

**PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE ELEMENTOS RADIOACTIVOS EN LOS
CORTES DE PERFORACIÓN DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES**

**RODRIGO ALFONSO BEJARANO MUÑOZ
PAULA MELISSA PIÑEROS CHARRY
LEIDY MILEN POLANIA VILLEGAS**

**Proyecto integral de grado para optar el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**Orientador:
JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ VARGAS
RESPONSABLE EN ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
BOGOTÁ D.C.
2022**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., febrero de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García-Peña.

Consejero Institucional.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña.

Vicerrectora Académica y de Investigación.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero.

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro.

Secretario General.

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas.

Dr. Marcel Hofstetter Gascon.

Directora especialización en Negocios Internacionales e Integración Económica.

Dra. Luz Rocío Corredor Gonzales.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pag
RESUMEN	7
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivos específicos	10
3. MARCO TEÓRICO	11
3.1 Normativa vigente relacionada con los NORM	11
3.2 Perforación de pozos	13
3.3 Cortes de perforación	15
3.4 Fracturamiento hidráulico	16
3.4.1 Fluido fracturante y aditivos	16
3.4.2 Proceso de fractura	18
4. GLOSARIO	20
5. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS TIPO CORTE DE PERFORACIÓN	22
5.1 Equipos para retirar los recortes de perforación	22
5.1.1 Zarandas	22
5.1.2 Hidrociclones	23
5.1.3 Centrífugas	24
5.2 Volumen de cortes generados	25
6. DETERMINAR LA PRINCIPAL TÉCNICA USADA PARA MEDIR RADIONUCLEIDOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA GLOBAL	26
6.1 Monitoreo para NORM	26
6.2 Espectrometría de rayos gamma	27
6.2.1. El Centelleador	28
6.2.2. El Fotomultiplicador	29
6.2.3. El Analizador Multicanal (MCA)	29
6.3 Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos	29
6.3.1 Definición de objetivos	29
6.3.2 Definición de terminología	30
6.3.3 Elección del punto de muestreo	30
6.3.4 Número de puntos	30
6.3.5 Características del punto	31
6.3.6 Instrumentos de muestreo	31

7. SELECCIONAR CANTIDADES, VOLÚMENES Y PARÁMETROS QUE DEFINEN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ELEMENTOS RADIOACTIVOS EN LOS CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN	33
7.1 Punto de muestreo	33
7.1.1 <i>Perforación Vertical</i>	33
7.1.2 <i>Perforación Horizontal</i>	33
7.2 Tamaño y profundidad de muestreo	34
7.3 Instrumentos de muestreo	35
7.4 Técnica a utilizar	35
8. PLANTEAR EL PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE ELEMENTOS RADIOACTIVOS DE LOS CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN	38
9. CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41

RESUMEN

El objetivo de esta monografía, es realizar un protocolo de medición de elementos radioactivos, presentes en los cortes de perforación que se originan de la técnica de fracturamiento hidráulica multietapa con perforación horizontal - FH-PH, estableciendo parámetros, medidas de muestreo y monitoreo para la determinación de elementos radiactivos provenientes de fuentes naturales.

Se busca establecer diferentes criterios relacionados con las técnicas de muestreo, el uso de materiales y herramientas, equipos, la delimitación del área de muestreo, criterios de desempeño, así como los requisitos para el manejo y conservación de las mismas, de esta manera estudiar la potencial emisión de radionucleidos durante el proceso de fracturación hidráulica y si ocurre algún tipo de dispersión de materiales radiactivos relacionados con esta actividad.

El interés en este protocolo este asociado en saber ¿Cuáles son los elementos radioactivos más frecuentes en yacimientos no convencionales y cuál es el proceso para su medición en Colombia?.

La metodología de muestreo, enfocado en variables radiométricas, ayudará a evaluar la composición isotópica y la radioactividad de los recortes de perforación, generando así más insumos de comparación para estudiar posible contaminación de cuerpos de agua y acuíferos y determinar si generan impactos en la salud humana o en el medio ambiente en general.

De esta manera, poder aplicar el protocolo a los Proyectos Piloto Integrales de Investigación PPII, dando cumplimiento a la normatividad vigente y poder establecer el impacto ambiental que generan los NORM sobre los yacimientos no convencionales.

PALABRAS CLAVES: Yacimientos no convencionales/YNC, Proyectos Piloto de Investigación Integral /PPII, NORM/Naturally-Occurring Radioactive Materials, radioactividad, radionucleidos, cortes de perforación/cuttings, zaranda/shakers, sarta de perforación/Drill Pipe, lodos de perforación.

1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La producción de petróleo y gas ha sido desde hace décadas, un motor importante para el crecimiento económico de Colombia. La producción de hidrocarburos convencionales se ha ralentizado alrededor de un 25 por ciento en los últimos años, (Padilla, El Potencial de los Yacimientos No Convencionales en Colombia, 2020), llevando al gobierno a considerar la posibilidad de incentivar la explotación petrolífera de recursos de lutita no convencionales mediante Proyectos Piloto de Investigación Integral (PPII), que estimulen el crecimiento económico del país.

En consonancia, el gobierno Colombiano, adjudicó los primeros proyectos piloto de investigación (PPII) para determinar si la técnica de perforación hidráulica, mediante la cual se extrae dichos recursos, es viable. Para establecer este proceso, expidió el Decreto Presidencial 328 del 28 de febrero de 2020 “por el cual se fijan lineamientos para adelantar Proyectos Piloto de Investigación Integral -PPII sobre Yacimientos No Convencionales - YNC de hidrocarburos con la utilización de la técnica de Fracturamiento Hidráulico Multietapa con Perforación Horizontal - FH-PH”. Posteriormente, expidió la resolución 40185 del 07 de julio de 2020 en la cual se establecen lineamientos técnicos para el desarrollo de los PPII, incluyendo en su artículo 9, punto 2 “ Monitorear las fuentes naturales de radiación en el área de cada uno de los PPII, de acuerdo con las variables que se establezcan en los términos de referencia ambientales, y los lineamientos técnicos para los procedimientos de muestreo (etapas, puntos de muestreo y metodología para la toma de muestras), así como para los análisis de laboratorio , suministrados por el SGC”.

Teniendo en cuenta lo anterior, la producción de petróleo mediante la técnica de fracturamiento hidráulico, es un ejemplo de tecnología que es propensa a concentrar materiales radiactivos de origen natural, denominados NORM (Naturally-Occurring Radioactive Materials) y metales pesados procedentes de minerales que han sido disueltos, y que pueden encontrarse en las fuentes de residuos de los proceso de perforación, denominados recortes de perforación (cuttings o detritus de perforación), los cuales como mencionan los autores Bilatayib. M., Eng. Mufazzal, S. Kabuli, Issa D., Ayyadand N., Ramires D. 1 (2016), aproximadamente, representan el 50% de los residuos provenientes de la actividad de perforación, representando de esta manera,

un gran volumen rocoso extraído del subsuelo que impacta directamente en el ambiente durante su disposición.

Como el proceso de extracción concentra los radionucleidos naturales y los expone al medio ambiente y al contacto humano, la mala gestión de estos residuos puede dar lugar a contaminación radiológica en suelos o en aguas superficiales, por lo que los materiales con NORM por encima de los niveles de radiactividad natural de fondo requieren de un manejo especial para su disposición.

En consecuencia, se hace necesario desarrollar un protocolo que permita identificar los elementos radiactivos en los cortes de perforación, y de esta manera obtener los niveles de radiación que permitan la gestión adecuada de NORM en los residuos sólidos para prevenir riesgos en la salud humana pública y ocupacional y la contaminación ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Plantear un protocolo de medición de elementos radiactivos de origen natural “radionucleidos” en los cortes de perforación producidos en los yacimientos no convencionales.

2.2 Objetivos específicos

- Describir los escenarios de generación de los residuos tipo corte de perforación.
- Determinar la principal técnica usada para medir radionucleidos en la industria petrolera global.
- Seleccionar cantidades, volúmenes y parámetros que definen el sistema de medición de elementos radiactivos en los cortes industriales de perforación.
- Plantear el procedimiento para la medición de elementos radiactivos de los cortes industriales de perforación.

3. MARCO TEÓRICO

En el medio ambiente, existen radionucleidos provenientes de la radiactividad llamados NORM por sus siglas en inglés “Naturally Occurring Radioactive Materials”; en algunas industrias como la de los hidrocarburos, las concentraciones de los NORM pueden aumentar significativamente generando un alto riesgo de exposición en las actividades realizadas. Así, como consecuencia de los múltiples procesos de extracción de hidrocarburos, se encuentran contenidos radionucleidos en los fluidos de los pozos generando depósitos de estos en instalaciones de exploración y producción.

En la industria petrolera, se debe garantizar un control efectivo y eficiente a la exposición de estos elementos, donde se cumplan todos los requisitos de los entes regulatorios y se desarrollen prácticas operacionales responsables. La industria, junto con los organismos reguladores gubernamentales examinan y regulan los NORM en las instalaciones de producción de hidrocarburos con base a los requisitos de las normas básicas de seguridad para la protección y seguridad radiológica (Díaz, 2014).

La radiactividad es un fenómeno físico que se caracteriza por la desintegración de los núcleos atómicos inestables. Este proceso viene acompañado de la emisión de radiación ionizante. Actualmente, existen 92 diferentes elementos químicos, de los cuales algunos tienen más de un isótopo. En estado natural existen 325 variedades de átomos. El petróleo contiene gran variedad de compuestos, entre ellos algunos radiactivos naturales que han existido desde la formación de la Tierra, los cuales, en pequeñas cantidades, no causan daño, pero, debido a los grandes volúmenes de petróleo que son extraídos día a día, aumenta el riesgo la salud de las personas.

3.1 Normativa vigente relacionada con los NORM

Actualmente con la resolución 40185 7 julio de 2020 se establecen lineamientos técnicos para el desarrollo de los Proyectos piloto de Investigación Integral (PPII) en Yacimientos No Convencionales (YNC) de Hidrocarburos a través de la técnica de Fracturamiento Hidráulico Multietapa con perforación Horizontal (Resolución 40185, 2020). En los lineamientos establecidos, se exponen los parámetros y medidas para

diseñar campañas de muestreo y monitoreo con el propósito de determinar los elementos radiactivos naturales y las técnicas sugeridas para su investigación.

En Colombia, se establecen las leyes para el control de radiactividad en la industrias, el cumplimiento de las normas se da mediante la Resolución 18-1434 de 2002 donde se adopta el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica, este tiene por objeto establecer los requisitos y condiciones mínimas que deben cumplir y observar las personas naturales o jurídicas interesadas en realizar prácticas que causan exposición a la radiación ionizante o en intervenir con el fin de reducir exposiciones existentes, así como los requisitos y condiciones básicas para la protección de las personas contra la exposición a la radiación y para la seguridad de estas fuentes, denominados en lo sucesivo protección y seguridad (Resolución 18-1434 de 2002, 2004).

Las NBS (Normas básicas internacionales de seguridad) del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) tratan "la extracción y el procesamiento de materias primas que implican una exposición debido a material radiactivo", incluida la industria del petróleo y el gas, establecida como una práctica en una situación de exposición previamente planificada.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) recomendó un límite de dosis pública (riesgo) de 1 mSv / a adicional a la dosis de fondo natural (~ 2,4 mSv / año). Los trabajadores ordinarios de la industria del gas y el petróleo son tratados como un miembro del público con un tiempo de exposición limitado (2.000 h / año). Estas recomendaciones se han implementado en las Normas Básicas de Seguridad (NBS) del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

De la misma manera, la CIPR (Comisión Internacional de Protección Radiológica) afirma que "las fuentes de naturales (por ejemplo, NORM) pueden excluirse legítimamente del ámbito de sus recomendaciones una vez que la concentración de actividad de cada NOR es inferior a 1 Bq[NOR]/g"; cualquier sustancia o material cuya concentración sea superior al valor ya mencionado, se determina como NORM.

A continuación se presenta, algunas concentraciones para materiales exentas en cantidades moderadas de material radiactivos; no obstante, es recomendable

corroborar los valores con las normativas aplicables al país, en caso de no haber, las concentraciones de actividad BSS pueden aplicarse como método de control y manejo.

Figura 1.

Concentraciones para materiales basado en cantidades

NOR in secular/transient equilibrium with (relevant NOR denoted as NOR _{eq})		Bq/g
²³² Th _{nat}	full natural decay series	
²²⁸ Ra _{eq}	²²⁸ Ac	10
²²⁸ Th _{eq}	²²⁴ Ra, ²²⁰ Rn, ²¹⁴ Po, ²¹² Pb, ²¹² Bi, ²¹² Po/ ²⁰⁸ Tl	1
²³⁸ U _{nat}	full natural decay series	
²³⁸ U _{eq}	²³⁴ Th, ^{234m} Pa, ²³⁴ U, ²³⁰ Th	10
²²⁶ Ra _{eq}	²²² Rn, ²¹⁸ Po, ²¹⁴ Pb, ²¹⁴ Bi, ²¹⁴ Po	10
²¹⁰ Pb _{eq}	²¹⁰ Bi, ²¹⁰ Po	10

Nota. la figura muestra las concentraciones para materiales exentas en cantidades moderadas de material radiactivos. Tomado de: Producers, I. A. (2016). Managing Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in the oil and gas industry.

3.2 Perforación de pozos

Para el desarrollo de esta monografía se hace necesario tener entendimiento del término perforación en un contexto petrolero, debido que de acá se desglosará en amplitud diferentes términos que al igual que este también los abordaremos.

La operación de perforación implica bajar la sarta de perforación dentro del pozo y aplicar suficiente peso a la broca para romper y penetrar la formación. Durante la perforación, la sarta de perforación es forzada a girar por la mesa rotaria o por el Top Drive mientras se circula fluido de perforación por entre la tubería, y la broca y de regreso a la superficie arrastrando los cortes de perforación. Este proceso en general se refiere a la apertura de un foso con dimensiones cilíndricas en el subsuelo, cuya configuración puede ser dada de una manera vertical o inclinada según las propiedades que se nos vayan presentando en las diferentes formación u operaciones que se desee realizar.

Durante el proceso de perforación como se nombró anteriormente, se hace necesario hacer uso de una mezcla de fluidos con el fin de lograr la eficiente apertura del pozo a entubar. Estos fluidos son usados en operaciones de perforación en la cual dicho

fluido es circulado o bombeado desde superficie por medio de la sarta de perforación, dentro de la broca y de vuelta a superficie por medio del anular. Estos fluidos se utilizan para cumplir diferentes funciones en un pozo, como lo son las siguientes:

- Transportar los cortes de perforación hacia superficie a medida que se da la apertura del foso.
- Refrigerar y limpiar la broca.
- Reducir la fricción de la sarta de perforación.
- Control de presiones de fondo
- Mantener la estabilidad del hueco.
- Formar una capa de baja permeabilidad en la cara de la formación.

Existen tres tipos de fluidos de perforación o como se conocen en la industria “Lodos de Perforación”, los cuales se clasifican según su composición:

- **Fluidos base agua:** estos fluidos son los más comunes en las operaciones de perforación. Son aquellos que su fase continua es agua y en el cual algunos materiales se mantienen en suspensión y otros se disuelven, su composición es a partir una suspensión de partículas de minerales, sales disueltas y compuestos orgánicos. Su fase líquida depende del agua disponible en la ubicación de la perforación (agua dulce, mar o salmuera concentrada), como sólidos reactivos, están las arcillas provenientes de la formación perforada y sólidos inertes, son los químicamente activos (caliza, dolomita, barita).
- **Fluidos base aceite:** Los fluidos base aceite son aquellos que su fase continúa es aceite, compuestos normalmente por más o menos 5% vol.de agua. Son usados para mejorar la lubricidad, reducir fricción y cuando se va a realizar una perforación en un sitio con condiciones especiales como temperaturas altas, pizarra, perforaciones con alto ángulo y pozos de gran alcance. Este fluido tiene como base continua diésel, aceite mineral y agua como fase dispersa.

- **Fluidos base sintética:** Los fluidos sintéticos como los cuales su base del fluido es un aceite sintético, es el más usado en las plataformas de offshore, teniendo las propiedades de los lodos base aceite, con toxicidades menores.

3.3 Cortes de perforación

Una de las operaciones más importantes que posee la industria petrolera es la perforación de pozos. Esta tarea requiere de la refrigeración y lubricación de las herramientas de perforación, además de un medio que permita arrastrar a la superficie el residuo que se va generando. Para ello se utilizan fluidos que cumplen estas funciones los cuales se llaman lodos de perforación. La perforación de pozos en un yacimiento en desarrollo genera grandes volúmenes de lodos de perforación en poco tiempo, una parte es reutilizada y otra descartada. A estos últimos se los denominan recortes de perforación y constituye un residuo semisólido (Sergio A. Vardaro, s.f.), denominándose recortes base agua y recortes base gasoil.

Según la guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de 1999 y el decreto 605 de 1996 “Los cortes de perforación son un residuo sólido no peligroso típico de la actividad de perforación que tiene como características ser una roca extraída del subsuelo durante la perforación” (Vega & Moreno, 2017), los sólidos desprendidos de la roca a medida que se avanza durante la perforación, son residuos generados durante todas las operaciones de este tipo, el término cortes de perforación hace referencia a la “roca extraída del subsuelo durante la perforación, contaminados con el lodo de perforación, aceite, entre otros. Estos son almacenados en tanques para después y posteriormente son trasladados a las piscinas para ser tratados.

La generación de los cortes se da en el momento en que cual un fluido es inyectado al pozo, con este proceso se desarrolla un arrastre de sólidos que desprenden de la tierra por toda la tubería hasta la superficie. Cuando estos cortes se desprenden de las paredes del pozo se genera fricción entre las partículas aumentando el área superficial entre las paredes del pozo y los sólidos desprendidos de las formaciones, no obstante, el tipo de fluido de perforación, la profundidad del pozo, las formaciones geológicas y la ROP`s de perforación, son algunos factores que influyen en la

generación de los cortes de perforación, los cuales serán estudiados en la segunda etapa del proyecto.

Las partículas que se desprenden del interior de las rocas, están conformadas por distintos tipos de rocas sedimentarias y minerales naturales. Debido a que estos cortes suelen estar mezclados con el fluido de perforación que varía según el pozo, así, esto dependerá de la fase que se está perforando. Estos cortes de perforación provenientes de los lodos base agua, son caracterizados por su solubilidad y sus distintos componentes como: Barita, Carbonato de calcio, Bentonita, Arcillas y distintos aditivos químicos.

3.4 Fracturamiento hidráulico

El fracturamiento o estimulación hidráulica es la inyección a presiones suficientemente altas de un fluido y material propante (como arena, bauxita o cerámicas) con el fin de crear estimular las fracturas de una formación de hidrocarburos, así proporcionando un camino que incremente la tasa a la cual el petróleo pueda ser producidos comercialmente (AEA, 2012) (FracFocus, 2013) (API, 2009). Consiste principalmente en la inyección de una mezcla de Diesel o agua junto con arena y aditivos químicos, aproximadamente utilizan entre 90 a 360 m³ de agua por pozo, esta técnica se diferencia de los tratamientos de fracturamiento hidráulico tradicionalmente usados principalmente por las mayores cantidades y proporciones de agua utilizadas, así como por la reducción de los agentes gelificantes y reductores de fricción (AEA, 2012).

3.4.1 Fluido fracturante y aditivos

El agua junto con el propante constituye la mayor fracción volumétrica con un 99 % del fluido fracturante siendo el agua el principal componente, el 1% (o menos) restante se compone de aditivos químicos que consisten principalmente en: ácidos, surfactantes, biocidas, estabilizadores de pH, geles rompedores, inhibidores de arcillas, hierro y corrosión (API, 2010).

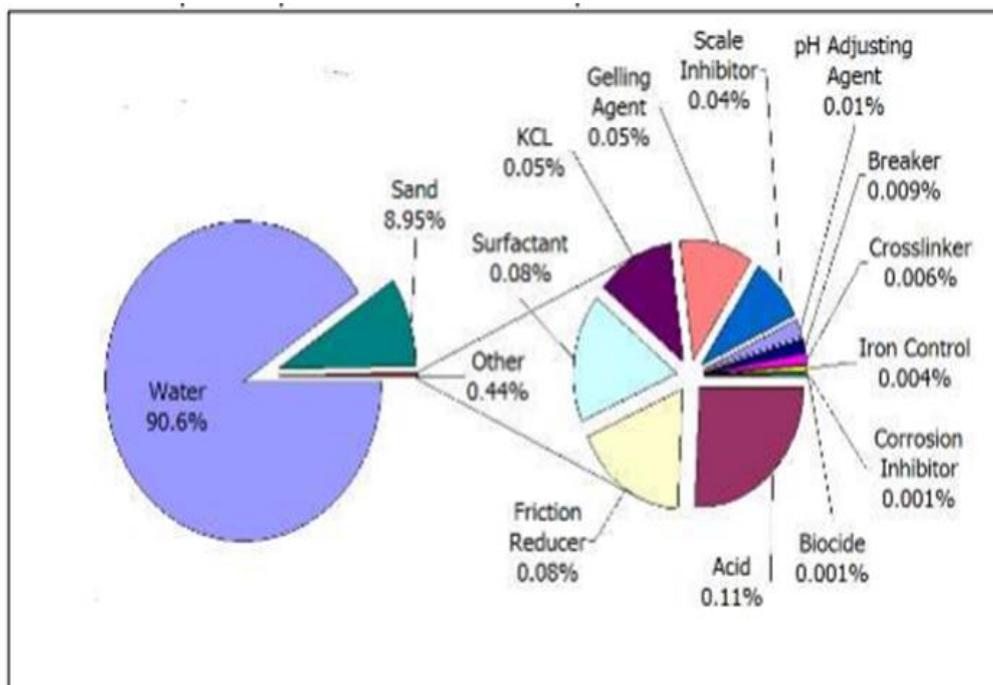
Los tipos de fluidos de fractura mayormente utilizados son los que tienen como base agua, aceite, diésel o kerosene, espumas y dióxido de carbono (CO₂). La base del

fluido contiene alrededor del 90% de agua, o en su defecto otras bases, como dióxido de carbono, nitrógeno o gas propano. Junto a la base del fluido también se inyecta un propante o apuntalante que tiene como función primordial mantener abiertas las fisuras o fracturas generadas al exceder la presión del fluido inyectado la presión de fractura de la roca de la formación. Junto a la base del fluido y el apuntalante, el fluido fracturante ha de tener también una serie de aditivos químicos que cumplen varias funciones como bactericidas, estabilizadores de arcillas, inhibidores de la corrosión, antioxidantes, salmueras, reductores de fricción y otros más.

De acuerdo al “Evaluating the environmental implications of hydraulic fracturing in shale gas reservoirs” los porcentajes volumétricos promedio de la composición de los aditivos utilizados en el fracturamiento hidráulico son los siguientes:

Figura 2.

Composición porcentual de un fluido de perforación hidráulica.



Nota. La figura 2 expone” los porcentajes volumétricos promedio de la composición de los aditivos utilizados en el fracturamiento hidráulico.Tomado de: DAN, Arthur. Evaluating the environmental implications of hydraulic fracturing in shale gas reservoirs. p. 21.

3.4.2 Proceso de fractura

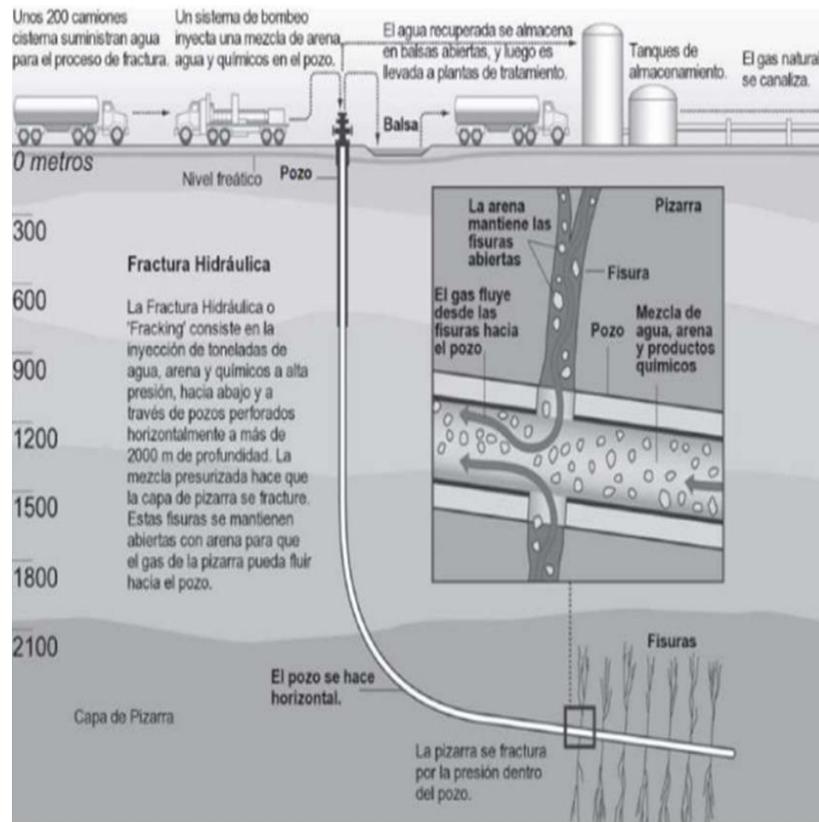
El proceso de fracturamiento hidráulico consiste en perforación de fracturas horizontales, en el revestimiento de producción, estas fracturas son creadas por medio de balas explosivas que crean una forma de fractura específica y se convierten en el medio de comunicación entre la formación productiva y el pozo para que los hidrocarburos fluyan a través de este hasta superficie.

La inyección del fluido fracturante se hace principalmente en 4 etapas, las cuales pueden variar de acuerdo a las condiciones particulares del área o a las necesidades específicas que durante el tratamiento se requieran. La primera es la etapa de fracturamiento, luego la etapa de propagación de la fractura, posteriormente, la inyección de fluido con variedades de propantes, por lo general se utiliza arena ordinaria, pero también es común el uso de bauxita y cerámicas. Por último, la inyección final del fluido fracturante para limpiar las paredes del pozo del material propante y por ende que la mayor parte de este se dirija a las fracturas.

Se inicia una nueva fase de perforación por medio del aislamiento de la fase previa, por medio de un tapón o puente que se desprende del dispositivo que es utilizado para la colocación de las balas perforadoras cargadas con explosivos. Este proceso se repite hasta completar las fases diseñadas para el pozo, por lo general se realizan de 8 a 12 fases por pozo.

Figura 3.

Fractura hidráulica



Nota. La figura muestra el proceso de fractura hidráulica Tomado de: VASQUEZ, Juan. Mejoramiento de la conductividad en el fracturamiento hidráulico. Fracturamiento hidráulico. México, 2009. p.198. Trabajo de investigación (Ingeniero de Petróleos) Universidad Nacional Autónoma de México.

4. GLOSARIO

Yacimientos no convencionales: el Sistema Petrolero “convencional” consiste en una serie de elementos que se tienen que encontrar en una línea de tiempo. Estos elementos son: la roca madre, la roca reservorio, la roca sello, la columna de roca (que ejerce presión sobre el sistema), una trampa, los procesos (generación, migración y acumulación), y la preservación del hidrocarburo generado, migrado y acumulado en la roca reservorio. Si falta alguno de estos elementos tenemos que hablar de un Yacimiento No Convencional.

Material Radioactivo: material que contiene átomos inestables (radiactivos) que emiten radiación (ionizante) a medida que se desintegran.

Residuos: un residuo es todo elemento que está considerado como un desecho al cual hay que eliminar según los tipos de residuo.

Subsuelo: terreno que está debajo de la capa labrantía o laborable o, en general, debajo de una capa de tierra.

Contaminación: la contaminación es la presencia de elementos o sustancias que son nocivas para la salud humana o para la vida en general. Puede afectar al agua, la tierra, el aire u otros componentes del medio en el que viven seres humanos u otros organismos.

Protocolo: el protocolo, por tanto, son las instrucciones, o recomendaciones, que deben seguir aquellos asistentes que acudan a un evento formal.

NORM: se denominan Materiales Radiactivos de Origen Natural (NORM por sus siglas en inglés de Naturally Occurring Radioactive Materials) y Materiales Radiactivos de Origen Natural Tecnológicamente Mejorados (TENORM) a aquellos materiales radiactivos de procedencia natural sobre los que cualquier actividad tecnológica humana haya incrementado su potencial de exposición en comparación con la situación inalterada. Las concentraciones de los materiales pueden haberse incrementado o no.

Espectrometría: es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS TIPO CORTE DE PERFORACIÓN

El manejo de los cortes residuales industriales de perforación, inicia una vez el lodo sale del pozo y es dirigido al sistema de remoción primario de control de sólidos, compuesto por dos zarandas primarias y tres secundarias, estos equipos remueven los cortes más grandes que se encuentren en el lodo (mayores a 75 micrones), luego pasan al sistema de remoción secundario de control de sólidos, compuesto por desarenadores, desarcilladores y centrifugas; estos equipos se encargan de la remoción de las partículas más finas del lodo (menores a 75 micrones). Cada unidad descarga los sólidos a una línea que lleva los cortes retirados a un tanque de residuos llamado Catch Tank, en los tanques de residuos los cortes industriales de perforación son deshidratados por medio de una unidad de dewatering luego son secados y mezclados con cal para estabilizar el pH y poderlo disponer.

5.1 Equipos para retirar los recortes de perforación

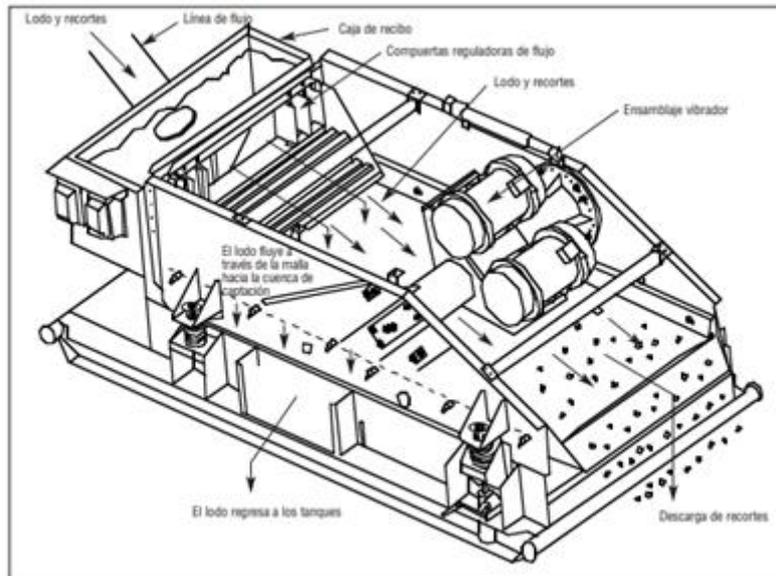
Para tener un control y manejo de los residuos sólidos se tienen tres (3) equipos principales durante el proceso, los cuales son:

5.1.1 Zarandas

Es el primer equipo para el control de sólidos, tiene un funcionamiento en el cual solo se permite separar por diferencia de tamaño, son mallas vibratorias separadoras usadas para eliminar los recortes del lodo, en el cual el tamaño más pequeño es de 74 micrones. Entre los factores que pueden afectar su eficiencia está la densidad del lodo, velocidad de perforación, velocidad de circulación y movimiento de la malla de perforación.(Bautista Puente, 2010), como primera etapa de la cadena de limpieza de lodo/remoción de sólidos, las zarandas constituyen la primera línea de defensa contra la acumulación de sólidos. Las zarandas se diferencian de los otros equipos de eliminación de sólidos en que producen un corte de prácticamente 100% (D100) al tamaño de abertura de la malla.

Figura 4.

Zaranda lineal ajustable.



Nota. la figura 4 muestra los componentes de la Zaranda lineal ajustable y su funcionamiento. Tomado de: Manual de Fluidos de Perforación- API. Instituto Americano del Petróleo. Dallas, Texas. <https://www.docsity.com/es/manual-de-fluidos-de-perforacion-api/5822768/>.

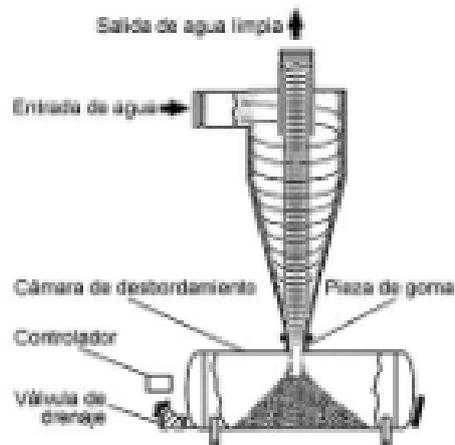
5.1.2 Hidrociclones

La principal función de este elemento es la separación de los materiales mediante la diferencia de densidad dando, así como resultado la separación de sólidos más pequeños que con la zaranda, la separación de estas partículas varía según el tamaño del como con el que cuente el equipo.

Los hidrociclones separan sólidos de acuerdo a su densidad, de la misma forma en que lo hacen los desarenadores y los desarcilladores. Los desarenadores de la son usados para separar partículas con tamaño de arena de 74 micrones ($74 \times 10^{-6} \text{ m}$) o más grandes. Tienen como función principal eliminar sólidos que puedan ocasionar taponamientos o mal desempeño a los siguientes equipos del proceso (Swaco).

Figura 5.

Hidrociclones



Nota. La figura expuesta, muestra los componentes de un hidrociclón, para su funcionamiento. Tomado de: Hidrociclón separador de arena. Traxco. <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/hidrociclón>

5.1.3 Centrífugas

Las centrífugas decantadoras separan los sólidos de la fase líquida que no han sido removidos ni por las zarandas ni por los hidrociclones. Es un recipiente de forma cónica o bowl que rota sobre su eje a diferentes velocidades entre 1200 y 4000 rpm. Un sinfín ubicado dentro del bowl, gira en la misma dirección del bowl, generando una velocidad diferencial respecto al mismo que oscila entre 18 y 90 rpm. Esta velocidad diferencial permite el transporte de los sólidos por las paredes del bowl, donde son decantados por acción de la fuerza centrífuga. También los sólidos de la fase líquida pueden ser separados con el uso de un tanque de sedimentación abierto, en el que el fluido lleno de sólidos entra por un extremo y sale por el otro. El tiempo de viaje desde el punto de entrada al de salida hace que los sólidos más grandes se sedimenten a una profundidad dada, gracias a la diferencia de densidad entre el sólido y el líquido, la fuerza de gravedad y como se había dicho anteriormente al tiempo transcurrido.

Figura 6.

Centrifuga Decantadora



Nota. Se muestra los componentes de una centrifuga decantadora utilizada en el proceso de remoción de sólidos. Tomado de: SWACO. Escuela básica de fluidos de perforación. Control de sólidos. s.f. p. 95. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/633/1/5131638-2016-2-GA.pdf>

5.2 Volumen de cortes generados

La cantidad de cortes que se generan dentro de cualquier pozo, puede ser medida en tiempo real tal como es expuesto en el trabajo de Hawker D., Vogt K., & Robinson A106, para lo cual simplemente se requiere de una bandeja situada en las zarandas que permita registrar el volumen de este tipo de desechos en un intervalo de tiempo, usualmente este parámetro se mide en Barriles/hora; cabe aclarar que este valor es considerado como el volumen real o actual de cortes producidos en un pozo, mientras que el calculado por medio de sus dimensiones es considerado como el volumen teórico de cortes (Infante, 2017).

$$\text{Volumen de cortes generados por sección} = \pi r^2 * h$$
$$\text{Volumen (BBLs)} = \frac{(\text{Diametro de la broca})^2}{1029.46} * \text{Longitud de la sección}$$

Uno de los factores que afecta el volumen de cortes generados durante una operación es la tasa de penetración de la broca o ROP; de tal forma que este parámetro variará para los diferentes pozos, así como para las diferentes secciones del mismo, el aumento en las ROP de una broca produce un aumento considerable en los residuos tipo corte de perforación cuyas unidades se encuentran dadas en Bbl/Hr.

6. DETERMINAR LA PRINCIPAL TÉCNICA USADA PARA MEDIR RADIONUCLEIDOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA GLOBAL

Cuando hay presencia de NORM por sus siglas en inglés “Naturally Occurring Radioactive Materials” en operaciones de producción de petróleo y gas, es necesario seguir un plan donde se monitoree y controle el riesgo de la presencia de estos con base a la normativa nacional vigente. Este tipo de elementos no pueden ser percibidos visualmente, por eso, se deben medir a través de ciclos de tiempos de medición y mantenimiento. Por lo anterior, se deben establecer y ejecutar planes de control con base al tipo de práctica; estos planes de control deben ser actualizados periódicamente. Las gestiones que involucren el control y tratamiento de los NORM, en muchas ocasiones requiere de un alto conocimiento técnico y autoridades reguladoras que permitan o no el plan estratégico que se va a ejecutar.

Ahora bien, cuando se presenta liberación de material radiactivo al medio ambiente, su detección debe realizarse con relación a los niveles de fondo. Para esto, se deben tener en cuenta los valores de referencia permitidos en el país y así como los parámetros establecidos para el tratamiento de estos, los cuales serán expuestos más adelante.

Específicamente, se introduce la espectrometría gamma como técnica de medición de los NORM en la industria de los hidrocarburos. La espectrometría de rayos gamma es la técnica analítica preferente para determinar las concentraciones de radionúclidos naturales y artificiales en muestras ambientales. Permite obtener una distribución energética de las radiaciones gamma emitidas por una muestra; adicionalmente, brinda información geoquímica para determinar los radioelementos como potasio, uranio y torio, los cuales están presentes en los terrenos naturales, de múltiples industrias

6.1 Monitoreo para NORM

Actualmente, en las instalaciones de producción y procesamiento de petróleo y gas, hay varios instrumentos aptos para la medición in situ de cualquier tipo de material radiactivo de origen natural. Para la medición de estos, se debe hacer un estudio

especializado, debido a que no existe un instrumento único para poder determinar los tipos de radiación presentes (α , β , γ) y las energías emitidas por sus partículas. Continuamente, se presentan algunos de los instrumentos utilizados para las respectivas mediciones:

- Medidores de tasa de dosis: mide el potencial de exposición externa. Se lee en $\mu\text{Sv/h}$ (o $\mu\text{Gy/h}$).
- Dosímetros: registra valores de exposición externa acumulada por un tiempo determinado. Se lee en μSv (o mSv)
- Medidores de contaminación superficial: mide la cantidad de material radiactivo presente en una superficie, se lee en recuentos por segundo (c/s o cps) o por minuto (c/min o cpm).
- Medidores de contaminación atmosférica y monitores de gas: miden (indirectamente) la concentración de partículas NORM o de radón en el aire; indica la posible exposición interna.

6.2 Espectrometría de rayos gamma

Como se mencionó anteriormente, la espectrometría de rayos gamma, es un registro que mide la radiactividad natural de las formaciones geológicas, siendo este, realmente útil para la detección de minerales como el Torio (Th), Potasio (K), Uranio (U), entre otros.

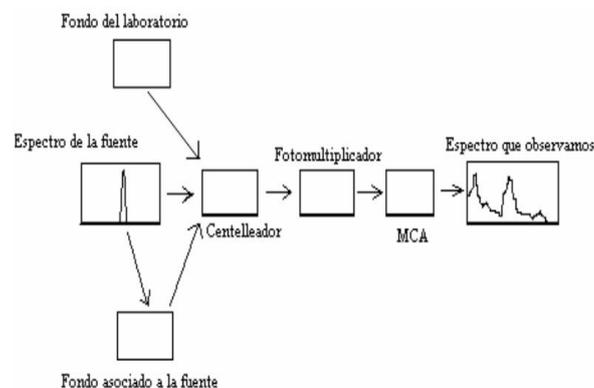
Los materiales radiactivos de origen natural, tienden a acumularse en las arcillas y lutitas, debido a los estratos y capas formados por el traslado de materiales naturales en las formaciones a estudiar. En el paso por las formaciones, los rayos gamma disminuyen su energía por colisiones; a ese fenómeno se le conoce como Efecto Compton, y son absorbidos por los átomos presentes en las formaciones liberando sus electrones, generando el Efecto Fotoeléctrico. El grado de absorción varía con la densidad de la formación de la cual se extrae la muestra; aquella que sea menos densa será la más radiactiva en el perfil expuesto por los rayos gamma (Falla)

Ahora bien, para su respectiva medición se hace uso de un centelleador inorgánico de NaI(Tl) acoplado ópticamente a un fotomultiplicador. El método consiste en la

radiación γ emitida por la fuente la cual es absorbida por el centelleador de NaI(Tl) que la transforma en radiación visible. La luz que es producida es detectada por el fotomultiplicador y da como respuesta impulsos eléctricos de corta duración y de amplitud proporcional a la energía del rayo γ incidente. Finalizado el proceso, un analizador multicanal obtiene el espectro de las amplitudes de estos impulsos que está directamente relacionado con el espectro de la energía depositada en el centelleador (Espectroscopía de Rayos γ con un centelleador de NaI(Tl)).

Figura 7.

Proceso de obtención rayos gamma



Nota. La figura muestra el diagrama del método experimental para la obtención del perfil de rayos gamma. Tomado de: Falla, Elias. Interpretación de registros de Pozos de Petróleo. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/falla_ve/cap3.pdf

6.2.1. El Centelleador

Para la obtención del espectro se utiliza un cristal de NaI(Tl), usualmente es aislante de gap 4 eV dopado con impurezas de Tl y con geometría cilíndrica. Esta configuración es la más usada debido a su alta eficiencia de detección y linealidad para un amplio rango de energías de fotones incidentes. La energía que hay en el rayo gamma se convierte en fotones dentro del rango visible a través de la interacción de los fotones con electrones dando origen a fonones y excitones emitiendo un fotón cuya longitud de onda es aproximadamente 410 nm.

6.2.2. El Fotomultiplicador

El fotomultiplicador permite detectar luz con alta sensibilidad. Está compuesto por un fotocátodo, el cual, por efecto fotoeléctrico, se produce un fotoelectrón que es acelerado hacia una serie de electrodos por el campo eléctrico creado, donde choca. En cada choque generado, por cada electrón incidente salen un gran número de electrones, así que en el último dínodo se tiene como resultado un impulso de corriente de 10^6 - 10^7 electrones que dura 1-2 μ s. Para la conversión de este pulso de corriente a voltaje, se hace pasar por un circuito RC que tiene una constante de tiempo específica, formando un impulso de voltaje cuya altura máxima es proporcional a la carga del pulso. Así, la respuesta total del fotomultiplicador se basa en un único impulso de voltaje de amplitud proporcional al número de fotones y a la energía depositada.

6.2.3. El Analizador Multicanal (MCA)

Este dispositivo es utilizado para obtener el espectro de amplitudes de los impulsos de energía. Para su funcionamiento, se hace uso del manual correspondiente a cada uno. Este dispositivo consta de una memoria interna con un número específico de canales en los cuales se va acumulando el número de impulsos con su respectiva amplitud; existiendo una relación entre la energía emitida y el número de canales obtenidos a partir del espectro.

6.3 Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos

Con el propósito de asegurar y controlar la calidad del muestreo y los análisis sobre las muestras que se realizan, para esto, se propone un procedimiento de muestreo en campo de la medida de la radiactividad en suelos que se expone a continuación.

6.3.1 Definición de objetivos

Se debe definir todos los niveles de fondo, incluyendo todas sus características físicas, químicas y anomalías, adicionalmente, se debe llevar un seguimiento de la evolución y contenido de materiales radiactivos de origen natural. El muestreo que se

realiza a partir de los objetivos establecidos debe ser de alta calidad para poder determinar de manera acertada los puntos críticos y su estudio exitoso.

Así mismo, como se expone en el Consejo de Seguridad Nuclear;

El muestreo no se puede realizar en condiciones controladas por establecerse fuera del laboratorio. No existe ni la estabilidad temporal a largo plazo ni tampoco la estabilidad espacial. El hecho de muestrear perturba el terreno, por lo tanto, nunca muestras posteriores podrán reproducir exactamente las mismas condiciones.

6.3.2 Definición de terminología

Una de los parámetros fundamentales para el buen desarrollo del muestreo, es la adecuada e uniforme terminología establecida a lo largo de proceso y desarrollo del procedimiento, en esto, se debe incluir las definiciones de área de estudio, zonas de muestreo, punto de muestreo, muestra, submuestras, entre otras, según lo requiera el procedimiento.

6.3.3 Elección del punto de muestreo

Entre todos los objetivos que se proponen en el procedimiento, aquél que impone las condiciones más restrictivas sobre las características del punto de muestreo es el de realizar un seguimiento temporal sistemático del contenido radiactivo en un determinado punto perteneciente a una zona geográfica (superficial, 2003).

6.3.4 Número de puntos

Con base a la zona de muestreo, se debe definir la cantidad de puntos a evaluar en el proceso de muestreo. La cantidad de puntos depende de los objetivos establecidos anteriormente, para lo cual se consideran pertinentes los siguientes criterios:

-Es necesario analizar las características del subsuelo para así, verificar las variaciones significativas del contenido de radionucleidos de un lugar a otro o si existen migraciones.

-En cuanto a los niveles de fondo, se establece una malla regular y se realiza el procedimiento un punto de cada celda de la malla.

-Para detectar una posible anomalía, se debe definir un programa de muestreo concreto en función de la anomalía que va a ser tratada, así, se tendrán en cuenta los caminos de deposición o impacto sobre el suelo. Para este caso, se debe manejar una densidad de puntos para obtener mayor influencia de la anomalía.

6.3.5 Características del punto

Es importante que los puntos seleccionados para el estudio cumplan con los requisitos establecidos entre ellos, aquellos que contribuyan a minimizar la variabilidad espacial y temporal en el contenido de materiales radiactivos.

Este parámetro puede variar con base a los objetivos, sin embargo, en este paso se incluyen:

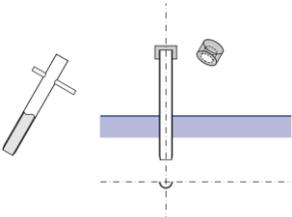
- Selección de punto en terreno despejado, alejado de árboles y edificaciones.
- El punto de muestreo debe tener una inclinación mínima y debe ser un punto drenado en su mayoría.
- No puede haber alteraciones humanas ni de animales en el punto seleccionado.
- Evitar terrenos pedregosos ni con vegetación asociada.

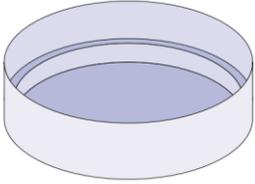
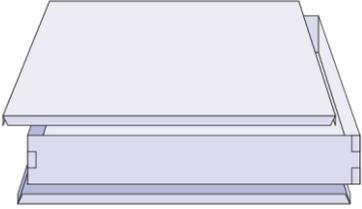
6.3.6 Instrumentos de muestreo

Actualmente, existe una amplia variedad de instrumentos, utilizados para estos procedimientos, los más comunes son el sacabocados, la plantilla, el anillo o la caja Kubiena; sin embargo, el uso de unos u otros está determinado por la profundidad de la muestra y de la superficie de esta.

Tabla 1.

Equipos para muestras.

Instrumento	Descripción
	<p>El sacabocados, es un cilindro metálico compuesto por un borde afilado interior y dos orificios enfrentados en su parte superior que genera un ángulo de inclinación en el punto señalado del terreno hasta la profundidad deseada.</p>

	<p>La plantilla es un equipo de acero de geometría cuadrada, con bordes afilados en uno de sus extremos que corresponden a la profundidad de la toma de la muestra. Esta herramienta se inclina en el punto seleccionado, alineando sus bordes y con la ayuda de una pala se extrae la muestra del terreno.</p>
	<p>El anillo, es similar a la configuración de “La Plantilla” a diferencia de que en este, se puede cerrar una de las superficies, es de geometría cilíndrica y su altura es equivalente a la profundidad deseada de muestreo.</p>
	<p>La caja Kubiena tiene un funcionamiento similar a las plantillas, sin embargo, esta permite dejar el suelo muestreado encerrado entre la superficie anterior.</p> <p>Su geometría es paralelepípedica, tiene una base y una tapa independientes del paralepípedo que cumplen como sistema de cierre y desmoldado.</p>

Nota. La tabla muestra de manera general algunas de las características de los equipos ya mencionados, características que pueden ser modificadas según las necesidades del muestreo.

Finalmente, se continúa con la extracción de la muestra y remisión al laboratorio e información anexa expuesta en el siguiente capítulo. En caso de detectar cantidades significativamente altas en los puntos seleccionados, también se debe medir en la capa netamente superficial para su respectivo análisis.

7. SELECCIONAR CANTIDADES, VOLÚMENES Y PARÁMETROS QUE DEFINEN EL SISTEMA DE MEDICIÓN DE ELEMENTOS RADIOACTIVOS EN LOS CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN

La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones estáticas, meteorológicas y geológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras. Para la toma de muestras que se llevarán a cabo, deben hacerse de manera apropiada, de tal forma que cumpla con los parámetros requeridos idóneos, para garantizar la óptima preservación y representatividad de las muestras.

Para la evaluación de la matriz roca, en el presente documento se analiza las diversas fuentes de material rocoso utilizando técnicas analíticas portátiles (espectrometría gamma portátil y XRF) y de laboratorio (espectrometría gamma, coregamma y técnicas complementarias)

7.1 Punto de muestreo

7.1.1 Perforación Vertical

Durante la perforación del pozo se dará inicio a la toma de las muestras de los recortes que se están obteniendo en ese momento para obtener al detalle las características del área que se está trabajando, para cuantificar y delimitar los valores de referencia tanto en espacio y tiempo. Las muestras se tomarán cada 300 ft.

7.1.2 Perforación Horizontal

Una vez realizada la perforación vertical y llegando a la zona de interés se preparan los fluidos de fracturamientos con las características requeridas para bombear al pozo y generar la fractura. En esta muestra se tiene como objetivo principal encontrar las concentraciones iniciales del área de interés (yacimiento) que será de distribución horizontal. Este muestreo, identificará y delimitará aquellas zonas, tanto en tiempo como espacio. Teniendo en cuenta los factores que influyen en ella, como son la liberación, migración y comportamiento del yacimiento.

Las muestras se realizarán cada 75 pies, teniendo en cuenta que las fracturas tienen intervalos aproximadamente entre 50 y 80 pies y éstas se convierten en el medio de comunicación entre la formación productiva y el pozo para que los hidrocarburos fluyan a través de este hasta la superficie (API, 2010) (API, 2011).

Posterior al proceso de fractura puede haber un aumento de la radiactividad dado que ocurren interacciones geoquímicas tanto en las formaciones como en las tuberías que facilitan la movilización de elementos tales como el radio, el uranio, el potasio y el plomo los cuales pueden llegar a la superficie en forma de solución en conjunto con el resto de compuestos asociados al proceso de estimulación hidráulica, o bien pueden cristalizar en las tuberías en forma de radiobarita.

Los puntos deben cumplir con unos requisitos específicos de desarrollo comunes a todos ellos y que además dichos requisitos contribuyan a minimizar la variabilidad espacial y temporal de su contenido radiactivo, entre estos se deben tener en cuenta aspectos como:

- **Identificación de la muestra** (Tipo, fecha, observaciones relevantes): con el fin de garantizar que ésta no ha sufrido alteraciones significativas desde su recolección
- **Criterios de aceptación:** deben ser claramente establecidos en cada laboratorio para la aceptación o rechazo de una muestra.

7.2 Tamaño y profundidad de muestreo

Esto conduciría a una superficie mínima muestreable de 1 m^2 .

El Subgrupo de Muestreo se ha decidido por 5 submuestras para componer una muestra, como solución intermedia entre los valores mínimos que proporciona la literatura especializada y lo que es la práctica habitual en nuestro país, consistente en extraer una única muestra de $50 \times 50 \text{ cm}^2$.

7.3 Instrumentos de muestreo

Ahora bien, para la toma directa de los recortes se hará en los contenedores de recepción y para los recortes mezclados con suelos en el sitio de acopio, para posteriormente hacer uso del instrumento más apto para su toma con base a su tamaño y composición.

Los instrumentos de utilización manual ha utilizar son los siguientes:

El sacabocado: Cilindro metálico de un diámetro adecuado (entre 5 y 10 centímetros en función del volumen requerido de muestra.

La plantilla: Se ha sido utilizar una plantilla de 50x50 cm; cualesquiera otras dimensiones que condujeran a la obtención del volumen de muestra deseado serían igualmente correctas), con bordes en uno de los extremos afilados y altura correspondiente a la profundidad de muestreo requerida, cinco centímetros, en el procedimiento descrito. Esta plantilla se hinca en la tierra en el punto requerido y se alinean correctamente los bordes con la superficie del terreno.

La elección del instrumento a usar, depende del usuario a la hora de muestrear dependiendo del tipo de suelos y el sistema organizativo de remisión de muestras; en suelos arenosos o pedregosos es recomendable el uso de la plantilla debido a que no hay pérdida de parte del suelo. Sin embargo, para definir una profundidad de muestreo el sistema de extracción del sacabocados presenta más exactitud y se obtienen muestras no perturbadas.

7.4 Técnica a utilizar

Para el análisis de laboratorio se utilizará la técnica de Espectrometría gamma, alfa, y/o beta.

- **Tratamiento de muestras y manejo de las cadenas de decaimiento radiactivo:**

- **Conservación de la muestra:** si la muestra de recortes se recibe no congelada, debe situarse simplemente en un lugar fresco, $T < 20^{\circ}\text{C}$, y fuera de la incidencia directa de la luz solar, en el caso de que su preparación se efectúe de forma prácticamente consecutiva a su recepción. Por su parte, debe mantenerse refrigerada, $T \approx +4^{\circ}\text{C}$, si el lapsus temporal entre ambas actuaciones se va a demorar hasta 48 horas. Por último, debe conservarse congelada, $T \approx -18^{\circ}\text{C}$, en el caso de que sea previsible una mayor tardanza en iniciar su preparación y deban efectuarse paralelamente a las determinaciones radiactivas.
- **Tiempo de referencia:** es el transcurrido entre el momento del muestreo y el inicio del análisis espectrométrico.
- **Ecuaciones de decaimiento radiactivo:** se realizan los cálculos matemáticos correspondientes para a partir del resultado de laboratorio determinar el Lineamientos técnicos para el procedimiento de muestreo y análisis de laboratorio de materiales radiactivos de origen natural en los PPII.
- **Mediciones analíticas:** Se recomienda realizar mediciones analíticas a tiempos de referencia diferente y cuidadosamente escogidos considerando siempre los esquemas de decaimiento en serie de las familias del uranio y el torio mediante la solución de las ecuaciones de Bateman.

- **Preparación para espectrometría gamma:**

Con el objetivo de tener datos de radiometría con los cuales comparar la radiactividad a medida que se desarrolla el proceso de estimulación. El proceso a seguir es el siguiente:

1. Desección de la muestra: efectuar de forma natural a la temperatura ambiente del laboratorio o en estufas de desecación, en las que se ha seleccionado una temperatura relativamente baja, $(40 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, para poder garantizar que no se produce la pérdida por evaporación de los radionucleidos que se desean detectar, de esta manera se obtiene el "Peso seco" de la muestra.
2. Molino de bolas: Con el objetivo de triturar la muestra y homogeneizarla.
3. Introducir una alícuota representativa de la muestra en alguno de los recipientes para el que se posea calibrado el espectrómetro gamma (cápsula petri, recipiente

Marinelli, etc.). Dicho recipiente es pesado antes y después de su llenado, para determinar la masa de sedimento a analizar, y sellado o cerrado herméticamente.

4. El envase, tras su llenado y sellado o cerrado hermético, es remitido al laboratorio de medidas con la siguiente información: masa de muestra, fecha de recogida, hora y fecha de sellado del envase y densidad aparente

- Preparación para la cuantificación de radionucleidos emisores alfa y/o beta

Para el proceso de separación y determinación de el Sr, Ra, U, Th, Po o Pu y los índices alfa y beta total, se deben someter las alícuotas de la muestra a un posible proceso de calcinación con base a su necesidad, esto dependiendo, el procedimiento radioquímico y tipo de elemento a analizar.

- Necesidad de calcinación

1. Pesar la alícuota con la muestra en una cápsula de porcelana con tapa.
2. Calcinar en un horno mufla la alícuota del sedimento, la temperatura del horno debe ser aumentada paulatinamente desde la temperatura ambiente hasta la de incineración por 12 horas.
3. Calcinar la alícuota durante 12-24 horas, para posteriormente, bajar la temperatura desde la incineración a la mínima de la mufla. Se debe dejar enfriar hasta llegar a la temperatura ambiente.
4. Una vez enfriada la alícuota se puede obtener la masa de la alícuota calcinada para así, trasladar la cápsula al laboratorio de radioquímica correspondiente; en este proceso se debe indicar fecha del proceso y peso obtenido.

- No hay necesidad de calcinación

1. Pesar en un recipiente donde irá ubicada la alícuota de sedimento, una vez pesada se introduce la alícuota a tratar en el laboratorio de radioquímica y se pesa.
2. Obtener el peso de la alícuota de sedimento envasada (PE) y trasladarla al laboratorio correspondiente, en este proceso se debe indicar fecha del proceso y peso obtenido.

8. PLANTEAR EL PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE ELEMENTOS RADIOACTIVOS DE LOS CORTES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN

Figura 8.

Procedimiento para la medición de elementos radiactivos de los cortes industriales de perforación

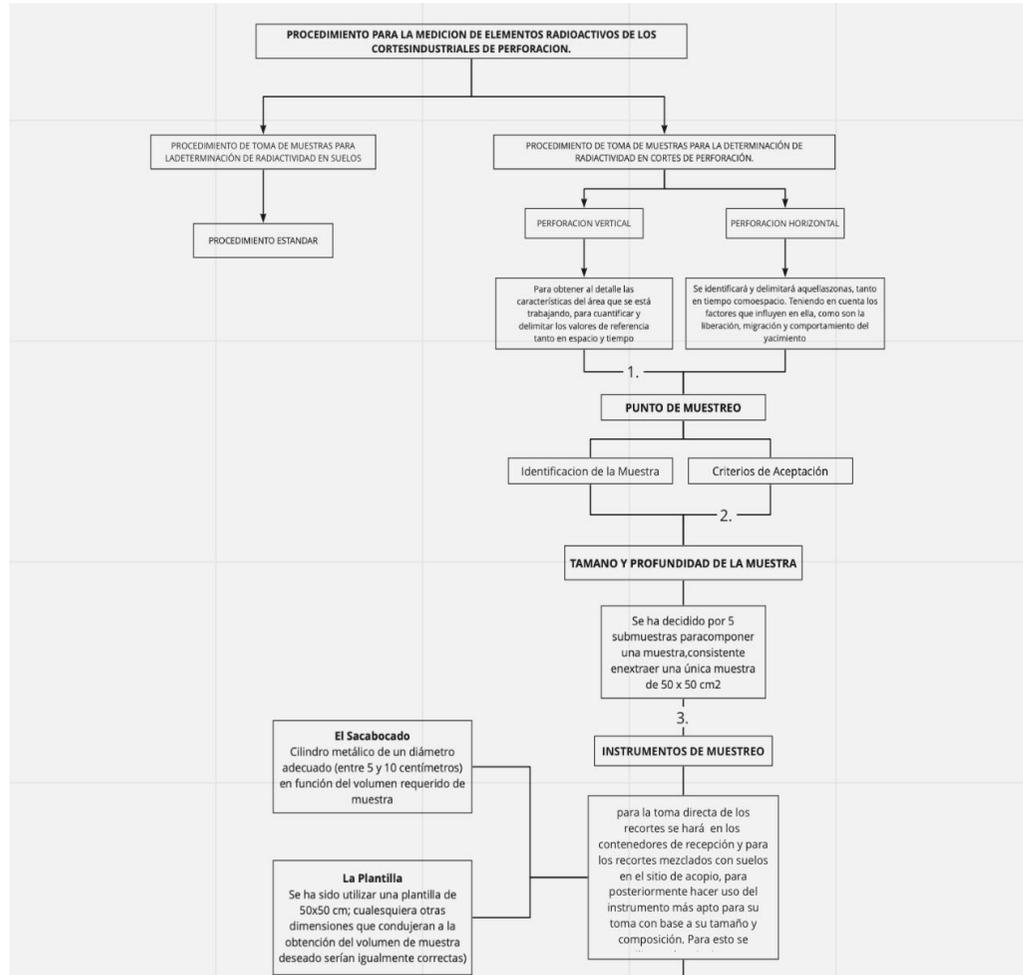
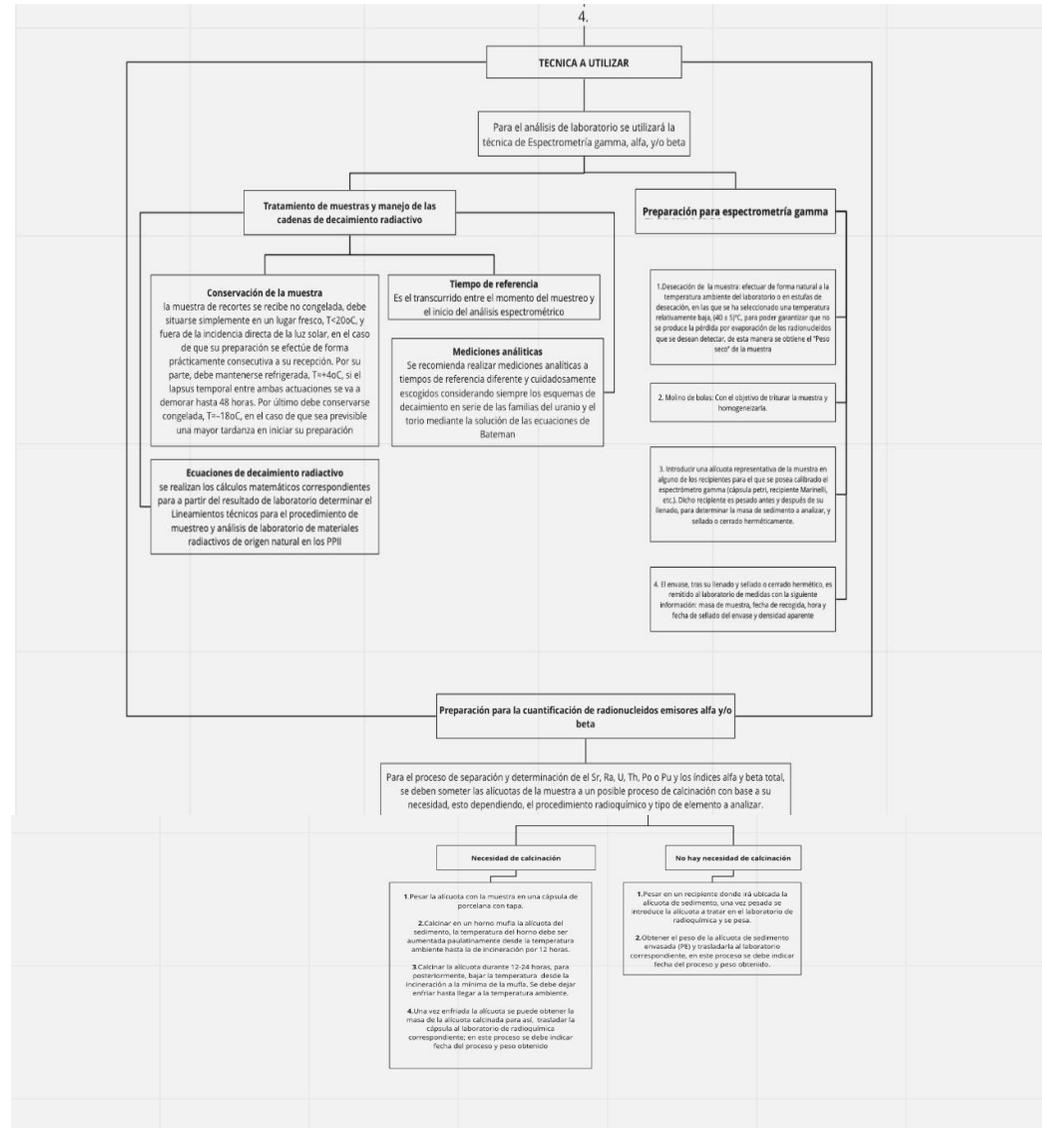


Figura 8. continuación



9. CONCLUSIONES

Se logró identificar a través de los conceptos técnicos, los parámetros esenciales a tener en cuenta a la hora de realizar la medición de elementos radioactivos que se originan en la técnica de fracturación hidráulica multietapa con perforación horizontal - FH-PH, , donde se establecen lineamientos técnicos en cuanto a condiciones de la muestra, instrumentos de muestreo, preparación para la espectrometría y demás aspectos fundamentales de desarrollo.

Se establecieron los criterios de vigilancia radiológica para el monitoreo de los radionucleidos de origen natural teniendo en cuenta los lineamientos técnicos para el muestreo y análisis de laboratorio suministrados por el SGC y los cometidos previstos en el Decreto 328 de 2020 para los Proyectos Piloto de Investigación Integral – PPII.

Se expusieron las diferentes actividades con relación a la campaña de muestreo, las metodologías de muestreo, la caracterización radiométrica pre-operacional, el monitoreo de las condiciones radiométricas en la zona de desarrollo del proyecto y la fase analítica en laboratorio

Se propone como alternativa y continuidad del proyecto, ampliación de criterios en términos de referencia para elaboración de estudios de impacto ambiental de proyectos piloto de Yacimientos NO convencionales a Yacimientos Convencionales; teniendo en cuenta que la posible ocurrencia y manifestación de fuentes naturales de radiación ionizante (FNRI) existentes en el subsuelo, deben medirse en su probable detección asociada a los muestreos que se obtengan en la superficie como resultado de la perforación de los pozos en el subsuelo, los cuales para este caso específico se acotan únicamente a los denominados pozos horizontales para fracturar hidráulicamente (PH FH) con ocasión de los proyectos piloto de investigación integral (PPII) y debe ser integrado para cualquier tipo de proyecto de explotación de hidrocarburos.

BIBLIOGRAFÍA

- Castañeda, H. (2017). Innovación y Desarrollo en el Tratamiento y Disposición de Cortes de Perforación. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7122/1/638669-2017-II-GA.pdf>
- Díaz, S. E. (2014). *Riesgos asociados a la radioactividad natural en los proyectos de extracción de gas no convencional*. Disponible en: https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2020/12/AC_shale-report-spanish-v11.pdf
- ECOPETROL S.A. Bogotá. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/951/1/6121840-2017-1-IQ-IP.pdf>
- Espectroscopía de Rayos γ y con un centelleador de NaI(Tl). (s.f.). Obtenido de <http://nuclear.fis.ucm.es/LABORATORIO/guiones03/Gamma.pdf> superficial, P. d. (2003). Obtenido de CSN: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Procedimiento+1.1>
- Falla, E. (s.f.). Interpretación de Registros de Pozos de Petróleo. Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/falla_ve/cap3.pdf
- López, B & Iturbe, J. I Radiactividad natural y artificial en nuestro entorno. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_2/radiactividad_nuclear.pdf
- Manual de Fluidos de Perforación- API. Instituto Americano del Petróleo. Dallas, Texas. <https://www.doccity.com/es/manual-de-fluidos-de-perforacion-api/5822768/>
- Naharro, J., Hurtado, A., Eguillor, S. and Recreo, F., (2015). Riesgos Asociados a los Proyectos de Extracción de Gas no Convencional. Sismicidad Inducida, NORM y Riesgos Ecológicos. [online] Inis.iaea.org. Available at: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/48/094/48094488.pdf
- Olaya, H., Mosos, F., Quintero, R., Galvis, J., Vela, G., Porras, A., Carvajal, A., Sierra, O., Velásquez, A., Parrado, G. (2020). Lineamientos Técnicos para el Procedimiento de muestreo y Análisis de Laboratorio de Materiales Radiactivos de Origen Natural en los PPII. [online] Disponible en: https://www2.sgc.gov.co/Noticias/tpaginas/Lineamientos-PPII/Version_3_LineamientosTecnicos_SGC_Enero_27_2021.pdf
- Padilla, J. D. (Diciembre de 2020). *El Potencial de los Yacimientos No Convencionales en Colombia*. Disponible en:

<http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711344.pdf>

Producers, I. A. (2016). Managing Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in the oil and gas industry.

Resolución 18-1434 de 2002. (2004). In M. d. Energía. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23931303/RES181475_2004.pdf/54d5a011-b7f3-44ae-81a1-9c1665ce1142

Resolución 40185. (2020). In M. d. Energía, *Resolución 40185*. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/48604-Res_40185_Reglamento+Te%CC%81cnico+PPI+%281%29.pdf

Sergio A. Vardaro, J. A. (s.f.). Obtenido de Recortes de perforación de la industria petrolera generados en el Oeste de Argentina: caracterización y alternativas de tratamiento: <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Recortes%20Perforados%20Industria%20Petrolera%20Generados%20Oeste%20Argentina.pdf>

Swaco. (s.f.). Escuela básica de fluidos de perforación. Control de sólidos. Obtenido de Escuela básica de fluidos de perforación. Control de sólidos.

INFANTE, H. E. (2017). Obtenido de INNOVACIÓN Y DESARROLLO EN EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE CORTES DE PERFORACION: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7122/1/638669-2017-II-GA.pdf>

Vega, X. V., & Moreno, S. D. (2017). Planteamiento de una alternativa para la puesta en marcha de un sistema que permita la separación y disposición final de los cortes industriales de perforación, en el Campo Castilla de Ecopetrol S.A: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/951/1/6121840-2017-1-IQ-IP.pdf>