

**EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE UN MODELO DE INGENIERÍA
CONCEPTUAL BASADO EN EL AGUA DE PRODUCCIÓN EXCEDENTE DEL
CAMPO TISQUIRAMA PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL CAMPO
VMM3**

**CHRISTIAN DAVID IBAGUÉ ACOSTA
WILLIAM ROJAS SILVA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2019**

**EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE UN MODELO DE INGENIERÍA
CONCEPTUAL BASADO EN EL AGUA DE PRODUCCIÓN EXCEDENTE DEL
CAMPO TISQUIRAMA PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL CAMPO
VMM3**

**CHRISTIAN DAVID IBAGUÉ ACOSTA
WILLIAM ROJAS SILVA**

**Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**Director
Benjamín Alexis Garavito Linares
Ingeniero de petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2019**

Nota de aceptación:

Ingeniero Edison Enrique
Jiménez Bracho

Ingeniera Angie Tatiana
Ortega Ramírez

Bogotá D.C., mayo de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR CIFUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRIGUEZ ESPARZA

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. Éstos corresponden únicamente al autor

Dedicado al infortunio y a la determinación, por guiar mis pasos hasta este momento.

A mis padres por ser bastión firme que soporta el peso de mis azares.

A mi compañero por recorrer este camino en medio de los desafíos.

Christian.

Dedico este logro a Dios por permitirme cumplir este objetivo, brindándome salud y conocimiento.

A mis padres Argemiro Rojas y Neyda Silva, por su amor, dedicación, apoyo y ejemplo necesarios para mi formación como profesional y persona, todo se los debo a ustedes.

A mi hermano Alex por ser una motivación y guía para llevar a cabo mis objetivos.

A Natalia Sánchez por acompañarme y aportarme en diferentes aspectos positivos juntando su amor con su fuerza incondicional.

A mi compañero Christian Ibagué, por su dedicación y esfuerzo para llevar a cabo este proyecto.

William.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a ACIPET por proporcionar y permitir el desarrollo de este trabajo de grado.

Al ingeniero Benjamín Garavito por confiar en nosotros y contribuir a la realización de este trabajo.

A la Fundación Universidad de América y al cuerpo docente, por brindar el conocimiento necesario para el desarrollo y culminación de este proyecto.

De igual forma deseamos agradecer al Ingeniero Alex Cuadrado, por brindar información clave para el desarrollo de este proyecto.

También queremos agradecer a los integrantes del comité de trabajos de grado, por brindar su guía y consejo en la elaboración y finalización de este proyecto de grado.

A nuestras familias por acompañarlos en todo nuestro proceso de formación.

Agradecemos a todas aquellas personas que estuvieron presentes en este proceso de aprendizaje.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	21
1. GENERALIDADES DE LOS CAMPOS TISQUIRAMA Y VMM3	22
1.1 HISTORIA DE LOS CAMPOS TISQUIRAMA Y VMM3	22
1.2 LOCALIZACIÓN CAMPO TISQUIRAMA Y VMM3	23
1.3 MARCO GEOLÓGICO	25
1.3.1 Columna estratigráfica	25
1.3.2 Estratigrafía	27
1.3.2.1 Grupo Girón	27
1.3.2.2 Formación Los Santos	27
1.3.2.3 Formación Cumbre	27
1.3.2.4 Formación Rosa Blanca	28
1.3.2.5 Formación Paja	28
1.3.2.6 Formación Tablazo	28
1.3.2.7 Formación Simití	28
1.3.2.8 Formación La Luna	29
1.3.2.9 Formación Umir	29
1.3.2.10 Formación Lisama	29
1.3.2.11 Formación La Paz	29
1.3.2.12 Formación Esmeraldas	30
1.3.2.13 Formación Mugrosa	30
1.3.2.14 Formación Colorado	30
1.3.2.15 La Cira Shale	30
1.3.2.16 Grupo Real	31
1.3.2.17 Formación Mesa	31
1.3.3 Geología estructural	31
1.3.3.1 Falla La Salina	31
1.3.3.2 La Falla de Bucaramanga	31
1.3.3.3 La Falla La Palestina	32
1.3.3.4 Complejo de fallas de Cimitarra	32
1.3.4 Geología del petróleo	32
1.3.4.1 Roca generadora	32
1.3.4.2 Migración	32
1.3.4.3 Reservorio	32
1.3.4.4 Sellos	32
1.3.4.5 Trampas	33

1.4 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN	33
1.4.1 Método de producción	33
2. PROPIEDADES DEL AGUA DEL CAMPO VMM3	35
2.1 TIPOS DE FLUIDO PARA FRACTURACIÓN PARA HIDRÁULICA	35
2.1.1 Slickwater fracturing	35
2.1.2 Linear gel	35
2.1.3 Fluido Crosslinked gel	36
2.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO	38
2.2.1 Parámetros de Halliburton	38
2.2.2 Parámetros óptimos utilizados por Weatherford	39
2.3 VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL CAMPO VMM3	40
2.3.1 Volumen de referencia en base al volumen utilizado en pozos en la formación Vaca Muerta en Argentina	40
3. MODELO DE INGENIERÍA DE CONOCO-PHILLIPS PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL CAMPO VMM3	43
3.1 ADQUISICIÓN	43
3.2 TRANSPORTE	44
3.2.1 Tipos de camión cisterna	45
3.2.1.1 Camión cisterna para suministro de líquidos	45
3.3 ACCESO AL CAMPO VMM3	46
3.4 DISPOSICIÓN FINAL	50
3.4.1 Factores geológicos	51
3.4.2 Requerimientos de construcción	51
3.4.2.1 Sistema de inyección	51
3.4.3 Pruebas iniciales	52
3.4.4 Costo de perforación	52
3.5 ESQUEMA BÁSICO DEL MODELO	56
4. PROPIEDADES DEL AGUA EN EL CAMPO TISQUIRAMA	58
4.1 ANÁLISIS DEL SUELO	58
4.1.1 Línea base del suelo	58
4.1.2 Línea base del agua subterránea	59
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	59
4.2.1 Agua del Campo Tisquirama-San Roque	62

4.2.2 Comparación del agua de producción del Campo Tisquirama con el agua requerida para la estimulación hidráulica en roca generadora	64
4.3 CANTIDAD DE AGUA DISPUESTA	65
5. MODELO PROPUESTO POR LOS AUTORES	67
5.1 ADQUISICIÓN	67
5.2 TRANSPORTE	68
5.2.1 Diseño de la línea de flujo	68
5.2.1.1 Trazado de la línea de flujo	68
5.2.1.2 Perfil topográfico	72
5.2.1.3 Metodología del diseño del modelo	74
5.2.1.4 Selección de la bomba	79
5.3 DISPOSICIÓN DEL AGUA	81
6. SELECCIÓN DEL MODELO	85
6.1 TIPO DE MATRIZ	85
6.1.1 Matriz de selección	85
6.2 ESTÁNDARES DE CALIFICACIÓN	86
6.3 MATRIZ COSTO-TIEMPO	87
6.4 MATRIZ SOCIOAMBIENTAL	89
6.4.1 Afectación De Territorios Conservados	91
6.4.2 Almacenamiento Subterráneo Limitado	91
6.4.3 Aumento De Trafico	91
6.4.4 Construcción Y Adecuación/Mantenimiento De Carreteras	91
6.4.5 Contaminación Del Aire	92
6.4.6 Contaminación De Acuíferos	94
6.4.7 Licencia Social	95
6.4.8 Generación de Empleo	95
6.4.9 Participación Directa De Las Comunidades	96
6.4.10 Reutilización Del Agua	96
6.4.11 Seguridad vial	98
6.4.12 Ruido	99
6.4.13 Periodos de sequía	100
6.5 RESULTADO DE LAS MATRICES	101
7. EVALUACIÓN FINANCIERA	102
7.1 INVERSIÓN MODELO DE CONOCO-PHILLIPS	103
7.2 INVERSIÓN MODELO PROPUESTO	105

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	106
8. CONCLUSIONES	108
9. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS	115

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resumen de pozos San Roque	34
Tabla 2. Análisis cualitativo de los fluidos de fracturamiento hidráulico	37
Tabla 3. Parámetros óptimos utilizados por Halliburton	38
Tabla 4. Casos reales de fluidos de fracturamiento realizados por Halliburton	39
Tabla 5. Parámetros óptimos empleados por Weatherford	39
Tabla 6. Casos tratados en la investigación	43
Tabla 7. Tiempo total adquisición del agua Acueducto San Martín	44
Tabla 8. Cotización del transporte de agua al Campo VMM3	48
Tabla 9. Costo total del transporte por camión cisterna	49
Tabla 10. Número de días para transportar el agua	50
Tabla 11. Completamiento del pozo disposal	55
Tabla 12. Tiempo de disposición final	56
Tabla 13. Propiedades del agua de vertimiento en sector de hidrocarburos	60
Tabla 14. Propiedades del agua en el Campo Tisquirama	63
Tabla 15. Comparación de parámetros	64
Tabla 16. Permisos otorgados para vertimiento	65
Tabla 17. Permiso de vertimiento disposal en el Campo Tisquirama	66
Tabla 18. Tiempo aproximado de captación del agua	68
Tabla 19. Intersecciones de vías y ríos con la línea de flujo	69
Tabla 20. Precio de tubería API 5L X42	80
Tabla 21. Longitud de la perforación por tipo de cruce	81
Tabla 22. Tiempo de disposición final	84
Tabla 23. Peso de las fases empleadas en el modelo	86
Tabla 24. Rangos para la valoración del costo en la matriz	87
Tabla 25. Rangos para la valoración del tiempo en la matriz	87
Tabla 26. Matriz del modelo de Conoco-Phillips	88
Tabla 27. Resultado Matriz de Conoco-Phillips	89
Tabla 28. Matriz modelo propuesto por los autores	89
Tabla 29. Matriz Socioambiental	90
Tabla 30. Estado parque automotor en Colombia	93
Tabla 31. Emisiones del parque automotor colombiano	93
Tabla 32. Norma colombiana emisiones permitidas para camiones	94
Tabla 33. Demanda de agua por sector económico en Colombia	97
Tabla 34. Demanda de agua requerida por el sector de hidrocarburos por cuenca productora	97
Tabla 35. Estadística nacional de siniestros vehiculares	98
Tabla 36. Matriz de selección	101
Tabla 37. Inversión total de Conoco-Phillips	103
Tabla 38. Inversión del modelo propuesto	105
Tabla 39. Comparación de las Anualidades	107

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de los Campos VMM3 y Tisquirama-San Roque	24
Figura 2. Columna generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena	26
Figura 3. Producción acumulada de fluidos desde el año 2013 hasta el año 2018	33
Figura 4. Volumen de agua utilizado por líquido de fracturamiento	42
Figura 5. Comparativo Camión ad-hoc vs. Camión Cisterna	45
Figura 6. Partes del Camión cisterna	46
Figura 7. Ruta que emplean los camiones cisterna a las facilidades	47
Figura 8. Pozo disposal en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena	54
Figura 9. Esquema básico del modelo de Conoco-Phillips	57
Figura 10. Trayectoria trazada para la línea de flujo	69
Figura 11. Esquema de cruce de una ferrovía	70
Figura 12. Esquema del relleno para cruces de vías secundarias	71
Figura 13. Esquema del cruce de un cuerpo de agua menor (vista de planta)	72
Figura 14. Esquema del cruce de un cuerpo de agua menor (vista de perfil)	72
Figura 15. Mapa topográfico	73
Figura 16. Perfil topográfico	73
Figura 17. Diagrama de la rugosidad de acuerdo con el material	75
Figura 18. Diagrama de Moody	76
Figura 19. Rango de operación de la bomba AHLSTAR A Range Type A	79
Figura 20. Rango operativo de la bomba HPH de Sulzer	83
Figura 21. Resultado Matriz del modelo de Conoco-Phillips	88
Figura 22. Víctimas según el área del hecho.	99
Figura 23. Diagrama de flujo de caja	104
Figura 24. Diagrama flujo de caja	106

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Compuestos químicos utilizados en los fluidos de fracturamiento hidráulico	116
Anexo B. Porcentaje de pendiente del perfil topográfico	118
Anexo C. Presión soportada por la tubería	119
Anexo D. Precio por metro de las perforaciones PHD	122
Anexo E. Diagrama de Moody para la disposición final	129
Anexo F. Normas de emisión de gases nocivos de vehículos según su motor	130

GLOSARIO

AMBIENTE DE DEPOSITACION TRANSGRESIVO: este ambiente es reconocido por la sucesión de estratos de ambientes marinos adyacentes, separados de forma drástica por estratos marinos profundos.

AMBIENTE SEDIMENTARIO ALUVIAL: se refiere a todos los ambientes de deposición que son regidos por corrientes de agua.

AMBIENTE SEDIMENTARIO DE ABANICOS ALUVIALES: se originan cuando corrientes de agua que viajan a gran velocidad atraviesan de forma abrupta una región llana, al suceder esto el terreno adquiere una forma cónica que le da el nombre a este tipo de ambiente.

AMBIENTE SEDIMENTARIO NERÍTICO: describe el ambiente de deposición existente entre la zona marina de donde la marea es baja y la plataforma continental (profundidad hasta de 200m).

ANLA: la autoridad Nacional de Licencias Ambientales, es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normatividad ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible del país.

API°: son los grados mediante los cuales, un crudo se clasifica en pesado, mediano o liviano, esta propiedad está ligada de la viscosidad.

ARENISCA: es una roca sedimentaria compuesta por cuarzo y sílice, junto con otros minerales que pueden variar, dependiendo de estos minerales la arenisca tomará un color u otro, el tamaño del clasto es del tamaño de la arena.

BIOMICRITA: caliza compuesta por granos esqueléticos y matriz micrítica.

CALCÁREO: se refiere a las rocas que presentan como elementos esenciales carbonatos de calcio y magnesio.

CAMPO: zona con abundancia de pozos de los que se extrae hidrocarburos del subsuelo.

CONFORMIDAD: representa un periodo de deposición ininterrumpido.

CONGLOMERADO: gravas litificadas que son constituidas por clastos redondeados con un tamaño mayor a los 2mm.

CUARZO: es un mineral compuesto por sílice, su cristalización es columnar o piramidal.

FALLA SINISTRAL: se refiere a las fallas de rumbo o fallas de cizalla, en la que el bloque móvil se mueve hacia la derecha o izquierda, si es hacia la derecha se le llama dextral y en caso contrario sinistral.

FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS: se diferencian de los foraminíferos plantónicos en que se desarrollan en ambientes anaerobios.

FORAMINÍFEROS PLANTÓNICOS: son microorganismos marinos los cuales se componen de ectoplasma y endoplasma, los foraminíferos plantónicos son aerobios ya que se encuentran en la superficie de los océanos.

INCONFORMIDAD: se refiere a una superficie geológica que separa estratos sedimentarios de las rocas ígneas o metamórficas erosionadas, representa un vacío temporal en la columna estratigráfica.

LIMOLITA: se refiere a un grupo de rocas clásticas, procede de la cementación y compactación de clastos que están entre el tamaño de las arcillas y las areniscas, son de composición variada aunque normalmente contienen óxido de hierro, calcita y feldespatos.

MIGRACIÓN: es el movimiento del petróleo o el aceite en un medio poroso, en el interior de la corteza terrestre.

OLEODUCTO: tubería para la conducción de petróleo desde el lugar de producción al de embarque o desde el lugar de descarga al de refinado.

PARACONFORMIDAD: es un tipo de discordancia o incoformidad la cual los estratos en contacto están depositados en paralelo.

ROCA GENERADORA: se refiere a rocas con alto contenido de materia orgánica, que bajo ciertas condiciones de presión y temperatura producen petróleo y/o gas.

ABREVIATURAS

°C: grados Celcius
ACIPET: asociación de Ingenieros de Petróleo.
ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos
ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
APCES E.S.P: Administradora Publica Cooperativa Empresa Solidaria E.S.P
bbbl: barriles
CEG: Columna Estratigráfica General
cm: centímetro
CMHEC: Hidroxietil celulosa
COP: Pesos Colombianos
cp: Centipoise
DBO₅: Demanda Biologica de Oxigeno
DQO: Demando Quimica de Oxigeno
ft: pies
HPG: Hidroxipropil guar
in: Pulgadas
km: Kilometros
L: Litro
lb: Libras
m: Metros
m³: Metros Cubicos
MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
mD: Milidarcy
NTU: Unidad Nefelométrica de Turbidez
ppm: Partes Por Millon
psi: Libras Por Pulgada al Cuadrado
s: Segundos
TIO: Tasa interna de oportunidad
TIR: Tasa interna de retorno.
TOC: Total Organic Carbon
TVD: True Vertical Depth
US\$: Dólares Estadounidenses
VMM: Valle Medio del Magdalena.
VPN: Valor Presente Neto.

RESUMEN

El presente trabajo de grado es realizado con el fin de brindar una alternativa al proceso de adquisición, transporte y disposición final del agua. Para ello se plantea el esquema básico mediante el cual la empresa Conoco-Phillips en el informe presentado a la ANLA, planea obtener el agua con el cual realizará estimulación hidráulica en roca generadora. Por otra parte ACIPET y los autores plantean un modelo diferente en el cual se plantean las fases del proyecto anteriormente mencionadas.

Para ello, el modelo propuesto por los autores propone la utilización del agua de producción del Campo Tisquirma-San Roque, la cual es vertida a cuerpos de agua superficiales o a almacenes subterráneos por medio de pozos disposal, es importante resaltar que los volúmenes requeridos para la estimulación hidráulica varían según el plan de desarrollo de Conoco-Phillips de 81,000 bbl hasta 176,000 bbl. De manera que al reemplazar la fuente de adquisición se mitiga el impacto ambiental que tiene el proyecto en la fase de obtención del recurso hídrico, por otra parte también plantea transportar el volumen requerido de agua por medio de una línea de flujo que transporte el agua de un campo a otro y por último pretende evitar la perforación de un pozo disposal en la zona por medio del uso de pozos ya perforados que desempeñan la misma función. A diferencia del modelo que plantea Conoco-Phillips que planea transportar en primera instancia el agua desde el acueducto de San Martín hasta el Campo VMM3 por medio de carrotanques. Por último se analizan los costos per medio del indicador valor presente neto (VPN).

Palabras clave: Reutilización agua, *flowback*, modelo manejo agua, Valle Medio Magdalena.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo existe una creciente demanda energética debido a fenómenos demográficos que apuntan al crecimiento poblacional, lo cual conlleva a que múltiples industrias y sectores de la economía acrecienten su necesidad sobre ésta. Una de las principales fuentes de energía es el petróleo, dicho combustible rige el potencial económico del mundo, por ello la forma de extracción ha evolucionado, pasando por la utilización de fuentes que aporten energía a los yacimientos hasta modificar la permeabilidad de los éstos. Al mencionar la modificación de la permeabilidad, nos referimos a reducir en daño de formación de estos, dicha reducción se logra por medio de la creación de fracturas que interconectan los poros de la roca. Esta técnica es llamada fracturamiento hidráulico, esta técnica ha sido empleada en yacimientos en roca reservorio y en los últimos tiempos se empezó a realizar en Yacimientos en Roca Generadora, estas rocas tienen poca permeabilidad y por tanto el flujo del hidrocarburo en ellas depende básicamente del tamaño y cantidad de fracturas que puedan crearse, dichas fracturas se crean ejerciendo presión por medio de un fluido de fractura.

Los principales fluidos de fractura utilizados en el mundo son a base de agua, el cual es un recurso fundamental para el desarrollo de la humanidad, la técnica de fracturamiento hidráulico tiene una demanda alta en agua, en zonas donde se ha aplicado el fracturamiento hidráulico ha sido incluso superior a 120,000 bbl de agua, por tanto, el presente proyecto pretende demostrar la factibilidad del uso de fuentes alternas de agua diferentes al agua fresca, para ello se plantea utilizar el agua de producción asociada a la explotación de hidrocarburos, con el fin de mitigar y de ser posible eliminar el suministro de agua fresca para la realización del fracturamiento hidráulico en roca generadora.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnico-financieramente un modelo de ingeniería conceptual basado en el agua de producción excedente del Campo Tisquirama de Ecopetrol para la estimulación hidráulica en roca generadora en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las generalidades de los campos VMM3 y Tisquirama.
2. Identificar las características fisicoquímicas requeridas en el agua para el proceso de estimulación hidráulica en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips.
3. Describir el modelo de ingeniería de Conoco-Phillips actual para la estimulación hidráulica.
4. Identificar las características fisicoquímicas del agua de formación excedente del campo Tisquirama de Ecopetrol.
5. Realizar el modelo de ingeniería conceptual propuesto por los investigadores.
6. Realizar una matriz de selección con los factores socioambientales y económicos de los modelos tratados.
7. Evaluar la viabilidad financiera de los dos modelos tratados utilizando como indicador el valor presente neto.

1. GENERALIDADES DE LOS CAMPOS TISQUIRAMA Y VMM3

El siguiente capítulo abordará los aspectos referidos a la localización geográfica, geología regional, geología del petróleo, antecedente e historial de producción de los Campos Valle Medio del Magdalena 3 (VMM3) y Tisquirama. Ambos pertenecientes a la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

1.1 HISTORIA DE LOS CAMPOS TISQUIRAMA Y VMM3

El Campo Tisquirama comprende un área de 14896.3 hectáreas, este Campo ha sido operado por varias compañías, la primera en operarlo fue la empresa Granada Oil Company en el año 1952, la cual figuró como contratista, la empresa contratante es Ecopetrol (antes de 2004 celebraba contratos). En esta fecha se realizaron los primeros estudios por parte de dicha compañía, éstos identificaron la zona prospectiva en la antigua Concesión Tisquirama. En 1954 la compañía International Petroleum Company realizó el programa sísmico, este programa dio paso a la perforación del Pozo Román-1, en la siguiente campaña se perforaron los Pozos Caimán-1 y Caimán-2, el Pozo Caimán 1 se encuentra a una profundidad de 12004 pies. En el año 1958 la empresa Texas Petroleum Company adquirió los terrenos donde se realizó la campaña de explotación, cuatro años más tarde se firma el acuerdo de concesión con dicha compañía, en el año 1983 cede sus derechos sobre el Campo a la empresa Petróleos del Norte S.A. Compañía que ejerció como operadora hasta el año 1998, año en el cual la concesión revierte a la nación. En la actualidad (año 2018) el Campo Tisquirama-San Roque hace parte de la Superintendencia de Mares de ECOPETROL S.A., siendo parte del activo Provincia junto con los Campos de producción Provincia y Bonanza.

El Campo VMM3 abarca una extensión de 33.000 hectáreas, el primer operador de este Campo fue la compañía Royal Dutch Shell, la cual realizó la perforación del único pozo presente, el 2 de diciembre de 2015 la empresa Royal Dutch Shell cedió sus derechos sobre el Campo VMM3 a la compañía Conoco-Phillips, dicho contrato fue celebrado entre la ANH y Conoco-Phillips, el contrato consta de dos fases. La etapa exploratoria está dividida en dos, la primera consiste en el desarrollo de pruebas de producción para el pozo Pico y Plata 1, en la segunda Conoco-Phillips deberá desarrollar el tramo desviado del dicho Pozo y realizar los estudios para determinar la explotación en roca generadora. El Pozo Pico y Plata 1 es el único pozo perforado en el Campo, éste es vertical y alcanza una profundidad de 16.406 (TVD), se encuentra actualmente inactivo debido a que la actividad del Campo se enfoca en la explotación del yacimiento en roca generadora (Formación La Luna). En la actualidad (año 2019) la licencia requerida para iniciar labores de explotación no ha sido aprobada. Por tanto, la segunda fase (explotación) no está en ejecución.

1.2 LOCALIZACIÓN CAMPO TISQUIRAMA Y VMM3

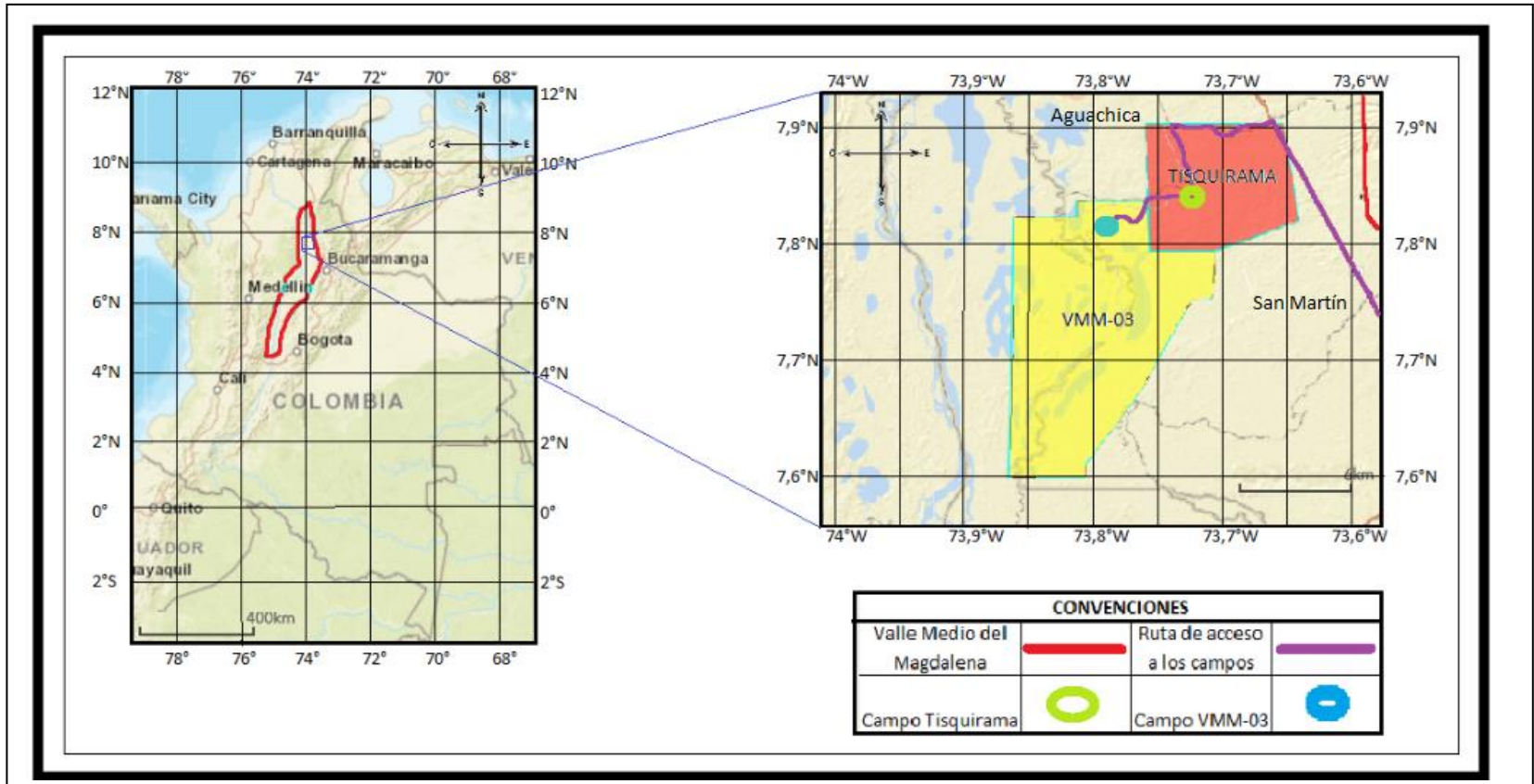
En este apartado se presenta la ubicación de los Campos Tisquirama-San Roque y VMM3, con sus principales vías de acceso.

Los Campos Tisquirama-San Roque y VMM3 están ubicados en Colombia, pertenecen a la Cuenca Valle Medio del Magdalena. El Campo Tisquirama-San Roque hace parte del Departamento del Cesar, pertenece a los municipios de Aguachica y Río de Oro. Colinda al suroeste con el Campo VMM3, al noreste con el Campo VMM2, al sur por el Campo Midas. Por otra parte, el Campo VMM3 hace parte de los departamentos del Cesar y Santander, colinda al este con el Campo Midas, al norte con el Campo VMM2, al noreste con el Campo Tisquirama-San Roque, al sur con el Campo Palomas y por último al oeste con el Campo VMM27. Al ser estos aledaños las vías de acceso terrestres partiendo desde Bogotá D.C son comunes hasta llegar al municipio de San Martín (Departamento del Cesar), por tanto, la ruta a seguir es la siguiente:

Se inicia el recorrido desde Bogotá D.C el cual tiene una distancia de 548km aproximadamente. Se toma la Calle 80 para salir por el noroccidente de la capital, donde comienza la autopista a Medellín con dirección a La Vega. En este instante comienza el descenso desde la sabana de Bogotá y se pasa por poblaciones como San Francisco, La Vega y Villeta hasta llegar a Guaduas. Posteriormente se toma La Ruta Del Sol que atraviesa sitios como los municipios de Puerto Salgar, Puerto Boyacá, Puerto Parra, Cimitarra, Barrancabermeja, Sabana de Torres, Puerto Wilches y San Alberto, hasta llegar al municipio de San Martín.

Desde este municipio se tienen dos vías de acceso al Campo Tisquirama-San Roque la primera consiste en tomar una vía terciaria ubicada al occidente del municipio la cual avanza con la misma dirección 2.5 km, la segunda consiste en seguir por la ruta del sol 9 km hacia el norte de San Martín, en ese punto desviar por una vía terciaria hacia el occidente, se recorre un distancia de 4 km por dicha vía hasta llegar al sitio de destino, por esta ruta se debe recorrer en total 13 km para llegar al Campo, ahora para ingresar al Campo VMM3 se debe seguir la vía anteriormente mencionada con la diferencia que una vez se encuentre en el Campo Tisquirama-San Roque se debe avanzar en dirección suroccidental un total de 18.1 km para llegar al Pozo Pico y Plata, dicho recorrido abarca una distancia desde San Martín 34.1 km.

Figura 1. Ubicación de los Campos VMM3 y Tisquirama-San Roque.



Fuente. Elaboración propia, basado en el Mapa del Banco de Información Petrolera; Municipio de San Martín, Cesar.

1.3 MARCO GEOLÓGICO

En este apartado se realiza la descripción del marco geológico y la columna estratigráfica de los Campos mencionados.

1.3.1 Columna estratigráfica. La presenta **Figura 2** la Columna Estratigráfica General (CEG) para la Cuenca VMM, de la cual hacen parte los Campos Tisquirama y VMM3, también resalta las zonas de interés y describe algunos parámetros del sistema petrolífero asociado a dichos campos.

Figura 2. Columna generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Periodo	Época	Edad Millones de años	Litoestratigrafía	Litología	Elementos		
					Reservorio	Fuente	Sello
CUATERNARIO	Gelasiano	1.806 - 2.588	Form. La Mesa				
NEÓGENO	Serravaliano	11.608 - 13.65	Grupo Real				
	Aquitano	20.43 - 23.03	La cira Shale		Principal		
	Chattiano	23.03 - 28.4	Form. Colorado		Principal		
PALEÓGENO	Rupeliano	28.4 - 33.9	Form. Mugrosa		Principal		
	Priaboniano	33.9 - 37.2	Form. Esmeralda				
	Priaboniano	33.9 - 37.2	Form. La Paz		Principal		
	Thanetiano	55.8 - 58.7	Form. Lisama				
	Maastrichtiano	65.5 - 70.6	Form. Umir			Secundario	
CRETÁCEO	Coniaciano	85.8 - 89.3	Form. La Luna		Secundario	Principal	
	Albiano	99.6 - 112	Form. Simití			Principal	
	Albiano	99.6 - 112	Form. Tablazo		Secundario	Principal	
	Aptiano	112 - 125	Form. Paja			Principal	
	Barremiano	125 - 130	Form. Rosablanca		Secundario		
	Berrisiano	140.2 - 145.5	Form. Cumbre				
JURÁSICO	Berrisiano	140.2 - 145.5	Form. Los Santos				
	Jurásico superior	145.5 - 161.2	Grupo Girón				

Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. 2007. Modificada por los autores.

Los intervalos señalados corresponden a las zonas de interés de los Campos que son objeto de estudio en esta investigación, el Campo Tisquirama-San Roque produce por las Formaciones Esmeralda y La Paz, por su parte en el Campo VMM3 se enfoca en el desarrollo del yacimiento en roca generadora que se encuentra en la Formación La Luna.

1.3.2 Estratigrafía. En este numeral se tratan las diferentes características que tienen las formaciones exhibidas.

1.3.2.1 Grupo Girón. Se considera del Jurásico superior. El grupo Girón consta de areniscas, conglomerados y limolitas, todas estas rocas se encuentran en intercalación siendo predominante las areniscas, el color del conjunto va de rojo a violáceo, en el tope de la formación se puede observar cuarzo de color lechoso en el interior de los conglomerados, el espesor de esta formación se aproxima en el área de estudio (planchas 86 y 97 del INGEOMINAS), el espesor es tema de discusión por varios estudiosos pero debido al espesor medido en la parte oriental se puede ubicar en el rango de 2650 a 2690 m¹. Su ambiente de deposición es de carácter aluvial. Se encuentra en discordancia con la formación infrayacente y también es discordante con la formación suprayacente.

1.3.2.2 Formación Los Santos. En textos también denominada Formación Tambor o Unidad Conglomerática de Arenal, su edad se remonta al Jurásico tardío o el Cretácico temprano. Se divide en tres subgrupos debido a las diferencias de composición de las rocas, por tanto, en el miembro inferior de la formación se tiene intercalación entre areniscas conglomeráticas y conglomerados, las areniscas tienen del 5 al 20% de contenido de grava y son de color rojo grisáceas a verde grisáceas, el conglomerado tiene del 60 al 80% de contenido de grava. El miembro intermedio de la formación consta de una intercalación entre lodolitas-shale y areniscas conglomeráticas, siendo la lodolita el tipo de roca predominante con cerca del 70% del espesor del miembro intermedio, éstas son de color violeta grisáceo.

Composicionalmente las areniscas son de tipo líticas volcánicas. Por último, el miembro superior de la formación está compuesto por conglomerados en intercalación con lodolitas, la fracción de grava en los conglomerados es del 50 al 80%. A rasgos generales su espesor es variable a lo largo de su extensión, debido a eventos erosivos, pero de forma general se asume un espesor de esta formación de 178 metros. Su contacto con la formación infrayacente es de discordancia angular mientras que su contacto con la formación suprayacente es de para conformidad.

1.3.2.3 Formación Cumbre. Con edad situada en el Berriasiano (Cretácico inferior), está compuesta por areniscas de color gris oliva, con cuarzo, con matriz de cemento silíceo, éstas en conjunto con limolitas rojas y arcillolitas blancas y

¹ ARIAS TAUTA, Alfonso y VARGAS HIGUERA, Rodrigo; Geología de las planchas 86 Abrego y 97 Cáchira, Memoria Explicativa, 1978. P. 21.

negras. Su ambiente de deposición es de dominio marino marginal sobre una llanura costera aluvial.²

1.3.2.4 Formación Rosa Blanca. La información obtenida sobre la edad de esta formación apunta a que es una formación diácrona ya que hacia San Gil se encuentran fósiles del periodo Hauteriviano (Cretácico inferior), mientras que hacia el área de Simití se encuentran fósiles del periodo Barremiano. Constituida principalmente por calizas terrígenas, conglomeráticas, líticas y sub-líticas, también se tiene en intercalación de esparitas y bioesparitas con lodolitas. Tiene un espesor de 425 a 450 m y su ambiente de deposición es de plataforma somera de carbonatos. El contacto con la formación infrayacente es discontinua, por otra parte, el contacto superior es continuo y neto³.

1.3.2.5 Formación Paja. Se plantea se edad en el intervalo comprendido entre Barremiano Medio a Aptiano Tardío (Cretácico inferior). Está constituida por shales grises oscuros con intercalaciones de areniscas amarillentas o por calizas fosilíferas de color gris oscuro. Su espesor se ha reportado en aproximadamente 125 m. su deposición se cree que sucedió en un ambiente de mar abierto con influencia restringida de material terrígeno. Su contacto es neto con la formación infrayacente y su contacto con la formación suprayacente es una paraconformidad⁴.

1.3.2.6 Formación Tablazo. Según Clavijo la edad se puede encontrar entre el Barremiano y el Albiano (Cretácico inferior), se conforma de calizas biomicríticas y bioesparíticas grises que se encuentran en intercalación con lodolitas calcáreas. Su espesor fluctúa entre 250 y 300m. Su ambiente de deposición es marino. Su contacto infrayacente es una inconformidad y con la formación suprayacente el contacto no es claro.

1.3.2.7 Formación Simití. Según Morales⁵ la formación es netamente del periodo Albiano (Cretácico inferior). Consiste en un conjunto de shales carbonosos de color gris a negro, son laminados y blandos y están impregnados de aceite, hacia la parte media de la formación se puede encontrar intercalaciones con areniscas calcáreas. Se estima un espesor de 400 m. Su ambiente de deposición es nerítico. Sus contactos tanto infrayacente como suprayacente son concordantes.

² Suárez Rueda, Carlos Orlando. Arenas basales del Cretáceo inferior, potencial roca hidrocarbúrfica en la región central de la cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia, p. 28.

³ Bernal Vargas, Luis Enrique et al. Cartografía geológica de 9.600 km² de la Serranía de San Lucas: planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica. 2006, p. 23.

⁴ Ibíd, p.24.

⁵ Morales et al. Habitat of oil. 1955, p. 651.

1.3.2.8 Formación La Luna. La formación la Luna es la principal zona de generación de hidrocarburos en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM), por tanto, es una de las más estudiadas, ésta está conformada por tres miembros los cuales serán descritos a continuación. El miembro Salada siendo el miembro inferior de la Formación la Luna, con una edad situada entre el Cenomiano y el Turoniano (Cretácico superior), compuesto por capas gruesas de biomicritas endurecidas en intercalación con biomicritas recristalizadas de color gris claro, su contacto infrayacente es conforme, siendo depositado en un ambiente transgresivo, su espesor de 34 m. El miembro intermedio tiene por nombre Pujamana, su edad se remonta al Turoniano y se compone básicamente de biomicritas ya sea con foraminíferos plantónicos y bentónicos y en ocasiones con minerales arcillosos. El ambiente de deposición es transgresivo. Su espesor se encuentra en el rango de 50 a 225 m. Por último, se encuentra el miembro Galembo, la edad de este miembro es referida al Coniaciano. Está compuesto por shale calcáreo con intercalación de capas delgadas de limonitas arcillosas, siendo los shales duros. Su deposición es debido a ambientes de superficies de inundación. El espesor es medido en 180m⁶.

1.3.2.9 Formación Umir. Fue depositada en el periodo Maastrichtiano (Cretácico superior), su composición consta de dos partes debido al cambio litológico que en ambos sucede, en la parte inferior de la formación se tiene shale de color gris azulado a negro con intercalación de mantos de carbón, la parte superior se compone de shale de color gris oscuro con intercalaciones de areniscas y silicatos. Se estima su espesor en 1000 m. Se depositó en un ambiente sedimentario nerítico (parte inferior) y un ambiente mixto entre nerítico y continental para la parte superior. Se encuentra en contacto neto con el miembro Galembo de la Formación la Luna (Contacto infrayacente) y tiene contacto suprayacente discordante.

1.3.2.10 Formación Lisama. La edad de la unidad está referida al paleoceno, se compone de shales de colores café, rojo, gris claro y gris, con intercalaciones de areniscas de color gris verdoso, también se tienen algunos mantos de carbón poco desarrollado. tiene un espesor de 1225m⁷. La formación representa el cambio de ambiente sedimentario, ya que hace la transición de un ambiente marino a uno continental. El contacto con la unidad infrayacente es concordante.

1.3.2.11 Formación La Paz. La edad de esta formación ha sido objeto de debate ya que no se encuentran muestras fósiles y la única forma de asociarla es por medio de su ubicación en la columna, por tanto, se ubica en el eoceno superior. Su composición consta de areniscas conglomeráticas masivas con intercalaciones de limolitas y shales. Su espesor es 1000 m. Su ambiente sedimentario es asociado a

⁶ Ibid, p. 653.

⁷ Ibid, p. 656.

altas energías los cuales corresponden a abanicos aluviales o ambientes de ríos trezados. El contacto con la Formación Lisama es neto y erosivo, siendo muy marcado el cambio litológico.

1.3.2.12 Formación Esmeraldas. Su edad se remonta al eoceno superior debido a la variedad de moluscos que se encuentra en el tope de la formación. Se compone principalmente areniscas de grano fino, de colores que van desde el gris hasta verdosas, éstas en intercalación con limolitas y shales grises. Su espesor alcanza los 1200 m. Su ambiente de sedimentación corresponde a llanuras aluviales y ríos meándricos. El contacto con la formación La Paz es conforme y transicional, por otra parte, se indica que el contacto suprayacente con la formación Mugrosa es discordante.

1.3.2.13 Formación Mugrosa. Con edad situada en el Oligoceno medio debido a evidencia fósil ubicada en el tope de la formación. Está compuesta por lodolitas vari coloreadas donde predominan los colores rojizos y amarillos, se encuentran en intercalación de con capas delgadas de areniscas de grano grueso a conglomeráticas. El espesor es de 800 m. El ambiente sedimentario es de régimen de llanuras aluviales o a ríos meándricos, el contacto infrayacente es discordante, aunque no es muy claro debido a ambientes de deposición semejantes⁸.

1.3.2.14 Formación Colorado. Su conformación se remonta al Oligoceno tardío, la unidad consiste en shales en capas gruesas y masivas⁹ que van de colores como el púrpura al gris claro con areniscas en intercalación de espesor variable, siendo éstas areniscas conglomeráticas. El espesor de esta formación es bastante variable y va desde 1000m reportados en la sección tipo hasta 2500m en el pie de monte de la Cordillera Oriental. Su ambiente de deposición se presume es de abanicos aluviales canaliformes, es decir de ríos trezados. El contacto con la formación Mugrosa es concordante.

1.3.2.15 La Cira Shale. Es referido a la parte del tope de la formación Colorado, ya que representa un horizonte fosilífero compuesto por moluscos de agua dulce, el contacto con la formación Colorado es concordante y continuo¹⁰.

⁸ SARMIENTO, Gustavo et al. Evolución Geológica y Estratigráfica del Sector Norte del Valle Medio del Magdalena. 2015, p.70.

⁹ Ibíd.

¹⁰ ROJAS SUÁREZ, César Augusto. Modelamiento Geoestadístico de los Depósitos Fluviales de la Zona C- Formación Mugrosa en el Área la Cira-Este del Campo La Cira. 2011.

1.3.2.16 Grupo Real. La presencia de fósiles ha facilitado el hallar el periodo de tiempo en el cual ésta se ha depositado, en la muestra de fósiles se aprecian especies presentes en el Oligoceno tardío hasta formas de vida del Mioceno, la formación es dividida en diferentes segmentos debido a cambios litológicos, el primer tramo consta de su base con un espesor de 30 m de chert de color negro y café con fragmentos de carbón y lodolitas ferrosas. El siguiente segmento del grupo consta de un espesor de 500 m y está constituido por una capa masiva de arenisca con intercalaciones de shales de colores gris, púrpura, rojas, azules y cafés. La tercera parte consta de 1300 m shale con intercalación de areniscas, el siguiente segmento es compuesto por 1100 m de areniscas con un bajo contenido de carbón, se encuentran troncos de árboles carbonizados silicificados¹¹, por último, se encuentran 500 m de shales de colores rojo, gris, azul y morado en intercalación con areniscas friables de color blanco. Su espesor total es aproximadamente 3500 m. El contacto con la formación Colorado es una inconformidad.

1.3.2.17 Formación Mesa. Su edad varía entre el Plioceno y el Pleistoceno. Se compone de areniscas tobáceas, tobas andesitas aglomerados con intercalaciones de arcilla, la parte superior está compuesta por gravas y bloques de areniscas y limolitas. Su espesor es de 575 m.¹² Tiene contacto discordante con el Grupo Real.

1.3.3 Geología estructural. Este apartado señala los principales eventos que dan forma a las estructuras geológicas asociadas a los Campos Tisquirama y VMM3, dichos eventos son las respectivas fallas o sistemas de fallas y plegamientos.

En la cuenca se tienen tres fallas principales y un sistema de fallamiento asociado a la Falla de Cimitarra.

1.3.3.1 Falla La Salina. La primera de estas fallas es la Salina la cual desplaza rocas del Cretáceo temprano sobre rocas del Cretáceo tardío y el Cenozoico, esta compone el límite de la cuenca (sector sur) y la cordillera Oriental, finaliza en la Falla de Bucaramanga.

1.3.3.2 La Falla de Bucaramanga. Es la más notoria del norte de Colombia, es una falla sinistral que en ciertos intervalos existen levantamientos, esta falla parte del registro tectónico que se refleja en la Cordillera Oriental y el macizo de Santander.

¹¹Morales et al, Op. Cit, p. 661.

¹² SARMIENTO, Gustavo et al. Op. Cit., p.72.

1.3.3.3 La Falla La Palestina. Es el límite de la cuenca con la Cordillera Central, este sistema de fallas es multitemporal¹³ ya que se ha reactivado en diversos episodios.

1.3.3.4 Complejo de fallas de Cimitarra. Por último, se tiene el complejo de fallas de Cimitarra, su trazo finaliza en la Falla la Palestina, no afecta de forma marcada a las rocas Cretácicas.

1.3.4 Geología del petróleo. Este subtema realiza una descripción del sistema petrolífero que se observa en la columna estratigráfica de la cuenca y por tanto de los Campos tratados en este tema de investigación.

1.3.4.1 Roca generadora. La principal roca generadora se encuentra en la formación La Luna la cual se compone de shale calcáreo y biomicritas, el contenido total de carbono orgánico (TOC) varía entre el 1 al 6%, la materia orgánica allí contenida es principalmente querógeno tipo II, también se encuentran intervalos generados en las formaciones Tablazo y Simití, toda la deposición del compuesto orgánico ocurrió en eventos anóxicos.¹⁴

1.3.4.2 Migración. Se da a través de la inconformidad del Eoceno, la cual separó el reservorio de la roca generadora generando el sistema perfecto de migración. Existen tres caminos de migración en la cuenca, el primero consiste en la migración vertical desde la formación la Luna por la inconformidad del Eoceno, el segundo es la migración lateral a través de las areniscas del Eoceno y, por último, por medio de fallas las cuales transportan verticalmente el hidrocarburo.

1.3.4.3 Reservorio. El 97% de las reservas probadas proviene de las areniscas continentales del Paleógeno, siendo estas formaciones Lisama, Esmeralda-La Paz y Colorado-Mugrosa. Éstas tienen una porosidad promedio del 15 al 20%, así mismo se tiene unas permeabilidades que van de 20 a 600 mD.

1.3.4.4 Sellos. Los sellos en las formaciones del Paleógeno son las intercalaciones en las formaciones Esmeraldas y Colorado, por otra parte, los sellos para las formaciones del Cretáceo están conformados por las formaciones Umir y la formación Simití.

¹³ SARMIENTO, Gustavo et al. Op. Cit., p.74.

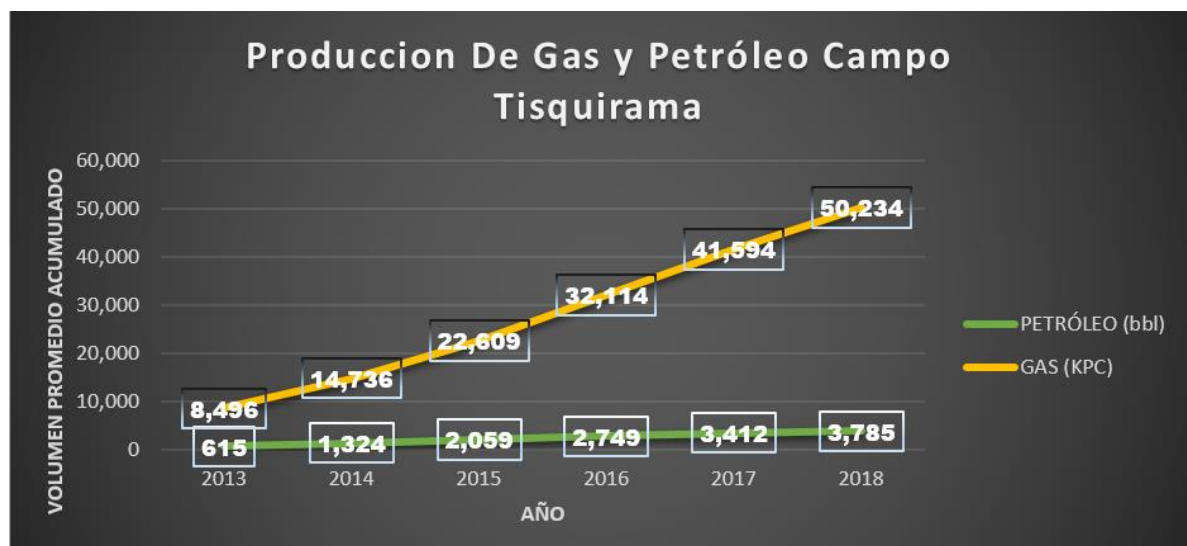
¹⁴ BARRERO, Darío et al. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. 2007, p. 80.

1.3.4.5 Trampas. Se presentan en anticlinales asimétricos, además de estos anticlinales también se entrapa en pliegues de contracción relacionados a fallas, también se tienen estructuras dúplex con cierre estructural hacia fallas.

1.4 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN

En este apartado se evidencia la producción histórica de gas y de petróleo en el Campo Tisquirama desde el año 2013 hasta el año 2018, la producción evidenciada es acumulativa. La producción de gas se da en miles de pies cúbicos y la producción de petróleo en barriles. Por otra parte, el Campo VMM3 no ha estado en fase de explotación, por tanto, no cuenta con historial de producción.

Figura 3. Producción acumulada de fluidos desde el año 2013 hasta el año 2018.



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Forma Ministerial 9SH del Campo Tisquirama-San Roque. 2018. Modificado por los autores.

En la **Figura 3** se evidencia la producción acumulada del Campo Tisquirama-San Roque desde el 2013 hasta el 2018.

1.4.1 Método de producción. El método de producción primaria asociado al Campo Tisquirama-San Roque obedece a gas en solución, la estructura también presenta un acuífero activo en flanco izquierdo. En Tisquirama se cuenta con un total de 20 pozos, de los cuales 12 están activos, por otra parte en San Roque existen un total de 21 pozos. El listado de los pozos para San Roque¹⁵ es:

¹⁵ GRIMALDO, David Fernando y PORRAS, Luisa Fernanda. Evaluación Técnico Financiera a nivel de Laboratorio de la Viabilidad del Uso de Nuevos Inhibidores de Arcillas

Tabla 1. Resumen de pozos San Roque.

Nombre pozo	TVD (pies)	Clasificación	Estado @Marzo - 2016
SAN ROQUE-1	-	C3	Productor
SAN ROQUE-2	-	No definido	Abandonado
SAN ROQUE-3	-	Pendiente	Pendiente
SAN ROQUE-4	-	No definido	No definido
SAN ROQUE-5	-	No definido	No definido
SAN ROQUE-6	-	No definido	No definido
SAN ROQUE-10	-	No definido	No definido
SAN ROQUE-11	10014	A0	Exploratorio de desarrollo
SAN ROQUE-12	9743	A0	Exploratorio de desarrollo
SAN ROQUE-13	-	No definido	Pendiente
SAN ROQUE-14	-	No definido	Pendiente
SAN ROQUE-15	-	No definido	Pendiente
SAN ROQUE-16	8527	A0	No definido
SAN ROQUE-17	-	No definido	-
SAN ROQUE-19	-	No definido	-
SAN ROQUE-21	10449	A0	Exploratorio de desarrollo
SAN ROQUE-22	10269	A0	Exploratorio de desarrollo
SAN ROQUE-23	10419	A0	Exploratorio de desarrollo
SAN ROQUE-24	10319	A0	Exploratorio de desarrollo
SAN ROQUE-35	9910	No definido	No definido
SAN ROQUE-36	9517	No definido	No definido

Fuente. GRIMALDO, David Fernando y PORRAS, Luisa Fernanda. Evaluación Técnico Financiera a nivel de Laboratorio de la Viabilidad del Uso de Nuevos Inhibidores de Arcillas Tipo Amina y Silicato de Potasio en la Formulación del Fluido de Perforación Base Agua para el Campo San Roque. Electrónico. Proyecto de grado. Fundación Universidad de América. Bogotá D.C., Colombia. 2016 [16/05/2019]., p. 37. Disponible en línea en <http://hdl.handle.net/20.500.11839/93>.

Tipo Amina y Silicato de Potasio en la Formulación del Fluido de Perforación Base Agua para el Campo San Roque. Electrónico. Proyecto de grado. Fundación Universidad de América. Bogotá D.C., Colombia. 2016 [16/05/2019]., p. 37. Disponible en línea en <http://hdl.handle.net/20.500.11839/93>.

2. PROPIEDADES DEL AGUA DEL CAMPO VMM3

Este capítulo aborda las propiedades fisicoquímicas necesarias para realizar la estimulación hidráulica en roca generadora en el Campo VMM3, la licencia del Campo aún no ha sido otorgada, por tanto, el tipo de fluido no ha sido establecido, de modo que en este segmento se hace mención de los diferentes tipos de fluido de fracturación.

2.1 TIPOS DE FLUIDO PARA FRACTURACIÓN PARA HIDRÁULICA

En este apartado se abordan los diferentes tipos de fluidos que son utilizados en las actividades de estimulación hidráulica en roca generadora alrededor del mundo, estos fluidos tienen una composición y modifican el agua para adquirir propiedades que hacen que ésta sea efectiva al momento de realizar la técnica.

La elección del tipo de fluido es de suma importancia ya que no todos los fluidos pueden generar el espesor de fractura deseado, control de pérdidas de fluido, la capacidad para transportar el propante o incluso manejar la presión neta deseada. Los diferentes compuestos químicos que componen el fluido de fracturación se pueden consultar en el ANEXO A.

2.1.1 Slickwater fracturing. Este es el tipo más básico de fluido de fracturación, ya que está compuesto principalmente por agua y arena, estos dos componentes se encuentran en mayor proporción ya que componen el 98% de la solución, es necesario agregar otros aditivos que controlen el ambiente bacteriano, la fricción y la corrosión que pueda ocasionar el fluido, estos aditivos corresponden al 1% de la mezcla.

Por su composición simple se pueden emplear aguas residuales (menor costo de adquisición), por la misma naturaleza del fluido, no se presentan daños de formación altos y la limpieza es óptima, otro beneficio es la recuperación del agua para poder ser reutilizada en otros procesos. Por otra parte, la desventaja más significativa es la poca viscosidad que el fluido presenta, ya que esto se traduce en una fractura de poco diámetro (delgada).¹⁶

2.1.2 Linear gel. Estos fluidos son utilizados en casos donde es necesario tener fluidos de alta viscosidad, para ello se realiza una mezcla compuesta por agua, junto con un controlador de arcilla y un agente gelificante, el agente gelificante utilizado varía, pero los más usados son el almidón, guar, hidroxipropil guar (HPG),

¹⁶ MONTGOMERY, Carl; Proceedings of the International Conference for Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing., p 3.

carboximetil hidroxietil celulosa (CMHEC), xanthan y sus derivados.¹⁷ El efecto de este tipo de fluido se evidencia en varios aspectos, el principal es el aumento de la viscosidad del agua, aunque el aumento de ésta no es drástico, por otra parte puede formar retorta y controlar las pérdidas de fluido, esto último depende del tipo de formación en la que se esté utilizando, ya que en formaciones de baja permeabilidad es cuando tiene tendencia a crear esta retorta, lo cual, es un efecto adverso, ya que disminuye la conductividad de la fractura, por otra parte en formaciones donde la permeabilidad es alta, no crea retorta, de modo que las pérdidas de fluidos son excesivas. Es económico, pero el agua retornada no es reusable.

2.1.3 Fluido Crosslinked gel. Este tipo de fluido es utilizado cuando la viscosidad proporcionada por el linear gel es insuficiente, por tanto, se le adiciona un compuesto llamado *Crosslinked* el cual aumenta de forma drástica la viscosidad, elevándola desde 50cp hasta el rango de los 100cp hasta los 1000cp, con esta viscosidad se mejora también el diámetro de la fractura, así como la cantidad de propano que puede transportar el fluido.¹⁸ La activación de éstos se da por medio del pH, de forma que mejora la cadena de polímero en condiciones donde el polímero utilizado en el linear gel no funciona.

En la siguiente tabla se observan los diferentes tipos de fluidos de fracturamiento hidráulico.

¹⁷ BENAVIDES, Estefanía y MARTÍN, Juan. Análisis Conceptual de la Tecnología de las Estimulaciones Hidráulicas Masivas y Su Potencial Aplicación en Yacimientos No Convencionales de Shale en Colombia. Electrónico. Trabajo de grado. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C., Colombia. 2018 [Consultado: 16/05/19] p. 131. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6802>

¹⁸ MONTGOMERY; Op. Cit., p.10.

Tabla 2. Análisis cualitativo de los fluidos de fracturamiento hidráulico.

Fluid System	Prop Pack KfW	Low Pump Pressure	VISCOSITY			Breaking	Compatibility		Fluid Loss	Ease of Mixing	Cost	Safety and Environmentally Friendly	Total
			Prop-Transport	Stable	Life		Formation Fluid	Fluid recovery					
Water Frac (1)	5	5	1	3	3	5	3	4	1	5	5	4	44
Linear Gel (2)	3	5	3	3	3	4	3	4	2	5	4	5	44
Linear Gel (3)	5	5	3	3	3	4	3	4	2	5	4	5	46
Borate X-Link (2)	3	3	5	5	5	3	4	3	5	4	3	5	48
Delayed Borate X-Link (2)	3	3	5	5	5	3	4	3	5	3	3	5	47
Delayed Metallic X-Link (4)	3	3	5	2	2	3	4	3	5	3	3	4	40
Delayed Metallic X-Link (5)	3	3	5	2	2	3	4	3	5	3	3	4	40
VES (6)	5	3	5	4	4	2	1	3	2	2	1	5	37
Nitrogen Foam	5	2	5	3	3	5	4	4	5	2	1	3	42
Co2 Foams	5	2	5	3	3	5	4	5	5	2	1	2	42
Gelled Propane	5	3	4	4	3	4	5	4	4	2	1	1	40
Poly Emulsions (K1)	4	1	5	5	5	4	4	3	5	2	3	2	43
Lease Crude	2	3	2	5	5	5	5	3	2	5	5	1	43
Gelled Oil (7)	2	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	1	38

Qualitative Rate 1 to 5 where 1 is poor, 3 is moderate and 5 is excellent

- 1- Uses Polyacrylamide (PAA) as a Friction Reducer
- 2- Uses Guar, HydroxyPropyl Guar (HPG) or CarboxyMethyHydroxyPropil Guar (CMHPG) as gelling agent
- 3- Uses HydroxyEthyl Cellulose (HEC) or CarboxyMethyHydroxyEthyl Cellulose (CMHEC) as gelling agent
- 4- Uses Titinium or Zirconium Crosslinkers for Guar, HPG, and CMHPG gelling agents
- 5- Uses Titinium Zirconium Crosslinkers for CMHEC gelling agents
- 6- Uses a ViscoElast Surfactant system as the gelling agent
- 7- Uses a Phosphate Ester Crosslinked with an Aluminum Salt and Activated with a Base

Fuente. MONTGOMERY, Carl; Fracking Fluids, Proceedings of the International Conference for Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing. 2012.

2.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

Las propiedades del agua para estimulación hidráulica son variables, ya que dependen tanto del tipo de fluido (que se ajusta a la formación a tratar) como el grado de aceptación del agua a los diferentes agentes químicos que se deben añadir, de forma tal que no siempre se cumplen todos los parámetros especificados, por tanto, en este segmento se presentan los rangos operativos óptimos utilizados por Halliburton y Weatherford respectivamente.

2.2.1 Parámetros de Halliburton.

Tabla 3. Parámetros óptimos utilizados por Halliburton.

Parámetro	Límite
	(Gold Medal Quality Program)
pH	6 a 8
Temperatura, °F	40 – 100
Bicarbonatos y Carbonatos, ppm	< 300 ppm
Hierro, ppm	< 10 ppm
Fosfatos, ppm	< 5ppm
Dureza, ppm	< 2000 ppm
Sulfatos, ppm	< 1000 ppm
Gravedad específica	< 1.038
Sólidos	TDS < 50000
Bacterias	< 10 ⁵ / mL
Bario, ppm	No Reporta
Cloruros, ppm	No Reporta
Turbidez, NTU	No Reporta

Fuente. Suministrado por HALLIBURTON. 2018.

La **Tabla 3** Error! No se encuentra el origen de la referencia. muestra los valores que son aceptados por Halliburton, de esta forma evalúan los fluidos mezclados, en la **Tabla 4** se evidencian dos muestras de fluido.

Tabla 4. Casos reales de fluidos de fracturamiento realizados por Halliburton.

Parámetro	Agua de mezcla	Agua de mezcla
	(junio 2016)	(marzo 2018)
pH	6.5	7
Temperatura, °F	85	85
Bicarbonatos y Carbonatos, ppm	30	40
Hierro, ppm	0.8	0.37
Fosfatos, ppm	ND	ND
Dureza, ppm	ND	ND
Sulfatos, ppm	3	0
Gravedad específica	1.016	1.01
Sólidos	26	0
Bacterias	ND	ND
Bario, ppm	3	0
Cloruros, ppm	40	49.7
Turbidez, NTU	20	4.47

Fuente: Suministrado por HALLIBURTON. 2018.

Para determinar los parámetros reales que el agua puede soportar se debe realizar por medio de pruebas piloto, en este caso ambas muestras se mantienen en los rangos óptimos para realizar la mezcla.

2.2.2 Parámetros óptimos utilizados por Weatherford. En este apartado se evidencia los parámetros de calidad de Weatherford, dichos parámetros son expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 5. Parámetros óptimos empleados por Weatherford.

VALORES ACEPTADOS PARA AGUAS DE PREPARACION DE FLUIDOS	
PARAMETRO	VALORES ACEPTADOS
pH/T	6 a 8/ 40C
CONDUCTIVIDAD	Menor a 2 mS/cm
TURBIDEZ	Menor a 10 NTU
HIERRO TOTAL	Menor 1 ppm
DUREZA TOTAL	Menor a 200 ppm
ALCALINIDAD	Menor a 300 ppm
CLORUROS	Menor a 250 ppm

Fuente: Suministrado por WEATHERFORD. 2018.

2.3 VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL CAMPO VMM3

De acuerdo con Conoco-Phillips el rango de agua utilizada para la estimulación hidráulica dependerá de los resultados de Picoplata-1. Generalmente este volumen varía entre 81000 bbl a 176000 bbl.

Para este proyecto los autores utilizaran 3 escenarios, uno de ellos siendo el optimista en el que se utilice 81000 bbl de agua. Otro escenario será el pesimista utilizando una cantidad de 176000 bbl y finalmente el caso de operación (se encuentra en el punto medio de los casos anteriormente mencionados), utilizando un total de 128500 bbl de agua.

2.3.1 Volumen de referencia en base al volumen utilizado en pozos en la formación Vaca Muerta en Argentina. En América latina el caso más difundido sobre la explotación de hidrocarburos en yacimientos en roca generadora se encuentra en Argentina en la Cuenca Neuquina, específicamente en la Formación Vaca Muerta, el propósito de este apartado es comparar la geología presentada en esta formación en contraste a la estratigrafía presentada en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, de manera que se pueden observar las diferencias entre la Formación La Luna y la Formación Vaca Muerta, para determinar si el fluido de fracturamiento utilizado en la formación Vaca Muerta es en consecuencia compatible con la Formación La Luna.

La comparación de ambas formaciones debe hacer de forma composicional, según García et al¹⁹, la Formación Vaca Muerta está dividida en tres miembros, estos se diferencian entre sí por cambios notables en su litología, por tanto el miembro inferior de Vaca Muerta está compuesto por una capa de carbonatos, además cuenta con intercalaciones de carbonatos limolitas, el ambiente de deposición es de mar restringido. El segundo miembro de esta secuencia presenta una deposición inclinada respecto al anterior miembro, también existe una mayor proporción de material siliclástico, por último la composición del miembro superior de la Formación Vaca Muerta cuenta al igual que el miembro inferior con una capa de carbonatos, la diferencia radica en su ambiente sedimentario, ya que éste es de rampa distal.

En la cuenca existen variaciones en la mineralogía, pero lo que es en sí un rasgo de la formación es que se tienen en mayor proporción carbonatos y cuarzo que material arcilloso, la variación entre las diferentes regiones de la cuenca radica en la cantidad de cuarzo y carbonato presentes, en general el material arcilloso representa menos del 30%²⁰ de la composición de la Formación Vaca Muerta.

¹⁹ GARCÍA, Mariano N. et al. Vaca Muerta Shale Reservoir Characterization and Description : The Starting Point for Development of a Shale Play with Very Good Possibilities for a Successful Project. SPE 168666. 2013, p. 2.

²⁰ Ibid; p. 3.

La Formación La Luna está compuesta básicamente por biomicritas las cuales son parte de la familia de las calizas micríticas, teniendo foraminíferos tanto bentónicos como plantónicos, que a su vez son parte de los carbonatos, dicha composición general corresponde a los miembros inferior y medio de la Formación La Luna, por otra parte el tercer miembro de esta formación posee alto contenido de minerales arcillosos, como limolitas arcillosas y shale calcáreo.

Por tanto ambas formaciones presentan en buena medida material carbonatado, pero la diferencia radica en que en la Formación Vaca Muerta el cuarzo es un material predominante a lo largo de la secuencia estratigráfica y los materiales arcillosos se encuentran en baja proporción respecto al resto de componentes, por otra parte los materiales arcillosos en la Formación La Luna como se hace mención en el primer capítulo, están presentes en el miembro intermedio en baja proporción y se encuentran de manera notable en el miembro superior de la formación La Luna, de esta manera es posible que en buena medida el fluido utilizado en pozos en la Formación Vaca Muerta puedan ser usados en la estimulación hidráulica en el Campo VMM3.

Por tanto, para estimular la Formación Vaca Muerta según Bonapace y Coronel²¹, una operadora C diseñó la fractura en base a dos tipos diferente de agua para realizar la estimulación hidráulica, los cuales son Slickwater y Crosslinked Gel, las proporciones entre ambos fluidos son de 60% de Slickwater y de 40% de Crosslinked, el propante que esta operadora empleó para dicha actividad es arena blanca con dos diferentes tamaños, el primero es de 70/140 en un 20% del propante total, el segundo tamaño es de 30/70 en un 80%.

El estudio revela en la siguiente tabla la cantidad de agua que se necesitó en cada pozo para realizar la estimulación, la información viene dada por el tipo de fluido utilizado.

²¹ BONAPACE, Juan Carlos Y CORONEL, Maximiliano. Tailored Fracture Fluid Using Nontraditional Water in Unconventional Reservoirs – Argentina Case History. SPE-191831-MS. 2018, p. 22.

Figura 4. Volumen de agua utilizado por líquido de fracturamiento.

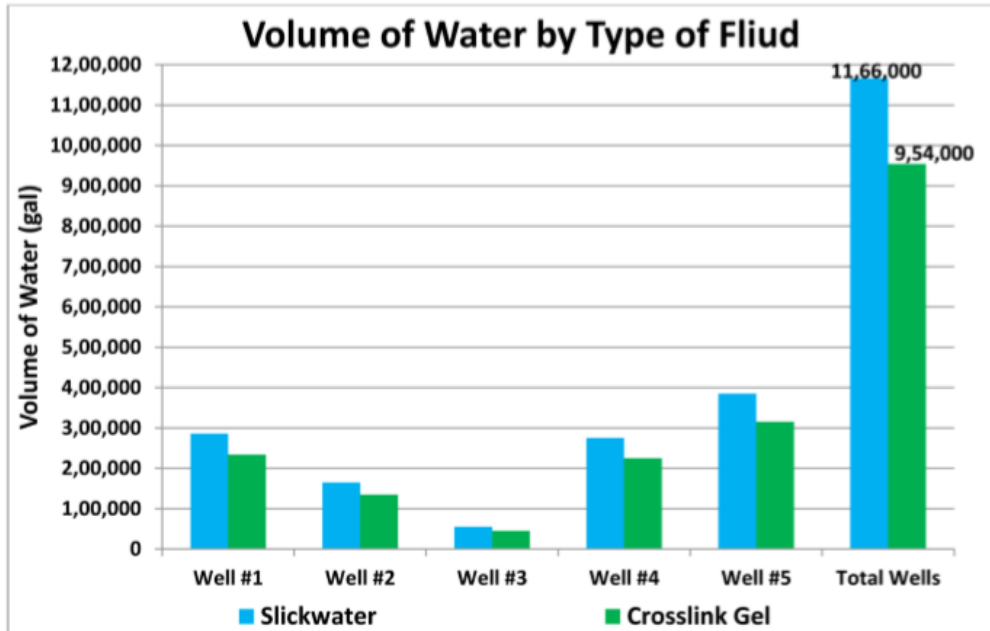


Figure 20—Total volume of produced water consumed by type of fracture fluid during the campaign.

Fuente. BONAPACE, Juan Carlos Y CORONEL, Maximiliano. Tailored Fracture Fluid Using Nontraditional Water in Unconventional Reservoirs – Argentina Case History. SPE-191831-MS. 2018, p. 22.

El total de agua utilizada es de 211,400 galones (5,033.33 bbl), esta cantidad demuestra el rendimiento de los fluidos utilizados, pero no reflejan la cantidad total de agua usada para el desarrollo del campo en donde se realizaron las pruebas.

3. MODELO DE INGENIERÍA DE CONOCO-PHILLIPS PARA LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA EN EL CAMPO VMM3

En este capítulo los autores describirán el primer modelo de ingeniería del trabajo de grado. Este modelo de ingeniería es el que Conoco-Phillips tiene propuesto para el desarrollo de la estimulación hidráulica en el campo VMM3. Se describe la adquisición, el transporte y la disposición final que tendrá el agua en este proceso. Para obtener parámetros de comparación que son utilizados posteriormente en el análisis comparativo por medio de una matriz de selección.

3.1 ADQUISICIÓN

Para la adquisición del agua, la empresa Conoco-Phillips la obtendrá del acueducto de San Martín Cesar el cual pertenece a la empresa Administradora Pública Cooperativa Empresa Solidaria E.S.P (APCES E.S.P). Esta empresa empezó a desarrollarse el 1 de septiembre del 2015 y rige bajo la ley 142 de 1994. La captación de este acueducto se desarrolla mediante un dique de 22 m que dirige las aguas desde el cauce hasta la cabecera municipal.

En este modelo, Conoco-Phillips obtendrá toda el agua para el desarrollo de la estimulación hidráulica del acueducto de San Martín, este volumen total de agua es de 81,000 bbl - 176,000 bbl, este valor dependerá de las cantidades de fases que se desean estimular y de la prueba piloto que se está desarrollando en Pico y Plata-1. Según la tarifa del acueducto de San Martín Cesar, la tarifa plena es de 19,600 COP y en ella vienen 16m³ (100.64 bbl), los metros cúbicos adicionales tienen un costo de 20,000 COP, por lo tanto, un barril después de la tarifa plena tendrá un costo de 3,180 COP. Para el objetivo de este proyecto, se tomará en cuenta 3 casos hipotéticos en donde los volúmenes de agua varían.

En la siguiente tabla se muestra los tres casos y el valor total por solo la adquisición del agua mediante el acueducto de San Martín Cesar.

Tabla 6. Casos tratados en la investigación.

Adquisición del Agua Mediante el Acueducto de San Martín Cesar		
Caso	Volumen Requerido (bbl)	Costo Total (COP)
Optimista	81,000	257,281,600
Operacional	128,500	408,331,600
Pesimista	176,000	559,381,600

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede evidenciar, el costo de solo la adquisición del agua para este modelo ronda entre 257,281,600 COP y 559,381,600 COP. Estos valores se tomarán en cuenta al finalizar el modelo para conocer el costo aproximado de todo el proceso y luego comparar este valor con el modelo de ingeniería propuesto por los autores.

La cantidad de agua que dispone el acueducto de San Martin a diario es de 90 L/s para la comunidad y otros usos. Al contactar al acueducto puede suministrar al proyecto 5.09 L/s (2767.52 bbl/día) de agua. Teniendo ya el caudal que suministra el acueducto se puede calcular cuántos días se tomaría en captar el agua suficiente, afectando así el aspecto del tiempo.

En la siguiente tabla se muestra cuanto tiempo se demoraría en captar el agua dependiendo del caso a manejar:

Tabla 7. Tiempo total adquisición del agua Acueducto San Martín.

Adquisición del Agua Mediante el Acueducto de San Martin Cesar		
Caso	Volumen Requerido (bbl)	Tiempo Total (días)
Optimista	81,000	30
Operacional	128,500	47
Pesimista	176,000	64

Fuente. Elaboración propia.

3.2 TRANSPORTE

En este segmento se aborda la forma en que el modelo logístico de Conoco-Phillips transporta la cantidad de agua requerida para realizar la estimulación hidráulica en el Pozo Pico y Plata 1.

Una vez adquirida el agua se debe transportar desde las instalaciones de APCES E.S.P hasta las facilidades del Campo VMM3. Por tanto, la carga es transportada por medio de camiones cisterna, debido a que garantiza la seguridad de la carga, de esta forma no se emplean líneas de flujo que puedan suministrar el recurso hídrico a las instalaciones de Conoco-Phillips. Los camiones cisterna son en efecto un buen tipo de transporte ya que suplen la demanda de agua de forma inmediata,

por otra parte, el uso sostenido y a largo plazo de esta herramienta es muy costoso y las diferentes variables pueden generar una logística engorrosa.²²

3.2.1 Tipos de camión cisterna. Los camiones cisterna son vehículos que sirven para transportar fluidos, por eso mismo se dividen en dos grandes divisiones las cuales son:

3.2.1.1 Camión cisterna para suministro de líquidos. El primero es el camión para suministros de combustibles y en general líquidos, en este caso el fluido a transportar es agua, por lo que se pueden observar dos tipos de camiones cisterna que se utilizan para transportar el recurso hídrico, unos son los camiones ad-hoc los cuales son tanques modificados para el transporte, la configuración de estos es variable y depende del caso puntual al que se pretende aplicar. El segundo tipo de camión cisterna consiste en un tanque de forma semi-ovalada, compuesto por aluminio o acero al carbón²³, con el fin de evitar la corrosión, la cantidad de compartimientos depende de las necesidades requeridas, pueden ser hasta tres compartimientos y su capacidad es de 250 bbl (los modelos más recientes).

Figura 5. Comparativo Camión ad-hoc vs. Camión Cisterna.

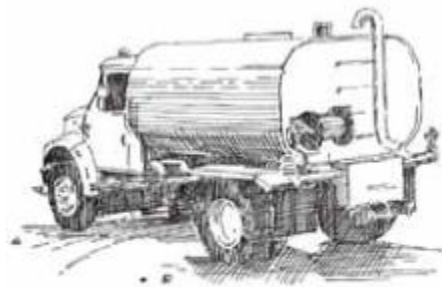


Figura 1
Camión cisterna



Figura 2
Camión cisterna improvisado

Fuente. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD; Notas técnicas sobre agua, saneamiento e higiene en emergencias. Suministro de agua mediante camión cisterna. 2012.

²² ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD; Notas técnicas sobre agua, saneamiento e higiene en emergencias. Suministro de agua mediante camión cisterna.

²³ PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A., *Serie Aprendamos del Petróleo, Camión cisterna*. Vol.7. 2019.

Figura 6. Partes del Camión cisterna.



Fuente. PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A., *Serie Aprendamos del Petróleo, Camión cisterna.* Vol.7. 2019.

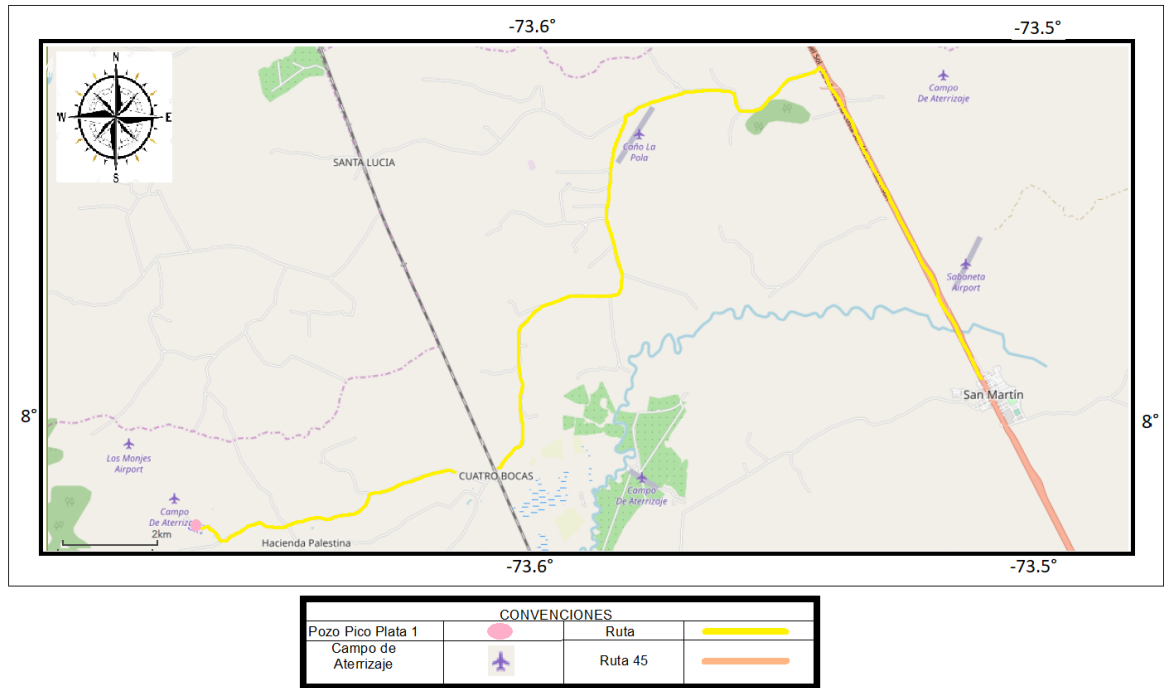
Para este proyecto los camiones cisterna que funcionan dentro de la operación son de un servicio tercerizado, por tanto, Conoco-Phillips no hará adquisición de ningún vehículo de transporte. Los vehículos que serán usados son aquellos que cumplan con los estándares presentados en la

Figura 6 de un camión cisterna, de forma que no se hace uso de camiones Ad-hoc.

3.3 ACCESO AL CAMPO VMM3

Teniendo en cuenta que el transporte se llevará a cabo por camiones cisternas, Conoco-Phillips tendrá una ruta para dicho transporte. Los autores tomaran esta ruta desde la entrada del acueducto de San Martín, hasta el pozo Pico y Plata 1 a estimular.

Figura 7. Ruta que emplean los camiones cisterna a las facilidades.



Fuente. Elaborado por los autores; basado en el Mapa del Banco de Información Petrolera. 2019.

Gracias a la figura se logra evidenciar que el trayecto del acueducto de San Martín al campo VMM3 para el transporte del agua es de 28.4 km. Es decir que el agua tendrá que viajar en carrotanques por una distancia de 28.4 km y regresar para hacer un viaje, esto es importante destacar ya que la mayoría de las operadoras cobran es por la distancia que transportará y por el número de viajes que se deberá desarrollar. Para conocer los costos a manejar los autores se comunicaron con 5 empresas que se encargan del transporte del agua en Colombia, dichas empresas cuentan con carrotanques de diferentes capacidades y dependiendo de su capacidad varía el costo. Estas empresas cuentan con el concepto sanitario emitido por la Subred Integrada de Servicios de Salud E.S.E, control de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua transportada, elementos alternos como lo son mangueras, válvulas y motobomba.

Los autores hicieron la cotización en las 5 empresas para 3 capacidades diferentes siendo estas de 14 m³ (88 bbl), 24m³ (150 bbl) y 40m³ (251 bbl) y que se desarrolle un viaje de 28.4 km. A continuación, se presenta los costos de cada viaje, dependiendo de la empresa y de la capacidad del carrotanque, tener en cuenta que las empresas no cuentan con carrotanques de diferentes capacidades y que un viaje es la ida y la vuelta de dicho trayecto.

Tabla 8. Cotización del transporte de agua al Campo VMM3.

Costo de Viaje Por Empresa		
Empresa	Capacidad (bbl)	Costo (COP)
Agua Potable Velásquez	88	220,000
	150	350,000
	251	-
Jaime Novoa	88	240,000
	150	-
	251	630,000
Maria Carmenza Cortés	88	250,000
	150	370,000
	251	-
Agua Plus	88	-
	150	330,000
	251	650,000
Transportes Dorados De Colombia SAS	88	260,000
	150	360,000
	251	600,000

Fuente. Elaboración propia.

Con dichos presupuestos los autores tomaron en cuenta los viajes más económicos dependiendo de su capacidad para transportar el agua. Dicho esto, los autores para transportar mediante carrotanques de 88 bbl de capacidad utilizaron la tarifa de Agua Potable Velásquez valorada en 220,000 COP. Para transportar en carrotanques de capacidad de 150 bbl, los autores utilizaran la tarifa de Agua Plus

valorada en 330,000 COP y finalmente para la capacidad más alta que es de 251 bbl, los autores tomaron la tarifa de Transportes Dorados De Colombia SAS valorada en 600,000 COP.

Para evaluar el costo total del transporte se tendrá en cuenta los 3 casos de volumen total de agua a transportar para las 3 capacidades de carrotanques que se manejan. En la siguiente tabla se describe las 3 capacidades de los carrotanques, el número de viajes que tendrían que hacer y el costo total del transporte.

Tabla 9. Costo total del transporte por camión cisterna.

Costo Para el Transporte Del Agua				
Capacidad (Bbl)	Capacidad a Transportar (Bbl)	Total De Viajes	Costo Por Viaje (COP)	Costo Total (COP)
88	81,000	921	220,000	202,621,000
	128,500	1,461	220,000	321,420,000
	176,000	2000	220,000	440,000,000
150	81,000	540	330,000	178,200,000
	128,500	854	330,000	281,820,000
	176,000	1174	330,000	387,420,000
251	81,000	323	600,000	193,800,000
	128,500	512	600,000	307,200,000
	176,000	702	600,000	421, 200,000

Fuente. Elaboración propia.

Al desarrollar y analizar la anterior tabla se evidencia que en los 3 casos de barriles de agua a transportar sale más rentable en carrotanques de capacidad de 150 bbl. Hay que tener en cuenta que al transportar con carrotanques de 150 bbl, el costo puede disminuir pero el número de viajes no es el óptimo. Si deseamos evaluar un parámetro importante como lo es el tiempo, se ve que para mayor optimización del tiempo se debe recurrir a los carrotanques de 251 bbl, los cuales tienen la menor cantidad de viajes posibles pero tiene un costo más elevado a comparación del

carrotanque con capacidad de 150 bbl. Los factores de tiempo, costo, sociales y ambientales se verán a mayor profundidad en el desarrollo de la matriz. El tiempo de adquisición de esta agua se ve afectada por la capacidad del carrotanque, la capacidad a transportar, el número de viajes y el tiempo de viaje aproximado. El tiempo de viaje aproximado se estimó asumiendo que los vehículos se movilizan a una velocidad 30 km/h en promedio. Por lo tanto el siguiente cuadro nos muestra la cantidad de días que se demoraría en transportar las capacidades manejadas, sin tener en consideración la logística o posibles tiempos de retraso por contingencias no previstas.

Tabla 10. Número de días para transportar el agua.

Tiempo Para el Transporte Del Agua					
Capacidad (bbl)	Capacidad a Transportar (bbl)	Número de Viajes	Tiempo de viaje aproximado (minuto)	Tiempo de viaje total (Minutos)	Tiempo de viaje total (días)
88	81,000	921	112	103152	72
	128,500	1,461	112	163632	114
	176,000	2,000	112	224000	156
150	81,000	540	112	60480	42
	128,500	854	112	95648	66
	176,000	1,174	112	131488	91
251	81,000	323	112	36176	25
	128,500	512	112	57344	40
	176,000	702	112	78624	55

Fuente: Elaboración propia.

3.4 DISPOSICIÓN FINAL

En las actividades de estimulación hidráulica es común que cuando inicien las actividades de producción, los fluidos utilizados como fluido de estimulación retornen a las facilidades (*flowback*), por tanto se debe tener un plan de manejo para estos residuos, para esto la ley colombiana establece mediante la resolución 9 0341 de marzo de 2014 que los fluidos provenientes del retorno de la estimulación hidráulica deben ser dispuestos junto con el agua de producción obtenida, para ello establece la disposición final por medio de un pozo disposal que conduzca las sustancias a una formación que no esté conectada con acuíferos o fuentes de agua aprovechable para consumo humano, de forma tal que los fluidos no migren hacia dichas fuentes o a otras formaciones, para tal fin la resolución establece ciertos parámetros que deben ser cumplidos, entre los cuales se encuentran:

3.4.1 Factores geológicos.

- “Estimación de la extensión lateral, porosidad y permeabilidad de la formación geológica de la formación”.²⁴
- Identificar las fallas presentes en el volumen de un cilindro conceptual que tiene como altura tres veces la profundidad final del pozo y cuyo radio sea de 3 veces la profundidad proyectada desde superficie de dicho pozo.
- “Cualquier evidencia histórica de sismicidad dentro de 16 km del pozo de inyección propuesto”.²⁵
- “Un well log del área indicando la profundidad y aislamiento de la zona de inyección y otras formaciones geológicas importantes”.²⁶
- Realizar y proveer un análisis de riesgo que contenga el riesgo posible de afectar acuíferos o que el fluido migre a otras formaciones que no están aprobadas para la inyección. Por otra parte debe incluir el potencial riesgo de causar sismicidad desencadenada por medio de interacción con fallas activas o cualquier referente de histórico de sismicidad en la región.

3.4.2 Requerimientos de construcción.

- Los revestimientos conductor y superficial deben estar cementados hasta superficie, el revestimiento superficial debe ir hasta una profundidad de 150 pies por debajo de la base del acuífero aprovechable para consumo humano más profundo.

3.4.2.1 Sistema de inyección.

- Sistema de tubería de inyección y empaques. Los empaques deben estar asentados a una distancia igual o menor a 100 pies sobre la zona de inyección además de contar con un espacio anular entre la tubería y el revestimiento, con el fin de monitorear la presión en la operación del pozo. Por otra parte el aislamiento de los fluidos inyectados debe realizarse mediante revestimientos cementados y centralizados ubicados a una altura igual o mayor a 300 pies por encima del tope de inyección.

²⁴ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA; Resolución 9 0341 de 2014; Año 2014; p. 13.

²⁵ Ibid.; p. 13.

²⁶ Ibid.; p. 13.

- Sistemas sin empaques. En este caso todos los revestimientos utilizados deben estar cementados hasta superficie.
- Sistema de *tie back*. Este caso utiliza colgadores de revestimiento y camisa de reconexión (*tie back*), la tubería que se ubica entre el empaque y la camisa de reconexión debe tener un espacio entre dicha tubería y el anular con el fin de realizar monitoreo de presión en el pozo.

3.4.3 Pruebas iniciales. Además de los requerimientos nombrados también se deben realizar pruebas de integridad a los revestimientos donde la presión de prueba es la misma presión con la cual se pretende realizar la inyección o con una presión no menor a 300 psi durante un periodo de 15 minutos, en los cuales la caída de presión no debe ser mayor al 5% de la presión inicial.

Así mismo que se verifica la integridad de la tubería que reviste el pozo, se deben realizar otras pruebas que verifiquen el estado del pozo, de manera que no existan fugas ni movimientos verticales de fluido (canalizaciones entre el cemento y el revestimiento), las formas de rectificar que estas situaciones no estén ocurriendo van desde trazadores hasta registros de cementación o de temperatura.

En caso de adaptar un pozo productor a uno de inyección se deben aislar las otras formaciones que tengan contacto con el pozo con el fin de evitar la propagación de los fluidos inyectados a otras formaciones, en caso de que el revestimiento superficial no haya sido cementado, el revestimiento más interno debe ser cementado hasta superficie. También se deben correr registros como el CBL que den certeza sobre el estado del cemento del pozo.

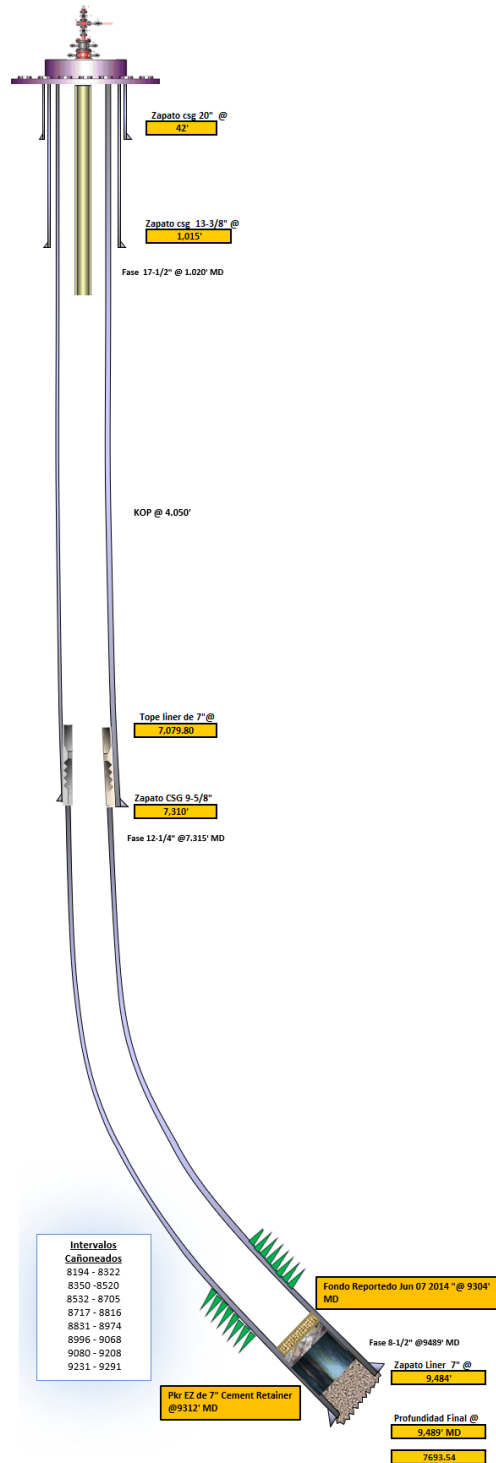
3.4.4 Costo de perforación. Para la evaluación económica de un pozo disposal los autores recurrieron a información por parte de la empresa Ecopetrol. Se evaluó el costo desde las operaciones de exploración hasta la fase final del completamiento para un pozo disposal. El campo de dicho pozo disposal por razones de confidencialidad no está disponible pero si pertenece a la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

El pozo cuenta con una profundidad medida (MD) de 9489 ft y una profundidad vertical verdadera (TVD) de 7694 ft. Fue perforado en 4 fases, la primera con diámetro de 20 in y profundidad de 42 ft, la segunda con diámetro de 13 $\frac{3}{8}$ in y profundidad de 1015 ft, la tercera fase perforada con diámetro de 9 $\frac{5}{8}$ in a una profundidad de 7310 ft y finalmente con diámetro de 7 in a una profundidad final de 9484 ft.

El costo de dicho pozo fue de 3,200,000 US\$ que en pesos colombianos asumiendo que el peso colombiano a comparación del dólar está en 3,102.45 COP igual a 1

US\$ está en 9,927,840,000 COP. Este valor es de gran importancia para posteriormente dar a comparación los modelos planteados y mirar cual es el óptimo. A continuación se muestra el estado mecánico con ciertas características del pozo disposal desarrollado en el Valle Medio del Magdalena.

Figura 8. Pozo disposal en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.



Fuente. Suministrado por ECOPETROL S.A. 2019.

Las fases de completamiento de este pozo disposal están disponibles en la **Tabla 11**

Tabla 11. Completamiento del pozo disposal.

REVESTIMIENTOS							
Casing	Diámetro	Peso (lb/ft)	Grado	Tope (ft)	Zapato (ft)	Drift	Capacidad
Conductor	20"	94	K-55	0.0'	42'	18.935	0.3553
Superficie	13 3/8"	68	K-55	0.0'	1,015'	12.259	0.1497
Intermedio	9 5/8"	47	P-110	0.0'	7,310'	8.525	0.0732
Liner	7"	29	P-110	7,079.8'	9,484'	6.059	0.0371
INTERVALOS CAÑONEADOS							
Fecha	Formación	Tiro por pie	Tope (ft)	Base (ft)	Tipo Carga	Condición	Longitud* (ft)
24-jul-12	K2	12	8,150'	8,160'	TAG 3375-311	CERRADO	10'
24-jul-12	KI INF	12	7,630'	7,640'	TAG 3375-311	CERRADO	10'
10-jun-14	K2	12	8,194'	8,322'	Millenium HMX	Abierto	128'
10-jun-14	K2	12	8,350'	8,520'	Millenium HMX	Abierto	170'
10-jun-14	K2	12	8,532'	8,705'	Millenium HMX	Abierto	173'
10-jun-14	K2	12	8,717'	8,816'	Millenium HMX	Abierto	99'
10-jun-14	K2	12	8,831'	8,974'	Millenium HMX	Abierto	143'
10-jun-14	K2	12	8,996'	9,068'	Millenium HMX	Abierto	72'
10-jun-14	K2	12	9,080'	9,208'	Millenium HMX	Abierto	128'
10-jun-14	K2	12	9,231'	9,291'	Millenium HMX	Abierto	60'

Fuente. Suministrado por ECOPELROL S.A. 2019.

El pozo tuvo una duración desde la perforación hasta el completamiento de 31 días, iniciando operaciones el 1 de julio del 2012 hasta el 31 de julio del 2012. Este será el tiempo aproximado que los autores utilizaran para la construcción de un pozo disposal en el Valle Medio del Magdalena. Este valor puede variar dependiendo de muchos factores como lo son: la profundidad objetivo, los estudios geológicos, el tipo de formación, los tiempos no operativos que puedan ocurrir por fallas en el equipo, fallas operativas, entre otros.

El pozo que se encuentra en el Campo Tisquirama tiene un caudal otorgado por el ANLA de 3587 bbl/día, por tanto el tiempo que tarda en disponer esta agua se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 12. Tiempo de disposición final.

Caso	Volumen (bbl)	Flowback	Tasa de flujo (gpm)	Tiempo (días)	Tiempo total (días)
1	81000	5%	104	1.129	32
		50%		11.291	42
2	128500	5%		1.791	32
		50%		17.912	48
3	176000	5%		2.453	33
		50%		24.533	55

Fuente. Elaboración propia.

El tiempo es el total de días que tarda el pozo en disponer el agua generada por el *flowback* y el tiempo total es la sumatoria del tiempo que se demora en perforar y disponer toda el agua procedente de la formación. El agua de retorno se encuentra entre el 5 y 50% del agua inyectada para generar la fractura.²⁷

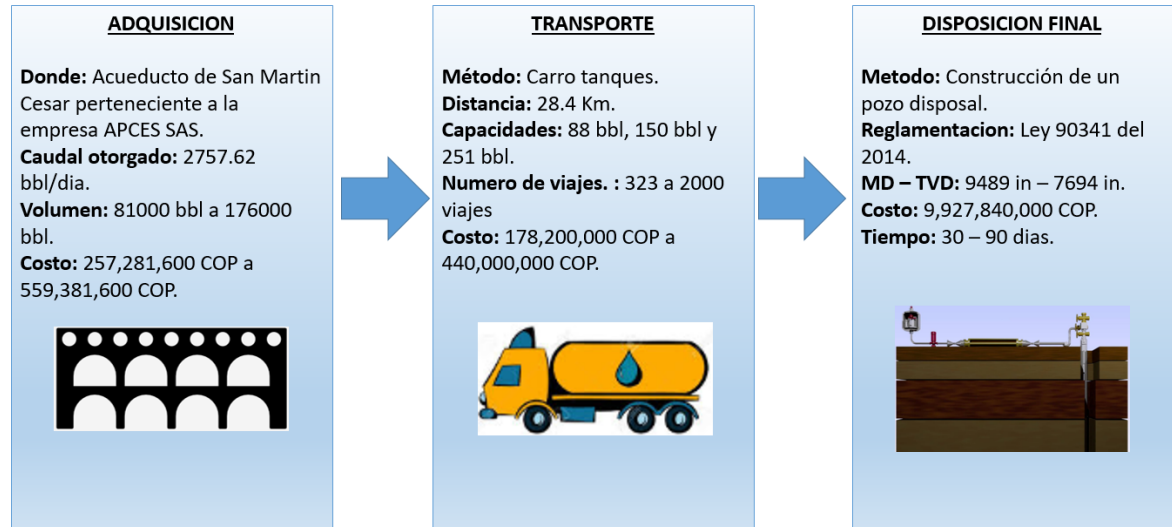
3.5 ESQUEMA BÁSICO DEL MODELO

A continuación se presenta la adquisición, el transporte y la disposición final del agua mediante un modelo de ingeniería conceptual el cual será utilizado por Conoco-Phillips para la estimulación hidráulica en roca generadora. Hay que tener en cuenta que posteriormente se hará la comparación entre este modelo y el modelo propuesto por los autores mediante una matriz de selección mirando aspectos, ambientales, sociales, costos y tiempo.

²⁷ O. VAZQUEZ, R. Mehta et al; Post-frac Flowback Water Chemistry Matching in a Shale Development; SPE; 2014; p. 1.

Figura 9. Esquema básico del modelo de Conoco-Phillips.

Modelo de Conoco-Phillips



Fuente. Elaboración propia.

4. PROPIEDADES DEL AGUA EN EL CAMPO TISQUIRAMA

En este capítulo se presentan las propiedades fisicoquímicas del agua excedente del Campo Tisquirama, dichas propiedades son: pH, temperatura, alcalinidad, cloruros, entre otros. También se identifica la cantidad de agua vertida en este campo.

En el Campo Tisquirama como en la mayoría de los campos en Colombia hay una producción de agua bastante amplia. Esta agua de formación es utilizada para dos factores; uno de ellos siendo para la inyección de agua en el campo y la segunda con el fin de disponerla a un río o a una zona subterránea mediante un pozo disposal. Para este proyecto los autores solamente tomarán en cuenta el agua que se utiliza para el vertimiento en dicho campo, ya que el objetivo será utilizar esta agua para un mayor beneficio, en este caso, para la estimulación hidráulica en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips.

4.1 ANÁLISIS DEL SUELO

En el Decreto 050 del 16 de enero de 2018 emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) establece las diferentes propiedades que deben ser caracterizadas para realizar vertimientos tanto en la línea base del suelo como en el subsuelo, por tanto, los parámetros para cada tipo de vertimiento son distintos. Los parámetros que debe cumplir la zona en que se va a verter son enunciados en el siguiente apartado.

4.1.1 Línea base del suelo. Los parámetros que deben ser tenidos en cuenta están a continuación.

- Físicas: “Estructura, color, humedad, permeabilidad, consistencia, macro y micro porosidad, plasticidad, conductividad, compactación, conductividad hidráulica, densidad real, profundidad efectiva, temperatura, densidad aparente, textura e infiltración.”²⁸
- Químicas: “Nitrógeno, fósforo y potasio disponible, pH, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, potencial de óxido reducción, sodio y aluminio intercambiables, saturación de aluminio, saturación de bases, carbono orgánico, grasas y aceites, hierro, arsénico, selenio, bario, cadmio, mercurio, plomo y cromo.”²⁹

²⁸ COLOMBIA. MADS; Decreto 050 16 de enero de 2018; p. 6.

²⁹ Ibid.; p. 6.

- Biológicas: “Cuantificación de microorganismos fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosfato, bacterias y actinomicetos, hongos y celulíticos aerobios, cuantificación de microorganismos del ciclo del nitrógeno”.³⁰

4.1.2 Línea base del agua subterránea. En primer lugar se debe tener puntos para realizar muestras tanto aguas arriba como aguas abajo, esto en el sentido del flujo, mínimo se debe contar con tres de estos puntos de muestreo, como se mencionó antes, los parámetros tenidos en cuenta para realizar este tipo de vertimiento son distintos, a continuación se hace mención de dichos parámetros.

- Nivel: Nivel freático o potenciométrico.
- Físicoquímicas: Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales.
- Químicas: Acidez, Alcalinidad, calcio, sodio, potasio, magnesio, nitrato, nitritos, cloruros, sulfatos, bicarbonato fosfatos, arsénico, selenio, bario, cadmio, mercurio, plomo, cromo, hierro total, aluminio, dureza total, DBO, DQO, grasas y aceites.³¹
- Microbiológicas: Coliformes totales y coliformes fecales.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Ya que se conocen de forma específica las cualidades que debe tener el suelo en que se va a verter el agua es necesario conocer cuáles son los parámetros mínimos permitidos del agua que llegará a estas zonas, para ello se hace uso de la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, la cual establece las propiedades que deben tener los vertimientos en el sector petrolero.

³⁰ Ibid.; p. 6.

³¹ Ibid.; p. 7.

Tabla 13. Propiedades del agua de vertimiento en sector de hidrocarburos.

PARAMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Generales						
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,00	180,00	400,00	180,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,00	60,00	200,00	60,00	60,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSSED)	mL/L	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Tabla 13. (Continuación)

PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
 Hidrocarburos						
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Compuestos de Fósforo						
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Ortofosfatos (P ₂ O ₅)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Compuestos de Nitrógeno						
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	10,00	10,00	10,00 o 40,00 si en el proceso de refino se incluyen actividades de hidrogenación	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
IONES						
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cianuros (C ⁻)	mg/L	1.200,00	1.200,00	500,00	250,00	250,00
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300,00	300,00	500,00	250,00	250,00
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Metales y Metaloides						
Arsénico (As)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Bario (Ba)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Hierro (Fe)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,01	0,01		
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20	0,10		
Selenio (Se)	mg/L	0,20	0,20	0,20		
Vanadio (V)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte						
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color - Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 435 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente. MADS; Resolución 0631 del 17 de marzo de 2018; pp. 12 y 13.

4.2.1 Agua del Campo Tisquirama-San Roque. Para la caracterización del agua de formación excedente los autores utilizarán un informe del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la estación Santos, sacada del proyecto “PMAI Provincia, Bonanza, Tisquirama San Roque”. Se toma en cuenta esta información ya que para el objetivo de este proyecto se deben conocer las propiedades del agua de formación excedente en el momento que se le hace el vertimiento, es decir, no es de gran importancia conocer las propiedades fisicoquímicas con las que sale el agua del yacimiento.

En Colombia para desarrollar la actividad de vertimiento se debe tener en cuenta las normas y leyes que rigen este parámetro, esto dependerá de la zona en donde se encuentra el agua, la cantidad de agua deseada a verter, las características que deba tener el agua para dicho proceso y el permiso que se le otorgue a la empresa por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). En la estación Santos el decreto que utiliza Ecopetrol es el decreto 1594 de 1984 específicamente los artículos 72 y 74, en donde se especifica las propiedades fisicoquímicas que deberá tener el agua para desarrollar un vertimiento aprobado.

El artículo 72 nos habla de las características como el pH, temperatura, material flotante, grasas y aceites y la demanda bioquímica de oxígeno que deberá tener un cuerpo de agua para cumplir con el vertimiento. Por otro lado, el artículo 74 da a conocer las concentraciones para el control de la carga de sustancias como arsénico, bario, cadmio, entre otros para desarrollar el vertimiento de manera adecuada.

En la siguiente tabla se evidencian las propiedades a la cual entra el agua de formación al separador api, las características de las cuales sale de la piscina de oxidación y los intervalos que debe tener cada propiedad para que sea vertida adecuadamente bajo el decreto 1594/84, artículos 72 y 74.

Tabla 14. Propiedades del agua en el Campo Tisquirama.

		ESTACION 1 SANTOS								DECRETO 1594/84 ARTI. 72 Y 74
		ENTRADA AL SEPARADOR API				SALIDA PISCINA DE OXIDACION				
		1-COMPUESTA	2-COMPUESTA	3-COMPUESTA	PROMEDIO	1-COMPUESTA	2-COMPUESTA	3-COMPUESTA	PROMEDIO	
COMPONENTE	FECHA DE MUESTREO	12-Mar-14	12-Mar-14	13-Mar-14		12-Mar-14	12-Mar-14	13-Mar-14		
Componente	unidad	12-Mar-14	12-Mar-14	13-Mar-14	PROMEDIO	12-Mar-14	12-Mar-14	13-Mar-14	PROMEDIO	
CAUDAL	L/s	0.93	0.44	0.46	0.61	0.78	0.4	0.42	0.53	NR
PH/T	Uni. pH	7.66/32.4	7.75/33.3	7.66/32.2	7.69/32.6	8.45/31.8	8.57/31.8	8.45/30.5	8.49/31.4	5.0-9.0
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	32.4	33.3	32.2	32.6	31.8	31.8	30.5	31.4	≤40
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	30.9	30.8	28.3	30	30.9	30.8	28.3	30	NR
ALCALINIDAD TOTAL	mg CaCO ₃ /L	257	343	361	320	255	250	251	252	NR
CLORUROS	mg Cl-/L	2013	1973	1970	1985	2258	2174	2193	2208	NR
CONDUCTIVIDAD	uS/cm/°C	6820/25.0	6700/25.0	6680/25.0	6733/25.0	7730/25.0	7030/25.0	7040/25.0	7100/25.0	NR
DBO5	mg O ₂ /L	561	320	196	359	44.6	41.1	38.4	41.4	≥20% RC
DQO	mg O ₂ /L	960	802	762	841	284	263	260	269	NR
FENOLES	mg/L	0.33	0.37	0.38	0.36	0.16	0.11	0.13	0.13	0.2
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	<.10	<.10	<.10	<.10	<.10	<.10	<.10	<.10	NR
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	97.2	61.2	78.2	78.9	11.4	7.64	7.24	8.76	≥50% RC
SULFATOS	mg SO ₄ =/L	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	NR
SULFUROS	mg S-2/L	4.54	1.53	2.52	2.86	<1	<1	<1	<1	1
NR: NO REPORTA	RC: REMOCION EN CARGA									

Fuente. Informe de cumplimiento por ECOPETROL S.A. en marzo de 2014.

4.2.2 Comparación del agua de producción del Campo Tisquirama con el agua requerida para la estimulación hidráulica en roca generadora. A continuación se presentará si las propiedades fisicoquímicas de vertimiento cumplen con las propiedades fisicoquímicas de estimulación. Hay que tener en cuenta que algunas propiedades deberán ser tratadas mediante unos aditivos para lograr transformar dicha agua a agua de estimulación hidráulica.

Tabla 15. Comparación de parámetros.

Parámetro	Límite		Agua de Vertimiento
	Halliburton	Weatherford	
pH	6 a 8	6 a 8	6 a 9
Temperatura, °F	40 – 100	104	88.52
Bicarbonatos y Carbonatos, ppm	< 300 ppm	No Reporta	No Reporta
Hierro, ppm	< 10 ppm	< 1 ppm	No Reporta
Fosfatos, ppm	< 5ppm	No Reporta	No Reporta
Dureza, ppm	< 2000 ppm	< 200 ppm	Analisis y Reporte
Sulfatos, ppm	< 1000 ppm	No Reporta	< 4
Gravedad específica	< 1.038	No Reporta	No Reporta
Sólidos	TDS < 50000	No Reporta	50
Bacterias	< 10 ⁵ / mL	No Reporta	No Reporta
Bario, ppm	No Reporta	No Reporta	No Reporta
Cloruros, ppm	No Reporta	< 250 ppm	250 ppm
Turbidez, NTU	No Reporta	< 10 NTU	No Reporta
Conductividad	No Reporta	< 2 mS/cm	7100 uS/cm
Alcalinidad	No Reporta	< 300 ppm	252 ppm

Cumple No cumple

Fuente. Elaboración propia.

Se evidencia que gracias a los parámetros mínimos requeridos por las empresas Halliburton y Weatherford para la estimulación hidráulica en yacimientos convencionales y los permisos de vertimiento de aguas, se cumple con 6

propiedades y solo 1 propiedad no cumple, las demás están sujetas a otro tipo de evaluación.

4.3 CANTIDAD DE AGUA DISPUESTA

Para los volúmenes de agua excedente en el Campo Tisquirama los autores se basaron de un permiso de vertimiento por parte del ANLA ubicado en el proyecto PMAI Provincia, Bonanza, Tisquirama San Roque, en donde informa que para este campo existen tres (3) puntos de vertimiento a cuerpos de aguas superficiales autorizados. El primero de ellos es el Caño NN afluente al Caño La Pola, el cual tiene un caudal otorgado de 0.95L/s que son aproximadamente 517bbl/día, siendo este el menor caudal otorgado entre los 3 puntos de vertimiento. El segundo punto de vertimiento que se le dio a este campo es el de la Quebrada Caimán el cual tiene un caudal de vertimiento otorgado de 1.3L/s que son aproximadamente 707bbl/día. Los dos puntos de vertimiento mencionados anteriormente se encuentran localizados en La Vereda Pueblo Nuevo en el Municipio de San Martin, Departamento de Cesar. Finalmente, el tercer punto de vertimiento para el Campo Tisquirama es el Caño Calarcá, el cual tiene un caudal otorgado de 1.3L/s que son aproximadamente 707 bbl/día, este punto de vertimiento corresponde a la Vereda Torcorama del Municipio de San Martin en el Departamento del Cesar.

En la siguiente tabla se evidencian los puntos de vertimiento asignados al Campo Tisquirama con su respectiva ubicación y el volumen otorgado.

Tabla 16. Permisos otorgados para vertimiento.

Permisos de Vertimientos Para el Campo Tisquirama			
Punto de Vertimiento	Caudal Otorgado		Localización
	L/s	Bbl/día	
Caño NN afluente al Caño La Pola	0.95	517	Vereda Pueblo Nuevo, Municipio de San Martin, Departamento de Cesar
Quebrada Caiman	1.3	707	Vereda Pueblo Nuevo, Municipio de San Martin, Departamento de Cesar
Caño Calarcá	1.3	707	Vereda Torcoroma, Municipio de San Martin, Departamento de Cesar
Total	3.55	1931	

Fuente. ECOPETROL S.A. Informe de Cumplimiento. marzo de 2014.

En el Campo Tisquirama se evidencia que hay un permiso de vertimiento otorgado para el agua de formación excedente y el caudal autorizado para permitir este vertimiento es de 6.6L/s que son aproximadamente 3587 bbl/día que se están desechando sin ningún beneficio alguno. En la siguiente figura se evidencia lo anteriormente mencionado:

Tabla 17. Permiso de vertimiento disposal en el Campo Tisquirama.

Permisos de Vertimientos Otorgados			
Identificador Del Vertimiento	Numero de Resolución Que Aprueba El Vertimiento	Caudal Autorizado	
		L/s	Bbl/día
1	857	6.6	3587

Fuente. ECOPEPETROL S.A. Informe de Cumplimiento. marzo de 2014.

Como se puede observar en la **Tabla 16** y la **Tabla 17** se logra concluir que en total hay 5518 bbl/día de agua de formación excedente en el Campo Tisquirama. Como se puede evidenciar la reutilización de esta agua es nula, ya que solo la vierten en aguas superficiales o subterráneas sin ningún beneficio. Los autores utilizaran estas cantidades de agua para el desarrollo del modelo de ingeniería propuesto para ser utilizada en la estimulación hidráulica en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips y que se evidencie una reutilización optima de ella.

5. MODELO PROPUESTO POR LOS AUTORES

En este capítulo se abarca el diseño del modelo hidráulico que transportará el agua a través de una línea de flujo desde las facilidades del Campo Tisquirama hasta el Campo VMM3.

5.1 ADQUISICIÓN

Para adquirir el agua a diferencia del modelo de Conoco-Phillips, ésta se obtiene del agua residual del Campo Tisquirama, los caudales que son vertidos a diferentes puntos de vertimiento están enunciados en el capítulo 4, dichos volúmenes serán utilizados por Conoco-Phillips para generar fluido de fracturamiento hidráulico, para ello la ley colombiana permite la reutilización del agua bajo la resolución 1207 de 2014 que estipula lo siguiente:

- Para reusar el agua se deben tener en cuenta las partes, por un lado se encuentra el Generador (usuario generador del agua residual tratada), por otra parte está el Receptor (usuario receptor del agua residual tratada), en caso de que las partes sean la misma empresa, entonces se debe modificar la Concesión de Aguas, en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) o en la Licencia Ambiental. Si las partes son diferentes entonces el Usuario Receptor debe obtener la Concesión de Aguas o la modificación pertinente del PMA o la Licencia Ambiental.
- El suministro requerido para satisfacer la Concesión está sujeto a la disponibilidad del Usuario Generador (UG), sólo el UG es responsable por garantizar la cantidad del agua.
- En ninguna circunstancia el UG puede cobrar por las cantidades aportadas al Usuario Receptor (UR), para efectos de aprobación se debe delimitar el área en el cual se va a desarrollar el proyecto. En materia de calidad del agua para reúso, los estándares para su utilización deben ser garantizados por el UR, de acuerdo con lo aprobado en la concesión de aguas.
- De otra manera si la cantidad requerida equivale a la totalidad del agua residual producida por el UG entonces, éste no debe pagar la Tasa Retributiva por la utilización de los puntos de vertimiento, en caso contrario (entrega parcial) se debe ajustar el cobro de acuerdo con el Permiso de Vertimientos.

De esta manera tanto ECOPETROL S.A. y Conoco-Phillips obtienen beneficios por la reutilización de estos volúmenes, el volumen total que es aportado a diario por ECOPETROL es de 5518 bbl/día.

Como se menciona anteriormente el costo del agua para Conoco-Phillips es nulo, la cantidad de agua que ECOPETROL S.A. deja de verter oscila entre el 95% y el 50% del agua empleada en ello, por tanto la variable que cabe resaltar es el tiempo de entrega del agua, en la siguiente tabla se observa el tiempo estimado en que el agua es captada.

Tabla 18. Tiempo aproximado de captación del agua.

Caso	Volumen (bbl)	Caudal (bbl/día)	Tiempo (día)
1	81000	5518	14.6792316
2	128500	5518	23.287423
3	176000	5518	31.8956144

Fuente. Elaboración propia.

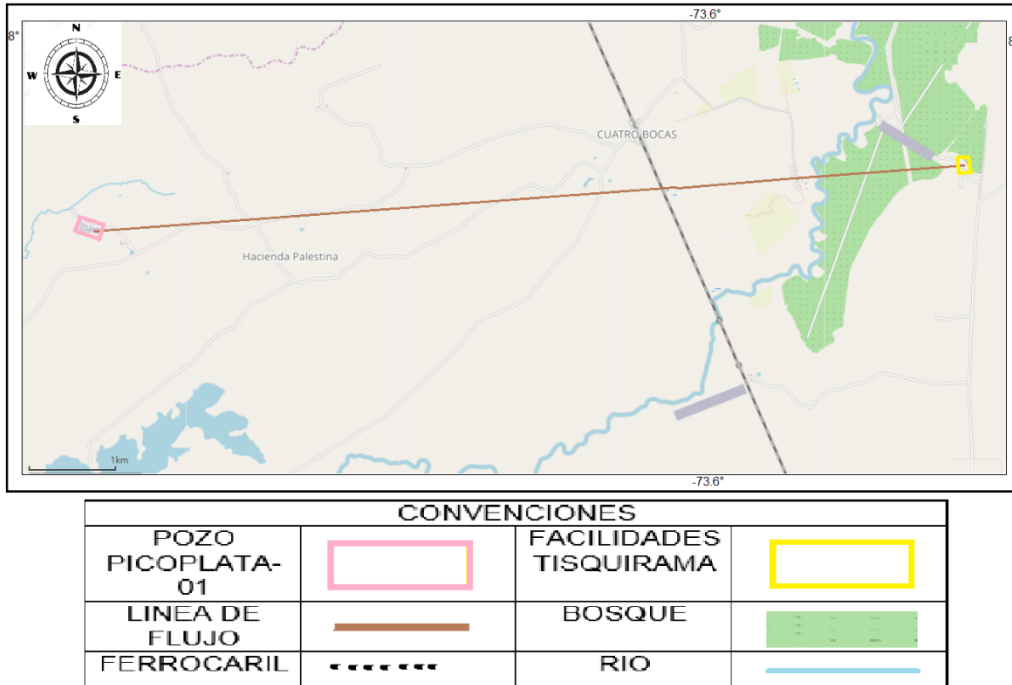
5.2 TRANSPORTE

En este segmento se aborda la temática del transporte del agua adquirida del Campo Tisquirama-San Roque, para ello se implementa una línea de flujo que conecte ambas facilidades.

5.2.1 Diseño de la línea de flujo. En este apartado se abordan los diferentes aspectos que intervienen en el diseño de la línea de conducción del agua entre ambos campos.

5.2.1.1 Trazado de la línea de flujo. El trayecto de la línea hidráulica es en línea recta, la distancia que separa ambos puntos es de 10 km aproximadamente, en la siguiente ilustración se puede observar la trayectoria mencionada.

Figura 10. Trayectoria trazada para la línea de flujo.



Fuente. BANCO DE INFORMACIÓN PETROLERA, Campos Tisquirama-San Roque y VMM3. Modificado por los autores. 2019.

Se puede observar que la línea de flujo atraviesa un total de 4 vías alternas, un río y una ferrovía, en la siguiente tabla se establecen las distancias a las que se encuentra cada intersección, las medidas son tomadas desde las facilidades del Campo Tisquirama.

Tabla 19. Intersecciones de vías y ríos con la línea de flujo.

Intersección	Distancia (km)
Río	1.5
Ferrovía	3.26
Vía 1	4
Vía 2	5.4
Vía 3	6.91
Vía 4	8.07

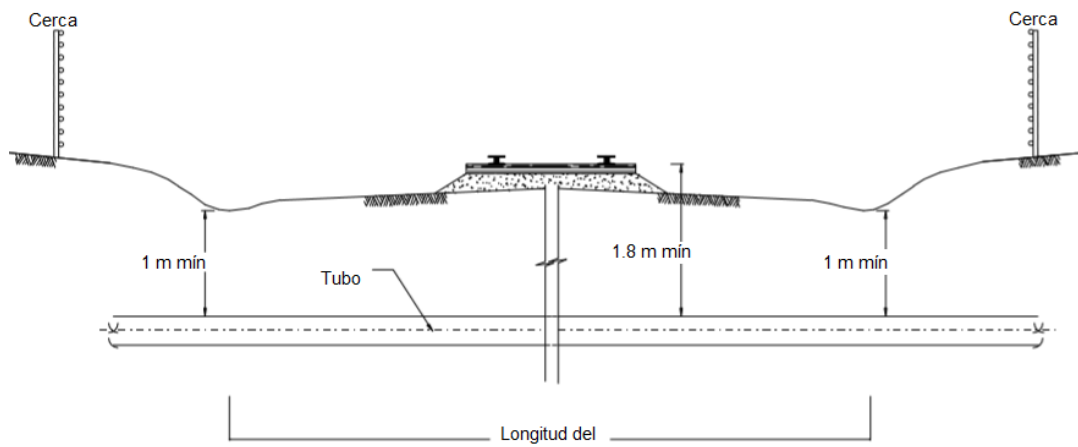
Fuente. Elaboración propia.

Por tanto para atravesar dichas intersecciones se deben seguir las normas NIO 0900, NIO 0901 y NIO 0903, la Norma NIO 0900 trata sobre los pasos especiales, los pasos especiales de la tubería que conciernen a este proyecto son los cruces

de carreteras y los cruces de corrientes para lo cual nos remite a las normas NIO 0901 y la NIO 0903 respectivamente.

En la Norma NIO 0901 se establecen tres tipos de cruces a vías, el primero hace mención cuando el ducto atraviesa una vía principal, el segundo tipo de intersección que trata es el cruce con una ferrovía, para la cual establece que se debe realizar el cruce por el método de excavación, siguiendo este modelo.

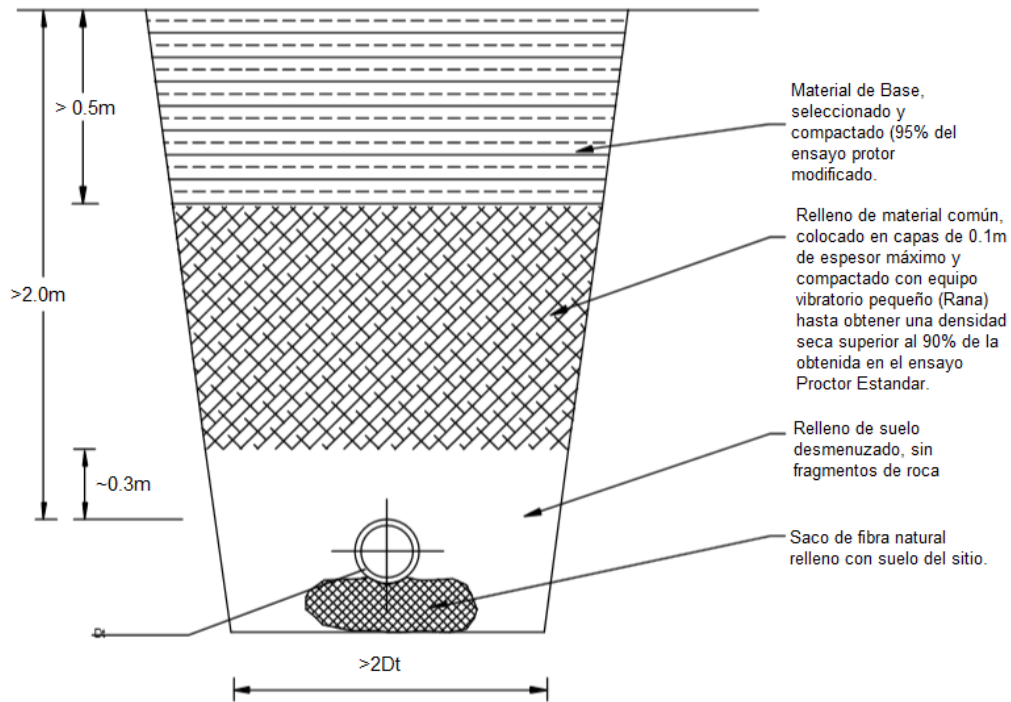
Figura 11. Esquema de cruce de una ferrovía.



Fuente. ECOPEPETROL S.A. Norma NIO 0901, 1997.

Por otra parte estas normas establecen que el cruce por vías secundarias o terciarias, las cuales componen la malla vial de carreteras intermunicipales, caminos vecinales y carreteras veredales con afirmado. Este tipo de intersección puede realizarse a zanja abierta, el terminado debe ser igual o mejor al preexistente antes del realizar el trabajo, el esquema que establece el procedimiento para dicho cruce se visualiza en la siguiente ilustración.

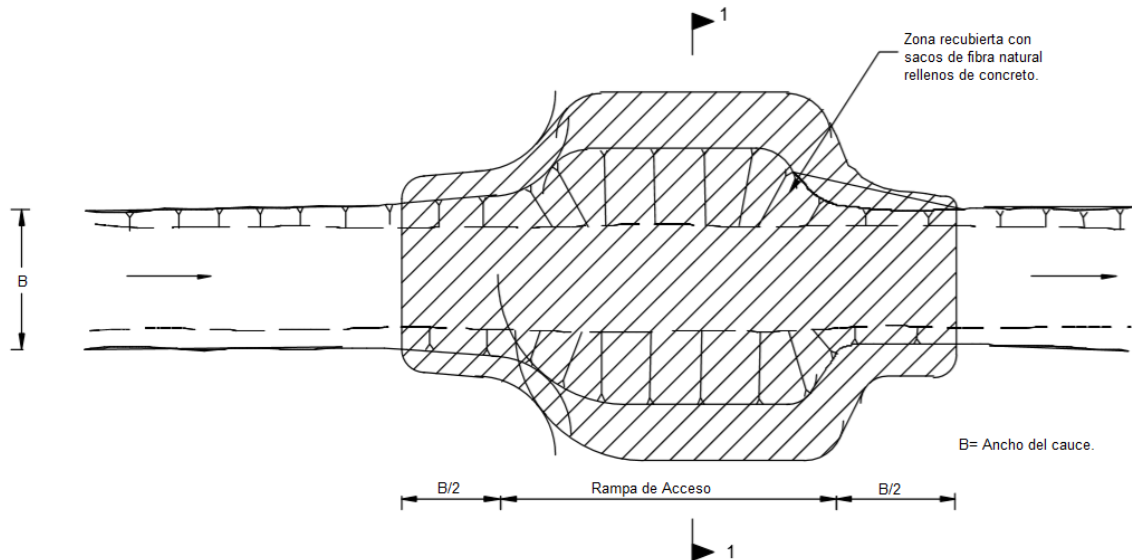
Figura 12. Esquema del relleno para cruces de vías secundarias.



Fuente. ECOPETROL S.A. Norma NIO 0901. 1997.

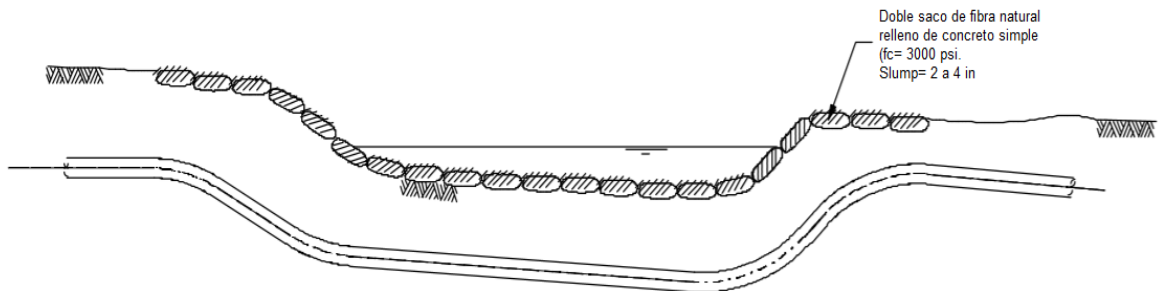
Por otro lado se debe realizar el cruce del Río (nombre del río), la norma divide estos tipos de cauces en tres, los primeros son los cuerpos de agua principales los cuales deben tener un ancho de cauce superior a 30 m y el caudal promedio debe ser superior a 20 m³/seg, los segundo cuerpos de agua son considerados secundarios los que tengan un ancho de cauce entre 10 y 30 m y su caudal promedio permanente es de 5 m³, por último las fuentes menores son otros cuerpos hídricos diferentes de los ríos y quebradas a los cuales se hizo alusión anteriormente. Para realizar el cruce la norma NIO 0903 establece el debido procedimiento, en este caso el modelo debe atravesar un afluente (Quebrada Caimán) con un ancho de cauce 4 m, el caudal promedio permanente no es necesario, por lo tanto el siguiente esquema muestra los parámetros que deben cumplirse.

Figura 13. Esquema del cruce de un cuerpo de agua menor (vista de planta).



Fuente. ECOPEL S.A. Norma NIO 0903. 1997.

Figura 14. Esquema del cruce de un cuerpo de agua menor (vista de perfil).



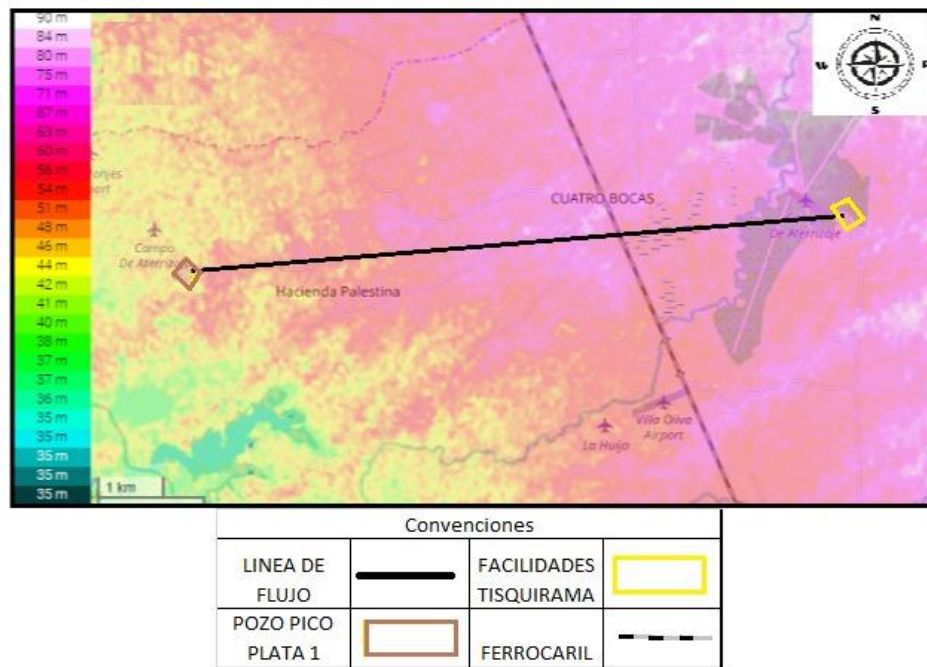
Fuente. ECOPEL S.A. Norma NIO 0903. 1997.

5.2.1.2 Perfil topográfico. Este trayecto tiene unas condiciones de terreno, entre las cuales se encuentra el perfil topográfico, según la memoria explicativa de las planchas 86 y 97 (Abrego y Cáchira) en las cuales dividen la zona en tres regiones topográficas bien definidas, la primera es considerada de perfil plano, en la cual el perfil puede variar de 75 m hasta 150 m, se encuentra en la parte occidental, la segunda región se encuentra en la parte central de las planchas mencionadas, en ellas se establece que el perfil es semi-abrupto debido a que se encuentran las estribaciones de la cordillera, las pendientes allí registradas no son muy fuertes y van de 200 m hasta 600 m de altura. Por último la tercera región se considera de

topografía abrupta, ya que las inclinaciones presentes oscilan entre los 600 m y los 3.800 m.³²

El proyecto se desarrolla en la primera zona descrita, donde la variación de la altura se puede observar en la siguiente figura.

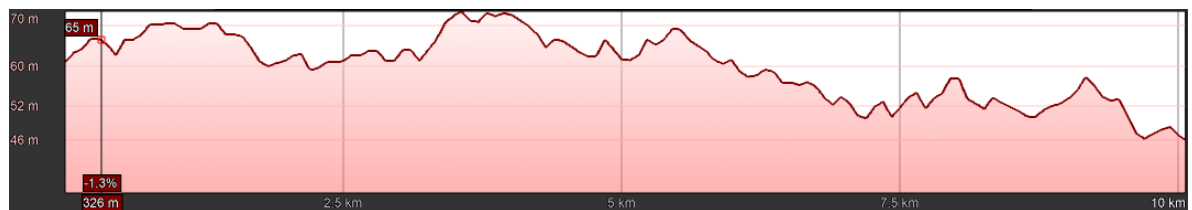
Figura 15. Mapa topográfico.



Fuente. GOOGLE MAPS. Mapa topográfico de Colombia. Campos Tisquirama-San Roque y VMM3. Modificado por los autores. 2019.

El perfil topográfico que obedece al anterior mapa corresponde a la siguiente figura.

Figura 16. Perfil topográfico.



Fuente. Google Earth. Herramienta de perfil topográfico. Campos Tisquirama y VMM3. 2019.

³² ARIAS TAUTA, Alfonso y VARGAS HIGUERA, Rodrigo; Geología de las planchas 86 Abrego y 97 Cáchira, Memoria Explicativa, 1978; p. 7.

Se puede observar en este perfil topográfico que el trayecto no presenta variaciones bruscas de altura, ya que los cambios de pendiente oscilan entre 0% y 2.368% (se encuentra disponible en el ANEXO B), por tanto el perfil obedece a una zona llana.

5.2.1.3 Metodología del diseño del modelo. En primera instancia se obtiene el caudal que debe ser transportado por día, dicho caudal corresponde a 5518 bbl/día (cantidad vertida por ECOPETROL S.A.), por otra parte, según Crane³³ la velocidad máxima recomendada para el agua en sistemas de bombeo y succión es de 2.1 metros por segundo (m/s). Para conocer el diámetro de tubería que permite llevar ese caudal a esa velocidad se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 1

$$D_{\text{interno}} = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * Vel}}$$

Fuente. Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde D_{interno} es el diámetro interno de la tubería (m).

Q es el caudal requerido. (m³/seg)

Vel es la velocidad del fluido (m/seg)

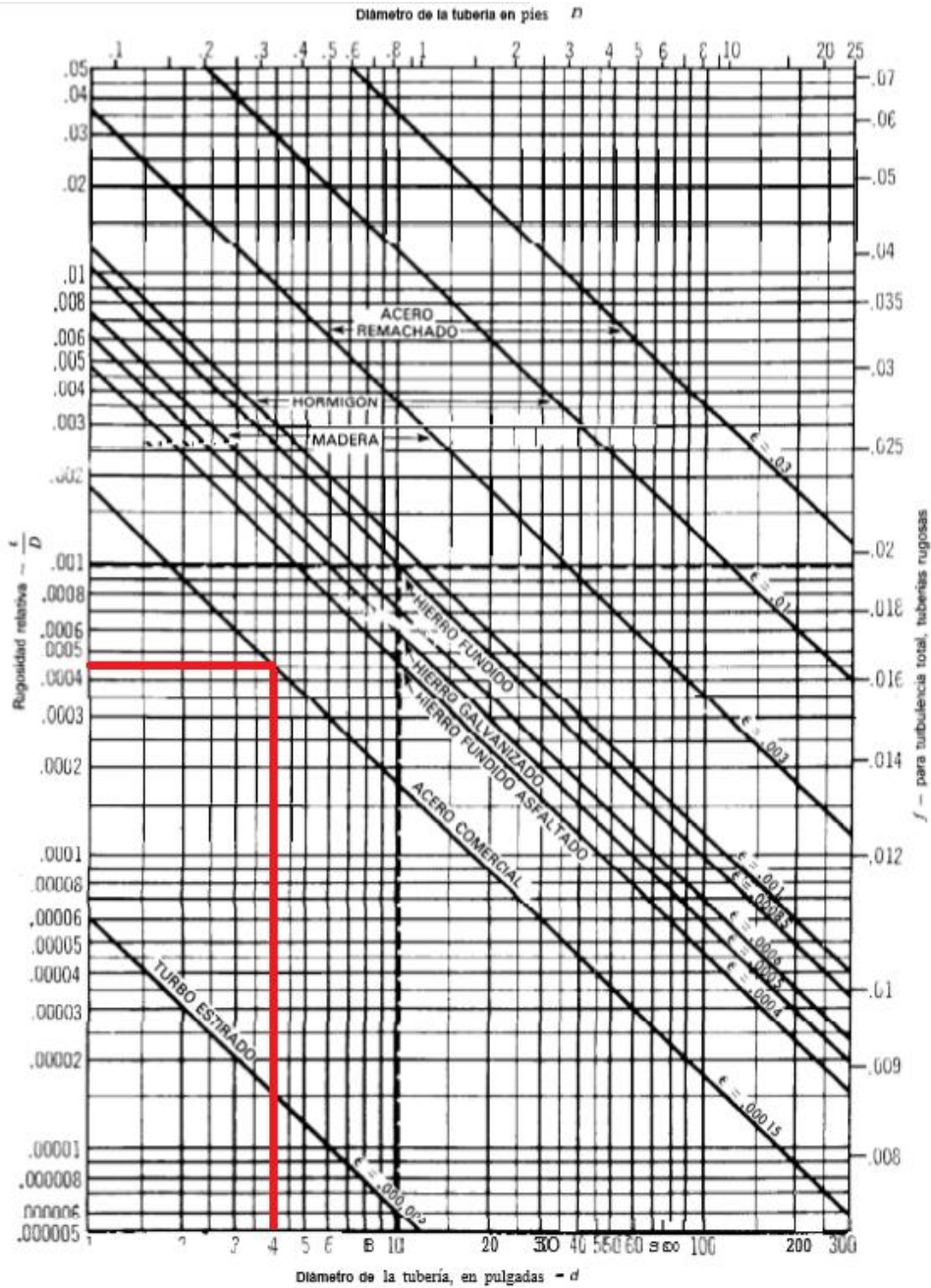
π es el número pi.

El diámetro interno teórico es 3.08 pulgadas, comercialmente el diámetro que es fabricado es de 4 pulgadas, por tanto, la velocidad debe ser modificada para mantener el caudal a transportar, despejando de la ecuación anterior la velocidad, ésta es usada en adelante para efectuar los demás cálculos pertinentes al diseño de esta línea de flujo, la velocidad del fluido en la línea es de 1.25 m/s.

La tubería utilizada en este diseño es la API 5L X42, como fue descrita es una tubería de acero al carbón, es importante conocer la rugosidad específica, para ello el siguiente diagrama.

³³ CRANE; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías; p. 3-10

Figura 17. Diagrama de la rugosidad de acuerdo con el material.



Fuente. Modificado de Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. 2019.

La rugosidad leída corresponde a 0.00045, por otra parte es necesario conocer el régimen de flujo en el cual se encuentra el agua a las condiciones mencionadas, para ello es necesario conocer las propiedades del agua que será transportada, en

el capítulo pertinente a las propiedades del agua del Campo Tisquirama-San Roque conocemos que la temperatura en las piscinas de tratamiento es de 32°C, para determinar el régimen de flujo del agua es preciso saber el número de Reynolds, dicho número está definido por la siguiente ecuación.

Ecuación 2

$$Re = \frac{\rho * Vel * D}{\mu}$$

Fuente. Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde μ es la viscosidad dinámica (kg/(m*s)).

D corresponde al diámetro interno de la tubería (m).

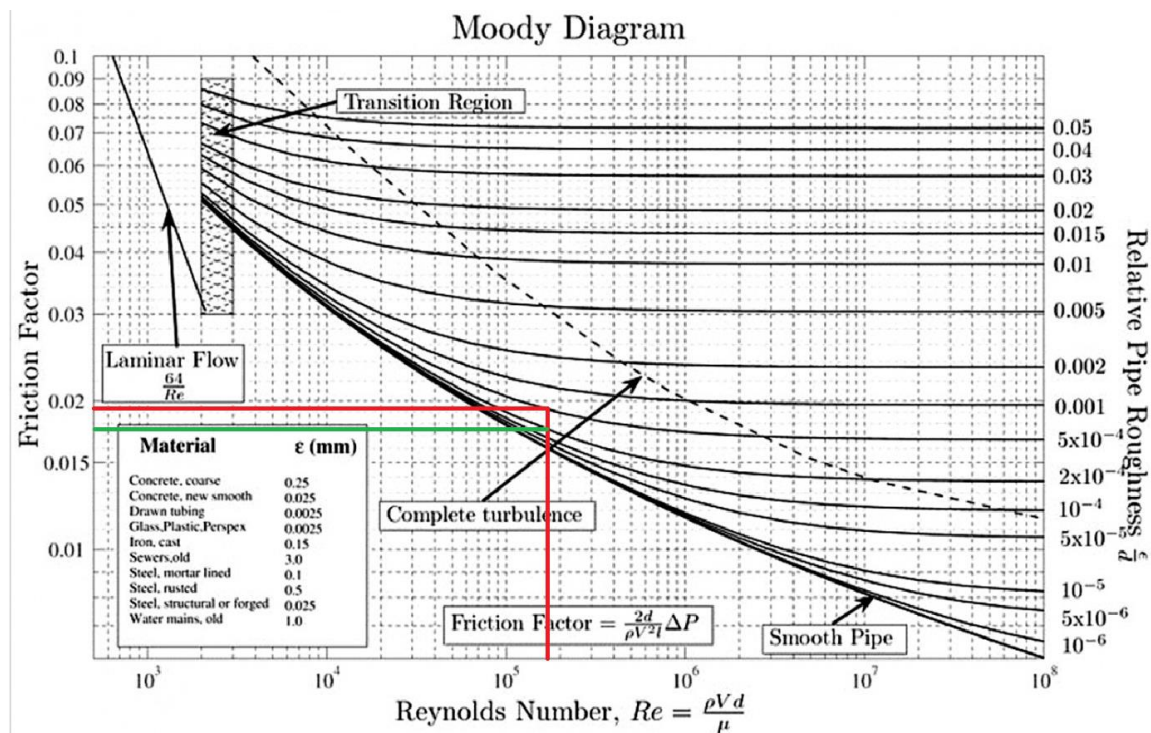
ρ corresponde a la densidad del fluido (kg/m³).

Vel es la velocidad del fluido (m/seg).

Re es el número de Reynolds (adimensional).

La densidad y viscosidad varían directamente con respecto a la temperatura, por tanto, los valores corresponden respectivamente a 994.9 Kg/m³ y 7.64x10⁻⁴ kg/(m*s). El Reynolds calculado tiene un valor de 165,699, con esos valores y el diagrama de Moody se determina el factor de fricción.

Figura 18. Diagrama de Moody.



Fuente. Modificado de Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. 2019.

En este se diagrama el valor de la rugosidad deseada se encuentra comprendida entre las curvas de 2×10^{-4} y la de 5×10^{-4} , de manera que se realiza una interpolación para hallar el valor deseado, el valor obtenido para el factor de fricción es de 0.018667, dicho factor es utilizado en la siguiente ecuación.

Ecuación 3

$$hf = f * \frac{Lt * Vel^2}{D * 2g}$$

Fuente. Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde f es el factor de fricción

Lt es la longitud total de la tubería (m)

Vel es la velocidad del fluido (m/seg)

D es el diámetro interno de la tubería (m)

g es la gravedad (m/seg²)

El resultado es 146.879 m (207.917 psi), también es necesario calcular la pérdida de presión asociada a las válvulas necesarias para controlar el sistema en caso de una contingencia, se necesitan en total 12 válvulas, se han seleccionado válvulas de bola debido a tres razones, la primera es a que no es necesario regular el flujo sino parar el fluido, la segunda razón se debe a que son altamente resistentes y no reducen de forma alguna el diámetro o área efectiva por donde viaja el fluido y la tercera permite reconocer si está abierta o cerrada de forma fácil para el operario. El coeficiente de fricción para cada válvula es de 10^{34} , la ecuación que describe las pérdidas menores (por accesorios) se muestra a continuación.

Ecuación 4

$$hl = K * \frac{Vel^2}{2 * g}$$

Fuente. Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde K es el factor de fricción en el accesorio (adimensional).

Vel es la velocidad del fluido (m/seg)

g es la gravedad (m/seg²)

La pérdida de presión calculada en todas las válvulas da un valor de 158 m (223.76 psi), la pérdida total por fricción en el sistema es de 223.76.

Conociendo las pérdidas de fricción se procede a hallar la presión requerida por la bomba para transportar el fluido del Campo Tisquirama hasta el Campo VMM3, para ello se hace uso del principio de Bernoulli, el comportamiento de este principio puede observarse en la siguiente ecuación.

³⁴ ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA DE CIUDAD REAL; Cátedra de Ingeniería Rural; Disponible en Internet en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF [Consultado 06/04/2019]; p. 2.

Ecuación 5

$$Z(a) + \frac{Vel(a)^2}{2 * g} + \frac{P(a)}{\rho * g} + hb = Z(b) + \frac{Vel(b)^2}{2 * g} + \frac{P(b)}{\rho * g} + hf$$

Fuente. Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde Z se refiere al nivel con respecto a un marco de referencia (m)

Vel es la velocidad de fluido (m/s)

P es la presión en un punto (Pa)

g es la gravedad (m/seg²)

ρ corresponde a la densidad del fluido (kg/m³).

hf es la pérdida de presión por fricción (m).

hb es la cabeza de presión ejercida por la bomba (m)

Los puntos de referencia se encuentran en el punto de captación del Campo Tisquirama (a) y el punto de descarga en el Campo VMM3 (b), en el punto (a) la velocidad es nula ya que el movimiento no se encuentra en movimiento, la presión hidrostática es igualmente nula ya que no se toma a presión atmosférica, en el punto (b) la presión hidrostática es nula debido la descarga se realiza a presión atmosférica, la cota (z) se encuentra al nivel de referencia por tanto es igual a cero. Con estas premisas la ecuación se reduce a los siguientes términos.

Ecuación 6

$$Z(a) + hb = \frac{Vel(b)^2}{2 * g} + hf$$

Fuente. Elaboración propia, basado en Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde Z se refiere al nivel con respecto a un marco de referencia (m)

Vel es la velocidad de fluido (m/s)

g es la gravedad (m/seg²)

hf es la pérdida de presión por fricción (m).

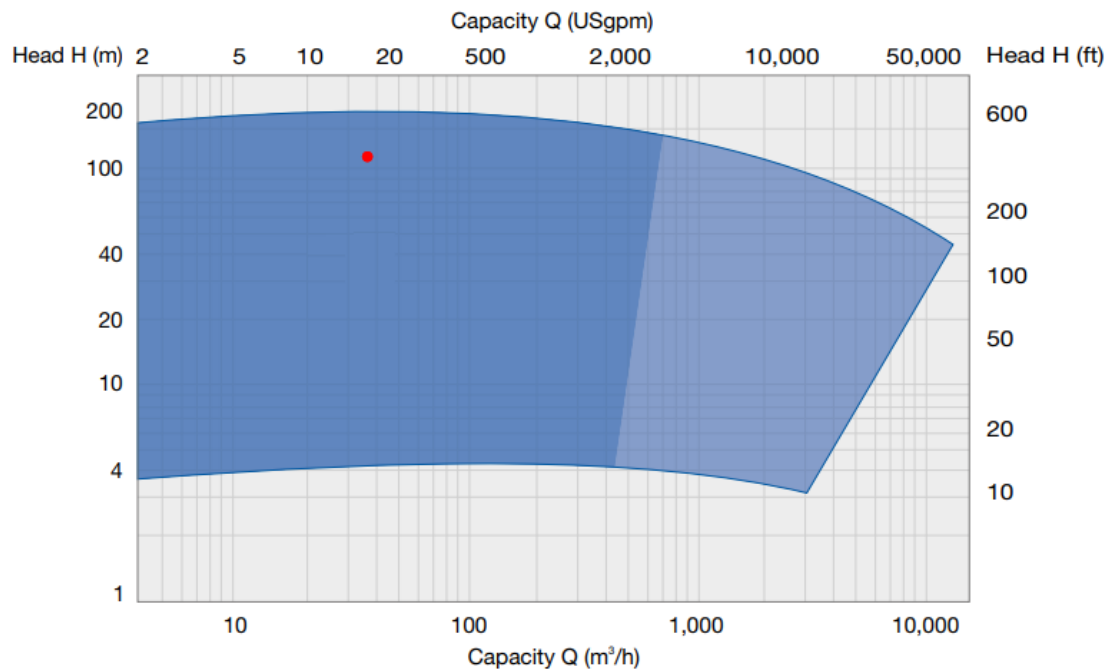
hb es la cabeza de presión ejercida por la bomba (m)

Conocemos por el perfil topográfico que la diferencia de altura entre ambos puntos es de 19 m, la pendiente en todo el sistema es de 0,19%, despejando de la expresión anterior se obtiene que la presión requerida por la bomba para realizar el desplazamiento es de 196.978 psi, esta presión es menor a las de pérdida por fricción debido a que por efectos del nivel (el agua va en descenso), la gravedad favorece el desplazamiento.

La presión a la que debe ser sometido el fluido es de 223 psi, en función de este valor, la cédula de la tubería (espesor de pared) debe ser seleccionada, la cédula escogida es la Schedule 40, debido a que resiste la presión con que se está trabajando en el sistema, la presión de prueba para esta tubería es de 1900 psi. (En el ANEXO C se encuentra la resistencia de las tuberías API).

5.2.1.4 Selección de la bomba. Para elegir la bomba es necesario conocer el caudal que será transportado por la línea de flujo y la presión necesaria para lograrlo, siendo el caudal de 5518 bbl/día y la presión necesaria por la bomba de 197 psi. Las bombas vienen especificadas por cada fabricante, los requerimientos comerciales que más se ajustaron al caso fueron los de la bomba AHLSTAR A Range Type A de la compañía Sulzer, la cual maneja un caudal que va hasta los 48,400 galones americanos por minuto (USgpm) y la presión hasta 227 psi, el rango de operación se puede observar en la siguiente figura.

Figura 19. Rango de operación de la bomba AHLSTAR A Range Type A.



Fuente. Sulzer; Catálogo; disponible en línea en [<https://www.sulzer.com/en/shared/products/2017/03/28/12/52/ohhl-low-flow-high-head-pumps>]; consultado 11/04/2019.

El punto rojo en la figura indica las condiciones de trabajo para este diseño. Esta bomba es utilizada también en la disposición final.

Con esta bomba no se requieren estaciones de bombeo, debido a que esta bomba compensa todas las pérdidas de presión asociadas al sistema, por otra parte el almacenamiento del agua se realiza en las facilidades de Conoco-Phillips en el pozo Pico y plata 1.

Por otra parte la línea de flujo incurre en costos de materia prima, la cual consta de los 10 km de tubería API 5L X42 empleada en el proyecto, también el precio de las 12 válvulas que serán utilizadas como medio para controlar alguna contingencia

asociada a los cruces de vías y cuerpos de agua, la bomba utilizada también es otro ítem para tener en cuenta. La venta de tubería comercial se realiza por peso (toneladas), el precio de cada tubería varía con relación al nivel de especificación y el material (composición química), para la elección hecha el precio por tonelada es de 720 \$US (la tasa representativa del dólar está en 3102.45 COP.), en la siguiente tabla se relaciona el peso y la longitud de la tubería con el precio total.

Tabla 20. Precio de tubería API 5L X42.

Tubería	Peso nominal (kg/m)	Peso Total (Tons)	Precio Total (COP)
API 5L X42	17.03	170.3	380,410,009.2

Fuente. Elaboración propia.

Los costos de exportación y nacionalización no son necesarios ya que TUVACOL es un fabricante nacional, por tanto los costos asociados a fletes de puerto y demás disposiciones no son necesarias.

Las válvulas utilizadas en este proyecto son de bola ya que como se describe en la metodología del diseño, el precio de estas válvulas es de 300,000 por unidad, de modo que al haber 6 cruces se deben emplear a ambos lados una válvula, por tanto se necesitan 12 válvulas y el costo total asciende a 3,600,000.

Para la instalación de la línea de flujo se consultó a diferentes firmas, el valor promedio para realizar la excavación de la zanja por donde irá la tubería es de 30,000,000 COP, y dura en total 45 días, por otra parte, el tiempo en que se realizarán las operaciones de PHD (Perforación Horizontal Dirigida) son de 3 días debido a los diferentes desplazamientos de la maquinaria que realiza la excavación sin zanja, como se determinó en el trazado de la línea de flujo, se deben realizar en total 6 cruces, siendo el primero el cruce con la Quebrada Caimán, el segundo con la ferrovía y los siguientes cuatro son realizados a vías secundarias que se encuentran entre los Campos Tisquirama y VMM3. La forma en que se pagan las perforaciones con PHD varían de acuerdo con la cantidad de metros que se debe perforar y por el diámetro externo de la tubería, también es necesario resaltar las condiciones del suelo, ya que éste puede generar diferentes complicaciones al momento de perforar. Para el modelo propuesto la tubería seleccionada cuenta con un diámetro externo de 4.5 in, la longitud total que debe llevar la perforación se observa en la siguiente tabla.

Tabla 21. Longitud de la perforación por tipo de cruce.

INTERSECCIÓN	METROS PERFORADOS
Quebrada Caimán	8
Vía Férrea	10
Vías Secundarias	40

Fuente. Elaboración propia.

El costo por metro para perforar el paso por la Quebrada Caimán es de 5,945 US\$ (18,444,065.25 COP, teniendo en cuenta la tasa representativa del dólar a 3,102.45 COP) por metro perforado, el costo por realizar el tramo de perforación tanto de las vías secundarias como de la vía férrea es de 90,417 US\$ (280,514,221.65 COP). Por tanto el costo total por las perforaciones es de 298,958,286.9 COP.³⁵

Los costos asociados a los diferentes diámetros de tubería, relacionados a una distancia perforada se encuentra disponible en el ANEXO D.

Por otra parte la bomba OHHL tiene un costo de 25,000,000. El precio está sujeto al fabricante. El costo total de la construcción de la línea de flujo asciende a 762,968,350 COP

5.3 DISPOSICIÓN DEL AGUA

En este segmento se plantea una alternativa a la disposición del agua, ya que en el Capítulo 3 se propone la perforación de un pozo disposal para verter el agua proveniente del *flowback*, para el modelo propuesto por los autores, se hará uso de un pozo disposal externo al Campo VMM3, por tanto la línea de flujo diseñada sirve con el doble propósito, el primero es transportar el suministro del agua para la operación de estimulación hidráulica y el segundo para transportar el agua de *flowback* tratada bajo la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 para ser vertida en ese pozo existente. El agua transportada hasta el Campo Tisquirama es controlada por las facilidades de éste. Para que la línea cumpla con este propósito es necesario emplear una bomba adicional que envíe el líquido de vuelta a Tisquirama-San Roque.

El caudal máximo proporcionado por la bomba OHHL API 610 es de 260 gpm a una presión máxima de 740 psi, en caso de enviar un caudal mayor por la línea de flujo se debe realizar con otro tipo de bomba, el caudal máximo admitido por el sistema es de 270 gpm, este valor fue obtenido despejando el caudal en la **Ecuación 1** tomando la velocidad máxima recomendada por Crane³⁶, con la **Ecuación 2** se determina el nuevo número de Reynolds el cual corresponde 277843, por tanto el flujo es completamente turbulento, con esta información obtenemos del diagrama

³⁵ TIPIEL; Costos de Construcción para Cruces Subfluviales, Aéreos, y Sísmicos; 2017; p. 29

³⁶ Crane; Op. Cit., pp. 3-10.

de Moody el factor de fricción asociado al sistema (disponible en ANEXO E), el cual da un valor de 0.018073.

En la **Ecuación 3** se obtiene las pérdidas mayores asociadas a la fricción que es igual a 399 m (566 psi), para hallar las pérdidas en las válvulas se utiliza la **Ecuación 4**, las pérdidas dan un valor de 31.46 m (44.54 psi), por tanto las pérdidas de presión en todo el sistema son de 610.5 psi.

Para conocer la presión que debe ejercer la bomba se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 7

$$Z(b) + \frac{Vel(b)^2}{2 * g} + \frac{P(b)}{\rho * g} + hb = Z(a) + \frac{Vel(a)^2}{2 * g} + \frac{P(a)}{\rho * g} + hf$$

Fuente. Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde Z se refiere al nivel con respecto a un marco de referencia (m)

Vel es la velocidad de fluido (m/s).

P es la presión en un punto (Pa).

g es la gravedad (m/seg²).

ρ corresponde a la densidad del fluido (kg/m³).

hf es la pérdida de presión por fricción (m).

hb es la cabeza de presión ejercida por la bomba (m).

En el punto b la velocidad del fluido es nula ya que se encuentra en el contenedor, de igual forma sucede con la presión hidrostática en los puntos a y b, ya que se encuentran a presión atmosférica, el punto b se encuentra en la cota de referencia, por ende su valor es de cero, teniendo en cuenta las premisas anteriores la **Ecuación 7** se simplifica como se muestra a continuación.

Ecuación 8

$$hb = Z(a) + \frac{Vel(a)^2}{2 * g} + hf$$

Fuente. Elaboración propia; Crane; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

Donde Z se refiere al nivel con respecto a un marco de referencia (m)

Vel es la velocidad de fluido (m/s).

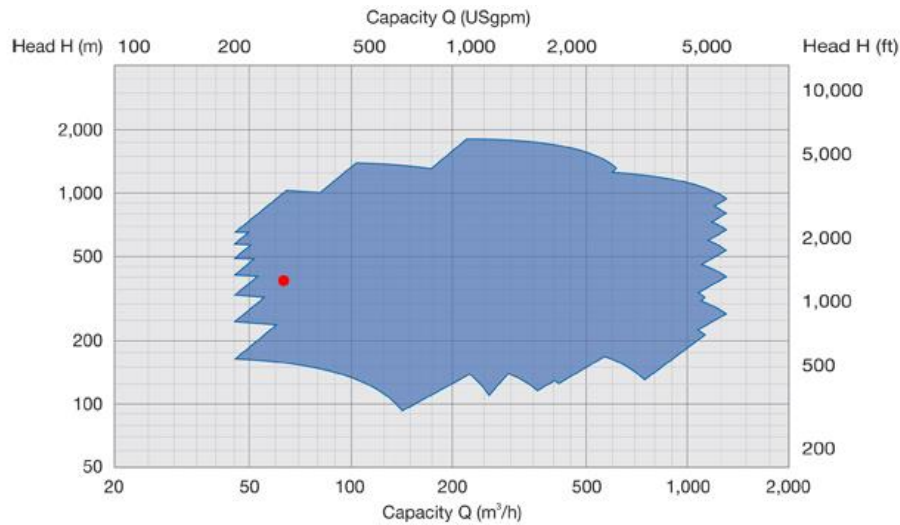
g es la gravedad (m/seg²).

hf es la pérdida de presión por fricción (m).

hb es la cabeza de presión ejercida por la bomba (m).

De la **Ecuación 8** se obtiene que la cabeza de la bomba es igual a 450.52 m (637.74 psi) por tanto la bomba que se ajusta a esta necesidad es la HPH de Sulzer, el rango operativo de esta bomba se puede observar en el siguiente esquema.

Figura 20. Rango operativo de la bomba HPH de Sulzer.



HPH Performance Range 60Hz

Fuente. Catálogo de Sulzer; disponible en Internet en [<https://www.sulzer.com/en/shared/products/2017/04/19/13/40/high-lift-centrifugal-pumps-hph-and-hpl>], consultado 11/04/2019.

El punto rojo muestra el punto de operación en el que se encuentra trabajando el proyecto. Teniendo en cuenta los diferentes caudales que se pueden presentar en la disposición, se reconocen los tiempos posibles en la disposición del agua, dichos tiempos pueden ser evidenciados en la siguiente tabla.

Tabla 22. Tiempo de disposición final.

Caso	Volumen (bbl)	Flowback	Tasa de flujo (gpm)	Tiempo (días)
1	81000	5%	270	0.4375
			160	0.734151647
		50%	270	4.375
			160	7.34151647
2	128500	5%	270	0.694058642
			160	1.164672675
		50%	270	6.94058642
			160	11.64672675
3	176000	5%	270	0.950617284
			160	1.595193702
		50%	270	9.50617284
			160	15.95193702

Fuente. Elaboración propia.

En la

Tabla 22. Tiempo de disposición final.

Tabla 22 se observan los diferentes tiempos de disposición dependiendo de dos variables, la primera el agua requerida para realizar fracturamiento hidráulico en roca generadora y la segunda consiste en el porcentaje estimado del retorno de ese fluido.

El costo asociado a esta fase corresponde únicamente a la adquisición de una segunda bomba AHLSTAR A Range Type A, el cual como se nombró anteriormente tiene un costo de 25,000,000.

6. SELECCIÓN DEL MODELO

6.1 TIPO DE MATRIZ

Para la evaluación de los factores costo, tiempo y socio-ambiental se utilizó matrices de selección. La primera de ellas para los factores de costo y tiempo y posteriormente otra evaluando el factor socio-ambiental, para finalmente unirlos y obtener una matriz de selección final de los dos modelos. A continuación se explicará a profundidad este tipo de matriz y sus criterios a utilizar para calcular el factor de ponderación.

6.1.1 Matriz de selección. Llamada también matriz de priorización, matriz de factores, es una herramienta para tomar decisiones en grupo, utilizando criterios ponderados y acordados, se emplea para asignar calificaciones a problemas, tareas, soluciones u otras opciones posibles. Debido a que esta matriz proporciona un enfoque lógico a la elección de un conjunto de opciones, es ideal para elegir la solución a un problema, o encamina que productos, criterios o factores pueden solucionar el problema. A la matriz se la puede utilizar para evaluar o en su caso disminuir la lista de posibles soluciones potenciales para un problema en particular.³⁷

En este caso se utiliza este tipo de matriz para seleccionar que tipo de modelo es el más favorable teniendo en cuenta los porcentajes de adquisición, transporte y disposición final del agua, para desarrollar la estimulación hidráulica en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips. Se establecen dos propuestas, una de ellas de la empresa Conoco-Phillips y la segunda propuesta enfocada por los autores. Para darle una valorización total a la matriz se desarrolla un factor de ponderación gracias a los porcentajes asignados a criterio de los autores para cada parámetro y fase y la valorización de cada aspecto. Este factor de ponderación será la valorización final de la matriz y el cual nos ayudara a definir qué modelo es el más favorable a utilizar.

³⁷ CALDERÓN, Arturo; Matriz de Selección; Disponible en Internet en: <https://ceninca.com/matriz-de-seleccion/>; Consultado en [14/05/2019].; 2017.

6.2 ESTÁNDARES DE CALIFICACIÓN

La matriz está compuesta por los atributos de costo y tiempo, además de ello se toman en cuenta las tres fases en las que consiste el modelo, por tanto, la fase de adquisición, transporte y disposición final cuentan con un peso específico distinto dependiendo de la importancia que fue asignada a criterio de los autores y el asesor del proyecto. A continuación se presentan los diferentes porcentajes para cada fase y variable expuesta.

Tabla 23. Peso de las fases empleadas en el modelo.

PORCENTAJES DE LAS FASES	
FASES	PORCENTAJE
Adquisición	45%
Transporte	35%
Disposición Final	20%
Total	100%

Fuente. Elaboración propia.

Los porcentajes mencionados en la **Tabla 23** se deben a diferentes aspectos considerados por los autores, la fase de adquisición del agua es fundamental para el proyecto, ya que a partir de ella surgen las demás variables de éste, dicho proyecto pretende aportar una alternativa para captar el agua necesaria en la operación de estimulación hidráulica en roca generadora, por tanto esta fase justifica la alternativa planteada. De esta manera se tiene un peso del 45% sobre los esquemas planteados.

La segunda instancia de los modelos comprende el transporte de recurso hídrico al lugar de tratamiento para así convertirse en fluido de fracturamiento, por tanto existen dos opciones para llevar a cabalidad esta tarea, debido a la complejidad y distintos factores que afectan a una u otra opción el porcentaje que avala el transporte es del 35%. Por último la disposición final tiene un peso del 20% debido a que en última instancia el agua recuperada del *flowblack* irá a un pozo disposal, ya sea perforado por Conoco-Phillips o en uno existente para dicha tarea.

Para los aspectos a tratar en las matrices se les asigno un porcentaje a evaluar, estos porcentajes se evaluarán de igual manera para las 3 fases a trabajar. Es decir, para la fase de adquisición el aspecto del tiempo tendrá un valor del 40%, el costo un valor de 40%, lo socio-ambiental 20%. Para las fases de adquisición, transporte y disposición final se manejaron los mismos porcentajes en los factores tiempo,

costo y socioambiental. Cabe resaltar que estos porcentajes se presentan ya que el objetivo del trabajo de grado es hacer una evaluación técnico-financiera, por lo tanto, el aspecto socioambiental se le otorga el menor porcentaje.

A continuación se presentará las variables con su respectivo valor, teniendo en cuenta que para cada fase (adquisición, transporte y disposición final) el aspecto (costo y tiempo) cambiará. Por ejemplo, para el costo en la parte de adquisición se tomará valores entre los 0 a 448,000,000 COP, pero en la fase de transporte se tomarán valores entre 0 a 436,000,000 COP. Estos intervalos se utilizarán para la asignación de los valores a la matriz dependiendo el modelo y la fase a trabajar. Sus respectivos valores se presentarán en las siguientes graficas dependiendo la fase a tratar.

Tabla 24. Rangos para la valoración del costo en la matriz.

COSTO						
FASES	ADQUISICION		TRANSPORTE		DISPOSICION FINAL	
	VALOR	RANGO DEL COSTO (COP)	VALOR	RANGO DEL COSTO (COP)	VALOR	RANGO DEL COSTO (COP)
	1	MAYOR A 448,000,000	1	MAYOR A 436,000,000	1	MAYOR A 8,000,000,000
	2	336,000,000 - 448,000,000	2	327,000,000 - 436,000,000	2	6,000,000,000 - 8,000,000,000
	3	224,000,000 - 336,000,000	3	218,000,000 - 327,000,000	3	4,000,000,000 - 6,000,000,000
	4	112,000,000 - 224,000,000	4	109,000,000 - 218,000,000	4	2,000,000,000 - 4,000,000,000
	5	SIN COSTO - 112,000,000	5	SIN COSTO - 109,000,000	5	SIN COSTO - 2,000,000,000

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25. Rangos para la valoración del tiempo en la matriz.

TIEMPO						
FASES	ADQUISICION		TRANSPORTE		DISPOSICION FINAL	
	VALOR	RANGO DEL TIEMPO (DIAS)	VALOR	RANGO DEL TIEMPO (DIAS)	VALOR	RANGO DEL TIEMPO (DIAS)
	1	MAYOR A 52	1	MAYOR A 128	1	MAYOR A 44
	2	39 - 52	2	96 - 128	2	33 - 44
	3	26 - 39	3	64 - 96	3	22 - 33
	4	13 - 26	4	32 - 64	4	11 - 22
	5	1 - 13	5	1 - 32	5	1 - 11

Fuente. Elaboración propia.

6.3 MATRIZ COSTO-TIEMPO

A continuación se presentan las diferentes matrices que componen el análisis de este apartado, se han realizado dos matrices para explicar el tiempo y el costo de las tres fases contempladas para ambos modelos, la primera matriz es relativa a la elección del vehículo de transporte para el modelo de Conoco-Phillips, la segunda comprara los costos y los tiempos operativos entre la alternativa más pertinente del

modelo de Conoco-Phillips por cada caso con los mismos atributos considerados para el modelo propuesto por los autores.

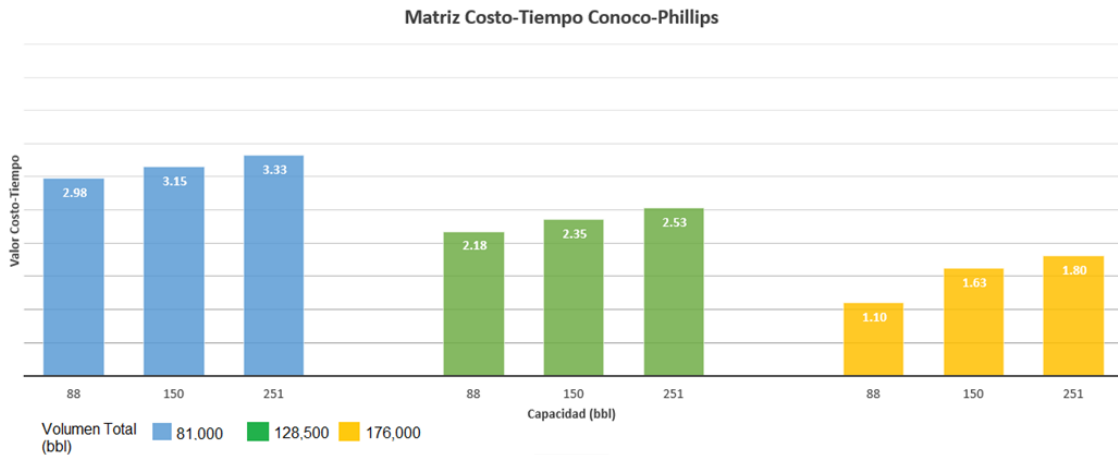
Tabla 26. Matriz del modelo de Conoco-Phillips.

MATRIZ DE COSTO-TIEMPO DE CONOCO-PHILLIPS								
Caso (bbl)	Fase Capacidad (bbl)	Adquisición		Transporte		Disposición		Total
		Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	
81000	88	3	3	4	3	1	3	2.98
	150	3	3	4	4	1	3	3.15
	251	3	3	4	5	1	3	3.33
128500	88	2	2	3	2	1	3	2.18
	150	2	2	3	3	1	3	2.35
	251	2	2	3	4	1	3	2.53
176000	88	1	1	1	1	1	2	1.10
	150	1	1	2	3	1	2	1.63
	251	1	1	2	4	1	2	1.80

Fuente. Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se logra evidenciar los resultados dados obteniendo el promedio ponderado por escenario y llegando a conocer cual selección es la más favorable.

Figura 21. Resultado Matriz del modelo de Conoco-Phillips.



Fuente. Elaboración propia.

Al analizar la gráfica anterior se puede concluir que el proceso más favorable para el modelo de Conoco-Phillips es el de menos cantidad de agua adquirida y transportándola con carro tanques de 251 bbl de capacidad. Para concluir estos resultados los autores eligieron el escenario óptimo en los 3 casos posibles de volumen de agua requerida. Estos 3 casos óptimos fueron los señalados anteriormente en la gráfica con un promedio ponderado de 3.33, 2.53 y 1.80. A continuación se presenta los 3 casos mencionados para posteriormente

contrastarlos con la matriz socio-ambiental evidenciando así el valor acumulado de este modelo.

Tabla 27. Resultado Matriz de Conoco-Phillips.

MATRIZ DE COSTO-TIEMPO DE CONOCO-PHILLIPS									
Caso (bbl)	Fase Capacidad (bbl)	Adquisición		Transporte		Disposición		Total	
		Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo	Tiempo		
81000	251	3	3	4	5	1	3	3.33	
128500	251	2	2	3	4	1	3	2.53	
176000	251	1	1	2	4	1	2	1.80	

Fuente. Elaboración propia.

Por otra parte se realizó la matriz que evalúa los mismos aspectos para ambos modelos teniendo en cuenta los mismos tres casos y las mismas fases, la valoración de cada variable se da de la misma forma en que se presentó en el segmento de estándares de calificación, la matriz que representa al modelo propuesto por los autores se observa a continuación.

Tabla 28. Matriz modelo propuesto por los autores.

MATRIZ DE COSTO-TIEMPO DE MODELO PROPUESTO							
Caso (bbl)	Adquisición		Transporte		Disposición		Total
	Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	
81000	5	4	1	4	5	5	3.90
128500	5	4	1	4	5	4	3.80
176000	5	3	1	4	5	4	3.58

Fuente. Elaboración propia.

6.4 MATRIZ SOCIOAMBIENTAL

Para definir el impacto socio ambiental al que los modelos son sometidos se ha construido una matriz en la cual se pueden evidenciar los diferentes atributos que fueron evidenciados en el informe de la Comisión Interdisciplinaria Independiente titulado "Informe sobre efectos ambientales (bióticos, físicos y sociales) y económicos de la exploración de hidrocarburos en áreas con posible despliegue de técnicas de fracturamiento hidráulico de roca generadora mediante perforación horizontal" con una fecha de expedición de expedido de abril 2019. Esta comisión interdisciplinaria independiente cuenta con (1) zoólogo, (1) ingeniero civil, (1) ingeniero de petróleos, (3) geólogos, (1) filósofo, (1) abogado, (3) economistas, (1) medico neurólogo y (1) ingeniero mecánico.

Tabla 29. Matriz Socioambiental.

MATRIZ SOCIO-AMBIENTAL			
FASES	CONTINGENCIAS	CONOCO-PHILLIPS	PROPUESTO
GENERAL	LICENCIA SOCIAL	0	0
	PARTICIPACION DE LAS COMUNIDADES	0	0
	GENERACION DE EMPLEO	1	1
ADQUISICION	REUTILIZACION DEL AGUA	0	1
	AFECCION DE TERRITORIOS CONSERVADOS	0	1
	PERIODOS DE SEQUIA	0	1
TRANSPORTE	CONSTRUCCION DE CARRETERAS	0	1
	AUMENTO DE TRAFICO	0	1
	SEGURIDAD VIAL	0	1
	RUIDO	0	0
	CONTAMINACION DEL AIRE	0	1
DISPOSICION FINAL	CONTAMINACION DE ACUIFEROS	0	1
	RUIDO	0	0
	ALMACENAMIENTO SUBTERRANEO LIMITADO	0	0
TOTAL:		1	9
NOTA		0.36	3.21

Fuente. Realización propia.

En el informe emitido por la Comisión Interdisciplinaria Independiente (CII) sobre los efectos que acarrea el desarrollo de yacimientos en roca generadora (YGR)³⁸ se realiza un análisis de los diferentes factores económicos, sociales y ambientales, y cómo éstos repercuten en el desarrollo de la comunidad, para el presente proyecto fueron tenidos en cuenta los siguientes factores que afectan el desempeño de los dos modelos tratados.

³⁸ COMISIÓN INTERDISCIPLINARIA INDEPENDIENTE; Informe Sobre Efectos Ambientales (Bióticos, Físicos y Sociales) y Económicos de la Exploración de Hidrocarburos en Áreas con Posible Despliegue de Técnicas de Fracturamiento Hidráulico de Roca Generadora Mediante Perforación Horizontal; 2019.

6.4.1 Afectación De Territorios Conservados. Según el informe emitido por la CII la afectación de territorios conservados se presenta al agua en zonas con alta riqueza en especímenes de fauna y flora, como lo son, ríos, lagos, mares, entre otros.

La adquisición en el modelo de Conoco-Phillips se hará del acueducto de San Martín de donde esta agua llega del Río Lebrija que es una afluente del Río Magdalena, también hay que considerar que la cantidad de volumen captada es alta variando de 81000 bbl a 176000 bbl, por lo tanto, se le dio una valoración de 0 en la matriz con respecto a este factor. En el modelo propuesto se da una valoración de 1 ya que se utilizará agua excedente del Campo Tisquirama.

6.4.2 Almacenamiento Subterráneo Limitado. En el informe entregado por la CII se menciona que el tratamiento y reutilización de las aguas de formación se debe investigar e innovar, ya que, al igual que los yacimientos, los almacenamientos subterráneos no son infinitos, la importancia de este factor recae en que inevitablemente hay un aumento de presión del líquido en los poros de la roca, derivando así en cambios de estrés que pueden ocasionar activación de fallas o fracturas ya establecidas³⁹, la consecuencia de este escenario es la generación de eventos de sismicidad que fueron inducidos.

En las Cuencas de Bakken, Eagle Ford, Permian y Oklahoma, la sismicidad es atribuida a la tasa de inyección en la disposición final de fluidos de retorno o de producción y al volumen acumulado de estos materiales.⁴⁰ Al analizar esto para la disposición final de los dos modelos se tiene una valorización de 0 ya que los dos modelos utilizaran un pozo disposal para la disposición final del agua.

6.4.3 Aumento De Trafico. Esta contingencia se presenta cuando el flujo vehicular se ve saturado debido al exceso de demanda de las vías, produciendo incrementos en los tiempos de viaje y atochamientos.

Es importante resaltar que el modelo de Conoco-Phillips transportará el fluido a través de carrotanques mientras que el modelo propuesto será mediante una línea de flujo, por lo tanto, se le asigno un valor de 0 en esta contingencia a Conoco-Phillips y un valor de 1 al modelo propuesto.

6.4.4 Construcción Y Adecuación/Mantenimiento De Carreteras. El trayecto estimado para el recorrido de los camiones cisterna es desde la cabecera municipal del Municipio de San Martín, Cesar hasta las instalaciones del Campo VMM3, dicho recorrido tiene una longitud de 28 km. Por otra parte, Conoco-Phillips plantea la

³⁹ Ibid., p. 51.

⁴⁰ Ibid; p. 51.

construcción de dos nuevas carreteras⁴¹ para aumentar el acceso al Campo, dichas vías de acceso conectan el Corregimiento de Cuatro Bocas con las facilidades de Conoco-Phillips, la otra carretera consiste en realizar 0,7 km de vía para realinear el paso ubicado en la finca Macondo. Por otro lado, la empresa va a adecuar y mantener hasta 12,2 km de carretera, el estado de las vías secundarias que llevan al Pozo Pico y Plata 1. El estado de las vías según Conoco-Phillips en su Resumen Ejecutivo es:

La vía 1 es una vía en aceptables condiciones, entre el K0+000 al K2+147 esta pavimentada y tiene baches y 6 m de ancho promedio; luego del K2+147 continúa en afirmado con un ancho promedio de 5,5 m hasta el K8+500 y 4,5 metros de ancho en promedio en el tramo comprendido entre el K8+509 y el K16+860. En general, la vía cuenta con buenas condiciones de transitabilidad y servicio, sin embargo, para el tránsito de vehículos de carga pesada es posible que sea necesario realizar adecuaciones en el tramo entre el K8+509 y el K16+860.⁴²

Por tanto, el impacto del transporte en la vía que conecta el Municipio con el Campo es de 15,8 km de vía, de esta manera toma un valor de 0 en la matriz ya que afecta la mayor parte del trayecto. En el modelo propuesto por los autores sólo se emplean vehículos de transporte de carga pesada para llevar los materiales y equipos que permiten construir la línea de flujo de un Campo a otro, ya que su afectación es mínima tiene una valoración de 1 en la matriz.

6.4.5 Contaminación Del Aire. Según el informe de CII la contaminación del aire se presenta cuando hay mezcla de partículas sólidas y gases en el aire, ya sea por emisiones de automóviles, compuestos químicos de fábricas, polvo y el polen. Estos gases en el sector automotor se deben a la combustión incompleta del Diesel o gasolina que estos vehículos consumen, los derivados tóxicos producen perjuicios para la salud, dichos derivados son: el Monóxido de Carbono (CO), los Hidrocarburos presentes (HC) y los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) además del Material Particulado (MP), según la Asociación Colombiana de Vehículos Automotores (ANDEMOS) el parque automotor se puede dividir por año y por tipo de vehículo, en la siguiente tabla se puede reconocer el estado del parque automotor colombiano en el año 2016.⁴³

⁴¹ CONOCO-PHILLIPS; Estudio De Impacto Ambiental Para La Perforación Exploratoria De Hidrocarburos - Área De Perforación Exploratoria (Ape) Plata; 2017; p. 8.

⁴² Ibid., p 10.

⁴³ ANDEMOS (Colombia); Inventario de Emisiones Vehículos Colombia; Consultado en Internet, disponible en: [http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2017/03/Presentacion-ANDEMOS-Emisiones-01.25.2017-v8.pdf] 14/04/2019.

Tabla 30. Estado parque automotor en Colombia.

RANGO	TOTAL PARQUE	MOTOS	VEHICULOS	AUTOS	TAXI	PAX	CARGA	CAMPERO CAMIONETA
TOTAL	12.302.000	6.970.000	5.332.000	2.876.000	233.000	194.000	365.000	1.664.000
Entre 0 y 5 años	36,1%	42,6%	27,7%	27,1%	31,9%	18,8%	24,0%	30,0%
Entre 6 y 10 años	25,6%	29,0%	21,1%	21,5%	35,2%	17,0%	19,6%	19,2%
Entre 11 y 15 años	10,4%	11,0%	9,7%	10,8%	15,0%	16,3%	6,9%	6,9%
Entre 16 y 20 años	6,5%	5,6%	7,7%	8,0%	6,6%	10,7%	4,7%	7,4%
Entre 21 y 25 años	8,1%	6,5%	10,2%	10,6%	5,4%	14,2%	9,5%	9,9%
Entre 26 y 30 años	2,9%	1,5%	4,6%	5,5%	1,6%	3,9%	3,5%	3,9%
Entre 31 y 35 años	2,9%	1,6%	4,5%	4,7%	0,8%	3,0%	2,9%	5,3%
Entre 36 y 40 años	3,6%	2,0%	5,7%	5,0%	1,2%	3,7%	9,1%	7,2%
Mas de 40 años	3,9%	0,2%	8,8%	6,9%	2,5%	12,3%	20,0%	10,1%
EDAD PROMEDIO (AÑOS)	12	9	16	15	10	18	20	16
MAS DE 20 AÑOS	21%	12%	34%	33%	11%	37%	45%	36%
TOTAL +20 AÑOS	2.633.387	828.677	1.804.710	936.195	26.603	71.922	164.119	605.871

Fuente. ANDEMOS (Colombia. Inventario de Emisiones Vehículos Colombia. Consultado en línea, disponible en: [http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2017/03/Presentacion-ANDEMOS-Emisiones-01.25.2017-v8.pdf] 14/04/2019.

El registro de emisiones en toneladas por año se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 31. Emisiones del parque automotor colombiano.

	PARQUE 2016	EMISIONES TONELADAS AÑO				
		CO2	CO	NOX	HC	MP 2,5*
	12.302.000	61.228.000	3.312.000	556.000	393.000	10.000
AUTOMOVIL	23%	12%	23%	5%	24%	0%
TAXI	3%	11%	7%	11%	11%	0%
CAMPERO Y CAMIONETA	11%	16%	31%	10%	28%	0%
CARGA	5%	42%	2%	59%	6%	80%
PAX	1%	10%	0%	12%	2%	20%
MOTOS	57%	8%	36%	2%	30%	0%
Hasta 20 años	79%	71%	57%	63%	53%	30%
>20 años	21%	29%	43%	37%	47%	70%

Fuente. ANDEMOS (Colombia); Inventario de Emisiones Vehículos Colombia; Consultado en Internet, disponible en: [http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2017/03/Presentacion-ANDEMOS-Emisiones-01.25.2017-v8.pdf] 14/04/2019.

Por tanto se puede observar que los camiones de carga como lo son los camiones cisterna son los principales emisores de Dióxido de Carbono (CO₂) y de Material Particulado en el país, el CO₂ no es tóxico para la salud pero es un gas de efecto invernadero que contribuye al aumento de la temperatura terrestre. La cantidad de emisiones depende del tipo de motor (disponible en ANEXO F). La cantidad de

emisiones permitidas por la autoridad colombiana competente se puede observar en la siguiente tabla.⁴⁴

Tabla 32. Norma colombiana emisiones permitidas para camiones.

Categorías para Camiones, Norma Colombiana		
LHDDE	: 3.856 kg<PBV<8.845 kg	ciclo EPA
MHDDE	: 8.845 kg<PBV<14.696 kg	ciclo EPA
HHDE	: PBV>14.696 kg	ciclo EPA
N2	: 3.500 kg<PBV<12.000 kg	ciclo EURO
N3	: PBV>12.000 kg	ciclo EURO

LHDDE Light Heavy-Duty Diesel Engine

MHDDE Medium Heavy-Duty Diesel Engine

HHDE Heavy Heavy Duty-Diesel Engine

Fuente. ANDEMOS (Colombia). Análisis de Emisiones del Parque de Camiones de Colombia. 2012.

Para este escenario Conoco-Phillips transportará el agua mediante carrotanques, estos vehículos emiten gran cantidad de gases y material particulado provocando una mayor contaminación del aire. Por el otro lado el modelo propuesto busca transportar el agua mediante una línea de flujo. Por consiguiente la valoración para el modelo de Conoco-Phillips será de 0 y 1 para el modelo propuesto.

6.4.6 Contaminación De Acuíferos. Según el informe desarrollado por la CII esta actividad se puede presentar en la “perforación y completamiento de pozos, se identifican como posibles vulnerabilidades las fallas en la integridad estructural de revestimientos y cementaciones que puedan producir intercomunicaciones de formaciones a través de los anulares del pozo o fugas desde este hacia las formaciones atravesadas.”⁴⁵

Para esta contingencia el modelo de Conoco-Phillips se verá afectado ya que en este se debe desarrollar la perforación de un pozo disposal de acuerdo con la

⁴⁴ ANDEMOS (Colombia); Análisis de Emisiones del Parque de Camiones de Colombia; 2012; p, 27.

⁴⁵ COMISIÓN INTERDISCIPLINARIA INDEPENDIENTE; Op. Cit.; p. 41.

resolución 90341 del 2014, dando un valor en la matriz de 0. Para el modelo propuesto no se tendrá que hacer actividad de perforación, ya que, el pozo disposal al que se transportara el agua se encuentra ya construido.

6.4.7 Licencia Social. Esta licencia se basa en el nivel de aprobación de la comunidad afectada por las diferentes actividades que se desarrollan en la zona, dicha aprobación es continua y cuenta con el visto bueno de la comunidad local y otros grupos de interés, la licencia social tiene cuatro niveles⁴⁶, retiro, aceptación, aprobación e identificación psicológica. El nivel de la licencia está determinado por la legitimidad, credibilidad y confianza, en otras palabras, el nivel de la licencia otorgada obedece de forma directa (relación inversamente proporcional)⁴⁷ al nivel de riesgo sociopolítico al que esté comprometido el proyecto.

Según el estudio realizado por la CII “fue evidente la desconfianza por parte de la población hacia las instituciones del Estado, debido al pobre legado de la industria de hidrocarburos en sus actividades de extracción convencional”⁴⁸. Por tanto los proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos no cuentan con licencia ambiental. Los principales motivos de este comportamiento hacia la industria son: 1) falta de información desde las diferentes entidades gubernamentales hacia la sociedad civil en general, 2) el modelo bajo el cual se emiten las concesiones de exploración y explotación de hidrocarburos y por último 3) la forma en que son otorgadas y vigiladas las licencias ambientales para desempeñar las distintas actividades asociadas a la explotación de hidrocarburos. De manera que al considerarse la explotación de YRG una actividad más riesgosa, la obtención de esta licencia tiene un agravante más a los descritos anteriormente. Por lo tanto los dos modelos al no contar con la licencia social, se les otorgo una valorización de 0 para cualquier actividad a trabajar.

6.4.8 Generación de Empleo. Esta contingencia se presenta cuando hay una actividad a desarrollar, logrando aumentar la vida laboral de la comunidad y de sus alrededores. Las actividades que se generan para el modelo de Conoco-Phillips se ven reflejadas en el capítulo 3. Para el modelo propuesto estas actividades se evidencian en el capítulo 5.

Por otra parte la población local se verá beneficiada por las diferentes labores que el proyecto pretende desarrollar, el Decreto 1668 del 21 de octubre de 2016 dispone que el alcalde certifica la residencia de las personas que residen en el territorio abarcado por el área de influencia del proyecto de exploración y explotación de hidrocarburos, en caso de no encontrarse mano de obra en dicha área, se procederá entonces a contratar el personal necesario en los municipios aledaños, de esta forma se le otorga un privilegio a los pobladores de los territorios que se encuentren

⁴⁶ COMISIÓN INTERDISCIPLINARIA INDEPENDIENTE; Op. Cit.; p. 22.

⁴⁷ *Ibíd.*

⁴⁸ *Ibíd.*

en el área de influencia del proyecto, de esta forma se disminuye la conflictividad generada por el acceso laboral que ha generado el sector de hidrocarburos en estas zonas.⁴⁹ Por lo tanto, en esta contingencia los dos modelos sin importar la fase están generando empleo a los que los rodean, otorgándole un valor de 1 a los dos modelos en las 3 fases manejadas.

6.4.9 Participación Directa De Las Comunidades. Para esta contingencia el informe para yacimientos en roca generadora desarrollado en abril del 2019 abarca la participación directa de las comunidades en organismos de vigilancia y control de las actividades relacionadas con la estimulación hidráulica en el territorio. Según este informe esta participación no se logra debido a la débil instancias de veeduría y auditoría social presentes en la comunidad que rodea el proyecto.⁵⁰ Por consiguiente la valorización en la matriz para las 3 actividades en los dos modelos es de 0.

6.4.10 Reutilización Del Agua. Existen diferentes formas para mitigar el uso de agua fresca en las actividades de la industria del petróleo y gas, para el presente proyecto es de vital importancia reutilizar el agua de producción asociado a las actividades de explotación de hidrocarburos. Según Pam Boschee las fuentes tradicionales de agua son tres, la primera incluye la extracción de agua por medio de acuíferos, la segunda consiste en la captación de agua por medio de fuentes superficiales y la tercera es referida al abastecimiento desde el acueducto local⁵¹. De esta manera, la compra del agua y su debido transporte encarecen el proceso. Por otra parte existe competencia por parte de otros gremios u otros tipos de uso, según la CII en Colombia la demanda del agua está dada de la siguiente forma.

⁴⁹ COLOMBIA.MINISTERIO DEL TRABAJO, Decreto 1668 de 2016, p. 1.

⁵⁰ COMISIÓN INTERDISCIPLINARIA INDEPENDIENTE; Op. Cit., p. 27.

⁵¹ BOSCHEE, Pam; Handling Produced Water from Hydraulic Fracturing; 2012; p. 23.

Tabla 33. Demanda de agua por sector económico en Colombia.

Sector	Volumen de agua (MM m3)
Agrícola	16,760.3
Energía	7,738.6
Pecuario	3,049.4
Doméstico	2,963.4
Industrial	2,106.0
Acuícola	1,654.1
Minería	640.6
Hidrocarburos	592.8
Servicios	481.8

Fuente. Informe Sobre Efectos Ambientales (Bióticos, Físicos y Sociales) y Económicos de la Exploración de Hidrocarburos. 2019.

La demanda por cuenca requerida por el sector de hidrocarburos por cuenca productiva es evidenciada en la siguiente tabla.

Tabla 34. Demanda de agua requerida por el sector de hidrocarburos por cuenca productora.

Sector	Volumen de agua (MM m3)
Orinoco	328.64
Magdalena-Cauca	83.38
Amazonas	16.84
Cariba	1.70

Fuente. Informe Sobre Efectos Ambientales (Bióticos, Físicos y Sociales) y Económicos de la Exploración de Hidrocarburos. 2019.

Por tanto, es importante utilizar diferentes fuentes de suministro de agua para el sector, para el desarrollo del proyecto de Conoco-Phillips la estimulación hidráulica en el VMM3 necesita de un volumen de agua aproximado de 81000 bbl a 176000 bbl, la captación de esta agua según esta compañía se generará mediante el acueducto de San Martín, mientras que la captación del agua en el modelo propuesto será de agua excedente del Campo Tisquirama.

En el primer modelo no existe reutilización del agua por lo tanto la valoración es de 0 mientras que en el segundo modelo se hace una reutilización de agua de

formación excede dándole una valorización de 1 en la matriz, de forma que en el modelo propuesto no existe competencia entre los diferentes actores que emplean el recurso hídrico en la zona y por otra parte es una alternativa vista desde la complejidad de la logística tanto en adquisición como en transporte de agua fresca para el proyecto.

6.4.11 Seguridad vial. La seguridad vial es uno de los factores que afectan el desarrollo del proyecto, ya que, la contratar diferentes camiones cisterna para transportar el agua también aumenta el flujo de estos vehículos, aumentando así la probabilidad de incurrir en accidentes, el panorama general que vivió el país hacia el año 2017 según el Boletín Estadístico Víctimas en hechos de Tránsito-Colombia de enero de 2017, afirma que se registraron durante el año 2016 un total de 4,707 fallecidos y 27,776 lesionados.⁵² En la siguiente tabla se puede observar la información referida anteriormente, además de ello presenta la condición de la víctima.

Tabla 35. Estadística nacional de siniestros vehiculares.

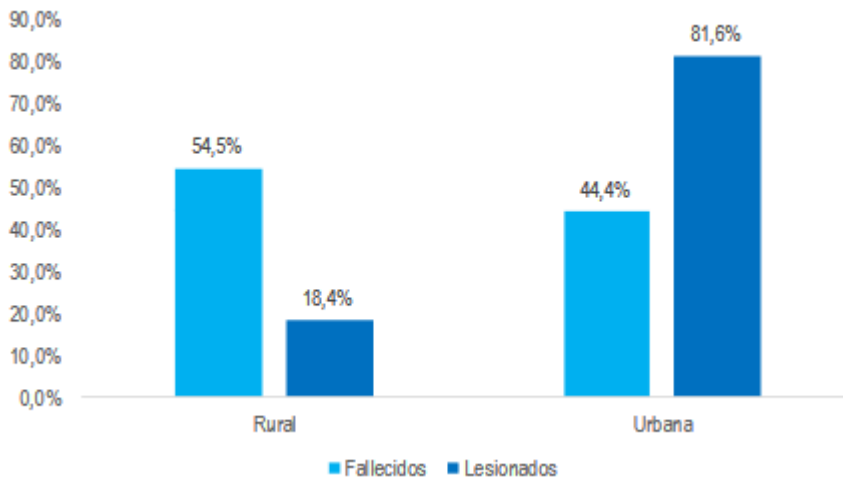
Departamento del hecho/Condición de la víctima	Muertos						Lesionados					
	2016* (ene - sep)		2017* (ene - sep)		Variaciones		2016 (ene - sep)		2017* (ene - sep)		Variaciones	
	Casos	%	Casos	%	Absoluta	V%	Casos	%	Casos	%	Absoluta	V%
TOTAL NACIONAL	5.010	100,0%	4.707	100,0%	-303	-6,0%	30.691	100%	27.676	100,0%	-3.015	-9,8%
Peatón	1.265	25,2%	1.243	26,4%	-22	-1,7%	6.037	19,7%	5.363	19,4%	-674	-11,2%
Usuarios de motocicleta	2.571	51,3%	2.367	50,3%	-204	-7,9%	17.717	57,7%	15.768	57,0%	-1.949	-11,0%
Pasajero/Acompañante	379	7,6%	385	8,2%	6	1,6%	3.823	12,5%	3.636	13,1%	-187	-4,9%
Conductor	277	5,5%	252	5,4%	-25	-9,0%	1.182	3,9%	1.040	3,8%	-142	-12,0%
Usuarios de la bicicleta	262	5,2%	262	5,6%	0	0,0%	1.906	6,2%	1.857	6,7%	-49	-2,6%
Sin información	256	5,1%	198	4,2%	-58	-22,7%	26	0,1%	12	0,0%	-14	-53,8%

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Boletín Estadístico Víctimas en Hechos de Tránsito. 2017.

Estos incidentes pueden clasificarse de acuerdo con el lugar donde ocurrió el siniestro, los lugares planteados por el boletín reflejan dos clasificaciones generales las cuales son en espacio rural o en espacio urbano, la siguiente figura ilustra el porcentaje de accidentados y fallecidos en ambos espacios.

⁵² OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL (Colombia); Boletín Estadístico Víctimas en Hechos de Tránsito; 2017; p. 1.

Figura 22. Víctimas según el área del hecho.



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Boletín Estadístico Víctimas en Hechos de Tránsito. 2017.

Lo cual demuestra la peligrosidad del tráfico en el medio rural, en adición a lo mencionado cabe destacar que el número de víctimas fatales en el Departamento del Cesar en año 2016 fue de 178 y en lo transcurrido del año 2017 (hasta octubre) fue de 164 fallecidos⁵³. Para el modelo de Conoco-Phillips se deben realizar una gran cantidad de viajes del Campo hasta el acueducto de San Martín, por lo que la actividad genera riesgo de acuerdo con el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, para el modelo planteado por los autores, el empleo de camiones de carga es mínimo y por tanto no supone un riesgo, debido a esto el modelo propuesto tiene un valor de 1 en la matriz y el modelo planteado inicialmente por Conoco-Phillips tiene un valor de 0.

6.4.12 Ruido. Según el resumen ejecutivo de Conoco-Phillips, el nivel de ruido excede de manera leve al límite permitido, siendo en el horario nocturno intensificado por sonidos provenientes de la fauna silvestre, en el horario diurno se tienen en cuenta los sonidos generados por vehículos de paso⁵⁴, en el modelo previsto por Conoco-Phillips se genera ruido tanto en la disposición final de los fluidos (fase de perforación del pozo disposal). así como en la fase del transporte del agua adquirida, debido al empleo de camiones cisterna. Por otra parte, en el modelo propuesto se genera ruido en la construcción e instalación de la línea de flujo y posteriormente el equipo de impulso del agua genera un impacto leve aunque continuo mientras se ejecuta tanto el transporte como la disposición final del fluido,

⁵³ Ibid.; p. 8.

⁵⁴ CONOCO-PHILLIPS; Resumen de Negocios; Op. Cit.; p. 51.

por tanto el valor asignado es de 0 para ambos modelos. El ruido generado y la presencia de personal genera un auyentamiento temporal de las especies nativas.⁵⁵ Según Borbón⁵⁶ el ruido generado por la movilización y montaje de maquinarias y equipos tiene una significancia baja, tanto en la construcción y adecuación de la vía de acceso como en la construcción de la locación.

6.4.13 Periodos de sequía. Los periodos de sequía limitan la adquisición de agua cuando es capada de fuentes superficiales, por ello el factor climático cobra gran importancia ya que la influencia de fenómenos de esta índole generan periodos ya sea de inundación o por el contrario periodos de escasa lluvia en una región determinada, según el IDEAM se estima que en el año 2019 en el trimestre compuesto por los meses marzo, abril y mayo habrá una reducción en las precipitaciones que varían entre el 50% hasta el 70% en la mayor parte del territorio colombiano, las repercusiones van desde incendios de la cobertura vegetal hasta descensos de los niveles y cauces de los ríos⁵⁷. Dicho cauce en este caso está referido al río Magdalena el cual según el mismo boletín de prensa “puede presentar descenso en sus niveles ocasionando limitaciones en la navegabilidad del río”⁵⁸.

Por otra parte, como se describió anteriormente, la demanda de agua no es exclusiva del sector de hidrocarburos y por tanto mantiene una competencia natural con dichos sectores, de forma que en la eventual contingencia en la cual el cauce de los ríos, se deberá priorizar el consumo de ésta, reduciendo así la captación en superficie del recurso hídrico. La situación en donde se ha presentado uso restringido del agua ya se ha presentado en el pasado, según El Heraldo, en el año 2016 se presentó una contingencia la cual fue considerada como calamidad pública, debido a que 19 de los 25 municipios del Departamento del Cesar.⁵⁹ Por tanto, la afectación al modelo de Conoco-Phillips por factores climáticos es clara y por tanto en la matriz ambiental le corresponde un valor de 0, por otra parte el modelo

⁵⁵ *Ibid*; p. 51

⁵⁶ BORBÓN BONILLA, Carolina; Identificación de los Posibles Impactos Ambientales por el Fracturamiento Hidráulico (Fracking) de Yacimientos No Convencionales; Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales; Bogotá D.C.; Universidad Militar Nueva Granada; 2015, pp. 17 y 18.

⁵⁷ IDEAM (Colombia), Boletín de Prensa Disminución de las Lluvias en el Norte y Oriente de Colombia en el Último Mes Evidencian Condiciones asociadas a Una Ocurrencia de un Fenómeno de El Niño para el Primer Semestre de 2019.; diciembre 2018; p. 2.

⁵⁸ *Ibid*; p. 3.

⁵⁹ Barrios, Miguel; Por sequía, declaran calamidad pública en 19 municipios del Cesar; El Heraldo; Valledupar (Colombia); Disponible en Internet en: [<https://www.elheraldo.co/cesar/por-sequia-declaran-calamidad-publica-en-19-municipios-del-cesar-247690>]; Consultado 15/04/2019.

propuesto por los autores no depende del factor climático ya que el agua de suministro proviene del agua de disposición que el Campo Tisquirama vierte.

6.5 RESULTADO DE LAS MATRICES

Para obtener un resultado es necesario comparar cada caso de para la matriz de resultados de Conoco-Phillips y la matriz del modelo propuesto, junto con la valoración integral de cada modelo con la matriz de aspectos socioambientales, en la siguiente matriz se observa la nota ponderada de cada modelo bajo los porcentajes atribuidos a cada fase.

Tabla 36. Matriz de selección.

MATRIZ DE SELECCIÓN									
CASO	ATRIBUTO	COSTO - TIEMPO						SOCIOAMBIENTAL	TOTAL
	Fase Modelo	Adquisición		Transporte		Disposición			
		Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo	Tiempo		
81000	CONOCO-PHILLIPS	3	3	4	5	1	3	0.36	1.86
	PROPUESTO	5	4	1	4	5	5	3.21	2.94
128500	CONOCO-PHILLIPS	2	2	3	4	1	3	0.36	1.38
	PROPUESTO	5	4	1	4	5	4	3.21	2.90
176000	CONOCO-PHILLIPS	1	1	2	4	1	2	0.36	0.92
	PROPUESTO	5	3	1	4	5	4	3.21	2.72

Fuente. Elaboración propia.

La anterior matriz demuestra que sin importar el caso y bajo las condiciones dadas para la realización del proyecto de Conoco-Phillips, el modelo propuesto es más eficiente tanto en factores de costo-tiempo como en la afectación socioambiental que afecta al proyecto, también cabe destacar que la disposición final es la fase en dónde se centra el costo para el modelo de Conoco-Phillips, en cambio para el modelo propuesto la fase en donde más se ve afectado es en la fase de transporte por los costos que conlleva la construcción de la línea de flujo. En el aspecto socioambiental se evidencia que tanto el modelo de Conoco-Phillips como el propuesto no cuentan con licencia ambiental y por tanto la confianza de la comunidad es nula, de igual manera sucede con la participación ciudadana en las zonas de influencia del proyecto. Por otro lado las afectaciones ambientales son drásticamente reducidas en la fase de adquisición, debido a que el modelo propuesto plantea el reciclaje de aguas asociadas a la producción de hidrocarburos del Campo Tisquirama-San Roque.

7. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se evaluará financieramente los dos modelos desde la perspectiva de la compañía operadora que en este escenario es Conoco-Phillips. Se definirán los costos de inversión para los dos modelos y posteriormente mediante el indicador de valor presente neto (VPN), se evaluará que modelo económicamente es el óptimo.

Hay que resaltar que para los dos modelos se hicieron 3 aproximaciones de costos, eso dependía de la cantidad de agua a utilizar. El primero era de 81,000 bbl de agua que era considerado el óptimo. El segundo de 128,500 bbl de agua considerado el operacional y finalmente el tercero de 176,000 bbl considerado el caso crítico. Para esta evaluación financiera los autores utilizaran el escenario teórico para la comparación de los dos modelos tratados. Para la evaluación del modelo de Conoco-Phillips se tomará en cuenta que el transporte se realizará mediante carrotanques de 176,000 bbl, siendo este el más económico entre los tres trabajados.

Las ganancias de este proyecto no están estimadas ya que actualmente se está trabajando en las licencias para desarrollar estimulación hidráulica en yacimientos de roca generadora. Por consiguiente, los autores decidieron evaluar las inversiones de los dos modelos calculando la ganancia mínima anual que se deberá presentar durante un periodo total de 5 años para cubrir la inversión hecha en cada modelo.

- **Valor Presente Neto (VPN).** Es una herramienta que sirve como indicador para medir y determinar la viabilidad de una inversión o un proyecto en términos de rentabilidad y ganancia, el cual proporciona a partir de su análisis un marco de referencia para la toma de decisiones. Por ejemplo, si se quiere invertir en un nuevo activo o proyecto, gracias a este indicador se puede analizar si es viable o no o si realmente conviene llevar a cabo dicha inversión.⁶⁰
- **Tasa Interna de Retorno (TIR).** Es la tasa de rentabilidad que proporciona una inversión, está íntimamente relacionada con el concepto de VPN ya que determina la tasa que se debe utilizar para que el VPN de como resultado cero. Es importante mencionar que para evaluar la TIR se debe tener en cuenta la Tasa Interna de Oportunidad (TIO), si el valor de la TIR es mayor a la TIO se considera que el proyecto es viable, si por el contrario la TIR no es mayor, el proyecto no se considera viable económicamente. Sin embargo, para la

⁶⁰ABC FINANZAS; Disponible en <https://www.abcfinanzas.com/administracion-financiera/valor-presente-neto>; Consultado [15/04/2019].

evaluación del proyecto solo se tendrá en cuenta el Valor Presente Neto como se especificó en el anteproyecto.

- **Tasa Interna De Oportunidad (TIO)** Es aquella tasa mínima que se está dispuesto a aceptar, es decir aquella rentabilidad mínima que se espera ganar al llevar a cabo dicha inversión. Esta tasa se define de acuerdo al conocimiento que se tenga sobre el proyecto y demás análisis que se hagan al respecto. Para la realización de los cálculos se utilizará la tasa interna de oportunidad, establecida por Aswath Damodaran para la evaluación de proyecto petroleros⁶¹ y la prima de riesgo en Colombia (12%).

7.1 INVERSIÓN MODELO DE CONOCO-PHILLIPS

La inversión inicial que deberá realizar Conoco-Phillips utilizando el modelo que ellos tienen propuesto se evidenciará en la sumatoria de los costos en las fases de adquisición, transporte y disposición final desarrollados en el capítulo 3.

A continuación se presenta la fase, el costo de esta fase y finalmente la inversión total de este modelo.

Tabla 37. Inversión total de Conoco-Phillips.

Inversión Total Conoco-Phillips	
Actividad	Costo (COP)
Adquisición de agua del acueducto San Martín	408,331,600
Transporte en carro tanques	387,420,000
Pozo Disposal	9,927,840,000
Inversión Total	10,723,591,600

Fuente. Elaboración propia.

Al ser una inversión que se realiza en el año cero (0), se debe hallar una anualidad, debido a que esta inversión se tiene que ver reflejada de igual manera en todos los periodos de evaluación del proyecto; para esto se va a utilizar la fórmula de la ecuación 1, y se utilizará la tasa interna de oportunidad (TIO), establecida por Aswath Damodaran para la evaluación de proyecto petroleros y la prima de riesgo para Colombia (12%).

⁶¹ EVALUACIÓN DE PROYECTOS PETROLEROS, Aswath Damodaran, [Consultado el 23/11/2017]. Disponible en http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.htm 31 PRIMA DE RIESGO, Aswath Damodaran, [Consultado el 23/11/2017]. Disponible en http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html

Ecuación 9

$$A = VP \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Fuente. Finanzas 9 y 6; Disponible en [www.finanzas9y6.com/anualidades-formulas-y-conceptos/]; Consultado [16/05/19].

La ecuación anterior corresponde a la anualidad. Posteriormente se reemplazan las variables que se tienen definidas previamente como se puede ver en la ecuación 1, el valor presente (Vp) es igual al costo de inversión total, el número de periodos de estudio (n) es cinco (5), esta es la vida útil del proyecto y la tasa interna de oportunidad (i) está definida por Aswath Damodaran y es de 12% efectiva anual, lo cual dará un resultado reflejado en la ecuación 2.

Ecuación 10

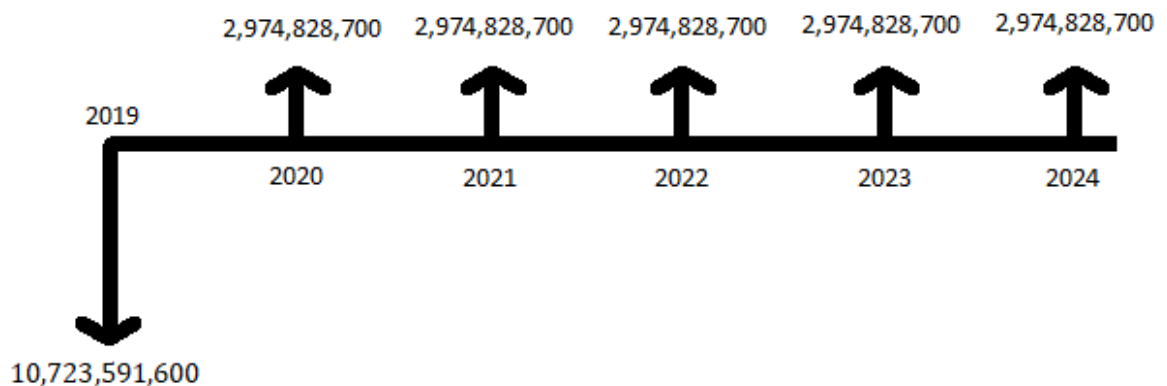
$$A = 10,723,591,600 \frac{0.12 * (1 + .12)^5}{(1 + 0.12)^5 - 1}$$

Fuente. Elaboración propia, basada en Finanzas 9 y 6; Disponible en [www.finanzas9y6.com/anualidades-formulas-y-conceptos/]; Consultado [16/05/19].

Finalmente se opera y obtiene la anualidad, que se tiene para cada periodo de tiempo, correspondiente a la vida útil del proyecto.

$A = 2,974,828,700$ COP.

Figura 23. Diagrama de flujo de caja.



Fuente. Elaboración propia.

En conclusión utilizando el modelo de Conoco-Phillips se deberá hacer una inversión inicial de 10,723,591,600 COP. Para que este dinero se vea retornado en el transcurso de 5 años, se deberá tener una generación de ganancias mínimas de 2,974,828,700 COP anualmente.

7.2 INVERSIÓN MODELO PROPUESTO

En el capítulo 5 se evidencia los gastos que deberá tener este modelo para las fases de adquisición, transporte y disposición final del agua. A continuación se refleja la actividad que se deberá desarrollar y su respectivo costo para dar una inversión total del proyecto.

Tabla 38. Inversión del modelo propuesto.

Inversión Total Modelo Propuesto	
Actividad	Costo (COP)
Compra de tubería	380,410,050
Zanja	30,000,000
Válvulas (12)	3,600,000
Excavaciones (PHD)	298,958,300
Bombas (2)	50,000,000
Mano de Obra	20,000,000
Inversión Total	782,968,350

Fuente. Elaboración propia.

Ya teniendo la inversión total y asumiendo que este valor se realiza en el año 0 (0) se prosigue a calcular una anualidad, debido a que esta inversión se tiene que ver reflejada de igual manera en todos los periodos de evaluación del proyecto; para esto se va a utilizar la fórmula de la ecuación 1, y se utilizara la tasa interna de oportunidad (TIO), establecida por Aswath Damodaran para la evaluación de proyecto petroleros y la prima de riesgo para Colombia (12%). Por lo tanto, nos queda que el valor presente (V_p) es igual al costo de inversión total, el número de periodos de estudio (n) es cinco (5) y la tasa interna de oportunidad definida por Aswath Damodaran de 12%.

Posteriormente se reemplazan las variables que se tienen definidas previamente como se puede ver en la ecuación 1, el valor presente (V_p) es igual al costo de inversión total, el número de periodos de estudio (n) es cinco (5), esta es la vida útil del proyecto y la tasa interna de oportunidad (i) está definida por Aswath Damodaran y es de 12% efectiva anual, lo cual dará un resultado reflejado en la ecuación 3.

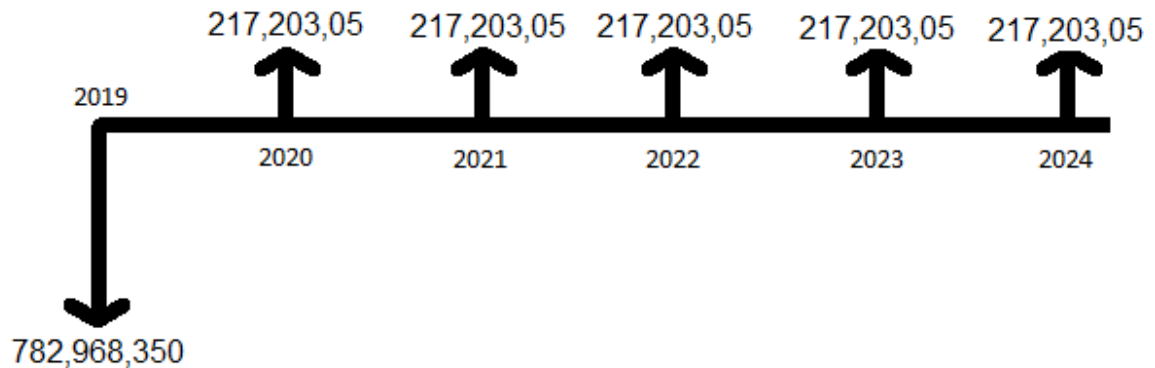
Ecuación 11.

$$A = 782,968,350 \frac{0.12 * (1 + .12)^5}{(1 + 0.12)^5 - 1}$$

Fuente. Finanzas 9 y 6; Disponible en [www.finanzas9y6.com/anualidades-formulas-y-conceptos/]; Consultado [16/05/19].

La ecuación anterior corresponde al desarrollo de la anualidad. Finalmente se opera y obtiene la anualidad, que se tiene para cada periodo de tiempo, correspondiente a la vida útil del proyecto.
 $A = 217,203,050$ COP.

Figura 24. Diagrama flujo de caja.



Fuente. Elaboración propia.

Evidenciando el flujo de caja que se deberá desarrollar por un periodo de 5 años, se concluye que para rescatar la inversión de 782,968,350 COP se deberá tener una ganancia mínima anual de 217,203,050 COP.

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Calculando las anualidades de cada modelo se puede evidenciar que modelo es más económico. Según Francisco Javier Cruz Ariza⁶², al obtener dos anualidades diferentes de dos proyectos distintos, se debe elegir uno analizando primero si los periodos son iguales. En este caso los periodos cumplen el mismo tiempo, el cual es de 5 años.

$$n = 5$$

Posteriormente se le debe asignar una variable a cada anualidad, a continuación se presenta las dos anualidades con su respectiva variable.

⁶² CRUZ, Javier Francisco; Técnicas de Evaluación de la Inversión en Activos No Circulantes; disponible en Internet en: http://www.franciscojaviercruzariza.com/attachments/File/VPN_y_TIR.pdf [Consultado 19/04/2019].

Tabla 39. Comparación de las Anualidades.

Variable	Anualidad (COP)
A1	2,974,828,700
A2	217,203,050

Fuente. Elaboración propia.

Finalmente se analiza que anualidad es mayor que cual, en este caso la anualidad A1 es mayor que la A2.

Por tanto, utilizando el modelo de Conoco-Phillips se deberá generar una ganancia mínima de 2,974,828,700 COP anuales durante un periodo de 5 años. Mientras tanto en el modelo propuesto se deberá generar un retorno anual de 217,203,050 COP en el transcurso de 5 años. La fase fundamental en donde se ve afectado económicamente el modelo de Conoco-Phillips es en la disposición final, ya que, deberán realizar la perforación de un pozo disposal y esta actividad es la que genera mayor costo.

8. CONCLUSIONES

- Al evidenciar las propiedades físico-químicas para el desarrollo de la estimulación hidráulica en roca generadora en el Campo VMM3 y las propiedades físico-químicas del agua excedente de formación en el Campo Tisquirama, se concluye, que el agua excedente cumple con las características requeridas para la estimulación hidráulica.
- La cantidad de volumen de agua a necesitar para desarrollar la actividad de estimulación hidráulica en roca generadora en el Campo VMM3 es de gran interés, ya que, dependiendo de las cantidades de volumen a manejar se verá afectado los aspectos de costo, tiempo, sociales y ambientales, a mayor cantidad de volumen requerido mayor será la afectación de estos aspectos.
- El transporte en el modelo de Conoco-Phillips es un factor importante a analizar, ya que, la selección de carrotanques a utilizar afectan los aspectos de tiempo y costo. Se debe mirar que aspecto se busca beneficiar para darle la mejor selección posible.
- El aspecto con menor valoración en el modelo de Conoco-phillips es el socio-ambiental, ya que, requiere hacer la captación del acueducto, el transporte es mediante carrotanques y la disposición final utilizando un pozo disposal. La valoración final en el aspecto socio-ambiental es de 0.36, cumpliendo con 1 contingencia de 14. El aspecto socio-ambiental del modelo propuesto tiene una valoración de 2.94 cumpliendo con 9 contingencias de 14.
- Contemplando el aspecto del tiempo se evidencia que el modelo propuesto es más rápido ya que tiene una duración de 80 días, 24 días en la adquisición, 48 días en transporte y 8 días en la disposición final, mientras que el de Conoco-Phillips tiene una duración de 135 días en donde 47 días son de adquisición, 40 días transportando y 47 días de disposición final.
- En los aspectos de costo, tiempo, social y ambiental el modelo que mejor cumple para la adquisición, transporte y disposición de agua para realizar estimulación hidráulica en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips es el del modelo propuesto utilizando una cantidad de volumen de 81000 bbl con una valoración de 3.01 en la matriz.
- El modelo propuesto genera menos gastos económicos (782,968,350 COP) comparándolo con el modelo de Conoco-Phillips (10,723,591,600 COP), esto se debe a que en el modelo propuesto no se tiene en consideración la perforación

de un pozo disposal para la disposición final. Si solo se tuviera en cuenta las fases de adquisición y transporte los costos de los dos modelos serian similares.

9. RECOMENDACIONES

- La adquisición de agua excedente de formación debería tomarse de otros campos aledaños al Campo VMM3 para una adquisición más rápida.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del fluido de fractura que requiere desarrollar la estimulación hidráulica en el Campo VMM3 de Conoco-Phillips relacionando la formación.
- Elaborar una planta de tratamiento para modificar las propiedades fisicoquímicas del agua para desarrollar la estimulación hidráulica en roca generadora.
- Calcular mediante una simulación del yacimiento cuanta cantidad de agua de retorno habrá posteriormente a la estimulación hidráulica.
- Desarrollar la continuación del modelo propuesto en donde se contemple la reutilización del agua de *flowback* en yacimientos en roca generadora dándole una utilización diferente a la disposición en pozos disposal.
- Contemplar la licencia social y la participación de las comunidades en las actividades de estimulación hidráulica.
- Dar uso del modelo propuesto en otro campo en donde se realice estimulación hidráulica en roca generadora y evaluar los parámetros utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

ABC FINANZAS; Disponible en <https://www.abcfinanzas.com/administracion-financiera/valor-presente-neto>; Consultado [15/04/2019].

ANDEMOS (Colombia); Análisis de Emisiones del Parque de Camiones de Colombia; 2012.

ANDEMOS (Colombia); Inventario de Emisiones Vehículos Colombia; Consultado en Internet, disponible en: <http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2017/03/Presentacion-ANDEMOS-Emisiones-01.25.2017-v8.pdf>.

ANH, Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. 2007.

ARIAS TAUTA, Alfonso y VARGAS HIGUERA, Rodrigo; Geología de las planchas 86 Abrego y 97 Cáchira, Memoria Explicativa, 1978.

BARRERO, Darío et al; Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. 2007.

BARRIOS, Miguel; Por sequía, declaran calamidad pública en 19 municipios del Cesar; El Heraldo; Valledupar (Colombia). Disponible en Internet en: <https://www.elheraldo.co/cesar/por-sequia-declaran-calamidad-publica-en-19-municipios-del-cesar-247690>.

BENAVIDES, Estefanía y MARTÍN, Juan. ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA TECNOLOGÍA DE LAS ESTIMULACIONES HIDRÁULICAS MASIVAS Y SU POTENCIAL APLICACIÓN EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DE SHALE EN COLOMBIA; Ingeniero de Petróleos. Bogotá D.C., Colombia. Fundación Universidad de América. 2018.

BERNAL VARGAS, Luis Enrique et al; Cartografía geológica de 9.600 km² de la Serranía de San Lucas: planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica; 2006.

BORBÓN BONILLA, Carolina; Identificación de los Posibles Impactos Ambientales por el Fracturamiento Hidráulico (Fracking) de Yacimientos No Convencionales; Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales; Bogotá D.C.; Universidad Militar Nueva Granada; 2015.

BOSCHEE, Pam; Handling Produced Water from Hydraulic Fracturing; 2012.

COLOMBIA. ANLA; Informe de cumplimiento por ECOPETROL S.A. en marzo de 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE; Decreto 050 16 de enero de 2018.

_____; Resolución 0631 del 17 de marzo de 2018.

_____; Resolución 1207 de 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL TRABAJO, Decreto 1668 de 2016.

COMISIÓN INTERDISCIPLINARIA INDEPENDIENTE; Informe Sobre Efectos Ambientales (Bióticos, Físicos y Sociales) y Económicos de la Exploración de Hidrocarburos en Áreas con Posible Despliegue de Técnicas de Fracturamiento Hidráulico de Roca Generadora Mediante Perforación Horizontal; 2019.

CONOCO-PHILLIPS; Estudio De Impacto Ambiental Para La Perforación Exploratoria De Hidrocarburos - Área De Perforación Exploratoria (Ape) Plata; 2017.

CRANE; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.

ECOPETROL S.A.; Norma NIO 0900; 1997.

_____; Norma NIO 0901; 1997.

_____; Norma NIO 0903; 1997.

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA DE CIUDAD REAL; Cátedra de Ingeniería Rural; Disponible en Internet en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF [Consultado 06/04/2019].

EVALUACIÓN DE PROYECTOS PETROLEROS, Aswath Damodaran; Disponible en http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.htm 31 PRIMA DE RIESGO, Aswath Damodaran.; Disponible en http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html; [Consultado el 23/11/2017].

GRIMALDO, David Fernando y PORRAS, Luisa Fernanda; Evaluación Técnico Financiera a nivel de Laboratorio de la Viabilidad del Uso de Nuevos Inhibidores de Arcillas Tipo Amina y Silicato de Potasio en la Formulación del fluido de perforación base agua para el Campo San Roque; Ingeniero de Petróleos; Bogotá D.C., Colombia; Fundación Universidad de América; 2016.

IDEAM-INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (Colombia), Boletín de Prensa Disminución de las Lluvias en el Norte y Oriente de Colombia en el Último Mes Evidencian Condiciones asociadas a Una Ocurrencia de un Fenómeno de El Niño para el Primer Semestre de 2019.; diciembre 2018.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-1486-6166. Compendio de normas para trabajos escritos. Bogotá D.C. El instituto, 2018.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA; Resolución 9 0341 de 2014; Año 2014.

MONTGOMERY, Carl; Proceedings of the International Conference for Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing.

MORALES et al.; Habitat of oil.; Año 1955.

O. VAZQUEZ, R. Mehta et al; Post-frac Flowback Water Chemistry Matching in a Shale Development; SPE; 2014.

OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL (Colombia); Boletín Estadístico Víctimas en Hechos de Tránsito; 2017.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD; Notas técnicas sobre agua, saneamiento e higiene en emergencias. Suministro de agua mediante camión cisterna.

ROJAS SUÁREZ, César Augusto; Modelamiento Geoestadístico de los Depósitos Fluviales de la Zona C- Formación Mugrosa en el Área la Cira-Este del Campo La Cira; 2011.

SARMIENTO, Gustavo et al; Evolución Geológica y Estratigráfica del Sector Norte del Valle Medio del Magdalena.; 2015

SUÁREZ RUEDA, Carlos Orlando; Arenas basales del Cretáceo inferior, potencial roca hidrocarburífera en la región central de la cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia

SULZER; Catálogo de Sulzer; disponible en Internet en <https://www.sulzer.com/en/shared/products/2017/03/28/12/52/ohhl-low-flow-high-head-pumps>; consultado [11/04/2019].

SULZER; Catálogo de Sulzer; disponible en Internet en: <https://www.sulzer.com/en/shared/products/2017/04/19/13/40/high-lift-centrifugal-pumps-hph-and-hpl>, consultado [11/04/2019].

TIPIEL; Costos de Construcción para Cruces Subfluviales, Aéreos, y Sísmicos; 2017.

ANEXOS

ANEXO A

COMPUESTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LOS FLUIDOS DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO

Chemical Name	CAS Number	Chemical Purpose	Product Function	Hazard Rating ¹
Hydrotreated Light Petroleum Distillate	064742-47-8	Carrier fluid for gelling agents, friction reducers and crosslinkers	Carrier fluid and fluid loss control	3**
Potassium Metaborate KBO ₂	013709-94-9	Crosslinker for borate crosslinked fluids	Crosslinker	3*
Triethanolamine (TEA) N(CH ₂ CH ₂ OH) ₃	102-71-6	Maintains fluid viscosity as temperature increases	Fluid Stabilizer	5*,3**
Sodium Tetraborate Na ₂ B ₄ O ₇	001330-43-4	Crosslinker for borate crosslinked fluids	Crosslinker	4*
Boric Acid H ₃ BO ₃	13343-35-3	Crosslinker for borate crosslinked fluids	Crosslinker	4*
Chelated Zirconium		Crosslinker for High Temperature or low pH Fluids	Crosslinker	
Zirconium oxychloride ZrCl ₂ O	7699-43-6	Inorganic Clay Stabilizer	Clay Stabilizer	4*
Ethylene Glycol OCH ₂ CH ₂ OH	000107-21-1	Product stabilizer and / or winterizing agent.	Winterizing Agent	4*
Methanol CH ₃ OH	000067-56-1	Surface Tension Reduction and / or winterizing agent.	Fluid Recovery and Winterizing Agent	3*,3**
Polyacrylamide (C ₃ H ₅ NO) _n	009003-05-8	"Slicks" the water to minimize friction	Friction Reducer	5*
Guar Gum and its derivatives HPG, CMHPG	009000-30-0	Thickens the water in order to suspend the proppant and reduce friction	Gelling Agents	NR
Derivatives of cellulose - HEC, CMHEC R(n)OCH ₂ COONa	9004-34-6 9004-32-4	Thickens the water in order to suspend the proppant and reduce friction	Gelling Agents	NR
Xanthan gum	11138-66-2	Thickens Acid in order to control fluid loss	Gelling Agent	NR
Citric Acid (HOOCCH ₂) ₂ C(OH)COOH	000077-92-9	Prevents precipitation of metal oxides	Iron Control	5*,8**
Acetic Acid CH ₃ COOH	000064-19-7	Prevents precipitation of metal oxides and pH control	Iron Control and pH Adjustment	4*,8**
Thioglycolic Acid HSCH ₂ COOH	000068-11-1	Prevents precipitation of metal oxides	Iron Control	3*,8**
Sodium Erythorbate C ₆ H ₇ O ₆ . Na	006381-77-7	Prevents precipitation of metal oxides	Iron Control	NR

Chemical Name	CAS Number	Chemical Purpose	Product Function	Hazard Rating ¹
Lauryl Sulfate and its Derivatives C ₁₂ H ₂₅ OSO ₂ ONa	000151-21-3	Used to prevent the formation of emulsions in the reservoir and to improve fluid recovery	Non-Emulsifier and Surfactants	4*
Sodium Hydroxide NaOH	001310-73-2	Adjusts the pH of fluid to initiate the effectiveness of other components, such as crosslinkers	pH Adjusting Agent	4*,8**
Potassium Hydroxide KOH	001310-58-3	Adjusts the pH of fluid to initiate the effectiveness of other components, such as crosslinkers	pH Adjusting Agent	2*,8**
Sodium Carbonate Na ₂ CO ₃	000497-19-8	Adjusts the pH of fluid to maintains the effectiveness of other components, such as crosslinkers	pH Adjusting Agent	5*,5**
Potassium Carbonate K ₂ CO ₃	000584-08-7	Adjusts the pH of fluid to maintains the effectiveness of other components, such as crosslinkers	pH Adjusting Agent	4*
Sodium Acrylate and Copolymers of Acrylamide C ₃ H ₃ O ₂ . Na	007446-81-3	Prevents scale deposits in the pipe or in the fracture	Scale Inhibitor	NR
Sodium Polycarboxylate	N/A	Prevents scale deposits in the pipe	Scale Inhibitor	
Phosphonic Acid Salt	N/A	Prevents scale deposits in the pipe	Scale Inhibitor	
Naphthalene C ₁₀ H ₈	000091-20-3	Carrier fluid for the active surfactant ingredients	Surfactant	3*,4**
Ethylene glycol monobutyl ether - EGMBE C ₄ H ₉ OCH ₂ CH ₂ OH	000111-76-2	Surface Tension Reduction for Fluid Recovery	Surfactant	4*, 6**

1 – Hazard Rating – An attempt was made to rate the hazard associated with each of the chemicals listed. The first number with the single * is the Poison Hazard as defined by the EU/Swiss Poison Class while the second number with the double ** is the transportation Hazard as defined by the US Department of Transportation (DOT). If a NR is present in the box no rating was found and the substance was normally non-hazardous.

* EU/Swiss Poison Class

Table 1. A summary of the various chemicals used to make Hydraulic Fracturing fluids along with a degree of hazard rating. Modified from " [www. http://fracfocus.org/chemical-use/what-chemicals-are-used](http://fracfocus.org/chemical-use/what-chemicals-are-used)"

ANEXO B
PORCENTAJE DE PENDIENTE DEL PERFIL TOPOGRÁFICO

Distancia	Altura	% pendiente
0	61	NA
900	68	0.777777778
1340	68	0
2220	59	1.022727273
3180	61	0.208333333
3560	70	2.368421053
4000	70	0
5000	61	0.9
5470	67	1.276595745
7190	50	0.988372093
7990	58	1
8670	51	1.029411765
9170	58	1.4
10000	46	1.445783133

ANEXO C
PRESIÓN SOPORTADA POR LA TUBERÍA

Table 3A—Tensile Requirements for PSL 1

(1) Grade	(2)		(3)		(4) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	Yield Strength, Minimum		Ultimate Tensile Strength, Minimum		
	psi	MPa	psi	MPa	
A25	25,000	(172)	45,000	(310)	a
A	30,000	(207)	48,000	(331)	a
B	35,000	(241)	60,000	(414)	a
X42	42,000	(290)	60,000	(414)	a
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	a
X52	52,000	(359)	66,000	(455)	a
X56	56,000	(386)	71,000	(490)	a
X60	60,000	(414)	75,000	(517)	a
X65	65,000	(448)	77,000	(531)	a
X70	70,000	(483)	82,000	(565)	a

Table 6B (Continued)—Plain-end Line Pipe Dimensions, Weights per Unit Length, and Test Pressures for Sizes 2³/₈ through 5⁹/₁₆ (U.S. Customary Units)

(1) Size	(2) Specified Outside Diameter <i>D</i> (in.)	(3) Specified Wall Thickness <i>t</i> (in.)	(4) Plain-end Weight per Unit Length <i>w_{pe}</i> (lb/ft)	(5) Calculated Inside Diameter ^a <i>d</i> (in.)	(6)–(16) Minimum Test Pressure (psi) ^b											
					Grade A25	Grade A	Grade B	Grade X42	Grade X46	Grade X52	Grade X56	Grade X60	Grade X65	Grade X70	Grade X80	
					Std.	Alt.	Std.	Alt.	Std.	Alt.	Std.	Alt.	Std.	Alt.	Std.	Alt.
3 ¹ / ₂ ^c	3.500	0.125	4.51	3.250	Std.	1000	1290	1500	1800	1970	2230	2400	2570	2790	3000	—
					Alt.	—	1610	1880	2250	2460	2790	3000	3210	3480	3750	—
3 ¹ / ₂ ^c	3.500	0.141	5.06	3.218	Std.	1000	1450	1690	2030	2220	2510	2710	2900	3000	3000	—
					Alt.	—	1810	2120	2540	2780	3140	3380	3630	3930	4230	—
3 ¹ / ₂ ^c	3.500	0.156	5.58	3.188	Std.	1000	1600	1870	2250	2460	2780	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2010	2340	2810	3080	3480	3740	4010	4350	4680	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.172	6.12	3.156	Std.	1000	1770	2060	2480	2710	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2210	2500	3100	3390	3830	4130	4420	4790	5160	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.188	6.66	3.124	Std.	1000	1930	2260	2710	2970	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2420	2500	3380	3710	4190	4510	4830	5240	5640	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.216	7.58	3.068	Std.	1000	2220	2500	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2500	2500	3890	4260	4810	5180	5550	6020	6480	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.250	8.69	3.000	Std.	—	2500	2500	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2500	2500	4500	4930	5570	6000	6430	6960	7260	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.281	9.67	2.938	Std.	—	2500	2500	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2500	2500	5060	5540	6260	6740	7230	7260	7260	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.300	10.26	2.900	Std.	1300	2500	2500	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2500	2500	5400	5910	6690	7200	7260	7260	7260	—
3 ¹ / ₂	3.500	0.600	18.60	2.300	Std.	—	2500	2500	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2500	2500	7260	7260	7260	7260	7260	7260	7260	—
4 ^c	4.000	0.083	3.48	3.834	Std.	—	750	870	1050	1150	1290	1390	1490	1620	1740	—
					Alt.	—	930	1090	1310	1430	1620	1740	1870	2020	2180	—
4 ^c	4.000	0.109	4.53	3.782	Std.	600	980	1140	1370	1500	1700	1830	1960	2130	2290	—
					Alt.	—	1230	1430	1720	1880	2130	2290	2450	2660	2860	—
4 ^c	4.000	0.125	5.18	3.750	Std.	—	1130	1310	1580	1730	1950	2100	2250	2440	2630	—
					Alt.	—	1410	1640	1970	2160	2440	2630	2810	3050	3280	—
4 ^c	4.000	0.141	5.82	3.718	Std.	800	1270	1480	1780	1950	2200	2370	2540	2750	2960	—
					Alt.	—	1590	1850	2220	2430	2750	2960	3170	3440	3700	—
4 ^c	4.000	0.156	6.41	3.688	Std.	—	1400	1640	1970	2150	2430	2620	2810	3000	3000	—
					Alt.	—	1760	2050	2460	2690	3040	3280	3510	3800	4100	—
4	4.000	0.172	7.04	3.656	Std.	1000	1550	1810	2170	2370	2680	2890	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	1940	2260	2710	2970	3350	3610	3870	4190	4520	—
4	4.000	0.188	7.66	3.624	Std.	1200	1690	1970	2370	2590	2930	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2120	2470	2960	3240	3670	3950	4230	4580	4940	—
4	4.000	0.226	9.12	3.548	Std.	1200	2030	2370	2850	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2540	2800	3560	3900	4410	4750	5090	5510	5930	—
4	4.000	0.250	10.02	3.500	Std.	—	2250	2630	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2800	2800	3940	4310	4880	5250	5630	6090	6560	—
4	4.000	0.281	11.17	3.438	Std.	—	2530	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2800	2800	4430	4850	5480	5900	6320	6850	7260	—
4	4.000	0.318	12.52	3.364	Std.	1700	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	—
					Alt.	—	2800	2800	5010	5490	6200	6680	7160	7260	7260	—
4 ¹ / ₂ ^c	4.500	0.083	3.92	4.334	Std.	—	660	770	930	1020	1150	1240	1330	1440	1550	1770
					Alt.	—	830	970	1160	1270	1440	1550	1660	1800	1940	2210
4 ¹ / ₂ ^c	4.500	0.125	5.85	4.250	Std.	800	1000	1170	1400	1530	1730	1870	2000	2170	2330	2670
					Alt.	—	1250	1460	1750	1920	2170	2330	2500	2710	2920	3330
4 ¹ / ₂ ^c	4.500	0.141	6.57	4.218	Std.	—	1130	1320	1580	1730	1960	2110	2260	2440	2630	3000
					Alt.	—	1410	1650	1970	2160	2440	2630	2820	3060	3290	3760
4 ¹ / ₂ ^c	4.500	0.156	7.24	4.188	Std.	1000	1250	1460	1750	1910	2160	2330	2500	2700	2910	3000
					Alt.	—	1560	1820	2180	2390	2700	2910	3120	3380	3640	4160

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
Size	Specified Outside Diameter <i>D</i> (in.)	Specified Wall Thickness <i>t</i> (in.)	Plain-end Weight per Unit Length <i>w_{pe}</i> (lb/ft)	Calculated Inside Diameter ^a <i>d</i> (in.)	Minimum Test Pressure (psi) ^b											
					Grade A25	Grade A	Grade B	Grade X42	Grade X46	Grade X52	Grade X56	Grade X60	Grade X65	Grade X70	Grade X80	
4 ¹ / ₂	4.500	0.172	7.96	4.156	Std.	—	1380	1610	1930	2110	2390	2570	2750	2980	3000	3000
					Alt.	—	1720	2010	2410	2640	2980	3210	3440	3730	4010	4590
4 ¹ / ₂	4.500	0.188	8.67	4.124	Std.	1200	1500	1750	2110	2310	2610	2810	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	1880	2190	2630	2880	3260	3510	3760	4070	4390	5010
4 ¹ / ₂	4.500	0.203	9.32	4.094	Std.	—	1620	1890	2270	2490	2810	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2030	2370	2840	3110	3520	3790	4060	4400	4740	5410
4 ¹ / ₂	4.500	0.219	10.02	4.062	Std.	1200	1750	2040	2450	2690	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2190	2560	3070	3360	3800	4090	4380	4700	5110	5840
4 ¹ / ₂	4.500	0.237	10.80	4.026	Std.	1200	1900	2210	2650	2910	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2370	2770	3320	3630	4110	4420	4740	5140	5530	6320
4 ¹ / ₂	4.500	0.250	11.36	4.000	Std.	—	2000	2330	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2500	2800	3500	3830	4330	4670	5000	5420	5830	6670
4 ¹ / ₂	4.500	0.281	12.67	3.938	Std.	—	2250	2620	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	3930	4310	4870	5250	5620	6090	6560	7260
4 ¹ / ₂	4.500	0.312	13.97	3.876	Std.	—	2500	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	4370	4780	5410	5820	6240	6760	7260	7260
4 ¹ / ₂	4.500	0.337	15.00	3.826	Std.	1700	2700	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	4720	5170	5840	6290	6740	7260	7260	7260
4 ¹ / ₂	4.500	0.438	19.02	3.624	Std.	—	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	6130	6720	7260	7260	7260	7260	7260	7260
4 ¹ / ₂	4.500	0.531	22.53	3.438	Std.	—	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	7260	7260	7260	7260	7260	7260	7260	7260
4 ¹ / ₂	4.500	0.674	27.57	3.152	Std.	—	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	7260	7260	7260	7260	7260	7260	7260	7260
5 ⁹ / ₁₆ ^c	5.563	0.083	4.86	5.397	Std.	—	540	630	750	820	930	1000	1070	1160	1250	1430
					Alt.	—	670	780	940	1030	1160	1250	1340	1450	1570	1790
5 ⁹ / ₁₆ ^c	5.563	0.125	7.27	5.313	Std.	670	810	940	1130	1240	1400	1510	1620	1750	1890	2160
					Alt.	—	1010	1180	1420	1550	1750	1890	2020	2190	2360	2700
5 ⁹ / ₁₆ ^c	5.563	0.156	9.02	5.251	Std.	840	1010	1180	1410	1550	1750	1880	2020	2190	2360	2690
					Alt.	—	1260	1470	1770	1930	2190	2360	2520	2730	2940	3370
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.188	10.80	5.187	Std.	1010	1220	1420	1700	1870	2110	2270	2430	2640	2840	3000
					Alt.	—	1520	1770	2130	2330	2640	2840	3040	3290	3550	4060
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.219	12.51	5.125	Std.	1180	1420	1650	1980	2170	2460	2650	2830	3000	3000	3000
					Alt.	—	1770	2070	2480	2720	3070	3310	3540	3840	4130	4720
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.258	14.63	5.047	Std.	1200	1670	1950	2340	2560	2890	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2090	2430	2920	3200	3620	3900	4170	4520	4870	5570
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.281	15.87	5.001	Std.	1520	1820	2120	2550	2790	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2270	2650	3180	3490	3940	4240	4550	4920	5300	6060
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.312	17.51	4.939	Std.	1680	2020	2360	2830	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2520	2800	3530	3870	4370	4710	5050	5470	5890	6730
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.344	19.19	4.875	Std.	1860	2230	2600	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2780	2800	3900	4270	4820	5190	5570	6030	6490	7260
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.375	20.80	4.813	Std.	2020	2430	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	4250	4650	5260	5660	6070	6570	7080	7260
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.500	27.06	4.563	Std.	2700	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	5660	6200	7010	7260	7260	7260	7260	7260
5 ⁹ / ₁₆	5.563	0.625	32.99	4.313	Std.	2800	2800	2800	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
					Alt.	—	2800	2800	7080	7260	7260	7260	7260	7260	7260	7260

ANEXO D

PRECIO POR METRO DE LAS PERFORACIONES PHD

Aplica para Gas y Líquidos

Tabla 1A1 - Variable 3a-Water Table-Sumps & Ditches

Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 3a-Water Table-Sumps & Ditches														
	2.375	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48
1 ea 30 mts	4,165	5,945	7,139	8,181	9,269	10,421	12,648	14,822	16,963	19,750	24,417	32,296	39,569	47,295	53,591
1 ea 45 mts	6,248	8,918	10,708	12,272	13,903	15,632	18,971	22,233	25,475	29,625	36,626	48,444	59,354	70,942	80,387
1 ea 60 mts	8,331	11,891	14,277	16,362	18,538	20,842	25,295	29,644	33,966	39,500	48,835	64,591	79,139	94,589	107,182
1 ea 75 mts	10,414	14,863	17,846	20,453	23,172	26,053	31,819	37,055	42,458	49,375	61,044	80,739	98,924	118,237	133,978
1 ea 100 mts	13,885	19,818	23,795	27,271	30,896	34,737	42,158	49,407	56,611	65,833	81,392	107,652	131,898	157,649	178,637
1 ea 150 mts	20,827	29,727	35,693	40,906	46,344	52,106	63,238	74,111	84,916	98,749	122,087	161,478	197,847	236,473	267,955
1 ea 200 mts	27,769	39,636	47,590	54,541	61,792	69,475	84,317	98,814	113,221	131,666	162,783	215,305	263,796	315,297	357,274
1 ea 250 mts	34,712	49,545	59,488	68,177	77,240	86,843	105,396	123,518	141,526	164,582	203,479	269,131	329,745	394,122	446,592
1 ea 300 mts	41,654	59,453	71,386	81,812	92,688	104,212	126,475	148,222	169,832	197,498	244,175	322,957	395,694	472,946	535,911
1 ea 400 mts	55,539	79,271	95,181	109,082	123,584	138,960	168,634	197,629	226,442	263,331	325,567	430,609	527,592	630,595	714,548
1 ea 500 mts	69,423	99,089	118,978	136,353	154,480	173,687	210,792	247,036	283,053	329,164	406,958	538,261	659,491	788,243	893,185
1 ea 600 mts	83,308	118,907	142,771	163,624	185,376	208,424	252,951	296,443	339,663	394,997	488,350	645,914	791,389	945,892	1,071,822
1 ea 700 mts	97,193	138,725	166,567	190,894	216,271	243,162	295,109	345,850	396,274	460,829	569,742	753,566	923,287	1,103,541	1,250,459
1 ea 800 mts	111,077	158,543	190,362	218,165	247,167	277,899	337,267	395,258	452,884	526,662	651,133	861,218	1,055,185	1,261,190	1,429,096
1 ea 900 mts	124,962	178,360	214,157	245,435	278,063	312,636	379,426	444,665	509,495	592,495	732,525	968,871	1,187,083	1,418,838	1,607,732
1 ea 1000 mts	138,847	198,178	237,952	272,706	308,959	347,374	421,584	494,072	566,106	658,328	813,917	1,076,523	1,318,981	1,576,487	1,786,369
1 ea 1100 mts	152,731	217,996	261,747	299,977	339,855	382,111	463,743	543,479	622,716	724,160	895,308	1,184,175	1,450,879	1,734,136	1,965,006
1 ea 1200 mts	166,616	237,814	285,543	327,247	370,751	416,849	505,901	592,887	679,327	789,993	976,700	1,291,827	1,582,777	1,891,784	2,143,643
1 ea 1300 mts	180,501	257,632	309,338	354,518	401,647	451,586	548,060	642,294	735,937	855,826	1,058,092	1,399,480	1,714,675	2,049,433	2,322,280
1 ea 1400 mts	194,385	277,450	333,133	381,788	432,543	486,323	590,218	691,701	792,548	921,659	1,139,483	1,507,132	1,846,574	2,207,082	2,500,917
1 ea 1500 mts	208,270	297,267	356,928	409,059	463,439	521,061	632,376	741,108	849,158	987,491	1,220,875	1,614,784	1,978,472	2,364,730	2,679,554
1 ea 1600 mts	222,155	317,065	380,724	436,330	494,335	555,798	674,535	790,515	905,769	1,053,324	1,302,267	1,722,437	2,110,370	2,522,379	2,858,191
1 ea 1700 mts	236,039	336,903	404,519	463,600	525,231	590,535	716,893	839,923	962,379	1,119,157	1,383,658	1,830,089	2,242,268	2,680,028	3,036,828
1 ea 1800 mts	249,924	356,721	428,314	490,871	556,127	625,273	758,852	889,330	1,018,990	1,184,990	1,465,050	1,937,741	2,374,166	2,837,676	3,215,465
1 ea 1900 mts	263,809	376,539	452,109	518,141	587,022	660,010	801,010	938,737	1,075,601	1,250,822	1,546,442	2,045,393	2,506,064	2,995,325	3,394,102
1 ea 2000 mts	277,693	396,356	475,905	545,412	617,918	694,748	843,168	988,144	1,132,211	1,316,655	1,627,833	2,153,046	2,637,962	3,152,974	3,572,739
1 ea 2500 mts	347,117	495,446	594,881	681,765	772,398	868,434	1,053,961	1,235,180	1,415,264	1,645,819	2,034,792	2,691,307	3,297,453	3,941,217	4,465,924
1 ea 3000 mts	416,540	594,535	713,857	818,118	926,878	1,042,121	1,264,753	1,482,216	1,698,317	1,974,963	2,441,750	3,229,569	3,956,943	4,729,461	5,359,108
1 ea 3500 mts	485,963	693,624	832,833	954,471	1,081,357	1,215,808	1,475,545	1,729,252	1,981,369	2,304,146	2,848,708	3,767,830	4,616,434	5,517,704	6,252,293
1 ea 4000 mts	555,387	792,713	951,809	1,090,824	1,235,837	1,389,495	1,686,337	1,976,288	2,264,422	2,633,310	3,255,666	4,306,091	5,275,924	6,305,948	7,145,478
1 ea 4500 mts	624,810	891,802	1,070,785	1,227,177	1,390,316	1,563,182	1,897,129	2,223,324	2,547,475	2,962,474	3,662,625	4,844,353	5,935,415	7,094,191	8,038,662
1 ea 5000 mts	694,233	990,891	1,189,761	1,363,530	1,544,796	1,736,869	2,107,921	2,470,361	2,830,528	3,291,638	4,069,583	5,382,614	6,594,906	7,882,434	8,931,847

Tabla 1A2 - Variable 3b-Water Table-Well Point System

Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 3b-Water Table-Well Point System															
	2.375	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48	
1 ea 30 mts	5,962	7,743	8,937	9,980	11,068	12,401	14,628	16,803	18,964	21,731	26,570	34,449	41,725	49,451	55,749	
1 ea 45 mts	8,944	11,614	13,405	14,970	16,602	18,602	21,942	25,204	28,447	32,597	39,855	51,674	62,587	74,177	83,624	
1 ea 60 mts	11,925	15,486	17,873	19,960	22,136	24,802	29,255	33,606	37,929	43,463	53,140	68,899	83,449	98,903	111,499	
1 ea 75 mts	14,906	19,357	22,342	24,949	27,670	31,003	36,569	42,007	47,411	54,329	66,425	86,124	104,312	123,628	139,373	
1 ea 100 mts	19,875	25,810	29,789	33,266	36,893	41,337	48,759	56,009	63,214	72,438	88,566	114,832	139,082	164,838	185,831	
1 ea 150 mts	29,812	38,715	44,683	49,899	55,339	62,005	73,139	84,014	94,822	108,657	132,849	172,247	208,623	247,257	278,746	
1 ea 200 mts	39,750	51,620	59,578	66,532	73,786	82,674	97,518	112,019	126,429	144,877	177,132	229,663	278,165	329,676	371,662	
1 ea 250 mts	49,687	64,524	74,472	83,165	92,232	103,342	121,898	140,024	158,036	181,096	221,415	287,079	347,706	412,094	464,577	
1 ea 300 mts	59,625	77,429	89,367	99,798	110,679	124,011	146,277	168,028	189,843	217,315	265,698	344,495	417,247	494,513	557,493	
1 ea 400 mts	79,499	103,239	119,156	133,064	147,572	165,348	195,036	224,038	252,858	289,753	354,264	459,326	556,329	659,351	743,324	
1 ea 500 mts	99,374	129,049	148,944	166,330	184,465	206,685	243,795	280,047	316,072	362,191	442,830	574,158	695,412	824,189	929,155	
1 ea 600 mts	119,249	154,859	178,733	199,595	221,358	248,022	292,554	336,057	379,287	434,630	531,396	688,989	834,494	989,027	1,114,986	
1 ea 700 mts	139,124	180,668	208,522	232,861	258,251	289,359	341,313	392,066	442,501	507,068	619,962	803,821	973,576	1,153,865	1,300,817	
1 ea 800 mts	158,999	206,478	236,311	266,127	295,144	330,696	390,072	448,076	505,716	579,506	708,528	918,653	1,112,659	1,318,702	1,486,648	
1 ea 900 mts	178,874	232,268	268,100	299,393	332,037	372,033	438,831	504,085	568,930	651,945	797,094	1,033,484	1,251,741	1,483,540	1,672,479	
1 ea 1000 mts	198,749	258,098	297,889	332,659	368,930	413,370	487,590	560,095	632,144	724,383	885,660	1,148,316	1,390,823	1,648,378	1,858,310	
1 ea 1100 mts	218,623	283,907	327,678	365,925	405,823	454,707	538,349	616,104	695,359	796,821	974,226	1,263,147	1,529,905	1,813,216	2,044,141	
1 ea 1200 mts	238,498	309,717	357,467	399,191	442,716	496,044	585,108	672,114	758,573	869,259	1,062,793	1,377,979	1,668,988	1,978,054	2,229,972	
1 ea 1300 mts	258,373	335,527	387,256	432,457	479,608	537,381	633,868	728,123	821,788	941,698	1,151,359	1,492,811	1,808,070	2,142,891	2,415,803	
1 ea 1400 mts	278,248	361,337	417,044	465,723	516,501	578,718	682,627	784,132	885,002	1,014,136	1,239,925	1,607,642	1,947,152	2,307,729	2,601,633	
1 ea 1500 mts	298,123	387,146	446,833	498,989	553,394	620,055	731,386	840,142	948,217	1,086,574	1,328,491	1,722,474	2,086,235	2,472,567	2,787,464	
1 ea 1600 mts	317,998	412,956	476,622	532,254	590,287	661,392	780,145	896,151	1,011,431	1,159,012	1,417,057	1,837,305	2,225,317	2,637,405	2,973,295	
1 ea 1700 mts	337,873	438,766	506,411	565,520	627,180	702,729	828,904	952,161	1,074,646	1,231,451	1,505,623	1,952,137	2,364,399	2,802,243	3,159,126	
1 ea 1800 mts	357,747	464,576	536,200	598,786	664,073	744,065	877,663	1,008,170	1,137,860	1,303,889	1,594,189	2,066,968	2,503,482	2,967,080	3,344,957	
1 ea 1900 mts	377,622	490,385	565,989	632,052	700,966	785,402	926,422	1,064,180	1,201,074	1,376,327	1,682,755	2,181,800	2,642,564	3,131,918	3,530,788	
1 ea 2000 mts	397,497	516,195	595,778	665,318	737,859	826,739	975,181	1,120,189	1,264,269	1,448,766	1,771,321	2,296,632	2,781,646	3,296,756	3,716,619	
1 ea 2500 mts	496,871	645,244	744,722	831,648	922,324	1,033,424	1,218,976	1,400,237	1,580,361	1,810,957	2,214,151	2,870,789	3,477,058	4,120,945	4,645,774	
1 ea 3000 mts	596,246	774,293	893,667	997,977	1,106,789	1,240,109	1,462,771	1,680,284	1,896,433	2,173,148	2,656,981	3,444,947	4,172,469	4,945,134	5,574,929	
1 ea 3500 mts	695,620	903,341	1,042,611	1,164,307	1,291,254	1,446,794	1,706,586	1,960,331	2,212,506	2,535,340	3,099,812	4,019,105	4,867,881	5,769,323	6,504,084	
1 ea 4000 mts	794,994	1,032,390	1,191,556	1,330,636	1,475,718	1,653,479	1,950,362	2,240,378	2,528,578	2,897,531	3,542,642	4,593,263	5,563,293	6,593,512	7,433,239	
1 ea 4500 mts	894,369	1,161,439	1,340,500	1,496,966	1,660,183	1,860,164	2,194,157	2,520,426	2,844,650	3,259,723	3,985,472	5,167,421	6,258,704	7,417,701	8,362,393	
1 ea 5000 mts	993,743	1,290,488	1,489,445	1,663,295	1,844,648	2,066,849	2,437,952	2,800,473	3,160,722	3,621,914	4,428,302	5,741,579	6,954,116	8,241,890	9,291,548	

Tabla 1A3 - Variable 3c-Water Table-Cofferdams

Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 3c-Water Table-Cofferdams															
	2.375	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48	
1 ea 30 mts	6,072	7,900	9,141	10,229	11,365	12,579	14,833	17,053	19,260	22,072	26,848	34,862	42,272	50,133	56,566	
1 ea 45 mts	9,108	11,850	13,712	15,344	17,048	18,868	22,250	25,580	28,890	33,108	40,272	52,293	63,408	75,200	84,848	
1 ea 60 mts	12,143	15,800	18,283	20,458	22,730	25,157	29,667	34,107	38,519	44,143	53,696	69,724	84,544	100,266	113,131	
1 ea 75 mts	15,179	19,750	22,853	25,573	28,413	31,447	37,083	42,633	48,149	55,179	67,119	87,155	105,680	125,333	141,414	
1 ea 100 mts	20,239	26,333	30,471	34,097	37,883	41,929	49,445	56,845	64,199	73,572	89,493	116,207	140,906	167,110	188,552	
1 ea 150 mts	30,359	39,499	45,706	51,146	56,825	62,894	74,167	85,267	96,299	110,359	134,239	174,310	211,359	250,666	282,828	
1 ea 200 mts	40,478	52,666	60,942	68,195	75,767	83,856	98,889	113,689	128,398	147,145	178,985	232,414	281,812	334,221	377,104	
1 ea 250 mts	50,598	65,832	76,177	85,244	94,709	104,823	123,611	142,111	160,498	183,931	223,732	290,517	352,266	417,776	471,380	
1 ea 300 mts	60,717	78,999	91,413	102,292	113,650	125,787	148,334	170,534	192,597	220,710	268,478	348,620	422,719	501,331	565,656	
1 ea 400 mts	80,956	105,331	121,884	136,390	151,534	167,716	197,778	227,378	256,796	294,290	357,971	464,827	563,625	668,441	754,209	
1 ea 500 mts	101,195	131,664	152,355	170,487	189,417	209,645	247,223	284,223	320,995	367,862	447,463	581,034	704,531	835,552	942,761	
1 ea 600 mts	121,434	157,997	182,825	204,585	227,301	251,574	296,668	341,067	385,195	441,435	536,956	697,241	845,437	1,002,662	1,131,313	
1 ea 700 mts	141,674	184,330	213,296	238,682	265,184	293,503	346,112	397,912	449,394	515,007	626,448	813,448	986,343	1,169,772	1,319,865	
1 ea 800 mts	161,913	210,663	243,767	272,780	303,067	335,432	395,557	454,757	513,593	588,580	715,941	929,655	1,127,250	1,336,883	1,508,417	
1 ea 900 mts	182,152	236,996	274,238	306,877	340,951	377,361	445,001	511,801	577,792	662,152	805,434	1,045,861	1,268,156	1,503,993	1,696,969	
1 ea 1000 mts	202,391	263,329	304,709	340,975	378,834	419,291	494,446	568,446	641,991	735,725	894,926	1,162,068	1,409,062	1,671,103	1,885,522	
1 ea 1100 mts	222,630	289,662	335,180	375,072	416,718	461,220	543,891	625,290	706,190	809,297	984,419	1,278,275	1,549,968	1,838,214	2,074,074	
1 ea 1200 mts	242,869	315,994	365,651	409,170	454,601	503,149	593,335	682,135	770,389	882,870	1,073,912	1,394,482	1,690,874	2,005,324	2,262,626	
1 ea 1300 mts	263,108	342,327	396,122	443,267	492,485	545,078	642,780	738,979	834,588	956,442	1,163,404	1,510,689	1,831,781	2,172,434	2,451,178	
1 ea 1400 mts	283,347	368,660	426,593	477,365	530,368	587,007	692,224	795,824	898,787	1,030,015	1,252,897	1,626,895	1,972,687	2,339,545	2,639,730	
1 ea 1500 mts	303,586	394,993	457,064	511,462	568,251	628,936	741,669	852,668	962,966	1,103,567	1,342,390	1,743,102	2,113,593	2,506,655	2,828,282	
1 ea 1600 mts	323,825	421,326	487,535	545,560	606,135	670,865	791,113	909,513	1,027,186	1,177,160	1,431,882	1,859,309	2,254,499	2,673,766	3,016,835	
1 ea 1700 mts	344,064	447,659	518,005	579,657	644,018	712,794	840,558	966,358	1,091,385	1,250,732	1,521,375	1,975,516	2,395,406	2,840,876	3,205,387	
1 ea 1800 mts	364,303	473,992	548,476	613,754	681,902	754,723	890,003	1,023,202	1,155,584	1,324,305	1,610,867	2,091,723	2,536,312	3,007,986	3,393,939	
1 ea 1900 mts	384,543	500,325	578,947	647,852	719,785	796,652	939,447	1,080,047	1,219,783	1,397,877	1,700,360	2,207,930	2,677,218	3,175,097	3,582,491	
1 ea 2000 mts	404,782	526,657	609,418	681,949	757,669	838,581	988,892	1,136,891	1,283,982	1,471,450	1,789,853	2,324,136	2,818,124	3,342,207	3,771,043	
1 ea 2500 mts	505,977	658,322	761,773	852,437	947,086	1,048,226	1,236,115	1,421,114	1,604,977	1,839,312	2,237,316	2,905,170	3,522,655	4,177,759	4,713,804	
1 ea 3000 mts	607,172	789,986	914,127	1,022,924	1,136,503	1,257,872	1,483,338	1,705,337	1,925,973	2,207,175	2,684,779	3,486,205	4,227,186	5,013,310	5,656,565	
1 ea 3500 mts	708,368	921,650	1,066,482	1,193,412	1,325,920	1,467,517	1,730,561	1,989,560	2,246,968	2,575,037	3,132,242	4,067,239	4,931,717	5,848,862	6,599,326	
1 ea 4000 mts	809,563	1,053,315	1,218,836	1,363,899	1,515,337	1,677,162	1,977,784	2,273,783	2,567,964	2,942,899	3,579,705	4,648,273	5,636,248	6,684,414	7,542,086	
1 ea 4500 mts	910,759	1,184,979	1,371,191	1,534,386	1,704,754	1,886,807	2,225,007	2,558,005	2,888,959	3,310,762	4,027,169	5,229,307	6,340,779	7,519,966	8,484,847	
1 ea 5000 mts	1,011,954	1,316,643	1,523,545	1,704,874	1,894,171	2,096,453	2,472,230	2,842,228	3,209,955	3,678,624	4,474,632	5,810,341	7,045,310	8,355,517	9,427,608	

Tabla 181 - Variable 5a-Wet Crossings

Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 5a-Wet Crossings															
	2.375	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48	
1 ea 30 mts	16,315	17,393	20,223	20,915	21,707	24,047	26,642	29,837	32,795	36,921	42,904	54,486	70,239	83,642	98,761	
1 ea 45 mts	24,473	26,089	30,335	31,373	32,560	36,070	39,963	44,755	49,192	55,382	64,356	81,729	105,358	125,462	148,142	
1 ea 60 mts	32,631	34,786	40,446	41,830	43,413	48,094	53,284	59,674	65,590	73,843	85,808	108,971	140,478	167,283	197,522	
1 ea 75 mts	40,788	43,482	50,558	52,288	54,266	60,117	66,606	74,592	81,987	92,303	107,260	136,214	175,597	209,104	246,903	
1 ea 100 mts	54,385	57,976	67,411	69,717	72,355	80,156	88,807	99,457	109,316	123,071	143,014	181,619	234,130	278,805	329,204	
1 ea 150 mts	81,577	86,964	101,116	104,575	108,533	120,235	133,211	149,185	163,974	184,607	214,521	272,428	351,195	418,208	493,806	
1 ea 200 mts	108,769	115,952	134,821	139,434	144,711	160,313	177,615	198,913	218,632	246,143	286,028	363,238	468,259	557,610	658,408	
1 ea 250 mts	135,961	144,940	168,526	174,292	180,888	200,391	222,019	248,641	273,290	307,678	357,535	454,047	585,324	697,013	823,010	
1 ea 300 mts	163,154	173,929	202,232	209,151	217,066	240,469	266,422	298,370	327,948	369,214	429,042	544,857	702,389	836,416	987,612	
1 ea 400 mts	217,538	231,905	269,642	278,868	289,421	320,626	355,230	397,826	437,264	492,285	572,055	726,476	936,519	1,115,221	1,316,815	
1 ea 500 mts	271,923	289,881	337,053	348,584	361,776	400,782	444,037	497,283	546,580	615,357	715,069	908,095	1,170,649	1,394,026	1,646,019	
1 ea 600 mts	326,307	347,857	404,463	418,301	434,132	480,939	532,845	596,739	655,897	738,428	858,083	1,089,714	1,404,778	1,672,831	1,975,223	
1 ea 700 mts	380,692	405,833	471,874	488,018	506,487	561,095	621,652	686,196	765,213	861,499	1,001,097	1,271,333	1,638,908	1,951,637	2,304,427	
1 ea 800 mts	435,076	463,809	539,284	557,735	578,842	641,251	710,460	795,652	874,529	984,571	1,144,111	1,452,952	1,873,038	2,230,442	2,633,631	
1 ea 900 mts	489,461	521,786	606,695	627,452	651,197	721,408	799,267	895,109	983,845	1,107,642	1,287,125	1,634,571	2,107,167	2,509,247	2,962,835	
1 ea 1000 mts	543,845	579,762	674,105	697,169	723,553	801,564	888,075	994,566	1,093,161	1,230,713	1,430,138	1,816,190	2,341,297	2,788,052	3,292,039	
1 ea 1100 mts	598,230	637,738	741,516	766,886	795,908	881,721	976,882	1,094,022	1,202,477	1,353,785	1,573,152	1,997,808	2,575,427	3,066,858	3,621,242	
1 ea 1200 mts	652,615	695,714	808,926	836,603	868,263	961,877	1,065,690	1,193,479	1,311,793	1,476,856	1,716,166	2,179,428	2,809,556	3,345,663	3,950,446	
1 ea 1300 mts	706,999	753,690	876,337	906,319	940,618	1,042,034	1,154,497	1,292,935	1,421,109	1,599,927	1,859,180	2,361,046	3,043,686	3,624,468	4,279,650	
1 ea 1400 mts	761,384	811,666	943,747	976,036	1,012,974	1,122,190	1,243,305	1,392,392	1,530,425	1,722,999	2,002,194	2,542,665	3,277,816	3,903,273	4,608,854	
1 ea 1500 mts	815,768	869,643	1,011,158	1,045,753	1,085,329	1,202,346	1,332,112	1,491,848	1,639,741	1,846,070	2,145,208	2,724,284	3,511,946	4,182,078	4,938,058	
1 ea 1600 mts	870,153	927,619	1,078,568	1,115,470	1,157,684	1,282,503	1,420,920	1,591,305	1,749,057	1,969,141	2,288,221	2,905,903	3,746,075	4,460,884	5,267,262	
1 ea 1700 mts	924,537	985,595	1,145,979	1,185,187	1,230,039	1,362,659	1,509,727	1,690,761	1,858,373	2,092,213	2,431,235	3,087,522	3,980,205	4,739,689	5,596,466	
1 ea 1800 mts	978,922	1,043,571	1,213,389	1,254,904	1,302,395	1,442,816	1,598,535	1,790,218	1,967,690	2,215,284	2,574,249	3,269,141	4,214,335	5,018,494	5,925,669	
1 ea 1900 mts	1,033,306	1,101,547	1,280,800	1,324,621	1,374,750	1,522,972	1,687,342	1,889,675	2,077,006	2,338,355	2,717,263	3,450,760	4,448,464	5,297,299	6,254,873	
1 ea 2000 mts	1,087,691	1,159,523	1,348,210	1,394,338	1,447,105	1,603,129	1,776,150	1,989,131	2,186,322	2,461,427	2,860,277	3,632,379	4,682,594	5,576,105	6,584,077	
1 ea 2500 mts	1,359,614	1,449,404	1,685,263	1,742,922	1,808,882	2,003,911	2,220,187	2,486,414	2,732,902	3,076,783	3,575,346	4,540,474	5,853,243	6,970,131	8,230,096	
1 ea 3000 mts	1,631,536	1,739,285	2,022,316	2,091,506	2,170,658	2,404,693	2,664,225	2,963,697	3,279,483	3,692,140	4,290,415	5,448,569	7,023,891	8,364,157	9,876,116	
1 ea 3500 mts	1,903,459	2,029,166	2,359,368	2,440,091	2,532,434	2,805,475	3,108,262	3,480,980	3,826,063	4,307,497	5,005,484	6,356,664	8,194,540	9,758,183	11,522,135	
1 ea 4000 mts	2,175,382	2,319,047	2,696,421	2,788,675	2,894,210	3,206,257	3,552,300	3,978,262	4,372,643	4,922,853	5,720,554	7,264,758	9,365,188	11,152,209	13,168,154	
1 ea 4500 mts	2,447,305	2,608,928	3,033,474	3,137,260	3,255,987	3,607,039	3,996,337	4,475,545	4,919,224	5,538,210	6,435,623	8,172,853	10,535,837	12,546,235	14,814,174	
1 ea 5000 mts	2,719,227	2,898,808	3,370,526	3,485,844	3,617,763	4,007,821	4,440,375	4,972,828	5,465,804	6,153,566	7,150,692	9,080,948	11,706,485	13,940,261	16,460,193	

Tabla 1C1 - Variable 5b-HDD

Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 5b-HDD														
	2.375	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48
1 ea 30 mts	38,187	47,503	54,441	59,693	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1 ea 45 mts	55,063	68,960	79,364	87,239	95,625	112,215	118,926	X	X	X	X	X	X	X	X
1 ea 60 mts	71,938	90,417	104,288	114,784	125,964	147,122	156,069	167,732	179,053	190,994	213,457	X	X	X	X
1 ea 75 mts	88,814	111,874	129,211	142,330	156,303	182,029	193,212	207,788	221,937	236,861	263,977	298,659	334,170	369,783	X
1 ea 100 mts	116,940	147,636	170,750	188,240	206,868	240,208	255,117	274,549	293,411	313,307	348,176	395,688	443,023	490,492	532,460
1 ea 150 mts	173,192	219,160	253,827	280,059	307,997	356,565	378,926	408,070	436,359	466,198	516,574	589,746	660,729	731,910	794,835
1 ea 200 mts	229,443	290,685	336,904	371,879	409,127	472,923	502,736	541,591	579,307	619,090	684,972	783,805	878,436	973,328	1,057,211
1 ea 250 mts	285,695	362,209	419,982	463,698	510,256	589,280	626,545	675,113	722,255	771,961	853,371	977,863	1,096,142	1,214,748	1,319,586
1 ea 300 mts	341,947	433,733	503,059	555,517	611,386	705,638	750,355	808,634	865,203	924,872	1,021,769	1,171,922	1,313,848	1,456,164	1,581,962
1 ea 400 mts	454,450	576,781	669,214	739,156	813,645	938,352	997,973	1,075,676	1,151,099	1,230,655	1,358,565	1,560,039	1,749,261	1,939,000	2,106,713
1 ea 500 mts	566,954	719,829	835,369	922,795	1,015,903	1,171,067	1,245,592	1,342,719	1,436,995	1,536,437	1,695,362	1,948,156	2,184,673	2,421,836	2,631,464
1 ea 600 mts	679,457	862,878	1,001,524	1,106,433	1,218,162	1,403,782	1,493,211	1,609,762	1,722,891	1,842,220	2,032,159	2,336,272	2,620,086	2,904,673	3,156,215
1 ea 700 mts	791,961	1,005,926	1,167,679	1,290,072	1,420,421	1,636,497	1,740,830	1,876,804	2,008,787	2,148,003	2,368,955	2,724,389	3,058,988	3,387,509	3,680,966
1 ea 800 mts	904,464	1,148,974	1,333,834	1,473,711	1,622,680	1,869,211	1,988,449	2,143,847	2,294,683	2,453,785	2,705,752	3,112,506	3,490,911	3,870,345	4,205,717
1 ea 900 mts	1,016,968	1,292,022	1,499,989	1,657,350	1,824,939	2,101,926	2,236,068	2,410,889	2,580,579	2,759,568	3,042,549	3,500,623	3,826,324	4,353,181	4,730,468
1 ea 1000 mts	1,129,471	1,435,070	1,666,143	1,840,988	2,027,198	2,334,641	2,483,687	2,677,932	2,866,475	3,065,350	3,379,345	3,888,740	4,361,736	4,836,017	5,255,220
1 ea 1100 mts	1,241,975	1,578,119	1,832,298	2,024,627	2,229,457	2,567,356	2,731,306	2,944,975	3,152,371	3,371,133	3,716,142	4,276,857	4,797,149	5,318,853	5,779,971
1 ea 1200 mts	1,354,478	1,721,167	1,998,453	2,208,266	2,431,716	2,800,070	2,978,925	3,212,017	3,438,267	3,676,916	4,052,938	4,664,974	5,232,561	5,801,689	6,304,722
1 ea 1300 mts	1,466,981	1,864,215	2,164,608	2,391,904	2,633,975	3,032,785	3,226,544	3,479,060	3,724,163	3,982,898	4,389,735	5,053,091	5,667,974	6,284,525	6,829,473
1 ea 1400 mts	1,579,485	2,007,263	2,330,763	2,575,543	2,836,234	3,265,500	3,474,163	3,746,102	4,010,059	4,288,481	4,726,532	5,441,208	6,103,386	6,767,361	7,354,224
1 ea 1500 mts	1,691,988	2,150,312	2,496,918	2,759,182	3,038,493	3,498,215	3,721,781	4,013,145	4,295,955	4,594,263	5,063,328	5,829,324	6,538,799	7,250,197	7,878,975
1 ea 1600 mts	1,804,492	2,293,360	2,663,073	2,942,821	3,240,752	3,730,930	3,969,400	4,280,188	4,581,851	4,900,046	5,400,125	6,217,441	6,974,212	7,733,033	8,403,726
1 ea 1700 mts	1,916,995	2,436,408	2,829,228	3,126,459	3,443,011	3,963,644	4,217,019	4,547,230	4,867,747	5,205,829	5,736,921	6,605,558	7,409,624	8,215,869	8,928,477
1 ea 1800 mts	2,029,499	2,579,456	2,995,383	3,310,098	3,645,270	4,196,359	4,464,638	4,814,273	5,153,643	5,511,611	6,073,718	6,993,675	7,845,037	8,698,705	9,453,228
1 ea 1900 mts	2,142,002	2,722,504	3,161,537	3,493,737	3,847,528	4,429,074	4,712,257	5,081,315	5,439,539	5,817,394	6,410,515	7,381,792	8,280,449	9,181,541	9,977,980
1 ea 2000 mts	2,254,506	2,865,553	3,327,692	3,677,375	4,049,787	4,661,789	4,959,876	5,348,358	5,725,435	6,123,176	6,747,311	7,769,909	8,715,862	9,664,377	10,502,731
1 ea 2500 mts	2,817,023	3,580,794	4,158,467	4,595,569	5,061,082	5,825,362	6,197,971	6,683,571	7,154,915	7,652,089	8,431,294	9,710,493	10,892,925	12,078,558	13,126,486
1 ea 3000 mts	3,379,540	4,296,035	4,989,241	5,513,762	6,072,377	6,988,936	7,436,065	8,018,784	8,584,394	9,181,002	10,115,277	11,651,078	13,069,988	14,492,738	15,750,242
1 ea 3500 mts	3,942,058	5,011,276	5,820,016	6,431,956	7,083,671	8,152,510	8,674,160	9,353,997	10,013,874	10,709,915	11,799,260	13,591,862	15,247,050	16,906,918	18,373,997
1 ea 4000 mts	4,504,575	5,726,517	6,690,790	7,350,150	8,094,966	9,316,084	9,912,254	10,689,210	11,443,354	12,238,828	13,483,243	15,532,246	17,424,113	19,321,099	20,997,753
1 ea 4500 mts	5,067,092	6,441,758	7,481,564	8,268,343	9,106,261	10,479,658	11,150,349	12,024,423	12,872,834	13,767,741	15,167,226	17,472,831	19,601,176	21,735,279	23,621,509
1 ea 5000 mts	5,629,610	7,157,000	8,312,339	9,186,537	10,117,555	11,843,232	12,388,443	13,359,636	14,302,314	15,296,654	16,851,209	19,413,415	21,778,239	24,149,459	26,245,264

X= Para este diametro y la longitud de la tubería no se puede aplicar la HDD, debido a que por lo corto del tamo a instalar, la tubería no puede formar la curva necesaria sin ser inducida a esfuerzos o estrés que pueden causar fatiga del material.

Tabla 1D1 - Variable 5c - Aerial Crossing

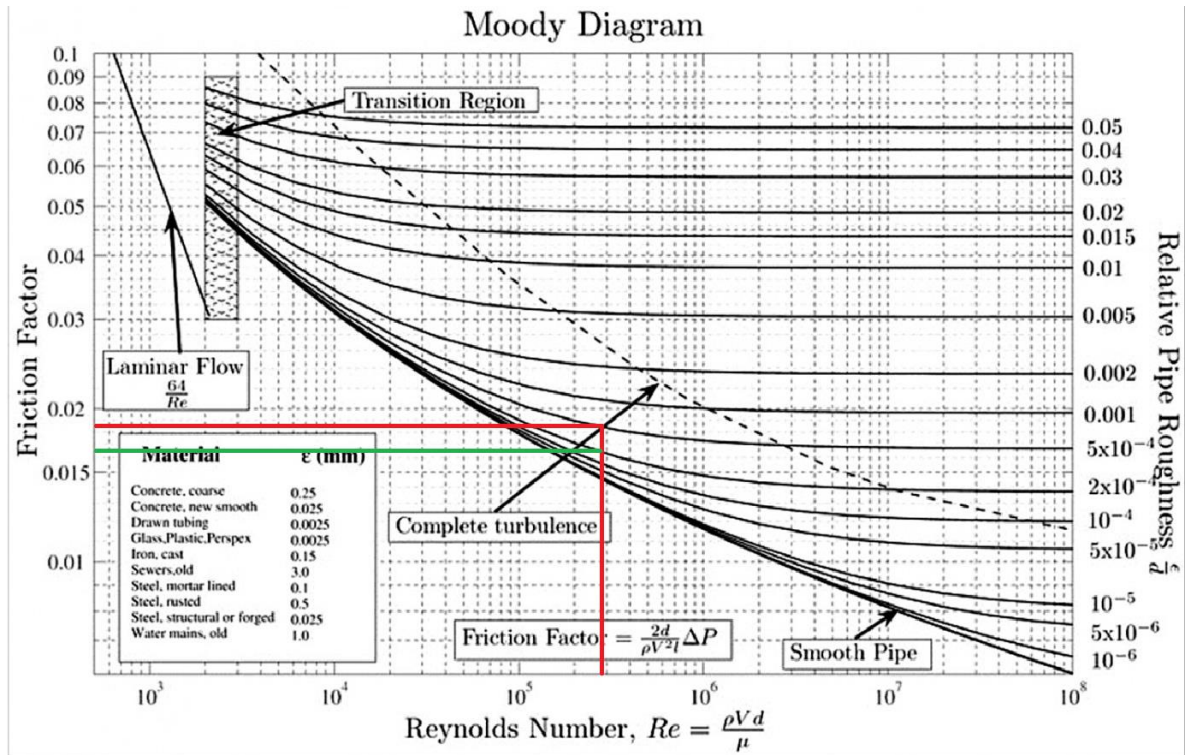
Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 5c-Aerial Crossing													
	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48
1 ea 30 mts	115,914	118,943	124,563	128,730	216,263	221,725	231,406	239,476	250,250	417,589	450,413	464,477	491,157	519,317
1 ea 45 mts	137,087	139,151	148,538	153,994	247,302	256,940	271,532	281,773	297,708	479,418	507,864	542,376	582,848	624,132
1 ea 60 mts	150,741	166,810	173,667	183,846	281,044	293,432	314,479	332,245	360,737	529,447	582,577	626,428	686,459	738,948
1 ea 75 mts	165,334	187,428	200,544	210,840	316,709	334,948	367,670	368,805	410,970	591,766	653,365	713,478	781,707	857,435
1 ea 100 mts	210,001	229,012	249,704	261,630	364,023	420,807	431,896	452,141	501,963	682,927	781,723	875,405	973,772	1,067,227
1 ea 150 mts	272,866	318,290	364,617	374,638	493,061	543,988	599,225	621,215	702,864	917,723	1,069,973	1,428,956	1,563,413	1,714,871
1 ea 200 mts	352,831	421,103	514,068	482,287	667,761	711,894	750,504	823,148	922,975	1,365,854	1,563,446	1,750,810	1,947,543	2,134,455
1 ea 250 mts	437,819	553,667	652,886	614,297	810,057	1,052,017	1,079,740	1,130,352	1,254,907	1,707,318	1,954,308	2,188,513	2,434,429	2,668,068
1 ea 300 mts	526,381	712,484	685,938	737,736	986,123	1,087,975	1,198,450	1,242,430	1,405,728	1,835,445	2,139,946	2,853,912	3,126,827	3,429,741
1 ea 400 mts	700,086	947,604	912,297	981,189	1,311,543	1,447,007	1,593,938	1,652,432	1,869,618	2,441,143	2,846,128	3,795,703	4,158,680	4,561,556
1 ea 500 mts	879,056	1,189,849	1,145,516	1,232,020	1,646,825	1,816,919	2,001,411	2,074,858	2,347,566	3,065,194	3,573,709	4,766,034	5,221,801	5,727,668
1 ea 600 mts	1,052,761	1,424,968	1,371,875	1,475,473	1,972,246	2,175,951	2,396,899	2,484,859	2,811,456	3,670,891	4,279,891	5,707,825	6,253,654	6,859,483
1 ea 700 mts	1,226,467	1,660,088	1,598,235	1,718,926	2,297,666	2,534,982	2,792,388	2,894,861	3,275,346	4,276,588	4,986,073	6,649,616	7,285,507	7,991,297
1 ea 800 mts	1,405,436	1,902,333	1,831,453	1,969,756	2,632,948	2,904,894	3,199,860	3,317,287	3,753,294	4,900,639	5,713,655	7,619,946	8,348,628	9,157,410
1 ea 900 mts	1,579,142	2,137,453	2,057,813	2,213,209	2,958,369	3,263,926	3,595,349	3,727,289	4,217,184	5,506,336	6,419,837	8,561,737	9,380,481	10,289,224
1 ea 1000 mts	1,752,848	2,372,572	2,284,172	2,456,662	3,283,789	3,622,958	3,990,837	4,137,291	4,681,074	6,112,033	7,126,019	9,503,528	10,412,334	11,421,039
1 ea 1100 mts	1,931,817	2,614,817	2,517,391	2,707,493	3,619,071	3,992,869	4,398,310	4,559,717	5,159,022	6,736,085	7,853,600	10,473,858	11,475,455	12,587,151
1 ea 1200 mts	2,105,523	2,849,937	2,743,750	2,950,946	3,944,491	4,351,901	4,793,798	4,969,719	5,622,912	7,341,782	8,559,782	11,415,650	12,507,308	13,718,966
1 ea 1300 mts	2,279,228	3,085,056	2,970,110	3,194,399	4,269,912	4,710,933	5,189,287	5,379,721	6,086,802	7,947,479	9,265,964	12,357,441	13,539,161	14,850,780
1 ea 1400 mts	2,458,198	3,327,301	3,203,329	3,445,229	4,605,194	5,080,845	5,596,760	5,802,147	6,564,750	8,571,530	9,993,546	13,327,771	14,602,282	16,016,892
1 ea 1500 mts	2,631,904	3,562,421	3,429,688	3,688,682	4,930,614	5,439,877	5,992,248	6,212,149	7,028,640	9,177,227	10,699,728	14,269,562	15,634,135	17,148,707
1 ea 1600 mts	2,805,609	3,797,541	3,656,047	3,932,135	5,256,035	5,798,908	6,387,736	6,622,150	7,492,530	9,782,924	11,405,910	15,211,353	16,665,988	18,280,522
1 ea 1700 mts	2,984,579	4,039,785	3,889,266	4,182,966	5,591,316	6,168,820	6,795,209	7,044,576	7,970,478	10,406,976	12,133,491	16,181,683	17,729,109	19,446,634
1 ea 1800 mts	3,158,284	4,274,905	4,115,626	4,426,419	5,916,737	6,527,852	7,190,698	7,454,578	8,434,368	11,012,673	12,839,673	17,123,474	18,760,962	20,578,448
1 ea 1900 mts	3,331,990	4,510,025	4,341,985	4,669,872	6,242,158	6,886,884	7,586,186	7,864,580	8,898,258	11,618,370	13,545,855	18,065,265	19,792,814	21,710,263
1 ea 2000 mts	3,510,959	4,752,269	4,575,204	4,920,702	6,577,439	7,256,795	7,993,659	8,287,006	9,376,206	12,242,421	14,273,437	19,035,596	20,855,936	22,876,375
1 ea 2500 mts	4,384,751	5,934,993	5,713,860	6,145,345	8,214,403	9,062,834	9,983,085	10,349,439	11,709,714	15,289,261	17,825,746	23,773,090	26,046,468	28,569,746
1 ea 3000 mts	5,263,807	7,124,842	6,859,376	7,377,365	9,861,228	10,879,753	11,984,496	12,424,297	14,057,280	18,354,455	21,399,455	28,539,124	31,268,269	34,297,414
1 ea 3500 mts	6,142,863	8,314,690	8,004,892	8,609,384	11,508,054	12,696,672	13,985,907	14,499,155	16,404,846	21,419,649	24,973,164	33,305,158	36,490,070	40,025,082
1 ea 4000 mts	7,016,655	9,497,414	9,143,548	9,834,027	13,145,017	14,502,711	15,975,333	16,561,588	18,738,354	24,466,488	28,525,474	38,042,652	41,680,603	45,718,453
1 ea 4500 mts	7,895,711	10,687,263	10,289,064	11,066,047	14,791,843	16,319,630	17,976,744	18,636,446	21,085,920	27,531,682	32,099,183	42,808,686	46,902,404	51,446,121
1 ea 5000 mts	8,774,766	11,877,111	11,434,580	12,298,067	16,438,668	18,136,548	19,978,155	20,711,303	23,433,486	30,596,876	35,672,892	47,574,719	52,124,205	57,173,789

Tabla 1E1 - Variable 6a-Seismic Crossing

Costo total en USD dólares (dic 2016)	Variable 6a-Seismic Crossing														
	2.375	4.5	6.625	8.625	10.75	12.75	14	16	18	20	24	30	36	42	48
1 ea 30 mts	11,287	13,609	15,365	16,950	18,626	20,250	22,830	25,582	28,334	31,700	37,464	47,246	56,543	66,390	74,908
1 ea 45 mts	16,931	20,413	23,048	25,425	27,939	30,375	34,245	38,373	42,501	47,550	56,195	70,869	84,814	99,584	112,361
1 ea 60 mts	22,574	27,218	30,731	33,900	37,252	40,500	45,660	51,163	56,668	63,400	74,927	94,493	113,085	132,779	149,815
1 ea 75 mts	28,218	34,022	38,413	42,375	46,565	50,625	57,075	63,954	70,835	79,250	93,659	118,116	141,356	165,974	187,269
1 ea 100 mts	37,624	45,363	51,218	56,500	62,087	67,500	76,100	85,272	94,447	105,667	124,879	157,488	188,475	221,299	249,692
1 ea 150 mts	56,436	68,045	76,827	84,751	93,130	101,249	114,150	127,909	141,670	158,500	187,318	236,231	282,713	331,948	374,538
1 ea 200 mts	75,248	90,727	102,436	113,001	124,174	134,999	152,199	170,545	188,893	211,334	249,757	314,975	376,950	442,598	499,384
1 ea 250 mts	94,060	113,408	128,045	141,251	155,217	168,749	190,249	213,181	236,117	264,167	312,196	393,719	471,188	553,247	624,230
1 ea 300 mts	112,872	136,090	153,654	169,501	186,260	202,499	228,299	256,817	283,340	317,001	374,636	472,463	565,425	663,897	749,076
1 ea 400 mts	150,496	181,453	204,872	226,002	248,347	269,998	304,399	341,090	377,787	422,668	499,514	629,950	753,900	885,195	998,767
1 ea 500 mts	188,120	226,817	256,089	282,502	310,434	337,498	380,499	426,362	472,233	528,335	624,393	787,438	942,375	1,106,494	1,248,459
1 ea 600 mts	225,743	272,180	307,307	339,003	372,521	404,997	456,598	511,635	566,680	634,001	749,271	944,925	1,130,851	1,327,793	1,498,151
1 ea 700 mts	263,367	317,543	358,525	395,503	434,608	472,497	532,698	596,907	661,127	739,668	874,150	1,102,413	1,319,326	1,549,092	1,747,843
1 ea 800 mts	300,991	362,907	409,743	452,004	496,695	539,996	608,798	682,180	755,573	845,335	999,028	1,259,900	1,507,801	1,770,391	1,997,535
1 ea 900 mts	338,615	408,270	460,961	508,504	558,781	607,496	684,898	767,452	850,020	961,002	1,123,907	1,417,388	1,696,276	1,991,690	2,247,227
1 ea 1000 mts	376,239	453,633	512,179	565,004	620,868	674,995	760,997	852,725	944,467	1,066,669	1,248,785	1,574,875	1,884,751	2,212,988	2,496,919
1 ea 1100 mts	413,863	498,997	563,397	621,505	682,955	742,495	837,097	937,997	1,038,913	1,162,336	1,373,664	1,732,363	2,073,226	2,434,287	2,746,611
1 ea 1200 mts	451,487	544,360	614,615	678,005	745,042	809,995	913,197	1,023,270	1,133,360	1,268,003	1,498,543	1,889,851	2,261,701	2,655,586	2,996,302
1 ea 1300 mts	489,111	589,723	665,833	734,506	807,129	877,494	989,297	1,108,542	1,227,807	1,373,670	1,623,421	2,047,338	2,450,176	2,876,885	3,245,994
1 ea 1400 mts	526,735	635,087	717,050	791,006	869,215	944,994	1,065,396	1,193,815	1,322,253	1,479,337	1,748,300	2,204,826	2,638,651	3,098,184	3,495,686
1 ea 1500 mts	564,359	680,450	768,268	847,507	931,302	1,012,493	1,141,496	1,279,087	1,416,700	1,585,004	1,873,178	2,362,313	2,827,126	3,319,483	3,745,378
1 ea 1600 mts	601,982	725,813	819,486	904,007	993,389	1,079,993	1,217,596	1,364,360	1,511,147	1,690,671	1,998,057	2,519,801	3,015,602	3,540,781	3,995,070
1 ea 1700 mts	639,606	771,177	870,704	960,508	1,055,476	1,147,492	1,293,696	1,449,632	1,605,593	1,796,337	2,122,935	2,677,288	3,204,077	3,762,080	4,244,762
1 ea 1800 mts	677,230	816,540	921,922	1,017,008	1,117,563	1,214,992	1,369,795	1,534,904	1,700,040	1,902,004	2,247,814	2,834,776	3,392,552	3,983,379	4,494,454
1 ea 1900 mts	714,854	861,903	973,140	1,073,508	1,179,650	1,282,491	1,445,895	1,620,177	1,794,487	2,007,671	2,372,692	2,992,263	3,581,027	4,204,678	4,744,146
1 ea 2000 mts	752,478	907,267	1,024,358	1,130,009	1,241,736	1,349,991	1,521,995	1,705,449	1,888,933	2,113,338	2,497,571	3,149,751	3,769,502	4,425,977	4,993,837
1 ea 2500 mts	940,598	1,134,083	1,280,447	1,412,511	1,552,170	1,687,489	1,902,493	2,131,812	2,361,166	2,641,673	3,121,964	3,937,189	4,711,877	5,532,471	6,242,297
1 ea 3000 mts	1,128,717	1,360,900	1,536,537	1,695,013	1,862,604	2,024,986	2,282,992	2,558,174	2,833,400	3,170,007	3,746,356	4,724,626	5,654,253	6,638,965	7,490,756
1 ea 3500 mts	1,316,837	1,587,716	1,792,626	1,977,516	2,173,039	2,362,484	2,663,491	2,984,537	3,305,633	3,698,342	4,370,749	5,512,064	6,596,628	7,745,459	8,739,216
1 ea 4000 mts	1,504,956	1,814,533	2,048,715	2,260,018	2,483,473	2,699,982	3,043,990	3,410,899	3,777,866	4,226,676	4,995,142	6,299,502	7,539,004	8,851,954	9,987,675
1 ea 4500 mts	1,693,076	2,041,350	2,304,805	2,542,520	2,793,907	3,037,479	3,424,488	3,837,261	4,250,100	4,785,011	5,619,534	7,086,940	8,481,379	9,958,448	11,236,134
1 ea 5000 mts	1,881,195	2,268,166	2,560,894	2,825,022	3,104,341	3,374,977	3,804,987	4,263,624	4,722,333	5,283,345	6,243,927	7,874,377	9,423,755	11,064,942	12,484,594

ANEXO E

DIAGRAMA DE MOODY PARA LA DISPOSICIÓN FINAL



ANEXO F

NORMAS DE EMISIÓN DE GASES NOCIVOS DE VEHÍCULOS SEGÚN SU MOTOR

Convencional	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP _{2,5}	0,381	0,427	0,633
CO	2,371	3,020	3,097
HC	1,638	1,287	1,068
SO _x	0,013	0,022	0,038
CO ₂	423,25	692,09	1176,93
CH ₄	0,085	0,085	0,175
NO _x	4,64	10,09	14,92
N ₂ O	0,03	0,03	0,03
Euro II	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP _{2,5}	0,060	0,109	0,201
CO	0,636	1,166	1,938
HC	0,207	0,346	0,598
SO _x	0,010	0,018	0,031
CO ₂	316,76	564,68	967,10
CH ₄	0,085	0,085	0,175
NO _x	3,45	6,43	11,11
N ₂ O	0,005	0,011	0,011

Euro III	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP _{2,5}	0,068	0,111	0,213
CO	0,785	1,413	2,423
HC	0,188	0,306	0,537
SO _x	0,011	0,019	0,032
CO ₂	337,11	594,68	1009,05
CH ₄	0,085	0,085	0,175
NO _x	2,73	5,30	8,74
N ₂ O	0,003	0,005	0,005
Euro IV	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP _{2,5}	0,013	0,022	0,038
NO _x	0,927	1,791	5,32
Euro V	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP _{2,5}	0,013	0,022	0,038
NO _x	0,927	1,791	3,03

EPA 94	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP_{2,5}	0,080	0,096	0,115
CO	0,580	1,255	2,099
HC	0,229	0,347	0,460
SOx	0,039	0,053	0,081
CO₂	391,68	533,90	810,76
CH₄	0,085	0,085	0,175
NOx	5,62	10,29	16,62
N₂O	0,0009	0,0030	0,0051
EPA 98	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP_{2,5}	0,080	0,096	0,115
CO	0,580	1,255	2,099
HC	0,192	0,360	0,403
SOx	0,039	0,053	0,081
CO₂	391,68	533,90	810,76
CH₄	0,085	0,085	0,175
NOx	1,84	3,28	5,15
N₂O	0,001	0,003	0,005
EPA 2004	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP_{2,5}	0,041	0,049	0,059
NOx	0,927	1,641	2,576
EPA 2007	Livianos (gr/km)	Medianos (gr/km)	Pesados (gr/km)
MP_{2,5}	0,008	0,010	0,012
NOx	0,092	0,164	0,258