



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**DESARROLLO DE UN MATERIAL SELLANTE PARA UN
FLUIDO DE PERFORACIÓN A PARTIR DE UN POLÍMERO
SINTÉTICO-CAUCHO RECICLADO, MEDIANTE ENSAYOS DE
LABORATORIO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO DE PETRÓLEOS**

LUIS MIGUEL CANDO PEÑAHERRERA

DIRECTOR: ING. FAUSTO RAMOS AGUIRRE, MSC.

Quito, Octubre 2018

© Universidad UTE. 2018

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721859054
APELLIDO Y NOMBRES:	Cando Peñaherrera Luis Miguel
DIRECCIÓN:	Sangolquí, El Cabre
EMAIL:	Luis3112@hotmail.es
TELÉFONO FIJO:	(02) 2333178
TELÉFONO MÓVIL:	0987666477

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de un material sellante para un fluido de perforación a partir de un polímero sintético-caucho reciclado, mediante ensayos de laboratorio.
AUTOR O AUTORES:	Cando Peñaherrera Luis Miguel
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	15 de Octubre de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Fausto Ramos Aguirre, MSC.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Petróleos
RESUMEN:	El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo obtener un material sellante-caucho reciclado para fluidos de perforación base agua determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio. Se obtuvo el caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado

de neumático reciclado mediante una selección, esmerilado y tamizado además de utilizar también caucho natural más resinas fenólicas (Hule Cojín-CIN- 65) más un solvente orgánico, con las cuales se diseñó varias concentraciones para compararlas con el material sellante comercial que es un polímero sintético (Asfalto), sellante comercial utilizado en las actuales formulaciones de lodos de perforación. A cada concentración se realizó pruebas de permeabilidad en el laboratorio de Fluidos de Perforación de la empresa CNPC (China National Petroleum Corporation) – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited). La permeabilidad se la realizó en base a la Norma ASTM D2434-Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) con lo cual se desarrolló un equipo permeámetro. Los ensayos realizados en el permeámetro de carga constante con 25 lb de material sellante comercial (asfalto) por cada barril de lodo dio como resultado una reducción del 29% en la permeabilidad comparándolo a los ensayos de permeabilidad con la mezcla de 12.5 gramos de CIN-65 más solvente orgánico y 12.5 gramos de caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado, formulada en 25 lb de esta solución por cada barril de lodo, presento un 44% de permeabilidad obstruida. Con

	<p>estos valores se determinó que el material sellante de 12.5 gramos de CIN-65 más solvente orgánico y 12.5 gramos de caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado que se analizó en la investigación funciona y cumple con la finalidad con la que se propuso, que no fue otra más que reducir la permeabilidad evitando pérdidas de circulación.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Fluidos de perforación, pérdida de circulación, material sellante.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The objective of the present degree work was to a recycled rubber-sealant material for water-based drilling fluids by determining its functionality with laboratory tests. Was synthetic rubber Vulcanized tire recycling through a selection, grinding and sieving in addition to using styrene-butadiene also natural rubber more resins phenol (Hule Cojín-CIN - 65) more an organic solvent, which was designed various concentrations to compare them with the commercial sealing material which is a synthetic polymer (asphalt), commercial sealant used in the current formulations of drilling muds. To each concentration is made permeability tests in the laboratory of drilling fluid of the company CNPC (China National Petroleum Corporation) - CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited). Permeability realized it in base to the ASTM standard D2434 - Standard Test</p>

	<p>Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) with which a team permeameter was developed. Trials in the permeameter of constant load with 25 lb of commercial sealing material (asphalt) per each barrel of mud resulted in a 29% reduction in the permeability by comparing it to the trials of permeability with the mixture of 12.5 grams of CIN-65 organic more solvent and 12.5 grams of synthetic rubber styrene-butadiene rubber Vulcanized, formulated in 25 lb of this solution per each barrel of mud, presented a 44% obstructed permeability. With these values determined that the sealing material of 12.5 grams of CIN-65 organic more solvent and 12.5 grams of synthetic rubber Vulcanized styrene-butadiene that are analyzed in the research works and meets the purpose with which it was proposed, it was another more than reduced permeability by avoiding loss of circulation. avoiding circulation losses.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Drilling fluids, Sealent material, Loss of circulation.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: _____

CANDO PEÑAHERRERA LUIS MIGUEL
C.I. 1721859054

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CANDO PEÑAHERRERA LUIS MIGUEL**, CI 1721859054 autor del proyecto titulado: **Desarrollo de un material sellante para un fluido de perforación a partir de un polímero sintético-caucho reciclado, mediante ensayos de laboratorio**. Previo a la obtención del título de Ingeniero de Petróleos de la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 15 de Octubre 2018

f: _____

CANDO PEÑAHERRERA LUIS MIGUEL
C.I. 1721859054

DECLARACIÓN

Yo **CANDO PEÑAHERRERA LUIS MIGUEL**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

f: _____

CANDO PEÑAHERRERA LUIS MIGUEL
C.I. 1721859054

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **DESARROLLO DE UN MATERIAL SELLANTE PARA UN FLUIDO DE PERFORACIÓN A PARTIR DE UN POLÍMERO SINTÉTICO-CAUCHO RECICLADO, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO** que, para aspirar al título de **INGENIERO DE PETRÓLEOS** fue desarrollado por **CANDO PEÑAHERRERA LUIS MIGUEL**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

f: _____

ING. FAUSTO RENÉ RAMOS AGUIRRE MS c.
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1705134102



CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited
川庆钻探厄瓜多尔分公司 (CCDC Ecuador Branch)

CERTIFICADO

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC), certifica que el señor **Cando Peñaherrera Luis Miguel** con cédula de identidad No. 172185905-4 realizó su tesis para la obtención del Título de Ingeniera de Petróleos; siendo el tema de tesis **“DESARROLLO DE UN MATERIAL SELLANTE PARA UN FLUIDO DE PERFORACIÓN A PARTIR DE UN POLÍMERO SINTÉTICO-CAUCHO RECICLADO, MEDIANTE ENSAYO DE LABORATORIO”** desde el 23 de Febrero del 2018 al 20 de Agosto del 2018.

El portador del presente documento certificado; puede hacer uso como ha bien tuviere.

Sin otro particular, nos suscribimos,

Atentamente,

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC)

f: _____

Henry Romero

Ingeniero de Laboratorio CCDC

Quito, agosto de 2018

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la oportunidad de alcanzar este objetivo y permitir que mi familia logre estar presente en cada paso que doy, además de haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi padre: **Milton Cando** por su infinita paciencia y apoyo absoluto en cada una de mis decisiones y por respaldarme con todos los recursos más allá de los necesarios durante las diferentes etapas de mi vida.

A mi abuelito **José Miguel Cando** por ser mi más grande fortaleza y refugio cuando no encuentro una salida, por ser el quien un día quiso ver a su nieto convertido en ingeniero, por todo su amor, paciencia y apoyo absoluto en cada una de mis decisiones, por toda su lealtad y consejos incondicionales, por estar siempre a mi lado.

A mi abuelita **Beatriz Portilla**, por ser quien más me apoyo en mis primeros años de la universidad, por ser mi más grande inspiración para culminar este trabajo, por todo su amor y palabras acertadas que siempre fueron necesarias para cada problema que afronte en mi vida.

A mis hermanas **Jessica y Sarahi**, por apoyarme en cada acierto o error que he cometido en el transcurso de mi vida, gracias por todo el amor y ayuda que me han brindado.

A mis amigos por transitar todo este tiempo de estudios juntos y mantenerse siempre leales, por todo su apoyo durante cada acierto o tropiezo, por cada anécdota compartida.

AGRADECIMIENTO

A mi padre y abuelitos por trabajar arduamente y así brindarme todo el apoyo económico necesario para culminar mis estudios universitarios, por cada consejo impartido frente a problemas, por su infinito amor y apego.

A mis hermanas por enseñarme diariamente el cómo mejorar para ellas, ser su apoyo y protegerlas ante cualquier adversidad.

A la **Universidad UTE** por brindarme el conocimiento impartido por cada uno de mis profesores de la carrera de Ingeniería de Petróleos, por sus vivencias y experiencias que serán mis principales herramientas en un futuro laboral y principal fuente para mi desarrollo profesional.

A la empresa **CNPC – CCDC** por permitir la realización del presente ensayo mediante la utilización de equipos de laboratorio en la presente investigación.

Al **Ing. Fausto Ramos** coordinador de la carrera de Ingeniería de Petróleos y mi tutor de mi tesis, por toda su dedicación, paciencia y colaboración en la elaboración del presente trabajo.

Al **Ing. Henry Romero**, quien con todo su conocimiento y paciencia día a día la cual supo llenar cada duda planteada en este ensayo lo que hizo posible la culminación del presente trabajo.

Gracias a todos los que de alguna manera aportaron para la terminación de esta parte de mi vida y brindar de si algo que me llevo a ser el mejor hijo, hermano, nieto, amigo y profesional que puedo ser.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.1.2 OBJETIVO ESPECIFICO	8
2. METODOLOGÍA	9
2.1 MATERIAL SELLANTE A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO	9
2.2 CONCENTRACIONES PARA CADA MATERIAL SELLANTE EN UN FLUIDO DE PERFORACIÓN.	10
2.3 DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE	10
2.3.1 DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD DE LA ARENA.	11
3. RESULTADO Y DISCUSIÓN	12
3.1 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL MATERIAL SELLANTE	12
3.1.1 PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE	12
3.1.2 PERMEABILIDAD CON ASFALTO A DIFERENTES CONCENTRACIONES.	13
3.1.3 PERMEABILIDAD CON CAUCHO SINTÉTICO VULCANIZADO MICRONIZADO A DIFERENTES CONCENTRACIONES	14
3.1.4 PERMEABILIDAD CON CAUCHO NATURAL MAS RESINAS FENÓLICAS MAS UN SOLVENTE ORGÁNICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES	16
3.1.5 PERMEABILIDAD CON LA MEZCLA (A+B) A DIFERENTES CONCENTRACIONES	17
3.2 RELACIÓN ENTRE CURVAS DE MATERIALES SELLANTES.	19
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
4.1 CONCLUSIONES	20
4.2 RECOMENDACIONES	21
BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Formulación de material de inyección base agua para alta pérdida de circulación	6
Tabla 2. Concentraciones del Material Sellante.	10
Tabla 3. Permeámetro con Arena Limpia.	12
Tabla 4. Ensayos de Permeabilidad	12
Tabla 5. Permeámetro con Asfalto.	13
Tabla 6. Permeabilidad con Asfalto	13
Tabla 7. Permeámetro con caucho sintético vulcanizado micronizado	14
Tabla 8. Permeabilidad con caucho sintético vulcanizado micronizado	14
Tabla 9. Permeámetro con caucho natural más resinas fenólicas	16
Tabla 10. Permeabilidad con caucho natural más resinas fenólicas	16
Tabla 11. Permeámetro con el Mezcla (A+B)	17
Tabla 12. Permeabilidad con Mezcla A+B	18
Tabla 13. % Sello de cada Mezcla	19

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Secciones de pérdida de circulación:	4
Figura 2. Funcionamiento del material sellante	7
Figura 3. Asfalto	14
Figura 4. Caucho sintético vulcanizado micronizado	15
Figura 5. Caucho natural más resinas fenólicas y un solvente orgánico	17
Figura 6. Mezcla A+B	18
Figura 7. Comparación de Curvas	19
Figura 8. Permeámetro Carga Constante	32

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. HOJA TÉCNICA, HULE COJÍN	24
ANEXO 2. ANÁLISIS DE PERMEABILIDAD MEDIANTE PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE	25
ANEXO 3. ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE PERMEABILIDAD	26
ANEXO 4. PERMEÁMETRO CARGA CONSTANTE LABORATORIO DE SUELOS	27
ANEXO 5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE CONSTRUIDO EN EL LABORATORIO CCDC-UTE, SEGÚN NORMA ASTMD-2434	28
ANEXO 6. ELABORACIÓN DE UN PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE PARA DETERMINAR PERMEABILIDAD	31
ANEXO 7. PROCESO DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO	33
ANEXO 8. PROCESO DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD CON MATERIAL SELLANTE	34
ANEXO 9. OBTENCIÓN DE ARENA LAVADA	35
ANEXO 10. MATERIALES UTILIZADOS	36
ANEXO 11. REVOQUE GENERADO POR CADA MATERIAL	38
ANEXO 12. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CAUCHO SINTÉTICO VULCANIZADO MICRONIZADO.	40
ANEXO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA DE UNA SOLA VÍA “ANOVA”	41

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo obtener un material sellante-caucho reciclado para fluidos de perforación base agua determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio. Se obtuvo el caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado de neumático reciclado mediante una selección, esmerilado y tamizado además de utilizar también caucho natural más resinas fenólicas (Hule Cojín-CIN- 65) más un solvente orgánico, con las cuales se diseñó varias concentraciones para compararlas con el material sellante comercial que es un polímero sintético (Asfalto), sellante comercial utilizado en las actuales formulaciones de lodos de perforación. A cada concentración se realizó pruebas de permeabilidad en el laboratorio de Fluidos de Perforación de la empresa CNPC (China National Petroleum Corporation) – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited). La permeabilidad se la realizó en base a la Norma ASTM D2434- Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) con lo cual se desarrolló un equipo permeámetro. Los ensayos realizados en el permeámetro de carga constante con 25 lb de material sellante comercial (asfalto) por cada barril de lodo dio como resultado una reducción del 29% en la permeabilidad comparándolo a los ensayos de permeabilidad con la mezcla de 12.5 gramos de CIN-65 más solvente orgánico y 12.5 gramos de caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado, formulada en 25 lb de esta solución por cada barril de lodo, presento un 44% de permeabilidad obstruida. Con estos valores se determinó que el material sellante de 12.5 gramos de CIN-65 más solvente orgánico y 12.5 gramos de caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado que se analizó en la investigación funciona y cumple con la finalidad con la que se propuso, que no fue otra más que reducir la permeabilidad evitando pérdidas de circulación.

PALABRAS CLAVE: fluidos de perforación, pérdida de circulación, material sellante.

ABSTRACT

The objective of the present degree work was to a recycled rubber-sealant material for water-based drilling fluids by determining its functionality with laboratory tests. Was synthetic rubber Vulcanized tire recycling through a selection, grinding and sieving in addition to using styrene-butadiene also natural rubber more resins phenol (Hule Cojín-CIN - 65) more an organic solvent, which was designed various concentrations to compare them with the commercial sealing material which is a synthetic polymer (asphalt), commercial sealant used in the current formulations of drilling muds. To each concentration is made permeability tests in the laboratory of drilling fluid of the company CNPC (China National Petroleum Corporation) - CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited). Permeability realized it in base to the ASTM standard D2434 - Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) with which a team permeameter was developed. Trials in the permeameter of constant load with 25 lb of commercial sealing material (asphalt) per each barrel of mud resulted in a 29% reduction in the permeability by comparing it to the trials of permeability with the mixture of 12.5 grams of CIN-65 organic more solvent and 12.5 grams of synthetic rubber styrene-butadiene rubber Vulcanized, formulated in 25 lb of this solution per each barrel of mud, presented a 44% obstructed permeability. With these values determined that the sealing material of 12.5 grams of CIN-65 organic more solvent and 12.5 grams of synthetic rubber Vulcanized styrene-butadiene that are analyzed in the research works and meets the purpose with which it was proposed, it was another more than reduced permeability by avoiding loss of circulation.

PALABRAS CLAVE: Drilling fluids, Sealent material, Loss of circulation.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La Perforación es la parte inicial y más importante de la explotación de un yacimiento, el objetivo primordial en una operación de perforación es perforar, evaluar y terminar un pozo que producirá petróleo y/o gas eficazmente de una manera económica, segura y eficiente la cual permita la explotación óptima del hidrocarburo (Energy API, 2001).

Los fluidos de perforación poseen varias funciones que permiten alcanzar dicho objetivo. El fluido perforación puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con determinadas propiedades tanto físicas como químicas con un definido porcentaje de sólidos; de su adecuado diseño dependerá el éxito de un programa de perforación por lo cual se debe tener presente que el fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, inerte a la contaminación de sales y minerales, invariable a altas temperaturas y exento a la propagación de bacterias (PDVSA, 2002).

Las funciones de los fluidos de perforación representan los trabajos que el fluido de perforación puede desempeñar, aunque la importancia de cada uno se determine por las condiciones del pozo (Baker Hughes, 1998).

Indica que las funciones más comunes del fluido de perforación son las siguientes:

1. Retirar cortes del pozo
2. Controlar las presiones de formación
3. Obstruir formaciones permeables
4. Mantener la estabilidad del pozo
5. Enfriar y lubricar la barrena
6. Minimizar el impacto del medio ambiente

Una característica sobre el fluido de perforación es controlar la pérdida de circulación en formaciones altamente permeables. La permeabilidad se refiere a la capacidad de los fluidos a fluir a través de formaciones porosas; Las formaciones deben ser permeables para que los hidrocarburos puedan ser producidos, cuando la presión de la columna del lodo es superior que la presión de la formación, el fluido invade la formación generando un revoque el cual se coloca en la cara de la arena, la finalidad de este revoque es producir una baja permeabilidad con el propósito de limitar la pérdida de fluido hacia la formación. (Baroid, 2012)

La pérdida de fluidos hacia las formaciones se llama pérdida de circulación. La pérdida de circulación ha sido uno de los componentes que más favorece

a los altos costos del lodo. Existen varios aditivos pueden ser aplicados para mejorar el revoque, limitando la pérdida de fluido. Estos incluyen la bentonita, los polímeros naturales y sintéticos, el asfalto y la gilsonita, y los aditivos defloculantes orgánicos (Energy API, 2001).

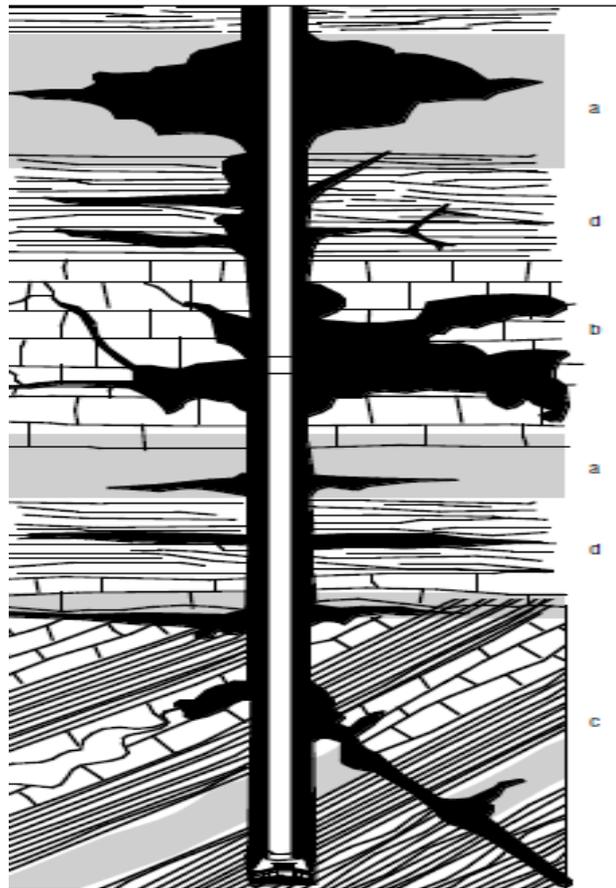


Figura 1. Secciones de pérdida de circulación:
(Energy API, 2001)

El significado de cada literal presentado en la figura 1 es el siguiente:

- a: Arenas no consolidadas y grava de alta permeabilidad.
- b: Zonas cavernosas o fisuradas en carbonatos (caliza o dolomita).
- c: Fracturas naturales, fallas y zonas de transición en carbonatos o lutitas duras.
- d: Fracturas inducidas por el exceso de presión

Otras dificultades del pozo, como la inestabilidad del mismo, la tubería pegada, e incluso los reventones, son consecuencias de la pérdida de circulación. (Baroid, 2012) . Las Formaciones permeables y porosas incluyen:

- Estratos de gravas sueltas, no compactadas
- Estratos de conchas marinas
- Depósitos de arrecifes
- Yacimientos agotados

A continuación, se describen las principales causas que generan pérdida de circulación.

Invasión. No se puede evitar en las formaciones que son cavernosas, fisuradas, fracturadas o no consolidadas. Las formaciones agotadas de baja presión (generalmente arenas). Las formaciones de grano grueso no consolidadas pueden tener una permeabilidad suficientemente alta para que el lodo invada la matriz de la formación. Las formaciones agotadas (generalmente arenas) constituyen otra zona de pérdida potencial (Baroid, 2012).

Fracturación. La fracturación hidráulica comienza y la pérdida de circulación ocurre cuando se alcanza o se excede una determinada presión crítica de fractura. Una vez que una fractura ha sido creada o abierta por una presión, puede que sea difícil repararla (“cerrarla”) y es posible que no se pueda restablecer la integridad original de la formación (Energy API, 2001).

Para un tratamiento al momento de identificar pérdidas de circulación en formaciones altamente permeables se recomiendan comúnmente los siguientes métodos para combatir este tipo de pérdida:

- Reducir lo más posible el peso del lodo.
- Tratar el sistema con una combinación de productos para pérdida de circulación de grado fino a mediano, tales como: BARACARB, BAROFIBRE, BARO-SEAL, HY-SEAL, MICATEX, STEELSEAL. (Baker Hughes, 1998)

Un ejemplo de la formulación de un lodo para una pérdida de circulación latente puede ser la siguiente:

Tabla 1. Formulación de material de inyección base agua para alta pérdida de circulación

Materiales	Peso del Lodo		
	10.0 lb/gal (Grav. Espef. 1.20)	14.0 lb/gal (Grav. Espef. 1.68)	18.0 lb/gal (Grav. Espef. 2.16)
Agua dulce, bbl	0.93	0.78	0.632
Carbonato de Calcio lb	0.5	0.5	0.5
ZEOGEL, lb	12	10	8
BAROID, lb	82	304	525
LCM, lb	20-60	20-60	20-40

(Baroid, 2012)

El objetivo principal del presente trabajo de titulación es el desarrollo de un material sellante para un fluido de perforación a partir de un polímero sintético-caucho reciclado, determinando su funcionalidad con pruebas de laboratorio, para constatar su eficiencia y probable utilización en la formulación de lodos de perforación. La industria hidrocarburifera a nivel mundial se encuentra continuamente en estudios de nuevas tecnologías y aditivos con los cuales se logre minimizar gastos durante la perforación y producción de un pozo petrolero, además de buscar que sean amigables con el medio ambiente.

La inclusión de un nuevo material sellante representa una opción diferente para reemplazar el uso de formulaciones importadas con elevados precios, por un aditivo accesible, además de colaborar con el uso de materiales reciclados de producción nacional la cual reduce costos y en cierta medida colabora al medio ambiente. El caucho natural se extrae a partir del árbol Hevea Brasiliensis que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos, luego de su vida útil es desechado generando contaminación y despreciando su uso potencial en diferentes productos como se relata en este proyecto.

El caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado de neumático reciclado y (Hule Cojin-CIN- 65) que es un adhesivo a base de caucho natural, resinas fenólicas derivadas del petróleo, negro de humo y aceites de proceso, recubierto por una cara con una película de polietileno pigmentado como protección mezclado con una solución llamada diluyente de caucho – limpiador químico son materiales desperdiciado que poseen un alto potencial para diferentes tipos de necesidades. Los polímeros sintéticos que pueden ser ampliamente utilizados en la formulación de fluidos de perforación por su buen desempeño, cumpliendo las exigencias que debe tener un lodo al momento de perforar un pozo de petróleo y/o gas. En la actualidad los polímeros son componentes de casi todos los sistemas base agua que los

utilizan por los buenos resultados que se manifiestan al finalizar una operación de perforación.

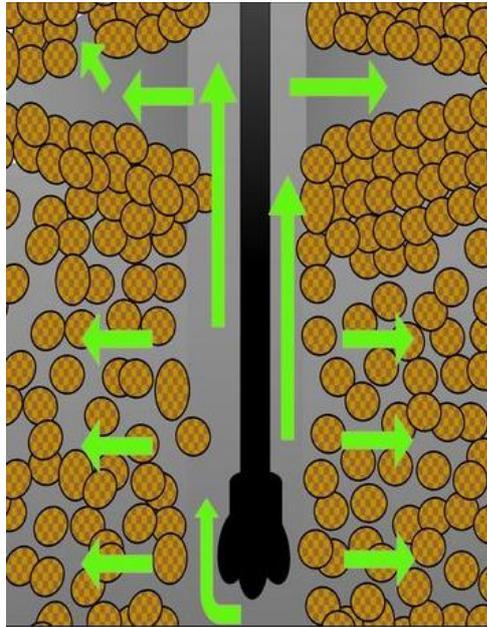


Figura 2. Funcionamiento del material sellante
(SlydePlayer-Desconocido, 2011)

En la figura 2 se muestra el uso del material sellante para una pérdida de circulación depende de la permeabilidad del estrato al momento de la perforación, incrementando o disminuyendo la concentración del material al tratar la pérdida de circulación, el material sellante se introduce en los poros de la cara de la arena, generando un revoque que sella la arena evitando altos costos en la perforación de pozos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar de un material sellante para un fluido de perforación base agua a partir de un polímero sintético – caucho reciclado.

1.1.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Obtener el polímero sintético-material sellante a partir del caucho reciclado.
- Diseñar diferentes concentraciones con el polímero sintético – caucho reciclado
- Evaluar el rendimiento del material sellante obtenido mediante la realización de pruebas de laboratorio.
- Adaptar el polímero obtenido para su formulación en el fluido de perforación.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en el laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC (China National Petroleum Corporation) – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) para determinar su efectividad como material sellante.

El material sellante denominado asfalto fue proporcionado mediante el laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC (China National Petroleum Corporation) – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) que es comúnmente utilizado para formulaciones de lodos base agua en la perforación de pozos.

2.1 MATERIAL SELLANTE A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO

Se partió del caucho reciclado (Caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado) y caucho natural más resinas fenólicas.

- Caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado Anexo 12.
- Caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico Anexo 1.
- Mezcla A+B: 50% de caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado más 50 % caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico.

El caucho natural más resinas fenólicas (Hule Cojin-CIN65) se lo obtuvo mediante la empresa de enbandado y rencauche de llantas para automotores ULES BANDA, S.A. DE C.V. a y su vez el solvente orgánico fue proporcionado por la empresa IMANEUMAGIC.

La mezcla del caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico se efectuó en base a la empresa HULE BANDA, donde se utiliza 60mL de solvente orgánico y 9 gr de caucho natural más resinas fenólicas.

2.2 CONCENTRACIONES PARA CADA MATERIAL SELLANTE EN UN FLUIDO DE PERFORACIÓN.

Tabla 2. Concentraciones del Material Sellante.

Concentraciones del Material Sellante	Asfalto	Caucho sintético vulcanizado	Caucho natural más resinas fenólicas	Mezcla A+B
		5 g + 350 mL de agua		
		15 g + 350 mL de agua		
		20 g + 350 mL de agua		
		25 g + 350 mL de agua		

Las concentraciones se determinaron mediante el manual de fluidos de perforación y completación de la empresa CNPC – CCDC, donde la concentración de 5 g + 350 mL de agua representan al valor de 5 lb/bbl, nomenclatura usada comúnmente en la industria petrolera, las concentraciones fueron planteadas para medir la permeabilidad sellada hacia la arena en cada una de ellas.

2.3 DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE

$$k = \frac{V}{A} \times \left(\frac{l}{dh} \right) \quad [2]$$

Donde:

Q= Volumen, cm³

dh= Diferencial de altura, cm

l= Longitud de la muestra, cm

k= Permeabilidad, cm/s

A= Área de la sección transversal del cilindro, cm²

t= Tiempo, s

Se desarrolló un permeámetro de carga constante con la finalidad de medir la permeabilidad de la arena antes y después del uso de cada material sellante ver Anexo 5.

Para cada ensayo de permeabilidad se realizó dos medidas con el propósito de tener resultados con la mínima variación posible, al momento de utilizar el material sellante se determinó el porcentaje de sello generado por el revoque, mediante el uso del permeámetro de carga constante.

$$\Delta k = \frac{k_0 - k_1}{k_0} \times 100\% \quad [3]$$

Donde:

K_0 = Permeabilidad sin el Material Sellante, cm/s

K_1 = Permeabilidad con el Material Sellante, cm/s

Δk = Porcentaje de sello hacia la formación, %

Los datos obtenidos en este ensayo se analizaron estadísticamente por el método de análisis de varianza de una sola vía con el fin de determinar si existe una similitud entre las curvas de sello ver Anexo 13.

2.3.1 DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD DE LA ARENA.

Se determinó la porosidad mediante el método de saturación de la arena sílice realizada en los ensayos de laboratorio bajo la ecuación 1.

$$\phi = \frac{V_p \times \rho_{agua}}{V_a} \times 100\% \quad [1]$$

Donde:

ϕ = porosidad, %

V_p = Volumen poroso, mL

V_a = Volumen Aparente, g

ρ = densidad del agua, g/mL

El proceso de obtención de la arena sílice se detalla en el Anexo 9.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL MATERIAL SELLANTE

Se determinó la porosidad de una arena sílice lavada no compactada simulando condiciones altamente drásticas de permeabilidad, utilizando el método de saturación de arena, donde se trabajó con una densidad de agua de 0,9984 g/mL, un volumen poroso de 36.87 mL y un volumen aparente de 89 g dando como resultado una porosidad del 40% de la arena.

3.1.1 PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE

Se realizó 3 ensayos de permeabilidad en una arena sílice lavada a diferentes tipos de volúmenes, cada uno para ser comparado a los ensayos que se realizaron en la Universidad Pontificia Católica del Ecuador, en el laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil con el propósito de evaluar el procedimiento que se siguió en el ensayo, ver en Anexo 2

Tabla 3. Permeámetro con Arena Limpia.

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
Volumen	220	320	445	cm ³
Tiempo	91	141	200	s
Área	50.26	50.26	50.26	cm ²
Longitud	10	10	10	cm
dh	10	10	10	cm

Con los siguientes datos proporcionados en la Tabla 3 por el permeámetro de carga constante utilizamos la ecuación 2, donde obtuvimos:

Tabla 4. Ensayos de Permeabilidad

	Permeabilidad. cm/s
Ensayo 1	0.0481015
Ensayo 2	0.0451552
Ensayo 3	0.0442698

3.1.2 PERMEABILIDAD CON ASFALTO A DIFERENTES CONCENTRACIONES.

Tabla 5. Permeámetro con Asfalto.

		Vol. cm ³	T. s	A. cm ²	L. cm	dh. cm
1	Arena Limpia	300	106	50.26	10	11
	5 gr + 350 mL de agua	400	163			12
2	Arena Limpia	300	79			13
	15 gr + 350 mL de agua	300	104			13
3	Arena Limpia	305	107			10
	20 gr + 350 mL de agua	390	143			13
4	Arena Limpia	300	143			9
	25 gr + 350 mL de agua	300	164			11

Con los siguientes datos proporcionados en la Tabla 5 por el permeámetro de carga constante utilizamos la ecuación 2, donde obtuvimos:

Tabla 6. Permeabilidad con Asfalto

	Concentración	k Arena Limpia cm/s	k con Asfalto cm/s	% de sello de M0
1	5 g + 350 mL de agua	0.051191 ± 0.003530	0.040688 ± 0.003986	21.64 ± 2.247551
2	15 g + 350 mL de agua	0.058120 ± 0.003819	0.044149 ± 0.006481	24.36 ± 6.151841
3	20 g + 350 mL de agua	0.056714 ± 0.000937	0.041740 ± 0.003816	26.45 ± 7.983774
4	25 g + 350 mL de agua	0.046378 ± 0.000624	0.033087 ± 0.000478	29.11 ± 0.063119
$\bar{x} \pm \sigma ; n= 2$				

Se realizó la prueba con 5 g de asfalto más 350 mL de agua, se produjo un sello hacia la arena del 21.64% en permeabilidad. El procedimiento se realizó sucesivamente para cada concentración.

Adicionalmente se realizó una prueba de permeabilidad en el laboratorio de suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador con la misma concentración antes mencionada, donde se asemejaron resultados obtenidos en el laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC (China National Petroleum Corporation) – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) ver Anexo 3.

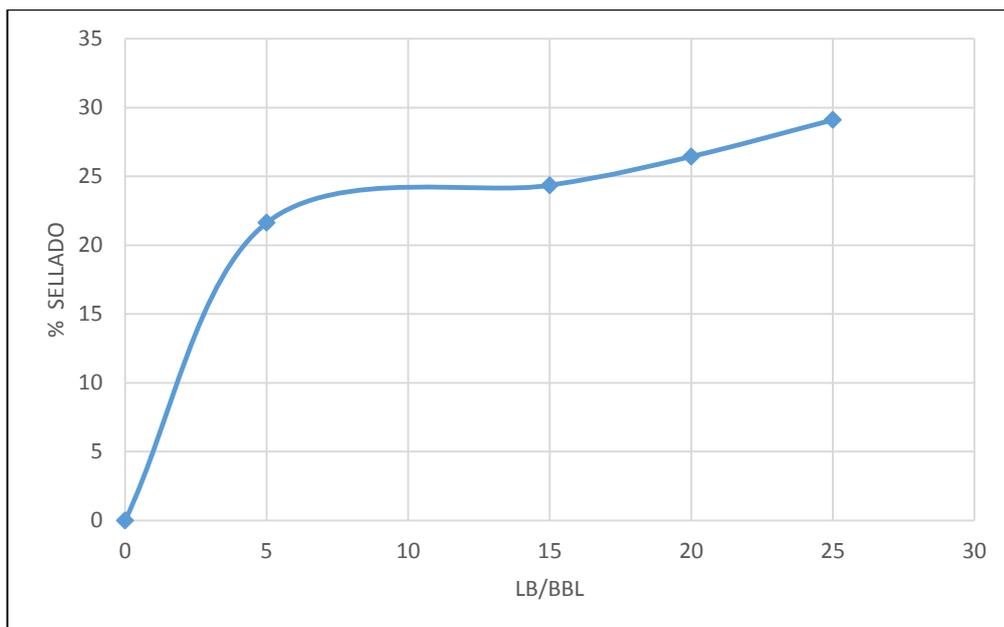


Figura 3. Asfalto

Se elaboró una gráfica del material sellante-asfalto donde se puede apreciar visualmente el comportamiento del material hacia la arena al momento de sellar su permeabilidad, llegando a su mejor sello del 29.11% con una concentración de 25 g de asfalto más 350 mL de agua.

3.1.3 PERMEABILIDAD CON CAUCHO SINTÉTICO VULCANIZADO MICRONIZADO A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla 7. Permeámetro con caucho sintético vulcanizado micronizado

		Vol. cm ³	T. s	A. cm ²	L. cm	dh. cm
1	Arena Limpia	300	85	50.26	10	11
	5 gr + 350 mL de agua	300	99			11
2	Arena Limpia	300	78			18
	15 gr + 350 mL de agua	330	105			18
3	Arena Limpia	300	97			12
	20 gr + 350 mL de agua	300	112			13
4	Arena Limpia	300	81			14
	25 gr + 350 mL de agua	300	93			16

Con los siguientes datos proporcionados en la Tabla 7 por el permeámetro de carga constante utilizamos la ecuación 2, donde obtuvimos:

Tabla 8. Permeabilidad con caucho sintético vulcanizado micronizado

	Concentración	k Arena Limpia cm/s	k con caucho sintético reciclado cm/s	k reducida en %
1	5 g + 350 mL de agua	0,063839 ± 0.000537	0,054811 ± 0.001211	14.31±1.160655
2	15 g + 350 mL de agua	0,042513 ± 0.000105	0,034739 ± 0.000248	18.84±0.783633
3	20 g + 350 mL de agua	0,051279 ± 0.000214	0,0409956 ± 0.000205	20.57±0.731575
4	25 g + 350 mL de agua	0,052636 ± 0.000465	0,040113 ± 0.000131	24.08±0.418885
$\bar{x} \pm \sigma ; n= 2$				

Se realizó la prueba con 5 g de caucho sintético vulcanizado micronizado más 350 mL de agua, se produjo un sello hacia la arena del 14.31% en permeabilidad. El procedimiento se realizó sucesivamente para cada concentración.

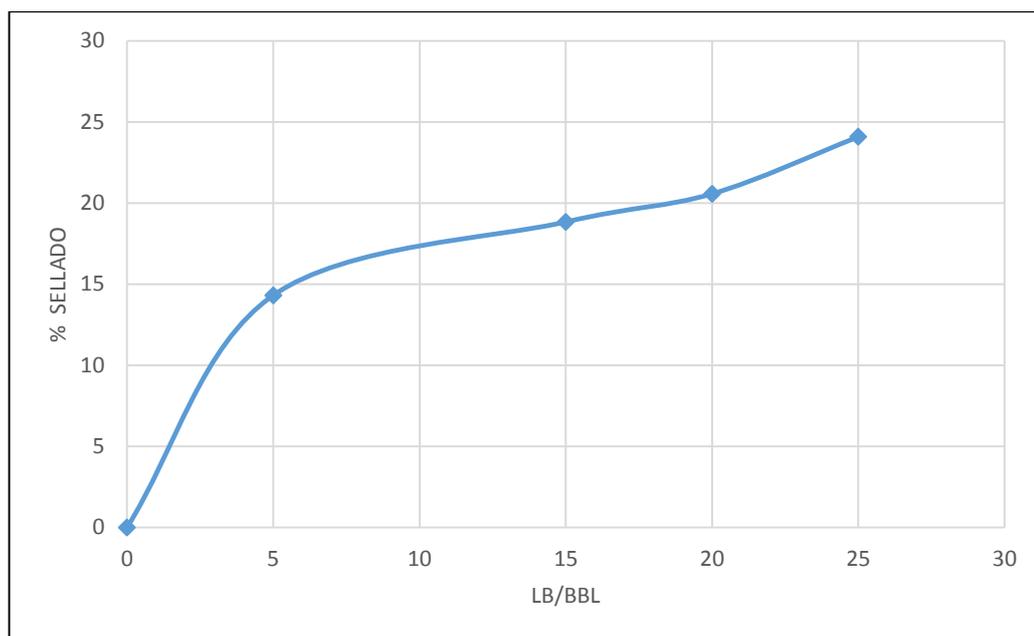


Figura 4. Caucho sintético vulcanizado micronizado

Se elaboró una gráfica del material sellante- caucho sintético vulcanizado micronizado donde se puede apreciar visualmente el comportamiento del material hacia la arena al momento de sellar su permeabilidad, llegando a su mejor sello del 24.08% con una concentración de 25 g de caucho sintético vulcanizado micronizado más 350 mL de agua.

3.1.4 PERMEABILIDAD CON CAUCHO NATURAL MAS RESINAS FENÓLICAS MAS UN SOLVENTE ORGÁNICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla 9. Permeámetro con caucho natural más resinas fenólicas

		Vol. cm ³	T. s	A. cm ²	L. cm	dh. cm
1	Arena Limpia	300	143	50.26	10	9
	5 gr + 350 mL de agua	300	164			11
2	Arena Limpia	300	102			12
	15 gr + 350 mL de agua	200	78			12
3	Arena Limpia	300	76			15
	20 gr + 350 mL de agua	300	83			16
4	Arena Limpia	300	70			14
	25 gr + 350 mL de agua	300	85			15

Con los siguientes datos proporcionados en la Tabla 9 por el permeámetro de carga constante utilizamos la ecuación 2, donde obtuvimos:

Tabla 10. Permeabilidad con caucho natural más resinas fenólicas

	Concentración	k Arena Limpia cm/s	k con caucho natural mas resinas cm/s	k reducida en %
1	5 g + 350 mL de agua	0.061358 ± 0.000192	0.057559 ± 0.000330	6.36± 0,245570
2	15 g + 350 mL de agua	0.048766 ± 0.000689	0.042513 ± 0.000455	13.33 ± 2,124433
3	20 g + 350 mL de agua	0.052359 ± 3.04E-05	0.044947 ± 0.000378	14.70 ± 0,771948
4	25 g + 350 mL de agua	0.060907 ± 0.000305	0.046815 ± 0.000479	23.42 ± 0,405094
$\bar{x} \pm \sigma ; n= 2$				

Se realizó la prueba con 5 g de caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico más 350 mL de agua, se produjo un sello hacia la arena del 6.36% en permeabilidad. El procedimiento se realizó sucesivamente para cada concentración.

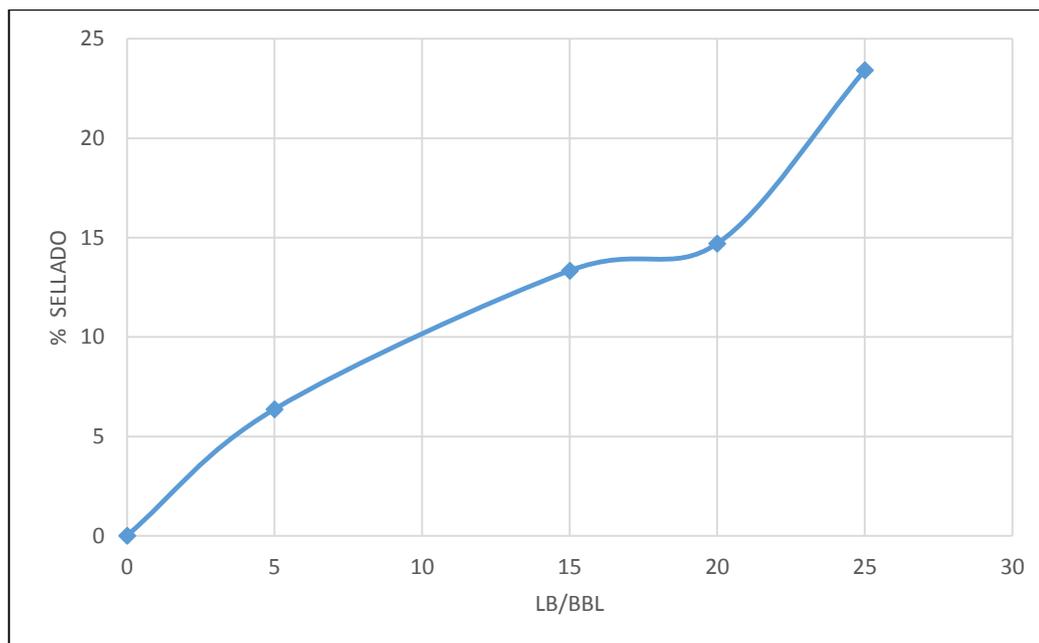


Figura 5. Caucho natural más resinas fenólicas y un solvente orgánico

Se elaboró una gráfica del material sellante-caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico donde se puede apreciar visualmente el comportamiento del material hacia la arena al momento de sellar su permeabilidad, llegando a su mejor sello del 23.42% con una concentración de 25 g de caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico más 350 mL de agua.

3.1.5 PERMEABILIDAD CON LA MEZCLA (A+B) A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla 11. Permeámetro con el Mezcla (A+B)

		Vol. cm ³	T. s	A. cm ²	L. cm	dh. cm
1	Arena Limpia	300	75	50.26	10	13
	5 gr + 350 mL de agua	300	93			14
2	Arena Limpia	300	118			11
	15 gr + 350 mL de agua	300	152			14
3	Arena Limpia	300	90			14
	20 gr + 350 mL de agua	300	113			18
4	Arena Limpia	300	86			16
	25 gr + 350 mL de agua	300	106			23

Con los siguientes datos proporcionados en la Tabla 11 por el permeámetro de carga constante utilizamos la ecuación 2, donde obtuvimos:

Tabla 12. Permeabilidad con Mezcla A+B

	Concentración	k Arena Limpia cm/s	k con mezcla A+B cm/s	k reducida en %
1	5 g + 350 mL de agua	0.061220±0,000323	0.045844±0,000355	25.80±0,967883
2	15 g + 350 mL de agua	0.045985±0,000218	0.030854±0,000283	33.11±0,298678
3	20 g + 350 mL de agua	0.047372±0,000322	0.029188±5,03E-05	38.60±0,309588
4	25 g + 350 mL de agua	0.043379±0,000491	0.024483±0,000320	44.52±1,357182
$\bar{x} \pm \sigma ; n = 2$				

Se realizó la prueba con 5 g de mezcla A+B más un solvente orgánico más 350 mL de agua, se produjo un sello hacia la arena del 25.80% en permeabilidad. El procedimiento se realizó sucesivamente para cada concentración.

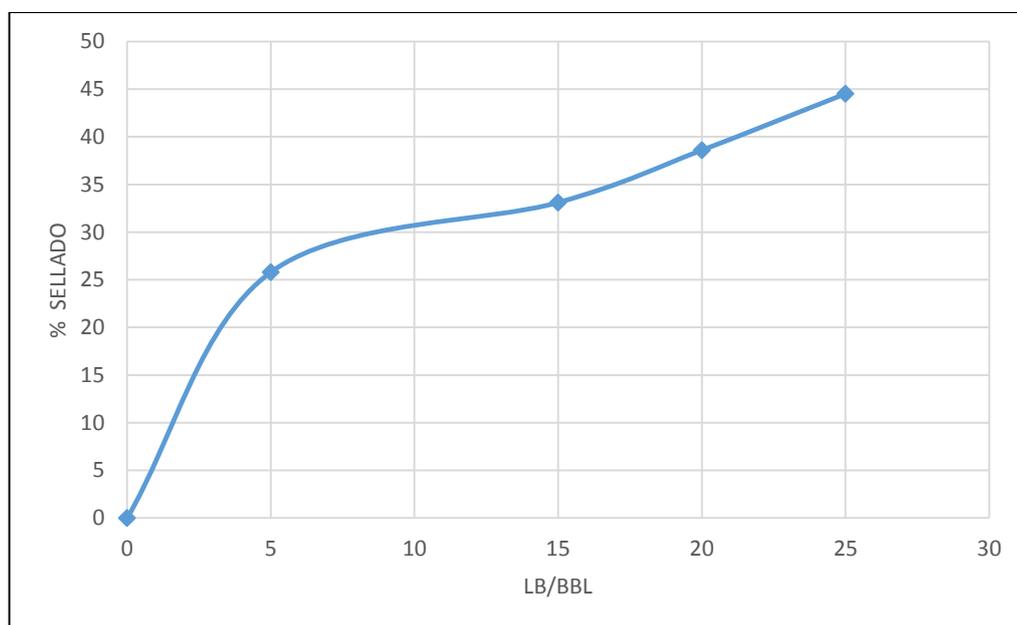


Figura 6. Mezcla A+B

Se elaboró una gráfica del material sellante-Mezcla A+B donde se puede apreciar visualmente el comportamiento del material hacia la arena al momento de sellar su permeabilidad, llegando a su mejor sello del 44.52% con una concentración de 25 g de mezcla A+B más 350 mL de agua.

3.2 RELACIÓN ENTRE CURVAS DE MATERIALES SELLANTES.

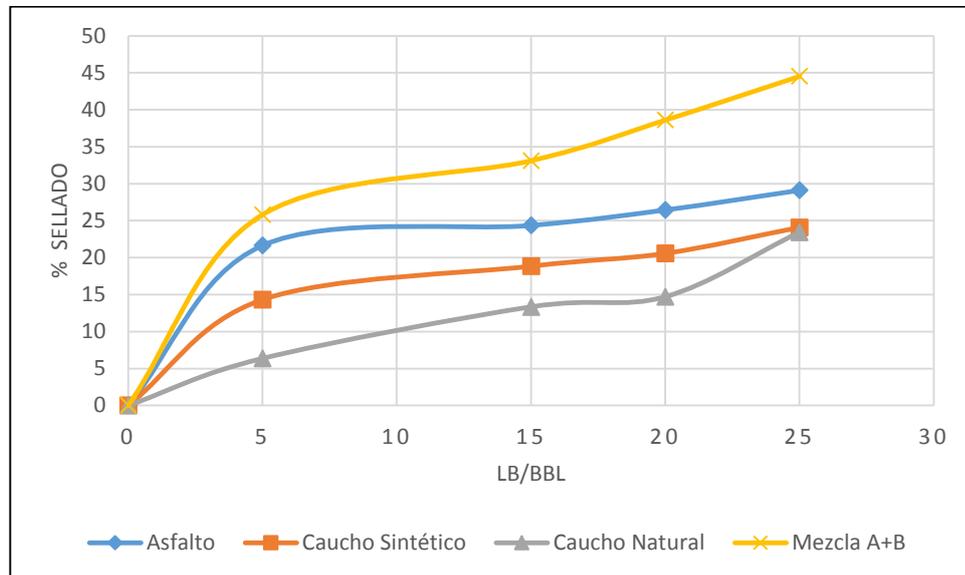


Figura 7. Comparación de Curvas

Se realizó una comparación gráfica Figura 7, con el fin de determinar el material con mejor desempeño lo cual dio como resultado la mezcla A+B, 50% de caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado más 50 % caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico.

Tabla 13. % Sello de cada Mezcla

Concentraciones	Asfalto	Caucho Sintético	Caucho Natural	Mezcla A+B
5 g + 350 mL de agua	21%	14%	6%	25%
15 g + 350 mL de agua	24%	18%	13%	33%
20 g + 350 mL de agua	26%	20%	14%	38%
25 g + 350 mL de agua	29%	24%	23%	44%

Se realizó un análisis de varianza de una sola vía entre cada curva Tabla 13, dando un resultado $P=0.0017$, determinando así que por lo menos una curva es diferente entre las demás al cumplir que $P<0.05$.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se probaron diferentes materiales sellantes como caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado para ponerlo a prueba como material sellante a una concentración adecuada que cumpla con el propósito de sellar permeabilidad.
- La formulación que obtuvo mejor desempeño en las pruebas realizadas en este ensayo fue la mezcla de A y B, 50% de caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado más 50 % caucho natural más resinas fenólicas más un solvente orgánico, a una concentración de 25 g y 350 mL de agua formando un sello del 44.53%
- La formulación que obtuvo un bajo desempeño en las pruebas realizadas en este ensayo fue la del caucho sintético vulcanizado micronizado obtenido de un neumático usado, a una concentración de 25 g y 350 mL de agua formando sello del 23.42%
- El análisis de varianza de una sola vía al tener una $P < 0.05$ determino que al menos una curva es diferente hacia otra, dando validez a la comparación gráfica de cada material sellante.
- La inclusión del nuevo material sellante desarrollado en laboratorio representa una opción diferente para reemplazar el uso de formulaciones importadas con elevados precios, por un aditivo accesible

4.2 RECOMENDACIONES

- Mientras se efectúa el uso del material sellante en el permeámetro, en el paso de extracción de arena, limpiar las mallas o cambiarlas dependiendo de la cantidad que este taponada por el material sellante.
- Para los pedazos sólidos de caucho sintético vulcanizado micronizado que no logré limar en el esmeril de tungsteno hacer uso de un molino triturador retirando cuidadosamente las partes metálicas de la llanta usada.
- Realizar mínimo dos veces el ensayo de permeabilidad para cada material sellante con el fin reducir la varianza y error en las mediciones
- Continuar con el análisis e investigación de materiales sellantes como controladores de pérdida de circulación para fluidos de perforación con el fin de obtener uno que cumpla con características competitivas para la industria hidrocarburífera.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Alabi, O. (2011). Validity of Darcy's Law in Laminar Regime. *Geotechnical Engineering Vol 16A*, 27-40.
- American Petroleum Institute. (2009). *Recommended practice for field testing water-based drilling fluids. ANSI/API 13 B-1*. Washington: API.
- API. (2001). *Manual de fluidos de perforación*. Dallas: American Petroleum Institute.
- API Specification 13A. (2010). *API Specification 13A. Petroleum and natural gas industries - drilling fluids - specifications and testing*. Dallas: American Petroleum Institute.
- ASTM. (2015). *Standard Test Method for Permeability of Granular Soils*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/D2434>
- ASTMD-2434. (2000). *Standard Test Method for*. Houston: ASTM-INTERNATIONAL.
- Baker Hughes. (1998). *Fluidos. Manual de ingeniería*. Houston: Baker Hughes.
- Baroid. (2000). *The complete fluids company. Halliburton. Manual de fluidos Baroid*. Houston: Halliburton Company.
- Baroid. (2012). *Manual de Fluidos*. Houston: Baroid.
- Baver, L. (1938). Soil permeability in relation to non capillary porosity. *Soil Sci. American. Proc. Nº 3*, 52-56.
- Bolaños, N., Lutz, G., & Herrera, C. (2003). *Manual de laboratorio*. San José.
- Chilingarian, G., & Voraburt, P. (1981). *Drilling and drilling fluids*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- CNPC-CCDC. (2017). *Manual de fluidos de perforación y completación*. Quito.
- Costantinidis, C. (1970). *Bonifica ed Irrigazione*. Bologna: Edagricole.
- Energy API. (2001). *Manual de fluidos de perforación*. Dallas: Instituto Americano del Petróleo. Obtenido de <https://vdocuments.mx/manual-de-fluidos-de-perforacion-api.html>
- Energy-API. (2014). *Manual de fluidos de perforación*. Dallas: American Petroleum Institute.
- Gareblant, G., Entov, V., & Ryzhik, V. (1990). *Flow of fluids through Natural Roks*. Houston : Kluwer Academic Publ.
- IMCO Services. (1981). *Tecnología aplicada de lodos. IMCO Services a division of Halliburton Company*. Houston.
- Instituto Americano del Petróleo. (2014). *Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación*. Dallas.
- La comunidad petrolera. (1 de septiembre de 2012). *Definición de la permeabilidad*. Obtenido de

<https://www.lacomunidadpetrolera.com/2012/09/definicion-de-la-permeabilidad.html>

- Lalaleo, W. (2015). Análisis de buenas prácticas operativas y lecciones aprendidas en la gestión de fluidos de perforación utilizados en el Campo Shushufinfi. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Márquez, G. (1983). *Propiedades Ingenieriles de los Suelos*. Medellín: Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia.
- MI-SWACO. (2001). *Manual de ingeniería de fluidos de perforación*. Houston: MI SWACO Schlumberger Company.
- PDVSA. (2002). *Manual de fluidos de perforación*. Maracaibo: Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED).
- QMAX México. (2010). *Manual Qmax de fluidos de perforación*. México.
- Universidad de Chile. (2011). *Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento*. Obtenido de <https://docplayer.es/51023363-Ci51j-hidraulica-de-aguas-subterranas-y-su-aprovechamiento.html>

ANEXOS

ANEXO 1.

HOJA TÉCNICA, HULE COJÍN

Revisión: Marzo del 2016



El hule cojín es un adhesivo a base de caucho natural, resinas fenólicas derivadas del petróleo, negro de humo y aceites de proceso, recubierto por una cara con una película de polietileno pigmentado como protección, tiene una presentación en verde (sin vulcanizar).

Se usa para unir permanentemente la banda de precurado con el casco de la llanta durante el proceso de renovado en frío en autoclave o túnel. Se aplica sobre el casco de la llanta ya cementado y libre de polvo, debe evitarse cualquier tipo de contaminación.

CLASIFICACION	IDENTIFICACION	TEMPERATURA DE TRABAJO	*CADUCIDAD	COLOR DE POLIETILENO
Baja	CR-99	100 °C	4 MESES	Amarillo
Baja	CR-100-5	105 °C	5 MESES	Azul
Intermedio	CIN-65	120 °C	5 MESES	Azul
Alta	CAL-155	150 °C	6 MESES	Rojo

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDAD	METODO DE PRUEBA	Cojines
Tensión a la ruptura	Psi	ASTM D-412	2800.00 Mínimo
Elongación	%	ASTM D-412	500.00 Mínimo
Modulo a 300%	Psi	ASTM D-412	900.00 Mínimo
Dureza Shore-A	Grados	ASTM D-2240	53 - 61
Gravedad Especifica	gr/cm3	ASTM D-297	1.10 - 1.13

Almacenarse a una temperatura entre 18 y 24° C preferentemente, debe permanecer el interior de la caja, evitar los rayos solares directos, evitar almacenar cerca de cualquier fuente de calor. La exposición por periodos prolongados de tiempo arriba de 25 °C reduce la vida útil de almacenado (caducidad).

Realizo: Javier Oropeza L.

Este documento es solamente para propósitos de información y no se actualiza automáticamente.

ANEXO 2.

ANÁLISIS DE PERMEABILIDAD MEDIANTE PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
INFORME DE ENSAYOS
ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON CARGA CONSTANTE

OBRA: Tesis
LOCALIZACIÓN: Quito
SONDEO:
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA: ASTM D2434

N° RECEPCIÓN: S-3572
SOLICITADO POR: Milton Cando
FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA:
FECHA: 06/08/2018

DATOS DE LA MUESTRA			
Diámetro (cm):	7,57	Volumen (cm ³):	646,75
Altura (cm):	14,37	Área (cm ²):	45,01
Peso (gr):	1017,33	Densidad (gr/cm ³):	1,57

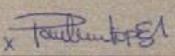
DATOS DEL ENSAYO	
Altura constante de agua (cm)	14,3
Temperatura del agua °C	25,8
Distancia entre Manómetros (cm)	7,5
nt/n20	0,9980518

N°	Tiempo (s)	V. Agua (cm ³)	KT (cm/s)	K20 (cm/s)
1	16	66,53	0,0484553	0,0483609
2	31	117,89	0,0443158	0,0442295
3	71	274,13	0,0449927	0,044905
4	121	476,13	0,0458547	0,0457654

KT (cm/s)	0,04590462
K20 (cm/s)	0,04581519



PATRICIO HERNÁNDEZ
LABORATORISTA



ING. SEBASTIÁN MORALES
RESPONSABLE DE ÁREA



ING. JORGE BUCHELI
DIRECTOR LMC

Ventimilla y Av. 12 de Octubre
Tel.: 593 2 299 1529
Cél. 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...


HERMITAS ECUADOR

ANEXO 3.

ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE PERMEABILIDAD



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



AREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
INFORME DE ENSAYOS
ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON CABEZA VARIABLE

OBRA: Tesis
LOCALIZACIÓN: Quito
SONDEO:
MUESTRA: Tomada por el Cliente

N° RECEPCIÓN: S-3585
SOLICITADO POR: Milton Cando
FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA:
FECHA: 13/08/2018

DATOS DE LA MUESTRA			
Diámetro (cm):	7,56	Volumen(cm3):	632,22
(cm):	14,09	Área Muestra(cm2):	44,86
Peso(gr):	1017,33	Densidad (gr/cm3):	1,61

DATOS DEL ENSAYO	
Temperatura del agua °C	24,2
nt/n20	0,99846825
Área de Abastecimiento (cm2)	0,15904313

N°	CARGA (cm)	Tiempo (s)
1	114,966	1,11
2	94,966	1,53
3	74,966	1,93

N°	(s)	h(cm)	(cm/s)	(cm/s)
1	0	0	0	0
2	0,42	20	0,02273133	0,02269651
3	0,4	20	0,02953356	0,02948833

KT (cm/s)	0,026132445
K20(cm/s)	0,026092417

PATRICIO HERNÁNDEZ
LABORATORISTA

ING. SEBASTIÁN MORALES
RESPONSABLE DE ÁREA



Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Tel: 593 2 299 1529
Cel: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



ANEXO 4. PERMEÁMETRO CARGA CONSTANTE LABORATORIO DE SUELOS



Permeámetro de Carga Constante del Laboratorio de Suelos de la carrera de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. El permeámetro está regulado con la norma ASTM D-2434.

ANEXO 5. CONSTRUCCIÓN DEL PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE CONSTRUIDO EN EL LABORATORIO CCDC-UTE, SEGÚN NORMA ASTM D-2434

Línea de alimentación: Está compuesta por un adaptador el cual se acopla a la red de suministro de agua.

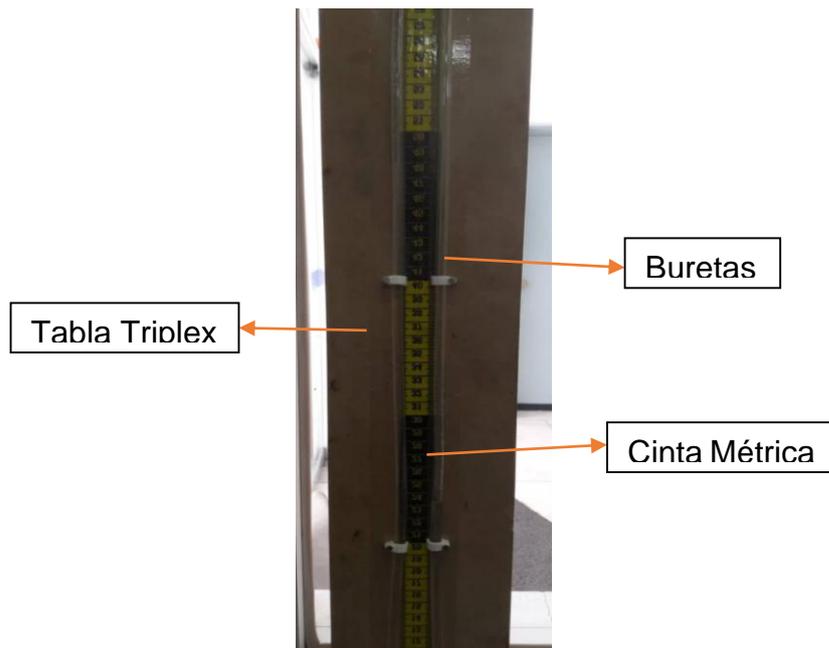
Tanque Rebosadero: La alimentación del permeámetro se realiza por medio de la conexión a la red de distribución de agua o a un tanque de alimentación con un nivel constante de fluido.



Línea de Salida: Por este se realiza la descarga del permeámetro y se encuentra en la parte inferior del sistema.



Medidores de Presión: Los piezómetros y manómetros están localizados a lo largo de toda la tabla de madera, la cual está ubicada junto al permeámetro



Cuerpo metálico: éste es constituido por las tapas inferior y superior, las cuales se unen entre sí, por medio del cuerpo metálico del Permeámetro Constante

Mangueras



ANEXO 6.

ELABORACIÓN DE UN PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE PARA DETERMINAR PERMEABILIDAD

Se diseñó el permeámetro de carga constante bajo la Norma ASTM D-2434 tomando en cuenta las modificaciones a realizar para el uso del ensayo, está constituido por los siguientes pasos:

1. Se torneó un tubo de acero de un diámetro de 8 cm y una longitud de 20 cm
2. Se realizó dos perforaciones de 2 cm de diámetro cada una al cilindro, el primero a 5 cm de la parte superior del cilindro y el segundo a 5 cm de la parte inferior del cilindro siguiendo la misma esquemática del filtro prensa
3. Se colocaron dos mangueras de 1 metro de longitud y 1 pulgada de diámetro en las dos perforaciones antes realizadas en el cilindro
4. En la parte final de las dos mangueras se introdujo dos buretas plásticas de 1 metro de altura una en cada una de las mangueras
5. Se utilizó una tabla tríplice de 1.50 m de altura y 40 cm de base
6. Se colocó en la parte central de la tabla la cinta métrica de manera en que mida la altura de fluido
7. Se colocó las buretas de plástico de 1 metro junto a la cinta métrica ubicada en la tabla
8. En la parte superior del cilindro se empleó la tapa del filtro prensa a la cual se le adecuó una manguera de 1.50 m de altura
9. Al inicio de la tapa superior se colocó una llave de paso de 1/2 la cual nos ayudó a evitar burbujas además de controlar de mejor manera el paso de fluido
10. Se colocó un tanque (recipiente que mantiene un nivel de agua constante) a una altura de 1.37 m, superior a la del permeámetro.
11. Se colocó la manguera de la tapa superior al tanque para permitir el paso de fluido desde el tanque (recipiente que mantiene un nivel de agua constante) hacia el permeámetro
12. El tanque (recipiente que mantiene un nivel de agua constante) está nivelado a un nivel y altura específica para que la caída de presión del agua sea 0.82 psi y permita el flujo laminar del sistema
13. En los agujeros del cilindro por la parte interna se colocó una tela de malla fina para evitar intrusión de arena y material sellante.
14. Se coloca al permeámetro en una estructura de forma vertical lo cual evita cualquier movimiento en el proceso de medición.

Además de lo señalado, en el anexo 5 se detalla gráficamente el diseño del permeámetro de carga constante empleado en laboratorio de fluidos de la Universidad UTE.

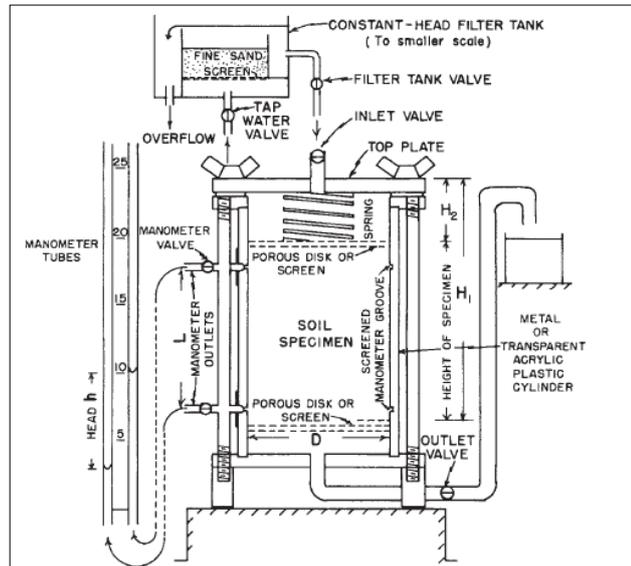


Figura 8. Permeámetro Carga Constante (ASTMD-2434, 2000)

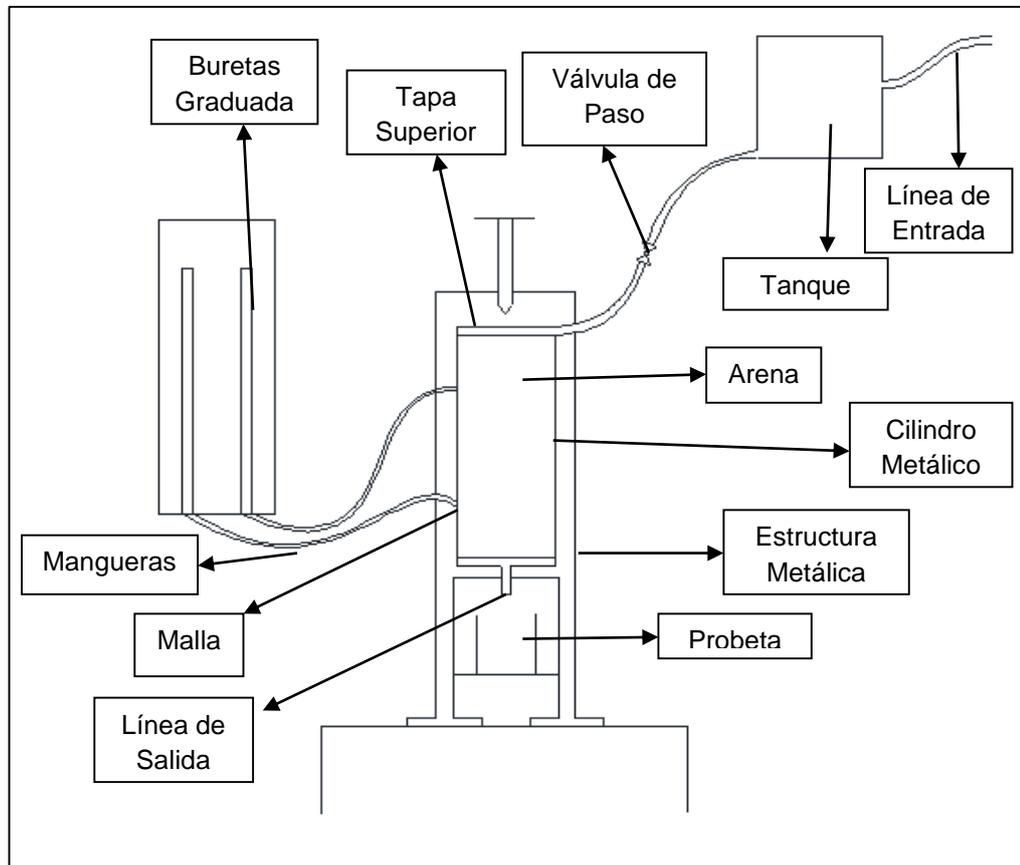


Figura 4. Permeámetro

ANEXO 7.

PROCESO DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO

Este proceso se realizó para generar un porcentaje de pérdida de permeabilidad generada por el revoque en la arena. El proceso de medición del permeámetro siguió los siguientes pasos:

1. Se procedió al armado completo del permeámetro conectando de manera correcta todas las mangueras especificadas anteriormente
2. Consecuentemente se llenó el permeámetro de arena de manera que cubra hasta la superficie del cilindro.
3. Se cortó el flujo de salida al final del permeámetro para poder llenarlo.
4. Se procedió a abrir el paso de fluido para que se llene el tanque.
5. Una vez que se llenó el tanque (recipiente que mantiene un nivel de agua constante) se procedió a dejar pasar el fluido desde la parte superior del permeámetro con una llave de paso evitando la formación de burbujas de aire dentro del cilindro
6. Luego de 7 min se pudo observar en las buretas como las presiones de entrada y salida se equipararon, equilibrando así la presión en el sistema
7. Se dio paso al fluido en la parte inferior del permeámetro
8. Luego de 15 minutos en el cual pasó el fluido constantemente en el permeámetro se procedió a visualizar la diferencia de alturas en las buretas graduadas (manómetros)
9. Se procedió a medir el caudal en probetas graduadas de 500mL midiendo tiempo y volumen
10. Luego de que se tomó el volumen generado por el sistema se reemplazó los datos en la ecuación 2, despejando la permeabilidad deseada
11. Para mayor confiabilidad se procedió a tomar 2 medidas de permeabilidad y realizar un promedio de permeabilidad.

ANEXO 8.

PROCESO DE MEDICIÓN DE LA PERMEABILIDAD CON MATERIAL SELLANTE

Se realizó el siguiente procedimiento para constatar la medición del permeámetro, incluyendo material sellante.

1. Se repitió los pasos mencionados anteriormente hasta el número 3, donde se vertió el material sellante en la parte superior del permeámetro y se selló el cilindro de nuevo.
2. Una vez lleno el tanque a un nivel constante de flujo se procedió a dejar pasar el fluido desde la parte superior del permeámetro con una llave de paso evitando la formación de burbujas de aire dentro del cilindro
3. Luego de 7 min se pudo observar en las buretas como las presiones de entrada y salida se equipararon, equilibrando así la presión en el sistema
4. Se dio paso al fluido en la parte inferior del permeámetro
5. Luego de 15 minutos en el cual pasó el fluido constantemente en el permeámetro se procedió a visualizar la diferencia de alturas en las buretas graduadas (manómetros)
6. Se procedió a medir el caudal en probetas graduadas de 500mL donde se tomó tiempo y volumen.
7. Luego de que se tomó el volumen generado por el sistema se reemplazó los datos en la ecuación 2, despejando la permeabilidad deseada
8. Para mayor confiabilidad se procedió a tomar 2 medidas de permeabilidad y realizar un promedio de permeabilidad.
9. Para las siguientes mediciones se procedió a limpiar las telas colocadas en los orificios del cilindro.

ANEXO 9.

OBTENCIÓN DE ARENA LAVADA

La arena lavada es una parte esencial en el permeámetro de carga constante ya que simula los estratos altamente permeables por los que atraviesa la perforación de un pozo petrolero, con esta arena se realizó los ensayos de permeabilidad mediante el equipo permeámetro construido bajo la norma ASTM D-2434.

1. **Obtención:** Se seleccionó 50 kg de arena y se separaron los materiales gruesos y contaminantes.
2. **Lavado:** Se descartó toda impureza adherida a los granos de arena por medio de un enjuague con agua y fregado.
3. **Secado:** Se expuso la arena lavada húmeda al calor por un periodo de 12 horas a una temperatura de 50 °C en un horno hasta que esté completamente seca
4. **Tamizado:** Se efectuó un tamizado con malla 600 μm de la arena silícica seca.
5. **Almacenamiento:** Se almaceno la arena sílice tratada en un recipiente plástico evitando mezclar con otras impurezas.

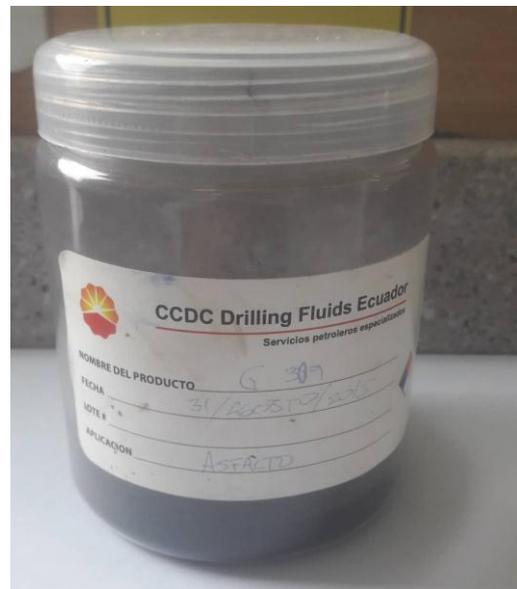
ANEXO 10.
MATERIALES UTILIZADOS

NOMBRE	MATERIAL
<p>CAUCHO SINTÉTICO ESTIRENO BUTADIENO VULCANIZADO DE NEUMÁTICO RECICLADO</p>	
<p>CAUCHO NATURAL MAS RESINAS FENÓLICAS SIN VULCANIZAR</p>	

SOLVENTE ORGÁNICO USADO



MATERIAL SELLANTE
COMERCIAL-ASFALTO



ANEXO 11.
REVOQUE GENERADO POR CADA MATERIAL

Productos	Revoque con 25 g más 350 mL de agua
<p align="center">ASFALTO</p>	
<p align="center">CAUCHO SINTÉTICO ESTIRENO BUTADIENO VULCANIZADO DE NEUMÁTICO RECICLADO</p>	
<p align="center">CAUCHO NATURAL MAS RESINAS FENÓLICAS SIN VULCANIZAR MAS SOLVENTE ORGÁNICO</p>	

MEZCLA A+B



ANEXO 12.

PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CAUCHO SINTÉTICO VULCANIZADO MICRONIZADO.

La obtención de la caucho sintético vulcanizado micronizado se la realizó mediante la empresa ULES BANDA, S.A. DE C.V. Ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui en el cual se procedió a seguir una serie de pasos para su obtención.

1. **Selección:** Se seleccionó los neumáticos ubicados en la zona de desechos, donde se escogió un neumático que presentaban el tamaño de 295/80 R 22.5.
2. **Lavado:** Se procedió a limpiar cualquier impureza ubicada en el neumático en la parte interior y exterior del mismo como hollín o polvo mediante un lavado con detergente común.
3. **Secado:** Al neumático seleccionado se procedió al secado a temperatura ambiente (18° C), durante 4 horas para reducir cualquier humedad al momento de triturar.
4. **Triturado:** Se trituro el neumático seleccionado con una lima de marca WEG w2.2 con un esmeril de tungsteno.
5. **Tamizado:** Al material triturado del neumático reciclado se efectuó un tamizado con malla 280 μm .
6. **Almacenamiento:** Se almaceno el caucho sintético estireno-butadieno vulcanizado de neumático reciclado en frascos de vidrio de 500 mL para evitar cualquier contaminación futura.

ANEXO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA DE UNA SOLA VÍA “ANOVA”.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	4	101,564422	25,39110543	10,02879907
Columna 2	4	77,8187314	19,45468286	16,50276502
Columna 3	4	57,8270748	14,45676869	49,06353124
Columna 4	4	142,050033	35,51250834	63,62682235

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	983,4207	3	327,8069	9,4182	0,001775	3,490294
Dentro de los grupos	417,6657	12	34,8054			
Total	1401,0864	15				