

**“ESTUDIO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS PARA EL  
FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO EN YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS  
NO CONVENCIONALES EN LA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO DE  
ECOPETROL S.A.”**

**HÉCTOR DÍAZ OCHOA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2016**

**“ESTUDIO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS PARA EL  
FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO EN YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS  
NO CONVENCIONALES EN LA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO DE  
ECOPETROL S.A.”**

**HÉCTOR DÍAZ OCHOA**

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de  
Especialista en producción de Hidrocarburos**

**Director:**

**JORGE ENRIQUE FORERO**

**Ingeniero Químico**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por la bendición recibida por el hecho de iniciar y poder terminar mis estudios en esta especialización.

De igual manera presento mis mayores agradecimientos a los Ingenieros Edward Tovar y Rubén Castillo por el apoyo recibido de parte de ellos para el logro de este trabajo de monografía.

Dedico este trabajo de monografía a mi hijo Miguel Ángel Díaz Camacho, persona a la cual me motivo para profundizar en otros conocimientos muy diferentes a mi profesión inicial y me regalo su tiempo destinado para mí del cual lo dedique a mis estudios de posgrado.

*Héctor Díaz Ochoa*

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCIÓN .....                                                             | 16   |
| 1. GENERALIDADES .....                                                         | 17   |
| 1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL.....                                                  | 17   |
| 1.2 FUENTES DE CAPTACIÓN .....                                                 | 19   |
| 1.3 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE .....                                            | 19   |
| 2. ANÁLISIS DE FLUIDOS .....                                                   | 21   |
| 3. FILOSOFÍA DE DISEÑO Y OPERACIÓN PARA EL SISTEMA DE MANEJO<br>DE AGUAS ..... | 24   |
| 4. ANÁLISIS DE LOS VOLÚMENES DE AGUA EN EL SISTEMA .....                       | 26   |
| 4.1 NÚMERO DE POZOS A INTERVENIR.....                                          | 26   |
| 4.2 REQUERIMIENTOS DE CONSUMO DE AGUA.....                                     | 27   |
| 4.3 ANÁLISIS DE LOS VOLÚMENES DE AGUA .....                                    | 27   |
| 5. DISEÑO EN SUPERFICIE DEL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS .....                   | 29   |
| 5.1 CAUDALES DE DISEÑO .....                                                   | 29   |
| 5.2 CAPTACIÓN .....                                                            | 31   |
| 5.2.1 Captación Flotante .....                                                 | 32   |
| 5.2.2 Captaciones con Equipo de Bombeo .....                                   | 33   |
| 5.2.3 Captación con Carrotanque .....                                          | 34   |
| 5.2.4 Captación por pozo Profundo .....                                        | 36   |
| 5.2.5 Diseño del Desarenador .....                                             | 36   |
| 5.2.5.1 Cálculo del Vertedero y Zona de Lodos .....                            | 38   |
| 5.3 TRANSPORTE .....                                                           | 39   |
| 5.3.1 Corredores Viales .....                                                  | 41   |
| 5.3.2 Diseño de Líneas de Flujo .....                                          | 42   |
| 5.3.2.1 Diseño de Líneas de Flujo Agua Dulce .....                             | 42   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.3 Diseño de la Bomba.....                                           | 45 |
| 5.3.4 Pruebas Hidrostáticas .....                                       | 46 |
| 5.4 ALMACENAMIENTO .....                                                | 47 |
| 5.4.1 Área de Almacenamiento Central .....                              | 49 |
| 5.4.1.1 Piscinas para Almacenamiento de Agua.....                       | 50 |
| 5.4.1.2 Tanques de Almacenamiento de Agua .....                         | 50 |
| 5.4.1.3 Tanques de Almacenamiento de Flow Back .....                    | 51 |
| 5.5 RETORNO Y REUSO .....                                               | 51 |
| 5.6 TRATAMIENTO DE FLOWBACK .....                                       | 52 |
| 5.6.1 Generalidades Tratamiento.....                                    | 52 |
| 5.6.1.1 Factores del Tratamiento Operacional .....                      | 54 |
| 5.6.1.2 Factores del Tratamiento tipo Costo .....                       | 54 |
| 5.6.1.3 Otros Factores de Tratamiento .....                             | 55 |
| 5.6.2 Porcentaje de Fluido de Retorno .....                             | 55 |
| 5.6.3 Caracterización del Fluido.....                                   | 56 |
| 5.6.3.1 Efectos del Carbonato de Calcio.....                            | 59 |
| 5.6.3.2 Efectos del Sulfato de Calcio .....                             | 59 |
| 5.6.3.3 Efectos del Sulfato de Hierro .....                             | 60 |
| 5.6.3.4 Sulfato de Bario y Sulfato de Estroncio.....                    | 60 |
| 5.6.3.5 Otros Elementos Esperados .....                                 | 60 |
| 5.6.4 Tecnologías Utilizadas .....                                      | 61 |
| 5.6.5 Tratamiento de Aguas de Retorno .....                             | 62 |
| 5.6.5.1 Tratamiento de Aguas de Producción .....                        | 62 |
| 5.6.5.2 Desalinización.....                                             | 70 |
| 5.6.5.3 Tratamiento de Compuestos Orgánicos.....                        | 78 |
| 6. EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS .....            | 84 |
| 6.1 COSTOS UNITARIOS DE AGUA .....                                      | 84 |
| 6.2 COSTOS DE TRATAMIENTO Y DSIPOSICIÓN DE AGUAS DE<br>PRODUCCIÓN ..... | 85 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 7. CONCLUSIONES .....    | 86 |
| 8. RECOMENDACIONES ..... | 89 |
| BIBLIOGRAFÍA.....        | 90 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                    | <b>Pág.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Localización General .....                                               | 18          |
| Figura 2. Esquema general de manejo de agua .....                                  | 25          |
| Figura 3. Captación superficial flotante en rio A.....                             | 32          |
| Figura 4. Captación superficial flotante en rio B.....                             | 33          |
| Figura 5. Sistema de captación con equipo de bombeo .....                          | 34          |
| Figura 6. Sistema de captación con carrotanque.....                                | 35          |
| Figura 7. Medidor de flujo .....                                                   | 35          |
| Figura 8. Captación por pozo profundo.....                                         | 36          |
| Figura 9. Desarenador primario .....                                               | 37          |
| Figura 10. Dimensiones del Desarenador.....                                        | 38          |
| Figura 11. Esquema de Transporte y captación de agua .....                         | 39          |
| Figura 12. Planta del campo y esquema general.....                                 | 40          |
| Figura 13. Esquema general de transporte de agua por líneas de flujo.....          | 41          |
| Figura 14. Perfil de la línea de conducción al área de almacenamiento central .... | 42          |
| Figura 15. Curva de la bomba.....                                                  | 45          |
| Figura 16. Área de Almacenamiento Central .....                                    | 49          |
| Figura 17. Piscina de Almacenamiento de agua.....                                  | 50          |
| Figura 18. Tanques de al almacenamiento de agua dulce .....                        | 51          |
| Figura 19. Lay-out sistema de agua de retorno .....                                | 52          |
| Figura 20. Caudal de producción de agua en pozo horizontal periodo retorno.....    | 56          |
| Figura 21. Composición típica fluido de retorno de algunos plays .....             | 57          |
| Figura 22. Proceso típico tratamiento aguas de producción .....                    | 62          |
| Figura 23. Unidades de tratamiento de aguas de producción.....                     | 63          |
| Figura 24. Tanque de sedimentación.....                                            | 64          |
| Figura 25. Principios básicos de flotación por aire disuelto .....                 | 66          |
| Figura 26. Sistema de Desalinización MED .....                                     | 73          |



|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 27. Sistema de Desalinización VC.....                            | 74 |
| Figura 28. Evaporador de agua móvil de flowback - General Electric..... | 75 |
| Figura 29. Evaporador NOMAD 2000- Agua pure .....                       | 75 |
| Figura 30. Diagrama MVR evaporador de agua pure .....                   | 76 |
| Figura 31. Proceso de Osmosis Inversa (falta figura) .....              | 77 |
| Figura 32. Sistema típico Osmosis Inversa.....                          | 77 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                   | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Coordenadas posible punto de captación .....                                                                             | 19          |
| Tabla 2. Análisis composicional .....                                                                                             | 21          |
| Tabla 3. Análisis composicional y cálculo de M, Tsc y Psc.....                                                                    | 22          |
| Tabla 4. Calculo de propiedades del fluido .....                                                                                  | 23          |
| Tabla 5. Numero de pozos.....                                                                                                     | 26          |
| Tabla 6. Consumo de agua.....                                                                                                     | 27          |
| Tabla 7. Consumo población .....                                                                                                  | 30          |
| Tabla 8. Consumo industrial .....                                                                                                 | 30          |
| Tabla 9. Pérdidas técnicas de agua asumidas .....                                                                                 | 30          |
| Tabla 10. Caudal máximo diario .....                                                                                              | 31          |
| Tabla 11. Caudal de diseño para bombeo .....                                                                                      | 31          |
| Tabla 12. Caudal de diseño para el desarenador captación primaria .....                                                           | 31          |
| Tabla 13. Condiciones iniciales desarenador .....                                                                                 | 36          |
| Tabla 14. Datos obtenidos para el desarenador captación primaria .....                                                            | 37          |
| Tabla 15. Datos obtenidos vertedero de entrada .....                                                                              | 38          |
| Tabla 16. Datos obtenidos zona de lodos .....                                                                                     | 38          |
| Tabla 17. Datos de línea de flujo captación primaria .....                                                                        | 42          |
| Tabla 18. Datos de entrada línea de conducción de agua.....                                                                       | 43          |
| Tabla 19. Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión .....                                                                   | 43          |
| Tabla 20. Cálculo, pérdidas por succión .....                                                                                     | 44          |
| Tabla 21. Cálculo pérdidas de impulsión .....                                                                                     | 44          |
| Tabla 22. Línea de Impulsión.....                                                                                                 | 45          |
| Tabla 23. Composición estimada del fluido .....                                                                                   | 58          |
| Tabla 24. Tecnologías usadas para el tratamiento del agua .....                                                                   | 61          |
| Tabla 25. Principales características de los procesos de tratamiento<br>evaluados por el operador en el campo San Francisco ..... | 68          |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 26. Comparación de las tecnologías contaminantes y eliminación de partículas orgánicas para el tratamiento de agua producida ..... | 69 |
| Tabla 27. Comparación de las tecnologías de desalinización para el tratamiento de agua producida .....                                   | 71 |
| Tabla 28. Sistema de Desalinización MED .....                                                                                            | 74 |
| Tabla 29. Sistema Desalinización Osmosis Inversa .....                                                                                   | 78 |
| Tabla 30. Tratamiento de efluentes contaminados con compuestos aromáticos...                                                             | 79 |
| Tabla 31. Factores favorables y desfavorables que influyen en el proceso de la biorremediación.....                                      | 80 |
| Tabla 32. Inversión para localizaciones y áreas auxiliares .....                                                                         | 84 |
| Tabla 33. Costos para el tratamiento y disposición de agua de producción .....                                                           | 85 |

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS PARA EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO EN LOS YACIMIENTOS PARA LOS HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES EN LA REGIONAL MAGDALENA MEDIO DE ECOPETROL S.A.\*

**AUTOR:** HECTOR DIAZ OCHOA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** MANEJO DE AGUAS DE ESTIMULACION HIDRAULICA

### DESCRIPCIÓN:

En los trabajos de estimulación hidráulica, surge la necesidad de usar el agua como su elemento principal, por ello es muy importante tener un proyecto que garantice el suministro de agua, su tratamiento y su reutilización en el proceso.

La reutilización de las aguas de retorno para otra estimulación en otro pozo logra disminuir el volumen de suministro de agua del sitio de captación. Las aguas de retorno luego se pasan por la planta de tratamiento, van a unos tanques de almacenamiento confinados para luego ser utilizadas.

Este documento da a conocer el trabajo realizado para el sistema de captación, suministro, almacenamiento y manejo de las aguas requeridas para la estimulación hidráulica, así como el tratamiento de las aguas del fluido de retorno y las aguas de producción. De igual manera presenta su filosofía de operación, los requerimientos de consumo de agua y el diseño de la estructura hidráulica como tratamiento preliminar en la bocatoma.

El sistema de distribución de agua se basa principalmente con la utilización de mangueras o líneas de flujo en diámetros que van de 6", 3" y 2" desde la bocatoma superficial o pozo profundo hasta el área de almacenamiento central y de allí a cada pozo. El fluido de retorno igualmente es transportado por líneas de flujo desde cada pozo hasta la planta de tratamiento.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jorge Enrique Forero, Ingeniero Químico

## SUMMARY

**TITLE:** CONCEPTUAL STUDY OF A SYSTEM FOR WATER MANAGEMENT IN RESERVOIRS HYDRAULIC FRACTURING FOR UNCONVENTIONAL OIL.\*

**AUTHOR:** HECTOR DIAZ OCHOA.\*\*

**PALABRAS CLAVE:** WATER MANAGEMENT HYDRAULIC STIMULATION

### DESCRIPCIÓN:

In the works of hydraulic stimulation, the need to use water as the main element, so it is very important to have a project to ensure water supply, treatment and reuse in the process.

The reuse of water return for another another well stimulation does reduce the volume of water catchment site. Return water then go through the treatment plant, will a confined storage tanks before being used.

This document discloses the work done for the feedback system, supply, storage and handling of water required for hydraulic stimulation, as well as water treatment fluid return and production water. Similarly presents its operating philosophy, the water consumption requirements and design of the hydraulic structure as a preliminary treatment at the intake.

The system of water distribution is based primarily with the use of hoses or flow lines in diameters ranging from 6 ", 3" and 2 "from the surface water intake or deep well to the central storage area and from there to each well. The return fluid also is carried by flowlines from each well to the treatment plant.

---

\* Grade Work

\*\* Physicochemical Faculty of Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Jorge Enrique Forero, Chemical Engineer

## INTRODUCCIÓN

La presente monografía tiene como finalidad dar a conocer el estudio conceptual de un sistema de manejo de agua para la estimulación hidráulica en un campo del Magdalena Medio, cuyo objeto principal para el proyecto es la búsqueda de reservas a una mayor profundidad a la de uso convencional.

Para el estudio conceptual se toma como base la caracterización de los fluidos obtenidos en un pozo cercano para similares condiciones al proyecto en estudio.

Se definió la filosofía del diseño y operación para sistema del manejo de aguas requerido para los trabajos de fracturamiento hidráulico, la cual se basa en un sistema de almacenamiento central desde donde se distribuirá el agua mediante líneas a los diferentes pozos en desarrollo. Se tendrá como punto de captación adicional una fuente superficial sobre el río ubicado a 17 km, al Norte del campo. Dentro del área central se contempla la construcción de un pozo captador como abastecedor adicional de agua.

Se analizaron los volúmenes de aguas máximos requeridos para todo el sistema, y con ello se dimensionaron las áreas y/o estructuras de almacenamiento. Se diseñó un sistema en superficie para el manejo o transporte de las aguas requeridas para la estimulación.

Finalmente se presenta una evaluación aproximada de los costos del sistema de manejo de aguas, diseñado para la estimulación hidráulica. Para Colombia este sistema de manejo de aguas para la estimulación es un reto alto de construir, en razón a que socialmente el almacenamiento y/o uso de agua para la estimulación puede generar controversias con la población precisamente por los problemas en la escases de agua presentada por el fenómeno del niño y es por ello que el reúso del agua es un factor muy importante para hacerlo viable y sostenible.

## **1. GENERALIDADES**

Este capítulo señala el sitio donde se desarrollara el proyecto, así como el sitio donde se recomienda realizar la captación de aguas superficiales, y la infraestructura existente de ECOPETROL en la zona, la cual es básica para el desarrollo de los trabajos.

El sitio donde está localizado el proyecto es muy fundamental en razón a que es un área de producción ya desarrollada, que cuenta con toda la infraestructura petrolera necesaria, sus vías de comunicación, los centros urbanos y de empresas especializadas que trabajan y/o que tienen sus bases en la región.

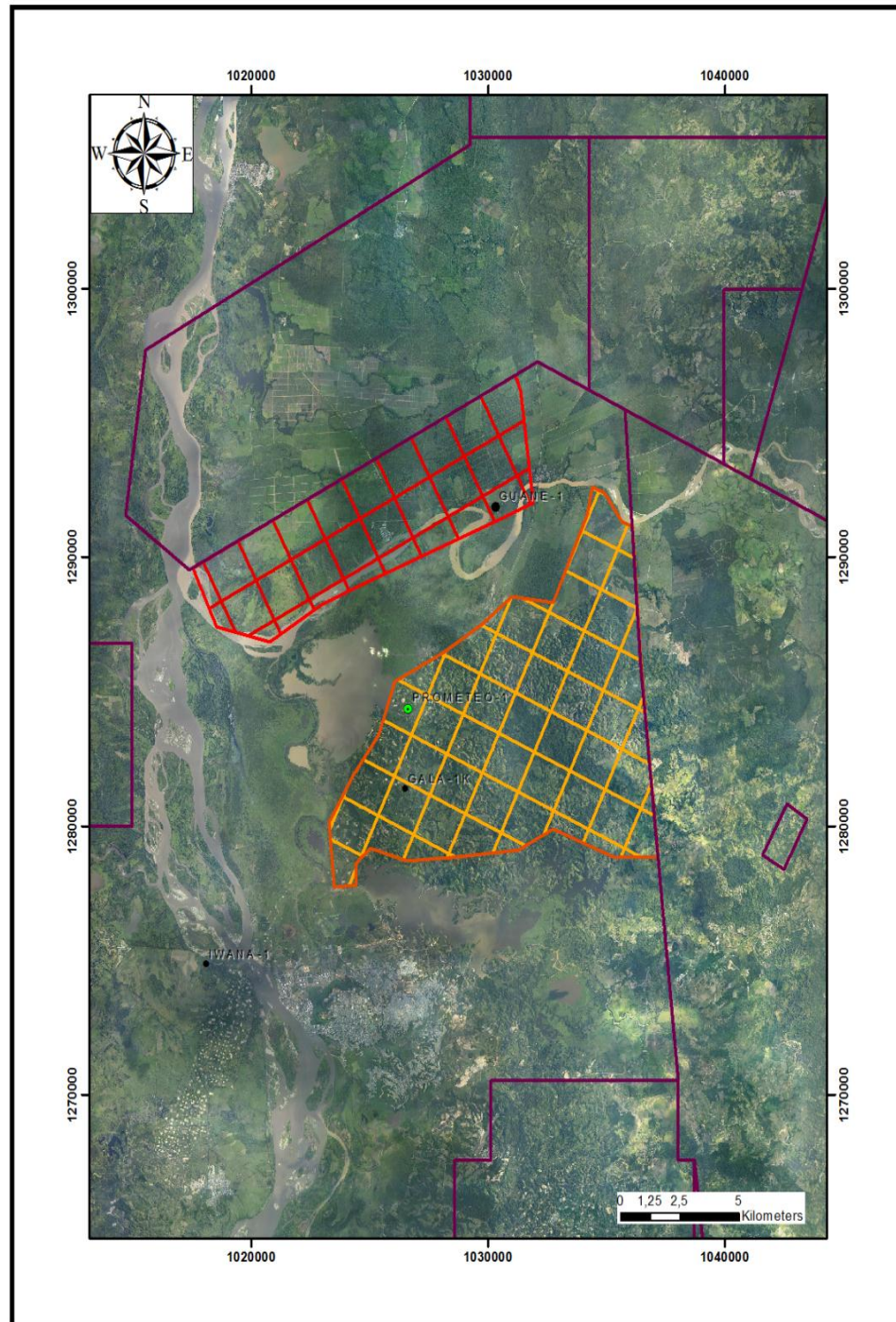
Se cuenta además con una fuente hídrica superficial de buen caudal, aunque en el proyecto se contempla hacer el reúso de las aguas de estimulación y tener también un tipo de captación subterránea para minimizar los volúmenes de captación superficial.

El hecho de contar con una estructura petrolera en el sitio del proyecto, tiene adicionalmente una ventaja económica para la ubicación de los sitios donde se perforaran los pozos, al usar locaciones existentes y/o al poder transportar los fluidos a las estaciones y tanques de la empresa existentes allí.

### **1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL**

Con las coordenadas del polígono y usando el visor Google Earth, se muestra la ubicación del área del campo así como la localización de la fuente hídrica más cercana al proyecto.

Figura 1. Localización General



Fuente: Google Earth. Disponible en: <https://www.google.com/earth/@7.0560048,-73.8588192,11612m/data=!3m1!1e3>.



## 1.2 FUENTES DE CAPTACIÓN

La fuente de captación superficial, el cual está ubicado a doce (12) kilómetros del área de almacenamiento Central en el campo de producción, tal como se muestra en la localización del proyecto.

Tabla 1. Coordenadas posible punto de captación

| ID | Captación   | Coordenadas Planas Gauss Krüger   |              | CRITERIO DE SELECCIÓN                                   |
|----|-------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------|
|    |             | Datum MAGNA-SIRGAS, Origen Bogotá |              |                                                         |
|    |             | ESTE                              | NORTE        |                                                         |
| M1 | Superficial | 1.042.427,45                      | 1.275.828,89 | Caracterización línea base – posible punto de captación |

## 1.3 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Dentro del Campo de Producción, existe la posibilidad de usar la infraestructura existente como las líneas de flujo de crudo/gas que salen de cada uno de los pozos hasta el sitio donde están los separadores.

De igual manera es posible el utilizar las estaciones existentes para enviar las aguas provenientes del fluido de retorno y también los crudos extraídos de las pruebas de producción.

Existen dentro del campo de producción locaciones ya construidas de pozos en producción, las cuales se pueden utilizar para perforar los pozos requeridos dentro

del programa de ser necesario. La infraestructura existente citada ayuda a optimizar los costos del proyecto.

Infraestructura existente cercana al Proyecto:

- Campo 1: cuatro (4) estaciones , una (1) plantas compresora, seis (6) tanques de crudo de 22Mbls y cuatro (4) tanque de agua
- Campo 2: Una (1) estación y una (1) planta deshidratadora, siete (7) tanques de crudo de 22Mbls y un (1) tanque de agua
- Compresora 1: Una (1) planta compresora
- Vía principal pavimentada que une las ciudades de Barrancabermeja – Bucaramanga y Barrancabermeja-Bogota-Medellín
- Transporte fluvial por Rio  
Transporte férreo que une las poblaciones a la Costa

## 2. ANÁLISIS DE FLUIDOS

Realizadas las respectivas pruebas de producción a un pozo cercano, se realiza la respectiva caracterización del fluido obtenido en un laboratorio certificado. Dados los datos obtenidos de composición y fracción molar, se determinó el peso molecular así como la temperatura pseudocrítica y la presión pseudocrítica la cual se muestra en la tabla No 3. El análisis composicional típico corresponde al de una gas seco.

Durante las pruebas de producción fue posible capturar una muestra de gas metano en el separador de baja presión a 38,1 psi y 86,6°F con una presión en cabeza de 125 psi. Las muestras fueron analizadas por el consultor y de las cuales se encuentran anotados en la siguiente tabla:

Tabla 2. Análisis composicional

| Composición  | Fracción Molar |
|--------------|----------------|
| CO2          | 0.1            |
| N2           | 2.07           |
| C1           | 86.12          |
| C2           | 5.91           |
| C3           | 3.58           |
| IC4          | 1.72           |
| IC5          | 0.5            |
| <b>Total</b> | <b>100</b>     |

Fuente: Tabla ICP para un Gas Seco

Con los resultados de la tabla anterior, se calculó el Peso molecular del gas (M (lb/lb-mol)), la temperatura pseudocrítica de la mezcla (T) y la presión pseudocrítica de la mezcla (P), según lo muestra la siguiente tabla:

Con base en el análisis composicional de la tabla No 2 y utilizando las correlaciones de Carr y Lee, se calcula las propiedades del gas las cuales su resultado se muestra en la tabla No 4.

Tabla 3. Análisis composicional y cálculo de M, Tsc y Psc

| ANALISIS COMPOSICIONAL PARA MUESTRAS DE GAS SECO |                  |                |                |                |                      |              |               |               |
|--------------------------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|--------------|---------------|---------------|
| 1                                                |                  | 2              | 3              | 4              | 5                    | 6            | 7             | 8             |
| Component                                        |                  | Fraccion Molar | Mol %          | Temp Critica R | Presion Critica lbpc | 2x3 (M)      | 2x4 (Tsc)     | 2x5 (Psc)     |
| N2                                               | Nitrogen         | 0,0207         | 28,013         | 227,16         | 492,314              | 0,580        | 4,702         | 10,191        |
| CO2                                              | Carbon Dioxide   | 0,001          | 44,010         | 547,56         | 1.069,86             | 0,044        | 0,548         | 1,070         |
| H2S                                              | Hydrogen Sulfide | 0              | 34,08          | 671,76         | 1.296,18             | 0,000        | 0,000         | 0,000         |
| C1                                               | Methane          | 0,8612         | 16,043         | 343,08         | 667,20               | 13,816       | 295,460       | 574,589       |
| C2                                               | Ethane           | 0,0591         | 30,07          | 549,72         | 708,34               | 1,777        | 32,488        | 41,863        |
| C3                                               | Propane          | 0,0358         | 44,097         | 665,64         | 615,76               | 1,579        | 23,830        | 22,044        |
| i.C4                                             | iso Butane       | 0,0172         | 58,124         | 734,58         | 529,05               | 1,000        | 12,635        | 9,100         |
| n.C4                                             | n Butane         | 0              | 58,124         | 765,36         | 551,10               | 0,000        | 0,000         | 0,000         |
| i.C5                                             | iso Pentane      | 0,005          | 70,135         | 836,46         | 587,84               | 0,351        | 4,182         | 2,939         |
|                                                  |                  | <b>1,000</b>   | <b>382,696</b> |                |                      | <b>19,15</b> | <b>373,85</b> | <b>661,80</b> |
|                                                  |                  |                |                |                |                      | <b>M</b>     | <b>Tsc</b>    | <b>Psc</b>    |

Dónde:

- M=Peso molecular del gas = 19.15 lb/lb-mol
- Tsc= Temperatura pseudocritica de la mezcla=373.85 °R
- Psc= Presión pseudocritica de la mezcla =661.80 lbpc
- P= Presión muestra = 38,1 psi
- T= Temperatura muestra= 86,6°F 546,6°R)

Resultado: El tipo de fluido obtenido corresponde a un gas Seco

Tabla 4. Calculo de propiedades del fluido

| CALCULO DE LAS PROPIEDADES DEL GAS:                                                |             |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|
| Datos de entrada:                                                                  |             |                                        |
| Mg= PESO MOLECULAR DEL GAS= Fracc Molecular (yi) x Peso Molecular (lb/lb-mol)=     | 19,15       | obtenida de la tabla de propiedades    |
| Tsc= TEMPERATURA SEUDOCRITICA= rankine                                             | 373,85      | obtenida de la tabla de propiedades    |
| Psc= PRESION SEUDOCRITICA=                                                         | 661,80      | obtenida de la tabla de propiedades    |
| YN2=                                                                               | 0,0207      | obtenida de la tabla de propiedades    |
| YCO2=                                                                              | 0,001       | obtenida de la tabla de propiedades    |
| YH2S=                                                                              | 0           | obtenida de la tabla de propiedades    |
| P= PRESION= Lpca                                                                   | 38,1        | Dato del problema Lpca                 |
| T= TEMPERATURA en Grados Fahrenheit=                                               | 86,6        | Temperatura del problema               |
| T= TEMPERATURA en Grados Rankine=                                                  | 546,6       | formulada                              |
| Datos Corregidos obtenidos si hay presencia de H2S y CO2:                          |             | Calculado                              |
| E=                                                                                 | 0,237529606 | R (si existe)                          |
| T'sc-m=                                                                            | 373,61      | R (si existe)                          |
| P'sc-m=                                                                            | 661,38      | Lpca (si existe)                       |
| Psr=                                                                               | 0,06        | P/P'sc                                 |
| Tsr=                                                                               | 1,46        | T/T'sc                                 |
| Obtener el Valor Z de la Tabla (Grafico Z) el valor de Z                           |             | DE TABLA                               |
| Z=                                                                                 | 0,99        | Calcular este valor de grafico         |
| FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS (Bg)                                                    |             | Calculado                              |
| Bg= (PCY yacimiento / PCN normales)                                                | 0,4015      | Bg= 0,02827 ZT/P                       |
| FACTOR DE EXPANSION del GAS Eg                                                     |             | Calculado                              |
| Eg= 1/Bg (PCN normales / PCY yacimiento)                                           | 2,5         | 1 pie 3 en yacimiento=264 ft3 normales |
| Gravedad especifica gas=                                                           |             | Calculado                              |
| Yg= Peso Molecular Gas (lb/lb-mol)/Peso Molecular Aire (lb-lb-mol)= Mg/28,96=      | 0,661       | Peso Molecular Aire =28,96 lb/lb-mol   |
| Valores Coregidos                                                                  |             | Calculado                              |
| Ugl(sin corregir) = (0,00001709-0,000002062*Yg)*T + 0,008188 - 0,00615* log.Yg     | 0,010655    |                                        |
| CN2=                                                                               | 0,00020     | cp (si existe )                        |
| Cco2=                                                                              | 0,00000461  | cp (si existe )                        |
| Ch2s=                                                                              | 0,00000000  | cp                                     |
| Uglc (corregida por H2S-CO2) = Ugl(sin corregir) + Cco2 + Ch2s + CN2               | 0,01085744  | cp                                     |
| Ln ((Ug/Uglc)*Tsr) =                                                               | 0,2264145   |                                        |
| (Ug/Uglc)*Tsr =                                                                    | 1,254095347 |                                        |
| Ug= Viscosidad (Metodo 1 de CARR) (Ug/Uglc)*Tsr = EXP(x)                           | 0,0093      | cp                                     |
| pg= Densidad del Gas = 0,0014935*P*M/(Z*T) .....T(R).....P(lpca).....M(lb/lbs-mol) | 0,00201     | gr/cm3                                 |
| K=                                                                                 | 111,679     |                                        |
| X=                                                                                 | 5,49538     |                                        |
| Y=                                                                                 | 1,300924    |                                        |
| Ug= Viscosidad (Metodo 2 de LEE) = K*EXP(X*pg^Y)/10000                             | 0,0112      | cp                                     |
| pg= Densidad del Gas=2,7*P*Yg/(Z*T) .....T(R).....P(lpca)                          | 0,13        | lb/pie 3                               |

### **3. FILOSOFÍA DE DISEÑO Y OPERACIÓN PARA EL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS**

Se contempla un área de Almacenamiento Central ubicada dentro del bloque, en la cual se instalaran los tanques de distribución para agua dulce y de flow back, las piscinas de almacenamiento así como un pozo captador de agua subterránea.

Desde el área de almacenamiento central, se distribuiría el agua mediante mangueras o líneas de flujo a los diferentes pozos. De igual manera el agua de retorno que sale de los pozos va a una planta de tratamiento ubicada dentro de la misma locación.

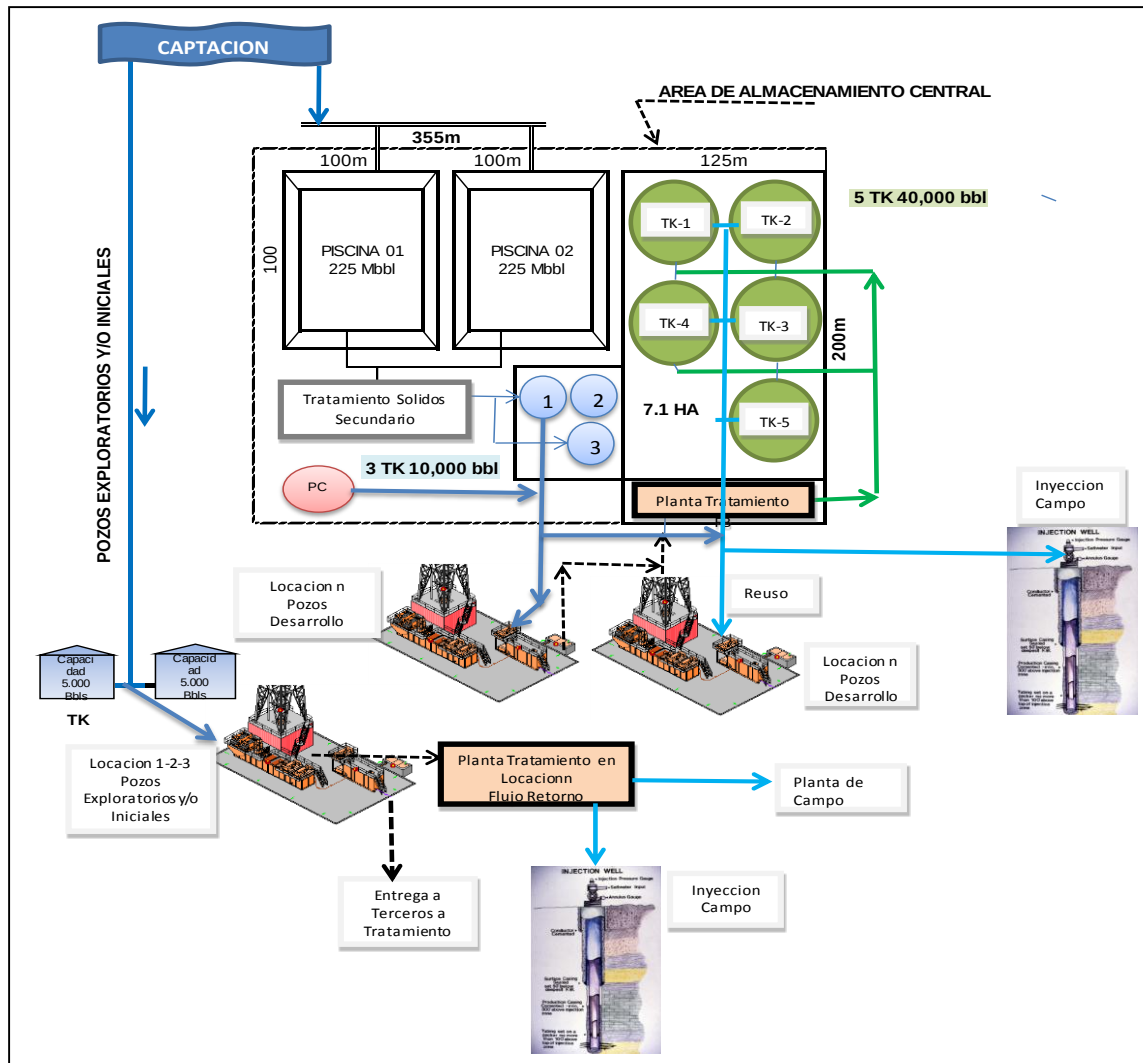
El flow back después de salir de la planta de tratamiento, se conducirá por líneas de flujo a carro tanques al área de almacenamiento central y se dispondrá en las respectivas piscinas o tanques allí existentes con el objeto de reúso en la estimulación del segundo pozo o para disponerlas en un pozo disposal y/o para recobro.

Valdría la pena mencionar la calidad del agua en cada una de las etapas de esta operación, de manera conceptual.

En el punto de captación se instalarán las estructuras tales como la bocatoma, desarenador y el tanque de almacenamiento. Mediante un sistema de bombeo y una línea de flujo, se conducirá el agua dulce hasta el área de almacenamiento central.

La línea de conducción se apoyara sobre un rack de tubería aérea paralelo a las vías existentes. Es posible que en algunos puntos críticos, la línea de tubería vaya enterrada para realizar un cambio de carril o cruce.

Figura 2. Esquema general de manejo de agua



#### 4. ANÁLISIS DE LOS VOLÚMENES DE AGUA EN EL SISTEMA

Los volúmenes de agua a almacenar y a usar para la estimulación hidráulica para todo el sistema, dependen del número de pozos que se vayan a estimular. Por lo anterior para calcular el consumo de aguas requeridas para la estimulación, se definirá su cantidad, el tipo de pozo si es horizontal o vertical, así como el número de etapas.

##### 4.1 NÚMERO DE POZOS A INTERVENIR

Se plantea intervenir, perforar y/o estimular en un periodo máximo de seis (6) años un máximo de veinte (20) pozos en el bloque, de los cuales cinco (5) pozos son verticales y quince (15) pozos son horizontales.

Para el primer año se estimularía un pozo vertical, en el segundo año uno vertical y dos (2) horizontales, para el tercer año nuevamente uno vertical y dos (2) horizontales, para el cuarto año dos (2) verticales y dos (2) horizontales, para el quinto año cinco (5) pozos horizontales y para el sexto año un total de cuatro (4) pozos horizontales según se muestra en la tabla número cinco.

Tabla 5. Numero de pozos

| Cant | Tipo                     | No Etapas           | Modo       | Año                   | Tipo Pozo           | Tipo Pozo             |
|------|--------------------------|---------------------|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 5    | Vert                     | Rig less x 4 etapas | Evaluación | 1                     | 1 Vert x 4 etapas   | ***                   |
| 6    | Horiz                    | 12 etapas           | Piloto     | 2                     | 1 Vert x 4 etapas   | 2 Horiz x 12 etapas   |
| 9    | Horiz                    | 15 etapas           | Viabilidad | 3                     | 1 Vert x 4 etapas   | 2 Horiz x 12 etapas   |
| 20   | <b>Subtotal de Pozos</b> |                     |            | 4                     | 2 Vert x 2 etapas   | 2 Horiz x 15 etapas   |
|      |                          |                     |            | 5                     | ***                 | 5 Horiz x 15 etapas   |
|      |                          |                     |            | 6                     | ***                 | 4 Horiz x 15 etapas   |
|      |                          |                     |            | <b>Subtotal</b>       | <b>5 Pozos Vert</b> | <b>15 Pozos Horiz</b> |
|      |                          |                     |            | <b>Total 20 Pozos</b> |                     |                       |



## 4.2 REQUERIMIENTOS DE CONSUMO DE AGUA

Con los veinte (20) pozos a estimular, se calcula el volumen de consumo máximo de agua para cada año. En el periodo de evaluación se estimularan cinco (5) pozos, en el proyecto piloto seis (6) pozos y en la etapa de viabilidad nueve (9) pozos. El resultado total de consumo de agua se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 6. Consumo de agua

| Año                                 | Evaluación |              | Piloto   |           |           | D. Viabilidad |           |           | Consumo de agua (bbls)                  | Consumo promedio bbl/día | Consumo promedio lts /seg | Días de captación |
|-------------------------------------|------------|--------------|----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
|                                     | Verticales | Vert con Rig | Hz       | Hz        | Hz        | Hz            | Hz        | Hz        |                                         |                          |                           |                   |
|                                     |            |              | 7 etapas | 12 etapas | 15 etapas | 7 etapas      | 12 etapas | 15 etapas |                                         |                          |                           |                   |
| 1                                   | 1          | 0            | 0        | 0         | 0         | 0             | 0         | 0         | 40.000                                  | 667                      | 1                         | 60                |
| 2                                   | 1          | 0            | 0        | 2         | 0         | 0             | 0         | 0         | 260.300                                 | 4.338                    | 8                         | 60                |
| 3                                   | 1          | 0            | 0        | 2         | 0         | 0             | 0         | 0         | 240.300                                 | 4.005                    | 7                         | 60                |
| 4                                   | 2          | 0            | 0        | 2         | 0         | 0             | 0         | 0         | 260.300                                 | 4.338                    | 8                         | 60                |
| 5                                   | 0          | 0            | 0        | 0         | 0         | 0             | 0         | 5         | 673.000                                 | 11.217                   | 21                        | 60                |
| 6                                   | 0          | 0            | 0        | 0         | 0         | 0             | 0         | 4         | 538.400                                 | 8.973                    | 17                        | 60                |
| No de pozos                         | 5          |              |          | 6         |           |               |           | 9         |                                         |                          |                           |                   |
| Total acumulado Numero de Pozos: 20 |            |              |          |           |           |               |           |           | Total Consumo de Agua: 2.012.300 (bbls) |                          |                           |                   |

## 4.3 ANÁLISIS DE LOS VOLÚMENES DE AGUA

Según los resultados de la tabla 6, se observa que el Consumo máximo o consumo crítico de agua se requerirá en el quinto (5) año con un volumen de 673.000 barriles de agua, el cual se toma como base para el cálculo de las estructuras hidráulicas requerida para garantizar el agua de estimulación.

Se estima un volumen máximo de agua para utilizar en la estimulación de los veinte pozos de 2' 012.300 bbl.

## 5. DISEÑO EN SUPERFICIE DEL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS

El sistema de manejo de aguas a usar en la estimulación hidráulica, contempla principalmente tres capítulos básicos para el objeto, como lo son la Captación, el transporte y el almacenamiento. Por lo anterior se trata en este capítulo cada uno de estos puntos definiendo los puntos de captación superficiales, el transporte del agua mediante líneas de flujo y su almacenamiento en piscinas y en tanques confinados.

### 5.1 CAUDALES DE DISEÑO

**a. Periodo de Diseño:** Se entiende como periodo de diseño, el número de años durante las cuales una obra determinada ha de presentar con eficiencia el servicio para el que fue diseñado.

Se tiene como periodo de diseño para las obras de conducción, de 25 años

**b. Consumo Neto:** Es la cantidad de agua usada efectivamente en cada una de las actividades que se realizan.

**c. Consumo de la población:** Este es el consumo realizado por la población que se encuentra en el área industrial aferentes a los trabajos de Perforación y estimulación hidráulica

- Se estima un rango de valores de consumo según la norma RAS, Colombia, 2.000 para una población menor de 2.500 habitantes de 100 l/(hab-día) a 150 l/(hab-día)

- Según valores obtenidos durante los trabajos de los Pozos Coyote y Prometeo I, se obtuvieron consumos de 50 bbl/día=0.1 l/s lo que equivaldría a un máximo de 100 personas

Tabla 7. Consumo población

|                           |        |     |
|---------------------------|--------|-----|
| <b>Consumo Población=</b> | 0,1157 | l/s |
|---------------------------|--------|-----|

- d. **Consumo Industrial:** Es el consumo industrial requerido para los trabajos de perforación y/o estimulación hidráulica.

Tabla 8. Consumo industrial

|                            |                |            |
|----------------------------|----------------|------------|
| <b>Consumo Industrial=</b> | <b>20,64</b>   | <b>l/s</b> |
| Caudal=                    | <b>673.000</b> | bbl        |
| días almacenamiento        | 60             | días       |
| Caudal=                    | 11216,667      | bbl/día    |
| Caudal=                    | 20,64          | l/s        |

- e. **Caudal por pérdidas técnicas:** Se estima un 30%

Tabla 9. Pérdidas técnicas de agua asumidas

|                              |             |            |
|------------------------------|-------------|------------|
| <b>Pérdidas técnicas 30%</b> | <b>6,23</b> | <b>l/s</b> |
|------------------------------|-------------|------------|

**f. Caudal Máximo Diario:** Es el caudal total por el factor de mayoración

Tabla 10. Caudal máximo diario

|                              |              |            |
|------------------------------|--------------|------------|
| Caudal Total                 | 26,87        | l/s        |
| Factor de Mayoracion=        | 1,3          |            |
| <b>Caudal maximo diario=</b> | <b>34,93</b> | <b>l/s</b> |

**g. Caudal de Diseño para Bombeo:** Caudal requerido para el diseño de la línea y de la bomba, el cual será transportado hasta el área de almacenamiento Central.

Tabla 11. Caudal de diseño para bombeo

|                                                              |              |            |
|--------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| <b>Caudal de Diseño para Bombeo</b>                          | <b>49,89</b> | <b>l/s</b> |
| Bombeo menor de 24 horas del dia= Qmax diario / % bombeo-dia |              |            |
| Caudal de Diseño (70% )=                                     | 49,89        | l/s        |

**h. Caudal de Diseño para el Desarenador:**

Tabla 12. Caudal de diseño para el desarenador captación primaria

|                                                                    |               |            |  |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|------------|--|
| <b>Caudal de Diseño para el Desarenador</b>                        | <b>34,926</b> | <b>l/s</b> |  |
| Perdida en el transporte de agua entra captacion y planta= max 5%= | 1,343         | l/s        |  |
| Consumo de agua en planta (3%-5% del Caudal Medio diario=          | 1,343         | l/s        |  |
| Caudal de diseño desarenador=                                      | 34,926        | l/s        |  |

## 5.2 CAPTACIÓN

Se contempla el sistema de captación de agua superficial y subterránea. Para la captación superficial se contempla la captación flotante, por bombeo desde la orilla del rio por medio de una caseta y por carro tanque. También se usara la captación subterránea con la construcción de un pozo profundo.

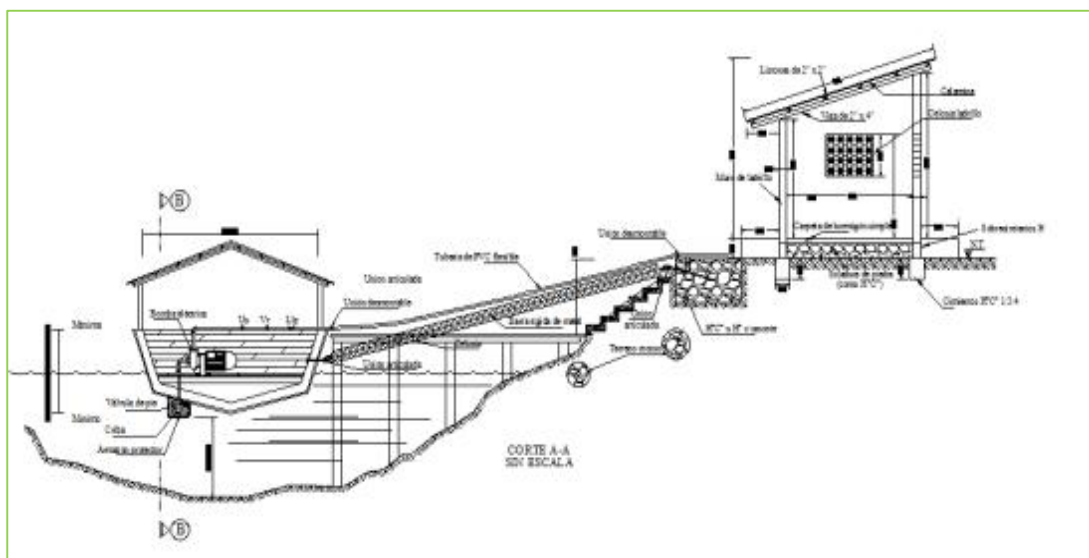
**5.2.1 Captación Flotante.** Uno de los sistemas utilizados para la captación de aguas sobre un río o fuente natural, es la captación flotante. Para nuestro caso se tiene como una de las opciones de captación este tipo de sistema.

Si la fuente de agua superficial tiene variaciones considerables de nivel pero conserva en aguas mínimas un caudal o volumen importante; por economía puede proyectarse la captación sobre una estructura flotante anclada al fondo u orilla del río de manera tal que se eviten los desplazamientos laterales.

Esta alternativa permite ejecutar la toma cuando se presentan dificultades como:

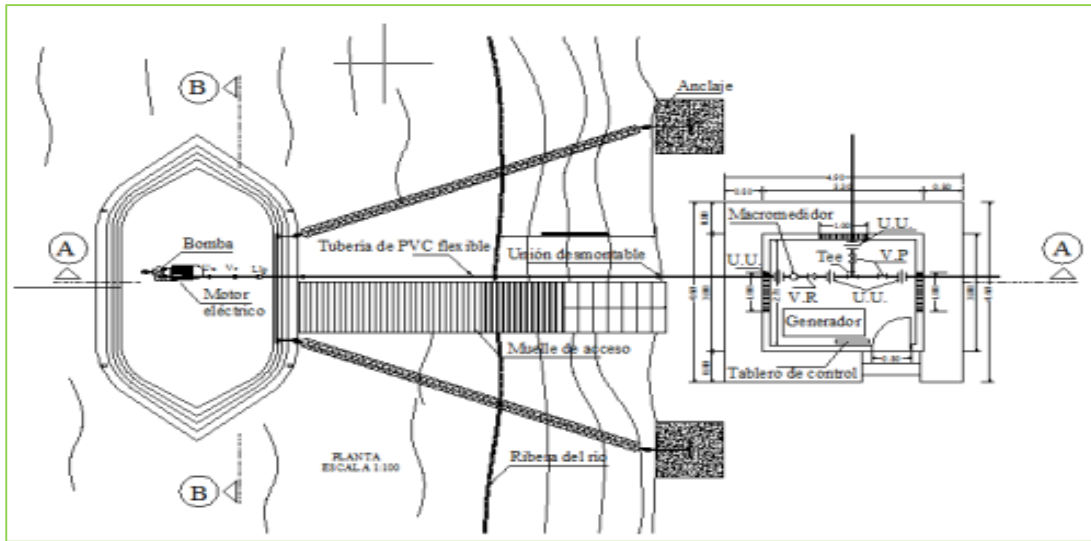
- La existencia de grandes fluctuaciones
- Calidades de agua muy diferentes según el nivel
- Márgenes y/o fondo que no permita garantizar la seguridad estructural de la obra civil a un costo razonable.

Figura 3. Captación superficial flotante en río A



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria. Disponible en: <http://www.planospara.com>

Figura 4. Captación superficial flotante en río B.

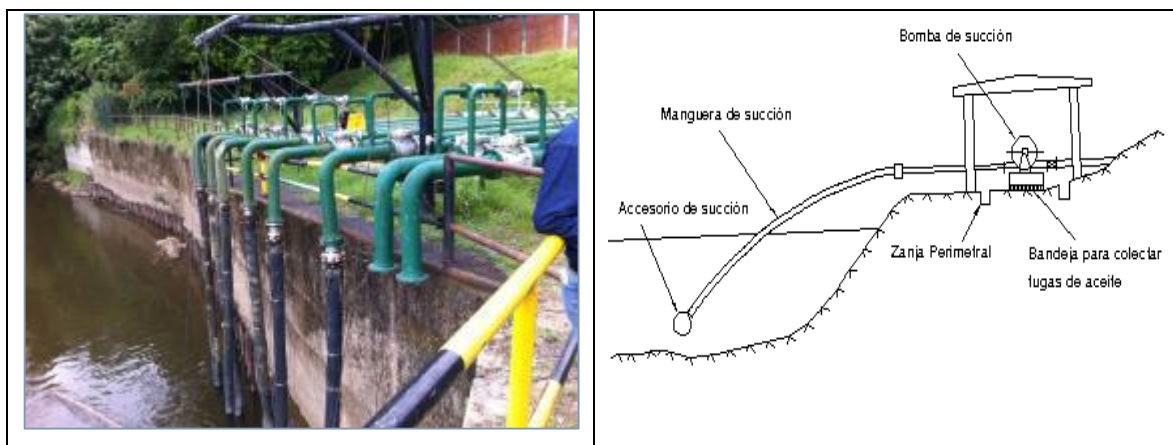


Fuente modelo aplicativo extraído de planos para Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. Disponible: <http://www.planospara.com>

**5.2.2 Captaciones con Equipo de Bombeo.** Consiste en la ubicación de un equipo de bombeo fijo o portátil en tierra, por medio del cual se hará la extracción del recurso, para posteriormente ser conducido al área central de almacenamiento o locación, por medio de tubería o carro tanques. Para esta alternativa es necesaria la adecuación de un área para instalar la motobomba, la cual estará soportada sobre una estructura, metálica o en concreto, que permita contener en cualquier momento que una fuga de combustible pueda llegar al suelo o al río. El sitio de ubicación de la motobomba fija deberá estar provisto de techos y estará debidamente señalizado con el fin de prevenir cualquier incidente. Este sistema de captación funcionará únicamente cuando la altura entre la lámina de agua y la ubicación de la bomba sea máxima de 6,0 metros, toda vez que con alturas mayores se puede generar cavitación en los equipos de bombeo (figura 5).

La captación se realizará con motobomba tipo centrífuga o pistón, instalada fuera del lecho y con capacidad suficiente para el levantamiento de presión a la cabeza requerida, normalmente con motor diésel o gasolina.

Figura 5. Sistema de captación con equipo de bombeo



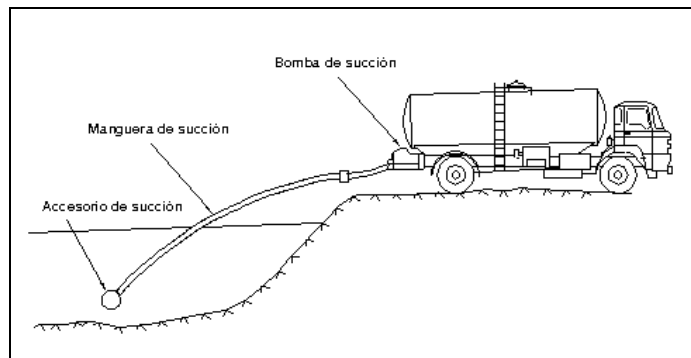
Fuente: ECOPETROL Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP.

**5.2.3 Captación con Carrotanque.** Consiste en el uso de carro tanque el cual poseerá una bomba adosada convencional para extraer el agua mediante una manguera de succión expandible que tendrá instalada una rejilla o malla en la boquilla para evitar la captura involuntaria de ictiofauna, y materiales indeseados; así mismo esta contará con una estructura (p.e. bandeja metálica) que permita el confinamiento y retención de grasas, aceites y demás residuos provenientes de la operación de la motobomba.

Para evitar cualquier contingencia por derrame de combustible de las bombas de agua de los carros tanques se contará con un cárcamo portátil que recogería cualquier escape posible. Se llevará un control permanente del caudal captado mediante reportes diarios del caudal captado. Para la medición del caudal se instalará un medidor de caudal.



Figura 6. Sistema de captación con carrotanque



Fuente: ECOPETROL Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP

El control y registro del volumen de agua captada mediante esta alternativa se llevará a cabo mediante un medidor de flujo que se instalará al sistema de succión y será verificado por el interventor del proyecto, Los registros serán enviados a la autoridad ambiental mediante los informes de cumplimiento ambiental – ICA (Ver fotografía en figura 7).

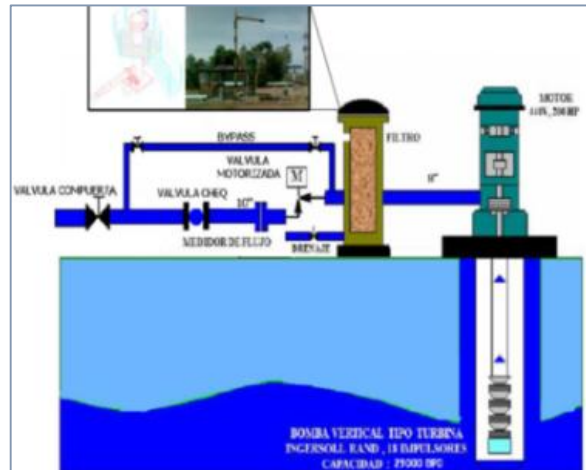
Figura 7. Medidor de flujo



Fuente: ECOPETROL Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP

**5.2.4 Captación por pozo Profundo.** Como fuente subterránea, se tiene como captación opcional, la construcción de uno pozo profundo cerca al área de almacenamiento central, ideal para el abastecimiento de agua.

Figura 8. Captación por pozo profundo



Fuente: ECOPETROL Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP

**5.2.5 Diseño del Desarenador.** Se presenta el diseño del desarenador como una de las estructuras hidráulicas necesarias de tratamiento primario antes de la conducción de agua hasta el área de Almacenamiento Central.

Se toman datos para el punto de captación superficial sobre el Río.

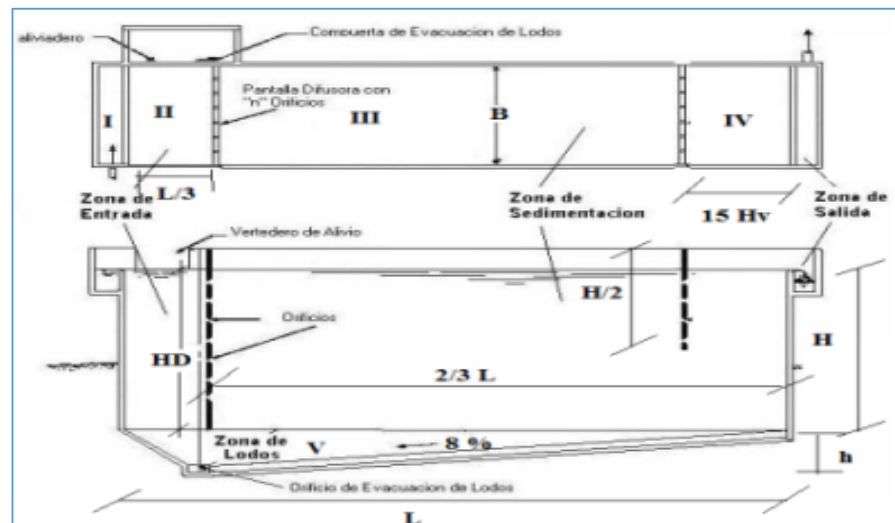
Tabla 13. Condiciones iniciales desarenador

|                                           |         |                    |
|-------------------------------------------|---------|--------------------|
| • Caudal de diseño= 9,94 l/s              | 26,8665 | L/s                |
| • Coeficiente del material C=             | 140,00  |                    |
| • Diámetro de la partícula a sedimentar=  | 0,03    | mm                 |
| • Viscosidad a 17C=                       | 0,01059 | cm <sup>2</sup> /s |
| • Relación Largo / Ancho=                 | 4       |                    |
| • H=                                      | 1,4     | m                  |
| • Peso específico del material sedimento= | 2,65    | cm/s               |
| • n=1 con remoción del 75% = teta/t=      | 3       |                    |
| • Cota al inicio del desarenador=         | 70,00   | msnm               |

Tabla 14. Datos obtenidos para el desarenador captación primaria

|                                                                        |        |                |
|------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|
| • Velocidad de sedimentación $V_s$ =                                   | 0,0764 | cm/s           |
| • Tiempo que tarda la partícula en recorrer H                          | 0,5089 | hr             |
| • Periodo de retención hidráulico= (entre 0,5hr y 4 hr cumple)         | 1,53   |                |
| • Carga hidráulica Superficial $QD/As$ = (entre 15 y 80 cumple)        | 22,01  |                |
| • Numero de hazen= (cumple)                                            | 3      |                |
| • Velocidad horizontal sobre critica $v_h/v_o$ = (entre 9 y 15 cumple) | 14,671 | cm/s           |
| • Velocidad de arrastre $V_r$ = 2,94 (cumple)                          | 2,27   | cm/s           |
| • Área Superficial $As$ =                                              | 105,46 | m <sup>2</sup> |
| • Calculo del Volumen $V$ =                                            | 147,65 | m <sup>3</sup> |
| • <b>Ancho del desarenador <math>B</math>=</b>                         | 5,13   | m              |
| • <b>Longitud del desarenador <math>L</math>=</b>                      | 20,54  | m              |
| • <b>Altura <math>H</math>=</b>                                        | 1,4    | m              |
| • Pendiente en la zona de lodos=                                       | 2,8    | %              |

Figura 9. Desarenador primario



Fuente: ECOPETROL. Elementos de Diseño de Acueductos y Alcantarillado-Ricardo López. pág. 201

Se presenta el diseño del desarenador como una de las estructuras hidráulicas necesarias de tratamiento primario antes de la conducción de agua hasta el área de Almacenamiento Central.

Se toman datos para el punto de captación superficial sobre el Río.

### 5.2.5.1 Cálculo del Vertedero y Zona de Lodos:

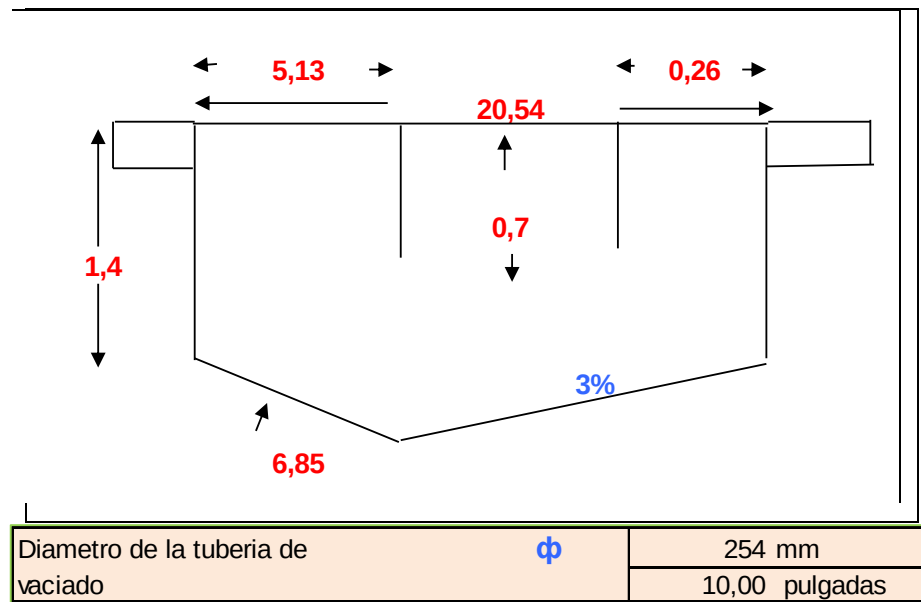
Tabla 15. Datos obtenidos vertedero de entrada

|                                                         |       |     |
|---------------------------------------------------------|-------|-----|
| · Carga de agua en el vertedero de salida $H_v$ =       | 0,052 | m   |
| · Velocidad que produce $v_{Hv}$ =                      | 0,30  | m/s |
| · Longitud de la caja $L_v$ =                           | 0,35  | m   |
| · Carga de agua en el vertedero de entrada $H$ excesos= | 0,052 | m   |
| · Alcance del chorro superior $X_s$ =                   | 0,31  | m   |
| · Alcance de chorro inferior $X_i$ =                    | 0,19  | m   |
| · Longitud de la caja de excesos $L$ excesos=           | 0,41  | m   |
| · Ancho de vertedero de salida $B_s$ =                  | 6,40  | m   |
| · Ancho de vertedero de entrada $B_e$ =                 | 1     | m   |

Tabla 16. Datos obtenidos zona de lodos

|                                                                        |        |                   |
|------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------|
| · Caudal de tubería de evacuación en zona de Lodos $Q_{descarga}$ =    | 0,0489 | m <sup>3</sup> /s |
| · Desnivel de cota de la tubería al inicio de la zona de lodos $H_D$ = | 0,02   |                   |
| · Tiempo de vaciado del desarenador= (aceptable < 15)                  | 753    | min               |
| · Cota de salida del desarenador para el vaciado=                      | 68,47  | msnm              |
| · diámetro de la tubería de vaciado=                                   | 10     | pg                |

Figura 10. Dimensiones del Desarenador

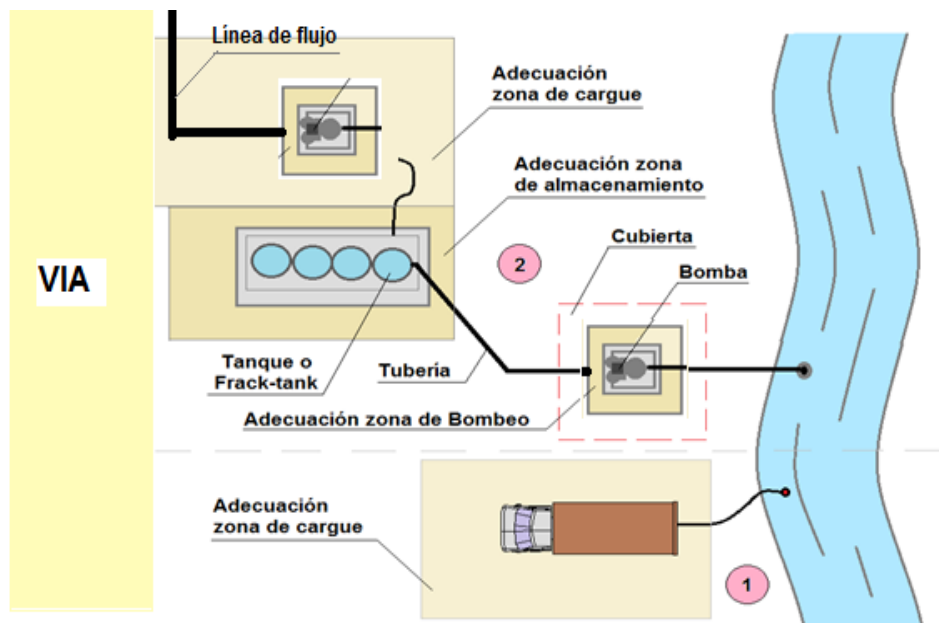


### 5.3 TRANSPORTE

Una vez al fuente de agua fue identificada y evaluada es necesario transportar el agua desde la fuente o punto de captación al sitio del pozo y también puede ser necesario transportar aguas residuales. El transporte del agua puede llevarse a cabo ya sea por camiones cisterna o por tuberías (líneas de flujo). (Ver esquema general de transporte desde la Captación al área de almacenamiento figura 13.)

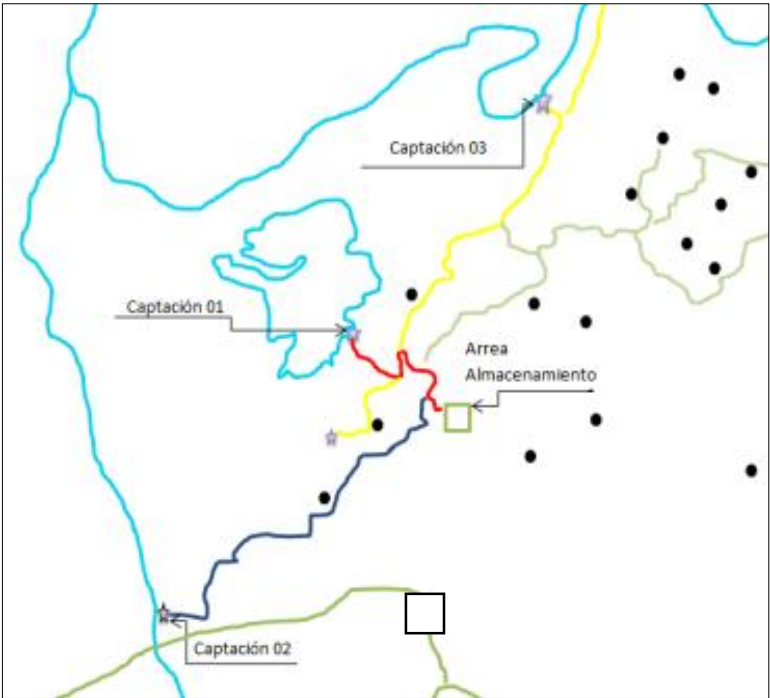
Por otro lado el transporte de agua puede realizarse por medio de tuberías permanentes o temporales. El transporte por tuberías puede no siempre ser una opción disponible debido a costos de construcción, o por ser una opción impráctica. Las tuberías son una opción más segura para el transporte de agua y mucho menos contaminante que el transporte por camión.

Figura 11. Esquema de Transporte y captación de agua



Fuente: ECOPETROL Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP

Figura 12. Planta del campo y esquema general



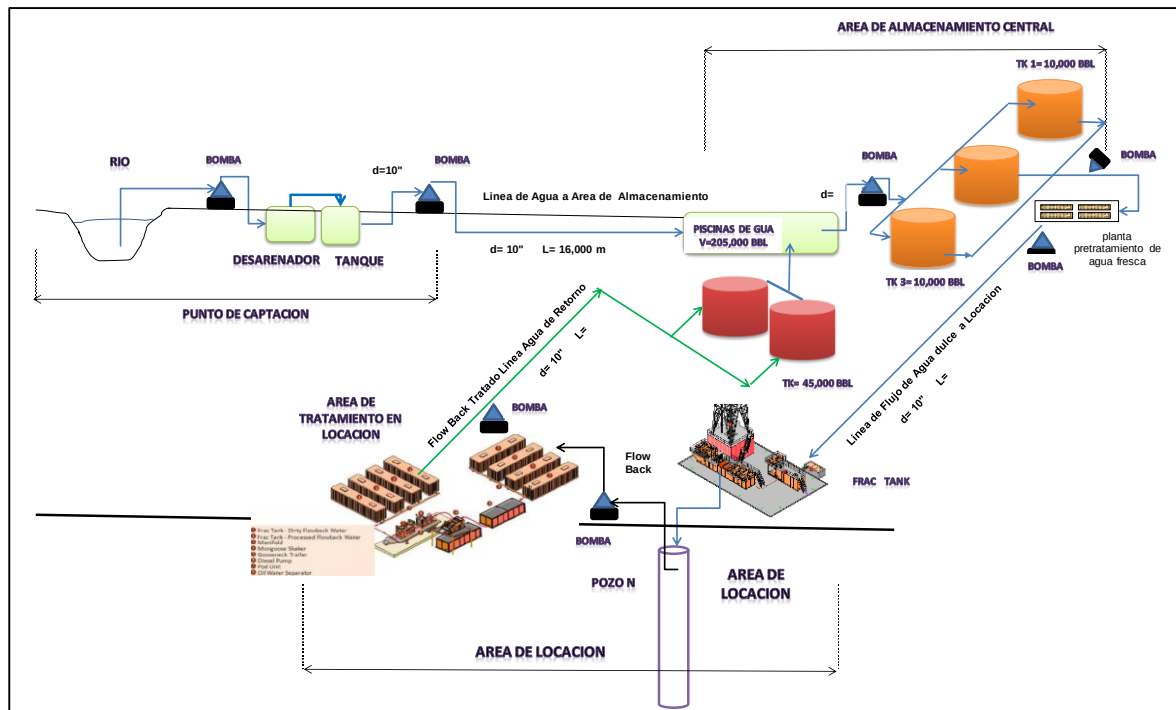
|                                                                                     |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | Captación              |
|  | Locación               |
|  | Area de Almacenamiento |
|  | Linea de Captacion 01  |
|  | Linea de Captacion 02  |
|  | Linea de Captacion 03  |
|  | Centro Poblado         |
|  | Fuente hídrica         |

Fuente: ECOPETROL. Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP

El transporte de agua de flujo de retorno puede requerirse para el envío a las instalaciones de tratamiento, al sitio de desecho o reutilización.<sup>1</sup>

La siguiente figura ilustra el sistema de línea de flujo para todo el sistema de manejo de agua:

Figura 13. Esquema general de transporte de agua por líneas de flujo



**5.3.1 Corredores Viales.** De requerir y/o construir las líneas de flujo para el transporte de agua en la estimulación hidráulica, deben ir localizadas y paralelas a los corredores viales por los respectivos rack de tuberías existentes y/o nuevas.

<sup>1</sup> LUNA GARCIA, Carlos: Tesis de Grado Manejo de Agua en un Fracturamiento Hidráulico en Yacimientos no Convencionales de Lutitas-Universidad Autónoma de México. Noviembre 2014, p.57

De ser necesario realizar un cruce de vía, estas pueden enterrarse en este punto.

Las líneas de flujo pueden instalarse en tubería metálica y/o por mangueras según la presión de trabajo que se requiera.

**5.3.2 Diseño de Líneas de Flujo.** El documento ECP-VST-G-MET-GT-001-1 da las pautas para el diseño de tubería y líneas de flujo en proyectos ejecutados por la Vicepresidencia de Producción de ECOPETROL S.A

### 5.3.2.1 Diseño de Líneas de Flujo Agua Dulce:

Tabla 17. Datos de línea de flujo captación primaria

| CAPTACIÓN 01                               |       |    |
|--------------------------------------------|-------|----|
| Long Total de Línea                        | 5.390 | m  |
| Cota Captación                             | 68    | m  |
| Cota Almacenamiento                        | 101   | m  |
| Pendiente máxima                           | 10,6  | %  |
| Diámetro de Impulsión de la línea de flujo | 8"    | pg |
| Diámetro de Succión de la línea de flujo   | 10"   | pg |

Figura 14. Perfil de la línea de conducción al área de almacenamiento central

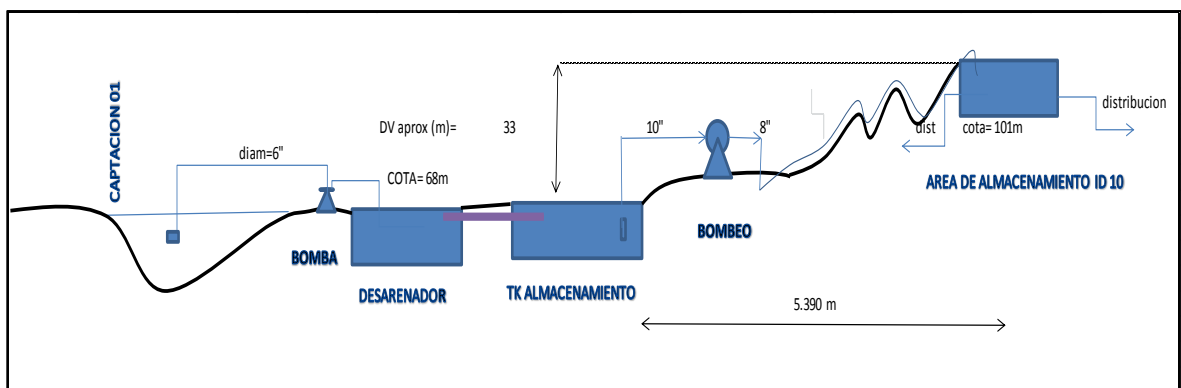




Tabla 18. Datos de entrada línea de conducción de agua

| Datos de Entrada                          |               |             |
|-------------------------------------------|---------------|-------------|
| Periodo diseño=                           | 20            | años        |
| Caudal maximo diario=                     | 18,46         | l/s         |
| No total de horas de bombeo al dia= 12 hr | 17            | hr          |
| Altura sobre el Nivel de mar              | 70            | msnm        |
| Temperatura del agua                      | 20            | GC          |
| <b>Tuberia en ACERO</b>                   | <b>140</b>    | <b>C</b>    |
| Caudal e Diseño= QMD/% Hr bombeada        | 49,89         | l/s         |
| <b>Caudal e Diseño= QMD/% Hr bombeada</b> | <b>0,0499</b> | <b>m3/s</b> |
| % Hr bombeada=                            | 71%           |             |

Tabla 19. Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión

| Calculo diametro tuberia <b>impulsion</b>    |           |           |                                            |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------------|
| Ecc Bresse: $D_i = 1.3X^{(1/4)} * Q^{(1/2)}$ |           |           |                                            |
| X= No horas de bombeo por dia / 24           | 0,708333  |           |                                            |
| D <sub>i</sub> =                             | 0,2664    | m         | Ecuacion de Bresse                         |
| D <sub>i</sub> =                             | 10,488    | pg        |                                            |
| <b>D<sub>i</sub>= a tomar comercial</b>      | <b>10</b> | <b>pg</b> |                                            |
| D <sub>i</sub> = a tomar comercial           | 0,254     | m         |                                            |
| V <sub>i</sub> =Q/A (velocidad)              | 0,98      | m/s       | * Velocidad entre 1 a 3 m/s para Impulsion |

| Calculo diametro tuberia <b>Succion</b>                                                        |           |           |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------|
| D <sub>i</sub> = a tomar comercial                                                             | 0,254     | m         | si tomamos igual al de impulsión      |
| <b>D<sub>i</sub>= a tomar comercial</b>                                                        | <b>10</b> | <b>pg</b> | Tomamos 10" tuberia de succion        |
| V <sub>i</sub> =Q/A (velocidad)                                                                | 0,9847    | m/s       |                                       |
| Velocidad minima=                                                                              | 0,45      | m/s       |                                       |
| La velocidad calculada esta en el rango=                                                       | 0,9847    | m/s       | ok mayor a 0,45 m/s y menor a 1,6 m/s |
| Velocida maxima=                                                                               | 1,6       | m/s       | de tabla 7.3                          |
| <b>Sumergencia (S)</b>                                                                         |           |           |                                       |
| S= 2.5D <sub>s</sub> +0,1 (S <sub>min</sub> = 0,5m, D <sub>s</sub> = Diametro tuberia succion) |           |           |                                       |
| <b>S=</b>                                                                                      | 0,735     | m         | FORMULADA                             |
| <b>S= aproximada</b>                                                                           | 0,74      | m         |                                       |

Tabla 20. Cálculo, pérdidas por succión

|                                                                                   |               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|
| <b>Perdida de la Succión=</b> (usar tabla 7,6)                                    | <b>0,303</b>  | <b>m</b>   |
|                                                                                   | <b>Ds=</b>    | <b>10</b>  |
| Valvula pie de coladera = (de tabla 7.7)                                          | 65            | m          |
| Codo de radio largo 90 grados (de tabla 7.7) <b>RADIO CORTO</b>                   | 7,9           | m          |
| Reduccion exentrica <b>6D</b>                                                     | 1,524         | m          |
| Entrada Borda                                                                     | 7,5           | m          |
| Longitud de tuberia recta= long en Tk de tubo succion a bomba<br>vert + horiz + S | 5,24          | m          |
| <b>Longitud equivalente total=</b>                                                | <b>87,16</b>  | <b>m</b>   |
| <b>calculo de la perdida de carga TOTAL</b>                                       | <b>0,0035</b> | <b>m/m</b> |
| utilizando hazen william                                                          |               |            |
| <b><math>J=(Q*0,2785*C*D^{2,63})^{(1/0,54)}</math></b>                            |               |            |
| <b>J=</b>                                                                         | <b>0,0035</b> | <b>m/m</b> |
| <b>Perdidas en succion= J * Long equivalente total</b>                            | <b>0,3033</b> | <b>m</b>   |

Tabla 21. Cálculo pérdidas de impulsión

|                                                                      |               |            |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|------------|
| <b>Perdida de Impulsion=</b> (usar tabla 7,6)                        | <b>57,58</b>  | <b>m</b>   |
|                                                                      | <b>Ds=</b>    | <b>10</b>  |
| Expansion concentrica <b>12D-LE</b> = (de tabla 7.7)                 | 3,05          | m          |
| Valvula de retencion horizontal (de tabla 7.7) <b>tipo pesada</b>    | 32            | m          |
| Valvula de cortina (de tabla 7.7) <b>CORTINA</b>                     | 1,7           | m          |
| Codo de radio largo 90 grados (60 codos) <b>RADIO CORTO</b>          | 474           | m          |
| Tee con cambio horizontal - <b>LATERAL</b>                           | 16            | m          |
| Tuberia= 1x3+DH+DV                                                   | 16.024        | m          |
| <b>Longitud equivalente total=</b>                                   | <b>16.551</b> | <b>m</b>   |
| <b>calculo de la perdida de carga TOTAL</b>                          | <b>0,0035</b> | <b>m/m</b> |
| utilizando hazen william                                             |               |            |
| <b><math>J=(Q*0,2785*C*D^{2,63})^{(1/0,54)}</math></b>               |               |            |
| <b>J=</b>                                                            | <b>0,0035</b> | <b>m/m</b> |
| <b>Perdidas en IMPULSION= J * Long equivalente total</b>             | <b>57,58</b>  | <b>m</b>   |
| <b>Altura de velocidad en la descarga (V): <math>Vd^2/2g=</math></b> | <b>0,0495</b> | <b>m</b>   |
|                                                                      | <b>57,63</b>  | <b>m</b>   |
| <b>Altura Dinamica Total de elevacion=</b>                           | <b>81,9</b>   | <b>m</b>   |

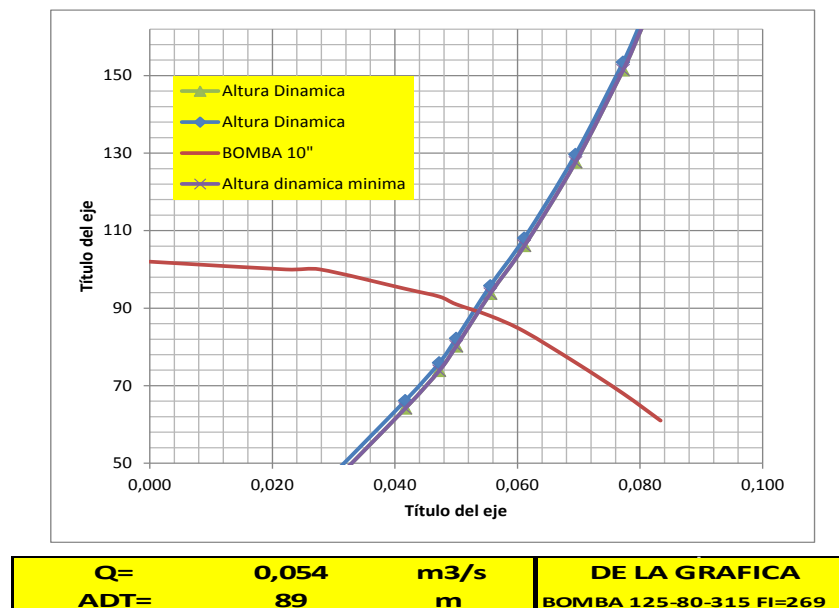
**Resumen Línea de Flujo desde Captación 01:** Línea que va desde el punto de captación 01 hasta el Área de Almacenamiento Central en tubería de diámetro 8" en acero. La Línea va paralela al corredor vial por rack de tubería.

### 5.3.3 Diseño de la Bomba:

Tabla 22. Línea de Impulsión

| TABLA 7.6 DIAMETRO DE IMPULSION DE 10" |          |           |             |                 |     |                 |        |          |
|----------------------------------------|----------|-----------|-------------|-----------------|-----|-----------------|--------|----------|
| Q<br>m3/s                              | Perdidas |           | Altura<br>m | Altura Estatica |     | Altura Dinamica |        | ADT<br>m |
|                                        | Succion  | Impulsion |             | min             | MAX | min             | MAX    |          |
| 0,000                                  | 0        | 0,00      | 0           | 22              | 24  | 22              | 24,00  | 102      |
| 0,022                                  | 0,066561 | 12,64     | 0,0096177   | 22              | 24  | 34,7148         | 36,71  | 100      |
| 0,028                                  | 0,104034 | 19,75     | 0,0155791   | 22              | 24  | 41,8736         | 43,87  | 100      |
| 0,042                                  | 0,220429 | 41,86     | 0,0350531   | 22              | 24  | 64,1107         | 66,11  | 95       |
| 0,047                                  | 0,271475 | 51,55     | 0,0438958   | 22              | 24  | 73,8632         | 75,86  | 93       |
| 0,050                                  | 0,304434 | 57,81     | 0,0496784   | 22              | 24  | 80,1602         | 82,16  | 91       |
| 0,056                                  | 0,375524 | 71,30     | 0,0623165   | 22              | 24  | 93,74           | 95,74  | 88       |
| 0,061                                  | 0,439965 | 83,54     | 0,0739413   | 22              | 24  | 106,05          | 108,05 | 84       |
| 0,069                                  | 0,552749 | 104,96    | 0,0946075   | 22              | 24  | 127,60          | 129,60 | 76       |
| 0,077                                  | 0,677257 | 128,60    | 0,1178172   | 22              | 24  | 151,39          | 153,39 | 68       |
| 0,083                                  | 0,778217 | 147,77    | 0,1368937   | 22              | 24  | 170,68          | 172,68 | 61       |
| 0,090                                  | 0,778217 | 147,77    | 0,1368937   | 22              | 24  | 170,68          | 172,68 |          |

Figura 15. Curva de la bomba



**5.3.4 Pruebas Hidrostáticas.** Se realizará la prueba hidrostática al tendido de la línea de flujo, cumpliendo con las normas planteadas en API-1110 "Recommended Practices for Pressure Testing of Liquid Petroleum Pipelines".

Para realizar los trabajos de pruebas hidrostáticas a la línea de conducción que conduce agua desde la captación hasta el área de almacenamiento central, se deben seguir lo estipulado por ECP en esta actividad.

Se presenta a continuación los siguientes pasos para tener en cuenta:

- Verificación de la integridad de todos los elementos y/o equipos a utilizar como: Bombas, Estado físico de Mangueras y conexiones rápidas, Estado físico de Válvulas, bridas y verificación nominal de su rating vs requerimiento de trabajo, Verificar resaltes del rating sobre elementos, marcas aprobadas etc, Manómetros, Registrador gráfico de presión, Termomanómetro
- Verificar que los instrumentos estén calibrados (verificar tiempo de calibración)
- Se deben colocar los instrumentos, todas las bridas y las partes roscadas se deben sellar antes de la prueba.
- Las pruebas hidrostáticas se deben realizar en presencia del personal de Aseguramiento técnico.
- Es recomendable colocarse una válvula de corte entre el equipo y los instrumentos.

**Procedimiento:**

- Equipo: Bomba neumática y Compresor
- Con el equipo se debe llegar a la prueba requerida.
- Se debe inspeccionar por parte de Aseguramiento, que no hayan fugas en las juntas de soldadura y conexiones.

- Si se observa humedad y/o fuga en cualquier punto, la prueba no debe aceptarse y se rechaza el equipo hasta realizar las correcciones.
- Una vez teniendo los manómetros y registrador gráfico a la presión de prueba, se empezará a contar el tiempo de la prueba.
- Se debe realizar la verificación en los manómetros de las presiones requeridas de la prueba.
- Realizar el Seguimiento de la presión contra tiempo.
- Justificación de terminación de la prueba.
- Vaciado del equipo.
- Elaboración de reportes con los factores encontrados

#### **5.4 ALMACENAMIENTO**

Para el almacenamiento y tratamiento del fluido de retorno se utilizarán Frac tanks u otro tipo de tanques de almacenamiento. Para estos equipos se realizarán pruebas de estanqueidad. Las estructuras de almacenamiento debe contar con un dique perimetral que permita contrarrestar el riesgo por pérdida de contención del fluido. El piso deberá estar impermeabilizado o contar con un sistema que no permita la filtración en tierra del fluido.

Para los pozos exploratorios iniciales el almacenamiento y el tratamiento se realizarán en cada plataforma o locación. Como opción, las aguas del fluido de retorno se entregarán directamente en el área de la locación a un tercero para su tratamiento.

En la medida que se avance en el desarrollo del proyecto, el fluido de retorno será tratado y almacenado en un área de almacenamiento central de 7.1 hectáreas. El agua será transportada desde los pozos al sitio de tratamiento mediante tuberías o carrotanques. En el área de almacenamiento central estarán ubicadas las dos (2) piscinas de almacenamiento de agua proveniente de la captación, el sistema de

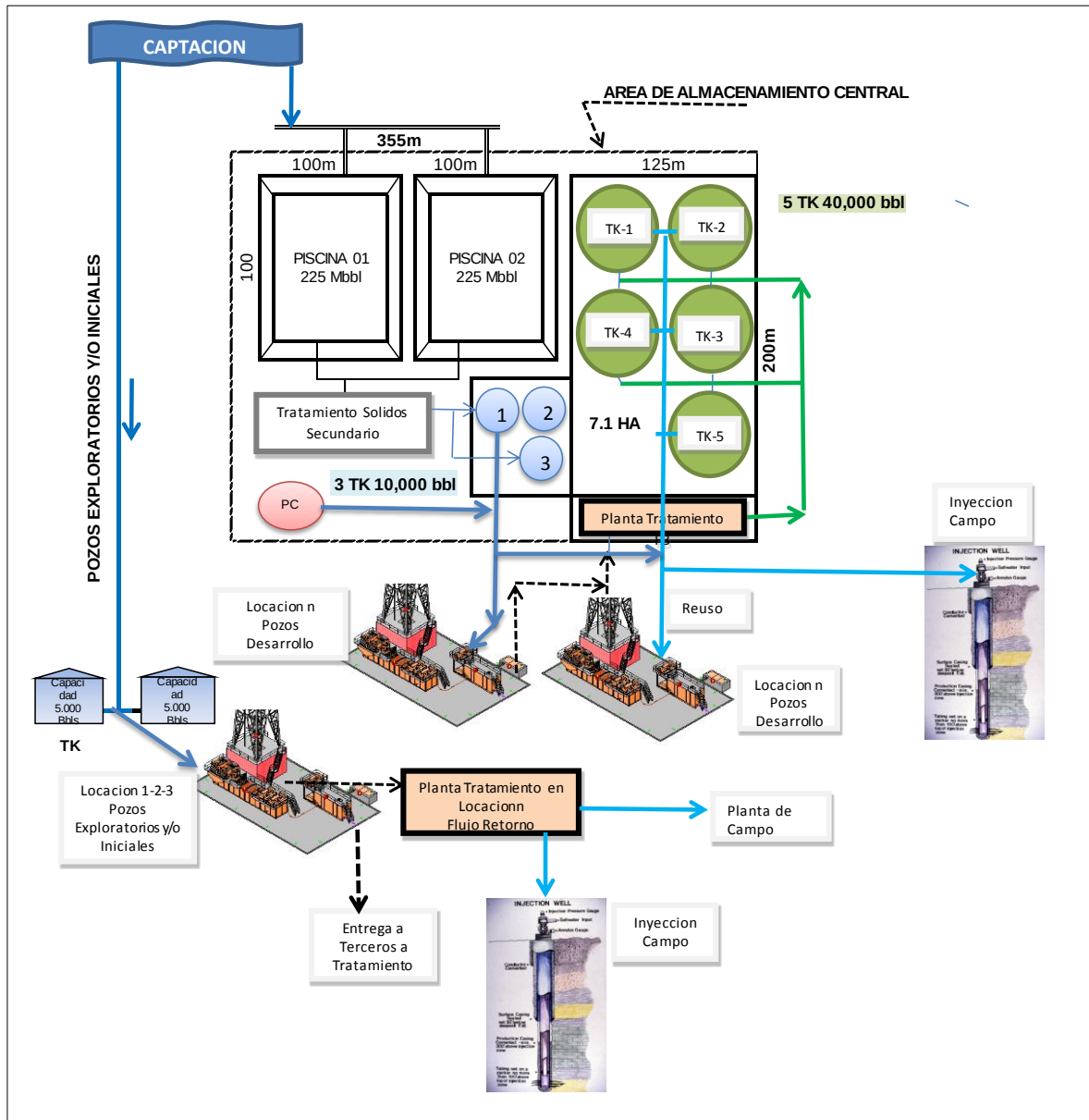
tratamiento secundario de agua dulce, la planta de tratamiento del flow back y los cinco (5) tanques de almacenamiento del “flow back”. Los tanques de almacenamiento del fluido de retorno estarán confinados por un sistema de diques perimetrales de altura máxima de 1.80m que permitan contener el total del derrame máximo de fluido confinado más un 10%.

El área destinada para el almacenamiento del fluido de retorno en el área de almacenamiento central para los pozos en desarrollo es de 125m de ancho por 157m de largo para una altura de dique de 1.80m usando cinco (5) tanques de 40.000 bbl (o wáter tank), lo que corresponde al almacenamiento de máximo de 200.000 bbl.

Se realizará el monitoreo visual frecuente para confirmar la integridad de todos los tanques, contenedores, válvulas, mangueras y otras instalaciones que almacenen o transporten fluidos de retorno y agua producida. Todos los tanques que contengan estos fluidos se identificarán como tal y contarán con todas las etiquetas apropiadas de advertencia.

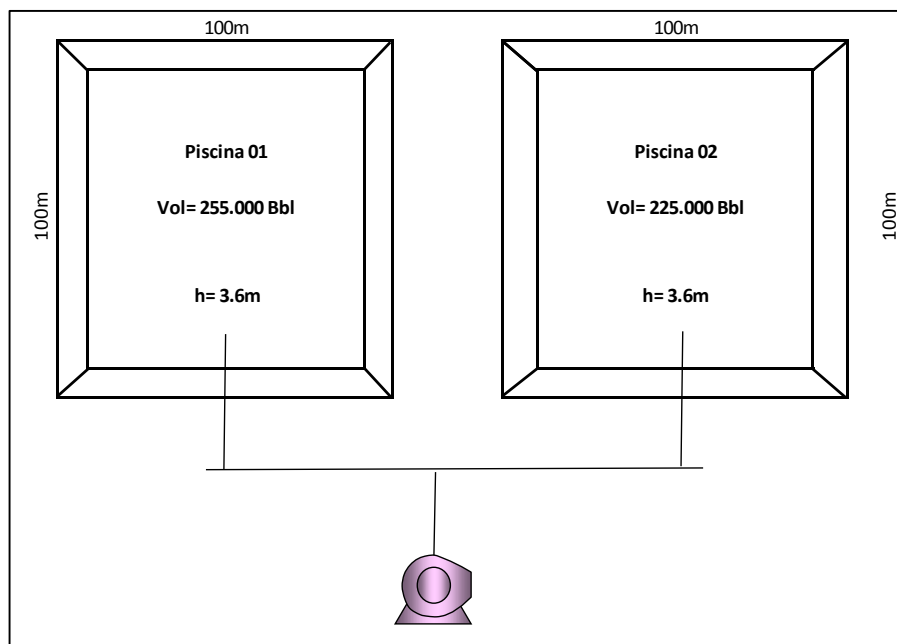
### 5.4.1 Área de Almacenamiento Central:

Figura 16. Área de Almacenamiento Central



**5.4.1.1 Piscinas para Almacenamiento de Agua.** Para el almacenamiento de agua dulce proveniente de la captación en los trabajos de estimulación hidráulica, se requiere la construcción de dos (2) piscinas de 225.000 bbl cada una, con dimensiones de 100x100x3.6m. Estas dos piscinas se deben construir en el área de almacenamiento central. (Ver figura 16.). El agua contenida en estas piscinas, vienen de la captación

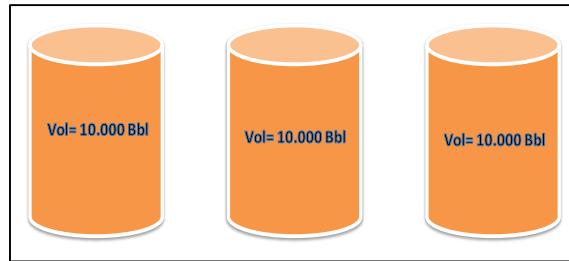
Figura 17. Piscina de Almacenamiento de agua



**5.4.1.2 Tanques de Almacenamiento de Agua.** De igual manera, en el área de almacenamiento central se deben instalar tres (3) tanques de 10.000 bbl cada uno, para uso directo en la estimulación hidráulica. El agua de estos tanques proviene de las dos piscinas de 225 mil Bbl posterior de a un tratamiento secundario. (Ver figura 16)



Figura 18. Tanques de almacenamiento de agua dulce



**5.4.1.3 Tanques de Almacenamiento de Flow Back.** En el área de almacenamiento central se deben instalar cinco (5) tanques de 40.000 bbl cada uno, para almacenar el agua de flow back que proviene de la planta de tratamiento localizada en el área de la locación del pozo estimulado. (Ver figura 15.).

El agua contenida en estos tanques será usada para la estimulación del siguiente pozo y se conducirá por líneas de flujo o por mangueras a la respectiva locación.

## 5.5 RETORNO Y REUSO

Las aguas de retorno de cada pozo, serán conducidas al área de Almacenamiento Central, y posterior a ello se realizara el tratamiento de acuerdo a las opciones:

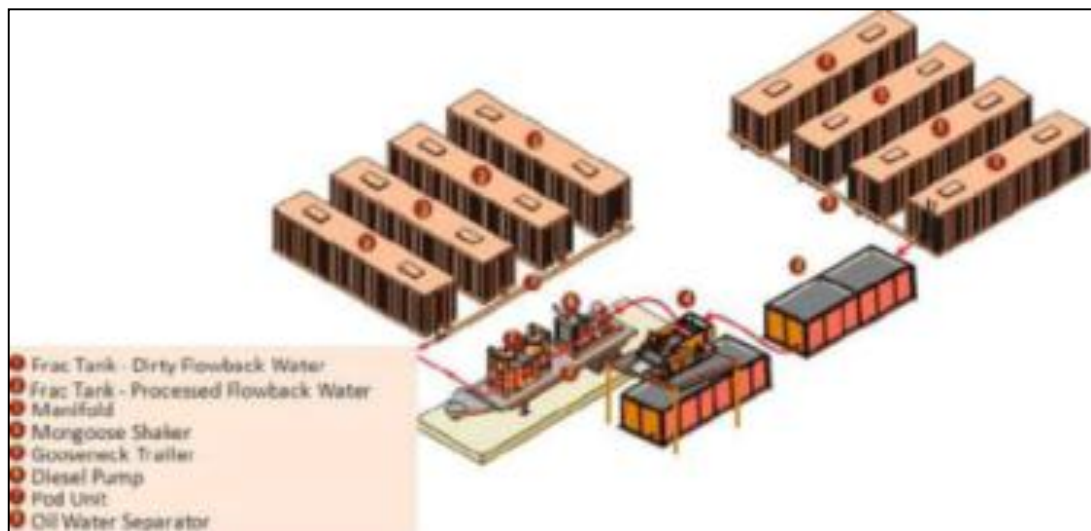
- Tratamiento en el sitio: Esta área se ubicara dentro de la misma área de Almacenamiento Central.
- Tratamiento en Estación cercana: las aguas producidas serán transportadas por carro tanque a la Estación de tratamiento cercana

Como opción se dispondrá este fluido para la estimulación en el próximo pozo o en su defecto será trasladado a la Estación de tratamiento o al tratamiento en el sitio.

Una vez tratada el agua, se llevara está a vertimiento o a un pozo inyector "Disposal" por carro tanques o por una línea de flujo.

Se contempla como opción la disposición de aguas en las Estaciones de ECOPETROL Campos 1 y 2

Figura 19. Lay-out sistema de agua de retorno



Fuente: ECOPETROL Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP

## 5.6 TRATAMIENTO DE FLOWBACK

Para el tratamiento del fluido de retorno contaminado, se proponen las diferentes tecnologías utilizadas en el medio, así como el tratamiento de las aguas para su desalinización por los métodos MED, MVC y Osmosis inversa. De igual manera se muestran los tratamientos para aguas contaminadas con compuestos orgánicos utilizando los métodos biológicos, químicos y físicos.

**5.6.1 Generalidades Tratamiento.** Con base en los resultados de los análisis de laboratorio de la composición del fluido de retorno se seleccionará el conjunto de

operaciones unitarias necesarias para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la estimulación hidráulica. De igual manera se deberán fijar los objetivos para el tratamiento de acuerdo con los estándares exigidos por la normatividad vigente.

Para el tratamiento de estas aguas existen dos alternativas:

- a.** Tratamiento in-situ: Dentro de la misma localización o en el área de almacenamiento central por medio de plantas compactas.
- b.** Tratamiento a realizar fuera de las instalaciones y en un sitio cercano.

- Dentro de estas dos alternativas, la primera presenta ventajas pues con ella se minimizan los riesgos ambientales asociados con el transporte y la movilización terrestre de aguas residuales; además su tecnología permite garantizar buenos niveles de efectividad para tratamientos in-situ.

En general, para el tratamiento de aguas del fluido de retorno se requiere de un tren de tratamiento compuesto por varias unidades tal como lo son la sedimentación, coalescencia, flotación y filtración.

Para la elección de la tecnología de tratamiento, las consideraciones básicas a tener en cuenta son las siguientes:

Afluente (es decir, el flujo de retorno del agua) los parámetros y sus concentraciones (reutilización del agua)

Los siguientes factores influyen en la decisión de utilizar en el sitio de tratamiento y la selección de opciones específicas de tratamiento

#### **5.6.1.1 Factores del Tratamiento Operacional:**

- Características de Flowback, incluyendo las tendencias de scale
- El espacio para la disponibilidad
- Capacidad del sistema o tren de tratamiento
- La concentración de sólidos en el flujo de retorno, y la reducción de sólidos requeridos.
- Las concentraciones de hidrocarburos en el flowback, y la reducción selectiva en hidrocarburo.
- Acceso a fuentes de agua dulce
- Tasa de recuperación selectiva
- Impacto de las aguas tratadas en la eficacia de los aditivos
- La disponibilidad de opciones de eliminación de residuos
- Características de Flowback, incluyendo las tendencias de scale
- El espacio para la disponibilidad
- Capacidad del sistema o tren de tratamiento
- La concentración de sólidos en el flujo de retorno, y la reducción de sólidos requeridos.
- Las concentraciones de hidrocarburos en el flowback, y la reducción selectiva en hidrocarburo.
- Acceso a fuentes de agua dulce
- Tasa de recuperación selectiva
- Impacto de las aguas tratadas en la eficacia de los aditivos
- La disponibilidad de opciones de eliminación de residuos

#### **5.6.1.2 Factores del Tratamiento tipo Costo:**

- Los costos de capital asociados con el sistema de tratamiento

- Los costos de transporte asociados con el agua dulce
- Aumento o disminución de los aditivos de fluidos de la utilización de un flujo de retorno tratada

#### **5.6.1.3 Otros Factores de Tratamiento:**

- Topografía del sitio
- Densidad de la población vecina
- La proximidad a fuentes de agua dulce
- Las otras demandas de agua dulce en las proximidades
- Regulaciones ambientales

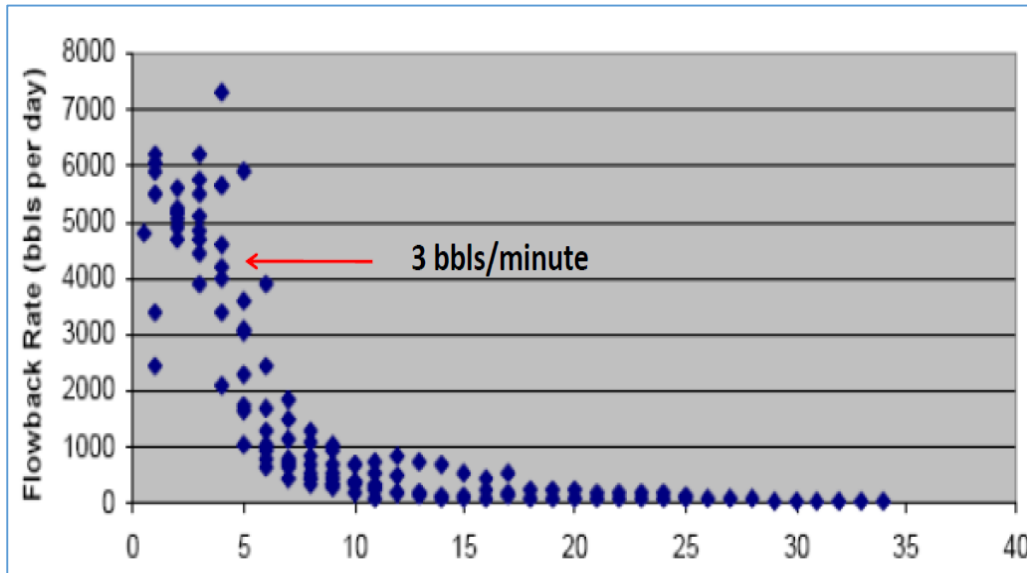
**Para que el agua producida esté en condiciones de reúso, es necesario tener en cuenta lo siguiente:**

1. Requiere la eliminación de sólidos en suspensión, bacterias, hierro, formadores de incrustación
2. Los fluidos que toleran alta concentración de iones monovalentes (Na, Cl, K)
3. Insensibilidad a la salinidad del fluido
4. Remoción de constituyentes que afectan la estabilidad del fluido
5. Gel reticulado sensible a iones Multivalente.

**5.6.2 Porcentaje de Fluido de Retorno.** El porcentaje de fluido recuperado luego de la estimulación hidráulica en un yacimiento no convencional tipo shale play, varía entre el 10 y 75%, dependiendo del tipo de roca, mineralogía, presión de yacimiento y fluido de estimulación usado. La producción de agua al inicio del retorno puede alcanzar valores alrededor de los 5000bpd, durante los primeros días, sin embargo, luego inicia una fuerte declinación de tal forma que en algunas semanas se estabiliza en un valor bajo de unos cientos barriles por día, que por lo general se asocia al periodo de producción y no al periodo de retorno. A continuación re

presenta el comportamiento típico de la producción de agua durante el periodo de retorno de fluidos base agua, posterior a la estimulación hidráulica.

Figura 20. Caudal de producción de agua en pozo horizontal periodo retorno



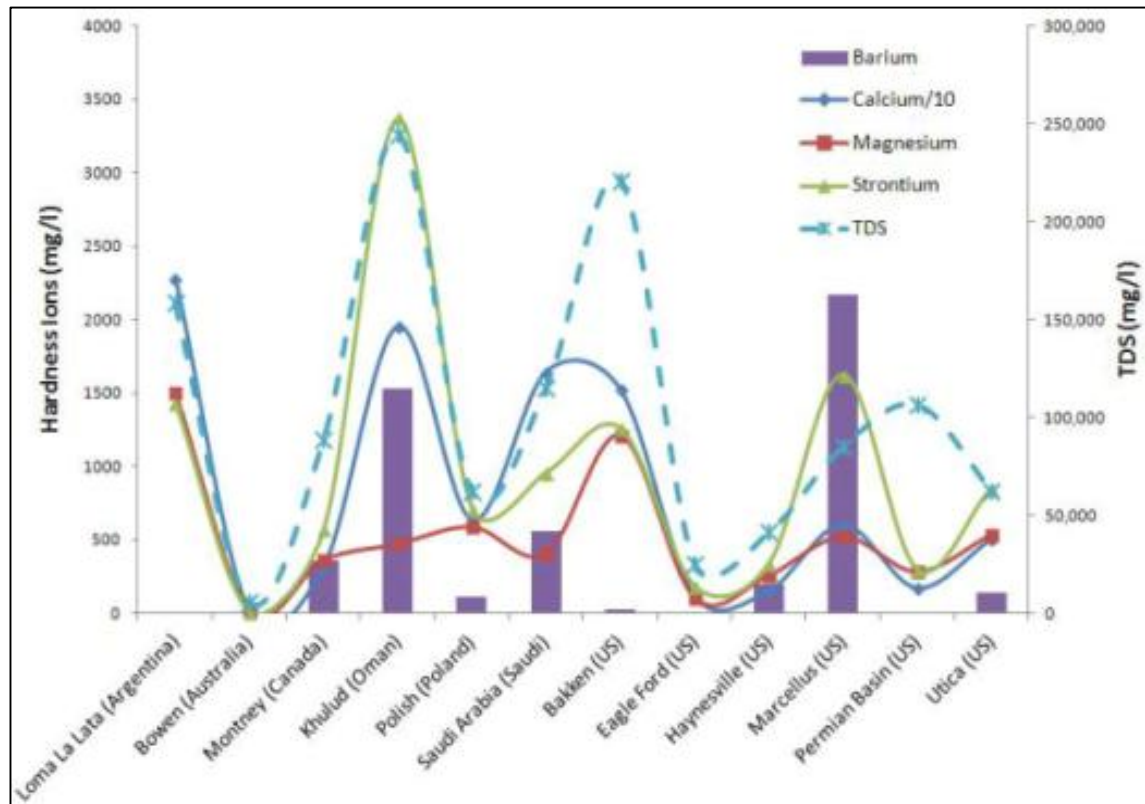
Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

**5.6.3 Caracterización del Fluido.** Las propiedades fisicoquímicas del agua retornada luego de la estimulación hidráulica varían en función de la composición del fluido de estimulación, mineralogía de la formación y tiempo de contacto entre el fluido y la formación, entre otras variables.

En términos generales, la concentración de TDS varía entre los 5.000 mg/L hasta más de 200.000 mg/L, estos altos valores se alcanzan durante la duración del periodo de retorno. Además de los TDS, el fluido retornado contiene una alta concentración de iones como bario, bromo, calcio, cloruro, hierro, magnesio, sodio, estroncio, bicarbonato, entre otros. El fluido retornado también puede llegar a contener componentes orgánicos volátiles como el benceno, tolueno, xileno y acetona. El pH del fluido retornado varía entre 5 – 8.

A continuación se presenta la composición típica observada en diferentes Plays referenciados en la literatura.

Figura 21. Composición típica fluido de retorno de algunos plays



Fuente. OWM M-I SWACO

A continuación se presenta la composición que se podría esperar para el fluido de retorno en un shale play como el que es objeto del licenciamiento. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este es solo un estimado, en la medida en que se tengan resultados de varios pozos se podrá establecer una tendencia para cada play de Colombia en particular.

Tabla 23. Composición estimada del fluido

| COMPONENTE                            | UNIDAD                  | VALOR           |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Cloruros                              | mg Cl-/L                | 8800-60700      |
| Acidez total                          | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 470-300         |
| Alcalinidad total                     | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 450-7320        |
| Cot colorimétrico                     | mg COT/L                | 470-2350        |
| Conductividad                         | uS/cm/°C                | 50700-63250/25  |
| Dureza total                          | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 480-15300       |
| Fenoles-método fotométrico            | mg/L                    | < 0.1           |
| Fosforo disuelto                      | mg P/L                  | 0.017-0.21      |
| Fosforo total                         | mg P/L                  | 0.031-0.36      |
| Nitratos por ic                       | mg NO <sub>3</sub> -N/L | < 0.09          |
| PH / t (gr c) en aguas                | Uni. pH                 | 6.7-7.5         |
| Solidos disueltos                     | % Peso/Volumen          | 3.5-8.1         |
| Solidos suspendidos                   | mg/L                    | 100-623         |
| Solidos totales                       | % Peso/Volumen          | 3               |
| Sulfatos                              | mg SO <sub>4</sub> /L   | 32.6            |
| Sulfatos por ic                       | mg SO <sub>4</sub> /L   | 14-150          |
| Turbiedad                             | NTU                     | 16-357          |
| Benceno                               | µg/L                    | 100-988         |
| Tolueno                               | µg/L                    | 170-798         |
| Etilbenceno                           | µg/L                    | <3.29           |
| m+p-xileno                            | µg/L                    | 5.2-71          |
| 1,3,5-trimetilbenceno                 | µg/L                    | 5.6-37          |
| 1,2,4-Trimetilbenceno                 | µg/L                    | 8.5-445         |
| Aluminio                              | mg/L                    | 0.18-1.18       |
| Calcio (dureza-flotación-             | mg/L                    | 30-8350         |
| Cromo ( <b>pesado-filtración</b> )    | mg/L                    | 0.25-2          |
| Hierro ( <b>filtración</b> )          | <b>mg/L</b>             | <b>4.7-323</b>  |
| Potasio                               | mg/L                    | 3200-14500      |
| Magnesio(dureza-flotación-            | mg/L                    | 30-750          |
| Manganeso (filtración)                | <b>mg/L</b>             | <b>0.01-1.5</b> |
| Silicio                               | mg/L                    | 1.5-10          |
| Estroncio                             | mg/L                    | 0.5-2650        |
| Arsénico ( <b>pesado-filtración</b> ) | mg/L                    | 0.016-1         |
| Cadmio ( <b>pesado-filtración</b> )   | mg/L                    | 0.007-1.2       |
| Cobre ( <b>pesado-filtración</b> )    | mg/L                    | 0.004-4.500     |

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

De la tabla 23, se resaltan los siguientes componentes esperados en el fluido, tales como Carbonato de Calcio, Hierro, Bario, Estroncio y Calcio, los cuales al reaccionar



con los Sulfatos pueden crear Sulfatos de Calcio, Sulfatos de Hierro, Sulfatos de Bario y Sulfatos de Estroncio para lo cual se resalta a continuación algunas características<sup>2</sup>:

Los iones más problemáticos nombrados anteriormente reaccionan para formar precipitados cuando se producen cambios de composición, presión y de Temperatura. Estos son los depósitos bien conocidos que se forman en las líneas de flujo, vasijas y en el agua producida en el tratamiento de los equipos.

**5.6.3.1 Efectos del Carbonato de Calcio.** La causa más común de este compuesto, es la reducción de la presión y la liberación de dióxido de carbono disuelto de agua producida. Esto aumenta el PH del agua producida, lo que reduce la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  y conduce a escala precipitado.

Los efectos de la temperatura son igualmente importantes ya que  $\text{CaCO}_3$  es menos soluble a temperaturas más elevadas y formará un depósito en intercambiadores de calor, calentador y tratadores. Su solubilidad en agua dulce es de aproximadamente 1,000 mg/Lt en 60 F y disminuye a 230 mg/Lt como la temperatura se aumenta a 200 F. Afortunadamente, mayor salinidad aumenta  $\text{CaCO}_3$  solubilidad en agua producida a un valor mayor que la dada anteriormente para el agua pura

**5.6.3.2 Efectos del Sulfato de Calcio.** El sulfato de calcio es una de varias escalas de sulfato y también se llama yeso.

Como  $\text{CaCO}_3$ , puede formar ya sea como resultado de mezclar aguas disímiles o naturalmente como resultado de cambios de temperatura y presión que el agua viaja desde la superficie hasta el centro de tratamiento de superficie. La solubilidad del  $\text{CaSO}_4$  está en su nivel máximo de 2150 mg/l en

---

<sup>2</sup> Fuente traducida fundamentos del tratamiento de aguas de producción Pagina 132, Especialización Petróleos 2014, MSC Jorge E Forero

aproximadamente 100F (30C) y disminuye a 2,000 mg/l cuando se enfría a 60F (15C). La solubilidad del  $\text{CaSO}_4$  también disminuye con el aumento de temperatura por encima de 100F con su solubilidad como la salinidad de los aumentos de agua producida.

**5.6.3.3 Efectos del Sulfato de Hierro.** El Sulfuro de Hierro ( **$\text{FeS}_2$** ) es un producto de la corrosión causada por las aguas que contienen sulfuro de hidrógeno Disuelto entrar en contacto con el equipo fabricado a partir de acero al carbono o materiales de hierro. Agua de amasado que contiene cationes de hierro  $\text{Fe}^{2+}$  con otro sulfuro de hidrógeno en agua que contiene también resultará en  $\text{FeS}_2$  precipitado.

**5.6.3.4 Sulfato de Bario y Sulfato de Estroncio.** Sulfato de Bario y Sulfato de Estroncio son mucho menos soluble que el Sulfato de Calcio, pero que no son tan comunes en las aguas producidas.

La solubilidad del  $\text{BaSO}_4$  es bastante baja, tiene un valor de aproximado de 3 mg/l en el rango de 100F (15C) a 200F (93C).

$\text{SrSO}_4$  solubilidad es 129 mg / l a 77F (25C) y disminuye a 68 mg / l como la temperatura de solución aumenta hasta 257°F (125C).

Si una corriente de agua producida que contiene cantidades apreciables de iones de bario o estroncio se mezcla con agua rica en sulfato, bario y estroncio o descamación se puede esperar.

Estas aguas son incompatibles debido a esta característica de normalización y no deben mezclarse.

**5.6.3.5 Otros Elementos Esperados.** Según la tabla 24, dentro del fluido esperado, encontramos hierro, Manganeso y metales pesados como el

Arsénico, Cromo, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinc, Titanio, Cromo y Cadmio, los cuales mediante la tecnología de filtración pueden ser removidos hasta el 98% y remover las partículas hasta el tamaño de 5 um. Ver tabla 25.

El calcio y el magnesio esperado en las aguas, puede ser removido mediante la tecnología de flotación y por la filtración.

#### 5.6.4 Tecnologías Utilizadas:

Tabla 24. Tecnologías usadas para el tratamiento del agua

| Tecnología                  | Rango ppm | Rango um        | Costo | Equipos                               | Nivel | Acción                                 |
|-----------------------------|-----------|-----------------|-------|---------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| F. Gravedad                 | 4000-500  | 150 um          | 1     | Skim Tank-API-Sedimentador            | I     | Remoción de Hidrocarburo Libre         |
| Coalescencia                | 1000-300  | 20 - 50 um      | 1,5   | Separador CPI (Placas Corrugadas)     | I     |                                        |
| Flotación                   | 500-200   | 25 - 30 um      | 3     | DAF-IAF-DGF                           | II    | Remoción de dureza y metales           |
| Microflotación              | 500-10    | 5 - 20 um       | 3     | Microburbujas                         | II    |                                        |
| Hidrociclón                 |           | debajo de 20 um |       |                                       |       | Remoción de dureza y metales           |
| Filtración                  | 50-10     | >= 2 um         | 9     | Dolomita-Vegetal-Arena                | II    | Remoción de dureza y metales           |
| Centrifugación              | 50-2      | 5 - 30 um       | 15    | Platos-Flujo Axial                    | II    | Remoción de dureza y metales           |
| Absorción                   |           | < 2             |       | G.A.C                                 |       |                                        |
| Ultra filtración /Membranas | 10-5,     | <=1             | 25    | Carbon-Osmosis- Micro-nano filtración | III   | Remoción Compuestos Orgánicos Solubles |

Fuente: Presentación fundamentos de tratamiento de aguas de producción (Ing. Jorge Enrique Forero)

El nivel de tratamiento dependerá de la calidad del agua, se ha identificado cuatro tipos de tratamiento de los cuales la primera opción es el re uso del flowback.

Los tipos de tratamiento del flowback se presentan a continuación:

Nivel 1: Remoción de Hidrocarburo libre y técnicas de desinfección (ejemplo: gunbarrels, separadores API o CPI)

Nivel 2: Remoción de dureza (Ca y Mg) y remoción de metales, utilizando tecnologías de coalescencia, de flotación y de filtración como las mencionadas en el capítulo siguiente “tratamiento del fluido de retorno”.

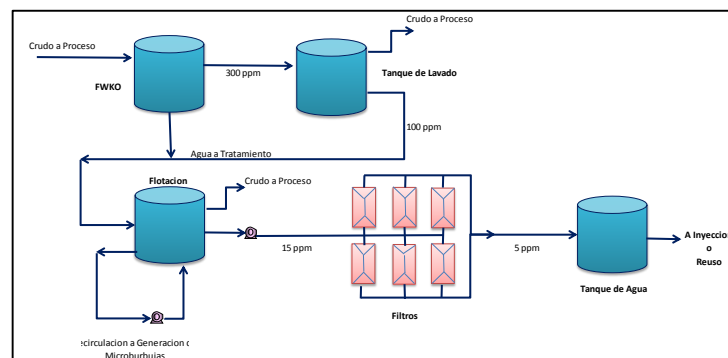
Nivel 3: Remoción de Compuestos orgánicos solubles de aguas contaminadas con el uso de tecnologías de métodos biológicos, químicos y/o físicos los cuales se resaltan en la revisión bibliográfica Laroche y Col (2008) según el capítulo 5.5.1.7 “Tratamiento de Compuestos Orgánicos”

Nivel 4: Remoción de Solidos Totales Disueltos (o desalación) para dejar en condiciones de abastecimiento. En el capítulo 5.5.1.5 “Desalinización” de la presente monografía, se recomienda algunas tecnologías a utilizar para este tipo de remoción.

## 5.6.5 Tratamiento de Aguas de Retorno:

### 5.6.5.1 Tratamiento de Aguas de Producción:

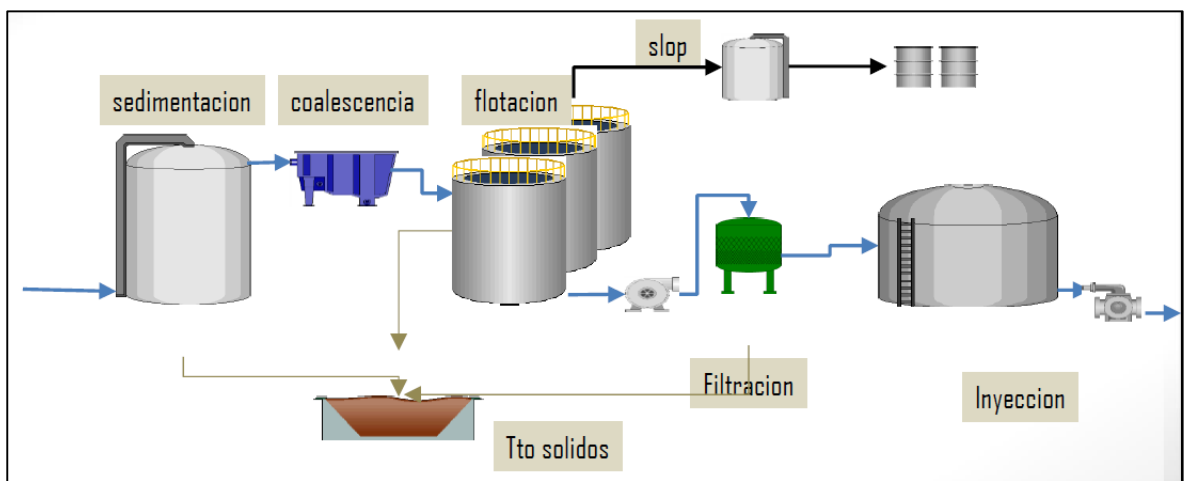
Figura 22. Proceso típico tratamiento aguas de producción



Fuente. Desing And Application Of Flotation Systems For The Treatment Of Reinjected Wáter In A Colombia Petroleum Field (Jorge Enrique Forero-Olga Ortiz-Jose Duque)

Existe una serie de enfoques de tratamiento, y muchos otros se están desarrollando y/o modificado para satisfacer las necesidades específicas de tratamiento de agua de reflujo en las diferentes regiones de operación. En general, para el tratamiento de aguas de retorno (flowback) se requiere de un tren de tratamiento, compuesto por varias unidades tal como lo muestra la figura 23.

Figura 23. Unidades de tratamiento de aguas de producción



Fuente: Fundamentos para el Tratamiento de las Aguas de Producción Jorge E Forero

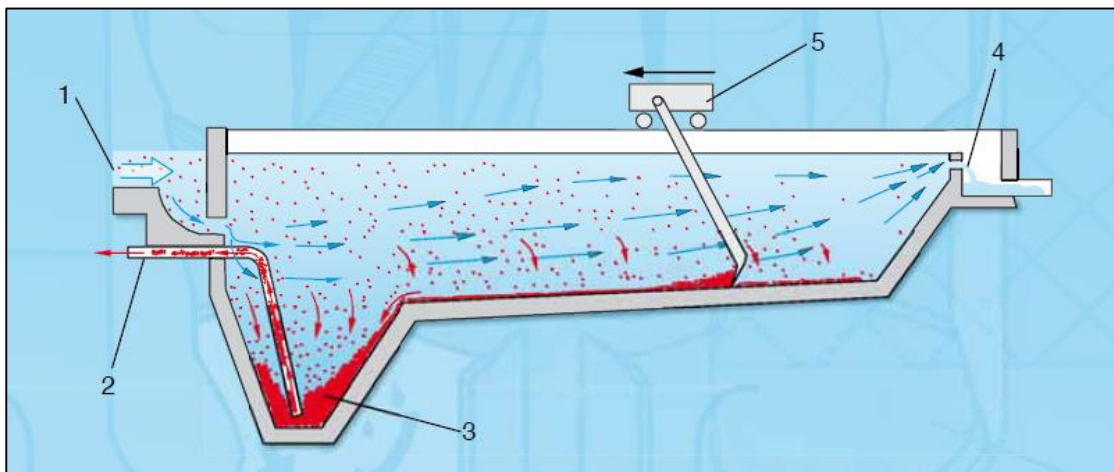
- **Sedimentación**

Para la separación de fases, la ingeniería de las operaciones básicas mecánicas aprovecha en muchos casos la fuerza de gravedad. Se puede emplear para separar un sólido de una fase fluida. Las partículas sólidas que están en suspensión en un fluido, sedimentan por el efecto de la fuerza de la gravedad. La condición necesaria para ello es que la densidad del solido sea mayor que la del fluido. Este proceso se conoce como sedimentación. Fluido es un término que abarca gases y líquidos. Este término se utiliza debido a que la mayoría de las leyes de la física son válidas para ambos estados.

En la separación por gravedad, la corriente de gas se hace pasar por un canal de separación a velocidad reducida. Las partículas sedimentan durante este recorrido y se acumulan.

En la práctica, la separación de mezclas de sólidos y líquidos (suspensiones) tiene lugar en tanques o cámaras de sedimentación. Por ellos se mueve la suspensión a velocidad constante. La sección de la cámara puede ser en forma rectangular o circular. En los tanques de sección rectangular, la suspensión entra por un extremo y sale por el rebosadero situado en el extremo opuesto. Durante este recorrido sedimentan las partículas sólidas en el fondo del tanque. El fondo del tanque está inclinado para poder evacuar los sólidos sedimentados.<sup>3</sup>

Figura 24. Tanque de sedimentación



Fuente. Gunt Hamburn, pág. 9.

### **Tanque de sedimentación:**

1. Boca de agua residual
2. Extracción de lodos
3. Tolva colectora de lodos

---

<sup>3</sup> GUNT, Hambur. Tratamiento de aguas-Procesos mecánicos, p. 9

4. Rebosadero de agua depurada
5. Rastrillo de evacuación de lodo

- **Coalescencia**

La coalescencia es una técnica de separación en la que el flujo de agua viaja a través de las fibras coalescedoras llevándose consigo los aceites en forma de pequeñas gotas hasta que estas quedan intersectadas en la fibra. En este punto el aceite desplaza al agua y la gota se rompe. A medida que las gotas de aceite se acumulan en la fibra, se juntan y crecen en tamaño, la gravedad les ayuda a separarse de la fibra y flotar hacia arriba, dando como resultado un agua libre de aceites.

Un coalescedor es un contenedor que acelera la unión o la cohesión de dos o más partículas dispersas para formar partículas más grandes. Los coalescedores más comunes pasan las fases a través de un tipo de cama sólida, red o manta de fibra, cedazos metálicos o membranas. Estos equipos ofrecen una gran superficie de interfase, que permiten un tiempo de residencia necesario para que produzcan los fenómenos de coalescencia y de separación para una variada gama de aplicaciones.

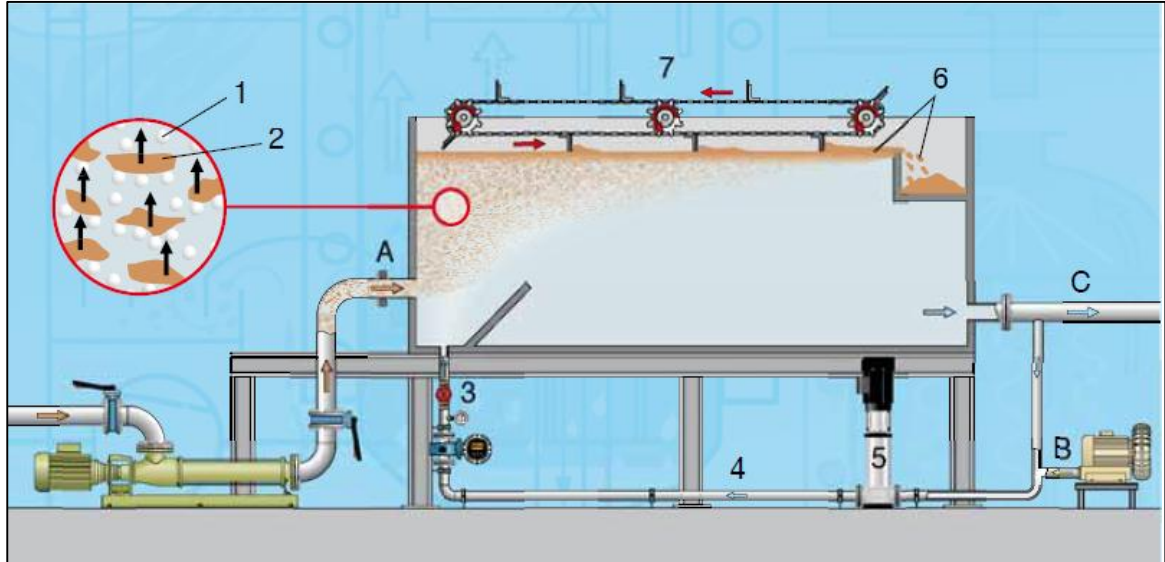
- **FLOTACIÓN**

Esta tecnología es muy bien utilizada para la remoción total de sólidos suspendidos (TSS). De igual manera la flotación hace una remoción parcial de cationes multivalentes de Ca, Mg, Fe y del carbono orgánico total.

Los sólidos cuya densidad es aproximadamente igual o menor que la del agua, no se pueden separar por sedimentación. Tales sólidos se sedimentan solo muy lentamente o permanecerían en suspensión.

El objetivo de la flotación es aumentar el empuje ascensional de los sólidos. Esto se logra mediante la generación de burbujas de gas finas. Las burbujas de gas se adhieren a los sólidos y los transportan a la superficie del agua, desde donde se pueden retirar los lodos flotados. Condición para ello es que sean hidrófobos, es decir que sean más afines al aire que al agua. Los sólidos separados reciben el nombre de flotantes. La mayor clave para la flotación es el tamaño de las burbujas de gas. Cuantas más pequeñas son, tanto menor es su velocidad de ascensión. Esto se compensa por el hecho de que las burbujas de gas pequeñas se adhieren a los sólidos en mayor número que las burbujas grandes.<sup>4</sup>

Figura 25. Principios básicos de flotación por aire disuelto



Fuente. Gunt Hamburg, pág. 9

<sup>4</sup> GUNT, Hambur. Op. cit; p.9



1. Burbujas de aire, 2. Sólidos, 3. Válvula de reducción de presión, 4. Agua de circulación, 5. Bomba, 6. Flotantes, 7. Rascador

A. Agua bruta, B. Aire comprimido, C. Agua depurada

Flotación por gas disuelto: La flotación por gas disuelto se basa en que la solubilidad del aire en agua aumenta con la presión (a temperatura constante). En este sistema, una corriente parcial de agua depurada (agua de circulación) se satura con aire a presión. El agua de circulación se retorna al depósito de flotación a través de una válvula de reducción de presión. La reducción brusca de la presión a la presión atmosférica provoca que el aire disuelto forme pequeñas burbujas. Un rascador retira la espuma flotante de la superficie del agua. Para mejorar la flotabilidad de los sólidos se añaden frecuentemente coagulantes y floculantes al agua bruta. Con esto se forman partículas sólidas de mayor tamaño a las que se pueden adherir más burbujas de aire.

ECOPETROL–ICP ha diseñado un eficiente sistema basado en la inyección de gas de producción de aire que usa el agua como el fluido conductor a través de las boquillas de inyección en estas condiciones, la floculación cinética es similar a un proceso de flotación de aire disuelta (DAF), pero con menos consumo de energía, similar a la flotación de aire inducida (IAF). La información para la toma de decisiones se resume en la tabla 26.<sup>5</sup>

- **FILTRACIÓN**

La filtración es ampliamente utilizada para la remoción de sólidos suspendidos (TSS) y hay una gran variedad de métodos que cubren las necesidades de la

---

<sup>5</sup> FORERO, Jorge Enrique; ORTIZ Olga & DUQUE, José. Design and application of flotation systems for the treatment of reinjected water in a Colombia petroleum field. P.150.

industria. La filtración no remueve sólidos disueltos, es un tratamiento que puede llevarse a cabo si lo que se desea es reusar agua.<sup>6</sup>

En la tabla 25, se indican las principales características de los Procesos de tratamiento evaluados por el operador en el campo de San Francisco (Colombia) las cuales son aplicables como soluciones potenciales para el tratamiento del agua de flowback.<sup>7</sup>

Tabla 25. Principales características de los procesos de tratamiento evaluados por el operador en el campo San Francisco

| TECHNOLOGY    | INSTALLATION<br>MMU\$ | OPERATION<br>KU\$ | EFFICIENCY<br>LOW | STABILITY | COMPLEXLY | MAINTENANCE | CAPACITY |
|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| Skimming Tank | 0,1-0,4               | 7                 | Low               | Low       | Simple    | Low         | Low      |
| Cyclones      | 0,8                   | 160               | High              | Low       | Complex   | High        | Low      |
| Plates        | 0,4-0,6               | 7                 | High              | Low       | Medium    | High        | Low      |
| IAF           | 1,5                   | 350               | High              | High      | Medium    | Low         | High     |
| Filtration    | 0,5-0,7               | 150               | High              | Medium    | Medium    | High        | Low      |
| ICP Flotation | 0,08                  | 3                 | High              | High      | Simple    | Low         | High     |

Fuente fundamentos de tratamiento de aguas de Producción MSC Jorge E Forero, pág. 121

En la tabla 26, se realiza la comparación aplicable de las tecnologías contaminantes y eliminación de partículas orgánicas para el tratamiento de agua producida.<sup>8</sup>

<sup>6</sup> GARCÍA LUNA, Carlos. Tesis de grado manejo de agua en un fracturamiento hidráulico en yacimientos no convencionales de lutitas-Universidad Autónoma de México. Noviembre 2014. p.57

<sup>7</sup> FORERO, Jorge Enrique; ORTIZ Olga & DUQUE, José. Op. cit. p.150.

<sup>8</sup> Ibid. p.34.

Tabla 26. Comparación de las tecnologías contaminantes y eliminación de partículas orgánicas para el tratamiento de agua producida

| Technology                       | Emerging Technology | Previously Employed for produced water | Overall Process Recovery (%) | Contaminants removed                                       | Organics Matter removal | Particulate Removal (min size removed) | Heavy Metals | Low Chemical Demand | Low Energy Demand |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| API                              | No                  | Yes                                    | 98%                          | particulares                                               | NA                      | 150 um                                 | -            | ,+++                | ,+                |
| CPI                              | No                  | Yes                                    | 98%                          | particulares                                               | NA                      | 40 um                                  | -            | ,+++                | ,+                |
| Disuelto Flotación de aire y gas | No                  | Yes                                    | 100%                         | TOC, oil and grease, particulates, hydrogen, sulfide       | ,+++                    | 3-25 um                                | -            | ,+++                | ,++               |
| Absorción/ media filtración      | No                  | Yes                                    | 98%                          | Partículas, BTEX, OIL, TOC, Iron, Manganese, Heavy, Metals | ,+++                    | 5 um                                   | ,++          | ,+++                | ,+++              |

| Technology                   | Minimal Maintenance | Ease of Operation | Minimal Posttreatment Requirement | Low cost | Robustness | Reliability | Flexibility | Mobility | Modularity | Waste Disposal Requirements | Small Foot print |
|------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|----------|------------|-------------|-------------|----------|------------|-----------------------------|------------------|
| API                          | ,+++                | ,+++              | ,+++                              | ,+       | ,+++       | ,+++        | ,+          | ,+       | -          | ,++                         | ,++              |
| CPI                          | ,+++                | ,+++              | ,+++                              | ,+       | ,+++       | ,+++        | ,+          | ,+       | -          | ,++                         | ,++              |
| Dissolved air/gas flotation  | ,++                 | ,+++              | ,+++                              | ,++      | ,++        | ,+++        | ,+          | ,+       | -          | ,++                         | ,++              |
| Absorption/ media filtration | ,++                 | ,+++              | ,+++                              | ,++      | ,+++       | ,+++        | ,+++        | ,+++     | ,+++       | ,++                         | ,++              |

|          |      |      |      |
|----------|------|------|------|
| Excelent | Good | Fair | Poor |
| ,+++     | ,++  | ,+   | -    |

Fuente extraída de la tabla No 21 Fundamentos del tratamiento de aguas de producción Pagina 35, Especialización Petróleos 2014, MSC Jorge E Forero.

**5.6.5.2 Desalinización.** Previo a la perforación y estimulación del primer pozo existe una alta incertidumbre asociada a la composición de los fluidos de retorno y por tanto la cantidad de tratamiento que se requiere para poder cumplir con los parámetros establecidos. Se espera que la concentración de sólidos disueltos totales estén entre el rango de 8.800 a 40.700 mg/l. Como resultado de esto el agua producida necesitará un proceso de desalinización antes de su disposición superficial. Osmosis Inversa y/o Compresión Mecánica de Vapor (MVC) y una unidad de evaporación se requerirán para cumplir con las especificaciones de calidad exigidos en la normatividad.

Según los resultados de los componentes para las aguas del “flow back”, el valor para los cloruros estimados están en el rango de 8.800 a 40.700 mg Cl-/L.

| Componente | Unidad   | Valor |
|------------|----------|-------|
| Cloruros   | mg Cl-/L | 8800- |

Para los anteriores valores de cloruros estimados, se recomienda realizar el proceso de desalinización de las aguas, según lo muestra en la tabla 27, donde usa las tecnologías MED-MVC, Altele Rain y Dewvaporation, para un valor de cloruros a remover mayor a 40.700 ppm<sup>9</sup>:

---

<sup>9</sup> Ibid; P.35

Tabla 27. Comparación de las tecnologías de desalinización para el tratamiento de agua producida

| Technology             | Emerging Technology | Previously Employed for produced | Overall TSD Rejection (%) | Overall TDS Rejection (%) | Overall Proces Recover (%) | Na Removal | Organics | Heavy Metals | Minimal Pretreatment Required | Low Chemical Demand |
|------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|---------------------|
| Thermal                |                     |                                  |                           |                           |                            |            |          |              |                               |                     |
| MED-VC                 | No                  | ?                                | 1,500-50,000              | >99,8                     | 27 to 40                   | .+++       | -        | .++          | .+                            | .+                  |
| Comerciality available |                     |                                  |                           |                           |                            |            |          |              |                               |                     |
| Altele Rain            | Yes                 | Yes                              | 800-45,000                | NA                        | NA                         | NA         | NA       | .+++         | .++                           | .+++                |
| Disposal               |                     |                                  |                           |                           |                            |            |          |              |                               |                     |
| Dew vaporation         | Yes                 | Yes                              | 800-45,000                | NA                        | NA                         | NA         | NA       | .+++         | .++                           | .+++                |

| Technology             | Low Energy Demand | Minimal Maintenace | Easc of Operation | Low cost | Robustness | Reliability | Flexibility | Mobility | Modularity | Residual Disposal/Man agement | Footprint |
|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------|------------|-------------|-------------|----------|------------|-------------------------------|-----------|
| Thermal                |                   |                    |                   |          |            |             |             |          |            |                               |           |
| MED-VC                 | -                 | .+                 | -                 | .++      | .++        | -           | -           | -        | No         | .+                            | .+        |
| Comerciality available |                   |                    |                   |          |            |             |             |          |            |                               |           |
| Altele Rain            | .+++              | .++                | .++               | .+       | ND         | ND          | ND          | ND       | YES        | .+++                          | -         |
| Disposal               |                   |                    |                   |          |            |             |             |          |            |                               |           |
| Dew vaporation         | .+++              | .++                | .++               | .+       | ND         | ND          | ND          | ND       | YES        | .+++                          | -         |

Fuente: Fundamentos del tratamiento de aguas de producción Pagina 35, Especialización Petróleos 2014, MSC Jorge E Forero.

Para el proceso de desalinización La tabla 28, recomienda realizar La desalinización térmica Effect-Destilación Multi (MED) Multi-Efecto Destilación (MED) con un proceso de vapor de baja presión y/o la Desalinización térmica - mecánica de vapor de compresión (MVC).

- **DESALINIZACIÓN POR MULTIETAPAS DE DESTILACIÓN INSTANTANEA MED**

Este sistema utiliza las tecnologías avanzadas para lograr eficiencia térmica excepcional y fiabilidad. Su concepto subyacente es un proceso multi-efecto en el

que una pulverización del agua salada se evapora varias veces y después se condensa, con cada efecto a una temperatura y presión más baja. Este proceso altamente eficiente multiplica la cantidad de agua pura que puede ser producido utilizando una cantidad dada de energía, lo que resulta en una reducción significativa en el costo.

La destilación instantánea convierte el agua en vapor a bajas temperaturas en el vacío. A presiones de vacío, el punto de ebullición del agua es inferior a la presión atmosférica, lo que requiere menos energía. El agua es precalentada y después se somete a una presión de vacío que hace que el vapor de evaporar el líquido caliente. El vapor entonces se condensa para formar agua fresca mientras que la salmuera concentrada restante que no se inflama se envía a la siguiente cámara donde un proceso similar tiene lugar.

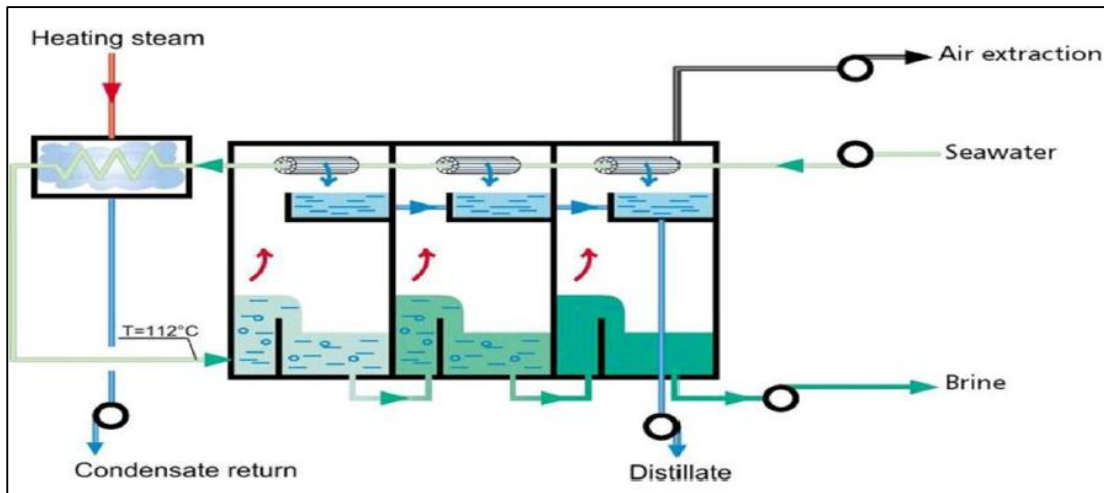
Las múltiples etapas están diseñadas para mejorar la recuperación del proceso. Muchas de las plantas de desalinización de agua de mar de más edad usan el proceso de destilación súbita de múltiples etapas

En la destilación multi-efecto, el vapor desde el primer evaporador se condensa en el segundo evaporador y el calor de condensación se utiliza para evaporar el agua en el segundo evaporador. Cada evaporador en la serie se llama un “effect”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Ibid; p.228

Figura 26. Sistema de Desalinización MED



Fuente. Fundamentos de tratamiento de aguas de producción-MSC Jorge E Forero, pág. 228

- **DESALINIZACIÓN TÉRMICA MECÁNICA DE VAPOR DE COMPRESIÓN MVC**

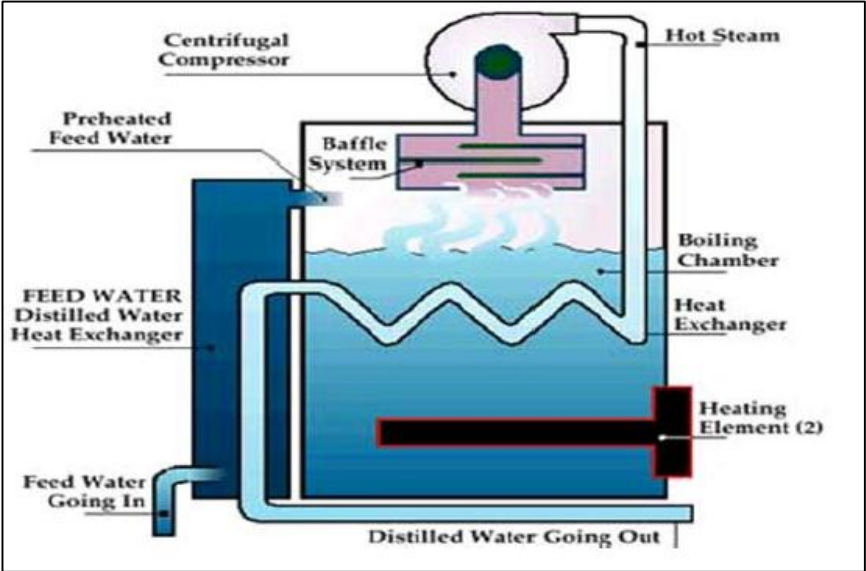
Este enfoque es una solución de desalinización confiable y rentable para las refinerías, industrias de proceso, centrales eléctricas y centros de desarrollo remotos - perfecto para cuando la electricidad es la única fuente de poder. Multietapas Destilación Flash

En el proceso de compresión de vapor, el agua de alimentación es precalentada en un intercambiador de calor por el producto de reyección de las corrientes del proceso. Este proceso aun utiliza tubos de contención. Entonces, el agua se alimenta al interior de los tubos, y los vapores a continuación, se alimentan a la parte exterior de los tubos de condensado.

Los gases que no se condensan se eliminan desde el espacio de vapor de condensación por una bomba de ventilación o eyector. La bomba mecánica o eyector es requerida en este proceso y es necesario aumentar la presión del vapor para causar la condensación. Compresión de vapor se ha utilizado para el

tratamiento de agua producida, y el producto disponible en el mercado actualmente se comercializa para esta aplicación.<sup>11</sup>

Figura 27. Sistema de Desalinización VC



Fuente. Fundamentos de tratamiento de aguas de producción-MSC Jorge E Forero, pág. 230

En la Tabla 28 se mencionan las ventajas y desventajas de los sistemas de evaporación térmica/Condensación aplicables para la desalinización según nuestro caso:

Tabla 28. Sistema de Desalinización MED

| Tecnología                       | Descripción                                                                          | Ventajas                                                                                                                   | Desventajas                                                                                                  | Condiciones Operacionales                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Evaporación Térmica/Condensación | Calentamiento de la salmuera para promover la evaporación, y posterior condensación. | Retorno de Flujo con concentraciones de TDS de 75.000 ppm tuvo una eficiencia de recuperación de agua del 70%, con un 4: 1 | Formación de precipitados en la salmuera concentrada en intercambiador de calor, que puede causar corrosión. | Calentamiento en cámara de evaporación. Compresor para el vapor de agua. |

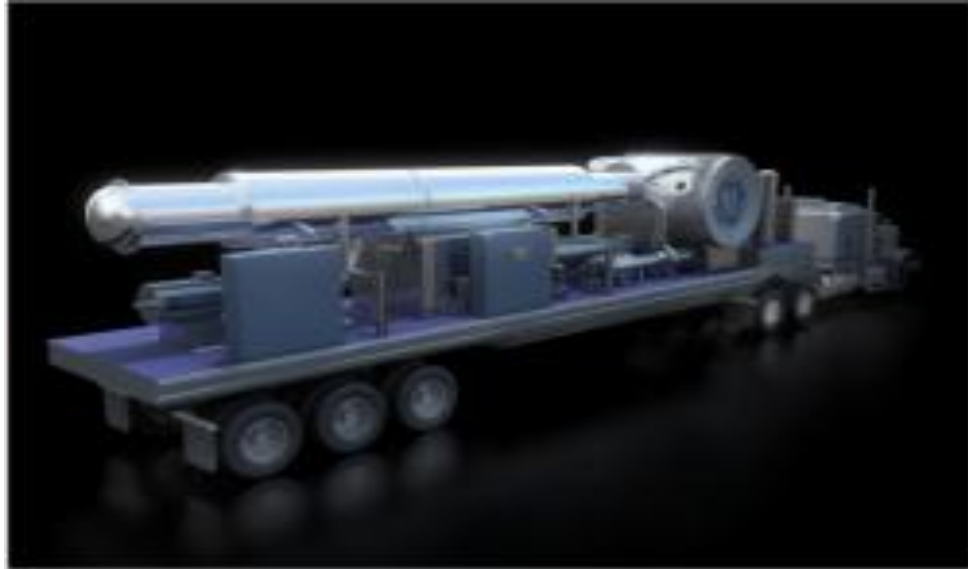
Fuente: ECOPETROL-Estudio de impacto ambiental-Descripción del Proyecto VMM

<sup>11</sup> Ibid; p. 229



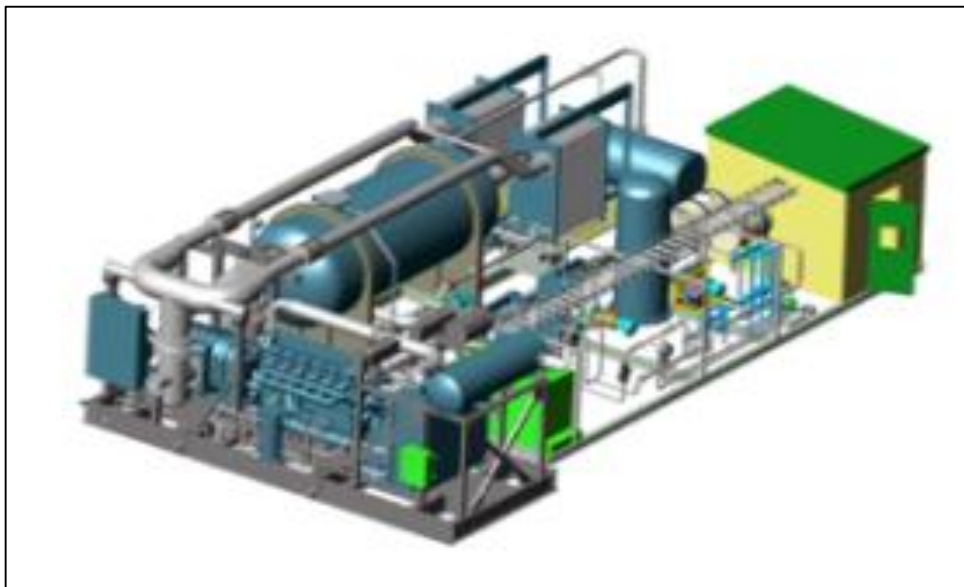
- **EQUIPOS**

Figura 28. Evaporador de agua móvil de flowback - General Electric



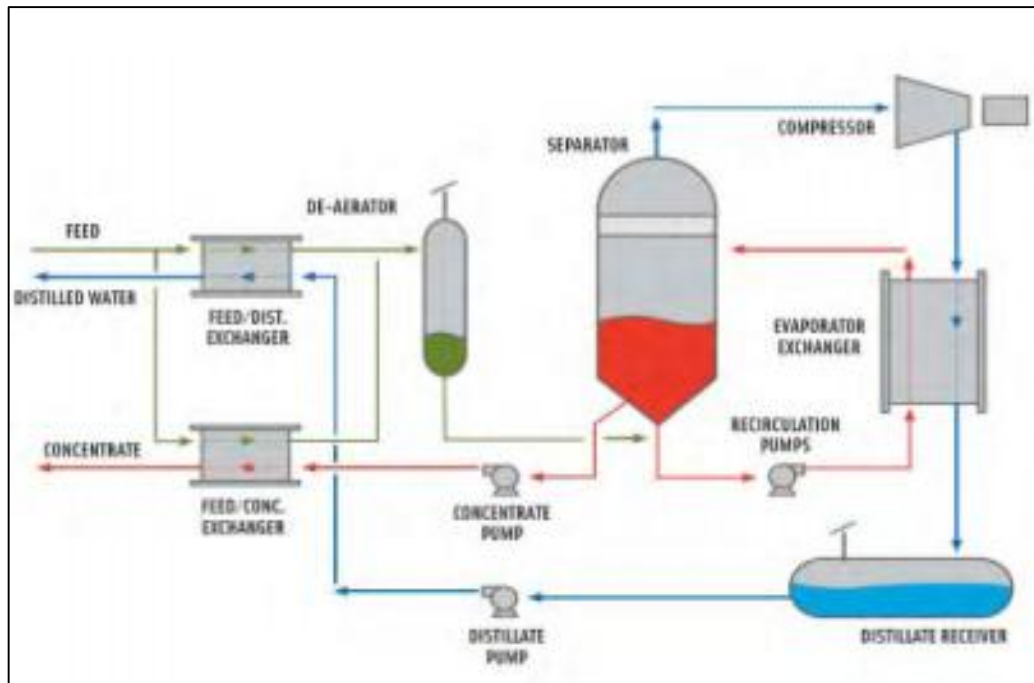
Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

Figura 29. Evaporador NOMAD 2000- Agua pure



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

Figura 30. Diagrama MVR evaporador de agua pure



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

- **ÓSMOSIS INVERSA**

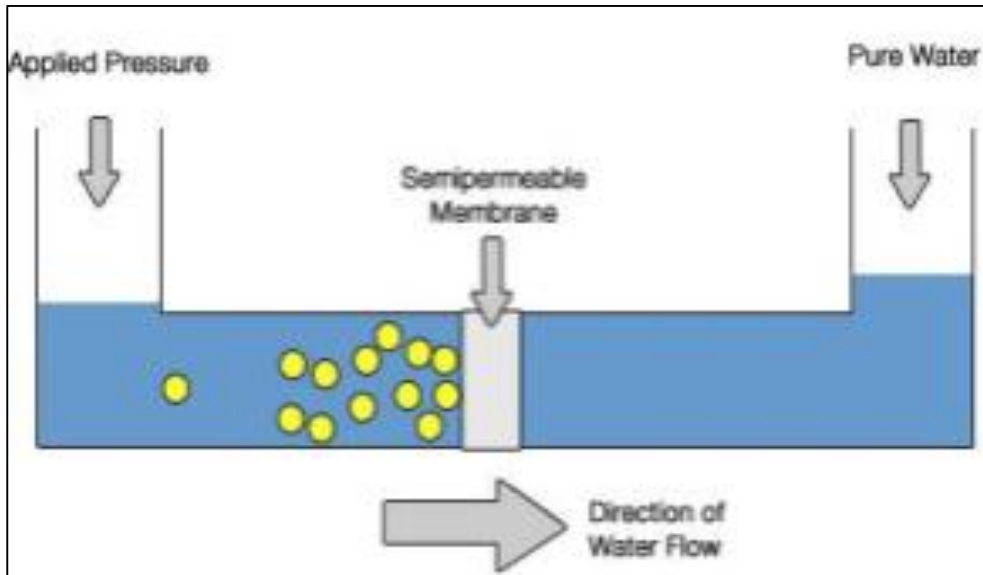
Ósmosis inversa y nanofiltración de membranas también se puede utilizar para eliminar la sal del agua producida. Membranas de ósmosis inversa funcionan en la premisa de que una presión mayor que la presión osmótica de la solución de alimentación, se debe aplicar al sistema para forzar el agua a través de la membrana y rechazar la sal. La presión de osmosis es una función de la salinidad del agua.

Para el agua con muy alta salinidad, la presión osmótica y, por lo tanto, la presión de operación del sistema requerida son muy altas.

Para el agua con alta salinidad, la ósmosis inversa no es una solución práctica. La ósmosis inversa generalmente es considerada una tecnología de tratamiento

rentable para usar con agua de mar o la salinidad de hasta 40.000 ppm TDS. El valor para los valores de cloruros estimados en nuestro caso están en el rango de 8.800 a 40.700 mg Cl-/L. es decir que es mayor al valor tope para el uso de osmosis Inversa.

Figura 31. Proceso de Osmosis Inversa (falta figura)



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

Figura 32. Sistema típico Osmosis Inversa



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental para el área de perforación exploratoria ECP. ECOPETROL.

En la Tabla 29, se mencionan las ventajas y desventajas de los sistemas de Osmosis Inversa aplicables para la desalinización según nuestro caso:

Tabla 29. Sistema Desalinización Osmosis Inversa

| Tecnología      | Descripción                                                          | Ventajas                                                                                                                                    | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Condiciones Operacionales                                                                                                                                            |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ósmosis Inversa | Proceso para desmineralizar salmueras. Usado para remoción de sales. | En condiciones ideales sistemas de ósmosis inversa son capaces de tratar las aguas de contraflujo de concentraciones de hasta 40.000 mg / L | Ensuciamiento de membrana por aceites que reducen la permeabilidad y, precipitados inorgánicos que causan rompimiento de membrana. Los Hidrocarburos solubles promueven el crecimiento de la película microbiana en superficie de membrana. Las variaciones en el tipo y concentraciones de contaminantes causarán estos sistemas fallen, lo que requiere una limpieza frecuente o recalibración. | Emplea alta presión para forzar a una salmuera a pasar través de una membrana que retiene sales por un lado y permite al agua desmineralizada atravesar al otro lado |

Fuente: ECOPETROL, Estudio de impacto ambiental- Descripción de Proyecto-VMM

**5.6.5.3 Tratamiento de Compuestos Orgánicos.** En su revisión bibliográfica Larroche y Col (2008)<sup>12</sup> presenta las principales tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos aromáticos, entre los cuales las clasifica como métodos físicos, químicos y biológicos, según se ilustran en la tabla siguiente:

<sup>12</sup> LARROCHE, C.; FARHADIAN, M.; DUCHEZ M.; VACHELARD, C. Monocromatics Removal from polluted Water through Bioreactors-A review Wáter Research. 2008. 42,1325-1341

Tabla 30. Tratamiento de efluentes contaminados con compuestos aromáticos

| Métodos    | Tecnología in-situ                                                                                                     | Tecnología ex-situ                                                                                                                                                     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Físicos    | Inyección de Aire (Air sparging)<br><br>Contención hidráulica                                                          | Burbujeo de aire "air stripping"<br>Absorción: filtración con membranas reactivas,<br>carbón activado, polímeros<br>Remediación foto catalítica (TiO <sub>2</sub> /UV) |
| Químicos   | Inyección de compuestos oxidantes (O <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> ) | Aplicación de compuestos oxidantes (O <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> )<br>Coagulación, floculación y precipitación    |
| Biológicos | Biorremediación (Natural o artificial)                                                                                 | Biorremediación (aeróbica o anaeróbica)                                                                                                                                |

Fuente: Larroche C. Monocromatics Removal from polluted Water through Bioreactors-A review  
Water Research. 2008. 42,1325-1341

## • MÉTODOS BIOLÓGICOS

Entre los métodos biológicos se usa la biorremediación, el cual se puede definir como la eliminación, atenuación o transformación de sustancias contaminantes mediante procesos biológicos (Lynch y Moffat, 2005). Los procesos de biorremediación emplean micro organismos para tratar los contaminantes orgánicos, con la finalidad de degradarlos a compuestos menos tóxicos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El proceso de biorremediación se puede llevar a cabo mediante dos aproximaciones: biorremediación in-situ o biorremediación ex-situ:

La biorremediación in-situ: consiste en el tratar las aguas contaminadas sin sacarlas sin sacarlas del lugar en que se encuentran. Se puede disponer de una red de bombeo de nutrientes.

La biorremediación ex-situ: Los procesos de tratamiento se llevan a cabo tras la excavación del medio contaminado en plantas de tratamiento.

La tabla siguiente extraída del artículo de Biorremediación publicado por los Profesores José Luis Rodríguez Gallego y Jesús Sánchez Martín, resume los parámetros que aumentan o disminuyen la probabilidad de obtener resultados favorables en un proceso de biorremediación en un medio contaminado por hidrocarburos.<sup>13</sup>

Tabla 31. Factores favorables y desfavorables que influyen en el proceso de la biorremediación

|                                 | <b>Factores favorables</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Factores desfavorables</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Características químicas        | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Abundancia de hidrocarburos asfálticos lineales, escasa presencia e resinas y asfaltenos</li> <li>* Concentraciones bajas</li> <li>* Presencia de poblaciones microbianas diversas.</li> <li>* Adecuada oxigenación</li> <li>* PH entre 6 y 8</li> <li>* Temperaturas superiores a 15C</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Componentes muy pesados abundantes en la mezcla</li> <li>* Mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos</li> <li>* Concentraciones toxicas</li> <li>* Escasa actividad microbiana</li> <li>* Ambientes anoxicos</li> <li>* PH extremos</li> <li>* Temperaturas bajas</li> </ul> |
| Características hidrogeológicas | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Porosidad media</li> <li>* Elevada permeabilidad</li> <li>* Mineralogía uniforme</li> <li>* Homogeneidad</li> </ul>                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Rocas fracturadas</li> <li>* Baja permeabilidad</li> <li>* Compleja mineralogía</li> <li>* Heterogeneidad</li> </ul>                                                                                                                                                            |

Fuente: Artículo Biorremediación -José Luis Rodríguez Gallego y Jesús Sánchez Martín

<sup>13</sup> RODRÍGUEZ GALLEGO, José Luis & SÁNCHEZ, Martín Jesús. Biorremediación, Aspectos tecnológicos y aplicaciones al vertido del Prestige.

Los métodos de biorremediación son empelados con frecuencia por su bajo costo operacional, lo cual proporciona una ventaja interesante sobre otros métodos de remediación de aguas contaminadas. Los métodos de biorremediación son utilizados generalmente para el tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con BTEX.<sup>14</sup>

- **MÉTODOS QUÍMICOS**

Los métodos químicos de remediación de aguas contaminadas se aplican compuestos químicos para originar reacciones favorables a la degradación de los contaminantes o para facilitar remoción de los mismos.

**Tratamientos químicos in-situ:** Pueden ser considerados solo en situaciones donde los contaminantes son conocidos y sus concentraciones son definidas. Este tipo de técnicas incluye generalmente la instalación de pozos de inyección a la cabeza de las aguas subterráneas, en donde un agente químico es bombeado hacia el cuerpo de agua. Dicho agente químico debe ser específico para cada clase de contaminante con que se trabaja (Knox, 1986).<sup>15</sup>

**Tratamientos químicos ex-situ:** Estos tratamientos engloban los procesos de remediación foto catalítica. Se puede definir fotocatalisis como una aceleración de una fotorreacción por la presencia de un catalizador semiconductor que puede activarse por la absorción de la luz (radicación UV por debajo de los 380 nanómetros) para liberar los electrones de la banda de valencia del semiconductor. Los electrones foto generados y los huecos reaccionan con el agua, el oxígeno disuelto y compuestos orgánicos, para formar radicales y crear un ambiente altamente oxidante.

---

<sup>14</sup> VELANDIA JOSEPT, Marco Antonio. Universidad Simón Bolívar: Remoción de hidrocarburos en agua mediante la utilización de residuos de polímeros comerciales. Mayo de 2010.

<sup>15</sup> KNOX, R., *et al.* "Aquifer Restoration" Naves publication. Pp. 195-200. 1986.

Entre las ventajas se tiene su rapidez de acción (resultados más rápidos que en birreactores), menores costos que otros métodos como la ozonización (estos costos se pueden reducir empleando la luz solar. (Lair, 2008, Muñoz 2006)).<sup>16</sup>

Los procesos de coagulación, floculación y precipitación también se emplean con frecuencia.

- **MÉTODOS FÍSICOS**

#### **Métodos físicos in-situ De Confinamiento**

Este método de contención hidráulica han sido usados de forma frecuente, no sólo para aislar las fuentes de contaminación sino para contener la posible contaminación “agua abajo”. Las aguas contaminadas pueden ser físicamente aisladas con barreras de baja permeabilidad. Los materiales típicos para la construcción de esta barrera incluyen arcillas, plásticos sintéticos, geo-membranas, bentonita, bentonita mezclada con cemento, etc.

#### **Métodos físicos in-situ: Tecnología “air sparging”**

La técnica traducida como “air sparging” se puede traducir como una aireación in-situ, en donde la circulación de aire se emplea para remover los COV. La aireación se realiza en las zonas saturadas con agua subterránea y consiste en inyectar aire directamente en el acuífero a cierta presión con el fin de desplazar los COV hacia las zonas no saturadas. El flujo de aire debe ser capturado por el sistema de extracción adecuado y debe ser extraído previo a su liberación. Esta técnica promueve la remoción de contaminantes tanto física como biológicamente; la

---

<sup>16</sup> LAIR, A., *et al.* Napthalene degradation in water by Heterogeneous photocatalysis. An investigation of the influence of organic anions. Journal of photochemistry and photobiology A. Chemistry. 2008, 193-203.



eficiencia del sistema depende en gran parte del coeficiente de repartición de los COV en el aire (ley de Henry) y de la biodegradación aeróbica por la gran cantidad de oxígeno que se incluye en el sistema.<sup>17</sup>

### **Métodos físicos ex-situ: Tecnología “air stripping”**

Se aplica a pozos alternos al sitio original de contaminación. Este tipo de tecnologías se promueve el contacto entre una fase gaseosa y una líquida para crear una transferencia de masas de los contaminantes del medio acuoso al medio gaseoso. Este método es ampliamente utilizado para la remoción del COV y consiste en dos modalidades: torres empacadas con flujo de aire en contracorrientes y aireadores.<sup>18</sup> (Velandia Josept Marco Antonio. Mayo de 2010)

Existen otras técnicas de separación como lo son las barreras permeables reactivas, de las cuales el carbón activado es el material más ampliamente usado para la absorción de contaminantes orgánicos del agua. La mayor desventaja del uso del carbón activado como absorbente es justamente su reemplazo cuando se agota, además de su disposición final. (Velandia Josept Marco Antonio. Mayo de 2010)

---

<sup>17</sup> Committee on Ground Water Cleanup Alternatives. 1994

<sup>18</sup> Crittenden, 2005.

## 6. EVALUACIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS

En el presente capítulo, se presenta un presupuesto general relacionado con los costos generados con la construcción de las localizaciones y su área de almacenamiento central, el tratamiento de las aguas y las facilidades de producción.

### 6.1 COSTOS UNITARIOS DE AGUA

Para el programa de perforación y/o de estimulación de los veinte (20) pozos señalados en un periodo de seis (6) años, se calculan los costos aproximados para el manejo y tratamiento del agua. En la tabla 32 se presentan los costos unitarios para la disposición de agua producida así como para su tratamiento y reúso.

Nota: Se asumió un factor por disposición y tratamiento de agua de producción de 8,75 USD/bbl, según recomendaciones del documento Schlumberger Water Management for Unconventional Developments-December de 2013.

Tabla 32. Inversión para localizaciones y áreas auxiliares

| Costo disposición de agua Producida                                                                                                         | Unidad                 | Costo           |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| Agua fresca                                                                                                                                 | USD/bbl                | 0,25            | USD-de<br>1,75 - 3 |
| Transporte                                                                                                                                  | USD/bbl/hr             | 1,00            |                    |
| Disposal                                                                                                                                    | USD/bbl                | 0,50            |                    |
| <b>Costo Total (USD)</b>                                                                                                                    |                        | <b>1,75-3</b>   |                    |
| Costo Tratamiento-Reuso de agua Producida                                                                                                   | Unidad                 | Costo           |                    |
| Transporte                                                                                                                                  | USD/bbl                | 1               | USD-de<br>3 - 9    |
| <b>Tratamiento</b>                                                                                                                          | <b>USD/bbl/tratado</b> | <b>5</b>        |                    |
| evacuación de los flujos de residuos secundarios                                                                                            | USD/bbl                | 0,50            |                    |
| Almacenamiento de agua en el Tratamiento y Reutilización del Sitio<br>El almacenamiento de agua en el Tratamiento y Reutilización del Sitio | USD/bbl                | 0,50            |                    |
| <b>Costo Total (USD)</b>                                                                                                                    |                        | <b>de 3 a 9</b> |                    |
| Costo disposición de agua Producida                                                                                                         | USD/bbl                | 1,75-3          |                    |
| Costo Tratamiento-Reuso de agua Producida                                                                                                   | USD/bbl                | de 3 a 9        |                    |

Fuente: Schlumberger Water Management for Unconventional Developments de December de 2013; pig. 30.

## 6.2 COSTOS DE TRATAMIENTO Y DSIPOSICIÓN DE AGUAS DE PRODUCCIÓN

Con los costos unitarios de la tabla anterior, se calculan los costos de tratamiento de agua para los datos iniciales citados en la tabla 6 del capítulo 4.2 Requerimientos de consumo de agua, para un total de veinte (20) pozos a estimular en un periodo de seis (6) años y de los cuales se consolidan en la siguiente tabla:

Tabla 33. Costos para el tratamiento y disposición de agua de producción

| Año  | No Pozos | No Pozos | No Pozos | BBL       | Total                           | DISPOSICION                 |                            |                           | TRATAMIENTO                |                             |                            |                         |
|------|----------|----------|----------|-----------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|      |          |          |          |           | Costo Disposicion + Tratamiento | Costo agua fresca USD / bbl | Costo Transporte USD / bbl | Costo dlsiposal USD / bbl | Costo Transporte USD / bbl | Costo Tratamiento USD / bbl | Costo evacuacion USD / bbl | Costo almacen USD / bbl |
|      |          |          |          |           | USD                             | \$ 0,25                     | \$ 1,0                     | \$ 0,5                    | \$ 1,0                     | \$ 5,0                      | \$ 0,5                     | \$ 0,5                  |
| 1    | 1        |          |          | 40.000    | \$ 350.000                      | \$ 10.000                   | \$ 40.000                  | \$ 20.000                 | \$ 40.000                  | \$ 200.000                  | \$ 20.000                  | \$ 20.000               |
| 2    | 1        | 2        |          | 260.300   | \$ 2.277.625                    | \$ 65.075                   | \$ 260.300                 | \$ 130.150                | \$ 260.300                 | \$ 1.301.500                | \$ 130.150                 | \$ 130.150              |
| 3    | 1        | 2        |          | 240.300   | \$ 2.102.625                    | \$ 60.075                   | \$ 240.300                 | \$ 120.150                | \$ 240.300                 | \$ 1.201.500                | \$ 120.150                 | \$ 120.150              |
| 4    | 2        | 2        |          | 260.300   | \$ 2.277.625                    | \$ 65.075                   | \$ 260.300                 | \$ 130.150                | \$ 260.300                 | \$ 1.301.500                | \$ 130.150                 | \$ 130.150              |
| 5    |          |          | 5        | 673.000   | \$ 5.888.750                    | \$ 168.250                  | \$ 673.000                 | \$ 336.500                | \$ 673.000                 | \$ 3.365.000                | \$ 336.500                 | \$ 336.500              |
| 6    |          |          | 4        | 538.400   | \$ 4.711.000                    | \$ 134.600                  | \$ 538.400                 | \$ 269.200                | \$ 538.400                 | \$ 2.692.000                | \$ 269.200                 | \$ 269.200              |
| Suma | 5        | 6        | 9        | 2.012.300 | \$ 17.607.625                   | \$ 503.075                  | \$ 2.012.300               | \$ 1.006.150              | \$ 2.012.300               | \$ 10.061.500               | \$ 1.006.150               | \$ 1.006.150            |

Nota: Los costos estimados en la tabla tiene como unidad de moneda el Dólar americano.

El año número cinco (5) es el periodo crítico de mayor volumen de agua a manejar y para el cual, es el año de mayor inversión en el tratamiento y disposición de agua con un valor aproximado de 5,9 millones de dólares respecto de los 17,7 millones de dólares que es el costo total de los seis años.

## **7. CONCLUSIONES**

El suministro de agua es un factor clave para realizar la estimulación hidráulica y será suministrada por una fuente superficial y/o por un pozo profundo, y se conducirá por líneas de flujo hasta el área de almacenamiento Central para los pozos de desarrollo.

En el punto de captación, se realizara un tratamiento primario al agua dulce, con el objetivo de retirar los sedimentos.

Para los pozos en desarrollo, en el área de almacenamiento central se almacenara el agua dulce requerida para la estimulación hidráulica mediante dos piscinas abiertas con dimensiones 100mx100mx3.6m y en tres tanques de 10.000 bbl. El agua será transportada a cada pozo o locación por mangueras de distribución. En esta área, se realizara un tratamiento secundario al agua dulce y también se almacenara el fluido de retorno ya tratado y proveniente de cada pozo y/o locación, en cinco tanques (o sistema wáter corral) de 40.000 bbl cada uno. En la misma área estará ubicada la planta de tratamiento del fluido de retorno.

Se tiene previsto hacer un reúso del agua de retorno tratada, para la estimulación de los pozos en desarrollo y/o cuando el volumen lo amerite para que este sea almacenado en el área central.

El porcentaje de fluido recuperado luego de la estimulación hidráulica en un yacimiento no convencional tipo shale play, en promedio es aproximadamente de un 30%, dependiendo del tipo de roca, mineralogía, presión de yacimiento y fluido de estimulación usado.

Para el tratamiento de aguas de retorno (flowback) se requiere de un tren de tratamiento, compuesto por varias unidades tal como sedimentación, coalescencia, flotación, filtración y tratamiento de sólidos.

Para los valores de cloruros estimados y en caso de utilizar los fluidos en actividades de aspersión, se recomienda realizar el proceso de desalinización de las aguas, según lo muestra en la tabla 28., donde ilustra el uso de tecnologías MED-MVC, Altele Rain y Dewvaporation, para un valor de cloruros a remover mayor a 40.700 ppm.

Los iones y/o componentes más problemáticos como el Carbonato de Calcio, Hierro, Bario, Estroncio y Calcio, esperados en el agua de retorno, reaccionan con los sulfatos y forman precipitados cuando se producen cambios de composición, presión y Temperatura. Estos depósitos se forman y/o se depositan en las líneas de flujo, vasijas y en el agua producida en el tratamiento de los equipos.

Dentro del Campo de Producción, existe la posibilidad de usar la infraestructura existente como las líneas de flujo de crudo/gas que salen de cada uno de los pozos hasta el sitio donde están los separadores. De igual manera es posible el utilizar las estaciones existentes para enviar las aguas provenientes del fluido de retorno y también los crudos extraídos de las pruebas de producción. Existen dentro del campo de producción locaciones ya construidas de pozos en producción, las cuales se pueden utilizar para perforar los pozos requeridos dentro del programa de ser necesario. La infraestructura existente citada ayuda a optimizar los costos del proyecto.

Se encontró que el fluido caracterizado en al pruebas de producción es un hidrocarburo con bajo contenido de pesados, según las características mostradas en la tabla 4.yo no lo llamaría seco, mejor de bajo contenido de pesados.

El año número cinco (5) es el periodo crítico de mayor volumen de agua a manejar y para el cual, es el año de mayor inversión en el tratamiento y disposición de agua con un valor aproximado de 5,9 millones de dólares respecto de los 17,7 millones de dólares que es el costo total de los seis años.

## **8. RECOMENDACIONES**

Para los pozos en desarrollo, se recomienda destinar para el proyecto de un terreno de 7.1ha para la construcción del área de almacenamiento central de agua, compuesta por dos (2) piscinas abiertas, dos (2) tanques de almacenamiento de agua dulce tratada, así como la instalación de cinco (5) tanques para el almacenamiento de agua de retorno tratada proveniente de los pozos estimulados.

Para los pozos exploratorios y/o los primeros pozos, no se recomienda construir el área de almacenamiento central en razón a que los bajos volumen no lo ameritan. En este caso se deberá hacer el tratamiento en la misma localización del pozo estimulado y/o disponerlo en una estación cercana.

Se recomienda el uso de la infraestructura existente en el campo de producción para reducir los costos del proyecto, tales como: Locaciones, líneas de flujo, estaciones y separadores.

Se recomienda la construcción de un pozo profundo cerca de las locaciones existentes y/o al sitio donde se perforaran los nuevos pozos.

## BIBLIOGRAFÍA

COMMITTEE on Ground Water Cleanup Alternatives, National Research council. "Alternatives for ground Water Cleanup"; National Academy of sciences; pp 126-164 81994.

CRITTENDEN, J; Trussell, R; HNAD, D; HOWE, K; TCHOBANOGLIOUS, G. "Water treatment: Principles an Desing": John Waley & Sons pp. 643-645 (2005).

FORERO, Jorge Enrique; ORTIZ, Olga Patricia & DUQUE José Javier. Desing and application of flotation systems for the treatment of reinjected wáter in a Colombian Petroleum field, Mayo 30 de 2007.

FORERO, Jorge Enrique. Fundamentos del tratamiento de aguas de producción. p 132. Especialización Petróleos. 2014.

GARCIA, Luna Carlos. Tesis de grado manejo de agua en un fracturamiento hidráulico en yacimientos no convencionales de lutitas-Universidad autónoma de México. Noviembre 2014. p.57.

GUNT, Hambur. Tratamiento de aguas-Procesos mecánicos.

KNOX, R; Canter, LW; Kmcannon, DF; Stover, EL, Ward CH. "Aquifer Restoration" Naves publication. pp 195-200. 1986.

LARROCHE, C.; FARHADIAN, M.; DUCHEZ M. & VACHELARD, C. Monocromatics removal from polluted water through bioreactors-A review Water Research. 2008. 42,1325-1341.



LAIR, A.; FERRONATO, C.; CHOVELON, J. M.; HERMANN, J. M. Napthalene degradation in water by heterogeneous photocatalysis. An investigation of the influence of organic anions Journal of photochemistry and photobiology A. chemistry. 2008. 193-203.

VELANDIA JOSEPT, Marco Antonio. Universidad Simón Bolívar: Remoción de hidrocarburos en agua mediante la utilización de residuos de polímeros comerciales. Mayo de 2010.