



**IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING (LAVADO DE SUELOS)
PARA EL TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO
LA HOCHA – TESALIA – HUILA – REPUBLICA DE COLOMBIA;
Empresa ATP INGENIERÍA S.A.S**

GUSTAVO ADOLFO GARZÓN SERRANO

SERGIO DANIEL ESPAÑA RESTREPO

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA – HUILA
2012**



**IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING (LAVADO DE SUELOS)
PARA EL TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO
LA HOCHA – TESALIA – HUILA – REPUBLICA DE COLOMBIA;
Empresa ATP INGENIERÍA S.A.S.**

GUSTAVO ADOLFO GARZÓN SERRANO

SERGIO DANIEL ESPAÑA RESTREPO

**Proyecto de grado presentado para optar
El título de Ingeniero de Petróleos**

**Director
FELIO OSSO
Ingeniero Químico
ATP INGENIERIA S.A.S.**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
NEIVA – HUILA
2012**



Nota de Aceptación

FELIO OSSO.
Director del proyecto

Firma del jurado
ROBERTO VARGAS CUERVO.

Firma del jurado
HAYDEE MORALES.

Neiva, Julio de 2012



DEDICATORIA

A DIOS PADRE TODOPODEROSO, Al Señor JESUCRISTO, Al ESPÍRITU SANTO que nos dieron una familia, un hogar, la vida, la salud y por todas sus Bendiciones; y A La Santísima VIRGEN MARÍA.

A mis padres Gustavo Garzón Aroca y Dolly Serrano Serrano; por brindarme su apoyo incondicional y su compañía en todos los momentos de mi vida; a mis hermanos Ingrid Tatiana Garzón Serrano, Anyela Garzón Serrano y Oscar Andrés Garzón Serrano por su compañía y apoyo; a mis sobrinos Nicolás Andrés Javela Garzón y Anyí Isabela Javela Garzón por sus ternuras y alegrías.

A todos los Docentes por sus enseñanzas y conocimientos para formarnos como Personas y profesionales; A La Universidad Surcolombiana por permitirme ser parte de ella.

A mis Familiares, amigos, compañeros, vecinos, conocidos y no conocidos..... A todos y cada uno de ellos que hicieron posible este sueño.

GUSTAVO ADOLFO GARZÓN SERRANO.

Gracias DIOSITO, JESUCRISTO y VIRGEN MARÍA por sus todas las bendiciones que me han dado, por la familia que me dieron y por ser parte incondicional en mi vida.

Dedico este trabajo a mis padres EDUARDO ESPAÑA Y MARIA DEL CARMEN RESTREPO, por su apoyo, amor y compañía, a mis hermanas ANGÉLICA Y DIANA, por confiar en mí y guiarme de la mejor manera, a mi sobrino NICOLAS que lo amo mucho, a mi novia TATIANA por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas.

También lo dedico a mis amigos del barrio OSCAR, DIEGO, JUANCHO y los demás, a mis amigos de la U, HÉCTOR, JUAN MIGUEL, GUSTAVO "MESSI", MAURICIO "LA VIRU", JORGE, CARVAJAL, OSCAR VELAZCO, OSITA, LENYJN, TOLEDO, RODRIGO, POKE, EDDY, POTE, FARIHT COMAS, GASCA, a las niñas ANYI, PERLA, LILIA, ANGELA, BEATRIZ "LA PAISA", MARCE, y a los demás compañeros que tuve en la universidad, gracias por todo. A la profesora Haydee morales por confiar en mí y brindarme su apoyo, y demás profesores de la U.

A mi equipo que siempre lo llevo en mi corazón BOCA JUNIORS, cada vez más cerca de vos.

SERGIO DANIEL ESPAÑA RESTREPO.



AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo expresan sus agradecimientos a:

A DIOS PADRE TODOPODEROSO, al Señor JESUCRISTO, al ESPÍRITU SANTO que nos dieron la vida, la salud y la oportunidad de culminar nuestros estudios universitarios; y a la Santísima VIRGEN MARÍA.

Efraín Pérez Morales Ingeniero de Petróleos y Benjamín Cometa Ingeniero Químico, quienes nos dieron la oportunidad de realizar este proyecto de grado, por su colaboración y apoyo.

ATP INGENIERIA S.A.S. por abrirnos sus puertas y permitirnos desarrollar nuestro proyecto de grado en un momento oportuno.

Claudia Castañeda y Ángela Aroca Ingenieras en la empresa ATP INGENIERIA S.A.S. por su colaboración y orientación en nuestro proyecto de grado.

Felio Osso Ingeniero Químico en la empresa ATP INGENIERIA S.A.S. Director del Proyecto de grado, por su colaboración, apoyo, dedicación y enseñanzas para que este trabajo de grado se llevara a cabo.

En general quisiéramos agradecer a todas y cada una de las personas que hicieron parte de este trabajo de grado: **IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING (LAVADO DE SUELOS) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO LA HOCHA – TESALIA – HUILA – REPUBLICA DE COLOMBIA; Empresa ATP INGENIERÍA S.A.S.**



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	2
1.1. CAMPO LA HOCHA	2
1.1.1. Marco Geográfico	2
1.1.2. Marco Histórico	3
1.1.3. Marco Geológico	6
1.1.4. Producción de Arena	12
2. CONCEPTOS BÁSICOS	14
2.1. DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE ARENA ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN	14
2.1.1. Operaciones de producción.....	14
2.1.2. Naturaleza de la producción de arena.....	14
2.1.3. Producción de arena	16
2.1.4. Tratamientos requeridos antes de la disposición	16
2.1.5. Disposición de la arena asociada a la producción.....	17
2.2. LA TÉCNICA SOIL WASHING	17
2.2.1. Antecedentes	17
2.2.2. Aspectos generales	18
2.2.3. Planta de tratamiento	20
2.3. EVALUACIÓN DE PROYECTOS	21
2.3.1. Alternativa de inversión	22
2.3.2. Proyecto de inversión	22
2.3.3. Proyecto de financiamiento	22
2.3.4. Plan de inversiones	22



2.3.5. Plan de financiamiento	22
2.3.6. Vida útil de un proyecto de inversión.....	23
2.3.7. Retorno sobre la inversión.....	23
2.3.8. Estructura de costos de un proyecto o negocio.....	23
2.3.9. Valor económico agregado.....	23
2.3.10. Diagramas de flujo	23
2.3.11. Tasa interna de oportunidad (TIO)	25
2.3.12. Tasa interna de retorno (TIR)	25
2.3.13. Valor presente neto (VPN)	25
3. ANÁLISIS TÉCNICO.....	27
3.1. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING	27
3.2. TOMA DE MUESTRAS	28
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA DE PRODUCCIÓN.....	29
3.3.1. Arena de producción	29
3.4. PRUEBAS DE CAMPO	32
3.4.1. Procedimiento para encontrar la solución de lavado.....	33
3.5. PLANTA “UNIDAD DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”	43
3.5.1. Descripción de los componentes del sistema.....	43
3.6. PROCEDIMIENTO “UNIDAD DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”	54
3.7. GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)	60
4. ANÁLISIS ECONÓMICO	62
4.1. ANÁLISIS DE COSTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING	64
4.1.1. Valor presente neto (VPN)	66
4.1.2. Tasa interna de retorno “TIR”	66
4.1.3. Relación beneficio/costo	67
RESULTADOS ESPERADOS	69
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	73



BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS.....	76



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características del Campo La Hocha	3
Tabla 2. Características de Los Fluidos del Campo La Hocha	3
Tabla 3. Coordenadas del Campo La Hocha	4
Tabla 4. Producción de los pozos de la Hocha a enero de 2012	5
Tabla 5. Composición de la arena de producción del campo LA HOCHA.....	29
Tabla 6. Caracterización de la arena de producción del campo LA HOCHA.....	29
Tabla 7. Composición mineralógica de la arena de producción del campo LA HOCHA.....	31
Tabla 8. Prueba de solución de lavado con rompedores.....	34
Tabla 9. Prueba de solución de lavado con surfactantes.	35
Tabla 10. Prueba de solución de lavado con dispersantes de parafinas	36
Tabla 11. Prueba de solución de lavado con dispersantes de asfáltenos	37
Tabla 12. Especificaciones de los compresores estacionario	49
Tabla 13. Especificaciones de la Planta eléctrica diesel hy power cummins / Stamford insonora.....	50
Tabla 14. Condiciones del agua de proceso en comparación con el agua de producción	58
Tabla 15. Tiempo de proceso para el tratamiento de un bache	59
Tabla 16. Puntos de control en la Unidad de Optimización de crudo	61
Tabla 17. Criterios establecidos para la realización del análisis económico	62
Tabla 18. Ingresos generados por las técnicas	63
Tabla 19. Egresos generados por las técnicas.....	63
Tabla 20. Flujo Neto de Efectivo.....	65
Tabla 21. Indicadores económicos producto de la implementación de la técnica Soil Washing en el campo La Hocha	66
Tabla 22. Comparación entre las dos técnicas de remediación	70



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del campo La Hocha	2
Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del valle superior del Magdalena subcuena de Neiva	7
Figura 3. Tope de la formación Monserrate. Ubicada al norte del cierre del anticlinal de La Hocha.....	11
Figura 4. Tope de la formación Monserrate en el dominio sur del anticlinal de La Hocha	12
Figura 5. Proceso de lavado de suelos	19
Figura 6. Diagrama de flujo típico	24
Figura 7. Arena tratada con la técnica Soil Washing.....	27
Figura 8. Arena de producción del campo LA HOCHA	28
Figura 9. Foto de Arena de producción del campo LA HOCHA.....	30
Figura 10. Composición granulométrica de la Arena de producción del campo LA HOCHA.....	32
Figura 11. Prueba de botellas: agua mas químicos	35
Figura 12. Prueba de botellas: arena mas solución de lavado.....	35
Figura 13. Prueba de botellas: arena lavada con las diferentes disoluciones.....	36
Figura 14. Tanque almacenamiento de arenas del CPF	43
Figura 15. Tanque de recibo de arenas de baterías	44
Figura 16. Tanques cónicos de proceso	45
Figura 17. Pasarela de los Tanques cónicos de proceso.....	45
Figura 18. Skimmer.....	46
Figura 19. Tanque de almacenamiento de crudo.....	46
Figura 20. Tanque almacenamiento de arenas lavadas.	47
Figura 21. Vistas del tanque almacenamiento de arenas lavadas	47
Figura 22. Unidad de Clarificación	48
Figura 23. Compresor estacionario	49
Figura 24. Planta eléctrica diesel hy power cummins / Stamford insonora	50
Figura 25. Bomba wilden m15.....	51



Figura 26. Container tipo laboratorio.....	52
Figura 27. Extracción de arenas del tanque desarenador.....	54
Figura 28. Químico ATP 20-10.....	55
Figura 29. Puntos de control en la Unidad de Optimización de Crudo.....	60
Figura 30. Representación gráfica del flujo de fondo.....	64
Figura 31. Representación gráfica de la relación beneficio/costo (B/C).....	68



LISTA DE GRÁFICAS

Grafico 1. Historial de arena producida en el campo La Hocha	13
Grafico 2. Curva de eficiencia del surfactante 4.....	42
Grafico 3. BSW (nata aceitosa) vs. Concentración del surfactante 4.....	42



ANEXOS

ANEXO A. Registro fotográfico del montaje de la planta “unidad de optimización de crudo” (UOC)	77
ANEXO B. Análisis textural y mineralógico de ripios	83
ANEXO C. Diseño de proyectos de remediación de suelos	88
ANEXO D. Planta “unidad de optimización de crudo”	95
ANEXO E. Balance de masa de la planta “optimización de crudo”	96
ANEXO F. Diagrama de flujo de la planta “optimización de crudo”	97
ANEXO G. Reporte de operaciones “planta de optimización de crudo”	99
ANEXO H. Hoja de datos de seguridad ATP 20-10	100
ANEXO I. Método de prueba para determinar hidrocarburos totales del petróleo (TPH) en suelos	104
ANEXO J. Prueba de jarras	105



RESUMEN

TÍTULO: IMPLEMENTACION DE LA TECNICA SOIL WASHING (LAVADO DE SUELOS) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE PRODUCCION DEL CAMPO LA HOCHA – TESALIA – HUILA – REPUBLICA DE COLOMBIA; EMPRESA ATP INGENIERIA S.A.S.*

AUTORES: ESPAÑA RESTREPO, Sergio Daniel. GARZON SERRANO, Gustavo Adolfo. **

PALABRAS CLAVES: arenas de producción, hidrocarburos, la técnica Soil Washing, campo la Hocha, planta de optimización de crudo.

Descripción

El manejo de las arenas de producción es una tarea importante y no siempre sencilla, la elección de tratarlas con una u otra técnica depende del tipo y cantidad de arena producida, ya que no se pueden depositar al medio ambiente en estas condiciones debido a que contienen hidrocarburos, agua y otros contaminantes.

Por ello el presente estudio tiene como finalidad implementar la técnica Soil Washing para el tratamiento de las arenas producidas por el campo la Hocha, lo cual implicara un aumento en el manejo y disminución de los tiempos de tratado.

La técnica Soil Washing es un proceso innovador que no había sido aplicado en Colombia para el tratamiento de las arenas producidas en los campos petroleros de dicho país, por lo cual surge la necesidad de desarrollar esta investigación para obtener resultados óptimos, eficientes y económicos.

**Proyecto de grado*

*** Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de petróleos. Director: OSSO, Felio.*



En este documento se puede encontrar la prueba que se llevo a cabo para la selección de la solución de lavado, utilizada para la separación de las distintas fases, en el cual observo un comportamiento característico y favorable, también el análisis económico que permite determinar la viabilidad económica del proyecto, con la cual se construyo la planta de optimización de crudo, que cuenta con los distintos tanques, componentes y accesorios para llevar a cabo la realización de dicho proyecto en el campo la Hocha con total éxito.

La metodología desarrollada se aplico satisfactoriamente permitiendo obtener una arena libre de hidrocarburos, agua y demás contaminantes. Este trabajo de grado fue desarrollado gracias a la colaboración de la compañía ATP INGENIERIA S.A.S.



ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF THE TECHNICAL SOIL WASHING FOR THE TREATMENT OF THE SAND PRODUCTION OF THE FIELD THE HOCHA – TESALIA – HUILA – REPUBLIC OF COLOMBIA; COMPANY ATP ENGINEERING S.A.S.*

AUTHORS: ESPAÑA RESTREPO, Sergio Daniel. GARZON SERRANO, Gustavo Adolfo. **

KEY WORDS: Sands of production, hydrocarbons, the technical soil washing, the Hocha field, pilot plant.

Description

The sands of production management is an important and not always easy task, the choice of dealing with one or other technique depends on the type and quantity of produced sand, since it cannot deposit the environment in these conditions because they contain oil, water and other contaminants.

Therefore this study aims implement the technical soil washing for the treatment of sand produced by the field the Hocha, which meant an increase in the handling and reduction of treaty times.

The technical soil washing is an innovative process that had not been applied in Colombia for the treatment of the sands produced in the oil fields of that country, which arises the need to develop this research for optimal, efficient and economical results.

**Proyecto de grado*

***Surcolombiana University, Engineering Faculty, Petroleum Engineering Program.
Director: OSSO, felio.*



The test is carried out for the selection of the washing solution, used for the separation of the phases, can be found in this document in which a behavior characteristic and favourable, also note the economic analysis to determine the economic viability of the project, with which the optimization of crude oil plant was built that has different tanks, components and accessories to carry out the realization of such project in the field the Hocha with complete success.

The methodology developed is applied successfully allowing to get an arena free of oil, water and other pollutants. This degree work was developed through the collaboration of the company ATP Engineering S.A.S.



INTRODUCCIÓN

El problema que se viene presentando en el Campo La Hocha, ubicado en Tesalia-Huila, es la producción excesiva de arena, la cual es generada por las características texturales de la formación productora como es su baja cementación y ausencia de matriz, por lo tanto genera problemas operacionales, tratamiento y costos; a su vez no pueden ser depositadas al medio ambiente en estas condiciones ya que contienen un alto porcentaje de aceite, agua y otros contaminantes.

Anteriormente se tenía implementado como proceso de separación la U.D.T (Unidad de Desorción Térmica), un sistema (eficiente en su momento), e insuficiente por el aumento en la producción de arena. Por lo tanto, la empresa ATP INGENIERIA S.A.S. en equipo con los estudiantes tesisistas suscritos proponen implementar la técnica Soil Washing (lavado de suelos) para el tratamiento de las arenas de producción del campo LA HOCHA.

La pregunta es: ¿Por qué se debe hacer un buen tratamiento a estas arenas de producción?, debido a que estas arenas de producción están impregnadas de crudo, no cumplen con la legislación, normatividad y regulaciones de depositación y/o disposición ambiental según: El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, DECRETO 2811 DE 1974 (Diciembre 18); y el protocolo 29B de Louisiana y EPA, o Agencia de Protección Ambiental (La United States Environmental Protection Agency).

El Soil Washing (lavado de suelos) es una técnica de separación de una fase sólida y una fase líquida, el cual realiza el lavado de suelos contaminados, que proceden por lo general de áreas industriales y no cumplen con las normas de depositación ambiental y se basa en mecanismos físicos y/o químicos cuya finalidad es la de separar las distintas matrices que lo componen.

Buscando soluciones a los retos a que estamos expuestos en la industria de los hidrocarburos surgió la iniciativa de crear la “IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING (LAVADO DE SUELOS) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO LA HOCHA – TESALIA – HUILA – REPÚBLICA DE COLOMBIA”, que responde a la necesidad de la globalización por realizar este proyecto de una forma viable, eficaz y confiable.



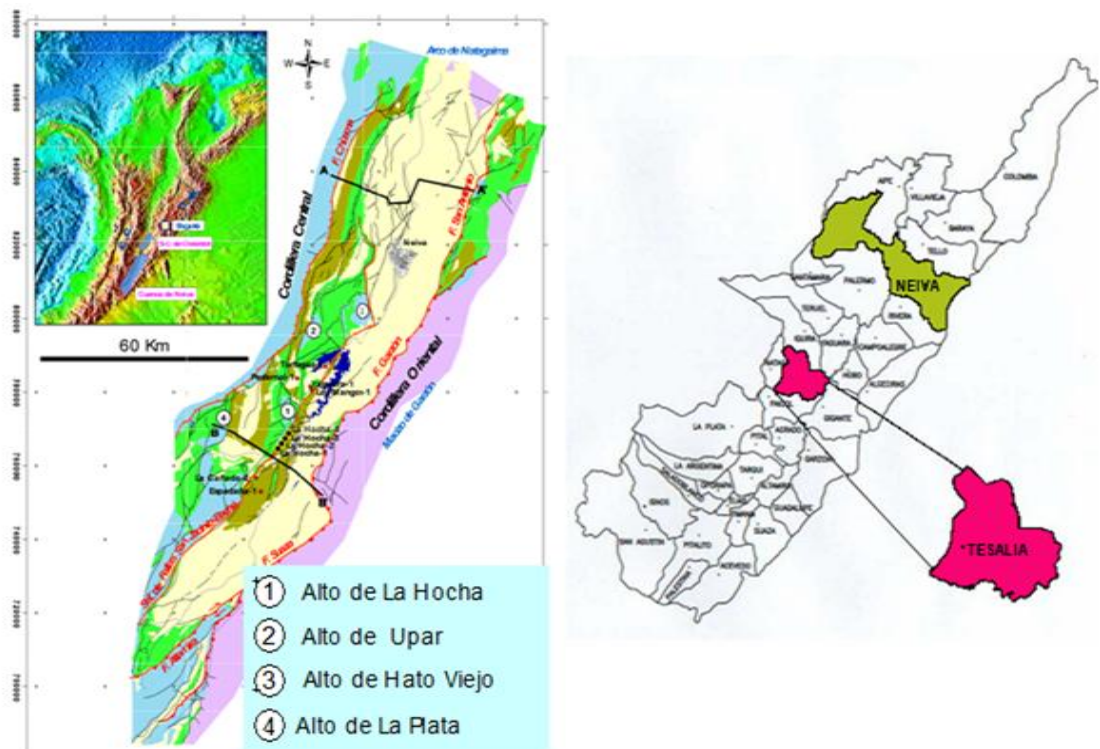
1. GENERALIDADES

1.1. CAMPO LA HOCHA*

1.1.1. MARCO GEOGRÁFICO

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector sur oeste del Valle Superior del Magdalena (VSM), El Campo La Hocha, localizado 64 Km al suroeste de Neiva. Se encuentra situado en la Vereda Alto La Hocha en el municipio de Tesalia, departamento del Huila, República De Colombia, limita al sur con el municipio de Paicol; al oriente con Paicol y Gigante; al norte con Iquira y Yaguara y al occidente con Nataga.

Figura 1. Localización Geográfica del Campo la Hocha.



FUENTE: Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A.

*Los datos y cifras mencionados en este apartado se tomaron, Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A. Estudio de impacto ambiental para la explotación del campo la Hocha. HOCOL S.A., 2004.



1.1.2. MARCO HISTÓRICO

Descubierto en 2001, inicio labores de producción en enero de 2003, mediante el contrato de asociación san Jacinto – río Páez, entre las empresas Ecopetrol S.A. – Hocol S.A; esta ultima operadora del campo.

Tabla 1. Características del Campo La Hocha.

CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO LA HOCHA	
Formación	Monserate
Mecanismo de producción	Gas en solución
Profundidad medida	3000 ft
Espesor	75.5 ft
Contacto agua – aceite m.s.n.m.	1008 ft
Presión inicial @ 250 ft m.s.n.m.	1380 psi
Presión de burbuja	751 psi
Temperatura	115 °F
Porosidad promedio	18%
Permeabilidad promedio	100 md
Resistividad	177.45 Ohm
Saturación de agua inicial	20%

FUENTE: Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A.

Tabla 2. Características de Los Fluidos del Campo La Hocha.

CARACTERÍSTICAS DE LO FLUIDOS DEL CAMPO LA HOCHA	
Grados API del crudo	16.5 - 17.5 °API
Viscosidad de petróleo @ cond. yacimiento	58 cp
Viscosidad de petróleo @ cond. superficie 100°F	850 cp
Ppm de NaCl en el agua	29413 ppm

FUENTE: Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A.



El campo La Hocha abarca una extensión de 17.165 ha. Contenidas dentro de las siguientes coordenadas:

Tabla 3. Coordenadas del campo La Hocha. Coordenadas origen Bogotá

COORDENADAS DEL CAMPO LA HOCHA		
PUNTO	NORTE	ESTE
1R	776.395.56	829.449.19
2R	773.200.00	835.800.00
3R	771.272.21	839.484.27
4R	795.100.00	833.300.00
5R	760.500.00	830.500.00
6R	758.500.00	830.100.00
7R	761.700.00	822.300.00

Fuente: estudio de impacto ambiental para la explotación del campo la Hocha. HOCOL S.A., 2004.

En 2002 se perforaron 5 pozos, LH-1, LH-8, LH-2, LH-3, LH-4. A los cuales se les implantaron bombeo mecánico para la extracción de los hidrocarburos. En 2003 se perforaron 7 pozos mas, LH-5, LH-7, LH-9, LH-10, LH-11, LH-12, LH-13, Con un total de 12 pozos perforados activos, en 2004 se implantaron sistema de levantamiento artificial PCP (bombas de cavidades progresivas) debido a la excesiva producción de arena.

Al final del 2005 la producción promedio total era de 1000 bls/día. Posteriormente se perforaron los pozos LH-14, LH-14ST, LH-15, LH-16, LH-17, LH-18, LH-19, LH-20, LH-21, LH-22, LH-23, LH-24, LH-25, LH-26. En la actualidad el pozo LH-8 es inyector, la producción a enero del 2012 es de 1554 bbl/día.

La tabla 4 muestra las producciones de aceite, agua y gas para los pozos productores del campo La Hocha, así como también su sistema de levantamiento a enero de 2012.



Tabla 4. Producción de los pozos del campo La Hocha a enero de 2012.

POZO	ESTADO	BSW (%)	Q total (BFPD)	Q neto (BOPD)	SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL
LH-1	PRODUCTOR	70,4	896	189	PCP
LH-2	PRODUCTOR	0,4	176	78	PCP
LH-3	PRODUCTOR	0,1	8	7	PCP
LH-4	PRODUCTOR	0,3	77	14	PCP
LH-5	PRODUCTOR	1,7	51	12	PCP
LH-7	PRODUCTOR	2,5	94	37	PCP
LH-8	INYECTOR		0	0	IA
LH-9	PRODUCTOR	83,7	287	39	PCP
LH-10	PRODUCTOR	0,8	69	28	PCP
LH-11	PRODUCTOR	19,7	294	42	PCP
LH-12	PRODUCTOR	1,3	109	21	PCP
LH-13	PRODUCTOR	1,5	140	44	PCP
LH-14	ABANDONADO		0	0	
LH-14ST	PRODUCTOR	22,3	177	72	PCP
LH-15	PRODUCTOR	0,3	12	9	PCP
LH-16	PRODUCTOR	2,2	78	14	PCP
LH-17	PRODUCTOR	1	12	10	PCP
LH-18	PRODUCTOR	0,7	25	12	PCP
LH-19	ABANDONADO		0	0	
LH-20	PRODUCTOR	2,6	219	64	PCP
LH-21	PRODUCTOR	14,7	165	81	PCP
LH-22	PRODUCTOR	4,3	142	25	PCP
LH-23	PRODUCTOR	10,8	362	139	PCP
LH-24	PRODUCTOR	89,5	1454	145	PCP
LH-25	PRODUCTOR	50,5	953	247	PCP
LH-26	PRODUCTOR	21	361	225	PCP

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



1.1.3. MARCO GEOLÓGICO

La depresión del valle superior del río Magdalena que separa las cordilleras Oriental y Central, se originó con el levantamiento de las cordilleras a lo largo de fallas inversas, lo que trajo como consecuencia el aporte masivo de sedimentos gruesos y finos, tanto de la Cordillera Oriental como de la Central, que conforman en gran medida el relleno aluvial del valle.

- **ESTRATIGRAFÍA**

El basamento económico Precretáceo está conformado por rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida correspondientes al batolito de Ibagué y la formación Saldaña.

La cobertura productiva de carácter sedimentario está determinada por dos secuencias deposicionales diferentes caracterizada por presentar rocas de origen clástico y químico.

- La primera se trata de una secuencia clástica marina que abarca desde el Cretáceo Medio (Aptiano-Albiano) hasta el Paleógeno (Paleoceno) de un ambiente marino a transicional desarrollando un ciclo regresivo que permitieron la depositación en el área de las formaciones Caballos, Villeta, Monserrate y Guaduala respectivamente.
- La segunda secuencia compuesta por rocas sedimentarias de origen continental que abarcan desde el Eoceno hasta el reciente, que corresponden estratigráficamente a las formaciones Gualanday, Potrerillos, Doima, Honda, Gigante y Depósitos Cuaternarios.



Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del valle superior del Magdalena subcuenca de Neiva.

		GRUPO	FORMACION	AMBIENTE	LITOLOGIA	
CUATERNARIO						
Neógeno	Secuencia Sin-Orogénica	Plioceno-Holoceno	Gigante / Mesa (1000 mts)	Terrestre, Llanuras de Piedemonte.		
		Mioceno	Medio a Superior	Honda (2500 mts)		Terrestre, Llanuras Aluviales
			Inferior	Barzalosa (200 - 300 mts)		Terrestre, Lagunar
Paleógeno	Secuencia Sin-Orogénica	Oligoceno	Doima	Terrestre, Ríos entrelazados.		
			Potrerrillo			
		Eoceno	Guatanday		Tesalia	
			Bache			
			Palermo			
		Paleoceno	Guaduala		Teruel	Terrestre, Paalico.
San Francisco						
CRETÁCEO	Superior	Maastrichtiano	Monserrate (150 - 200 mts)	Marino Intermareal.		
		Campaniano			K1	
	K2					
	K3 K4					
	Inferior	Secuencia Preorogénica	Santoniano	Villeta (700 - 1100 mts)	Plataforma Detrítico - Calcárea	
			Albiano			Shale Aco LaLuna Shale Bambuca Caiza Tetuán
			Albiano	Caballos (90 - 200 mts)		Superior
Medio						
Inferior						
Aptiano	Yaví (385 mts)	Supra intermareal Terrestre.				
Basamento	Jurásico	Saldaña (800 - 1500 mts)	Subaéreo Vulcanoclástico			
	Triásico	Intrusivo				
	Precambrico	metamórfico				

FUENTE:(Modificado de Ecopetrol, ICP-2000, Vargas 2008).



Formación Caballos: en la subcuenca de Neiva esta formación operacionalmente fue dividida en Caballos Inferior, Caballos Medio y Caballos Superior.

- *La Formación Caballos Superior:* está constituida por cuarzoarenitas muy continuas de grano fino a grueso friables, muy bien a moderadamente seleccionadas, con laminación inclinada y paralela.
- *La formación Caballos Medio:* fue depositada en un ambiente marino Restringido, se caracteriza por tener intercalaciones de calizas lumaquelicas y dolomitas de color gris verdoso, algunas glauconitas y lodolitas de color gris a negro.
- *La Formación Caballos Inferior:* está compuesta por una serie de secuencias arenosas retrogradacionales, siendo un deposito continental a la base con cuarzo arenitas y subarcosas de color blanco a gris claro, de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas bien seleccionadas con pseudomatriz caolinítica. En la parte media y tope predominan lodolitas negras ricas en restos de plantas, que corresponden a depósitos en llanuras aluviales surcadas por canales sinuosos.

Formación Villeta: es una unidad marina transgresiva en donde sus sedimentos fueron depositados en un ambiente nerítico anóxico. Sus rocas blandas erosionables dan lugar a una topografía suave de valles.

Esta formación se encuentra dividida en cuatro unidades que de base a tope son:

- *Caliza de Tetuán:* calizas finogranulares derivadas de organismos plactónicos, ricas en materia orgánica de color marrón oscuro a claro, masivas y muy duras, intercaladas con lodolitas.
- *Shale de Bambucá:* compuesta por shale verde a verde grisáceo con bajo contenido de calcita. El contacto con la Caliza de Tetuán es transicional y el predominio de sedimento arcilloso sugiere proximidad del área fuente y una somerización del fondo y acercamiento a la línea de costa.
- *Caliza La Luna:* calizas micríticas derivadas de organismos planctónicos rica en materia orgánica de origen marino, de color crema a gris claro, masivas y blocosas.



- *Aico*: es una sección arenosa al tope y limosa en la base, que consta de cuarzoarenitas blancas, angulares a subangulares de grano fino a medio, algunas veces calcáreas, que representa una somerización del fondo y un acercamiento a la línea de costa.

Formación Monserrate: es considerada como la unidad litológica productora del campo la Hocha y Litológicamente está constituida por cuatro miembros dos arenosos y dos lutíticos.

- *La unidad K4*: está compuesto por arcillolitas y limolitas con un nivel de roca fosfórica.
- *La unidad K3*: está representado por areniscas cuarzosas blancas a grises y de grano fino a medio.
- *La unidad K2*: está conformada por limolitas silíceas y chert, este miembro presenta dos niveles de roca fosfórica, es muy común el intenso plegamiento de estas rocas.
- *La unidad K1*: está compuesta por cuarzoarenitas de grano grueso con cemento silíceo.

La formación Monserrate fue depositada en un ambiente de plataforma cercano a la línea de costa, asociado a zonas de frente de costa y plataforma. Está constituida por cuarzo areniscas de grano fino a medio principalmente con restos fósiles. Hacia la base de esta formación se encuentran niveles de lodolitas a areniscas de grano muy fino de color crema, hacia el sur se encuentran algunos niveles delgados de calizas dentro de la secuencia arenosa. Esta Formación se encuentra fracturada indicando un comportamiento competente. La Formación Monserrate descansa sobre la Formación Villeta en contacto normal y sobre ella descansa en paraconformidad la suprayacente Formación Guaduala.

Formación Guaduala: esta formación está constituida por dos miembros:

- *El miembro San Francisco*: compuesto por arcillolitas grises a rojo oscuro a púrpura, blandas, con intercalaciones de limolitas.
- *El miembro Teruel*: está compuesto por areniscas finas verdosas y arcillolitas con algunas capas de carbón.



Formación Gualanday: esta formación está dividida en tres miembros Palermo, Bache y Tesalia, respectivamente.

- *El miembro Palermo:* está representado por una serie de conglomerados grises constituidos por cantos redondeados de líticos, chert y cuarzo e intercalaciones de areniscas en capas de estratificación masiva a gruesa.
- *El miembro Bache:* está constituido por arcillolitas y lodolitas moteadas y algunos niveles de areniscas y conglomerados.
- *El miembro Tesalia:* está representado por otra serie de conglomerados oligmíticos con fragmentos de cuarzo lechoso y chert negro, con ligeras intercalaciones de areniscas y arcillolitas varicoloreadas.

Formación Potrerillos: constituidas por arcillolitas varicoloreadas blandas y limosas intercaladas con delgados niveles de conglomerados y areniscas conglomeráticas.

Formación Doima: reposa discordantemente sobre la formación Potrerillos y está constituida por conglomerados poligmíticos con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas chert y cuarzo, embebidos en una matriz areno-limosa.

Formación Honda: se puede dividir en:

- *Honda Inferior:* constituida por intercalaciones de arcillolitas rojas, cafés rojizas y grises verdosas, interestratificadas con arenitas, algunas veces conglomeráticas, grises a grises verdosas.
- *Honda Superior:* conformada predominantemente por arenitas grises a blancas con algunas intercalaciones de lodolitas cafés rojizos a gris verdosas.

Formación Gigante: conformada por depósitos vulcanoclásticos provenientes de la actividad volcánica de la cordillera central durante el cuaternario temprano. Litológicamente está compuesta por tobas, aglomerados y rocas clásticas gruesas.

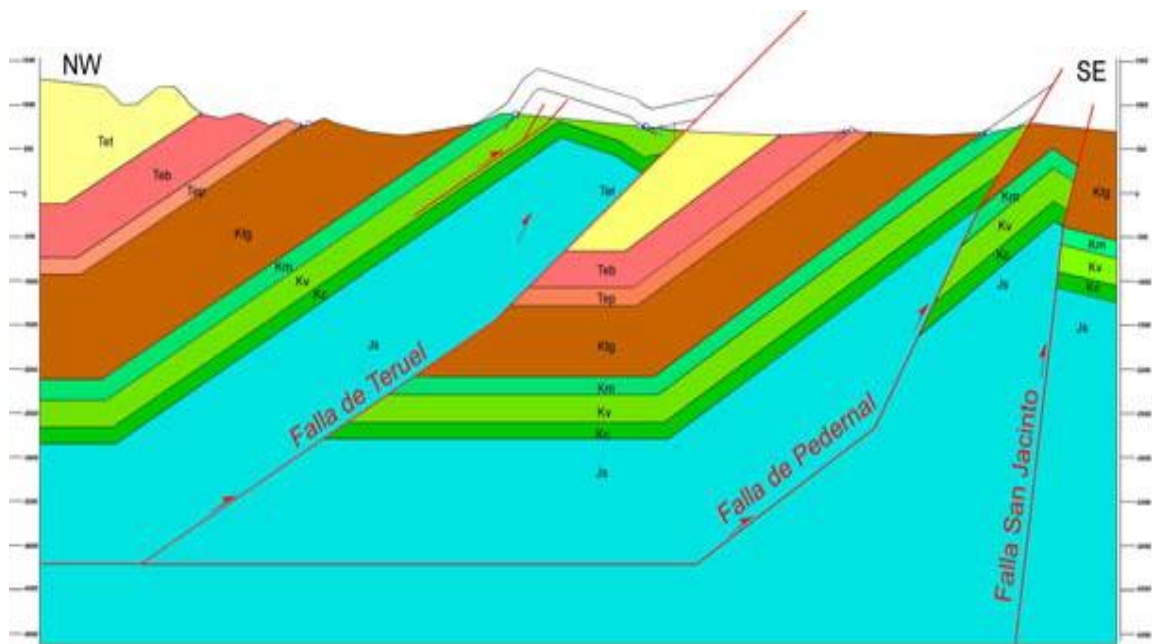


- **ESQUEMA ESTRUCTURAL**

El Anticlinal de La Hocha es una estructura con doble cabeceo; paralelo al trazo de la Falla San Jacinto, en el sector norte es oblicuo al trazo de la Falla de San Jacinto.

Al norte del Anticlinal se observan 3 sistemas de fallas principales, 2 con despegue somero dentro de la Formación Saldaña fallas de Teruel y Pedernal, variando al Este hacia una falla con despegue profundo, Falla San Jacinto.

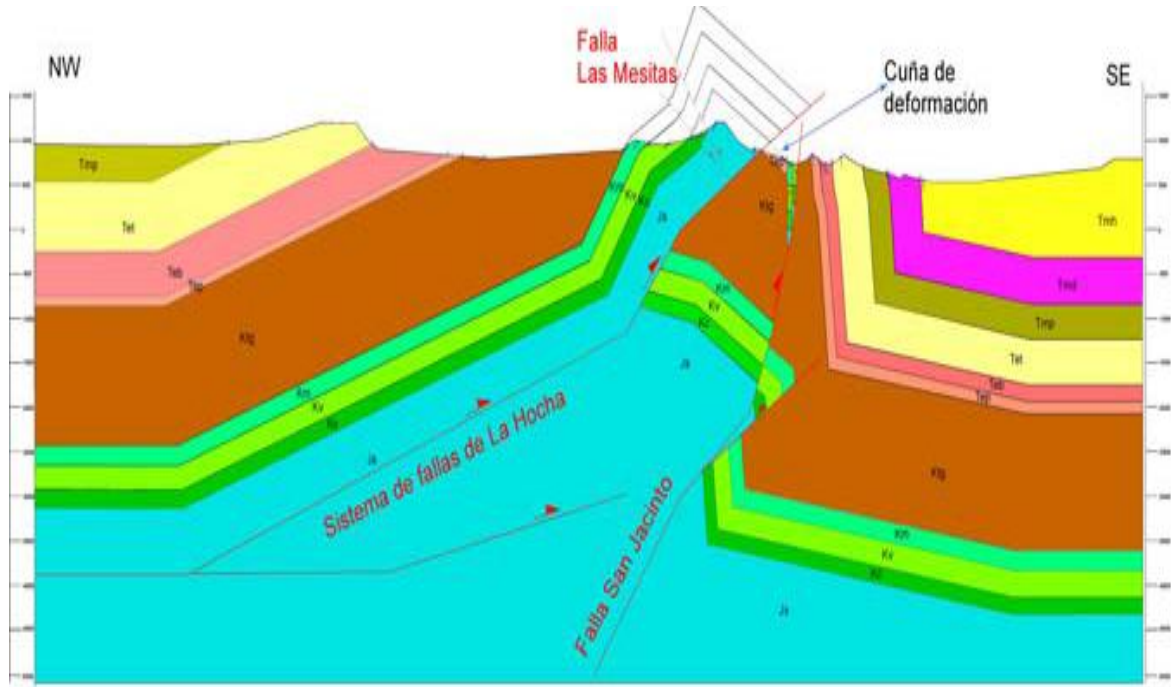
Figura 3. Tope de la formación Monserrate. Ubicada al norte del cierre del anticlinal de La Hocha.



FUENTE: Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A.

En el dominio sur está controlado por tres sistemas de fallas. El sistema de Fallas de La Hocha con despegue somero en la Formación Saldaña la cual tiene convergencia al Este. La Falla las Mesitas que es un sistema de fallas inversas que tiene convergencia al Oeste los cuales afectan el flanco Oeste del Anticlinal de La Hocha. El otro sistema está asociado a la Falla San Jacinto, el cual presenta movimientos transpresivos evidenciados por la presencia de estructuras en flor positiva.

Figura 4. Tope de la formación Monserrate en el dominio sur del anticlinal de La Hocha.



FUENTE: Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A.

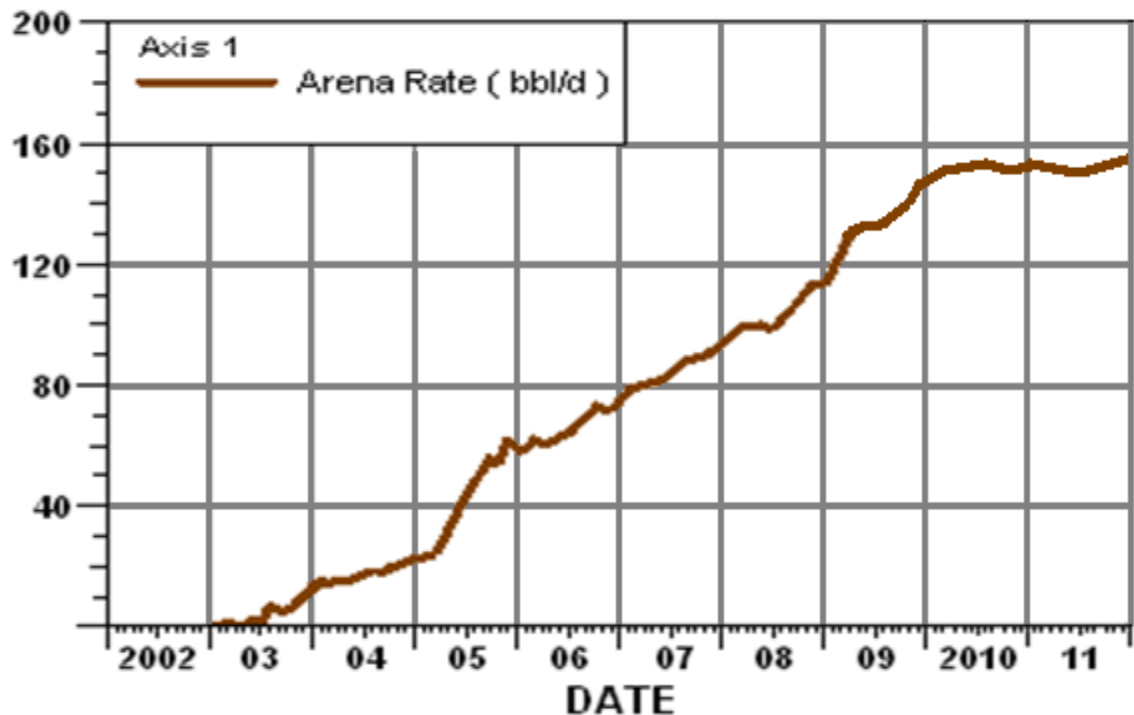
Las secciones estructurales muestra que los espesores de las unidades Cretácicas y Cenozoicas, cambian a través de la Falla San Jacinto, siendo más espesas en el bloque colgante y disminuyen su espesor hacia el bloque yacente, este efecto podría indicar que esta falla podría corresponden a una falla con evidencias de inversión tectónica.

1.1.4. PRODUCCIÓN DE ARENA

La formación productora (Monserrate), presenta una baja resistencia, debido a esto, la roca exhibe un bajo grado de cementación, que conlleva a que los granos de la roca se disocien de la matriz y se produzcan en superficie.



Grafico 1. Historial de arena producida en el campo La Hocha.



FUENTE: Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. HOCOL S.A.

Para la producción de crudo en los pozos, se cuenta con el sistema de levantamiento PCP, ya que tienen la habilidad para producir con altas concentraciones de arena. Dadas las características de la Formación Monserrate es difícil aplicar técnicas convencionales de control de arena por lo que se hace necesario manejarla en superficie antes de transportar los fluidos a la batería principal de procesamiento.

Por lo anteriormente expuesto, para separar este sólido del crudo se necesita hacer un proceso previo y en sitio, se requieren la instalación de un Sistema de separación de arena y manejo de sólidos, tales como tanque desarenador, bombas, ciclones y recolector de arena, en cualquier isla existente, en la actualidad el campo LA HOCHA produce 150 bbl de arena por día.

Adicionalmente, estas arenas de producción deben manejarse en superficie para su respectiva disposición.



2. CONCEPTOS BÁSICOS

En este capítulo se dará una breve descripción de aspectos teóricos fundamentales a tener en cuenta para el desarrollo de los objetivos del proyecto.

2.1. DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE ARENA ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN

Hoy en día se está prestando mayor atención en todo el mundo a las cuestiones ambientales; debido a una creciente conciencia pública. A su vez se pone mayor atención a las actividades específicas de las compañías exploradoras y productoras de hidrocarburos. A estas compañías se le pide que demuestren su compromiso con la protección ambiental mediante la adopción de políticas ambientales corporativas y la actuación concreta en el campo en sus operaciones de producción.

2.1.1. OPERACIONES DE PRODUCCIÓN

Las operaciones de producción se encuentran en donde hay ganancias económicas asociadas con el petróleo y el gas. La producción a menudo comienza tan pronto como se perfora el pozo inicial de exploración y continua a través del desarrollo del campo, la producción podrá continuar durante muchos años.

La producción requiere básicamente que los fluidos que entran en el pozo puedan fluir hasta superficie, donde son procesados, separados y transportados al mercado. La mayoría produce algo de arena pero generalmente las cantidades son, al menos en un principio, muy pequeñas y a medida que transcurre el tiempo, en algunos casos alcanza ser muy significativa.

2.1.2. NATURALEZA DE LA PRODUCCIÓN DE ARENA

En el subsuelo, los principales factores que controlan si un yacimiento fallara mecánicamente son la resistencia de la roca, la cual depende de diversos factores (Los más importantes son la cohesión, el ángulo de fricción interna), el esfuerzo efectivo ejercido sobre la formación (una combinación de los esfuerzos terrestres principales que actúan sobre la roca, menos la presión de poro) y los esfuerzos introducidos por la perforación, el completamiento y la producción.



Una falla se produce bajo tensión, compresión o, más comúnmente, cuando la diferencia entre los esfuerzos principales máximos y mínimos se vuelve suficientemente grande como para producir un esfuerzo excesivo.

Las fallas que comúnmente pueden generar que los granos de formación en yacimientos de areniscas se desagreguen, o se suelten de la matriz son:

Fallas de corte: durante la producción, la ruptura por corte causada por la caída de presión o bien por el agotamiento, puede generar una cantidad catastrófica de arena producida. El incremento de la caída de presión genera mayores esfuerzos efectivos en torno al pozo o al túnel dejado por los disparos, si tales esfuerzos exceden la resistencia de la roca en esta geometría, la roca fallara pudiendo producir arena.

Fallas por tracción: se producen en areniscas débiles fundamentalmente por una elevada velocidad de flujo de fluidos, que es una función de la caída de presión. Este tipo de falla suele ser esporádica, produce volúmenes de arena relativamente pequeños, se agrava por los cambios rápidos producidos en los regímenes de producción de pozos y a menudo se estabiliza con el tiempo.

Fallas volumétricas: también conocida como colapso de poros, está asociada tanto con la caída de presión como con el agotamiento y se produce en yacimientos de alta porosidad y baja resistencia.

No todas las areniscas producen granos de arena desagregados bajo condiciones de esfuerzos. Las areniscas pueden tener comportamientos muy variables en lo que respecta a producción de arena, que están relacionados fundamentalmente con el tipo de roca.

Muchos episodios en la historia de una roca pueden modificar su resistencia, conduciendo finalmente al inicio de la producción de arena. Cuando se perfora, termina y estimula, al yacimiento se aplican esfuerzos adicionales sobre la matriz de la roca. Además, la resistencia de la roca puede reducirse por episodios, tales como los tratamientos de estimulación con ácido, la compactación del yacimiento o los aumentos de la saturación de agua.



2.1.3. PRODUCCIÓN DE ARENA

En formaciones débilmente consolidadas, la producción de fluidos casi siempre es acompañada de arena. Esto puede conducir a daños de los equipos de superficie y de fondo de pozo, así como costos de mantenimiento elevados.

Los fluidos producidos transportan la arena fragmentada hasta el pozo, desde donde esta fluye hacia la superficie, o se deposita en otra parte del sistema del pozo. Para controlar este sólido los operadores pueden optar por reducir el flujo a regímenes incapaces de transportar arena, manejar la arena producida en superficie o crear una barrera; en esencia, un filtro para evitar el movimiento de la arena desde la formación hacia la superficie.¹

2.1.4. TRATAMIENTOS REQUERIDOS ANTES DE LA DISPOSICIÓN

Los requerimientos para el tratamiento de fluidos producidos dependen de su origen, su condición y su volumen. En superficie esta arena de producción se comporta de igual manera que un suelo contaminado. Debido a lo anterior este sólido, deberá ser tratado de igual forma que el suelo, por medio de alguna tecnología de remediación.

En la actualidad se dispone de un amplio abanico de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, algunas de aplicación habitual y otras todavía en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes alterando su estructura química mediante procesos generalmente químicos, físicos, térmicos o biológicos. Su aplicación depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo.

Según la forma en la que se apliquen las técnicas de recuperación de suelos se habla de tratamientos in situ, que actúan sobre los contaminantes en el lugar en el que se localizan, y tratamientos ex situ, que requieren la excavación previa del suelo para su posterior tratamiento, ya sea en el mismo lugar o en instalaciones externas que requieren el transporte del suelo contaminado.

¹Acock Andrew, Orourke Tom y Shrimboh Daniel. 2003. Métodos Prácticos De Manejo De La Producción De Arena. Aberdeen, Escocia. 20p.



En función de los objetivos que se quieren alcanzar a la hora de recuperar un suelo contaminado, se puede distinguir entre:

- **Técnicas de contención**, que aíslan el contaminante en el suelo sin actuar sobre él, generalmente mediante la aplicación de barreras físicas en el suelo.
- **Técnicas de confinamiento**, que reducen la movilidad de los contaminantes en el suelo para evitar su migración actuando directamente sobre las condiciones fisicoquímicas bajo las que se encuentran los contaminantes.
- **Técnicas de descontaminación**, dirigidas a disminuir la concentración de los contaminantes en el suelo.²

2.1.5. DISPOSICIÓN DE LA ARENA ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN

Después de someter la arena de producción a algún tipo de remediación y dependiendo del residuo (ceniza, arena limpia) que produzca dicho proceso, este residuo se dispondrá en el medio ambiente, cumpliendo las especificaciones de disposición o podrá ser utilizado para otra rama de la ingeniería (civil, agrícola, etc..).

2.2. LA TECNICA SOIL WASHING

2.2.1. ANTECEDENTES

De acuerdo a los registros históricos, la técnica soil washing se inicio en Europa a finales de la década del 80, principalmente en Países Bajos y Alemania. A partir de 1995 se comenzó a utilizar en Estados Unidos, la cual se implemento exitosamente, en New Jersey.

²Ortiz Irene, Sanz Juana, Dorado Miriam y Villar Susana. 2007 .Técnicas De Recuperación De Suelos Contaminados. Elecé Industria Gráfica, Madrid. 33 – 35 p.



Esta técnica comenzó a aplicarse en Canadá desde 1998, cuando en Ottawa su capital se adelantó un proyecto para la remediación de un suelo vegetal contaminado con radionucleídos, el cual arrojó excelentes resultados, a partir de estos resultados, también se implementó este proceso para el tratamiento de las arenas bituminosas.

En Suramérica se aplica esta tecnología con éxito en Argentina y Venezuela, este país la utiliza al igual que Canadá, en el tratamiento de arenas bituminosas. En la actualidad se cuentan con una gran variedad de instalaciones fijas y móviles para el lavado de suelos en Alemania, Países Bajos, Estados Unidos, y demás países que desarrollaron esta técnica.

2.2.2. ASPECTOS GENERALES

El lavado de suelos (soil washing) es una técnica de descontaminación ex situ en la que se extrae la arena para ser tratada en instalaciones específicas en la que se eliminan los compuestos contaminantes, mediante procesos químicos y físicos.

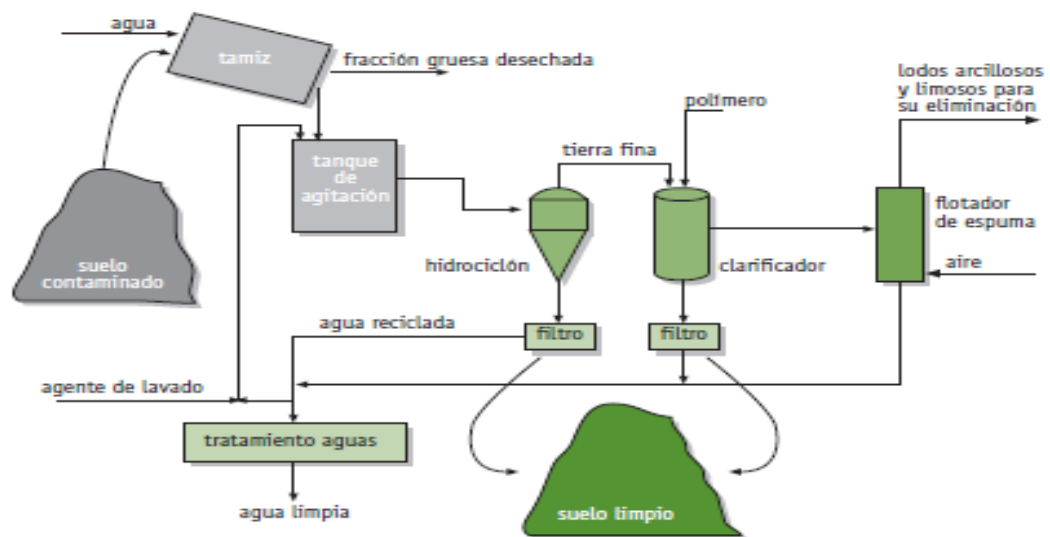
El procedimiento consiste básicamente en el empleo de una solución de lavado a base de agua y aditivos químicos y un proceso mecánico de separación de finos.

Los contaminantes se eliminan, por una de las siguientes vías:

Disolviéndolos o suspendiéndolos en la disolución de lavado, que estará formada por agua industrial, agentes tensoactivos, químicos y el empleo de aire a presión como agitación.

Esta técnica aprovecha el complejo principio, según el cual las sustancias químicas tienden a adherirse mejor a la superficie de ciertos tipos de suelos que a otros. De esta manera los contaminantes tienden a “pegarse” mejor a las partículas finas, como por ejemplo las que forman los limos y las arcillas, que a las partículas de mayor magnitud como arenas y gravas.

Figura 5. Proceso de lavado de suelos.



FUENTE: Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Irene Ortiz 2007.

La técnica Soil Washing por medio de un proceso de lavado y separación granulométrica, permite alcanzar el objetivo de separar las fases sólidas y líquidas. El lavado de suelos se considera una tecnología de limpieza, en la que el agua utilizada en el proceso tendrá que ser tratada mediante la técnica adecuada, según los contaminantes que presente.

Algunas de las principales ventajas son:

- El lavado de suelos puede tratar productos orgánicos e inorgánicos en el mismo sistema de tratamiento.
- Remueve alto contenido de hidrocarburos remanentes en arenas, en comparación con otros procesos.
- Es la técnica ex situ más apropiada cuando los suelos constan del 50 al 70 por ciento de arena.
- No destruye la materia orgánica de la tierra, cuestión fundamental en un proceso de remediación.
- Anula la contingencia de contaminación de la atmósfera.



- Anula todos los riesgos atinentes a operar con elevadas temperaturas.

A continuación se presentan algunas desventajas:

- Después del tratamiento, hay un volumen relativamente pequeño de medios sólidos contaminados y el agua de lavado debe ser tratada o eliminarse.
- No es rentable para suelos con contenido de limos y arcillas mayor al 50% o menor al 30 %.
- Alto contenido de ácido húmico del suelo, mezclas complejas de contaminante, puede complicar el proceso de tratamiento.
- Como para cualquier tecnología ex situ, existen requisitos de espacio para el sistema de tratamiento.³

2.2.3. PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento de lavado de suelo se establece según las características del material contaminado, en algunos casos puede ser transportable, pero las más conocidas son fijas.

Los materiales, componentes, accesorios y equipos utilizados para fabricar la planta de tratamiento deberán cumplir con los requisitos funcionales, y deben ser compatibles con los contaminantes de interés, los reactivos y aditivos utilizados en el proceso.

Una planta de tratamiento debe estar compuesta por los siguientes sistemas:

Sistema de alimentación: es aquí donde se deposita el suelo a tratar, la capacidad de este sistema depende de la cantidad de suelo a tratar.

Sistema de separación: en este sistema es donde ocurre la separación de sólidos y líquidos.

³ Interstate Technology and Regulatory Cooperation. 1997. Technical And Regulatory Guidelines for Soil Washing. USA. 49 p.



Sistema de almacenamiento de suelo tratado: donde se almacena el suelo post tratamiento, aquí es donde el suelo debe cumplir las especificaciones de disposición.

Sistema de tratamiento del agua de lavado: el agua que ha estado en contacto con el material contaminado debe ser almacenada y tratada normalmente con las prácticas estándar de tratamiento de aguas residuales. Este sistema deberá contar con accesorios para remover los sólidos suspendidos, los aditivos y contaminantes provenientes del lavado, esta agua tratada deberá cumplir los límites de calidad para su reutilización.

Sistema directo de control: deberá contar con los diferentes equipos de laboratorio, para estar monitoreando las características de los fluidos del proceso, tales como: TPH, pH, temperatura, composición, %de humedad, presión, cloruros, grasa y aceites, etc.

Sistema de apoyo de la planta: incluye instalaciones para el almacenamiento de reactivos y aditivos, también debe contar con una planta de generación de energía, bombas dosificadoras, compresores para la agitación y un equipo contra incendios.

Requisitos para la instalación:

La planta de tratamiento de ser instalada de acuerdo a los reglamentos específicos nacionales, las especificaciones técnicas y demás consideraciones que se deben tener en cuenta para la instalación de una planta de tratamiento.⁴

2.3. EVALUACION DE PROYECTOS

La evaluación de proyectos constituye una etapa del denominado ciclo del proyecto, que comienza con la identificación de alternativas, estudios de prefactibilidad para seleccionar las más relevantes o promisorias, recolección de información para documentar las alternativas bajo evaluación, construcción de metodologías e indicadores para medir la conveniencia de un proyecto de inversión, evaluación de alternativas, selección de la alternativa más conveniente.

⁴Unified Facilities Guide Specifications.2010. Soil washing through separation/solubilization. 34 p.



Como tal, la evaluación de proyectos comprende el desarrollo de una serie de metodologías que le permiten al inversionista analizar una o varias alternativas de inversión y financiamiento, buscando seleccionar la más adecuada según uno o varios criterios tales como, rentabilidad, valor presente neto (VPN) o valor agregado, para ello se deben tener claro conceptos como:

2.3.1. Alternativa de inversión.

Un proyecto o una decisión cuya implantación contribuye a alcanzar uno o varios objetivos estratégicos de una empresa.

2.3.2. Proyecto de inversión.

Programación en el tiempo de una serie de inversiones buscando que más adelante se genere una serie de beneficios que justifiquen desde el punto de vista económico las inversiones que se realizaron inicialmente.

2.3.3. Proyecto de financiamiento.

Al inicio se reciben los desembolsos de un criterio, posteriormente se hacen los pagos por amortización a capital y pago de interés.

2.3.4. Plan de inversiones.

Corresponde al conjunto de proyectos necesarios para lograr el cumplimiento de los objetivos estratégicos de una empresa dentro de un horizonte de planeamiento, por ejemplo X años.

2.3.5. Plan de financiamiento.

Trata de la combinación de recursos de financiamiento de corto, mediano y largo plazo, que se van a utilizar para financiar el plan de inversiones durante el horizonte de planeamiento de la empresa. En este sentido, para todo plan de inversiones debe existir el correspondiente plan de financiamiento.



2.3.6. Vida útil de un proyecto de inversión.

Periodo durante el cual se justifica, desde el punto de vista económico, mantener operando el proyecto. En otras palabras, es el periodo durante el cual los beneficios generados por el proyecto superan los costos en que ocurre el mismo.

2.3.7. Retorno sobre la inversión.

Corresponde al rendimiento porcentual que genera una inversión, medido a través de la relación entre los beneficios netos en el periodo (descontando costos) y el tamaño promedio de la inversión durante el periodo considerado.

2.3.8. Estructura de costos de un proyecto o negocio.

Se refiere a la combinación entre los costos fijos y costos variables, para varios niveles de producción.

2.3.9. Valor económico agregado.

Magnitud de valor que agrega un proyecto a una empresa o la gestión de una administración a una empresa.

2.3.10. Diagramas de flujo.

Una de las herramientas más importantes para el análisis financiero de una empresa o de un proyecto son los diagramas de flujo. Los elementos básicos de un diagrama de flujo son:

Escala de tiempo

Representa la unidad de tiempo básica con relación a la cual se van a medir todas las variables cuyo comportamiento depende del tiempo.

Fechas dentro de un proyecto de inversión

La fecha cero (0) corresponde a la fecha actual o de arranque del proyecto, esta fecha corresponde al inicio del primer periodo, mientras que la fecha uno (1) corresponde a la finalización del primer periodo básico de análisis, todos los



ingresos y egresos del proyecto durante el primer periodo básico de análisis, excepto la inversión inicial, se concentran en la fecha uno (1).

La fecha dos (2) corresponde a la fecha de finalización del segundo periodo básico de análisis y así sucesivamente.

Horizonte de tiempo de un proyecto de inversión

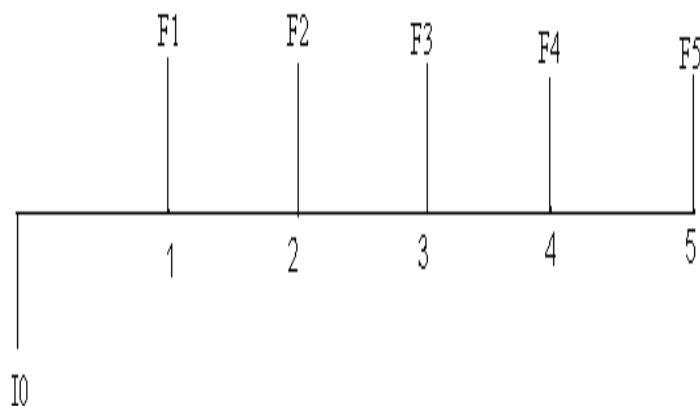
Corresponde al tiempo total dentro del cual se va a analizar el proyecto de inversión; por ejemplo, la vida útil del proyecto de inversión.

Flujo de efectivo

Los INGRESOS o flujos de efectivos positivos (ingresos por ventas, pagos que se reciben por amortización de créditos, intereses obtenidos por una inversión, ingresos por ventas de activos, etc.), se representan con flechas hacia arriba.

En el caso de los EGRESOS o flujos de efectivo negativo (inversiones, pago de intereses por financiamiento, cuotas que se pagan por gastos de operación, etc.) se utilizan flechas hacia abajo. La figura 6. Representa gráficamente un diagrama de flujo.

Figura 6. Diagrama de flujo típico.



FUENTE: MATEMATICAS FINANCIERAS Y EVALUACION DE PROYECTOS. SERRANO RODRIGUEZ. 2004.



Periodo básico de análisis

Corresponde a la unidad de tiempo básica, en la cual se divide todo el horizonte de tiempo de un proyecto de inversión para su análisis. Cuanto más pequeño sea el periodo básico de análisis, más realista será la representación del proyecto pero más compleja su solución numérica.

2.3.11. Tasa interna de oportunidad (TIO)

Es la tasa de interés correspondiente a las alternativas convencionales de inversión que están disponibles para una empresa o un individuo.

En otras palabras, la TIO lo que hace es definir el concepto de equivalencia en el tiempo, es decir, si la TIO para un periodo es igual a “ i ”, disponer de una cantidad “ P ” hoy, será equivalente a disponer de una cantidad “ $P(1+i)$ ” dentro de un periodo determinado.

2.3.12. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la rentabilidad de los fondos que realmente se encuentran invertidos en el proyecto. Con frecuencia se habla de TIR como la rentabilidad del proyecto. En un sentido estricto, esto será cierto si los fondos que libera el proyecto se reinvierten a una tasa de interés igual a esa tasa interna de retorno. Esto es, la rentabilidad final del proyecto durante un cierto periodo depende finalmente de la forma como se invierten los fondos que libera el proyecto en fechas anteriores a su culminación.

2.3.13. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto de un proyecto a una tasa de interés (i), es la ganancia extraordinaria que genera el proyecto dada en valores monetarios actuales, es decir, el VPN refleja el valor de la inversión y el retorno de la misma en términos actuales al tener en cuenta tasas de interés que afectan el proyecto durante su tiempo de ejecución; muestra en dólares actuales todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto. La fórmula que permite realizar una estimación del VPN es:



$$VPN = \frac{S}{(1 + i)^n}$$

Donde:

VPN = Valor presente neto, del flujo de caja realizado.

S = Valor de flujo de caja en un determinado periodo.

I = tasa de interés de capitalización del dinero por periodo.

n = Numero de periodos existentes entre el periodo descontado y el presente.

Para la toma de decisiones con base en el VPN, se debe tener en cuenta que:

- Si el $VPN > 0$, el proyecto es atractivo y debe ser aceptado, implica que el proyecto arroja un beneficio aun después de recuperar el dinero invertido.
- Si el $VPN < 0$, el proyecto no vale la pena ya que hay alternativas de inversión que arrojan mayor beneficio.
- Si el $VPN = 0$, es indiferente realizar el proyecto o escoger otras alternativas.⁵

⁵GARCIA, J.A. Matemáticas Financieras con Ecuaciones de Diferencia Finita. Universidad Externado de Colombia. Segunda Edición. Santafé de Bogotá, 1994.



3. ANALISIS TECNICO

3.1. METODOLOGIA PARA LA IMPLEMENTACION DE LA TECNICA SOIL WASHING

El objetivo fundamental de este capítulo es definir todas las características de esta arena de producción la cual desde el punto de vista técnico, operacional y ambiental responda de forma favorable al implementar la técnica soil washing (ANEXO C), ya que con esta tecnología ATP ingeniería desea:

- Reducir de costos.
- Aumento de manejo.
- Reducir requerimientos de energía en el tratamiento.
- Eliminar emisiones atmosféricas.

Como se nombro anteriormente esta es una técnica que separa el agua y los hidrocarburos mediante procesos químicos y físicos, para llevar a cabo esta técnica en el Campo La Hocha se tiene que realizar una prueba de botellas con el fin de determinar cuál es la solución de lavado más eficiente para obtener una arena libre de crudo y demás contaminantes, previo a esto se tiene que caracterizar la arena de producción, con el objetivo de establecer todas sus propiedades, principalmente el porcentaje de limos, arcillas, ya que se depende de este porcentaje porque es una limitante del proceso.

Figura 7. Arena tratada con la técnica soil washing.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



Además de lo anterior, se ha recopilado información acerca de la producción de arena del campo La Hocha, la cual se requiere para establecer los parámetros característicos, con el fin de desarrollar la planta de tratamiento.

Por otra parte, se pretende demostrar que la técnica soil washing, arroja menos gastos en cuanto, mantenimiento y operación en comparación con la unidad de desorción térmica (UDT).

Todo lo anterior se realiza con el fin de obtener una utilidad mucho mayor teniendo de este modo una posibilidad de negocio que haría atractiva la posibilidad de implementar la técnica soil washing como único proceso de manejo de la arena de producción del campo La Hocha.

3.2. TOMA DE MUESTRAS

Se tomo muestras de arena en el CPF (Facilidades Centrales de Producción), libre de inyección de productos químicos y en las locaciones HOCHA-1, HOCHA-2, HOCHA-5, HOCHA-6, HOCHA-7, HOCHA-13 y HOCHA-17.

Las muestras son tomadas en recipientes por separado donde se drena el agua libre y posteriormente se prepara una sola muestra proporcionalmente representativa de acuerdo con la producción del campo.

Figura 8. Arena de producción del campo LA HOCHA.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

La arena de producción del campo LA HOCHA contiene un 16% hidrocarburos, como se muestra a continuación:



Tabla 5. Composición de la arena de producción del campo LA HOCHA.

COMPONENTE	PORCENTAJE EN FRACCIÓN
Hidrocarburos	0.16
Agua	0.30
Arena	0.54

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA DE PRODUCCION

3.3.1. ARENA DE PRODUCCIÓN

A una muestra de arena, se le evaluaron sus parámetros físico-químicos, granulométricos y mineralógicos obteniéndose los datos de caracterización que se detallan a continuación:

- **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA***

Tabla 6. Caracterización de la arena de producción del campo LA HOCHA.

PARÁMETRO	VALOR
Hidrocarburos totales	160000 ppm
pH	7.3
conductividad eléctrica	0.6 Mohs/cm
capacidad de intercambio catiónico	21.4 mEq/Kg
Carbono orgánico	0.10 %
Nitrógeno total	0.01%
Fosforo	60 ppm
Magnesio	636 ppm
Potasio	30 ppm
Arena	62%
Limo	12%
Arcilla	26%
Permeabilidad	extremadamente rápida

* Reportado por Antek s.a. "Laboratorio De Análisis Ambiental y Geofísica. BOGOTA D.C.



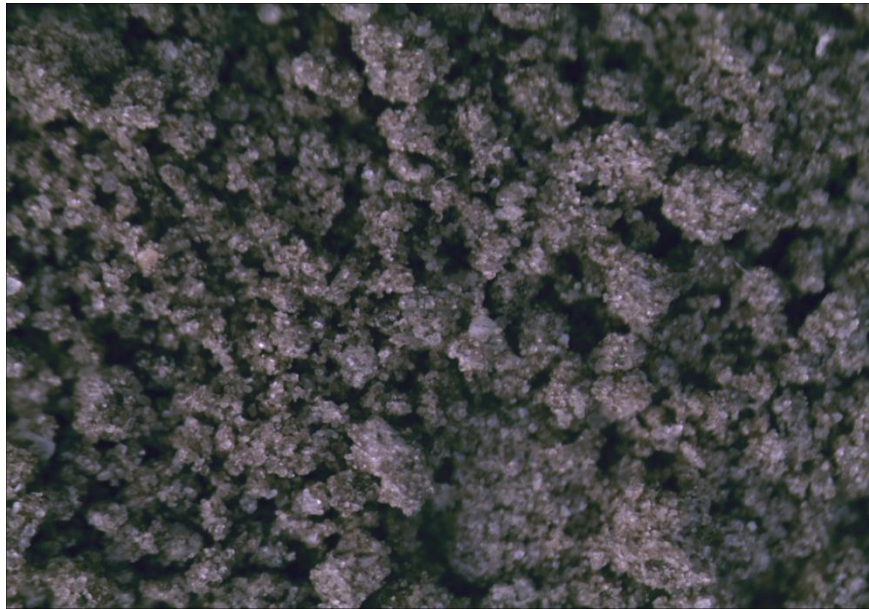
En síntesis, la arena de producción se caracteriza por poseer un pH neutro (7.3), tener una textura arenosa, una capacidad de intercambio catiónico (21.4 mEq/kg), arena (62%), limo (12), arcilla (26), características favorables para la implementación la técnica soil washing.

- **CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA Y MINERALÓGICA**

La caracterización granulométrica y mineralógica se realizó en la UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, bajo la orientación del profesor Roberto Vargas Cuervo, director del laboratorio de rocas, el procedimiento se describe en el (ANEXO B), y los resultados se muestran a continuación:

- **GENERALIDADES:** ripio granular de color gris claro a blancuzco, conformado por cuarzo, limo y minerales pesados.

Figura 9. Foto de Arena de producción del campo LA HOCHA.



FUENTE: laboratorio de rocas, Universidad Surcolombiana, Roberto Vargas Cuervo

- **TEXTURA:** texturalmente la muestra está compuesta por granos de tamaños medios (10%) finos y muy finos (85%) de formas sub-angulares a sub-redondeadas.



➤ **COMPOSICIÓN:**

Tabla 7. Composición mineralógica de la arena de producción del campo LA HOCHA.

FRACCION NO METALICA	FRACCION METALICA
Cuarzo de grano medio (9%)	Fracción Magnética (0%)
Cuarzo de grano fino (85%)	Fracción No Magnética (1%)

FUENTE: laboratorio de rocas, Universidad Surcolombiana, Roberto Vargas Cuervo

➤ **FRACCIÓN NO METÁLICA:**

CUARZO: (94%)

Se presenta en dos fracciones:

CUARZO DE GRANO MEDIO: (9%)

Se presenta a manera de granos de aspecto hialino, translúcido, de forma sub-redondeadas localmente se observa su fractura concoidea.

CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO :(85%)

Se observan cristales de color blanco lechoso a localmente translucido, presentan fractura concoidea y se encuentran impregnados de hidrocarburos dando una tonalidad oscura al cristal. Localmente se observa astillamiento producto de la acción mecánica de los equipos de producción.

LIMO: (5%)

Se presentan partículas muy finas de tamaño limo de color gris claro. Puede ser producto de la matriz de las areniscas de la formación.

➤ **FRACCIÓN METÁLICA:** no hay

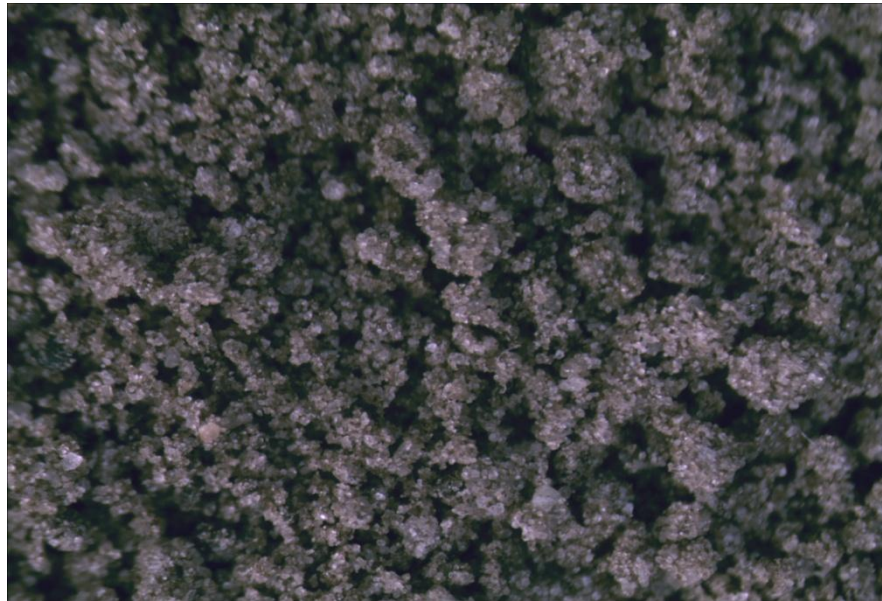
➤ **FRACCIÓN NO MAGNETICA:**

OXIDOS DE HIERRO: (1%)

Se presenta a manera de cuerpos cristalinos de aspecto terroso de coloraciones gris oscuro a negro pueden considerarse como minerales pesados asociados a las areniscas (ilmenita, oligisto) (Fm).



Figura 10. Composición granulométrica de la Arena de producción del campo LA HOCHA.



FUENTE: laboratorio de rocas, Universidad Surcolombiana, Roberto Vargas Cuervo

3.4. PRUEBAS DE CAMPO

Después de efectuar la respectiva caracterización, se realizaron pruebas a las arenas de producción del Campo La Hocha con el fin de seleccionar la mejor solución de lavado.

Dada la importancia que tiene para ATP INGENIERIA S.A.S, obtener una arena limpia que cumpla con la normatividad Colombiana e internacional; y parámetros indicados en el Protocolo 29B de Louisiana, brindar un servicio técnico y profesional enmarcado en la calidad y eficiencia; se hace necesario identificar y evaluar dichos parámetros y así encontrar el tratamiento químico óptimo para la separación de arena – agua – aceite.

La técnica de laboratorio identificada como “Pruebas de Botella”, es la más usada en la industria de los hidrocarburos a nivel mundial. Dentro de las razones principales para su uso están la efectividad, rapidez y economía.

La prueba que se realizó fue algo similar a las pruebas de botellas, ya que estas son para el crudo y son con el fin de encontrar el mejor químico, en el caso del



solido son para examinar la mejor solución de lavado (químico más agua), ya que esta es una técnica que utiliza una solución para el lavado.

Para la selección de la solución de lavado se mezclaron diferentes químicos en diferentes relaciones, entre los que se evaluaron están; rompedores, surfactantes, dispersantes de parafinas y dispersantes de asfáltenos. Para el lavado de suelos, el agua de lavado debe ser mayor que la arena de producción, en este caso se estudiaron las relaciones 60/40 y 70/30, de agua y arena respectivamente.

Para realizar esta prueba los químicos fueron suministrados por la compañía Clariant de Colombia, la cual tiene un convenio con la empresa operadora del campo HOCOL S.A.

3.4.1. PROCEDIMIENTO PARA ENCONTRAR LA SOLUCIÓN DE LAVADO

El procedimiento llevado a cabo para las pruebas se describe a continuación:

1. Reconocimiento Del Sistema:

Siempre se debe identificar todas las variables del proceso y condiciones operativas de los sistemas:

- Tipo de crudo (°API, viscosidad).
- Temperaturas del sistema.
- Tiempos de residencia en el tanque.
- Producción de fluidos.
- Sistema de producción (Flujo natural, Bombeo mecánico, Electrosumergible, PCP, Hidráulico).
- Sistema de remediación usado actualmente.
- Diagrama de flujo del sistema.
- Presencia de Parafinas y/o Asfáltenos.



- Necesidad del cliente (Bajar costos, Disminuir tiempo, mejorar calidad).
- límites permisibles de BS&W.
- Máximos ppm de aceite en el agua separada.

2. Selección de puntos de muestreo de la mezcla:

Este es uno de los pasos más importantes para lograr una prueba exitosa, Una buena muestra debe reunir los siguientes requisitos:

- Representativa del sistema.
- Compuesta (mezcla).
- Consistente con la producción del campo.
- Libre de químicos (demulsificante, inhibidor de corrosión, inhibidor de parafinas).
- Libre de contaminantes ajenos al sistema.

A veces, es imposible cumplir todos estos requisitos y algunos deben ser sacrificados. Lo más importante es que la mezcla esté libre de demulsificante y contaminantes.

3. Se caracteriza la Muestra, Identificando el TPH inicial de la arena.

4. Dosificación de los productos:

Se usan los productos a la concentración comercial de venta (generalmente 50%), pues las disoluciones cambian el comportamiento de los productos. Es imprescindible que en todos los ensayos se incluya un blanco para asegurarse la estabilidad de la mezcla. Las dosis empleadas pueden variar entre 500 y 2500 ppm y se utiliza agua industrial para la disolución.

Figura 11. Prueba de botellas: agua más químicos.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

5. Atemperación de la mezcla:

Se colocan todas las botellas con mezcla en el baño maría para obtener la temperatura de operación favorable, o se pueden realizar de acuerdo a lo solicitado por el cliente.

6. Se llenan las botellas de acuerdo a la relación (agua/arena) establecida.

Figura 12. Prueba de botellas: arena más solución de lavado.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



7. Agitación:

Se agitan todas las botellas con 250 strokes por 15 minutos con un desplazamiento vertical aproximado de 1 pie para mezclar el producto con la mezcla a tratar.

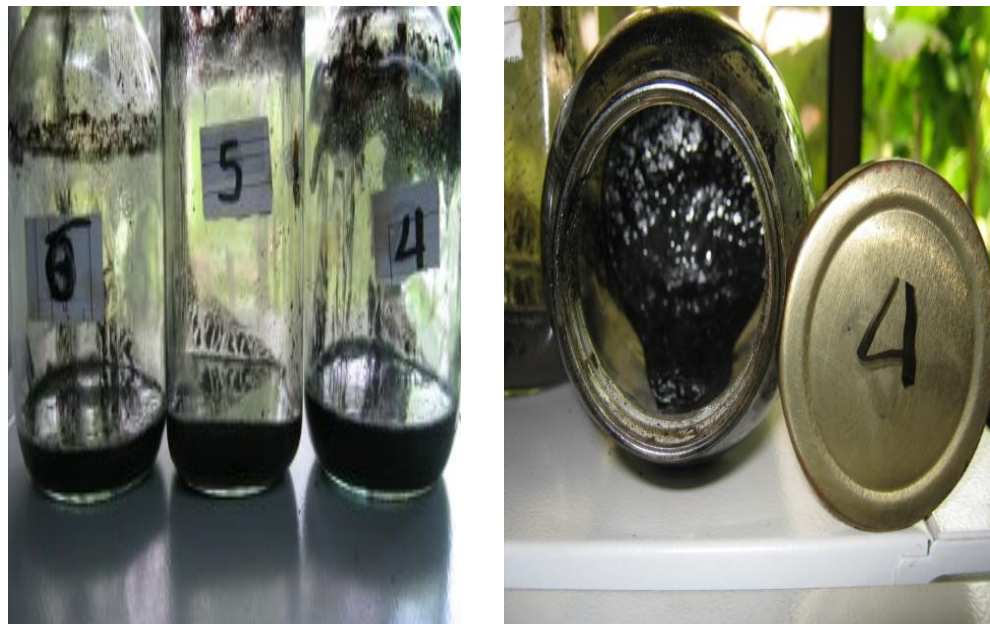
8. “Top Grind”:

Una vez agitadas las botellas, se dejan en reposo por un tiempo de 10 min, con el fin de que las fases se separen, después se realizan pruebas de Thief de BSW a la nata aceitosa, tomando una muestra de la superficie de la nata aceitosa, se deben seleccionar productos que den mejor secado (menor BSW).

9. Lectura de TPH (Hidrocarburos totales de petróleo) a la arena:

Seguidamente se retira la nata aceitosa y el agua libre de las botellas, a la arena se le realiza la prueba de TPH, se deben seleccionar productos que den mejor lavado ($TPH \leq 1\%$).

Figura 13. Prueba de botellas: arena lavada con las diferentes disoluciones.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



A continuación se muestran los resultados de la prueba realizada con los diferentes químicos, En este documento solo se muestran los resultados de las pruebas realizadas con la relación de disolución 60/40, ya que los resultados con la relación de disolución 70/30 estuvieron muy lejos de los parámetros requeridos para la elección.



Tabla 8. Prueba de solución de lavado con rompedores.

Productos	Prueba de Campo Unidad de Optimización de Crudo Campo la Hocha					
	Disolución (Agua/Arena)	Dosis (PPM)	Temperatura (°C)	Tiempo de Operación (min)	TPH (%)	% BSW (Nata Aceitosa)
ROMPEDOR 1	60/40	500	25	15	7	21
	60/40	1000	25	15	4	18
	60/40	1200	25	15	3	16
	60/40	1500	25	15	2	10
	60/40	1800	25	15	4	13
	60/40	2000	25	15	5	19
	60/40	2500	25	15	9	25
ROMPEDOR 2	60/40	500	25	15	8	20
	60/40	1000	25	15	3	18
	60/40	1200	25	15	2	11
	60/40	1500	25	15	2	9
	60/40	1800	25	15	3	17
	60/40	2000	25	15	5	23
	60/40	2500	25	15	10	30
ROMPEDOR 3	60/40	500	25	15	6	19
	60/40	1000	25	15	3	12
	60/40	1200	25	15	3	10
	60/40	1500	25	15	4	11
	60/40	1800	25	15	5	16
	60/40	2000	25	15	8	19
	60/40	2500	25	15	11	26
BLANCO	60/40	0	25	15	9	21



Tabla 9. Prueba de solución de lavado con surfactantes.

Productos	Prueba de Campo Unidad de Optimización de Crudo Campo la Hocha					
	Disolución (Agua/Arena)	Dosis (PPM)	Temperatura (°C)	Tiempo de Operación (min)	TPH (%)	% BSW (Nata Aceitosa)
SURFACTANTE 4	60/40	500	25	15	5	15
	60/40	1000	25	15	3	11
	60/40	1200	25	15	1	7
	60/40	1500	25	15	2	9
	60/40	1800	25	15	4	13
	60/40	2000	25	15	7	16
	60/40	2500	25	15	11	20
SURFACTANTE 5	60/40	500	25	15	5	22
	60/40	1000	25	15	4	21
	60/40	1200	25	15	2	16
	60/40	1500	25	15	1	9
	60/40	1800	25	15	1	7
	60/40	2000	25	15	4	15
	60/40	2500	25	15	8	23
SURFACTANTE 6	60/40	500	25	15	4	20
	60/40	1000	25	15	2	18
	60/40	1200	25	15	2	12
	60/40	1500	25	15	1	10
	60/40	1800	25	15	1	8
	60/40	2000	25	15	4	14
	60/40	2500	25	15	7	23
PRODUCTO SELECCIONADO. Se bautizo con el nombre de ATP 20-10, (políticas de la empresa)						



Tabla 10. Prueba de solución de lavado con dispersantes de parafinas.

Productos	Prueba de Campo Unidad de Optimización de Crudo Campo la Hocha					
	Disolución (Agua/Arena)	Dosis (PPM)	Temperatura (°C)	Tiempo de Operación (min)	TPH (%)	% BSW (Nata Aceitosa)
DISPERSANTE DE PARAFINA 7	60/40	500	25	15	8	23
	60/40	1000	25	15	5	21
	60/40	1200	25	15	2	19
	60/40	1500	25	15	1	12
	60/40	1800	25	15	1	10
	60/40	2000	25	15	4	18
	60/40	2500	25	15	9	26
DISPERSANTE DE PARAFINA 8	60/40	500	25	15	10	23
	60/40	1000	25	15	6	20
	60/40	1200	25	15	3	18
	60/40	1500	25	15	2	11
	60/40	1800	25	15	1	9
	60/40	2000	25	15	4	15
	60/40	2500	25	15	5	25
DISPERSANTE DE PARAFINA 9	60/40	500	25	15	5	20
	60/40	1000	25	15	3	17
	60/40	1200	25	15	2	13
	60/40	1500	25	15	1	10
	60/40	1800	25	15	2	9
	60/40	2000	25	15	3	15
	60/40	2500	25	15	6	27

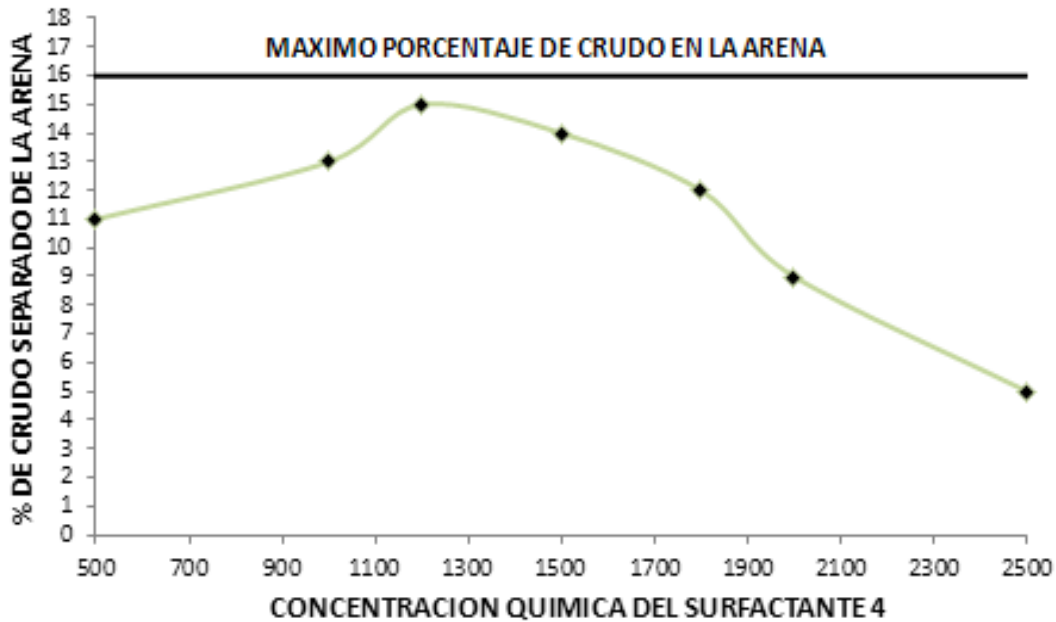


Tabla 11. Prueba de solución de lavado con dispersantes de asfáltenos.

Productos	Prueba de Campo Unidad de Optimización de Crudo Campo la Hocha					
	Disolución (Agua/Arena)	Dosis (PPM)	Temperatura (°C)	Tiempo de Operación (min)	TPH (%)	% BSW (NATA ACEITOSA)
DISPERSANTE DE ASFALTENOS 10	60/40	500	25	15	6	20
	60/40	1000	25	15	4	17
	60/40	1200	25	15	2	12
	60/40	1500	25	15	1	9
	60/40	1800	25	15	1	7
	60/40	2000	25	15	3	15
	60/40	2500	25	15	7	20
DISPERSANTE DE ASFALTENOS 11	60/40	500	25	15	5	22
	60/40	1000	25	15	3	21
	60/40	1200	25	15	2	18
	60/40	1500	25	15	1	11
	60/40	1800	25	15	2	13
	60/40	2000	25	15	4	17
	60/40	2500	25	15	9	23
DISPERSANTE DE ASFALTENOS 12	60/40	500	25	15	8	21
	60/40	1000	25	15	5	17
	60/40	1200	25	15	3	15
	60/40	1500	25	15	2	12
	60/40	1800	25	15	1	9
	60/40	2000	25	15	4	16
	60/40	2500	25	15	9	21

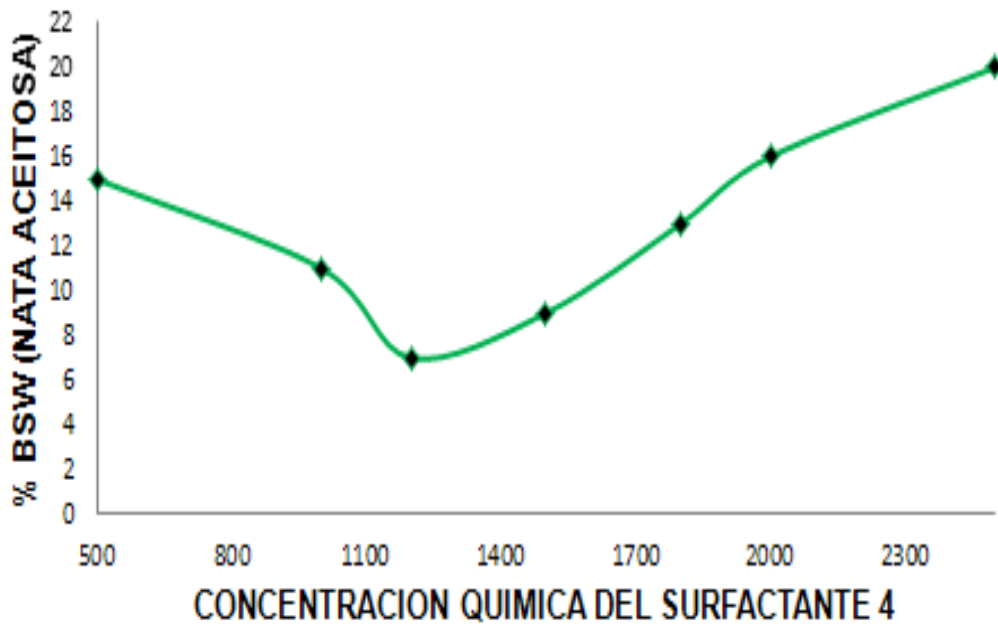


Grafico 2. Curva de eficiencia del surfactante 4.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

Grafico 3. BSW (nata aceitosa) vs. Concentración del surfactante 4.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



3.5. PLANTA “UNIDAD DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”

Después de encontrar la solución de lavado, se inicio la fase del diseño de la planta de tratamiento por los ingenieros de la empresa ATP INGENIERIA, la cual se construyó teniendo en cuenta los componentes básicos que debe tener una planta de tratamiento soil washing descritos en el capitulo dos, La Unidad de Optimización de crudo es una planta de lavado (remediación), diseñada para separar y disponer el crudo, agua y residuos sólidos que contenga inicialmente el fluido a tratar, en este caso arena de producción.

Para el diseño y desarrollo de la planta de optimización de crudo la empresa ATP INGENIERA tuvo en cuenta las siguientes variables:

- Volumen de arena producida por el campo.
- Volumen de agua que necesita el proceso.
- Volumen de crudo recuperado en el proceso.

3.5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO:

Sistema de Alimentación: para la almacenar las arenas de producción se instalaron dos tanques, los cuales se encuentran enterrados:

- El de mayor capacidad (250 bls), cuya función es recibir la arena que llega a través de una línea de 3” del CPF, la cual se opera a través de una válvula que se abre cada vez que el cliente indique que habrá suministro.

Figura 14. Tanque almacenamiento de arenas del CPF.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



- El de menor capacidad (130 bls), cuya función es recibir las arenas que llegan en volquetas provenientes de otros procesos del campo.

Figura 15. Tanque de recibo de arenas de baterías.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

Sistema de Separación: para el proceso se instalaron 3 tanques de proceso, 1 skimmer y 1 tanque vertical, los cuales se describen a continuación:

- **Tanques de proceso:** con capacidad para 15 bls cada uno, es allí donde sucede la separación de las fases, estos tanques son de forma cónica para que las arenas se decanten en el fondo después de la agitación.

Cada tanque posee una línea de 2" para el suministro de agua, otra de 1" para la Inyección de química, cuatro válvulas para suministro de aire con cheques 1".

También posee un Sistema hermético de evacuación de arenas con desplazamiento horizontal con palanca, una pasarela para acceso operativo y una rampa para cargue de tanques.

Estos tanques están conectados con el tanque de recibo de arenas tratadas mediante unos canales que permiten deslizar las arenas tratadas mediante la fuerza de gravedad. Se encuentran situados a una altura correspondiente, para cuando ocurra la agitación, tengan un ligero movimiento.

Figura 16. Tanques cónicos de proceso.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

Figura 17. Pasarela de los Tanques cónicos de proceso.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

- **Skimmer:** este tanque tiene una capacidad de 100 bls, contiene tres compartimiento, 2 laterales de 30 bls y uno en el centro de 40 bls, se instalo para el almacenar el crudo y el agua, provenientes del desnate de los tanques de proceso, es allí donde por medio de la diferencia de densidades de los fluidos se separan, de allí el agua se direcciona a la unidad de clarificación y el crudo al tanque de almacenamiento de crudo.



Figura 18. Skimmer.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

- **Tanque vertical:** este tanque con capacidad de 200 bls tiene la función de almacenar el crudo recuperado después del proceso. Con entrada de fluido proveniente del desnate skimmer en la parte superior del tanque en cuello de ganso de tubería de 2", salida con válvula de 3", tiene 3 puntos de muestreo de 1" a diferentes alturas.

Figura 19. Tanque de almacenamiento de crudo.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



Sistema de almacenamiento de suelo tratado: para el almacenamiento de las arenas después de lavadas se instaló un tanque:

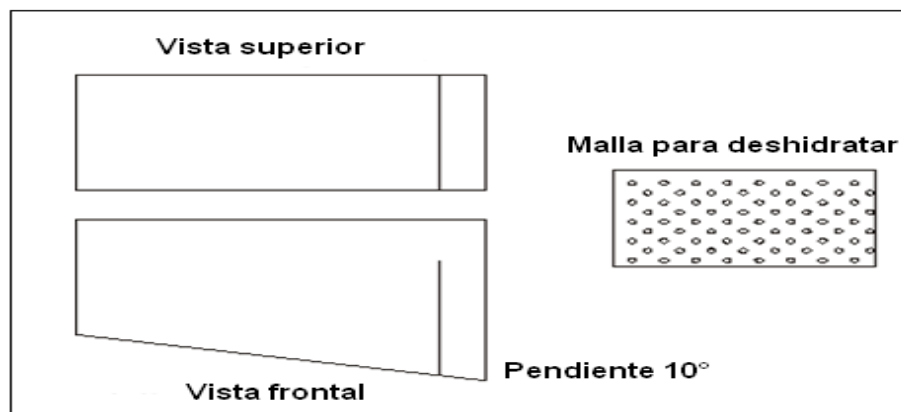
- **Tanque almacenamiento de arenas lavadas:** este tanque tiene una capacidad para 130 bls y su función es almacenar las arenas de producción después de ser lavadas, contiene una lámina de 3/16" perforada para ayudar a deshidratar la arena lavada, de allí se toman muestras con el fin de realizar los correspondientes análisis, para saber si esta arena cumple con las especificaciones de disposición.

Figura 20. Tanque almacenamiento de arenas lavadas.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

Figura 21. Vistas del tanque almacenamiento de arenas lavadas.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



Sistema de tratamiento del agua de lavado: para este sistema se instaló una unidad clarificadora, la cual se describe a continuación:

- **Unidad de Clarificación:** esta unidad tiene una capacidad de 188 bls, contiene 3 compartimientos:
 1. **TANQUE DE POLIMERO:** un compartimiento de 50 barriles de capacidad. Contiene un motor reductor TRANSTECNO de 5 Hp, un agitador de alta eficiencia, en esta sección es donde se aplica el Biocida, los coagulantes y floculantes para la clarificar el agua que se va a reutilizar en el proceso.
 2. **TANQUE SEDIMENTADOR:** compartimiento de 54 barriles de capacidad, en esta sección el agua se deja en reposo, para que se decanten los sólidos y contaminantes provenientes del proceso.
 3. **TANQUE DE AGUA:** Compartimiento de 84 barriles de capacidad, en esta sección es donde el agua está a condiciones para ser reutilizada en el proceso.

La unidad de clarificación contiene los siguientes accesorios: Agitador estático en ángulo de 1/4"x1/4", Línea de succión y descarga, Línea de reboce de polímero, dos bombas wilden M15, escalera, barandas abatibles, soporte para carpa, carpa.

Figura 22. Unidad de Clarificación.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



Sistema de apoyo de la planta: en este sistema se instalaron 2 compresores estacionarios, una planta eléctrica, un Container tipo laboratorio. Además se cuenta con 2 bombas wilden, una retroexcavadora y una volqueta sellada.

- **Compresor estacionario:** tiene la función de suministrar el aire a presión. Entre sus principales características están:

El diseño de gabinete del compresor reduce el ruido y el espacio, mientras provee fácil acceso para el mantenimiento. Tiene una cubierta robusta con pintura electrostática que brinda un acabado duradero.

El aislador acústico mantiene el nivel sonoro a 67 dB. Cuenta con soportes anti-vibratorios internos y externos que eliminan la carga sobre las tuberías y conexiones eléctricas. Posee un sistema de enfriamiento de fluido para enfriar, limpiar y lubricar la unidad de compresión.

Tabla 12. Especificaciones de los compresores estacionarios.

Presión operacional (psig)	Capacidad a presión operacional (cfm)	Motor (hp)	Dimensiones (pulgadas)	Peso (lb)
125	124	35	44 1/2 x 32 5/8 x 47 3/4	926
160	104			
217	83			

FUENTE: ATP INGENIERIA S.A.S.

Figura 23. Compresor estacionario.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



- **Planta eléctrica diesel hy power cummins / stamford insonora:** es la encargada de generar y suministrar la energía eléctrica a la planta entre sus especificaciones están:

Tabla 13. Especificaciones de la Planta eléctrica diesel hy power cummins / stamford insonora.

ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Potencia de emergencia asnm	200 kW / 250 kva
Potencia continua	182 kW / 228 kva
Regulación de voltaje	(+/- 1.0%), variación del motor del 4%
Distorsión de la forma de onda	Menor que 1.5% en vacío y menor que el 5% con cargas balanceadas
Variación de voltaje	Entre estado frío y estado caliente <= +/- 2%.
Dimensiones	Longitud: 2680 mm, Ancho: 860 mm, Altura: 1600 mm
Peso	Peso neto: 1780 kg

FUENTE: ATP INGENIERIA S.A.S.

Figura 24. Planta eléctrica diesel hy power cummins / stamford insonora.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



- **Bomba wilden m15:** son las encargadas del movimiento de los fluidos en la planta, su funcionamiento se describe a continuación:

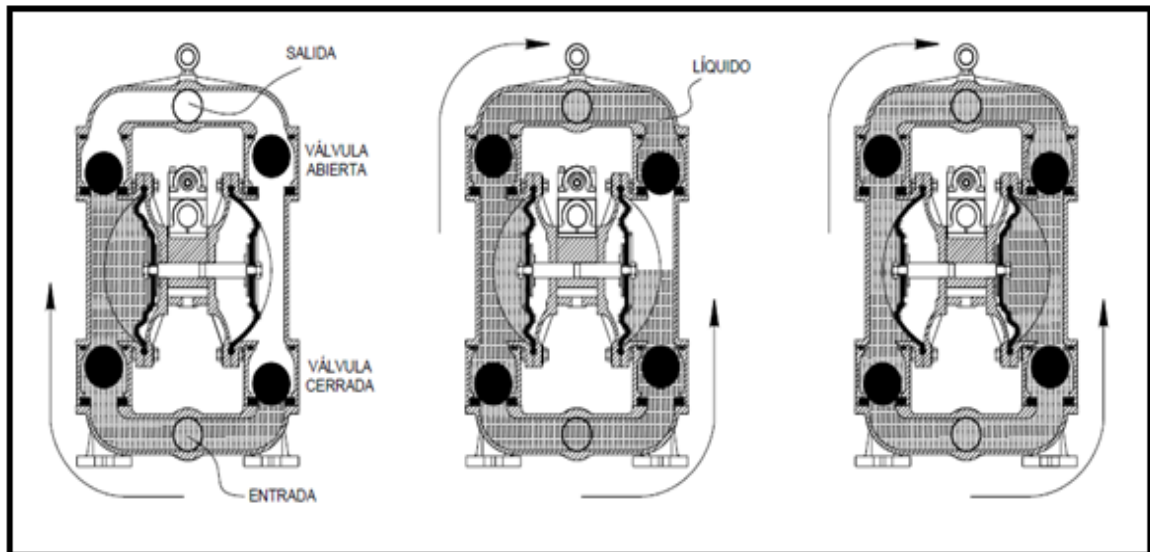
El funcionamiento de las bombas WILDEN está basado fundamentalmente en la acción conjunta de cuatro elementos: un par de diafragmas, un eje que los une, una válvula distribuidora de aire y cuatro válvulas de esfera.

El movimiento alternativo de los diafragmas genera la succión y la impulsión del producto a través de las válvulas. Este movimiento es producido por aire comprimido, el cual es distribuido a un diafragma u otro por la válvula de aire.

La presión de succión máxima teórica del equipo es de 101,3 KPa, llegándose en la práctica a valores cercanos a los 70 KPa (aproximadamente 7 m de columna de agua).

En cambio, la presión que impulsa al producto, es directamente la presión de aire entregada, ya que líquido y aire están solamente separados por el diafragma. Las bombas admiten una presión máxima de aire de 600 u 800 KPa (según el modelo), lo que equivale a elevar una columna de agua a 60 u 80 m.

Figura 25. Bomba wilden m15.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



- **Container tipo laboratorio:** Container de 6 mt de largo por 2,20 de ancho y 2 mt de alto, equipado con unidad sanitaria, oficina, comedia eléctrica, gabinetes y equipo contra incendios.

Figura 26. Container tipo laboratorio.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

Sistema directo de control: este sistema cuenta con los diferentes equipos de laboratorio, para estar monitoreando las características de los fluidos del proceso, los cuales se describen a continuación:

- **Retorta:** es un equipo que a través de un proceso de destilado permite realizar las pruebas de: TPH y % de Humedad.
- **Espectrofotómetro:** este equipo mide a través de la función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fométrica relativos a dos haces de radiaciones, que permite la realización de las pruebas de: Total Sólidos Suspendidos, Grasas y Aceites; Turbidez.
- **Centrifuga:** una centrifuga es una máquina que pone en rotación una muestra para separar por fuerza centrífuga sus componentes o fases (generalmente una sólida y una líquida), en función de su densidad. Aquí se realizan las pruebas de: BSW.



- **Bureta:** se utiliza para dosificar los productos químicos necesarios para determinar la concentración de NaCl en el agua.
- **Multiparámetros:** es un equipo que se utiliza para hacer pH, Total de Sólidos Suspendidos y conductividad.
- **Equipo de Jarras:** se utiliza para determinar las dosificaciones que se requieren de cuagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas.



3.6. PROCEDIMIENTO “UNIDAD DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”

El procedimiento que se lleva a cabo para el lavado de arenas y la recuperación del aceite residual como subproducto del proceso se describe a continuación:

1. *Recepción de Arenas de producción:*

Para esta etapa del proceso se disponen de dos tanques enterrados para el recibo de las arenas:

- El de mayor capacidad (250 Bls) recibe la arena que llega a través de una línea de 3”, que proviene de los tanques de lavado del CPF.
- El otro tanque con capacidad de (130 Bls) recibirá las arenas que llegan en volquetas provenientes de otros procesos del campo.

Estas arenas son caracterizadas para verificar la concentración de hidrocarburos presente (TPH), humedad, etc.

Figura 27. Extracción de arenas del tanque desarenador.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



2. Preparación de los tanques de proceso:

Esta etapa consta de tres fases:

La primera fase es cuando se abren las válvulas de suministro de agua (6 barriles), para el llenado de los tanques. Esta agua proviene del tanque de agua industrial del cliente. La duración del llenado es de 5 minutos aprox.

La segunda fase es cuando se realiza el dosificado de la química (ATP 20-10), a 1200 ppm, la cual se realiza mediante la apertura de la válvula cuya duración es de 2 minutos aprox.

Figura 28. Químico ATP 20-10.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

La tercera fase consiste de un proceso de agitación del agua con la química para homogenizarla durante 5 minutos aprox. Esta agitación se produce a través del aire comprimido suministrado por los compresores (90 psi).

3. Cargue de Tanques de Proceso:

Esta etapa Consiste en el suministro de arena a los tanques de proceso a través de la pala de la retroexcavadora, se retira la arena del tanque de recibo y la ubica en la tolva de cada uno de los tanques de proceso.



A cada tanque se le agregan 4 barriles de arena, teniendo en cuenta que la capacidad de la pala de la retroexcavadora es de 1 barril. El proceso de llenado de los tanques tiene una duración aprox. de 10 minutos por tanque.

4. Homogenización y/o Lavado de Arenas:

Una vez Finalizado el cargue, se cierra la tapa de los tanques para continuar con el proceso de homogenización y/o lavado de arenas el cual es producido por el suministro de aire a 120 psi durante 15 minutos aprox.

5. Sedimentación:

En esta etapa se detiene la agitación mediante el corte de aire por cierre de válvulas y se da un tiempo de reposo aprox. de 10 minutos, con lo cual se busca separar las tres fases: Arena, agua y aceite.

6. Desnatado de la fase aceitosa:

En esta etapa se aplica aire a presión (30 PSI) con una manguera de 1" el cual realiza un barrido de la nata aceitosa hacia la manguera de vacío, el cual permite el retiro de la misma. Esta nata aceitosa es direccionada hacia el skimmer.

7. Desnatado de la fase acuosa:

Esta etapa consiste en la evacuación del agua hacia el skimmer a través de la apertura de las válvulas de 2" que tiene cada tanque de proceso. Una vez llegada el agua al skimmer, se realiza el desnatado y separación de la misma, para pasarla a la unidad clarificadora mediante un trasiego realizado con electrobomba.

8. Evacuación de la fase solida:

En esta etapa se evacua la arena tratada hacia el tanque de arenas lavadas, mediante la apertura de las válvulas de evacuación de los tanques de proceso, las cuales se conectan con el tanque mediante unos canales que permiten deslizar las arenas mediante la fuerza de gravedad. Una vez allí las arenas, éstas son caracterizadas, para determinar si están dentro de las especificaciones para disposición final.

- TPH: $< / = 1 \%$



- Humedad: $\leq 40\%$

De lo contrario éstas deben ser sometidas nuevamente al proceso de lavado. Si la arena está bajo los parámetros especificados, ésta es cargada por la retroexcavadora en una volqueta sellada para ser transportada hasta el lugar donde se depositan los residuos producidos por el campo La Hocha (zodme), donde se ubica sobre una geomembrana, para que mediante un proceso térmico ambiental se evapore la humedad y pueda ser dispuesta finalmente.

9. Tratamiento de Aguas:

Tan pronto llega el agua a la unidad clarificadora, se le realiza una caracterización para determinar si es factible su reutilización. En caso afirmativo, se aplican coagulantes y floculantes para su clarificación, previa prueba de jarras.

Cuando el resultado de la caracterización del agua está entre los siguientes parámetros:

- Cloruros: ≥ 3000 ppm
- PH: $< 6,5$ y/o > 8
- Grasas y Aceites: ≥ 10 ppm
- Sólidos Suspendidos: > 50 ppm

Ésta se redirecciona hacia la planta de agua del CPF.

Los parámetros para utilizar el agua en el proceso:

- Cloruros: < 3000 ppm.
- PH: Entre 6,5 y 8.
- Grasas y Aceites: ≤ 10 ppm.
- Sólidos Suspendidos: < 50 ppm.



El agua que se utiliza en el proceso proviene del tanque de almacenamiento de agua industrial del CPF, Lo ideal es que el agua se recircule máximo 4 veces antes de enviarse al CPF.

Tabla 14. Condiciones del agua de proceso en comparación con el agua de producción.

PARÁMETRO	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA		
	Agua industrial utilizada en el proceso	Agua resultante del proceso de lavado de arenas	Agua de producción que ingresa al skimming
Cloruros	< 900 ppm	3.500 ppm	14.500 ppm
pH	7	6.80	7.72
O/W	0 ppm	20 ppm	150 ppm
SST	20 ppm	60 ppm	310 ppm
Turbiedad	2 FTU	40 FTU	1.500 FTU

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

De acuerdo con la tabla anterior los parámetros del agua que sale del proceso están muy por debajo, en comparación con los del agua de producción del campo, entonces esta agua de proceso se puede tratar sin complicación alguna en el CPF igual que el agua de producción.

10. Tratamiento del Crudo:

El crudo recuperado del proceso es almacenado temporalmente en el área, en un tanque de 200 Barriles donde es sometido a deshidratación mecánica a través de drenaje. Cuando se alcanza un volumen no mayor a 180 Barriles, este es direccionado por una línea de 3" al Gumbarel de 500 bbl que se encuentra situado en el CPF del campo, donde se le aplica el mismo proceso químico y físico que se le aplica al crudo producido en el campo, hasta ser llevado a las siguientes especificaciones de aceptabilidad:

- BSW: $\leq 1\%$.
- Salinidad: ≤ 70 PTB.



A continuación se muestra el tiempo que se requiere en la planta de optimización de crudo para el tratamiento de un bache (un bache = 12 barriles de arena de producción), cargando los tanques de proceso con cuatro barriles de arena cada uno:

Tabla 15. Tiempo de proceso para el tratamiento de un bache.

ETAPA DE PROCESO	DURACION EN MINUTOS
Preparación de los tanques de proceso	12
Cargue de tanques de proceso	10
Homogenización y/o lavado de arenas	15
Sedimentación	10
Evacuación de las fases	13
Total	60

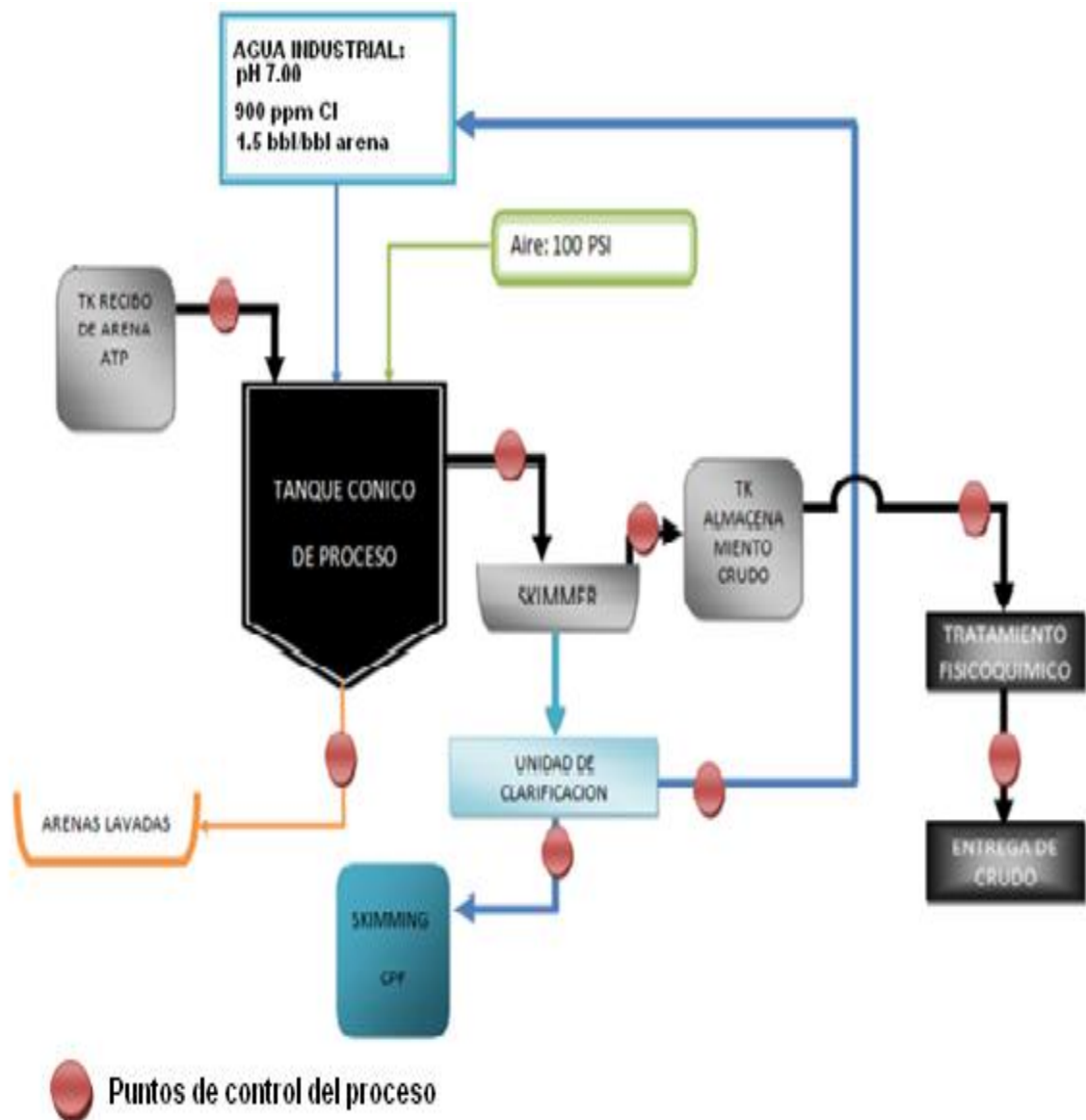
FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



3.7. GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)

Como se dijo anteriormente la Unidad de Optimización de Crudo es un planta de remediación de suelos, y como tal se debe tener un control estricto del proceso, desde su entrada hasta sus salidas, con el fin de llevar a cabo el tratamiento con total éxito.

Figura 29. Puntos de control en la Unidad de Optimización de Crudo.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



Tabla 16. Puntos de control en la Unidad de Optimización de Crudo.

PUNTO DE MUESTREO	FRECUENCIA DE MUESTREO	PARÁMETROS
Arenas		
Entrada arena producción a tanques cónicos	Cada bache	Retorta
Descarga de arena lavada	Cada bache	Retorta
ZODME	Trimestral	Protocolo de Louisiana 29 B
Fase acuosa		
Agua industrial	Cada 100 bbl	pH, cloruros, turbiedad, SST, %O/W
Efluente skimmer	Cada 60 bbl	pH, cloruros, turbiedad, SST, %O/W; prueba de jarras
Efluente unidad de clarificación	Cada 200 bbl	pH, cloruros, turbiedad, SST, %O/W
Fase aceitosa		
Tanque de almacenamiento	Cada 100 bbl	BSW, salinidad

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

Además de lo anterior se también se debe llevar un control a los componentes del sistema entre los cuales están:

- Mantenimiento preventivo de equipos y accesorios
- Inspección de corrosión de tanques



4. ANALISIS ECONOMICO

Antes de realizar un proyecto de inversión es necesario evaluarlo financieramente para examinar si es bueno realizar el proyecto o no. Por ello el presente capítulo tiene como finalidad demostrar la viabilidad y rentabilidad de la implementación de la técnica soil washing para el manejo de las arenas producidas por los pozos del campo la Hocha, para finalmente proporcionar una disposición final no perjudicial para el medio ambiente y recuperar el crudo asociado a estas arenas de producción.

Para tal efecto, se debe tener claro conceptos básicos y fundamentales al momento de realizar un análisis económico de tal envergadura, como ya se enuncio en el capítulo 2. Del presente estudio; por esto, los índices de rentabilidad se convierten en una herramienta importante al momento de evaluar cualquier proyecto, ya que estos son criterios de selección que se utilizan para medir la bondad económica de un proyecto de inversión.

Para el presente proyecto se ha tenido en cuenta como indicador económico principal el valor presente neto (VPN), además de la Tasa Interna de Retorno (TIR). De igual modo se han establecido otros criterios fundamentales al momento de realizar el análisis económico del presente proyecto. Como se muestra en la tabla 17.

Posterior a los criterios de referencia se tiene el análisis de los costos año a año para finalmente mediante la TIO llevar los ingresos futuros a valores presentes y posteriormente obtener el Valor Presente Neto (VPN) que indicara la viabilidad del presente proyecto.

Tabla 17. Criterios establecidos para la realización del análisis económico.

PARAMETRO	VALOR
Tasa Interna de Oportunidad (TIO) para ATP INGENIERIA S.A.S.	12%
Periodo de evaluación	5 años

FUENTE: ATP INGENIERIA S.A.S.



Ahora bien para comparar las dos técnicas de remediación de arenas en el campo La Hocha se deben tener en cuenta los ingresos y egresos causados por cada técnica de remediación. La tabla 18 y 19 presenta los ingresos y egresos por cada técnica respectivamente.

Tabla 18. Ingresos generados por las técnicas.

TECNICA	MANEJO NETO (bbl/día)	INGRESOS DIARIOS (US\$/DIA)	INGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)
SOIL WASHING	288	\$ 10.080	\$ 3'679.200
UDT	120	\$ 4.200	\$ 1'533.000

FUENTE: ATP INGENIERIA S.A.S.

Tabla 19. Egresos generados por las técnicas.

TECNICA	EGRESOS DIARIOS (US\$/DIA)	EGRESOS ANUALES (US\$/AÑO)
SOIL WASHING	\$ 6.624	\$ 2'417.760
UDT	\$ 3.240	\$ 1'051.200

FUENTE: ATP INGENIERIA S.A.S.

De este modo, se puede observar claramente que el sistema que mejor se acomoda a las condiciones operacionales del campo La Hocha es la técnica Soil Washing, donde se observa que es el que mayores ingresos proporciona a la compañía ATP INGENIERIA, teniendo un manejo de arena mucho mayor que el que venía haciendo la UDT.

Luego de revisar los posibles ingresos producto de la implementación de uno u otro sistema de remediación, se procede a determinar las utilidades netas obtenidas a partir del manejo de las arenas producidas en el campo La Hocha con cualquiera de las dos técnicas de remediación objeto de estudio del presente análisis económico y de este modo determinar cuál es la mejor técnica de remediación que se acomoda a las condiciones de operación del campo La Hocha.

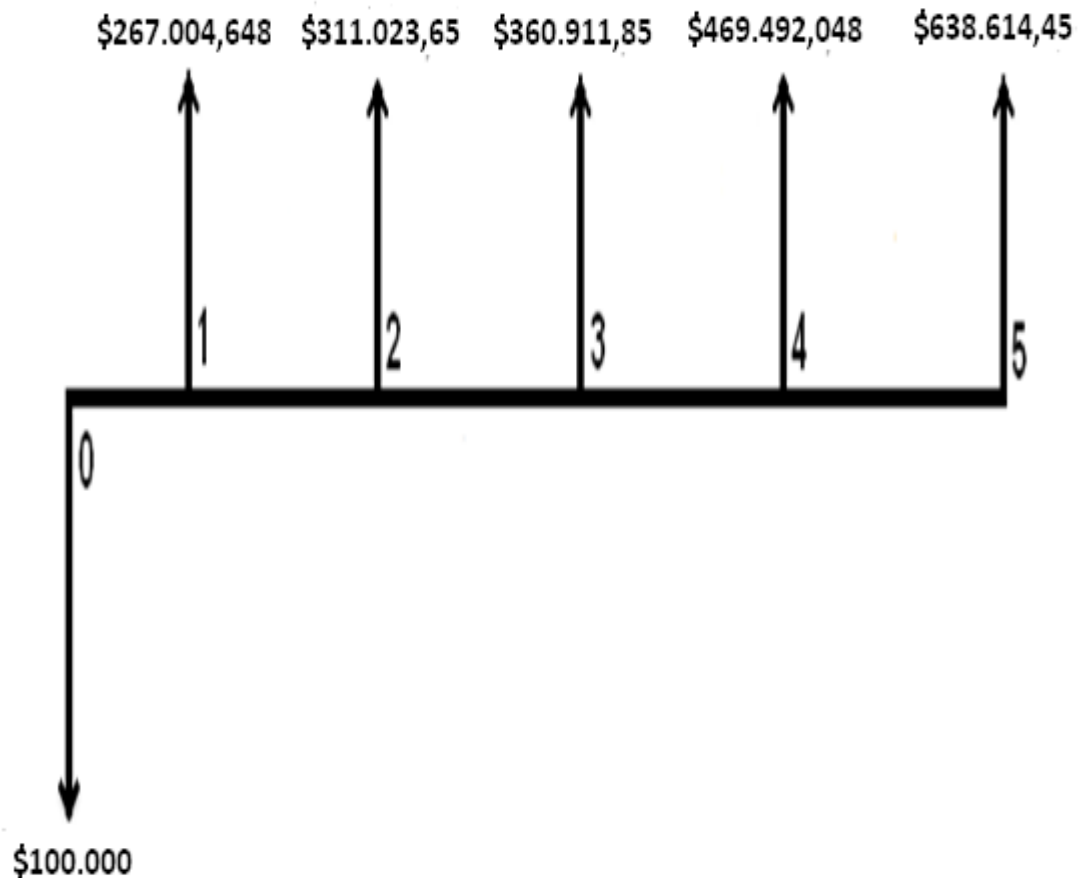


De este modo se tiene el presente análisis económico periodo a periodo para un horizonte de cinco (5) años, para la técnica que mejor se ajusta a las condiciones operacionales del campo La Hocha, la técnica de remediación Soil Washing

4.1. ANALISIS DE COSTO PARA LA IMPLEMENTACION DE LA TECNICA SOIL WASHING

Para la implementación de la técnica soil washing se debe realizar el análisis de costos año a año, en este caso para un periodo de prueba de cinco (5) años, recordando por concepto básicos de ingeniería económica que se debe iniciar con el periodo cero (0) como fecha inicial del diagrama de flujo e ir avanzando y teniendo al final de cada periodo la sumatoria de ingresos y egresos y así determinar la utilidad del proyecto.

Figura 30. Representación grafica del flujo de fondo.



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



Tabla 20. Flujo Neto de Efectivo.

DETALLE	0	1	2	3	4	5
INGRESOS		1'916.250	2'107.875	2'325.050	2'797.725	3'359.825
COSTOS DE PRODUCCIÓN		1'259.250	1'385.175	1'527.890	1'838.505	2'207.885
COSTOS FINANCIEROS		250.000	250.000	250.000	250.000	250.000
DEPRECIACIÓN		8.485,6	8.485,6	8.485,6	8.485,6	8485,6
INGRESOS GRAVABLES		398.514,4	464.214,4	538.674,40	700.734,40	893.454,40
IMPUESTOS		131.509,752	153.190,752	177.762,552	231.242,352	294.839,952
INGRESO NETO		267.004,648	311.023,65	360.911,85	469.492,048	598.614,45
VALOR DE SALVAMENTO						40.000
CAPITAL	400.000					
INVERSIÓN	500.000					
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-100.000	267.004,648	311.023,65	360.911,85	469.492,048	638.614,45

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



4.1.1. VALOR PRESENTE NETO (VPN)

Se tiene como indicador el valor presente neto (VPN), el cual se calcula a partir de la tasa de oportunidad, que para ATP INGENIERIA S.A.S. es igual al 12% anual.

$$VPN(12\%) = -P + \left[\frac{F1}{(1+i)^1} \right] + \left[\frac{F2}{(1+i)^2} \right] + \left[\frac{F3}{(1+i)^3} \right] + \left[\frac{F4}{(1+i)^4} \right] + \left[\frac{F5}{(1+i)^5} \right]$$

$$VPN(12\%) = -100.000 + \left[\frac{267.004,648}{(1+0.12)^1} \right] + \left[\frac{311.023,65}{(1+0.12)^2} \right] + \left[\frac{360.911,85}{(1+0.12)^3} \right] \\ + \left[\frac{469.492,048}{(1+0.12)^4} \right] + \left[\frac{638.614,45}{(1+0.12)^5} \right]$$

$$VPN(12\%) = 1'339.775,234$$

4.1.2. TASA INTERNA DE RETORNO “TIR”

Para su cálculo se requiere proyectar los gastos por efectuar (valores negativos) e ingresos por recibir (valores positivos) que ocurren en períodos regulares. Este método es único y arroja la rentabilidad del proyecto.

En este caso la TIR del proyecto será de 284%

Luego del análisis de costos año a año, para la implementación de la técnica Soil Washing, tanto el resultado del valor presente neto (VPN) como la tasa interna de retorno (TIR), muestran que el proyecto es viable, como lo presenta la siguiente tabla.

Tabla 21. Indicadores económicos producto de la implementación de la técnica soil washing en el campo la Hocha.

VALOR PRESENTE NETO (VPN) (US\$)	1'339.775,234
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) (%)	284%

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



4.1.3. RELACIÓN BENEFICIO/COSTO

Al aplicar la relación Beneficio/Costo, es importante determinar las cantidades que constituyen los Ingresos llamados "Beneficios" y qué cantidades constituyen los Egresos llamados "Costos-Egresos". Con esto se dará mayor veracidad a los resultados anteriores, teniendo en cuenta los ingresos y egresos.

$$VPN \text{ Ingresos} = \left[\frac{F1}{(1+i)^1} \right] + \left[\frac{F2}{(1+i)^2} \right] + \left[\frac{F3}{(1+i)^3} \right] + \left[\frac{F4}{(1+i)^4} \right] + \left[\frac{F5}{(1+i)^5} \right]$$

$$VPN \text{ Ingresos} = \left[\frac{1'916.250}{(1+0.12)^1} \right] + \left[\frac{2'107.875}{(1+0.12)^2} \right] + \left[\frac{2'325.050}{(1+0.12)^3} \right] \\ + \left[\frac{2'797.725}{(1+0.12)^4} \right] + \left[\frac{3'359.825}{(1+0.12)^5} \right]$$

$$VPN(12\%) \text{ Ingresos} = 8'730.706,961$$

$$VPN \text{ Egresos} = P + \left[\frac{F1}{(1+i)^1} \right] + \left[\frac{F2}{(1+i)^2} \right] + \left[\frac{F3}{(1+i)^3} \right] + \left[\frac{F4}{(1+i)^4} \right] + \left[\frac{F5}{(1+i)^5} \right]$$

$$VPN \text{ Egresos} = 100.000 + \left[\frac{1'640.759,752}{(1+0.12)^1} \right] + \left[\frac{1'788.365,752}{(1+0.12)^2} \right] + \left[\frac{1'955.652,552}{(1+0.12)^3} \right] \\ + \left[\frac{2'319.747,352}{(1+0.12)^4} \right] + \left[\frac{2'752.724,952}{(1+0.12)^5} \right]$$

$$VPN(12\%) \text{ Egresos} = 7'418.844,594$$

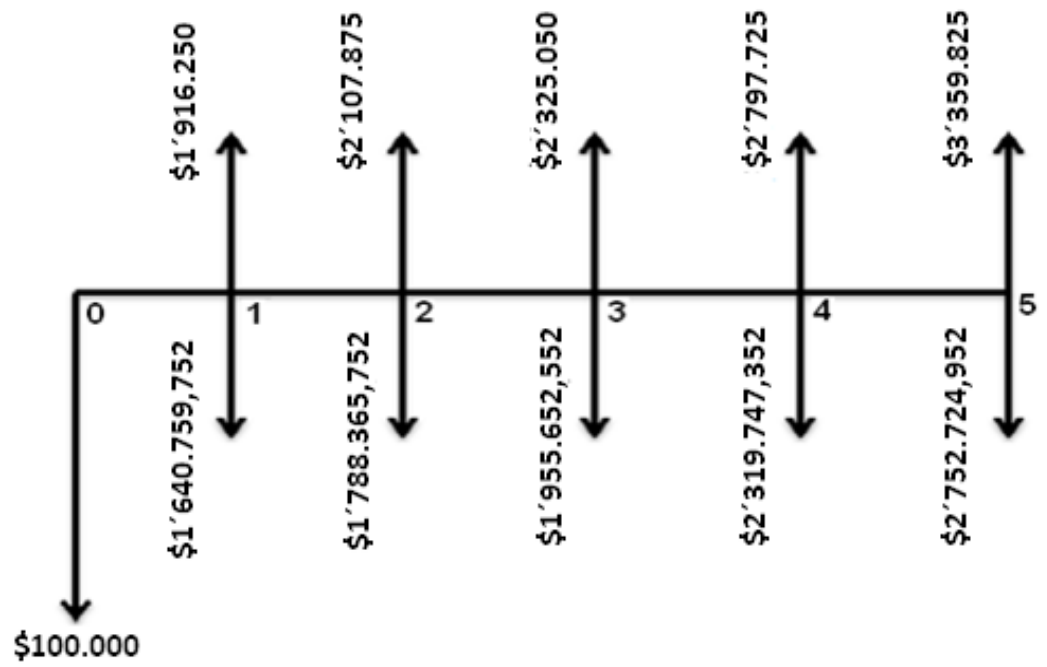
$$B/C = \frac{VPN(12\%) \text{ Ingresos}}{VPN(12\%) \text{ Egresos}}$$

$$B/C = \frac{8'730.706,961}{7'418.844,594}$$

$$\frac{B}{C} = 1.18$$



Figura 31. Representación gráfica de la relación beneficio/costo (B/C).



FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.



RESULTADOS ESPERADOS

- Después de tomar las muestras de arena del campo La Hocha, se llevaron a los laboratorios de ATP INGENIERIA S.A.S. en Neiva para someterlas a pruebas de botella; con el propósito principal de establecer la solución de lavado más eficiente para aplicar a las arenas producidas en el campo La Hocha.
- Se realizaron las pruebas respectivas en el laboratorio, obteniendo los resultados descritos en las tablas (Ver tablas 8, 9, 10, 11); estos datos fueron enviados a la gerencia técnica de la compañía, el departamento técnico validó el procedimiento, las pruebas de botella aplicadas y los resultados obtenidos.
- Teniendo en cuenta las consideraciones para escoger la mejor solución de lavado, el surfactante 4 a una concentración 1200 ppm más 1.5 barriles de agua industrial es la mejor solución de lavado, la cual deja la arena limpia y a condiciones de disposición (1% de crudo) y la nata aceitosa con un 7% de BSW, del cual el 2% son sólidos y el 5% es agua.
- La empresa ATP INGENIERIA, diseñó y construyó la Unidad de Optimización de Crudo, una planta de remediación de arenas contaminadas con hidrocarburos que dio respuesta a las necesidades del campo La Hocha, con la cual se aumentó el manejo de las arenas y se disminuyeron los costos de tratamiento.
- Después de implementar la técnica Soil Washing se hizo una comparación con la técnica UDT, utilizada en el campo La Hocha como se muestra a continuación:



Tabla 22. Comparación entre las dos técnicas de remediación.

UDT	SOIL WASHING
120 bbl / día	288 bbl / día
Emisiones atmosféricas	No hay fuentes emisoras
Capacidad de operación constante	Capacidad de operación variable de acuerdo a necesidades del cliente
25.000 PCD de gas natural	20 gal ACPM
Transporte de residuos a planta externa	Tratamiento in situ
Costo elevado UDT + transporte y tratamiento en planta externa	Reducción en 57% de costo para la operadora

FUENTE: ESPAÑA RESTREPO, S. D. Y GARZON SERRANO, G. A.

- Este proyecto se realizó con el fin de aplicar la técnica Soil Washing (lavado de suelos) como único tratamiento de manejo de las arenas producidas por el campo La Hocha, se demostró que después de aplicar dicho procedimiento las arenas cumplieron con la legislación, normatividad y regulaciones de depositación y/o disposición ambiental según: El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, DECRETO 2811 DE 1974 (Diciembre 18); el protocolo 29B de Louisiana y EPA, o Agencia de Protección Ambiental (La United States Environmental Protection Agency).



CONCLUSIONES

- Con la realización de este proyecto se demostró que la Unidad de Optimización de Crudo, responde favorablemente al manejo de las arenas de producción del Campo La Hocha. También se demostró la viabilidad de tratar este sólido, utilizando procesos fisicoquímicos, aspectos que disminuyen los costos de remediación.
- Debido a la excesiva producción de arena asociada al crudo en el Campo La Hocha la cual es de 150 bbl/día, La Unidad de Optimización de Crudo dio respuesta favorable a dicha problemática ya que con esta técnica el volumen tratado es de 288 bbl/día.
- Las arenas de producción del campo La Hocha cumplen con los parámetros fisicoquímicos requeridos para la implementación de esta técnica, además respondió favorablemente con el tratamiento químico utilizado para la separación de las fases que la componen (sólido, crudo y agua).
- El químico ATP 20-10 a 1200 ppm más 1.5 barriles de agua industrial es la solución de lavado óptima para el tratamiento de las arenas de producción del campo La Hocha.
- El crudo recuperado por medio de la técnica Soil Washing en la Unidad de Optimización de Crudo, sale del proceso con un BSW 7% del cual 5% es agua y el 2% sólido, bajo estas condiciones el crudo se puede tratar en el CPF sin ningún problema al igual que el crudo producido por El Campo La Hocha.
- Después de tratar las arenas de producción en la unidad de optimización de crudo estas salen del proceso con un 1% en aceite y 40% de humedad, bajo estas condiciones se está cumpliendo con la legislación y normatividad nacional (decreto 2811 de 1974) e internacional (protocolo 29B de Louisiana) de depositación o disposición ambiental.



- Se demostró mediante el análisis económico que la técnica de remediación soil washing es la que mejor se adapta a las condiciones del campo y cumple con el interés esperado por la compañía ATP INGENIERIA S.A.S.
- La relación Beneficio/Costo es mayor a 1 esto nos indica que sobrepasa las expectativas esperadas por la empresa ATP INGENIERIA S.A.S, por tanto el proyecto de implementación de la técnica soil washing tiene conveniencia financiera.
- Se comprobó que al implementar la técnica Soil Washing, no solo se tendrá mayores ingresos por el aumento del tratamiento, sino que también se contara con la confianza, seguridad y responsabilidad de una compañía, como es ATP INGENIERIA S.A.S.
- Se cumplieron los objetivos establecidos por la empresa ATP INGENIERIA S.A.S, y a su vez se está cumpliendo con los parámetros que establece HOCOL, puesto que el objeto de estudio se orientaba a encontrar el tratamiento químico adecuado, ya que de no cumplir con dichos parámetros la empresa puede ser sancionada.



RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de factibilidad para implementación de la técnica Soil Washing en los campos donde halla exceso de producción de arena asociado al crudo, por ser este sistema novedoso, seguro y confiable.
- Se aconseja una buena disposición final a las arenas de producción tratadas con la técnica Soil Washing, las cuales puedan ser útiles en otras áreas de la ingeniería por ejemplo: Ingeniería Civil, para construcción.
- Realizar un monitoreo constante a las arenas de producción tratadas en La Unidad de Optimización de Crudo, ya que este sólido se va a depositar en el zodme y su impacto debe ser mínimo en el medio ambiente.
- Lo ideal es que el agua industrial utilizada en el procesase recircule máximo 4 veces antes de enviarse al CPF, ya que las propiedades del agua tales como cloruros, pH, sólidos suspendidos, grasas y aceites; cambian significativamente y después esta agua no puede realizar un optimo lavado.
- Es importante tener en cuenta que en el Campo La Hocha es inevitable la producción de este sólido, una posible alternativa de solución es darle un tratamiento en superficie, para esto se recomienda la implementación de la técnica Soil Washing, ya que contribuye a una solución para la disposición de las arenas producidas a un costo razonable.
- Una vez implementada la técnica Soil Washing sería importante que por medio de ella se pudiera descontaminar algunos materiales aceitosos, generados por derrames en las operaciones de perforación y reacondicionamiento de pozos.



BIBLIOGRAFIA

- Miliarum.com - Ingeniería Civil Y Medio Ambiente
<http://www.miliarium.com/prontuario/tratamientosuelos/LavadoSuelos.htm>.
- Armentor Ricky J. y Wise Michael R. 2006. Recuperación Del Control De La Producción De Arena. Chevron USA Inc, Nueva Orleans, Luisiana, 12p.
- AcockAndrew, Orourke Tom y Shirmboh Daniel. 2003. Métodos Prácticos De Manejo De La Producción De Arena. Aberdeen, Escocia. 20p.
- PonsJiménez M, Guerrero Peña A, Zavala cruz J, y Alarcón A. 2011. Extracción De Hidrocarburos y Compuestos Derivados Del Petróleo En Suelos Con Características Físicas y Químicas Diferentes. Instituto Mexicano del Petróleo, México. 16p.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1991. Guide For Conducting Treatability Studies Under CERCLA: Soil Washing Interim Guidance. Washington D.C. 6p.
- Interstate Technology and Regulatory Cooperation. 1997. Technical And Regulatory Guidelines For Soil Washing. USA. 49 p.
- Unified Facilities Guide Specifications. 2010. Soil washing through separation/solubilization. 34 p.
- Estudio De Impacto ambiental (E.I.A) Para La Explotación Del Campo La Hocha. 2004. Hocol S.A.
- Díaz J. Giovanni. 2008. Análisis De La Deformación y Modelo Estructural Basado En Datos Paleomagnéticos y Cinemáticos En El Sector Sur Del Valle Superior Del Magdalena (Anticlinal De La Hocha). Tesis Master Geol., Univ. Nacional, Bogotá. 82 p.
- Ortiz Irene, Sanz Juana, Dorado Miriam y Villar Susana. 2007. Técnicas De Recuperación De Suelos Contaminados. Elecé Industria Gráfica, Madrid. 33 – 35 p.



- Trujillo Juan C, Cabrera Luis E. y Rosero Julio C. 2007. Sand Production Operations in La Hocha Field – Colombia. Production & Projects Engineers HOCOL S.A, Huila. 70 p.
- Roger Q. Juan M. 2004. Tratamiento Del Suelo y Agua Freática Contaminada. Departamento De Ordenación Del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. España. 32 p.
- Patiño P. Miguel. 1999 .Derecho Ambiental Colombiano. Legis Editores S.A, Colombia.



ANEXOS

ANEXO A.

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL MONTAJE DE LA PLANTA “UNIDAD DE OPTIMIZACION DE CRUDO” (UOC).

OBRAS CIVILES Y ADECUACION DEL ÁREA DE LA UOC.





ADECUACION DE FACILIDADES.





MOVILIZACION DE MAQUINARIA Y EQUIPOS.





MONTAJE Y ADECUACION DE EQUIPOS DE LA UOC.





INSTALACION DE COMPRESORES ESTACIONARIOS.





UNIDAD DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO.





ANEXO B.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE ROCAS

ANALISIS TEXTURAL Y MINERALOGICO DE RIPIOS

Por: Geo. Ms. **ROBERTO VARGAS CUERVO**

Profesor titular

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Petróleos

INTRODUCCION

A solicitud de los estudiantes Gustavo Adolfo Garzón y Sergio Daniel España, los cuales están desarrollando el proyecto de tesis **IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA SOIL WASHING (LAVADO DE SUELOS) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS ARENAS DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO LA HOCHA – TESALIA – HUILA – REPÚBLICA DE COLOMBIA**”, apoyado por la empresa ATP INGENIERIA, el laboratorio de geología realizó el análisis textural mineralógico de las arenas de producción del campo La Hocha.

Muy poco se ha escrito en la industria del petróleo sobre la participación de los sólidos (minerales y fragmentos de roca) provenientes de las formaciones geológicas y los provenientes de las arenas de fracturamiento, que hacen parte de las incrustaciones tradicionales de carbonatos, sulfatos y haluros principalmente. Esta temática debe ser analizada a fondo ya que es común en muchos de los pozos analizados que gran parte de las llamadas incrustaciones están conformadas por minerales como el cuarzo, que se aglomera dentro de los precipitados, dando una característica de resistencia a su destrucción.



Para dicho análisis fue realizado el Análisis Granulométrico de los sólidos en suspensión como también el análisis mineralógico para cada fracción. A continuación se presenta la metodología y equipos utilizados para este trabajo:

EQUIPOS:

- Tamices americanos Nos. 320
- Microscopio binocular NIKON.
- Microscopio petrográfico de luz polarizada NIKON.
- Lupa de bolsillo 20X.
- Imán electromagnético.
- Punzones y separadores de arenas

METODOLOGIA

La metodología empleada para el análisis de los sólidos provenientes de los fluidos extraídos en cabeza de pozo y pasados por el tamiz-320 se llevo a cabo de la siguiente manera:

1. Se realiza una caracterización general de las muestras, determinando su color, los principales componentes mineralógicos y se subdivide la muestra en fracciones metálicas, no metálicas y fragmentos de roca.
2. Se clasifica la muestra Texturalmente, en la cual se tiene en cuenta el tamaño de grano y el porcentaje de los mismos, presentes en la muestra.

TERMINOLOGIA EMPLEADA EN EL TAMAÑO DEL GRANO Y PARTÍCULA

TAMAÑO DEL ELEMENTO CONSTITUYENTE (FRAGMENTO, GRANO – PARTICULA)	DIÁMETRO DEL GRANO (mm) RANGOS
GRANULO	4 – 2.00
ARENA MUY GRUESA	2 – 1
ARENA GRUESA	1 – 0.5



ARENA MEDIANA	0.5 – 0.25
ARENA FINA	0.25 – 0.125
ARENA MUY FINA	0.125 – 0.0625
LIMO	0.0625 – 0.031
ARCILLAS	0.31 – 0.00006

3. Se determina la composición mineralógica de cada muestra de acuerdo con las subdivisiones realizadas en el primer paso (fracción no metálica, fracción metálica y fragmentos de roca).

Para este análisis se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Dentro de la fracción metálica se emplea un imán para la detección de los minerales Magnéticos.
- Para la detección de los carbonatos se emplea el ácido clorhídrico al 10% (HCl).
- La fracción magnética por lo general representa elementos provenientes de tuberías.

Por último se determina el porcentaje de los principales minerales presentes en cada una de las fracciones de la muestra y a la vez se detalla la clasificación textural empleada en el segundo paso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MINERALÓGICO

No. DE MUESTRA: 1

NOMBRE DE MUESTRA: Arena de Producción del Campo La Hocha

FECHA: 19 de junio de 2012

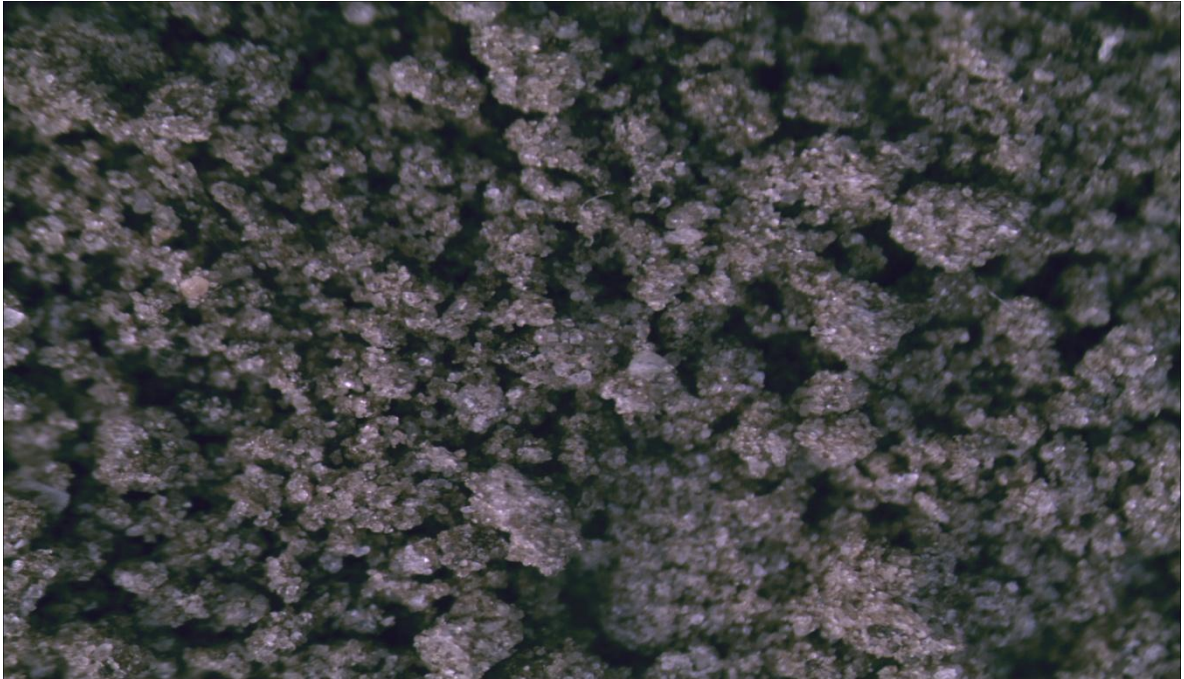
LOCALIZACIÓN: HUILA

COMPAÑÍA: ATP INGENIERIA



GENERALIDADES

Ripio granular de color gris claro a blancuzco, conformado por cuarzo, limo y minerales pesados.



TEXTURA

Texturalmente la muestra está compuesta por granos de tamaños medios (10%) finos y muy finos (85%) de formas sub-angulares a sub-redondeadas.

COMPOSICIÓN:

FRACCION NO METALICA	FRACCION METALICA
Cuarzo de grano medio (9%)	Fracción Magnética.....0%
Cuarzo de grano fino (85%)	Fracción No Magnética.....1%



FRACCIÓN NO METÁLICA

CUARZO: (95%)

Se presenta en dos fracciones:

CUARZO DE GRANO MEDIO: (9%)

Se presenta a manera de granos de aspecto de aspecto hialino, translúcido, de forma sub-redondeadas localmente se observa su fractura concoidea.

CUARZO DE GRANO FINO A MUY FINO :(85%)

Se observan cristales de color blanco lechoso a localmente translucido, presentan fractura concoidea y se encuentran impregnados de hidrocarburos dando una tonalidad oscura al cristal. Localmente se observa astillamiento producto de la acción mecánica de los equipos de producción.

LIMO: (5%)

Se presentan partículas muy finas de tamaño limo de color gris claro. Puede ser producto de la matriz de las areniscas de la formación.

FRACCIÓN METÁLICA: NO HAY

FRACCIÓN NO MAGNETICA: (1%)

OXIDOS DE HIERRO: (1%)

Se presenta a manera de cuerpos cristalinos de aspecto terroso de coloraciones gris oscuro a negro pueden considerarse como minerales pesados asociados a las areniscas (ilmenita, oligisto) (Fm)



ANEXO C.

DISEÑO DE PROYECTOS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

Los resultados obtenidos en un proyecto de remediación de suelos, son el producto de la acción conjunta de la tecnología aplicada y las técnicas de manejo implementadas; por tal motivo, estos dos aspectos están estrechamente ligados.

Aunque cada proyecto de remediación se realiza bajo diferentes condiciones ambientales, técnicas y de operación; las fases que conlleva su desarrollo pueden ser resumidas, así:

DEFINICIÓN DEL PROYECTO Y SUS OBJETIVOS

Uno de los primeros aspectos, es identificar los entes directamente relacionados con el proyecto, los cuales pueden ser generalizados como:

- La entidad responsable de la contaminación.
- La institución que reglamenta el medio ambiente.
- La empresa encargada de diseñar e implementar el proyecto.
- La comunidad.

El gerente del proyecto, tiene como función, definir el tipo de relación que existe entre estas cuatro instituciones, la responsabilidad de cada una, y la forma como debe manejarse la comunicación entre las mismas. Una vez se han establecido los grados de responsabilidad; se debe determinar la naturaleza y extensión del problema ambiental lo cual, se facilita teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Requerimientos de limpieza establecidos por la entidad ambiental.
- Objetivos preliminares del proyecto.
- Naturaleza y extensión de la contaminación.
- Sensibilidad del proyecto, en aspectos como: salud y seguridad, medio ambiente y política.
- Soluciones potenciales.

Cuando se ha definido el problema, se formula el plan de objetivos, fundamentado en el logro de la separación de los contaminantes, sin riesgos de afectar la salud humana, el medio ambiente y evitando la transferencia de sustancias tóxicas a



otros medios. La expectativa de los objetivos, está regulada por el grado de limpieza exigido por la entidad ambiental; y el logro de estos, está condicionado por la caracterización y cuantificación del suelo, el tipo de contaminantes y el porcentaje de contaminación. Otros factores externos tal como: ambientales, políticos, etc., también juegan un papel importante.

REVISIÓN INICIAL DE LAS OPCIONES DE REMEDIACIÓN

Se debe realizar una revisión inicial de las opciones de remediación, donde se analicen las diferentes técnicas con sus respectivas aplicaciones, limitaciones, eficiencia y costos.

En esta etapa, se define de manera preliminar, la posibilidad de aplicar la técnica soil washing como alternativa de tratamiento. Para poder utilizar este sistema, se debe tener certeza de que los contaminantes pueden ser separados, por lo cual es necesario evaluar: la facilidad o complejidad de separación, la factibilidad de alcanzar una arena libre de contaminantes y las condiciones ambientales e industriales para lograr esta separación.

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

La dirección correcta de un proyecto de remediación, solo se logra, cuando la evaluación de las características del suelo se ha realizado apropiadamente; esta es la primera y más importante de las etapas en el diseño.

El objetivo de la caracterización, es adquirir información, para definir las condiciones de la arena de producción; además, debe proveer información para el diseño de la planta de tratamiento.

Para diseñar, implementar y controlar un sistema de remediación, se requiere tener un amplio conocimiento acerca de las características de los fluidos que hacen parte de la arena de producción, tales como, el sólido, el crudo, agua y demás contaminantes; por lo cual se hace indispensable realizar una buena caracterización preliminar.

La información obtenida a partir de estudios de caracterización y las pruebas de tratabilidad, se pueden integrar utilizando modelos matemáticos predictivos; con el propósito de obtener fundamentos para:



- Evaluar la eficiencia de aplicar el lavado de suelos, como sistema de tratamiento de las arenas de producción.
- Desarrollar estructuras adecuadas, para el manejo de las arenas de producción.
- Diseñar estrategias de monitoreo.

Los datos obtenidos en la caracterización, tienen que ser ampliamente representativos y deben aportar información acerca de:

- Distribución del tamaño de grano.
- Contenido de limos y arcilla.
- Capacidad de intercambio catiónico.

Ya que la eficiencia del lavado del suelo está ligada a estos tres factores.

- Los suelos con porcentajes altos de arena y grava (material grueso $> 2\text{mm}$) responden mejor al lavado de suelos en comparación con suelos con bajo contenido de los mismos, En general, el lavado del suelo es la técnica más apropiada de aplicar en suelos que contienen al menos el 50% de arena y grava.
- Los suelos con porcentajes de limo y arcilla (partículas finas de menos de $0,25\text{ mm}$) superior al 50% reducen la eficiencia de la remoción de contaminantes, para aplicar esta técnica el porcentaje debe oscilar entre el 30% y 50%. Esta técnica es la más utilizada en suelos ricos en arcilla y limo.
- Capacidad de intercambio catiónico mide la tendencia de intercambio de cationes entre el suelo y la solución de lavado. Los suelos con valores de capacidad de intercambio catiónico relativamente bajos (menos de 50 mEq/Kg), responden mejor al lavado de suelos.

La variabilidad de estos parámetros en la arena de producción proporciona información valiosa para la selección de la técnica soil washing como alternativa de manejo de estas arenas.

También se debe tener en cuenta las propiedades químicas y físicas de los contaminantes, ellas son:



- La solubilidad en agua (u otros líquidos de lavado), esta es la característica física más importante.
- La reactividad con los fluidos de lavado.
- La volatilidad y la densidad de los contaminantes.

Todas las características nombradas anteriormente se deben tabular y organizar en forma concisa antes de diseñar las pruebas de detección de la solución de lavado.

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

Después de que se ha realizado la caracterización, se procede a la selección de la alternativa de tratamiento, para lo cual se debe tener en cuenta la revisión inicial de las opciones de remediación, los datos obtenidos acerca del suelo y los contaminantes; además de aspectos técnicos de implementación y desarrollo del proyecto y aspectos económicos.

DESARROLLO DEL DISEÑO

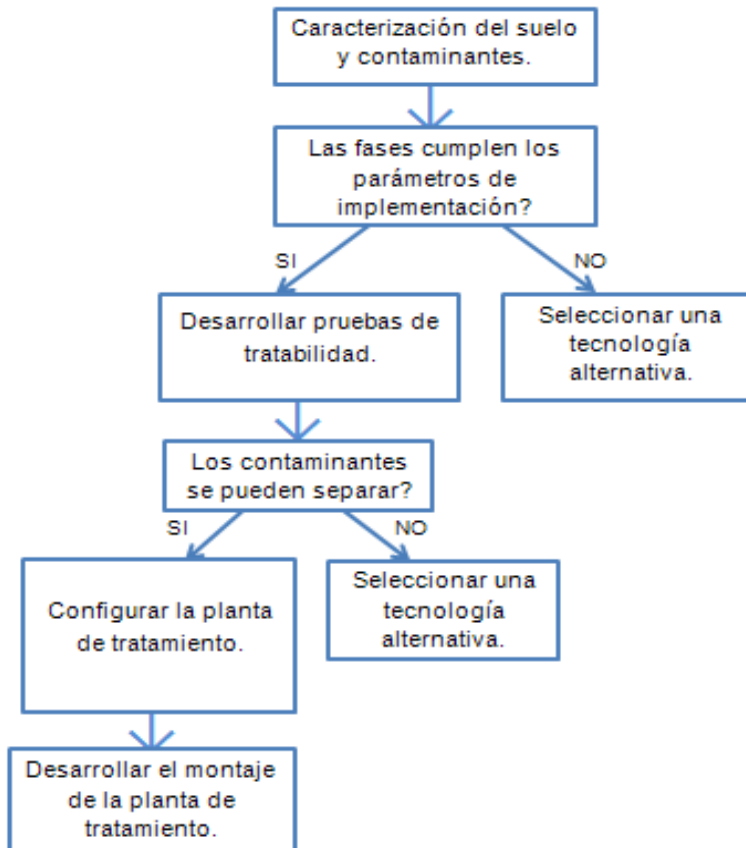
El primer paso es determinar si el proyecto será in-situ, ex-situ. Esta decisión se toma, teniendo en cuenta la localización del suelo contaminado, los contaminantes y las restricciones del sitio.

De acuerdo a la caracterización y los demás aspectos que se deben tener en cuenta para la elección de una tecnología de remediación, es aquí donde se establece a la técnica soil washing, como método de tratamiento de las arenas producción.

A continuación se presenta un esquema que facilita el desarrollo de un sistema de tratamiento soil washing.



Diseño del sistema de tratamiento soil washing.



FUENTE: "guide to conducting treatability studies under Cercla: soil washing" Washington, D.C. September 2005.

ELEMENTOS DE SOPORTE

Los elementos de soporte, de mayor interés para un proyecto de remediación son:

- Plan de salud y seguridad.
- Plan de contingencia y derrames.
- Plan de monitoreo.
- Plan de manejo de residuos.
- Formular los requerimientos del sitio.
- Formular los permisos requeridos.



El plan de salud y seguridad, debe considerar un amplio rango de problemas, que estén asociados con la exposición a los contaminantes, y al uso de los equipos. El plan de contingencia, constituye una garantía adicional, para la protección contra condiciones que puedan amenazar la salud y seguridad de los trabajadores, el ambiente y la comunidad. En este, se establecen las responsabilidades y la secuencia de actividades en caso de una emergencia.

El plan de monitoreo, se desarrolla con múltiples propósitos que incluyen: seguridad del personal, control de los procesos de operación y de las emisiones de gases y sustancias tóxicas, etc. Debido a que las acciones de remediación, generan residuos que deben ser dispuestos adecuadamente, se hace necesario desarrollar un plan de manejo de residuos, que incluya un programa de almacenamiento, transporte y disposición de desechos. Además de lo anterior, es importante concretar las facilidades que tendrá el sitio de tratamiento, tal como: energía eléctrica, agua, etc., así como también, es de vital interés gestionar los permisos requeridos, entre estos: los de descargas de aguas, emisiones de aire y tratamiento de residuos peligrosos.

ESTUDIOS DE TRATABILIDAD

Para muchos proyectos de remediación, los estudios de tratabilidad se convierten en un prerequisite indispensable. Pocos, si existe alguno, de los sitios contaminados son idénticos, por lo tanto, las respuestas a los procesos son distintas.

Propósitos de los estudios de tratabilidad

Estos estudios consisten en evaluaciones en laboratorio, estudios piloto y demostraciones de campo. Los estudios de laboratorio, generan información que ayuda a seleccionar el mejor programa de tratamiento. Los que se desarrollan a escala piloto, información sobre el comportamiento esperado, parámetros de control de procesos y criterios de diseño.

El primer paso en el desarrollo de un estudio de tratabilidad, es establecer los objetivos, los cuales definen el alcance del diseño experimental. Algunos objetivos típicos de un programa de tratabilidad son:

- Evaluar la posibilidad de aplicar un proceso o un esquema de procesos.
- Establecer el nivel de tratamiento factible.



- Determinar criterios de diseño para el proceso.
- Estimar los costos de operación del esquema propuesto.
- Determinar los parámetros de control y sus límites de funcionamiento óptimo.
- Evaluar las técnicas de manejo de los materiales y/o equipos.
- Evaluar el desarrollo de problemas.
- Obtener datos para la optimización continuada del proceso.

REVISIÓN Y ELABORACIÓN DEL DISEÑO FINAL

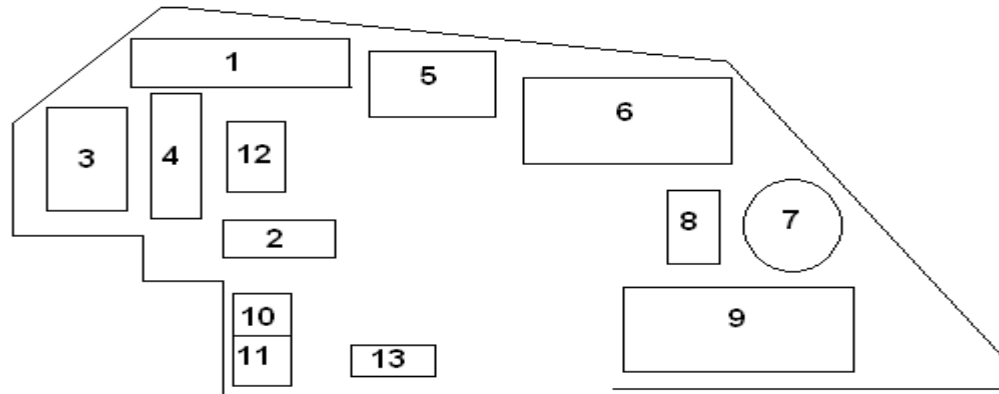
Se debe revisar el diseño preestablecido, adicionando los datos obtenidos en los estudios de tratabilidad, y complementando los elementos de soporte, de tal forma que se genere un diseño de tratamiento, que permita la optimización y control continuado de los procesos. Lo fundamental, en el desarrollo de un buen diseño, es ser racional en la aplicación de aspectos técnicos, económicos y en el uso de tiempo de tratamiento.



ANEXO D.

PLANTA “UNIDAD DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”

VISTA DE PLANTA:



COMPONENTES:

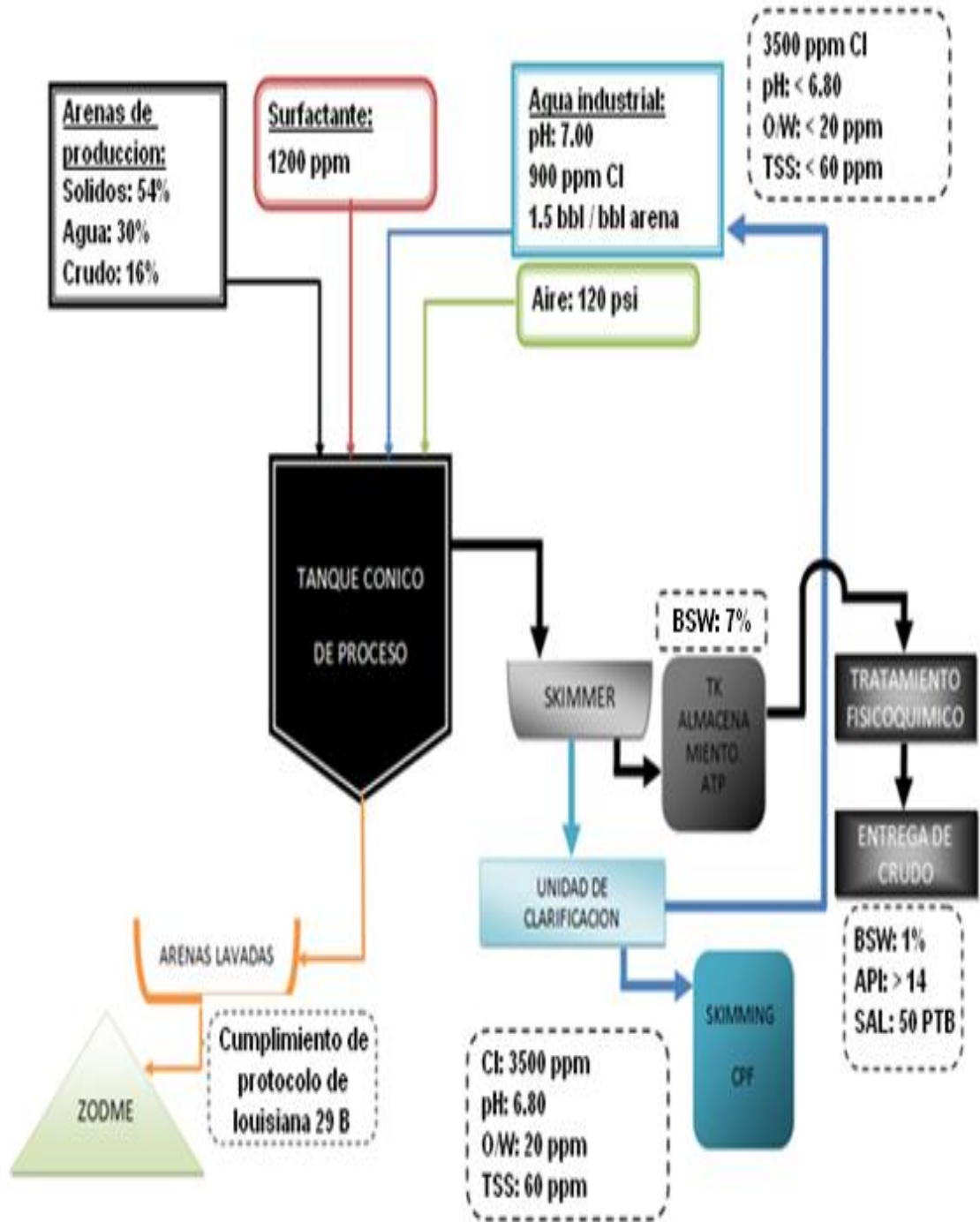
1. Tanque almacenamiento de arenas del CPF.
2. Tanque de recibo de arenas de baterías.
3. Tanque de almacenamiento de arenas lavadas.
4. Tanques de proceso.
5. Skimmer.
6. Unidad de clarificación.
7. Tanque de almacenamiento de crudo.
8. Planta eléctrica.
9. Container tipo laboratorio.
10. Caseta de químicos.
11. Caseta de combustibles.
12. Rampla.



13. Compresores.

ANEXO E.

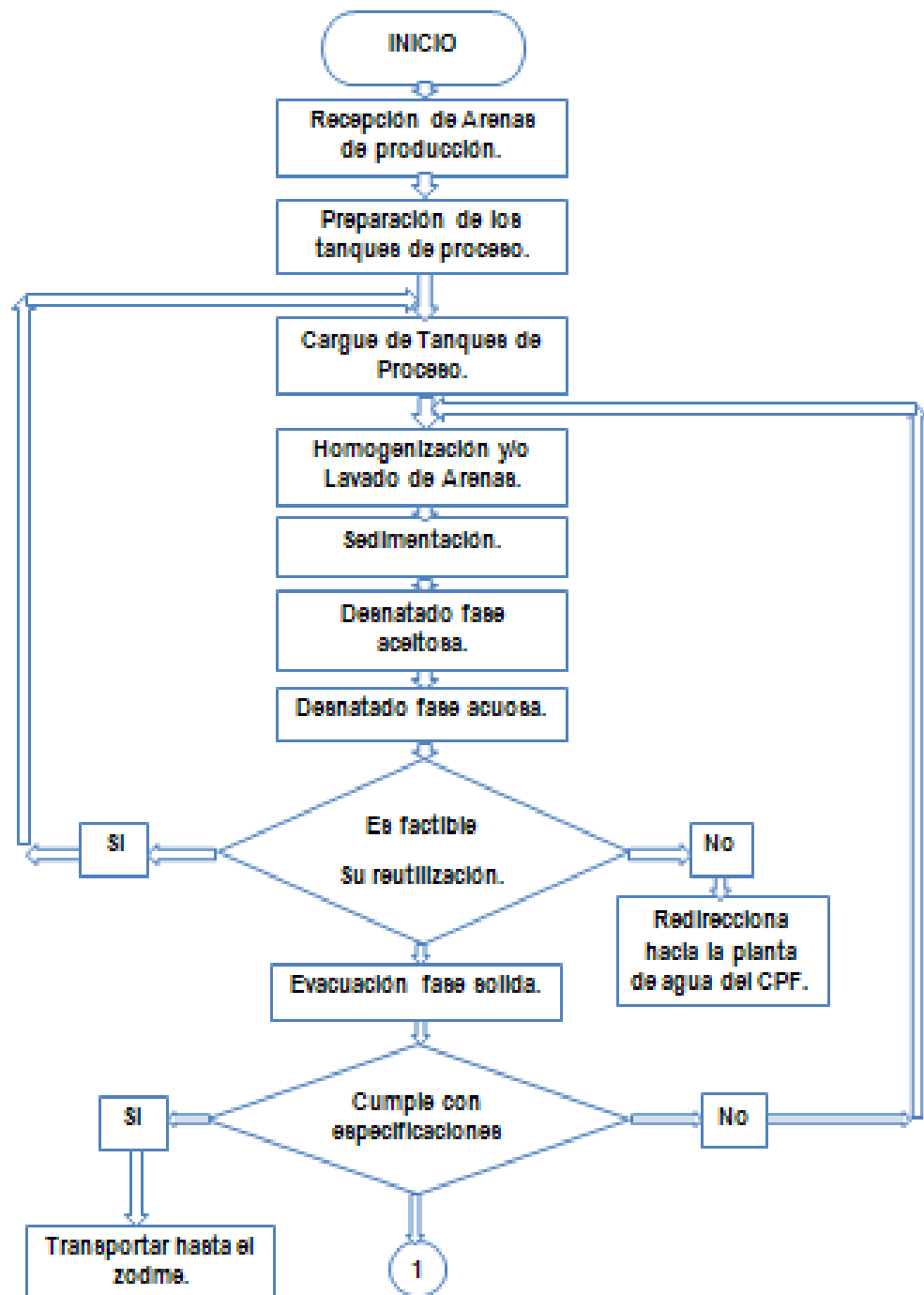
BALANCE DE MASA DE LA PLANTA “OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”

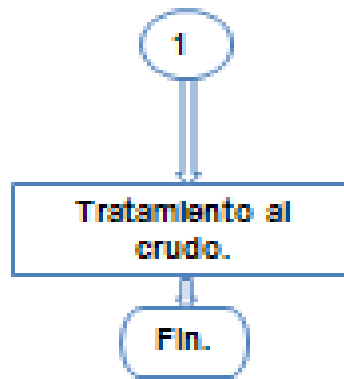




ANEXO F.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA “OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”.









ANEXO G.

REPORTE DE OPERACIONES “PLANTA DE OPTIMIZACIÓN DE CRUDO”

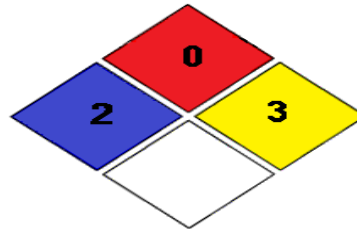
		CAMPO LA HOCHA - HOCOL UNIDAD DE OPTIMIZACION DE CRUDO LOCACION HOCHA 17						
					FECHA	sábado, 01 de octubre de 2011		
1. CONDICIONES FISICOQUIMICAS DE ARENA PRODUCCIÓN					5. FISICOQUIMICOS AGUA DE RETORNO AL CPF/HOCHA 1			
CPF		CONDICIONES FISICOQUIMICAS DE DISPOSICION PROVISIONAL ZODME				ANALISIS	UNIDADES	VALOR
CONDICIONES FISICOQUIMICAS DE ENTRADA	RETORTA (TPH)	RETORTA (TPH)			BLS DE ARENA DIPLESTOS	Cloruros	mg/lit	3600
	%	%	%	%		B5&W por agua libre	mg/lit	1.6%
CONCENTRACION DE ACEITE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	TSS	mg/lit	50
PORCENTAJE DE HUMEDAD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Turbidez	FAU	40
						PH		7.26
ARENAS EXTERNAS TK Hocha 02					6. FISICOQUIMICOS AGUA INDUSTRIAL			
	volumen bls	% aceite	% Humedad		ANALISIS	UNIDADES	VALOR	
hocha 2	0.0	0.0	0.0		Cloruros	mg/lit	0	
					O/W	mg/lit	0	
					TSS	mg/lit	0	
					Turbidez	FTU	0	
					PH		0	
2. VOLUMENES DE TRATAMIENTO				7. PRODUCTO QUIMICOS (GPD)				
FACILIDAD	BAPD	% OIL	% Agua		SURFACTANTE ATP 2010	6		
CPF	0	0	0		COAGULANTE	0		
ARENAS EXTERNAS	18	1	22		FLOCULANTE	0		
ZODME	0	0	0		BIOCIDA	0		
3. VOLUMENES DE AGUA (BPD)				8. COMBUSTIBLE (ACPH)				
Agua industrial proveniente del Skimming tank	0			GPD	Horometro			
Agua industrial utilizada en el proceso	36			Generador Electrico	25.0	211.0		
Volumen de agua almacenado	10				0.0	0.0		
Volumen de agua tratada	0							
Volumen de agua retornada al CPF/Hocha 1	0							
4. ANALISIS DE FASE ACEITOSA				9. MAQUINARIA/EQUIPOS				
TK 03 Bbls (Brutos)	BS&W			BLS NETOS	RETROPAJARITA	1		
	Soldos	Agua	Aceite		VOQUETA	0		
0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0	3			
				Unidad de Clarificación (300 bls)	1			
				Skimmer (100bls)	1			
				Cash Tank	1			
				Planta electrica	1			
				Compresor Estacionarios	2			
				Bombas neumáticas	4			
				Cash Tank de 250 bls	1			
				Colectivo	1			



ANEXO H.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ATP 20-10

Rótulo NFPA



EFFECTOS PARA LA SALUD

Límites de exposición ocupacional:

TWA: 1.4 mg/m³ (1ppm) (ACGIH 2004)

STEL: N.R (ACGIH2004)

TECHO

IPVS:

Inhalación: sensación de ardor en la garganta, tos, posible paro respiratorio y edema pulmonar, Corrosivo, ardor en la garganta, dolor en el pecho, vomito, hemorragias. La información espontanea de oxígeno en el esófago o estomago pueda ocasionar heridas.

Ingestión: corrosivo, ardor en la garganta, dolor en el pecho, vomito, hemorragias. La información espontanea de oxígeno en el esófago o estomago pueda ocasionar heridas.

Piel: corrosivo a concentraciones mayores al 10%, blanqueamiento de la piel y picazón.

Ojos: corrosivo, enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Puede causar daños irreparables en la retina y eventualmente ceguera. Efectos retardados hasta una semana después.



Efectos: el contacto prolongado o repetido con la piel puede causar dermatitis. Los experimentos de laboratorio han dado lugar a efectos mútanos. El contacto repetido puede causar daño corneo.

PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. No usar método boca a boca. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.

Ingestión: lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito, si este se presenta inclinar la víctima hacia adelante. Buscar atención médica inmediatamente. Si esta inconsciente no darle de beber nada.

Piel: lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Retirar la ropa y calzado contaminados. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

Ojos: lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN

Punto de inflamación (°C): N.A

Temperatura de auto ignición: N.A

Límites de inflamabilidad (%V/V): 40-100

Peligros de incendio y/o explosión: no inflamable. Con el calor propicia la combustión espontánea de materiales combustibles. Libera oxígeno el cual intensifica y favorece la combustión

Productos de la combustión: N.R.

Precauciones para evitar incendio y/o explosión: mantener alejado de toda fuente de calor. No colocar junto a materiales de combustibles, ni impurezas. Evitar golpes y fricción.



Procedimientos en caso de incendio: evacuar o aislar el área del peligro. Restringir el área de acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal.

Agentes extintores del fuego: solo utilizar agua .No utilizar espuma, producto químico seco, Dióxido de carbono o polvo.

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

Almacenamiento: lugares ventados, frescos y secos. Mantener lejos de fuentes de calor, chispa e ignición. Separar de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados. Almacenar protegido de luz y a temperaturas inferiores a 35°C.

Tipo de Botellas: de vidrio ámbar, garrafas, barriles de aluminio, barriles no retornables de polietileno con envoltura de fibra y acero; camiones y vagones cisterna.

Manipulación: usar siempre elementos de protección personal así sea corta la exposición o la actividad que va a realizar con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Conocer a donde está el equipo de emergencias

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL/CONTROL EXPOSICIÓN

Uso Normal: usar las gafas o anteojos de seguridad apropiados para el producto químico según lo descrito por las regulaciones de la OSHA en 29 CFR 1910,133 o en el estándar Europeo EN166. Guantes largos, botas y ropa de protección impermeables al producto. Respirador con filtros para vapores inorgánicos. Un programa de protección respiratoria que resuelve los requisitos de la OSHA en 29 CFR 1910,134 y del ANSI Z88.2 o del estándar Europeo en 149 deber ser seguido siempre que el lugar de trabajo condicione el uso de un respirador.

Control de Emergencias: equipo de respirador autónomo (SCBA) y ropa de protección TOTAL.

Controles de Ingeniería: ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los limites de exposición ocupacional o se mantenga lo más baja posible. Considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Garantizar el



control de las condiciones del proceso. Suministrar aire de reemplazo de continuamente para suplir el aire removido. Disponer de duchas y estaciones lavaojos.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: estable bajo condiciones normales de presión y temperatura.

Incompatibilidades o materiales a evitar:

Agua: NO, **Aire:** NO

Otras: Materiales combustibles, agentes reductores, iones metálicos, materiales oxidables, hierro, cobre, latan, bronce, cromo, cinc, plomo, plata, manganeso.

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

DL50 (oral. rata)=376 mg/Kg Efectos: Peritonitis, cambio en la cuenta de leucocitos.

DL50 (piel, ratas)=4.06 g/kg. DL 50 (inhalación, ratas)=2g/m³ en 4 h, Efectos: sobre los pulmones, Tórax, embolia pulmonar. No es listado como carcinógeno por la ACGIH, IARC, NIOSH, NTP, OSHA. Ensayos en los ojos. Una dosis de concentración entre 5-30% de peróxido de hidrogeno en los ojos de los conejos causo cataratas. Mutagenicidad: presenta cambios en el ADN para la bacteria (E.coli) y mutaciones en la Saccharomyces cerevisiae.

INFORMACIÓN ECOLÓGICA

CL50 (Trucha)=40ppm/tns agua salada.CL50 (Daphnia Magna)=0.007g/l durante 24h.

CONSIDERACIONES DE ELIMINACIÓN Y/O DISPOSICIÓN

El material derramado puede ser recogido y recuperarse, o diluirse con abundante agua y desecharse según normatividad.



ANEXO I.

MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO (TPH) EN SUELOS.

Cuantificación de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) por el método gravimétrico (Método EPA SW-846 3540, USEPA, 1992).

PROCEDIMIENTO:

- La muestra de suelo con petróleo pasarlas por un tamiz de 2 mm hasta obtener un material bien homogeneizado.
- Cortar papel de filtro de 12cm ancho por 12cm de largo y hacer cilindros.
- Poner en el fondo del cilindro algodón.
- Pesar 10 gms de suelo con petróleo anotar el peso exacto, se realizan tres repeticiones.
- Pesar 10 gms de sulfato de sodio anhídrido.
- Mezclar bien ambas sustancias y ponerlos dentro del cilindro tapándolo con un algodón.
- Pesar los balones y anotar su peso.
- Pone el cilindro de papel de filtro en el cilindro de vidrio.
- Añadirle cloroformo, por encima del cilindro de papel y dejar que haga sifón y volverlo a llenar.
- Prender los calentadores y abrir la canilla con la manguera de agua fría.
- Dejarlos que hagan sifón cuantas veces sea necesarias hasta que el cloroformo con el papel de filtro salga totalmente transparente.
- Recuperar el cloroformo hasta que en el balón no quede nada.
- Poner los balones en la estufa.
- A las 2hs hacer la primera pesada, repetirlo dos veces más.
- Fórmulas de cálculo:

$$\text{Porcentaje HC (\%)} = \frac{(\text{Peso balón + petróleo} - \text{peso balón}) * 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$\text{Promedio} = \frac{(\text{La suma de los tres resultados de \%})}{3}$$



ANEXO J.

PRUEBA DE JARRAS

Es un procedimiento que se utiliza comúnmente en los laboratorios, este método determina las condiciones de operación óptimas generalmente para el tratamiento de aguas. La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación o floculación que promueven la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica.

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Equipo para pruebas de jarras que consiste de un set de agitadores mecánicos controlados por un aparato que regula su velocidad y una lámpara de iluminación.
- Seis vasos de precipitados de 2000 mililitros.
- Pipetas graduadas de 2, 5, 10, 15, 20 y 25 mililitros.
- pHmetro o papel indicador de precisión.

REACTIVOS:

- Soluciones Stock de 1000 ppm, de sulfato de aluminio.
- Soluciones Stock de 1000 ppm, de cloruro férrico.
- Soluciones Stock de 1000 ppm, de polifosfato.
- Soluciones Stock de 1000 ppm, de un polímero orgánico.
- Solución NaOH y HCL 0.10 N.
- Reactivos o kits de análisis para pH, turbidez, color, alcalinidad y dureza.



PROCEDIMIENTO

- Determinar a la muestra de agua bien homogenizada, el color, la turbidez, el pH, la alcalinidad y la dureza. Asegurarse de que el pH de la muestra se halle comprendido entre el rango 6 y 7. En caso contrario, ajustarlo con solución de hidróxido de sodio o ácido clorhídrico 0.10 N.
- Medir seis porciones de un litro de muestra, cada uno en vasos de 2 litros y colocarlos en el equipo de jarras.
- Encender la lámpara y poner a funcionar los agitadores y estabilizar su rotación a 100 rpm.
- Dosificar el coagulante seleccionado a los primeros 5 vasos, en cantidades crecientes y simultáneamente a todos los vasos. Por ejemplo, 4, 8, 12, 16 y 20 mililitros de una solución stock 1000 ppm de alumbre $Al_2(SO_4)_3$.
- Mantener la agitación de las aspas a 100 rpm durante un minuto (mezcla rápida o coagulación) y luego baje la velocidad de agitación a 40 rpm y manténgala durante 15 minutos más (mezcla lenta o floculación).
- Una vez transcurridos los 15 minutos de agitación lenta, suspenda la agitación, retire los agitadores de los vasos y deje el sistema en reposo por 30 minutos durante los cuales deberá observar la apariencia y consistencia del flock y su velocidad de decantación.
- Finalmente, determinar la dosis óptima seleccionando aquella jarra en donde los valores de color y la turbidez sean los más bajos y en donde la velocidad de decantación y la consistencia del flock sean los mejores. Utilizar el vaso número seis a manera de blanco, para facilitar las comparaciones.