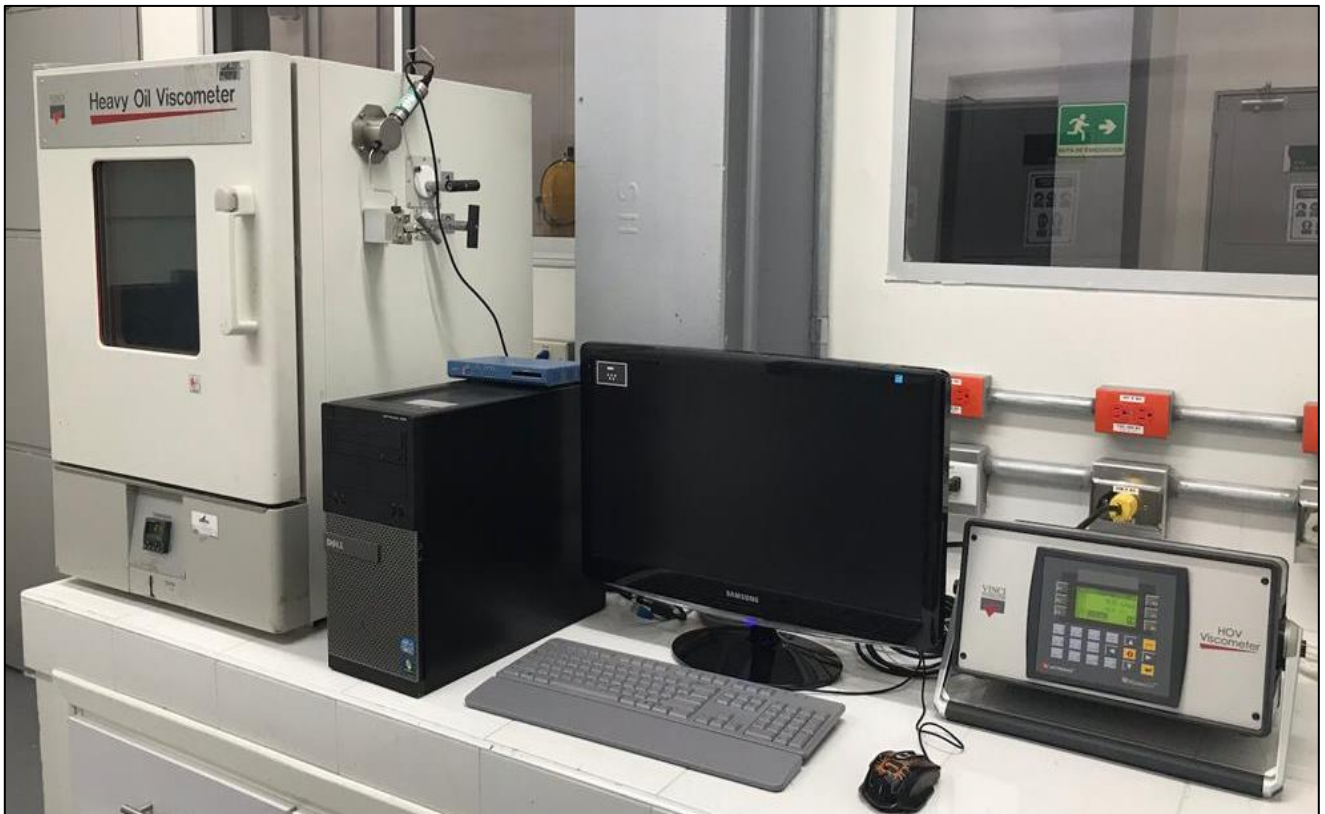
- A 50 °C

$$EA = |547-553|=6$$

$$ER\% = (6/547) * 100 = 1.09\%$$

Como se puede apreciar (Figura 33), el equipo en conjunto se entrega totalmente funcional, calibrado, sincronizado y en buen estado. Las medidas tomadas por el viscosímetro son bastante fieles a los patrones tomados, por ende, es factible hacer mediciones en este equipo.

Figura 32. Viscosímetro de aceites pesados HOV, Instalado en el laboratorio de recobro mejorado.



Fuente: Autor.

5. CONCLUSIONES

- La puesta en marcha del equipo viscosímetro HOV, se llevó a cabo en distintas etapas, en la primera se revisaron los instructivos y fichas técnicas de los dispositivos, identificando su funcionamiento y a su vez los inconvenientes que presentaba. Luego se procedió con la conexión y sincronización de cada sensor, después se calibraron dichos sensores.
- Se realiza entrega del viscosímetro de aceites pesados HOV700 luego de realizar el diagnóstico y adecuación para su puesta en marcha, con un porcentaje de error alrededor de 1%. Además, el resultado no reflejó variaciones significativas de dispersión.
- Con el análisis de repetitividad en el equipo HOV700 se buscó evaluar los resultados de las mediciones, puesto que todo ensayo está siempre sujeto a incertidumbre. En base a los datos obtenidos del análisis, se puede garantizar que los resultados que ofrece el viscosímetro son confiables.

6. RECOMENDACIONES

El viscosímetro de aceites pesados (HOV), es un equipo complejo de ajustar, pero una vez se encuentra configurado es bastante intuitivo para tomar la medición. Para conservar su funcionalidad se recomienda operar como mínimo, una vez al mes y realizar mantenimiento cada 6 meses para evitar la degradación del equipo así este no esté en operación. Además, se recomienda adjuntar al equipo una bomba de presión manual, por su fácil y rápido uso; Es de suma importancia que el equipo sea integrado al plan de mantenimiento y calibración de instrumentos tanto del área de Mantenimiento como de Metrología del Centro de Innovación y Tecnología (ICP).

Para utilizar este equipo se debe consultar previamente el instructivo de operación el cual integra la identificación de factores de riesgos, fuentes de peligro, todo incluido en el análisis de HSE con el fin de garantizar la seguridad de las personas, equipos involucrados, etc. Además, el instructivo cuenta con el paso a paso de su correcta conexión, operación y la manera de ejecutar un mantenimiento.

7. REFERENCIAS

Atkins, P., & Paula, J. (2006). *Principios de la Química* (Tercera Edición ed.). España: Editorial Medica Panamericana.

Atkins, P., & Paula, J. (2006). *Química Física* (Octava Edición ed.). España: Editorial Medica Panamericana.

Avallone, E. (1992). *Manual del Ingeniero Mecánico* (Novena ed.). Mexico: McGraw Hill.

Carranza, J. R. (2014). *Desarrollo de un viscosímetro de hilo vibrante para la caracterización termofísica a alta presión de biocombustibles*. Valladolid : Universidad de Valladolid.

Carrasco, L., Casteañeda, L., & Altamirano, K. (2015). *Determinación de los parámetros reológicos*. USMP. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/2160/1/21-37.pdf>

Castañeda Ortiz, J., & Perez Ortega, J. (2018). *Diseño de un Viscosímetro digital*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 27 de 11 de 2019, de www.kdhklfhgkghklsgh

Cengel, Y. (2015). *Propiedades de las sustancias puras. Termodinámica* (Octava ed.). Mexico: McGraw Hills.

Chang, R. (2000). *Fisicoquímica* (Tercera ed.). Mexico: McGraw Hil Interamericana.

Creus, A. (2010). *Viscosidad y consistencia. Instrumentación Industrial* (Octava ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor.

Diaz, J. (2006). *Mecánica de los fluidos y hidráulica*. Colombia: Universidad del Valle.

Ecopetrol. (2008). *Uso de la matriz de valoración de riesgos RAM*. Piedecuesta, Colombia: Ecopetrol SA. Recuperado el 25 de Septiembre de 2019, de <https://docplayer.es/50141513-Uso-de-la-matriz-de-valoracion-de-riesgos-ram-relacion-de-versiones-version-descripcion-fecha-01-emision-del-documento.html>

Ecopetrol. (2011). *Guía de análisis de riesgos de procesos*. Piedecuesta, Colombia: Ecopetrol.

Ecopetrol. (2018). *Instructivo de ingreso del viscosímetro de aceites pesados HOV*. Piedecuesta, Colombia: Ecopetrol.

Ecopetrol. (2019). *Puesta a punto perámetro*. Piedecuesta, Colombia: Ecopetrol SA.

- Euerotherm. (2014). *User Manual Model 2416*. Darrington: Euerotherm. .
- EzVSP. (2014). *User manual Sollae EZL400S V1.6*. USA: Sollae System.
- EzVSP. (2015). *User manual Sollae EZL400S V2.1*. USA: Sollae System.
- Fernandez, F., & Gonzales, C. (2016). *Medida de la viscosidad de un líquido*. Recuperado el 18 de 07 de 2019, de <http://hdl.handle.net/10251/65079>
- Galan, J. (1987). *Sistema de unidades físicas* (Primera Edicion ed.). España: Editorial reverté.
- Genspec, E. (2015). *User manual GS4200*. USA: ESI Tec.
- Lizard, A., Terres, H., Vaca, M., Flores, J., & Chavez, S. (2015). Efecto de la relación de esbeltez en la cinemática del flujo rotatorio. *Nicaragua*. Recuperado el 16 de Julio de 2019, de <http://www.revistasnicaragua.net.ni/index.php/nexo/article/view/2203>
- Michaelides, E. (2014). Viscosity In: *Nanofluidics*. doi:10.1007/978-3-319-05621-0_4
- Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos* (Tercera ed.). Mexico: Person Education.
- Mott, R. (2006). *Viscosidad de los fluidos, mecánica de fluidos*. Mexico: Pearson Education.
- Nieto, C. E. (2018). *Diseño de prototipo de viscosímetro y validación de uso*. Universidad de la amazonia., Ecuador.
- Olmo, A., Piedras, M., Rojas, L., Madrigal, M., & Erich, M. (2015). *Study and modelation for low Reynolds value of two phases Flow liquid-gas*. Recuperado el 16 de 07 de 2019, de <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/502/881>
- Páez, M., Alvis, A., & Arrazola, G. (s.f.). Efecto de la temperatura sobre la viscosidad en soluciones acuosas diluidas. *Información Tecnológica*. doi:10.4067/S0718-07642014000300021
- Paisan, Y., & Moret, J. (2010). *Redaly*. Recuperado el 27 de Agosto de 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543770014.pdf>
- Pedraza, G. R. (2016). *Instructivo de ensayo para agua y sedimentación en aceite crudo por centrifugación (BSW)- ASTM 4007*. Recuperado el 25 de Agosto de 2019

- Perez, E. (2012). *Viscosidad, consistencia y textura de las sustancias*. Universidad central de Venezuela. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de <http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/site/mmedina/archivos/Practica4.pdf>
- Pery, R., & Chilton, C. (1990). *Biblioteca del Ingeniero Químico* (Quinta ed.). Mexico: Mc GrawHill.
- Ramirez, J. (2006). *Introducción a la reología* (Primera ed.). Colombia: Reciteia.
- Reymond, A., Serway, J., & Faughn, S. (2001). *Física* (Quinta ed.). Mexico: Person Education.
- Rojas, M., Torres, A., & Hoffmann, W. (2016). *Determinación de propiedades fisicoquímicas de petróleos*. doi: <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2016.1928>
- Sobrino, M. (2012). *Viscosímetro automático que mide altas presiones para caracteriza biocombustible*. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de <http://web.a.ebscohost.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=9d3bc0e8-2dbd-4b49-95b6-9c966ee49106%40sessionmgr4010&vid=2&hid=4112>
- Sobrino, M., & Segovia, J. (2012). *Desarrollo de un viscosímetro de caída de cuerpo para caracterizar biocombustibles*. doi:<http://dx.doi.org/10.6036/5025>
- Soriano, R., & Diaz, A. (2015). Estudio técnico de la adquisición y transmisión de datos en tiempo real de temperatura, presión, flujo de agua y vapor geotérmico. doi:<http://ri.ues.edu.sv/8904/>
- Streeter, V. (2000). *Propiedades de los fluidos y definiciones, Mecánica de fluidos* (Novena ed.). Colombia: McGraw Hill.
- Technologies, V. (2014). *User Manual HOV700*. Alemania: Vinci Technologies.
- Tomos, B. (2015). *Diagnóstico de motores Diesel en el análisis del aceite usado*. España: Reverte.
- Villacis, G. (2016). Análisis de la predicción científica en Issac Newton. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/download/244/227/>
- Villaseca, O. (2014). *Molecular modeling of interfacial properties of industrialsal relevant fluids*. doi:<https://ddd.uab.cat/record/116397>
- Vinicio, P. P. (2011). *Rediseño y experimentacion del banco de pruebas del viscosimetro symbol*. Trabajo de grado, Escuela superior politecnica de chimborazo., Riobamba, Ecuador.

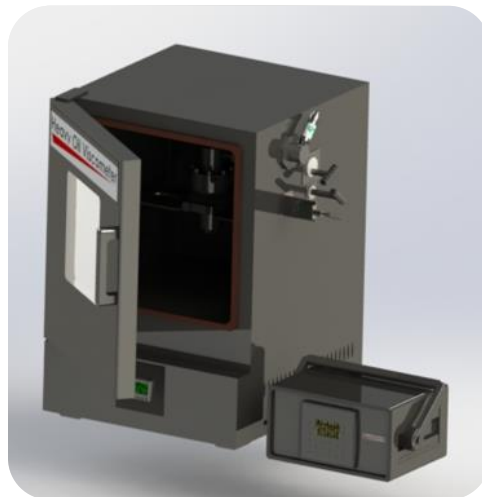
8. ANEXOS



Unidades
Tecnológicas
de Santander

Instructivo del viscosímetro de aceites pesados HOV700 del Laboratorio de inyección de aire del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP).

Código: T - 160 - 07 - 25



LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN Y RECOBRO MEJORADO – RECOBRO TÉRMICO – ÁREA DE INYECCIÓN DE AIRE – CENTRO DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA (ICP)

**PIEDRECUESTA
27-09-2019**

TABLA DE CONTENIDO

1.	<u>OBJETIVO</u>	5
2.	<u>GLOSARIO</u>	5
3.	<u>CONDICIONES GENERALES</u>	6
3.1.	CONDICIÓN GENERAL VISCOSIMETRO HOV700	6
3.2.	FRECUENCIA DE REVISION DEL EQUIPO Y CICLO DE TRABAJO	6
3.3.	FACTORES DE RIESGO HSE PARA TRABAJO SEGURO	6
3.4.	VALORACIÓN SAM	11
3.5.	PELIGROS QUÍMICOS	12
3.6.	PELIGROS EN EL PROCESO	12
3.7.	RIESGOS	12
3.8.	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	12
4.	<u>ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS</u>	13
4.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS	13
4.1.1.	HORNO VISCOSÍMETRO HOV700	13
	4.1.1.1 DESCRIPCION GENERAL	13
4.1.2.	CENTRAL DE HOV700	15
	4.1.2.1 DESCRIPCION GENERAL	16
4.1.3.	SOLLAE SYSTEM	16
	4.1.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	17
4.2.	FICHA TÉCNICA DE LOS EQUIPOS	18
4.2.1.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VISCOSÍMETRO HOV700	18
4.2.2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SOLLAE SYSTEM	18
5.	<u>INSTALACION FISICA DE LOS EQUIPOS</u>	19
6.	<u>INSTALACIÓN DEL SOFTWARE DE LOS EQUIPOS</u>	22
6.1.	APPLILAB	22
6.2.	ESI-USB	27
6.3.	SOLLAE SYSTEM - ezVSP	29
7.	<u>OPERACIÓN DEL EQUIPO VISCOSIMETRO HOV</u>	33
7.1.	CUIDADOS, LIMPIEZA Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO	33

7.2. MANTENIMIENTO	38
7.2.1. RECOMENDACIONES Y LIMPIEZA GENERAL	38
7.2.2. CELDA DEL VISCOSÍMETRO	38
7.3. CALIBRACIÓN	39
7.4. FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL DEL VISCOSÍMETRO HOV	40
8. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	42
9. RELACIÓN DE VERSIONES.....	43

9. OBJETIVO

Establecer las tareas a ejecutar en el equipo Viscosímetro para garantizar la operación segura y confiable para la determinación de viscosidades de hidrocarburos para el Laboratorio de Recobro Mejorado, área de inyección de aire.

10. GLOSARIO

Cámara: Capsula que contiene la muestra en la cual se va a realizar la medición.

Centipoise: Es la unidad de viscosidad dinámica del sistema cegesimal de unidades.

EPP: Elementos de protección personal.

Peligro: Es una fuente, elemento, condición o situación que tiene el potencial de causar daño a las personas (lesión o enfermedad), la economía, el ambiente o la imagen, por ejemplo: gasolina, energía eléctrica, altura, etc.

Precondición Operacional: Requisito de la planta en cuanto a recursos disponibles o actividades ejecutadas que deben existir previos al Plan de Actividades de un Procedimiento Operacional.

Presión: Magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el Sistema Inglés la presión se mide en libra por pulgada cuadrada que es equivalente a una fuerza total de una libra actuando en una pulgada cuadrada.

Temperatura: Es la magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro.

Riesgo: Producto de combinar la probabilidad de que un evento específico indeseado ocurra y la severidad de las consecuencias.

Válvula: Dispositivo que abre y cierra el paso de un fluido por un conducto en un equipo o máquina.

Viscosidad: Es la medida de la resistencia de un fluido a deformaciones graduales.

11. CONDICIONES GENERALES

11.1. CONDICIÓN GENERAL VISCOSIMETRO HOV700

El viscosímetro de aceite pesado consiste en una varilla de acero que se mantiene en vibración permanente aplicando una potencia constante. La amplitud de la vibración varía en función de la viscosidad del fluido en el que se encuentre sumergido. La electrónica asegura una vibración adecuada y trata la amplitud de las variaciones para obtener el valor de la viscosidad. El módulo del equipo se ensambla con una celda de medición de 15 cc para obtener un viscosímetro independiente, esta a su vez está contenida dentro de una cabina la cual nos permite variar la temperatura de la muestra hasta los 180 °C Una válvula de drenaje también permite liberar la sustancia cuando se alcanza la presión de saturación.


11.2. FRECUENCIA DE REVISION DEL EQUIPO Y CICLO DE TRABAJO

- El viscosímetro debe operar de manera completa al menos una vez al mes para conservar su funcionalidad.
- Se debe efectuar una revisión del ciclo de trabajo cada vez que se realice la actualización del procedimiento y/o para todo el personal nuevo que requiera entrenamiento para operar el equipo.
- Se debe realizar mantenimiento cada 6 meses para evitar la degradación del equipo así este no esté en operación.

11.3. FACTORES DE RIESGO HSE PARA TRABAJO SEGURO

Antes de iniciar la operación del equipo, se deben tener en cuenta todos los aspectos de seguridad. Para ello se debe revisar la información presentada en la tabla 1, que contiene una descripción, evaluación y tratamiento de riesgos.

Tabla 1. Formato análisis de riesgo.

FORMATO ANÁLISIS DE RIESGO																			
											GESTIÓN OPERACIONAL DE HSE DEPARTAMENTO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO								
											GRSC-PRS-F-043		ELABORADO 29/10/2018			VERSIÓN 2			
ANÁLISIS DEL RIESGO																			
No.	Descripción del Riesgo			Categoría	Evaluación Inherente						Controles o Medidas de Mitigación Existentes	Evaluación Residual						Opción de Tratamiento Seleccionad	Acción y/o Control
	Evento	Causas	Consecue ncias		Per	Amb	Eco	Cli	Ima	Nivel de Riesgo		Per	Amb	Eco	Cli	Ima	Nivel de Riesgo		
1	Incendio en el cuarto de manejo de solventes	Inmediata: Fuga del solvente (tolueno) de los equipos dean stark y soxhlet Básica: Falla o rotura de los recipientes que contienen el solvente	Daños a personas y equipos	Operacional	4B	0A	3B	0A	1B	M	1. En la ingeniería de detalle se contempla el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el área de manejo de solventes 2. Los equipos dean stark y soxhlet se encuentran ubicados dentro de cabinas de extracción	3B	0A	2B	0A	1B	L	Mitigar Reducir	Incluir en el procedimiento de operación una sección que describa la frecuencia y plan de mantenimiento para los equipos dean stark y soxhlet
2	Emisión de gases tóxicos en el cuarto de manejo de solventes	Inmediata: Derrame de solvente en el área de trabajo Básica: Inadecuada	Daños a personas	Operacional	3B	0A	1B	0A	1B	L	*En la ingeniería de detalle se contempla el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el área de manejo de	1B	0A	1B	0A	1B	N	Mitigar Reducir	Incluir en los instructivos de operación y ensayo de los equipos Dean Stark y Soxhlet los

INSTRUCTIVO PARA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO
VISCOSIMETRO

		operación y manejo de los recipientes para el cargue y descargue del solvente en los equipos soxhlet y Dean Stark									solventes								Elementos de Protección Personal de acuerdo a las sustancias presentes en cada equipo.
3	Explosión en la unidad de temperatura controlada	Inmediata: Fuga en las líneas del equipo coreval Básica: Falta o inadecuado mantenimiento en las líneas de Helio o Nitrógeno	Daños a personas y equipos	Operacional	3B	0A	1B	0A	1B	L	N/A	3B	0A	1B	0A	1B	L	Eliminar Evitar	Incluir en el procedimiento de operación y ensayo del equipo coreval una sección para el mantenimiento y calibración de la instrumentación y las líneas de operación
4	Incendio en el cuarto de emisión de polvo y vibración	Inmediata: Falla en las resistencias de calentamiento del equipo horno de secado al vacío Básica: Falta	Daños a personas	Operacional	1C	0A	1C	0A	1C	N	En la ingeniería de detalle está el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el cuarto de emisión de polvo y vibración	1C	0A	1C	0A	1C	N	Mitigar Reducir	Elaborar un procedimiento para el mantenimiento y calibración de la instrumentación y las líneas de

INSTRUCTIVO PARA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO
VISCOSIMETRO

PÁGINA 10
DE 113

		o inadecuado mantenimiento o en la instrumentación y líneas de operación																	operación
5	Explosión en la unidad de temperatura controlada	Inmediata: Acumulación de vapores del solvente Básica: Falla en las cabinas de extracción de gases	Daños a personas y equipos	Operacional	3B	0A	3B	0A	1B	L	En la ingeniería de detalle está el diseño del sistema contra incendio y fire and gas para el área de manejo de solventes	2B	0A	1B	0A	1B	N	Eliminar Evitar	Elaborar un procedimiento para la revisión de los sensores de las cabinas de extracción de gases

11.4. VALORACIÓN SAM

La Matriz de Evaluación de Riesgos es una herramienta para la evaluación cualitativa de los riesgos y facilita la clasificación de las amenazas a la salud, seguridad, medio ambiente, relación con clientes, bienes e imagen de la empresa. En resumen, contempla:

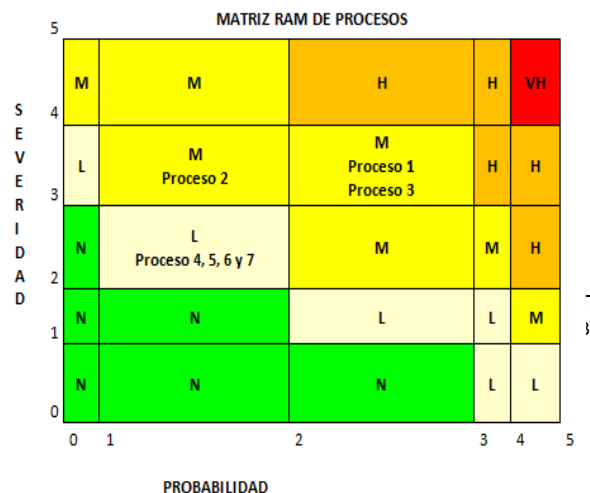
Los ejes de la matriz según la definición de riesgo corresponden a las consecuencias y a la probabilidad. Para cuantificar el nivel de las consecuencias se utiliza una escala de "0" a "5", para evaluar la probabilidad se utiliza una escala de "A" a "E", basándose en la experiencia o evidencia histórica en que las consecuencias identificadas se han materializado dentro de la industria, la empresa o el área, representando la probabilidad de que se desencadenen las consecuencias potenciales o reales estimadas, según el caso.

El cruce de las dos escalas determina la evaluación y clasificación cualitativa del riesgo. Para este caso de la RAM, estimar la probabilidad y las consecuencias no es una ciencia exacta. La estimación de la consecuencia se basa en la respuesta a "qué ocurrió" o "qué pudo o podrá ocurrir; mientras que la estimación de la probabilidad se basa en información histórica respecto de casos ocurridos anteriormente en similares condiciones, sabiendo que las circunstancias nunca son exactamente las mismas.

La operación del equipo Viscosímetro está integrada en el proceso de caracterización y preparación de muestras para el Laboratorio de Recobro Mejorado, Área de Inyección de Aire, por lo tanto, dicha operación está clasificada con un riesgo, en la matriz de procesos, como bajo.

Figura 1. Matriz RAM.

PROCESOS	PRIORIDAD	VALORACIÓN
Sistema de compresión de gases	Prioridad 1	M
Determinación de los parámetros de desempeño de la combustión in situ	Prioridad 2	M
Tratamiento de gases	Prioridad 3	M
Determinación del mecanismo y tiempo de retardo de la ignición	Prioridad 4	L
Determinación de las características de oxidación y el modo de transición entre los distintos regímenes	Prioridad 5	L
Preparación y caracterización de muestras	Prioridad 6	L
Identificación, recepción y almacenamiento de muestras	Prioridad 7	L



Fuente: Ecopetrol SA.

11.5. PELIGROS QUÍMICOS

Debido a la pequeña cantidad de reactivos que se usan en durante la corrida de la prueba, el impacto ambiental está clasificado como nulo, pero se debe tener en cuenta el impacto ocupacional que puede producir en las personas debido al uso de tolueno en esta operación.

Para mitigar estas consecuencias el uso de EPP es primordial, así como ejecutar las tareas de limpieza en cabinas extractoras.

11.6. PELIGROS EN EL PROCESO

Algunas de las condiciones o actividades del proceso pueden representar peligros para el personal tales como:

- Líneas y equipos de proceso calientes.
- Escape de vapores de hidrocarburos.
- Drenajes de hidrocarburos.
- Venteos de gases tóxicos y drenajes.
- Venteos de vapor.

11.7. RIESGOS

Dentro de los riesgos podemos mencionar:

- Incendio y/o Explosión.
- Quemaduras.
- Intoxicación.

11.8. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Para la operación segura del equipo Viscosímetro es necesario contar con los siguientes elementos de protección personal.

- Bata.
- Gafas.
- Casco de seguridad.

- Botas de seguridad.
- Guantes de nitrilo y/o baqueta.
- Respiradores media cara para solventes orgánicos con cartucho químico.

12. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

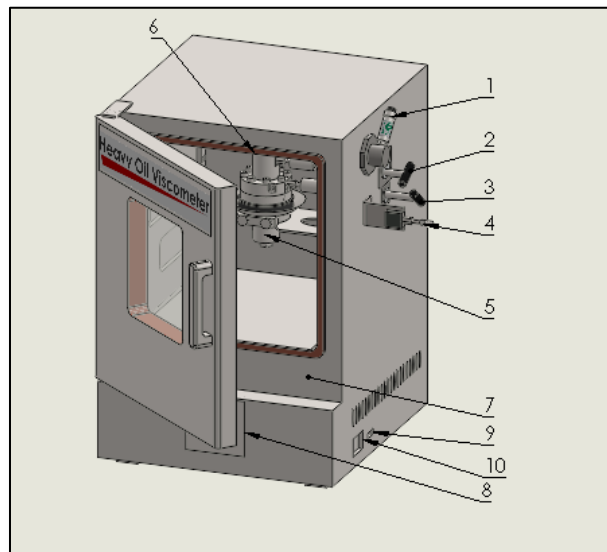
12.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS

12.1.1. HORNO VISCOSÍMETRO HOV700

El viscosímetro de aceite pesado (Figura 3) consiste en una varilla de acero que se mantiene en vibración permanente aplicando una potencia constante. La amplitud de la vibración varía en función de la viscosidad del fluido en el que se encuentre sumergido. La electrónica asegura una vibración adecuada y trata la amplitud de las variaciones para obtener el valor de la viscosidad. El módulo del equipo se ensambla con una celda de medición de 15 cc para obtener un viscosímetro independiente, esta a su vez está contenida dentro de una cabina la cual nos permite variar la temperatura de la muestra hasta los 180 °C Una válvula de drenaje también permite liberar la sustancia cuando se alcanza la presión de saturación. La celda está diseñada para ser retirada fácilmente para su limpieza rápida y eficiente. Además, cuenta con una central, que lee los datos medidos por el viscosímetro y nos da una respuesta de la temperatura y la viscosidad de la muestra en menos de 60 segundos.

12.1.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

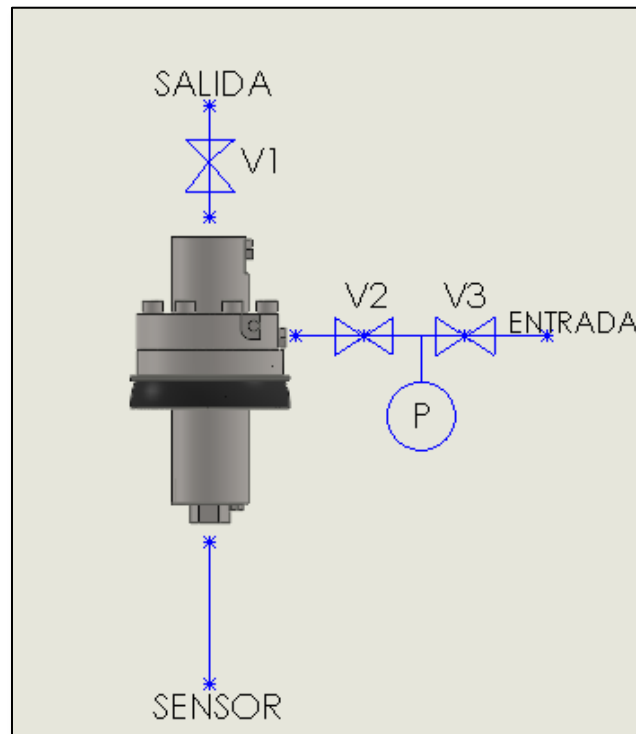
Figura 2. Viscosímetro de aceites pesados.



Fuente: Autor.

1. Sensor de presión GS4200.
2. Válvula 1. (a la salida)
3. Válvula 2.
4. Válvula 3. (a la entrada)
5. Sensor temperatura. (PT100)
6. Viscosímetro.
7. Horno.
8. Pantalla para visualizar la temperatura.
9. Puerto COM RS232.
10. Botón ON/OFF.

Figura 3. Esquema de la celda del viscosímetro y sus válvulas.



Fuente: Autor.

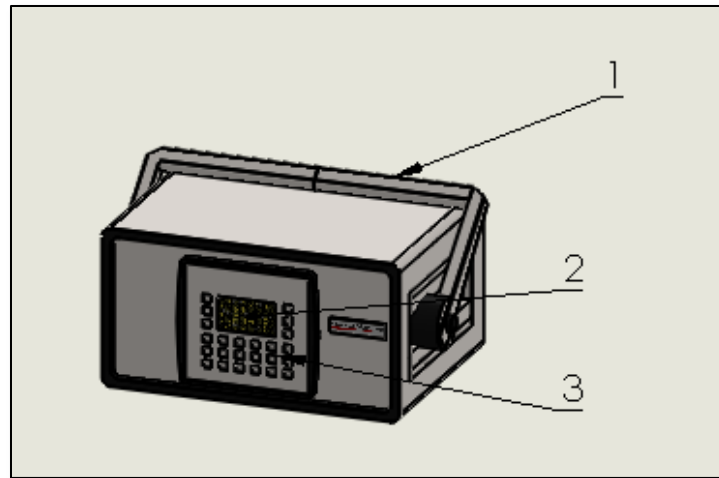
1. V1: Drenaje.
2. V2: Ajuste de presión.
3. V3: Carga de reactivo.

12.1.2. CENTRAL DE HOV700

La central del viscosímetro HOV700 es la encargada de procesar toda la información recibida del PT100 y del viscosímetro. Esta información se puede visualizar desde la pantalla en tiempo real o por medio del puerto COM RS232, enviar esa información a un computador. El software utilizado para leer esta información es la AppliLab, software proporcionado por el fabricante. En la pantalla se puede configurar entre otras cosas, la manera de visualizar la medida, por valor o gráfica, las unidades, etc. Los puertos del PT100, el viscosímetro, el puerto COM RS232, y la alimentación, se encuentran en la parte trasera del equipo.

12.1.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Figura 4. Central del viscosímetro de aceites pesados.



Fuente: Autor.

1. Asa para transportar.
2. Pantalla.
3. Teclado.

12.1.3. SOLLAE SYSTEM

El viscosímetro de aceite pesados cuenta con un equipo de Sollae System (EZL400S), la principal función de este equipo es comunicar la central y el viscosímetro con la CPU, por medio de los puertos físicos y emulándolos de forma virtual por medio de un cable RJ45 en la computadora, debido a la obsolescencia de estos puertos en equipos actuales. El EZL400S se configura por medio de la aplicación (ezVSP3), proporcionada por el fabricante, los puertos COM físicos se encuentran en la parte trasera del aparato, al igual que el puerto RJ45 (Este se conecta a la CPU) y el conector a la alimentación. En la parte frontal se encuentran los leds que nos informaran del estado de comunicación entre los equipos.

12.1.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Figura 5. Sollae System EZL400S.



Fuente: Autor.

1. Conmutador S/W.
2. Power: ON/FF del equipo.
3. Run: Inicio del equipo.
4. LAN: conexión del puerto LAN.
5. TX/RX: Envió y recibido de señal.
6. STB 1/2/3/4: Conexión de puertos com físicos.

Nota:

- El led de Power siempre debe estar encendido.
- El led de run al principio parpadea mientras arranca luego queda encendido.
- El led de LAN se apaga o enciende si está conectado el cable LAN y hay comunicación.
- Los led's de TX/RX parpadearan en función de si están enviando o recibiendo señal. Los que están al lado de LAN, hace referencia a la comunicación con la CPU. Los de serial hacen referencia a los puertos com, si están apagados o solo parpadea TX o RX, significa que no están correctamente comunicados.
- Los led's de STB se encienden en función de que puerto com esté conectado y funcionando (1, 2, 3, 4).

12.2. FICHA TÉCNICA DE LOS EQUIPOS

12.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VISCOSÍMETRO HOV700

Volumen de la muestra: 10 cc / 15 cc.

Presión de operación: 700 bar – 10.000 psi.

Temperatura de operación: Arriba de los 180 °C.

Rango de Viscosidad: Arriba de los 10⁶ cP (1 000 a 100 000 cP o 10 000 a 1 000 000 cP) Fluido Newtoniano.

Tiempo de respuesta: 1 - 60 segundos.

Material de la celda: Acero Inoxidable con barras Hastelloy.

Conexiones: 1/8" LP Autoclave o tipo Butech (15 000 psi), 1/8" Tipo HIP (30 000 psi).

Material en contacto: Acero inoxidable, Viton, PTFE, Hastelloy.

Dimensiones: 82 x 65 x 60 cm (H X W X D).

Peso: 40 Kg Aprox.

Alimentación: - Computador Controlador: 110/240VAC, 50 o 60 Hz, 10A.
- Central HOV: 110/240VAC, 50 o 60 Hz, 3A.
- Viscosímetro: 220/240VAC, 50 o 60 Hz, 30A.

12.2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SOLLAE SYSTEM

Componentes: 1 Unidad EZL400S, 2 Cables RS232, 1 Cargador 5V.

Alimentación: 5V/500 mA.

Temperatura de operación: 0 °C – 55 °C.

Dimensiones: 19 x 12.6 x 2.9 cm (H X W X D).

Peso: 540 g.

Puertos: 4 puertos COM, 1 puerto LAN.

Protocolo: TCP, UDP, IP.

- Nota: A continuación, se especifican algunas abreviaturas para el entendimiento de las características técnicas.

psi: Libra de fuerza por pulgada cuadrada - unidad de presión.

bar: Unidad de presión

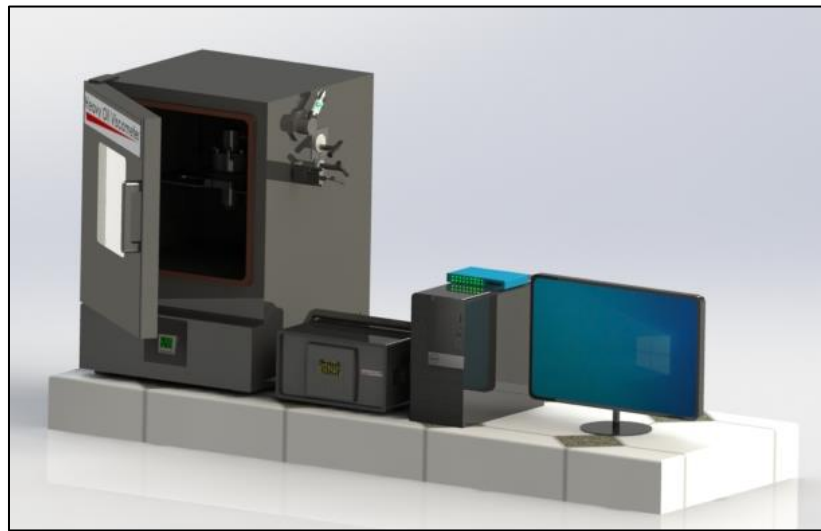
cP: Término usado en inglés para referirse a la unidad de viscosidad, Centipoise

cm: Unidad de longitud internacional

°C: Grados Celsius – unidad de temperatura en sistema CGS.
Hz: Hercio o Hertz – unidad de frecuencia en el SI.

13. INSTALACION FISICA DE LOS EQUIPOS

Figura 6. Equipo Viscosímetro HOV700.



Fuente: Autor.

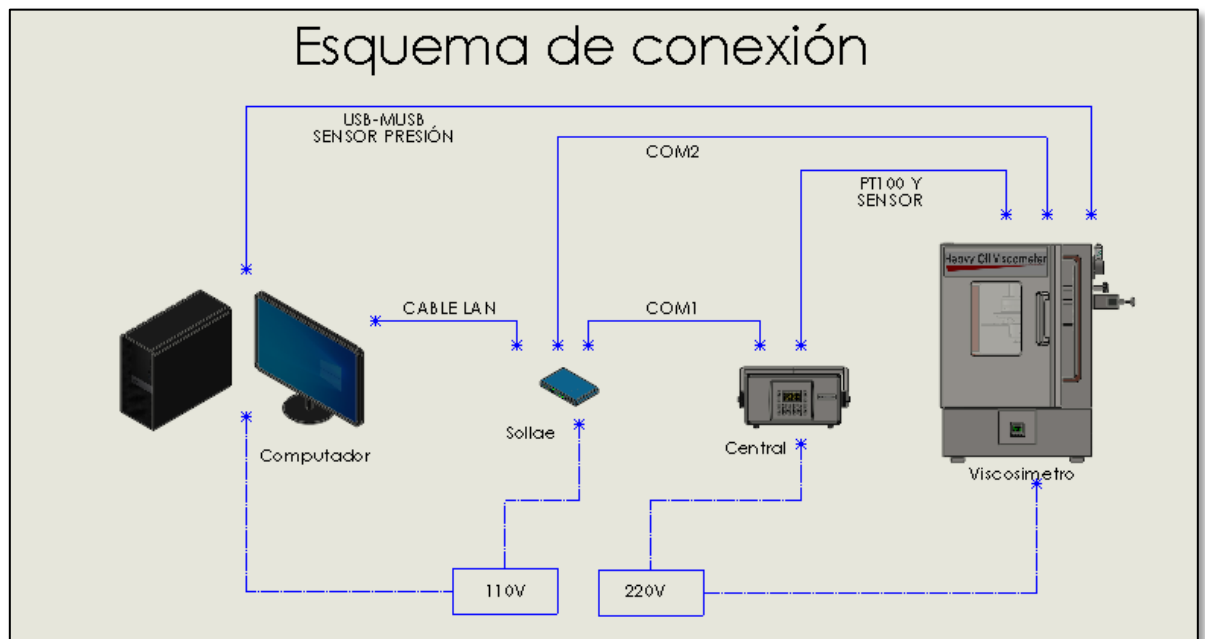
El equipo en conjunto (Figura 6) consta de:

- 1 viscosímetro HOV700.
- 1 Central del HOV700.
- 1 Sollae System EZL400S.
- 1 CPU.
- 1 monitor.
- 1 Mouse.
- 1 teclado.
- 1 cable WVGA.
- 2 cables de poder a 110v.
- 2 cables de poder a 220v.
- 1 cargador a 5v.

- 1 cable RJ45.
- 2 cables COM RS232.
- 1 sensor PT100.
- 1 cable Sensor viscosímetro.
- 1 sensor de presión GS4200 (Usualmente está conectado al viscosímetro).
- 1 cable USB – Micro USB.

El espacio requerido para su instalación es de aproximadamente 150 x 70 x 70 cm (H X W X D). Además, debe contar con 3 tomas a 110v y 2 tomas a 220v. En la figura 7, se muestra la manera correcta de conectar estos equipos.

Figura 7. Esquema de conexión para la comunicación de datos del equipo.



Fuente: Autor.

a. Horno viscosímetro HOV700

De este equipo se desprenden 5 cables y un sensor:

- **Alimentación:** Se encuentra en la parte trasera del equipo y se conecta a 220v.

- **PT100:** La junta se conecta dentro de la celda del viscosímetro, entra por un orificio superior, y la conexión va a la parte trasera de la central.
- **Sensor viscosímetro:** De la celda del viscosímetro sale un cable circular y este se conecta en la parte trasera de la central
- **Sensor presión GS4200:** Este sensor se conecta en el lateral derecho del viscosímetro, se conecta en rosca.
- **Cable USB – Micro USB:** Este cable va conectado del sensor GS4200 (Micro USB) a la CPU (USB).
- **Cable COM R232:** Este cable sale del lateral derecho del viscosímetro y se conecta a uno de los puertos del Sollae (COM2).

b. Central

De este equipo se desprenden 3 cables:

- **Alimentación:** Se encuentra en la parte trasera del equipo y se conecta a 220v.
- **PT100:** La junta se conecta dentro de la celda del viscosímetro, entra por un orificio superior, y la conexión va a la parte trasera de la central.
- **Sensor viscosímetro:** De la celda del viscosímetro sale un cable circular y este se conecta en la parte trasera de la central.
- **Cable COM R232:** Este cable sale de la parte trasera de la central y se conecta a uno de los puertos del Sollae (COM1).

c. Sollae System EZL400S

De este equipo se desprenden 4 cables:

- **Alimentación:** Se encuentra en la parte trasera del equipo y se conecta con el cargador de 5v a 110v.
- **Cable COM R232:** Los dos cables del viscosímetro y la central se conectan a los puertos COM, que se encuentran en la parte trasera.
- **Cable RJ45:** En la parte trasera del equipo se conecta el cable RJ45, y la otra punta a la CPU.

d. Computador

En este equipo se conecta de manera habitual los accesorios (Monitor, mouse, teclado, CPU) y además se conectan 2 cables a la CPU:

- **Cable RJ45:** En la parte trasera del equipo se conecta el cable RJ45, y la otra punta al Sollae System.
- **Cable USB – Micro USB:** Este cable va conectado del sensor GS4200 (Micro USB) a la CPU (USB).

14. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE DE LOS EQUIPOS

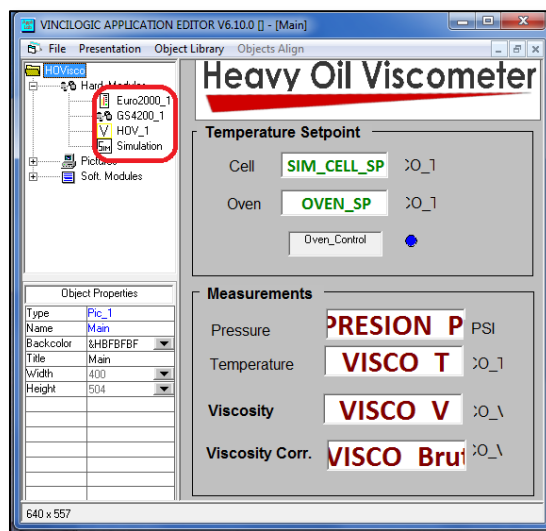
El equipo viscosímetro de aceites pesados cuenta con 3 software diferentes correspondiente a cada equipo, además de la propia configuración interna e independiente del horno y de la central (Apartado operación del equipo). A continuación, se detallará cada software la manera de utilizarlo y de configurarlo:

14.1. APPLILAB

Este software esta proporcionado por Vinci Technologies, nos permite configurar los sensores del viscosímetro y la visualización de las mediciones tomadas. Los siguientes parámetros se deben tomar en cuenta a la hora de encender, operar y hacer mantenimiento en el equipo.

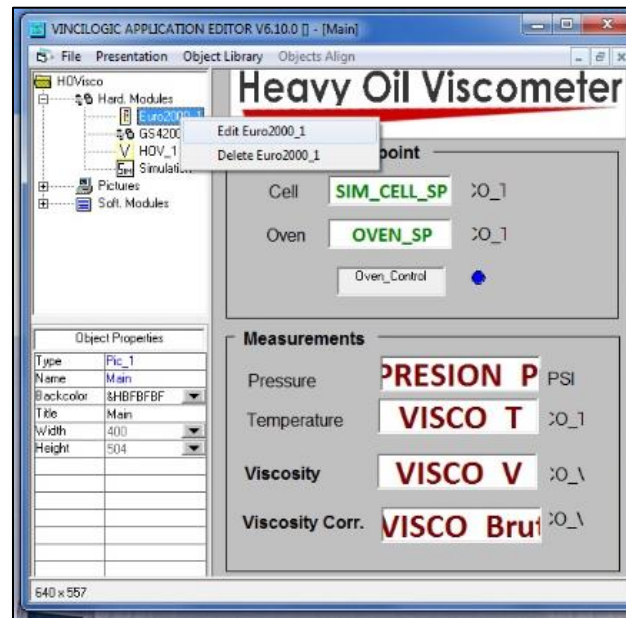
- a. **Configuración de Sensores:** Hay que tener suma importancia a la hora de configurar los puertos a los que está conectado cada sensor, AppliLab cuenta con una segunda aplicación llamada AppliLabDev, que nos permite configurar los puertos de Euro200, GS4200, HOV (Figura 8, 9, 10, 11, 12). En el puerto del sensor GS4200 hay que tener muy presente en que puerto va conectado para que no presente fallos, este puerto se puede determinar fácilmente ejecutando el programa ESI – USB (Figura 9).

Figura 8. Configuración AppliLabDev.



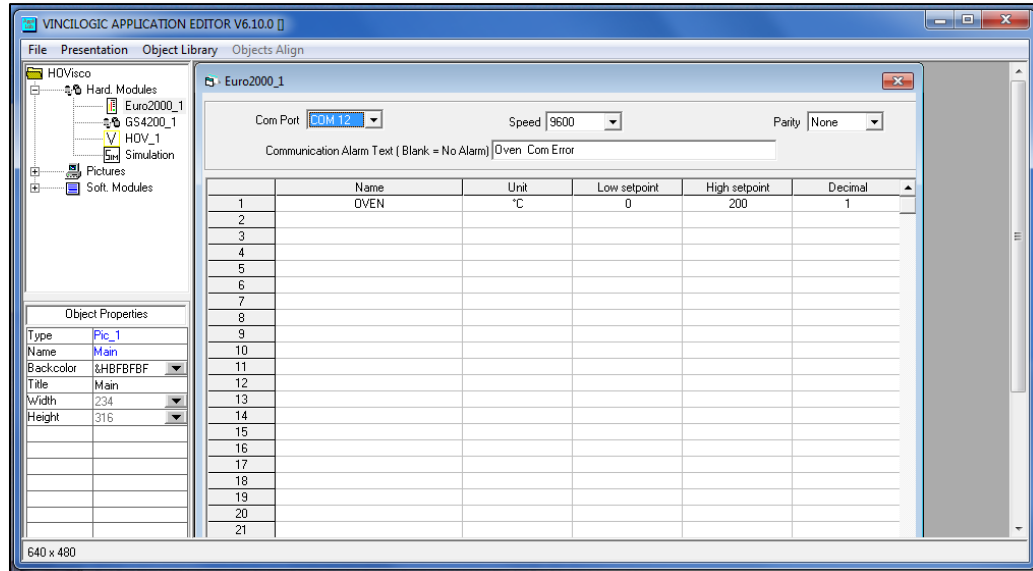
Fuente: Autor, AppliLab.

Figura 9. Configuración AppliLabDev – Editor de sensores.



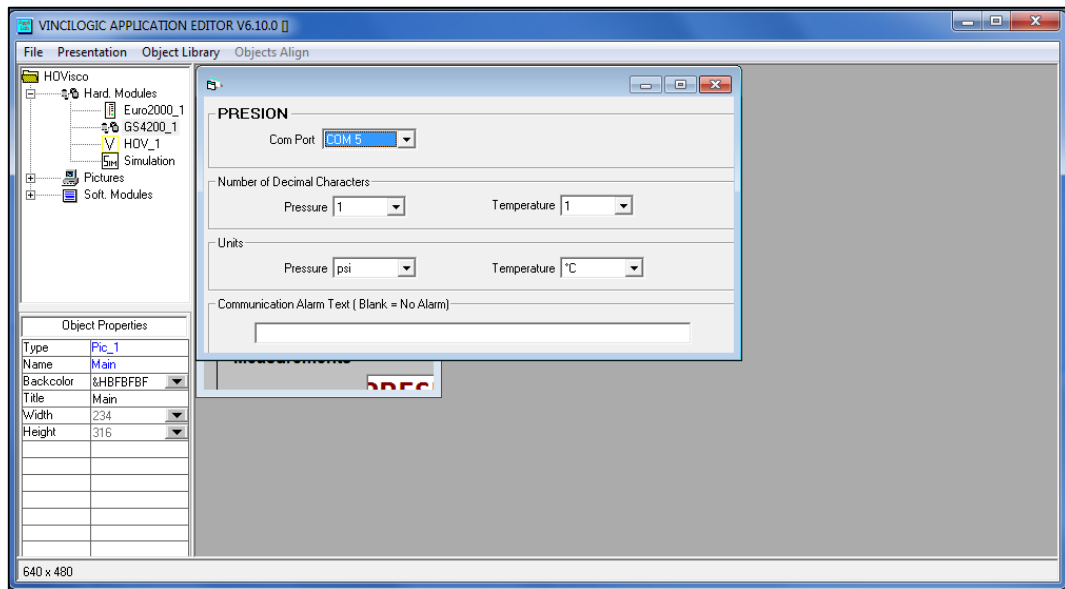
Fuente: Autor, AppliLab.

Figura 10. Configuración AppliLabDev – Editor de Euro2000.



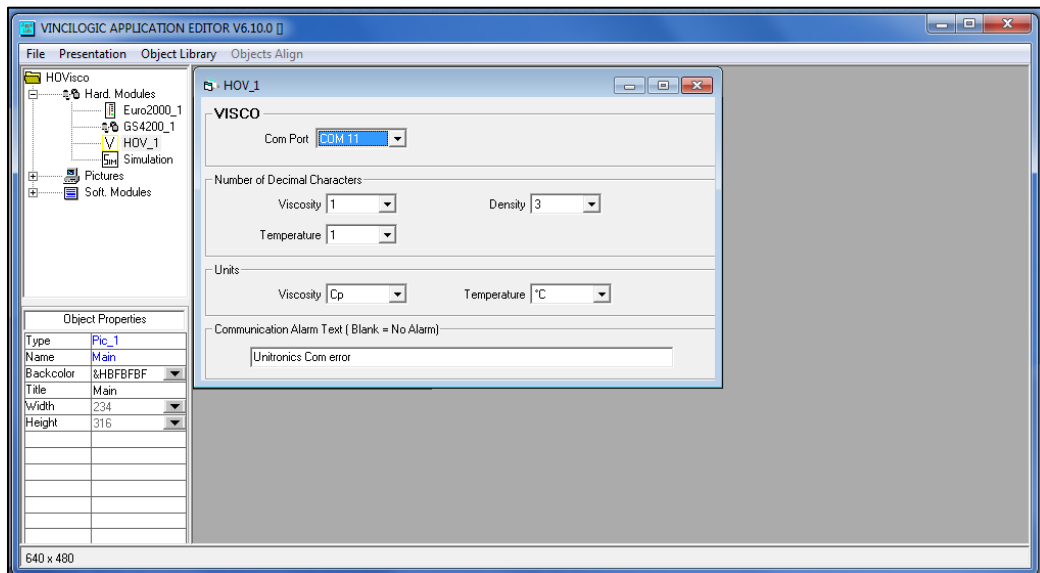
Fuente: Autor, AppliLab.

Figura 11. Configuración AppliLabDev – Editor de GS4200.



Fuente: Autor, AppliLab.

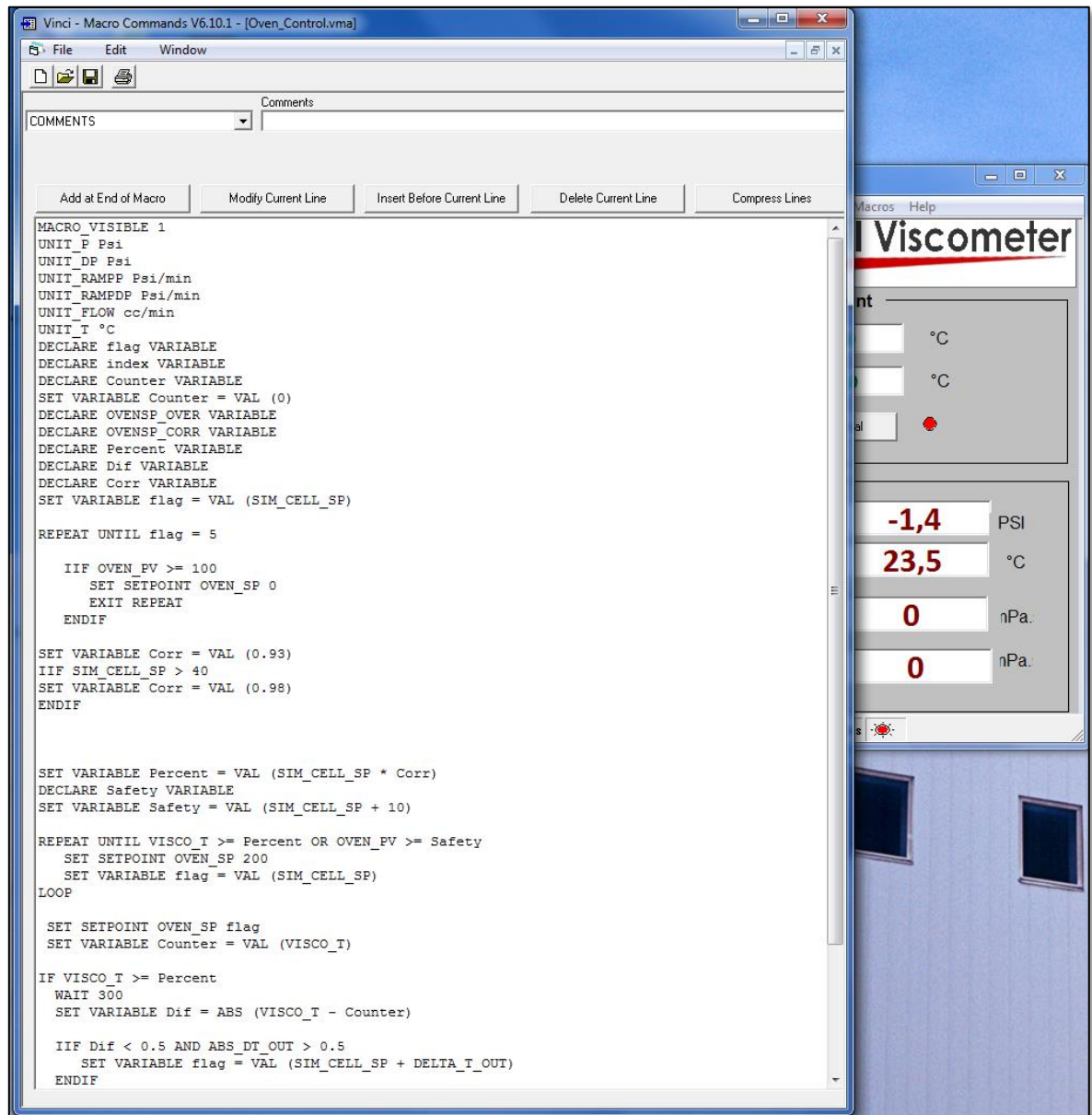
Figura 12. Configuración AppliLabDev – Editor de HOV.



Fuente: Autor, AppliLab.

- b. Configuración Macro:** La macro se puede editar, aunque se recomienda no tocarla para evitar incompatibilidades, actualmente está operativa y funcional. (Figura 13).

Figura 13. Configuración AppliLabDev – Macro.



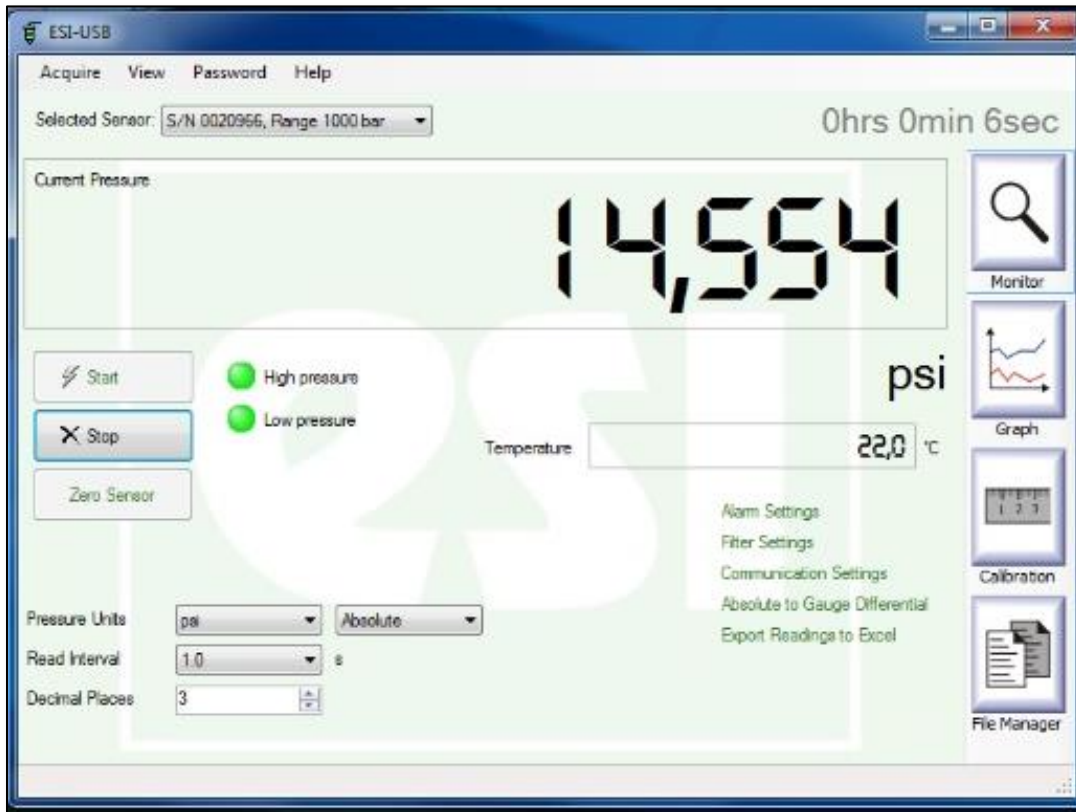
Fuente: Autor, AppliLab.

14.2. ESI-USB

Este software esta proporcionado por Esi Technologies, nos permite configurar el sensor de presión GS4200, la visualización de las mediciones tomadas y su

automática calibración (Figura 14). Los siguientes parámetros se deben tomar en cuenta a la hora de encender, operar y hacer mantenimiento en el equipo.

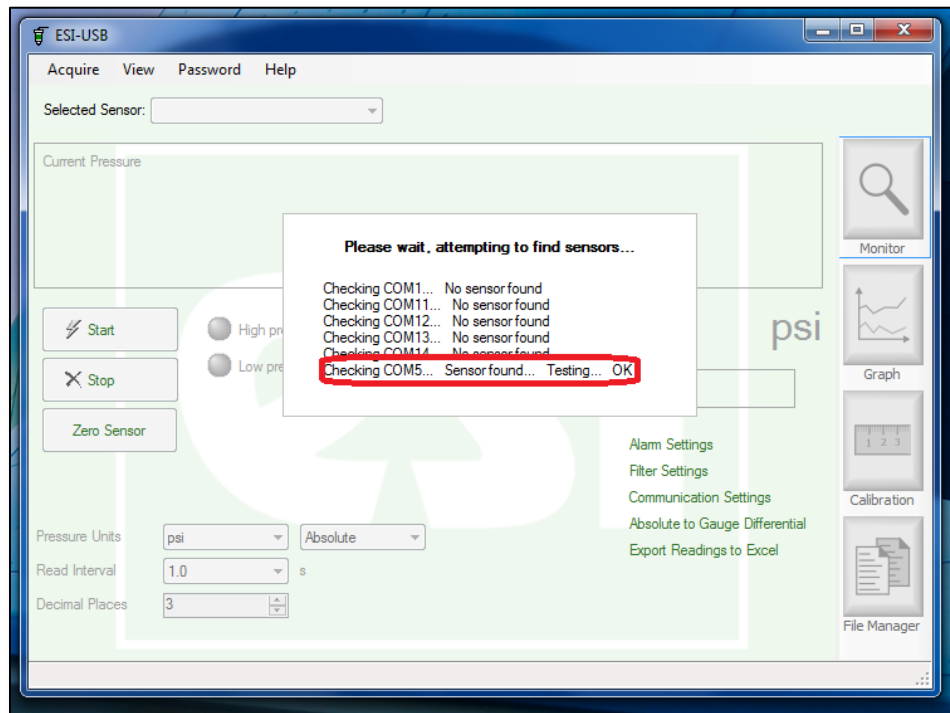
Figura 14. ESI USB - Pruebas del sensor de presión.



Fuente: Autor, ESI USB®

a. Configuración del puerto: Cuando se ejecuta este programa, automáticamente hace un barrido por todos los puertos (Físicos y virtuales), buscando el hardware compatible. Esta parte es muy importante debido a que nos indica en que puerto está conectado el sensor (Figura 15), que posteriormente colocaremos, editando en el software AppliLab. (Figura 11).

Figura 15. ESI USB - Testing del sensor de presión.



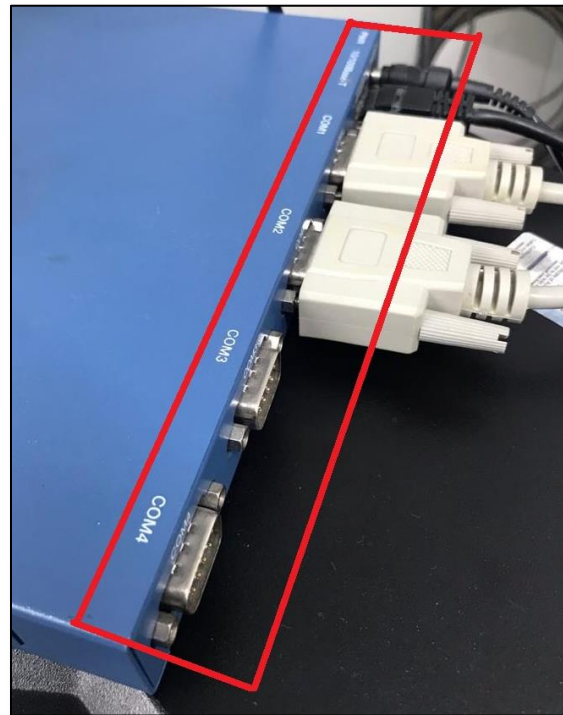
Fuente: Autor, ESI USB®

14.3. SOLLAE SYSTEM - ezVSP

Este software esta proporcionado por Sollae System, nos permite emular los puertos COM RS232 físicos del equipo. La configuración de este software es de vital importancia debido a que este es la estructura principal de toda la conexión, para que todo funcione debidamente. A continuación, se detallará paso a paso como configurarlo de manera óptima.

- a. **Preparativos:** Revisar la conexión a la alimentación, los puertos COM RS232, el puerto LAN, y que los led's frontales estén encendidos (Figura 5, 16).

Figura 16. Conexión del Sollae EZL400S.



Fuente: Autor.

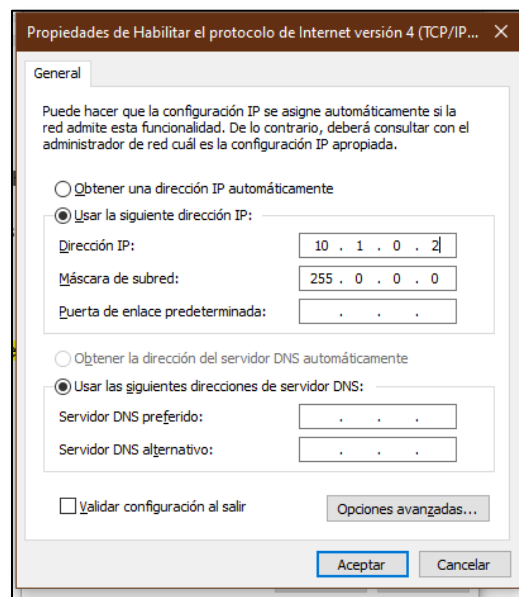
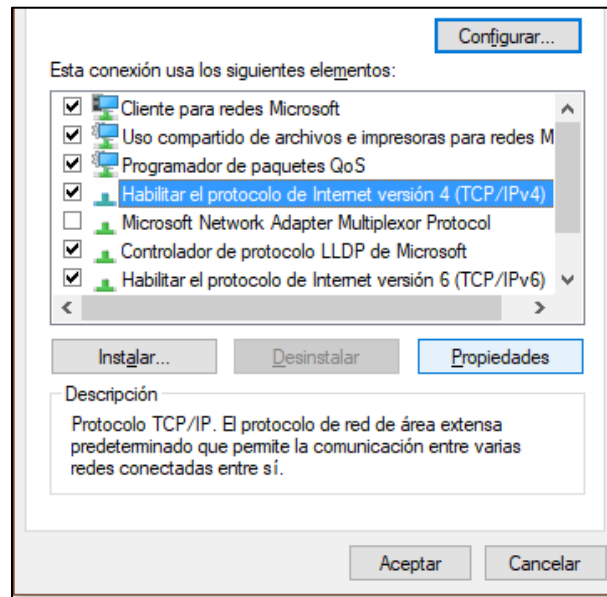
- b. Ajuste de la dirección IP:** En los ajustes de red del computador cambiar la dirección de IP. Esto se hace en Panel de control > Centro de redes y recursos compartidos > Ethernet > Propiedades > Habilitar protocolo de internet V4 > Propiedades > Usar la siguiente dirección IP > (digitan la siguiente configuración) (Figura 17).

IP Adress: 10.1.0.2.

Mascara de subred: 255.0.0.0.

Puerta de enlace predeterminada: 0.0.0.0.

Figura 17. Configuración del puerto IP.

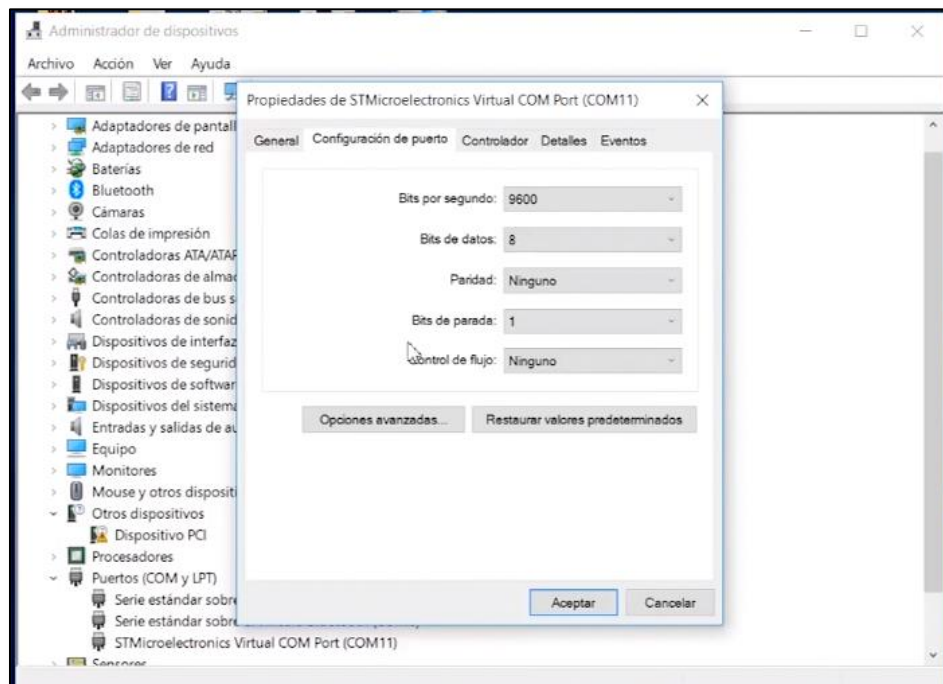


Fuente: Autor.

- c. Ajuste de los puertos COM RS232:** En los ajustes de dispositivos del computador configurar el puerto COM1. Esto se hace en Panel de control > Puertos (COM y LPT) > Puerto COM1 > Propiedades > Configuración de puerto > (Aplican la siguiente configuración) (Figura 18).

Bits por segundo: 192000 bps.
Bits de datos: 8 bits.
Parada: 1 bit.
Control de flujo: Ninguno.

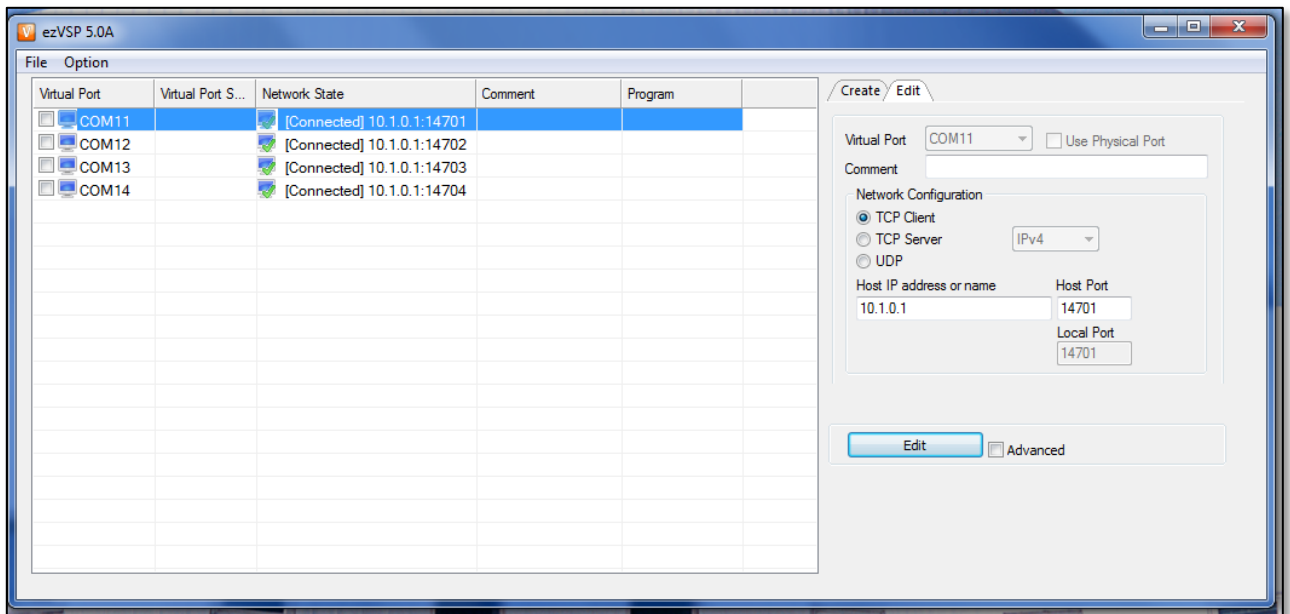
Figura 18. Configuración del puerto COM RS232.



Fuente: Autor.

d. Creación de puertos en el software: Se procede a crear (Verificar) los puertos con virtuales en el programa ezVSP, de la siguiente manera: Crear > COM# > TCP client > IP adress 10.1.0.1 > Puerto host 1470# > Local port 1470 (Figura 19).

Figura 18. Configuración del puerto COM RS232 virtuales en ezVSP.



Fuente: Autor, ezVSP.


15. OPERACIÓN DEL EQUIPO VISCOSIMETRO HOV

15.1. CUIDADOS, LIMPIEZA Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

En la siguiente tabla se describe el paso a paso para la correcta operación del equipo viscosímetro de aceites pesados.

Tabla 2. Tabla de cuidado, limpieza y operación tipo Check List.

CHECK LIST	TAREAS	QUIEN	PELIGROS		CONSECUENCIAS
			TIPO	RAM	
SI = √	PLAN 1: Informar a todos los interesados	OP	PE	L	Afectación a personas expuestas no involucradas en la actividad; Baja oportunidad de reacción ante una emergencia; Disturbios operacionales por falta de coordinación en los ajustes al proceso.
	1.1	Se debe dar informe del inicio del procedimiento a las siguientes personas: Líder de Laboratorio y personal del Laboratorio.			
SI = √	PLAN 2: Encendido del equipo	OP	PE	M	Daño y descalibración del equipo de medición. Liberación de gases tóxicos. Asfixia por presencia de gases tóxicos. Exposición a vapores de hidrocarburo. Falla de contención de producto líquido.
	2.1	Encienda la caja de control al cambiar al botón del interruptor principal			
	2.2	Encienda también el horno al cambiar al botón principal			
SI = √	PLAN 3: Limpieza	OP	PE	M	Obtención de resultados no coherentes sobre la viscosidad de la muestra. Pedida del ensayo. Liberación de gases tóxicos. Asfixia por presencia de gases tóxicos. Exposición a vapores de hidrocarburo.
	3.1	Se asume que la celda está llena de muestra a temperatura ambiente y a alta presión. (V ₁ y V ₃ están cerradas).			
	3.2	En el caso de que la muestra sea muy viscosa, se recomienda calentar el horno a 80° C al menos.			
	3.3	Conecte la línea a V ₃ para recoger la muestra de residuos			
	3.4	Revise que no haya fugas en el collar			
	3.5	Abra lentamente V ₂ para reducir la presión en la celda			
	3.6	Abra lentamente V ₃ para liberar la presión			
	3.7	Conecte el aire comprimido (> 5 bar) o nitrógeno a V ₁			

CHECK LIST	TAREAS	QUIEN	PELIGROS		CONSECUENCIAS
			TIPO	RAM	
	3.8	Abra lentamente V ₁ para remover la muestra			
	3.9	Cuando deje de fluir la muestra a través de la línea de desechos, cerrar V ₁			
	3.10	Cerrar V ₃			
	3.11	Conecte un cilindro presurizado de disolvente (Tolueno) a V ₃			
	3.12	Abra V ₃ para llenar la celda con el disolvente: Esperar unos minutos			
	3.13	Conecte la línea de residuos a V ₁			
	3.14	Abra lentamente V ₁ para liberar el disolvente sucio			
	3.15	Cuando el disolvente que sale por el tubo de desagüe sea claro, cerrar V ₁ y V ₃			
	3.16	Conecte la línea de residuos a V ₃			
	3.17	Repita los pasos 3.6 a 3.16 una vez más			
	3.18	De acuerdo con la naturaleza de la muestra puede ser posible que la limpieza sea manual. En ese caso, proceda de la siguiente manera. Espere a que la celda se enfríe, luego retírela del horno (sea prudente)			
	3.19	Afloje los tornillos M12			
	3.20	<p>Retire la parte superior de la celda cuidadosamente. M10 se puede apretar para remover fácilmente la celda. Tenga mucho cuidado para evitar cualquier daño en la varilla vibratoria.</p> 			

CHECK LIST	TAREAS	QUIEN	PELIGROS		CONSECUENCIAS
			TIPO	RAM	
	3.21	Limpie manualmente con paños suaves las partes húmedas.			
	3.22	Cuando el proceso de limpieza haya terminado, ajustar la celda del viscosímetro por encima del sensor			
	3.23	Apriete los tornillos de M12 (80 N.m)			
	3.24	Ajuste la celda en el interior del horno			
	3.25	Ajuste la sonda PT100 en la celda			
	3.26	Conecte las líneas de salida y de entrada			
	3.27	Abra V ₂ y V ₃			
	3.28	Cierre V ₁			
	3.29	Conectar la bomba de vacío a V ₃ y aplicar vacío			
SI = √	PLAN 4. Medida de la viscosidad	OP	PE	L	Posibles quemaduras del personal de operación. Puntos calientes en el equipo por falta de barrido de calor residual; Pérdida de contención de vapores al retirar la canastilla porta muestras.
	4.1	Reiniciar el desplazamiento. Asegúrese de que la celda se haya limpiado correctamente			
	4.2	Abra V ₁ , V ₂ y V ₃			
	4.3	Encienda la unidad			
	4.4	Los elementos electrónicos y la bobina requieren 30 minutos para que la temperatura se estabilice			
	4.5	Restablecer el desplazamiento de las medidas de viscosidad cuando la lectura sea estable			
	4.6	Hacer vacío en la celda de la viscosidad y definir el set point de temperatura. Conectar una bomba de vacío a la válvula V ₃			
	4.7	A continuación, cierre V ₁ y encienda la bomba de vacío			

CHECK LIST	TAREAS	QUIEN	PELIGROS		CONSECUENCIAS	
			TIPO	RAM		
	4.8	Mientras la bomba de vacío esté funcionando, introduzca el set point de temperatura y empiece a calentar				
	4.9	Cuando el vacío es aplicado (por lo menos 20min) cierre V ₃				
	4.10	Desconectar la bomba de vacío				
	4.11	Conectar la línea de drenaje a V ₁				
	4.12	Esperar hasta que la temperatura se estabilice				
	4.13	Cargar el petróleo vivo. Cerrar V ₁ , V ₂ y V ₃				
	4.14	Conectar la línea del cilindro de muestra a V ₃ . Se recomienda calentar la línea de transferencia y el cilindro de muestra				
	4.15	Aspire la línea de transmisión o drene la muestra				
	4.16	Asegúrese de que la presión del cilindro de muestra está controlado por una bomba				
	4.17	Purgar con V ₃ para comprobar la presión de entrada. La presión en el cilindro de muestra debe ser constante				
	4.18	Purgar con V ₂ para rellenar la celda (~ 15cc)				
	4.19	Una vez que la presión en el viscosímetro alcance la presión requerida, drenar el aceite de purga con V ₁ (Purga 20cc)				
	4.20	Cerrar V ₁ y V ₃				
	4.21	Ajustar la presión final con V ₂				
	4.22	Iniciar mediciones				
SI = √	PLAN Apagado	5.	OP	PE	L	Daño y descalibración del equipo de medición. Liberación de gases tóxicos. Asfixia por presencia de gases tóxicos. Exposición a vapores de hidrocarburo. Falla de contención de producto líquido.
	5.1	Asegurarse de que la celda está a temperatura ambiente				

CHECK LIST	TAREAS	QUIEN	PELIGROS		CONSECUENCIAS
			TIPO	RAM	
	5.2	Limpiar la celda			
	5.3	Apagar el viscosímetro y desconectarlo de la alimentación principal			

15.2. MANTENIMIENTO

El mantenimiento del viscosímetro, se debe realizar periódicamente para evitar desgaste prematuro; Cuando presente alguna avería o fuga del reactivo, es de suma importancia realizar mantenimiento después que se hayan tomado una cantidad representativa de medidas para garantizar la seguridad de las personas y del equipo.

15.2.1. RECOMENDACIONES Y LIMPIEZA GENERAL

El fabricante Vinci Technologies, en el apartado de limpieza hace las siguientes recomendaciones:

- El uso de aire comprimido para retirar la muestra de los ductos y limpiar la cámara del viscosímetro.
- Uso de lanilla para no generar algún daño, en especial en la cámara del viscosímetro.
- El uso de disolvente no agresivos que no vaya a corroer las piezas metálicas y externas del equipo.
- El viscosímetro debe operarse mínimo una vez al mes y realizar mantenimiento cada 6 meses, se utilice o no, para evitar la degradación del equipo.

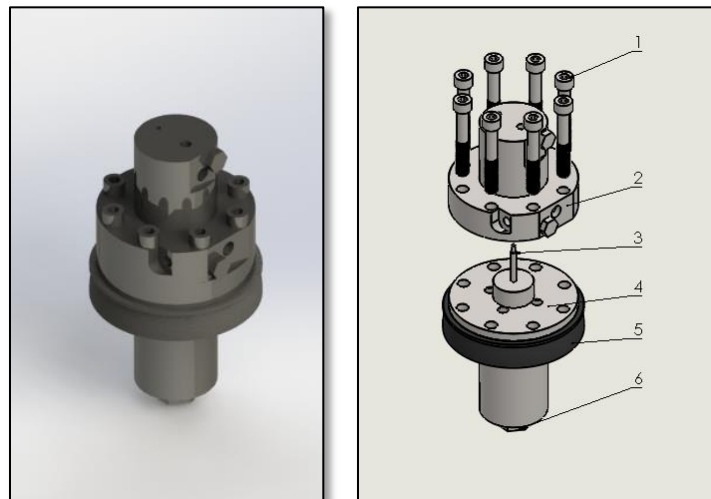
15.2.2. CELDA DEL VISCOSÍMETRO

En el apartado 7.1, en el ítem 3. Limpieza, se puede apreciar los pasos a seguir para hacer una correcta limpieza de la celda y de sus ductos. En la figura 19, se anexa para ilustrar el despiece de la celda. Tener en cuenta que para intervenir esta pieza se requieren las siguientes herramientas:

- Llaves fijas.
- Llaves Torr.
- Lubricante de silicona.

- Copos industriales.
- Juego de destornilladores.
- Paño o lanilla.
- Sellos (O-ring).

Figura 19. Vista de la celda del viscosímetro (Izq.), Vista explosionada de la celda del viscosímetro (Der.).



Fuente: Autor

1. Tornillos x 8.
2. Celda superior viscosímetro.
3. Sensor.
4. Celda inferior viscosímetro.
5. Caucho protector.
6. Salida del cable del sensor.

15.3. CALIBRACIÓN

Hay dos transductores de presión y dos visualizadores de temperatura utilizados en todo el sistema. Cada uno de estos transductores tiene una salida

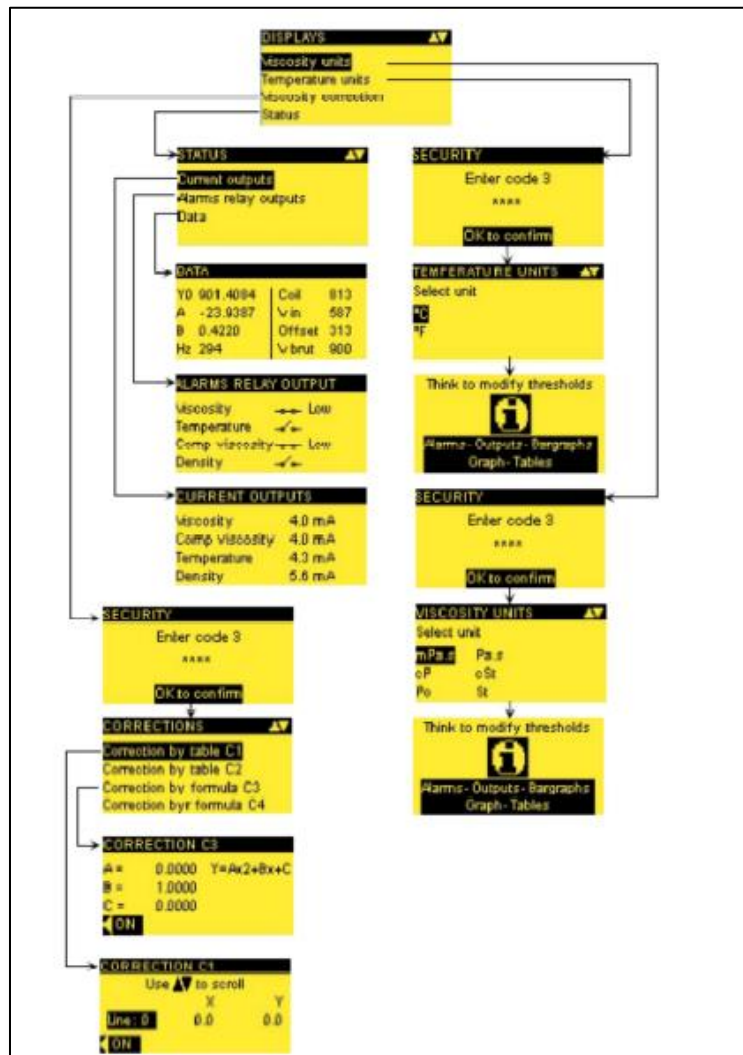
característica en respuesta a la presión que se aplica al sensor. La salida se convierte en unidades de ingeniería en el control programa de software.

Estos transductores deben verificarse y calibrarse contra probadores de peso muerto, medidores de prueba, transductores o manómetros. El rendimiento de los termopares y la temperatura asociada. Los dispositivos de medición pueden verificarse con los estándares adecuados al menos una vez al año. Se recomienda que cada vez se verifique las calibraciones con un reactivo de pruebas para asegurar la más alta calidad en las mediciones.

15.4. FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL DEL VISCOSÍMETRO HOV

El viscosímetro HOV700, posee una central que es la encargada de reunir toda la información ofrecida por el viscosímetro y a su vez se puede visualizar en pantalla o enviar estos datos en tiempo real a un computador. Además, puede mostrar los datos en números o mostrarlo en grafica directamente en el monitor de la central. La pantalla con la que cuenta esta central tiene distintos menús que contiene distintas configuraciones, en la figura 20 se detalla un mapeado de las rutas de estos menús.

Figura 20. Mapa de opciones de la central.



Fuente: Vinci Technologies.

Como se aprecia en la figura 20, algunos menús están bloqueados con ciertos códigos, estos códigos son:

Código 0: No comunicado y no modificable.

Código 1: No modificable y reservado por el fabricante.

Código 2: 1111 – Modificable.

Código 3: 1111 – Modificable.

16. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El viscosímetro de aceite pesado consiste en una varilla de acero que se mantiene en vibración permanente aplicando una potencia constante. La amplitud de la vibración varía en función de la viscosidad del fluido en el que se encuentre sumergido. La electrónica asegura una vibración adecuada y trata la amplitud de las variaciones para obtener el valor de la viscosidad. El módulo del equipo se ensambla con una celda de medición de 15 cc para obtener un viscosímetro independiente, esta a su vez está contenida dentro de una cabina la cual nos permite variar la temperatura de la muestra hasta los 180 °C Una válvula de drenaje también permite liberar la sustancia cuando se alcanza la presión de saturación. La celda está diseñada para ser retirada fácilmente para su limpieza rápida y eficiente. Además, cuenta con una central, que lee los datos medidos por el viscosímetro y nos da una respuesta de la temperatura y la viscosidad de la muestra en menos de 60 segundos.

Se diseñó una matriz en Excel (Figura 21) para facilitar el cálculo de la viscosidad de una sustancia determinada o de patrón, conociendo la temperatura, la viscosidad cinemática y la densidad. Para estos cálculos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Fórmula para hallar la viscosidad cinemática.

$$V = v / d \quad (1)$$

Donde: V es la viscosidad cinemática (cSt), v la viscosidad dinámica (cP) y d la densidad (g/mL)

- Fórmula convertir grados Celsius a kelvin.

$$T = t + 273.15 \quad (2)$$

Donde: T es la temperatura en kelvin, t la temperatura en grados Celsius.

- Fórmula para hallar la variación de densidad respecto a la variación de temperatura.

$$D = \frac{d1-d2}{T2-T1} \quad (3)$$

Donde: D es la variable (g/mL*K), d la densidad (g/mL) y T es la temperatura en kelvin.

- Formula de MacCoul's.

$$X = \ln(T) \quad (4)$$

$$Y = \ln(\ln(V + 0.8)) \quad (5)$$

$$Z = d - (D(T2 - T1)) \quad (6)$$

$$B = \frac{Y2 - Y1}{X1 - X2} \quad (7)$$

$$A = Y + (B * X) \quad (8)$$

$$Y = A + BX \quad (9)$$

Donde: X, Y, Z, A, B Son variables de la fórmula de MacCoul's, siendo la ecuación 11 la definición formal de la ecuación.

Figura 21. Matriz para calcular la viscosidad de una sustancia.

Fuente: Autor

Enlace a la matriz en Excel: [Matriz para determinar la viscosidad - V1.0.xls](#)

17. RELACIÓN DE VERSIONES

Versión	Fecha dd/mm/aaaa	Código y Título del documento	Cambios
N/A	N/A	N/A	N/A
Documento Nuevo			

Versión	Fecha dd/mm/aaaa	Cambios
1	23/08/2017	Elaboración del documento
2	29/10/2018	Actualización plantilla. Revisión y actualización contenido técnico.
3	04/11/2019	Actualización, revisión del contenido técnico y aspectos de HSE

Para mayor información dirigirse a:

Elaboró: Gustavo Cabeza Sanjuan

Teléfono: 6847219

Buzón: gustavo.cabeza@ecopetrol.com.co

Dependencia: Gerencia de operaciones de innovación y tecnología GLI - Laboratorio de optimización de producción & recobro mejorado – área de inyección de aire.

Revisado electrónicamente por:	Aprobado electrónicamente por:

*Documento firmado electrónicamente, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2364 de 2012, por medio del cual se reglamenta el artículo 7 de la Ley 527 de 1999, sobre la firma electrónica y se dictan otras disposiciones.
Para verificar el cumplimiento de este mecanismo, el sistema genera un reporte electrónico que evidencia la trazabilidad de las acciones de revisión y aprobación por los responsables. Si requiere verificar esta información, solicite dicho reporte a Service Desk.*