

***Instituto Tecnológico de Costa Rica***

***Escuela de Química***

***Carrera Ingeniería Ambiental***

***Proyecto Final de Graduación***

***Ingeniería Básica Ambiental para el Diseño de Mejoras del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE S.A en Moín-Limón***

***Estudiante***

***Luis Guillermo Valerio Pérez.***

***200652004***

***Para Optar por el Grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental***

***Profesor Director***

***Ing. Samuel Cubero Vargas. Msc***

***Limón, Costa Rica***

***Enero /2011***

# AGRADECIMIENTOS

---

*En primera instancia deseo dar gracias a Dios y a la Virgen María por haberme acompañando a lo largo de mis estudios y por permitirme alcanzar esta meta tan anhelada.*

*En segundo lugar, agradezco a mis padres German Valerio Arias y Ruth María Pérez Ocampo, por haberme regalado el don de la vida y por enseñarme todo aquello que no se aprende ni en la mejor universidad del mundo, la paciencia y la perseverancia.*

*Agradezco el apoyo, confianza y la transferencia de conocimiento brindado por parte mi profesor Tutor y asesor en la empresa, el Ing. Samuel Cubero Vargas, quien me permitió ampliar la visión acerca de mundo laboral y formación profesional. De igual manera, agradezco a mis lectores Msc. Giovanni Sánchez y Lic. Cristian Bogantes quienes con su experiencia me guiaron en la formulación y ejecución de mi proyecto.*

*Doy gracias a todas aquellas personas que laboran en la Unidad Ambiental y en el Departamento de Protección Integral, por aceptarme y hacerme sentir como parte de su grupo de trabajo, así como por la ayuda brindada de alguna u otra manera. Gracias especiales a Luis Solano Picado, Operador Equipo Móvil de RECOPE, quien colaboró de manera significativa en actividades de logística.*

*Agradezco además a la Coordinadora de la Escuela de Ingeniería Ambiental la Ing. Lilliana Gaviria por su comprensión y ayuda indispensable en toda mi formación profesional, además al asistente del Laboratorio Marco Méndez por valiosa disponibilidad y todo el personal de la Escuela de Química, por dirigirme acertadamente hacia la finalización exitosa de este proyecto.*

# Contenido

AGRADECIMIENTOS .....	2
Resumen.....	9
CAPITULO I. INTRODUCCION .....	9
1.1. Descripción de la Empresa.....	11
1.1.1. Localización Política Administrativa .....	11
1.2. Descripción del Problema a Resolver.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. General.....	14
1.3.2. Específicos .....	14
1.4. Marco Teórico.....	14
Capítulo II. Diagnostico Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE S.A) .....	25
2.1. Objetivos del Capitulo.....	25
2.2. Evaluación de la infraestructura Civil del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales .....	26
2.2.1. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Sector Oeste de la Calle 7.....	26
Componentes del Separador API .....	29
2.3. Evaluación de la Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). .....	38
2.4. Evaluación de la Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	42
2.4.1. Resultados .....	42
2.4.2. Discusión de Resultados.....	47
Capítulo III. Ensayos Experimentales, Pruebas de Coagulación – Floculación .....	50
3.1. Resultados Ensayo 1 .....	50
3.1.1 Registro Fotográfico Ensayo 1. ....	51
3.1.3. Discusión de Resultados .....	52
3.2. Resultados Ensayo 2.....	53
3.2.1. Registro fotográfico Ensayo 2. ....	54
3.2.3. Discusión de Resultados .....	56
3.3. Resultados Ensayo 3.....	58
3.3.3. Registro fotográfico Ensayo3. ....	62
3.4. Resultados Ensayo 4.....	65
3.4.1. Discusión de Resultados .....	66
3.5. Resultados ensayo 5.....	67
3.5.1. Registro Fotográfico de las Pruebas .....	68
3.5.2. Discusión de Resultados .....	70

Capítulo IV. Mejoras del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería .....	72
4.1. Rediseño de la Laguna de Oxidación .....	72
A. Aguas de purga de Torre de Enfriamiento.....	72
4.1.1. Factores de Influencia para el Diseño. ....	74
4.1.2. Especificaciones del Diseño .....	75
4.1.3. Criterios de Diseño .....	76
4.2. Propuesta de Suministro de Sistema de Tratamiento Primario Físico- Químico por Flotación por Aire Disuelto (FAD).....	79
4.2.1. Compra de Unidades FAD como Sistemas de Tratamiento Primario .....	79
4.2.2. Propuesta de Adaptación de Sistema de Sistema de Separación API en un Sistema FAD. ....	84
4.3.1. Proceso de Coagulación- Flocculación .....	84
4.5. Evaluación Económica, Ambiental y Técnica de las Alternativas de Tratamiento Primario .....	91
4.5.1. Evaluación económica de la compra de Sistemas FAD. ....	91
4.5.2. Evaluación económica de la modificación del Separador API. ....	96
4.5.3. Balances Económicos .....	99
4.5.4. Evaluación Ambiental de la instalación de un Sistema de tratamiento Primario en la Refinería ....	100
4.5.6. Evaluación técnica .....	108
Capitulo V. Conclusiones y Recomendaciones del Proyecto.....	109
5.1. Capítulo II. <i>Diagnostico Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales</i> .....	109
5.2. Capítulo III. Ensayos Experimentales .....	113
5.3. Capítulo IV. Alternativas de diseño.....	115
Bibliografía.....	119

## Índice de Figuras

Figura 1. Localización de refinería de RECOPE.SA, en Limón .....	12
Figura 2. Separador API.....	17
Figura 3. Proceso de coagulación- Floculación .....	19
Figura 4. Una de las rejillas y a la par un recipiente para la recolección de sólidos.....	27
Figura 5. Césped recolectado en las rejillas.....	27
Figura 6. Desechos sólidos contaminados por petróleo, que atascan las rejillas .....	28
Figura 7. Vistas Separador API.....	29
Figura 8. Cámara de Pre separación.....	30
Figura 9. Cámara de preseparación .....	30
Figura 10. Sistema de arrastre de los canales del Separador API.....	31
Figura 11. Discos oleofílicos según su operación .....	32
Figura 12. Laguna de oxidación.....	33
Figura 13. Panel de control muestreador de aguas .....	35
Figura 14. Esquema de fuentes .....	36
Figura 15. Canaleta Parshall.....	37
Figura 16. Sistema de pantallas de la salida. ....	37
Figura 17. Mapa Zonas permitidas para la ubicación de plantas de tratamiento en RECOPE; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 18. Caracterización de las aguas del sistema de tratamiento del sector oeste de la calle 7 .....	46
Figura 19. Utilización solo de coagulante cloruro férrico 200 ppm .....	51
Figura 20. Simulación de FAD con botella plástica .....	52
Figura 21. Comparación de rendimiento de Cloruro férrico y floculante 4893 vs Cloruro férrico y floculante Flok eco 8040 respectivamente.....	52
Figura 22. Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1% 120 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/l.....	54
Figura 23. Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1% 100 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/l.....	54
Figura 24. Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1% 160 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/l.....	55
Figura 25. Comparaciones de pruebas .....	55
Figura 26. Prueba de Remoción de Grasas y Aceites .....	56
Figura 27. Diseño factorial 2 <sup>3</sup> tratabilidad de aguas de RECOPE.....	61
Figura 28. Condición inicial de pruebas de Pix con 4893.....	62
Figura 29. Resultados 1 hora de sedimentación.....	63
Figura 30. Mejor resultado de Pix con 4893.....	63
Figura 31. Peor resultado de Pix con 4893 .....	64
Figura 32. Peor resultado Pix con 4330.....	64
Figura 33. Mejor resultado Pix con 4330.....	64
Figura 34. Módulo de Tratamiento de sedimentación con Coagulación- Floculación Previas .....	65
Figura 35. Agua saturada a 120 Psi.....	68
Figura 36. Prueba con 160 ppm de Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893 .....	69
Figura 37. Prueba aplicada solo con adición de agua saturada.....	69
Figura 38. Prueba solo adicionando 16 ppm de floculante.....	69
Figura 39. Prueba con 80 ppm de Coagulante PIX y 8 ppm de Floculante 4893 .....	70

Figura 40. Agua con remoción manual de Natas .....	70
Figura 41. Base conformada para la colocación de la Arcilla con un grosor de 60 cm. ....	75
Figura 42. Construcción de terraplenes. ....	76
Figura 43. Configuración para la instalación de sistemas FAD .....	81
Figura 44. Pantallas lamelares .....	81
Figura 45. Bomba Nikuni .....	82
Figura 46. Equipo DAF propuesto.....	82
Figura 47. Punto para la dosificación de Coagulante .....	84
Figura 48. Componentes del sistema de Coagulación. ....	85
Figura 49. Tanque de distribución .....	86
Figura 50. Punto de dosificación de Flocculante .....	87
Figura 51. Diagrama de flujo actualizado del sistema de tratamiento de aguas residuales .....	89
Figura 52. Bombas de saturación en paralelo y compresor .....	90
Figura 53. Distribuidor y válvulas para la dosificación del agua saturada en el interior del API.....	90
Figura 54. Distribuidores de agua saturada.....	91
Figura 55. Aspectos ambientales significativos de la modificación del Separador API .....	105
Figura 56. Rejas de limpieza mecánica.....	110
Figura 57. Cadenas del Separador API de RECOPE vrs Cadenas bien ajustadas.....	111
Figura 58. Módulos lamelares Sedi-Tech®, .....	112
Figura 59. Propuesta de Mejora al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	117

## Índice de tablas

Tabla 1. Diseño factorial 2 <sup>3</sup> empleados .....	20
Tabla 2. Porcentajes de Remoción de Contaminantes Separador API No.1 .....	42
Tabla 3. Porcentajes de Remoción de Contaminantes Laguna de Oxidación No.1 .....	44
Tabla 4. Balance de masas entradas y salidas del separador API.....	47
Tabla 5. Balance de masas de entradas y salidas de la Laguna de Oxidación No.1 .....	47
Tabla 6. Síntesis de las pruebas realizadas en el ensayo 1 .....	51
Tabla 7. Pruebas con Cloruro Férrico y CALLAWAY C-4330 realizadas en el ensayo 2.....	54
Tabla 8. Resultados de remoción de Grasas y Aceites utilizando 160 ppm de PIX como Coagulante y 20 ppm de 4330 como Floculante.....	54
Tabla 9. Aplicación de Factorial en la prueba .....	58
Tabla 10. Diseño factorial 2 <sup>3</sup> empleado .....	59
Tabla 11. Medida individual del efecto de cambiar la concentración de Coagulante de 160 a 240 ppm .....	60
Tabla 12. Medida individual del efecto de cambiar la concentración de Floculante de 16 a 24 ppm.....	60
Tabla 13. Medida individual del efecto de cambiar el tipo de Floculante de 4893 A 4330 .....	61
Tabla 14. Pruebas adicionales utilizando solo Kemira PIX-111 .....	62
Tabla 15. Condiciones antes y después de la coagulación .....	65
Tabla 16. Control de pH en el proceso .....	66
Tabla 17. Resultados Obtenidos de diferentes Tratamientos con un Sistema FAD. ....	68
Tabla 18. Sumatoria y caracterización de afluentes de las lagunas.....	74
Tabla 19. Equipos y suministrados por el proveedor .....	81
Tabla 20. Materiales de construcción .....	83
Tabla 21. Parámetros de Diseño equipo de dosificación Coagulante. ....	85
Tabla 22. Diseño equipo de dosificación Coagulante.....	85
Tabla 23. Síntesis de ahorros por recuperación de producto.....	92
Tabla 24. Cantidades de DQO Y SS vertidos en el rio Moin .....	92
Tabla 25. Ahorro por Reducción por Canon Ambiental por la compra de equipos FAD.....	93
Tabla 26. Valor en Euros de los metros cúbicos de agua tratada.....	93
Tabla 27. Beneficio ambiental de la depuración .....	94
Tabla 28. Valoración ambiental del tratamiento de aguas de la refinería de RECOPE .....	94
Tabla 29. Precio de inversión inicial.....	94
Tabla 30. Costos Operativos por consumo de productos químicos .....	95
Tabla 31. Costo de operación de las dos unidades FAD por consumo de energía anual.....	95
Tabla 32. Recuperación por ahorros de la modificación de separador .....	96
Tabla 33. Cantidades de DQO Y SS vertidos en el Rio Moin.....	97
Tabla 34. Ahorro por Reducción por Canon Ambiental por la modificación del Separador API.....	97
Tabla 35. Valoración ambiental del tratamiento de aguas actual de la refinería de RECOPE y con la modificación del Separador API.....	97
Tabla 36. Oferta económica por compra de equipos.....	98
Tabla 37. Costos Operativos por consumo de productos químicos .....	98
Tabla 38. Costo aproximado de operación de los equipos para modificar el separador API por consumo de energía anual .....	98
Tabla 39. Síntesis Balance económico .....	99

Tabla 40. Impactos ambientales de la etapa de la instalación de sistema de tratamiento primario con su rangos de evaluación.....	102
Tabla 41. Evaluación de los impactos ambientales en las dos opciones de tratamiento .....	102
Tabla 42. Calificación criterio Frecuencia Potencial Ambiental.....	103
Tabla 43. Calificación criterio Consecuencia Potencial Ambiental .....	104
Tabla 44. Prioridades de respuesta según calificación.....	104
Tabla 45. Evaluación de aspectos e impactos ambientales en la etapa de construcción .....	106
Tabla 46. Resultados obtenidos de la Evaluación Ambiental de la instalación de un sistema de tratamiento Primario en la refinería .....	107

## Resumen

---

El presente trabajo es un estudio de ingeniería básica ambiental para la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE S.A.), enfocado en brindar soluciones de diseño que permitan a la empresa mejorar la calidad de los efluentes generados por el Tratamiento de Aguas Residuales de Refinería de Moín en Limón, para garantizar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado a las vecinas de la provincia.

Para desarrollar esta investigación se realizó un diagnóstico ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en donde se concluyó que se debe implementar un Manual de Operación y de Mantenimiento, además de un Programa de Mantenimiento Preventivo Total para reducción de los tiempos muertos y el paro de sistemas productivos, generados por el malfuncionamiento de las operaciones en los equipos actuales.

En lo que respecta a la evaluación operativa de los equipos, el Separador API presentó como eficiencia más alta la remoción de Hidrocarburos Totales (85,19 % ) y la más baja en Sólidos Suspendidos (16,39%), la cual es generada por algunas malas prácticas y el deterioro de algunos dispositivos. Por su lado, la Laguna de Oxidación tiene eficiencias de remoción de Hidrocarburos Totales de 55,89 %, rendimientos más bajos que los esperados teóricamente de 70 a 80%, esto es debido a que el tiempo de retención no es el suficiente para la degradación de los contaminantes.

Con el fin de brindar una opción de mejora de Tratamiento Primario, se determinó que el mejor tratamiento es la incorporación de un sistema de Flotación con Aire Disuelto (FAD) con Coagulación- Floculación previa, para llegar a esta conclusión se realizaron una serie de pruebas en laboratorios donde se corroboró que para las aguas residuales generadas por la Refinería, el coagulante que presenta mejores resultados de turbiedad es Cloruro férrico( Kemira PIX-111) con una dosis de 160 ppm, y el Floculante es la Poliacrilamida catiónica (CALLAWAY C-4893) con una dosis de 16 ppm.

En lo que respecta a la mejoras de diseño para el sistema de tratamiento de aguas residuales actual, se hizo un análisis técnico, económico y ambiental de dos alternativas de Sistema Primario de tipo FAD, donde la opción más viable a corto y mediano plazo es la modificación del Separador API de manera que opere como un sistema FAD a través de la adaptación de bombas de saturación y dispositivos de distribución de agua saturada en la cámara de separación , debido a que la inversión inicial-operativa es más baja, permitiría captar algunos ahorros significativos, no requiere de espacio adicional para su implementación y se aprovecha la infraestructura civil actual. Además se brinda el rediseño de la laguna de oxidación actual que permitiría aumentar la eficiencia a 85 % en la remoción de contaminantes.

## Abstract

---

This project is a basic environmental engineering study carried out at the Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE SA). It is focused on providing design solutions with the purpose of improving the quality of the effluents generated by the wastewater treatment plant in one of its refineries located in Moín, Limón. This project also has the purpose of ensuring a healthy and ecologically balanced environment to the residents of the province.

An environmental diagnosis was performed in the Wastewater Treatment Plant in order to develop this investigation and it was concluded that a Total Preventive Maintenance Program must be implemented in order to reduce downtime and inactivity of the production systems, caused by the malfunction of equipment currently available.

In regards to the operational assessment of the equipment, the API Separator presented a high hydrocarbons' removal efficiency for a total of 85.19% and very low suspended solids' removal efficiency for a total of 16.39%. This issue is generated by some bad practices and the deterioration of certain equipment. On the other hand, the Hydrocarbons' oxidation pond removal efficiency is 55.89%, which is lower than the theoretically expected 70% to 80%; this is because the retention time is not sufficient for degradation of pollutants.

In order to improve the primary treatment, it was determined that the best option is to incorporate a Dissolved Air Flotation system (DAF) with coagulation-flocculation. This was concluded after running a series of tests in laboratories that confirmed Chloride Ferric (Kemira PIX-111) with a dose of 160 ppm as the best coagulant and cationic polyacrylamide (C-CALLAWAY 4893) with a dose of 16 ppm as the best flocculant in terms of turbidity results in the wastewater.

With regard to the improvements on the design of the current wastewater treatment system, a technical, financial and environmental analysis of the performance of two different and basic DAF systems was carried out. According to the results, the most feasible short and medium term option is the API Separator but it has to be modified, so that it operates as a DAF system by implementing saturation pumps and saturated water distributors in the separation chamber. Since the initial investment to operate it is low, significant savings could be obtained. Plus, additional space is not required as the existing infrastructure can be used. In addition, a redesign proposal of the existing oxidation pond, which would increase the efficiency in removing pollutants to 85%, is included in this document.

## **CAPITULO I. INTRODUCCION**

### **1.1. Descripción de la Empresa**

La Refinadora Costarricense de Petróleo S. A. (RECOPE S. A.) es una empresa pública que, desde hace 45 años, ha enfocado sus operaciones a la importación, refinación, mezclado y distribución a granel de los combustibles que demanda el país. Entre sus productos de comercialización, están: el gas licuado de petróleo (LPG), las gasolinas regular y súper, el diésel, combustibles para aviones y barcos, asfalto y diferentes emulsiones asfálticas, las naftas, entre otros. En total, los 16 productos de RECOPE S. A. proveen alrededor del 70% de la energía que el país necesita para su desarrollo económico y social. (RECOPE, 2010)

Para cumplir su misión y visión, RECOPE S. A. ha construido el Sistema Nacional de Combustibles (SNC). Este está conformado por un muelle petrolero, localizado en el Puerto de Moín, donde se reciben los embarques de crudo y productos terminados; una refinería, localizada junto al muelle petrolero, con capacidad instalada para procesar 25.000 bbl/día de crudo liviano y 1.200 bbl/día de crudo pesado se obtiene diésel, naftas y búnker, los cuales son mezclados para obtener los productos que requiere el país.

El SNC cuenta, también, con cuatro planteles de almacenamiento y de ventas. Estos cuatro planteles están conectados a un sistema de poliductos con flujo en el sentido Atlántico-Pacífico, que conecta entre sí a los planteles de Moín, El Alto, La Garita, Aeropuerto y Barranca y tiene dos subestaciones de bombeo, ubicadas en Siquirres y Turrialba. En total, el sistema tiene una capacidad de almacenamiento de 3,3 millones de barriles de crudo y producto terminado, lo cual le permite a RECOPE S. A. cumplir su misión de garantizar en todo momento el suministro de los principales derivados del petróleo en Costa Rica.

El presente proyecto pretende implementarse en la Refinería de Moín, la cual es un complejo de producción industrial, que está constituido por una planta procesadora de hidrocarburos, los tanques de almacenamiento de crudos y producto limpio, talleres de mantenimiento, laboratorio, facilidades portuarias, instalaciones de seguridad, centro de salud, polideportivo y edificios administrativos; los cuales constituyen la Gerencia de Refinación. (RECOPE, 2010)

#### **1.1.1. Localización Política Administrativa**

La Refinería se encuentra en la zona Atlántica

Provincia: Limón    Cantón: 1º Limón    Distrito: Limón

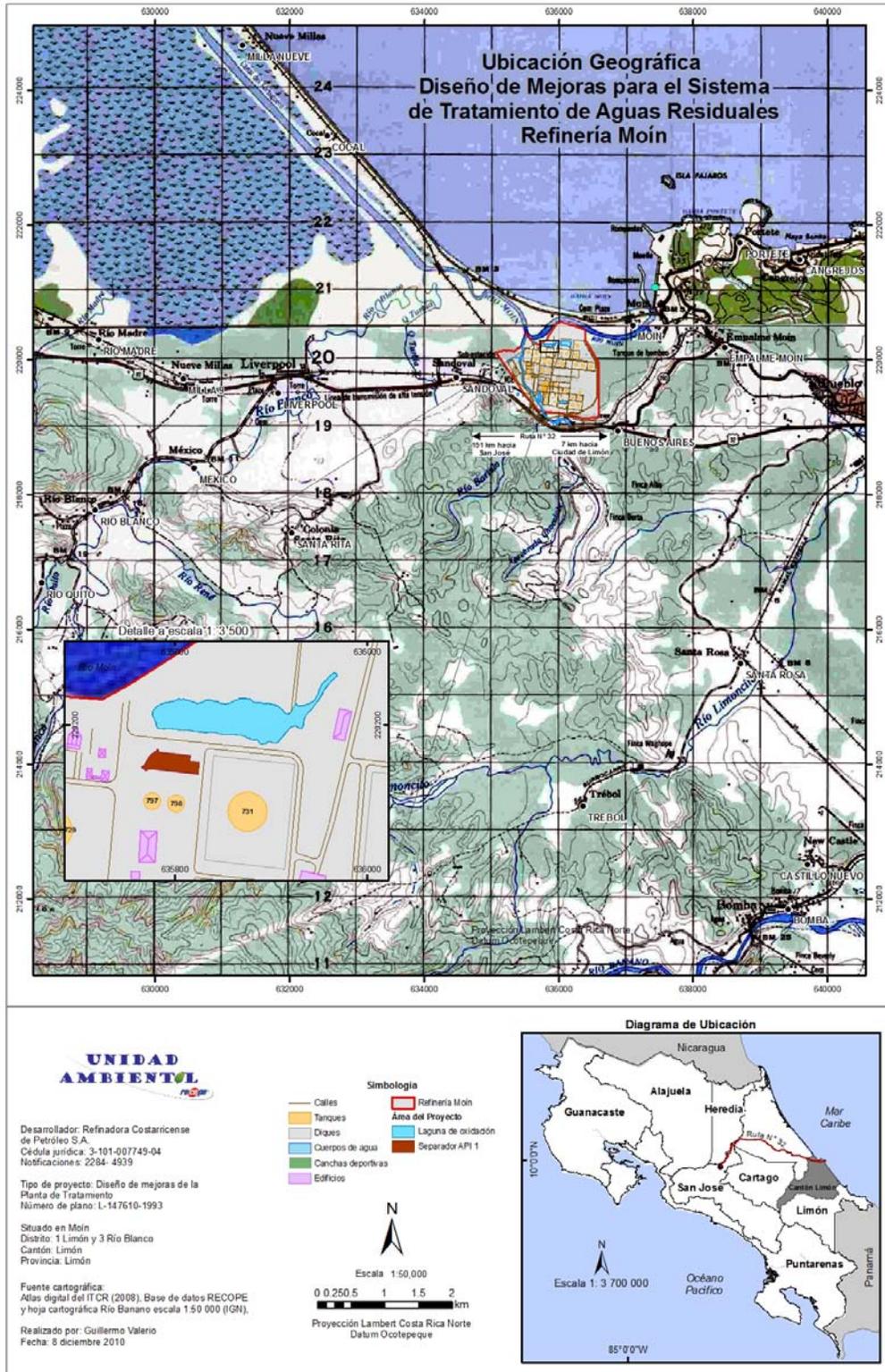


Figura 1. Localización de refinería de RECOPE.SA, en Limón

## 1.2. Descripción del Problema a Resolver

RECOPE, es la única industria petrolera en Costa Rica, genera diariamente altos volúmenes de aguas residuales, las cuales son vertidas al Río Moín en Limón, desde un sistema de tratamiento de Aguas Residuales. La empresa genera aproximadamente 54 541 m<sup>3</sup>/día de agua residual, los cuales provienen de aguas de procesos, drenaje de tanques, aguas de calderas, soda cáustica gastada, aguas de enfriamiento, aguas de cargaderos, entre otras (Reporte Operacionales, 2009).

Dado el impacto ambiental que tienen los hidrocarburos sobre la flora y fauna, acuática o terrestre, es indispensable su remoción de las aguas, antes de que éstas puedan ser vertidas en el río. Por ese motivo, todas las aguas para ser tratadas son recogidas en un canal abierto, y enviadas a un sistema de tratamiento, cuya finalidad es recuperar los aceites, que en la mayor parte de los casos flotan en la superficie de la mezcla agua/aceite por diferencias de densidad. En ocasiones, el hidrocarburo se halla en emulsión, lo cual obliga a un tratamiento más profundo. También hay aguas cuyo tratamiento se realiza con la finalidad de que recuperen el oxígeno que han perdido por causa de su calentamiento, tal como sucede con las aguas de enfriamiento. (Sanchez, y otros, 1997)

Actualmente, RECOPE dispone de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, los cuales son independientes entre sí por razones de topografía. Cada uno de ellos se halla constituido por un Separador API de 10 000 GPM y una Laguna de Oxidación. Mientras que uno se destina esencialmente al tratamiento de las aguas oleaginosas provenientes del área de Oeste de la calle 7, el otro sistema de tratamiento (Separador API 3000 GPM y laguna de Oxidación No.2) recibe preferiblemente las aguas oleaginosas del sector Este de la calle 7.

En el sistema de tratamiento del sector Oeste se han encontrado aspectos con potencial a mejorar, por ejemplo, el Separador API y la Laguna de Oxidación, por lo que la empresa busca optimizar estos procesos de depuración de aguas residuales a través del presente estudio en donde se incluyen los siguientes capítulos:

- **Capítulo I. Introducción.** Este capítulo incluye la descripción de la empresa, descripción del problema a resolver, objetivos y la metodología utilizada. Además, se incluirá una sección de marco teórico con el fin de facilitar el entendimiento de los lectores y comprender los fundamentos teóricos del proyecto.
- **Capítulo II. Diagnóstico de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería.** Este apartado es un diagnóstico ambiental en donde se evaluó la operación, ubicación y estado de infraestructura civil instalada del sistema actual de tratamiento de aguas residuales, para ello se tomó en cuenta la legislación ambiental que rige para las mismas como son el Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET, el Reglamento de Vertido y

Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAET-S y el Ley Forestal N° 7575. Del mismo modo, se aplicaron herramientas para la toma de decisiones como el Sistema de Información Geográfica ArcGis.

- **Capítulo III. Ensayos Experimentales.** En este capítulo se presenta una serie de resultados experimentales, elaborados con el fin de formular una mejora de Tratamiento Primario de Tipo Flotación con Aire Disuelto (FAD). Para ello, se realizaron una serie de pruebas en laboratorios y en el campo para determinar los productos químicos óptimos, como también las dosis con mayor rendimiento de remoción de contaminante.
- **Capítulo IV. Alternativas de Diseño.** Este apartado contempla el rediseño de la laguna de Oxidación, además, se presentan los detalles técnicos y evaluación económica-ambiental de dos propuestas de Tratamiento Primario de Aguas Residuales de la Refinería.
- **Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones:** En esta sección se detallan las principales conclusiones y recomendaciones del proyecto.
- **Capítulo VI. Anexos:** Aquí se encuentran algunas herramientas aplicadas en el trabajo, además de un Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. General

- Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE S.A. en Moín-Limón con eficiencia mejorada a partir de la implementación de un equipo de Flotación con Aire Disuelto con Coagulación- Floculación previa.

#### 1.3.2. Específicos

- Rediseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de Moín-Limón.
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Refinería de Moín-Limón con correcta operación y mantenimiento.

### 1.4. Marco Teórico

Para brindar las soluciones en este proyecto se procedió a buscar estudios de investigación similares realizados tanto al interno de la empresa como en otras Refinerías de América Latina. En RECOPE se han realizado varios trabajos como son *Tratamiento de Aguas Residuales: Mejoras al Separador No.1 y Laguna Oxidación No.1*, y *Segregación de Aguas oleaginosas de la Refinería* realizados por Scott J y Sánchez W en 1997, en donde se dan

algunas recomendaciones para el Sistema de Tratamiento actual, pero muchas de estas ya fueron implementadas.

En lo que respecta a estudios realizados en otras Refinerías, los que más se ajustan al problema a resolver son *Características y Reutilización de Aguas en Refinerías*, realizado por Nacheva P en el 2001, en una Refinería en México y el estudio realizado por la misma autora *Tratamiento Primario de Aguas Residuales de la Refinería Francisco I. Modero en México* .

En las dos investigaciones se realizaron diversas pruebas con aguas residuales de las Refinerías, enfocadas a dos sistemas de tratamientos primarios como son Flotación con aire Disuelto (FAD) y Coagulación- Floculación con la adición de reactivos químicos. En ambos estudios se obtuvieron resultados similares, se determinó que para Coagulación –Floculación los datos óptimos se presentaron con las combinaciones Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y la Poliacrilamida Catiónica (C- 1288), así como solamente con la Poliacrilamida Catiónica ECOFLOC, en ambas se puede lograr una remoción del aceite de 93-98% empleando una carga superficial de  $0.94\text{-}2.30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  y un tiempo de retención de 75-120 min. Con lo obtenido en estos proyectos se buscará realizar pruebas de tratabilidad con productos químicos con propiedades similares. A continuación se detallan algunos conceptos esenciales que se desarrollaran en el transcurso de esta investigación.

#### **1.4.1. Tratamiento de Aguas de Refinería**

La contaminación por petróleo y sus derivados es uno de los factores que más afecta a los ecosistemas acuáticos, causando serias afectaciones al suelo, flora, fauna y salud humana por la ruptura, en muchos casos, del equilibrio de restauración natural. (Pérez, 2007). En términos teóricos el tratamiento de aguas residuales de Refinerías consta de tres etapas principales: A continuación se presentan detallan:

##### **A. Pretratamiento.**

Se ha estimado que una cantidad entre el 0,5% y el 4% del crudo procesado podría salir en el agua residual antes de recibir cualquier tratamiento. Por este motivo, el efluente generado tiene que pasar primero por un separador agua/aceite (CPI, PPI o API), para la eliminación de sólidos y aceite libre, y un tanque de homogeneización. (Gallardo, 2003)

En este punto habitualmente se emiten ciertas cantidades de Compuestos Orgánicos Volátiles. Los mecanismos para reducir dicha emisión desde los Separadores API, se basan por aislar la superficie del Separador API de la atmósfera mediante el empleo de cubiertas (fijas o móviles), la reducción del tiempo de permanencia en la superficie de los hidrocarburos separados (utilización de discos oleofílicos u otros sistemas automáticos de recogida) y la instalación de sellos de agua en alcantarillado y drenajes y cubiertas a prueba de gas en las cajas de unión del sistema. (Gallardo, 2003)

##### **B. Tratamiento Primario.**

La etapa que sigue a la sedimentación primaria es la separación, mediante flotación con aire, del aceite emulsionado y sólidos finamente dispersados. Para ello, con la ayuda de

polielectrolitos, se forman flóculos. El lodo así formado es elevado a la superficie debido a que pequeñas burbujas de aire son también atrapadas por los flóculos de lodo. La fase aceitosa es desnatada y el agua enviada a biotratamiento. (Gallardo, 2003)

### **C. Tratamiento Secundario.**

Después de que el aceite es desnatado en el proceso de flotación, el agua se dirige a un biotratamiento. Las tecnologías usualmente empleadas son el tratamiento con lodos activos, filtro percolador y lagunas aireadas. Las bacterias consumen casi todos los hidrocarburos y otras materias orgánicas disueltas. En caso de requerir eliminación profunda del nitrógeno, se realizará también una nitrificación-desnitrificación durante el biotratamiento. Las bacterias aeróbicas son capaces de convertir amoníaco en nitrato y en otra etapa del biotratamiento llamada anóxica (sin aireación), otras bacterias convierten el nitrato en nitrógeno atmosférico que escapa como burbujas. (Gallardo, 2003)

### **D. Tratamiento Terciario.**

No suele llevarse a cabo a menos que la calidad requerida para el agua a reutilizar sea excepcional. En el caso de que resulte preciso, se determinará cuál es la opción tecnológica más conveniente: procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa, empleo de adsorbentes, etc. para eliminar los sólidos disueltos en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos. (Gallardo, 2003)

A continuación se detallan algunos sistemas de tratamiento específicamente relacionados a en este proyecto para comprender mejor sus principios de funcionamiento:

## **1.4.2. Equipos de Tratamiento Involucrados en este Proyecto**

### **A. Separador API**

Reciben este nombre de la empresa encargada de su diseño (American Petroleum Institute). Están diseñadas para recibir los componentes más livianos del desecho cuentan con rastras, que sirven para impulsar el producto hacia los colectores. (Sainz, 2009) Los principios en que se basan los separadores API parten de la gran experiencia adquirida en las múltiples unidades instaladas, principalmente en la industria del petróleo.

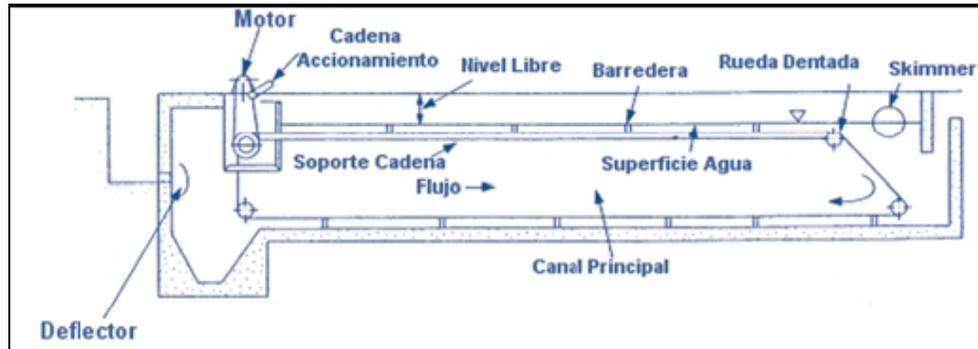
Este tipo de separadores consiste en un canal de sección rectangular, trabajando en régimen del flujo laminar y con un tiempo de retención que permita a las gotas de aceite a separar alcanzar la superficie de donde serán eliminadas. (Sainz, 2009). Con el fin de facilitar la separación, se instalan unas barrederas superficiales perpendiculares a las paredes laterales del canal y arrastradas por unas cadenas sinfín, que se desplazan en la misma dirección del flujo, acumulando el aceite en las proximidades de un *skimmer*(*desnatador*), que facilita la eliminación. (Sainz, 2009)

Debido a la disminución de la velocidad del agua, en estos equipos tiene lugar una decantación de parte de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Estos sólidos son arrastrados a uno de los extremos del separador, por las barrederas en el camino de regreso, acumulándose en unos pocetos de donde son extraídos por bombeo y enviados a

tratamiento de lodos. Con el fin de no producir turbulencias en el seno del líquido, la velocidad de las rasquetas debe ser muy lenta.

En la figura 2 se recoge esquemáticamente, un separador de este tipo

Figura 2. Separador API



Fuente: (Sainz, 2009)

Los Separadores API trabajan con el principio de la **Ley de Stokes** que se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajos números de Reynolds. En general la ley de Stokes es válida en el movimiento de partículas esféricas pequeñas moviéndose a velocidades bajas. (Sainz, 2009)

La condición de bajos números de Reynolds implica un flujo laminar lo cual puede traducirse por una velocidad relativa entre la esfera y el medio inferior a un cierto valor crítico. En estas condiciones la resistencia que ofrece el medio es debida casi exclusivamente a las fuerzas de rozamiento que se oponen al deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras a partir de la capa límite adherida al cuerpo. La ley de Stokes se ha comprobado experimentalmente en multitud de fluidos y condiciones. (Sainz, 2009) Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido viscoso debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de caída o sedimentación igualando la fuerza de fricción con el peso aparente de la partícula en el fluido.

$$V_s = \frac{4r^2g(\rho_p - \rho_f)}{9\eta}$$

Donde:

- $V_s$  es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite)
- $g$  es la aceleración de la gravedad,
- $\rho_p$  es la densidad de las partículas y
- $\rho_f$  es la densidad del fluido.

- $\eta$  es la viscosidad del fluido. (Sainz, 2009)

## B. Sistemas de Flotación con Aire Disuelto (FAD).

La Flotación por Aire Disuelto es un proceso que permite remover las partículas presentes en el agua haciéndolas flotar, por medio de la adhesión burbujas con tamaños de 20-30  $\mu\text{m}$ . En este proceso, las microburbujas de aire, son generadas por la súbita reducción de presión en la corriente líquida saturada de aire, proveniente de una cámara o tanque saturación. (Gross, y otros, 2003)

En efecto, por medio de una bomba, una pequeña cantidad de agua clarificada (5 a 10 % del caudal que pasa por la unidad) es presurizada hasta un valor de 4 a 5,5 bar y conducida a un tanque de saturación, donde la concentración de aire disuelto alcanza su correspondiente valor de saturación. El aire es provisto mediante compresor controlado según demanda del sistema. Esta agua presurizada y saturada de aire, es distribuida a la entrada del agua floculada a la celda de flotación, donde mediante brusca descompresión, se propicia la liberación del exceso de aire en forma de diminutas burbujas. (Gross, y otros, 2003)

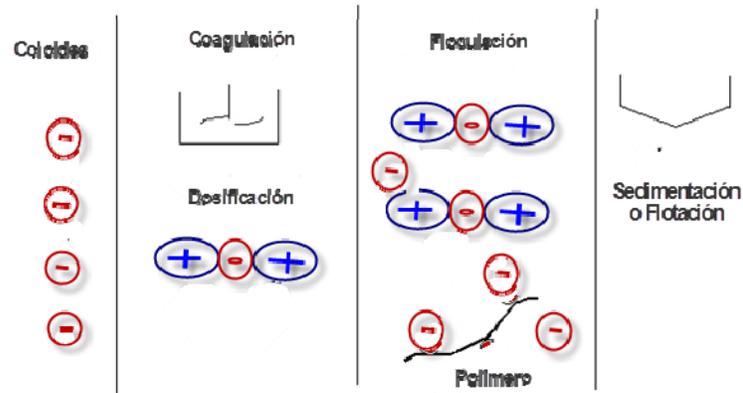
Estas a su vez, se adhieren rápidamente a los flóculos preformados haciéndolos flotar. Los flóculos ascienden y se acumulan en la superficie del recinto de flotación, formando una capa de lodo de espesor creciente, que se remueve periódicamente mediante raspadores superficiales. (Gross, y otros, 2003)

La tratabilidad de las aguas residuales generadas en la industria de refinación de derivados del Petróleo exige desarrollar equipo para determinar las condiciones de tratamiento para remover sólidos en suspensión grasas, aceites y rompimiento de material emulsificado. El tratamiento de flotación por aire disuelto, surge como un método viable, pero para obtener mejores resultados el sistema requiere el acondicionamiento de químicos para garantizar una efectiva separación con el FAD.

En química de aguas, un coagulante es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación o flotación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales. Coagulantes típicos son las sales de hierro y aluminio. Por su parte, un floculante es una sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación o flotación.

El proceso de floculación, que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o por flotación si se utiliza equipo de Flotación con Aire Disuelto (FAD). (Ramirez, 2007) A continuación se detalla el proceso de coagulación- Floculación

Figura 3. Proceso de coagulación- Floculación



Fuente: (Valerio, 2011)

Para realizar ensayos de Coagulación-Flotación es necesario realizar pruebas experimentales y análisis estadísticos para tener datos de confianza, por lo que a continuación se detallan otros conceptos importantes para la comprensión de este trabajo:

**Prueba de jarras:** Se utilizan con el objeto de definir la dosis de coagulante y floculante. Es la prueba más rápida y económica para definir múltiples variables que afectan el tratamiento del agua, con ellas se puede regular el pH, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que podría suceder en un equipo de tamaño industrial. (Calvo, 2008)

**Factoriales  $2^k$ :** Uno de los diseños experimentales más utilizados en la práctica industrial para estudiar el efecto de varios factores (variables de interés) sobre una respuesta (característica estudiada), son los diseños factoriales a dos niveles (valores que puede tomar cada factor), también conocidos como diseños factoriales  $2^k$ . Estos diseños se caracterizan por plantear experimentos en todas las combinaciones de valores de los factores, y como cada factor toma 2 valores distintos, si el número de factores es  $k$ , el número total de experimentos a realizar será  $2^k$ .

Con el diseño de factoriales  $2^3$  se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de  $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$  tratamientos diferentes, la región experimental se representa por un cubo regular centrado en el origen, cuyos vértices son los ocho tratamientos diferentes. La matriz de diseño se construye fácilmente alternando el signo menos y el signo más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna, y cuatro menos y cuatro más en la tercera, el diseño resulta acomodado en el orden estándar o de Yates. En el caso de este proyecto se definió el siguiente factorial con las diversas variables. (Gutiérrez Pullido, y otros, 2008)

**Tabla 1. Diseño factorial 2<sup>3</sup> empleados**

Experimento	Coagulante	Floculante	Tipo de Floculante	Turbiedad final NTU
1	-	-	-	
2	+	-	-	
3	-	+	-	
4	+	+	-	
5	-	-	+	
6	+	-	+	
7	-	+	+	
8	+	+	+	

Fuente: E.George. Estadística para investigadores. 1994. Editorial REVERTÉ. Barcelona. España

Estos rangos son establecidos previamente por medio ensayos experimentales donde se determina cuales coagulantes y floculantes dan mejores rendimientos, al igual que las dosis. Planteada la matriz de diseño, hay que realizar los experimentos para obtener la respuesta en cada condición experimental. Tradicionalmente se recomienda que el orden de realización de los experimentos sea aleatorio, una vez se tienen los valores de la respuesta, ya se puede cuantificar la influencia de los factores sobre dicha respuesta. Esta cuantificación se realiza a través del cálculo de los efectos, que pueden ser efectos principales o interacciones, siendo de especial interés el valor de las interacciones de 2 factores. (Gutiérrez Pullido, y otros, 2008)

Con este diseño se pueden estudiar los  $2^3 - 1 = 7$ , tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB,AC,BC y una interacción simple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles. Sin embargo, aunque de antemano se puede considerar la interacción triple ABC en el diseño como un efecto ignorable, es recomendable asegurarse de que su valor se mantiene pequeño, además de que al incluirla en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas graficas. (Gutiérrez Pullido, y otros, 2008)

Una excelente referencia para estudiar los diseños factoriales es el texto de Box, Hunter y Hunter (2005). Algunas de las características que este texto atribuye a este tipo de diseños son:

- Son especialmente útiles en las primeras etapas del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar.
- Requieren pocos experimentos elementales por cada factor, y a pesar de que no permiten explorar exhaustivamente una amplia región del espacio de los factores,

pueden indicar tendencias y así determinar una dirección prometedora para futuros experimentos.

- Cuando se requiere una exploración más completa, se pueden añadir nuevas tandas de experimentación siguiendo una estrategia secuencial. (G.E.P, y otros, 2005)
- Estos diseños y sus correspondientes fraccionales pueden ser utilizados en bloques para construir diseños con un grado de complejidad que se ajuste a la sofisticación del problema.
- La interpretación de las observaciones producidas por estos diseños se puede realizar en gran parte a base de sentido común, aritmética elemental y graficas de ordenador, en otras palabras, podríamos decir que el análisis de los resultados es bastante simple para estos diseños. (G.E.P, y otros, 2005)

### C. **Lagunas de Oxidación**

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada. (Romero, 2000)

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y fuerza de los vientos locales, y factores que afecta directamente a la biología del sistema. Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos. (Romero, 2000)

- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como  $DBO_5$ ) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la  $DBO_5$  del efluente. (Romero, 2000)
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual. (Romero, 2000)

### **Factores de Influencia para el Diseño de la Lagunas.**

#### **Oxígeno Disuelto:**

Este es un factor muy importante en una laguna de Oxidación es el Oxígeno disuelto (OD), porque tiene gran influencia en la acción fotosintética. En el caso de una laguna Facultativa, la capa oxigenada superficial presenta una variación diurna de OD y puede que el

oxígeno disminuya notablemente durante la noche, pero también puede ocurrir que se observen concentraciones de sobresaturación de OD durante el día, hasta valores determinados, en algunos estudios, de 36 mg/l. (Rojas, 2000)

### **Potencial de Hidrogeno (pH)**

El pH afecta, la mortalidad de las bacterias en lagunas de estabilización, los estudios de Pearson, en Lagunas en Portugal indican que la mortalidad es mayor en pH mayor a 8,5. Ante esta situación es necesario tener un control del pH de las aguas para no ver reducido la eficiencia en la laguna. (Rojas, 2000)

### **Radiación Solar**

La radiación Solar es la radiación total de Luz directa, difusa o dispersa, recibida sobre la superficie horizontal, por día. Se expresa en Langleys/d, y en una laguna de Oxidación es muy importante porque influye en la utilización de energía radiante, a través de fotosíntesis, por las algas e incide en la disminución del color de las aguas y sobre la temperatura de la laguna. (Rojas, 2000)

### **Profundidad:**

Si se toma en cuenta que una gran proporción de la demanda de oxígeno es ejercida por los lodos sedimentados, la profundidad de la laguna tiene efecto sobre el consumo de oxígeno. La profundidad controla el crecimiento de vegetación indeseable, además influye en la intensidad de la mezcla y mejor aireación superficial. Adicionalmente, la profundidad influye en la temperatura de la laguna, ya que estanques muy profundos pierden menos calor y permiten una descomposición más extensa. (Rojas, 2000)

### **Temperatura**

La actividad bacteriana, a temperaturas menores que la óptima, aumenta con el incremento de temperatura y se retarda a temperaturas menores. En general, se ha considerado que la tasa de crecimiento microbiano se duplica para un incremento de 10 °C, hasta una temperatura máxima de 35 °C a 38 °C. En el caso de las aguas generadas en RECOPE, el agua se encuentra dentro de estos rangos por lo cual no hay problemas. (Rojas, 2000)

### **Nutrientes**

Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento de algas, además del Carbono, se mencionan generalmente al Nitrógeno, al Fósforo, Calcio y Magnesio. (Rojas, 2000)

## **Sedimentación de Lodos**

La cantidad de lodos esperados en la laguna a diseñar son altos por lo cual es necesario tener un plan de extracción de los mismos. En una laguna facultativa, parte de la descomposición de la DBO se debe a la sedimentación de la materia orgánica como lodo, el cual se descompone anaeróbicamente, además se espera en el invierno un aumento del volumen de lodo, porque disminuye la tasa de estabilización. En cambio, en verano la tasa alta de descomposición anaeróbica puede hacer que se exceda la capacidad de oxigenación de la capa superior aerobia de la laguna y se transforme toda la laguna en una anaerobia. (Rojas, 2000)

## **Infiltración y Evaporación.**

Cuando una laguna no posee un sistema de control de infiltración, dicha infiltración se va reduciendo con el tiempo gracias a la sedimentación de lodos, algas y bacterias. El sistema debe ser lo suficientemente impermeable para evitar que los lixiviados se infiltren hacia cursos de aguas subterráneas y para facilitar su captación. Como medida de protección ambiental es recomendable impermeabilizar el suelo de fondo con material arcilloso técnicamente compactado y utilizar geomembranas apropiadas para estos fines.

## **1.5. Metodología**

A continuación se detalla las diversas metodologías que ayudaron a la formulación de este trabajo

### **1.5.1. Diagnostico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Para iniciar este proyecto fue necesario diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento para determinar que se necesitaba mejorar. Este diagnostico se realizó por medio de instrumentos escritos, lo cuales se llenaron a partir de los documentos suministrados por la empresa, consultas al personal y a través de la observación. Dentro de lo evaluado se encuentra:

- Estado de la infraestructura civil y ubicación de las mismas, esto se evaluó por medio del Software ArcGis, el cual es un programa para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica, estos corresponden a lugares, direcciones, posiciones en terreno, áreas urbanas y rurales; regiones y cualquier tipo de ubicaciones en terrenos determinados. Esta información es trabajada de manera sistémica, lo que representa una diferencia sustancial a lo relacionado al trabajo con información planos y mapas, permitiéndonos explorar, ver y analizar los datos según parámetros, relaciones y tendencias que presenta nuestra información, teniendo

como resultado nuevas capas de información, mapas y nuevas bases de datos. (ESRI, 2011)

- Determinación de la frecuencia de la operación y mantenimiento del sistema a través de consultas del personal.
- Operación histórica de la planta a través lo reportes operacionales suministrados por la empresa al Ministerio de Salud.
- Análisis de reportes operacionales de los últimos 5 años.
- Determinar la eficiencia de separador y laguna de oxidación en la remoción de contaminantes.
- Caracterización principales puntos muestreo de la planta de tratamiento de aguas residuales según los reportes operacionales.

#### **1.5.2. Cálculo de Diseño de Lagunas**

A partir de los datos generados del diagnostico se elaboró un diseño optimo para las aguas de RECOPE, para ello se tomaran los parámetros de Carga Hidráulica, Carga Orgánica del sistema (CO), Área superficial de las lagunas, relación largo/ancho y Tiempo de retención de la lagunas ( $T_r$ ) tomados de literatura especializada para estos tipos de industrias.

#### **1.5.3. Montaje de Ensayos Experimentales con las Aguas Residuales**

Para el estudio del proceso de rompimiento de la emulsión se evaluó diferentes coagulantes minerales, polímeros y sus combinaciones. A través de pruebas de jarras se buscó seleccionar el mejor reactivo, pH y las dosis óptimas químico utilizando aguas de refinería. Posteriormente, la dosis más optima se aplicó a aguas de la refinería en un modulo de tratamiento de coagulación – floculación de laboratorio de aguas de ingeniería ambiental para ver la simulación de un futuro proceso de tratamiento en la refinería. También se realizó un ensayo del proceso de flotación por aire disuelto (FAD), en un FAD que opera de forma continua en una empresa procesadora de aves.

Para la realización de este proyecto fue necesario visitar la Refinería, tanto para la recolección de información o recolección de aguas y realizar muestreos.

#### **1.5.4. Recomendación de Sistema Primario**

Amparado por los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad, se analizó cual de los sistemas se acopla mejor tanto técnica como económicamente para la empresa, se tomó en cuenta el espacio requerido, costos de operación , generación de residuos, ubicación y diseño.

#### **1.5.5. Elaboración de Manual de Operación y Mantenimiento de Nuevos Diseños**

Se elaboró según el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET.

### **1.5.6. Elaboración Informe Final**

El formato de la tesis o proyecto de graduación está descrito detalladamente con base al documento “normas de presentación de los informes de práctica de especialidad, tesis, seminarios y otros del ITCR en formato digital, elaborado por la biblioteca José Figueres Ferrer.

## **Capítulo II. Diagnostico Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE S.A).**

Este capítulo abarca la caracterización de las aguas generadas y evaluación las unidades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería. La metodología consistió en identificar los puntos de mayor concentración de contaminación y rendimientos de remoción más bajos, con el propósito de optimizarlos a través de buenas prácticas o con la incorporación de nuevas tecnologías, además se evaluó la posición geográfica de la Planta según lo establecido en los Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET, Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAET-S y Ley Forestal.

De igual manera, por medio del software ArcGis se valoró la ubicación del sistema actual, con el fin de determinar si éste representa un riesgo para el personal de operación y mantenimiento, para los ocupantes de las edificaciones propias, o en propiedades aledañas, o para la salud pública y los recursos naturales.

### **2.1. Objetivos del Capitulo**

#### **2.1.1. General**

- Diagnosticar desde una perspectiva de legislación ambiental el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE S.A. en Moín, Limón.

#### **2.1.2. Específicos**

- Evaluar la infraestructura del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE en Moín-Limón.
- Valorar la ubicación del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE en Moín-Limón.
- Evaluar la operación y mantenimiento del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE en Moín-Limón.

## **2.2. Evaluación de la infraestructura Civil del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

En este apartado se va caracterizar el estado de la infraestructura civil de las principales unidades de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Refinería, como son los Separadores API y Lagunas de Oxidación, pero se dará un mayor énfasis al sistema del sector oeste de la calle 7, debido a que los objetivos de este proyecto se dirigen a éste, aunque se consideró importante recalcar aspectos del otro sistema del sector este de la calle 7 en el capítulo de anexos. A continuación se detallan los principales componentes de las unidades de tratamiento.

### **2.2.1. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Sector Oeste de la Calle 7**

#### **2.2.1.1. Pretratamiento**

Un sistema de pretratamiento debe contar con varios componentes para garantizar remover la mayor cantidad de sustancias que inhiben la operación de etapas posteriores de tratamiento como son los sólidos y grasas. RECOPE cuenta con unas rejillas, preseparador y una cámara de separación los cuales se detallan a continuación:

##### **La rejilla:**

Las rejillas en el tratamiento preliminar son utilizadas para remover solamente sólidos suspendidos bastantes grandes. Las aberturas de las rejillas son por lo general de 25 mm o más. Además, el emparrillado de las rejillas, debe estar inclinado con respecto al piso del canal donde se instalan y puede ser de dos tipos generales: de limpieza manual y de limpieza mecánica. (McHEE, 1999).

En RECOPE se cuenta con dos sistemas de rejillas manual con una abertura de entre rejillas de 5 cm, la cual tiene como objetivo remover los diversos objetos extraños que suelen ser arrastrados en los canales oleaginosos como es el caso de palos, botellas, trozos de zacate y cualquier cuerpo de contextura solido flotante. El propósito fundamental de estos dispositivos es proteger a las bombas y otros equipos electromecánicos y prevenir el atascamiento de válvulas.

**Figura 4. Una de las rejillas y a la par un recipiente para la recolección de sólidos.**



La rejilla actual es obstruida constantemente por sólidos, el operador periódicamente (3 veces al día) rastrilla la acumulación y deposita los desechos en un barril, para luego ser dispuestos adecuadamente. En muchos casos cuando los contratistas cortan el césped de los alrededores del canal, éste no es recogido inmediatamente y por acción del viento es depositado en el canal de aguas oleaginosas lo que hace que las rejillas se atasquen fácilmente. A continuación se detalla esta situación

**Figura 5. Césped recolectado en las rejillas**



// Se puede observar la cantidad de zacate impregnado de petróleo el cual dificulta la limpieza de las rejillas.

Es necesario capacitar en materia de manejo de desechos sólidos a los operarios tanto de RECOPE como contratistas ya que muchos utilizan el canal oleaginoso de basurero y depositan ahí botellas, herramientas, periódicos, entre otros, que generan contaminación

cruzada de desechos con petróleo, y atasca las rejillas. A continuación se detalla esta situación:

**Figura 6. Desechos sólidos contaminados por petróleo, que atascan las rejillas**



// Se puede observar diversos desechos como botellas, palos, papeles, etc, que son depositados en los canales de aguas oleaginosas.

Actualmente las rejillas han sufrido daños significativos en la división entre las rejas, debido a que en épocas de fuertes lluvias los tanques de almacenamiento de asfalto se rebalsan, provocando que el asfalto se dirija al canal abierto y por ende, se almacena en la rejillas. El problema radica que este material se une con otros sólidos presentes en el canal, lo que forma una masa de textura difícil de remover, por lo que se tiene que hacer uso de un tractor forzando la rejilla para poderla limpiar.

Lo anterior ha generado que la rejilla no separe adecuadamente, hasta punto de permitir el paso de sólidos de gran tamaño como botellas al separador API, dañando bombas y rodillos oleofílicos. Ante esta situación, es necesario cambiar las rejillas por unas nuevas y evitar que el asfalto se rebalse en épocas de lluvias, además de buscar alguna solución al problema de los residuos sólidos en el canal.

#### **Separador API.**

Esta unidad tiene una capacidad para tratar 37,85 m<sup>3</sup>/minuto (10 000 GPM) de agua, y el tanque principal consta de tres canales.

Las aguas que lo alimentan son recolectadas en un canal a cielo abierto, sobre cuyo tabique de desbordamiento, ubicado al final del canal, las aguas excedentes pasan directamente a la laguna No1.

#### **Fuentes**

- Purgas oleaginosas de los tanques 701, 702, 703, 704, 705, 727, 728,729 y 731.

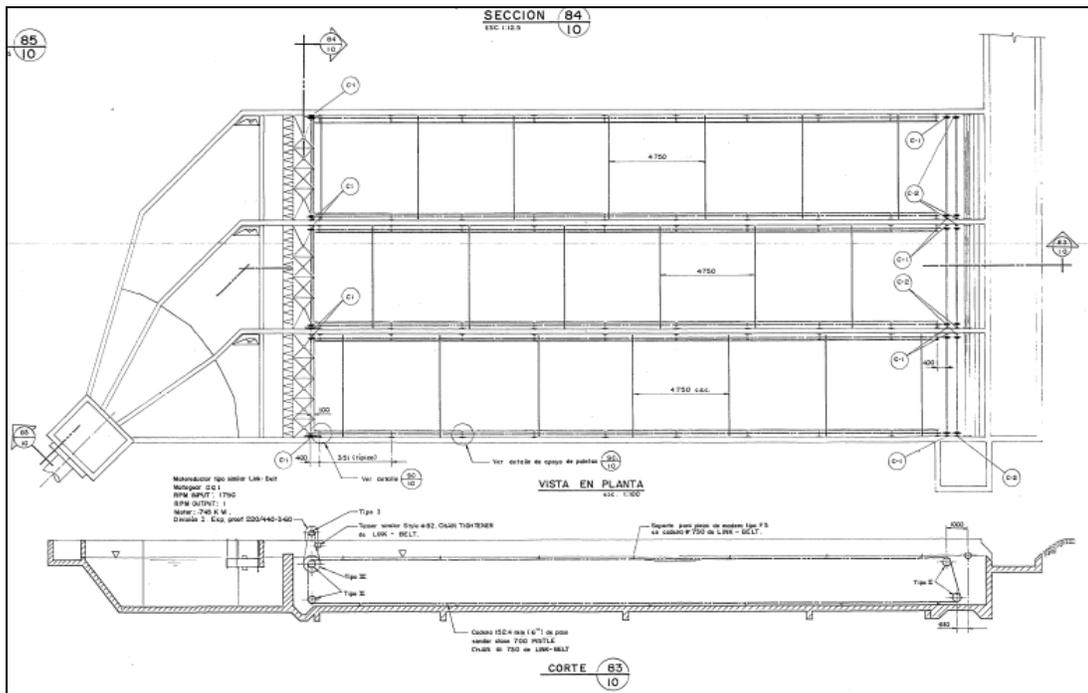
- Las purgas oleaginosas de algunos tanques de gasolina.
- Aguas de caldera
- Aguas de proceso
- Cargaderos de ventas
- Tanques de producto limpio de ventas( en construcción)

### Dimensiones

- Ancho (3 canales): 16,39 metros
- Largo : 33,5 metros
- Altura total: 3,3 metros
- Altura de vertederos : 2,5 metros

A continuación se detalla su composición

Figura 7. Vistas Separador API



Fuente: Planos suministrados por la empresa.

### Componentes del Separador API

#### A. Cámara de Preseparación

En este lugar se da una separación previa de los hidrocarburos más livianos, de igual manera ayuda amortiguar la velocidad del agua.

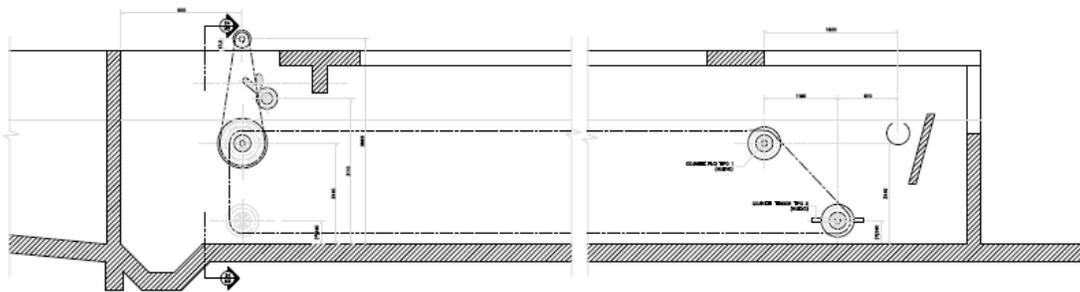


## B. Cámara de Separación

Consta de 3 canales, entre los cuales se distribuye el agua de entrada. Las dimensiones de los canales, dependen de varios parámetros, tales como velocidad, y temperatura del agua, así como la densidad y la viscosidad del hidrocarburo.

Un elemento vital en el funcionamiento de cada uno de los canales de la cámara de separación lo constituye el sistema de arrastre, el cual posee doble función, por un lado favorece una adecuada remoción de aceite supernatante al ayudar a que se desplace la capa de aceite hacia la salida. Simultáneamente, en su parte inferior, se encarga de arrastrar los sólidos o lodos depositados en el fondo del tanque hasta llevarlos a unos depósitos ubicados en el piso del separador, de donde son removidos mediante succión. El aceite separado naturalmente a través de diferencia de densidades es dirigido a unas canaletas las cuales dirigen estas sustancias hacia una bomba que los envía hacia un tanque de SLOP (tanque donde se almacena subproductos para ser reprocessados) para incorporarlos al proceso de refinado. A continuación se detalla la constitución del sistema de arrastre de cada canal de separación

**Figura 10. Sistema de arrastre de los canales del Separador API.**



Fuente: Plano suministrado por la empresa.

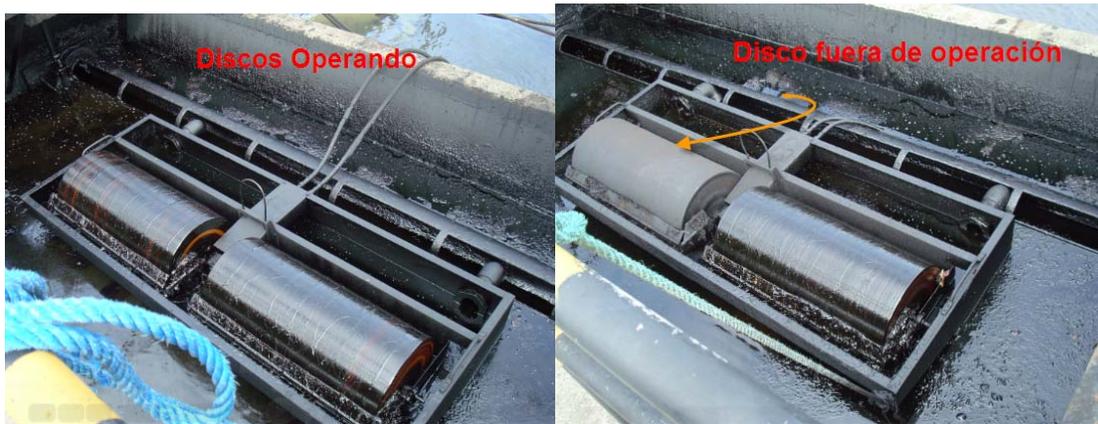
En esta etapa del separador API se han presentado muchos problemas con el mantenimiento equipo mecánico, específicamente, del sistema de arrastre, válvulas, bombas y discos oleofílicos. En lo que respecta al sistema de arrastre, solo 2 de los canales están operando normalmente, el canal del centro presenta dificultades ya que el sistema de cadenas se desmonta cuando inicia su operación, por lo que la eficiencia del sistema se ve reducida.

Debido a la disminución de la velocidad del agua, en estos equipos tiene lugar una decantación de parte de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Estos sólidos son arrastrados a uno de los extremos del separador, por las barrederas en el camino de regreso, acumulándose en unos pocetos de donde son extraídos por bombeo y enviados a

tratamiento de lodos. En este sistema, las válvulas de extracción de lodos están en mal estado lo que genera una acumulación de sólidos en los canales.

En lo que respecta a los discos oleofílicos, hay tres pares uno en cada canal, de los cuales, uno está operando al 100%, otro solo trabaja un disco y uno está en reparación, éstos discos están ubicados a la salida de cada canaleta con la finalidad de ayudar a la remoción de material flotante, es necesario realizar una reparación de los mismos para una mejor operación. A continuación se detallan:

**Figura 11. Discos oleofílicos según su operación**



// Falta un par de discos que estaba en reparación

### **Laguna de Oxidación**

La laguna desempeña una función de tratamiento secundario, ya que ahí se recuperan los hidrocarburos que no se retienen en el tratamiento del Separador API, simultáneamente, se lleva a cabo un proceso de degradación de los mismos, así como la introducción de oxígeno al agua, el cual es un oxidante de la materia orgánica.

Atravesando la laguna transversalmente, y en contacto con la superficie del agua, se encuentran dos cintas de un material oleofílico (mechas), en las cuales se adsorben los hidrocarburos, que luego son recuperados. Además, la laguna cuenta con un sistema contraincendios de espuma y una mampara para retener la salida de aceites flotantes en la salida del sistema. Esta laguna tiene un ancho medio de 30 metros, un largo total de 190 metros, mas su longitud efectiva corresponde a 180 metros, para un área superficial de 5 400 metros.

La entrada de las aguas residuales provenientes del Separador API, es transversal a la laguna, por lo que se pierde capacidad hidráulica y recorta el tiempo de residencia, por lo

que es necesario unificar todas las fuentes que alimentan a la laguna para introducirlas por una misma entrada de manera, que el flujo se conduzca de manera vertical por la misma.

El único mantenimiento que se hace en esta laguna es la remoción de sólidos por medio de dragado una vez al año y el cambio de mechas en los equipos de recolección de aceites flotantes. Es necesario una vez rediseñado este sistema crear un programa de mantenimiento preventivo el cual debe ser implementado por los operarios.

**Figura 12. Laguna de oxidación**



// Se puede observar los equipos contraincendios, la Mampara (Izquierda) y el sistema de mechas oleofílicas (derecha).

### **Evaluación de Parámetros de Diseño de Laguna.**

Para realizar esta evaluación se utilizarán formulas adquiridas en el Curso de la Carrera de Ingeniería Ambiental de Tecnológico de Costa Rica, Diseño y Operación Plantas de Aguas Residuales impartido por M.Sc. Alma Deloya M.

#### **Carga Hidráulica**

La carga hidráulica actual es de 38 514 m<sup>3</sup>/día aproximadamente según los reportes operacionales.

#### **Carga Orgánica del sistema (CO)**

$$CO = \frac{\text{Concentración de DBO 5 Afluente } \left( \frac{mg}{l} \right) \cdot \text{Caudal de entrada } \left( \frac{m^3}{d} \right)}{1000} = \text{kg DBO/día}$$

$$CO = \frac{98 \left( \frac{mg}{l} \right) \cdot 79714 \left( \frac{m^3}{d} \right)}{1000} = 2801 \text{ kg DBO/día}$$

#### **Carga de Diseño (CO<sub>D</sub>)**

- $CO_D$  es Carga Orgánica Volumétrica, debe ser de 0,011- 0,053 (Kg/m<sup>3</sup> d) para una Refinería

$$COD = \frac{CO \frac{kg\ DBO}{día}}{V (m^3)}$$

$$COD = \frac{2801 \frac{kg\ DBO}{día}}{2700 (m^3)} = 1,04$$

Se puede corroborar que la  $CO_D$  está fuera de lo recomendado por la teoría, ya que la carga es muy alta para el área disponible.

#### Tiempo de retención de la laguna ( $T_r$ )

$$T_r = \frac{V (m^3)}{Q (m^3/d)}$$

$$T_r = \frac{2700 (m^3)}{31714 (m^3/d)}$$

$$T_r = 0,04 \text{ días} = 0,88 \text{ h}$$

La teoría recomienda tiempo de retención: 18 – 49 (h) , por lo tanto, se puede ver que los contaminantes presentes en el agua no tienen un tiempo adecuado para degradarse y sedimentar.

#### Alimentación de la superficie ( $qA$ )

La teoría recomienda que Alimentación de superficie: 0,40 – 1,3 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d)

$$qA = \frac{Q (m^3/d)}{A (m^2)}$$

$$qA = \frac{31714 \frac{m^3}{d}}{2400 m^2} = 13,21$$

//Se puede corroborar que el caudal entrante es muy alto para la cantidad de área disponible.

A partir de los parámetros anteriores se puede concluir que la laguna requiere aumentar sus dimensiones para mejorar la calidad de los efluentes, esta situación también pone en manifiesto la necesidad que tiene la empresa de buscar un sistema de tratamiento adicional, porque como vemos las unidades actuales están colapsadas debido a los grandes caudales que se manejan.

Estas deficiencias de diseño generan que muchos Sólidos Suspendidos no sedimenten, ya que el tiempo de retención actual no es el suficiente para que una partícula de contaminante se deposite en forma de lodo, además se genera que muchos Hidrocarburos presentes en el agua residual no se degraden por medio del poder de oxidación de la Laguna. El problema radica en que las Cargas Hidráulicas son muy altas para las dimensiones de Laguna de Oxidación, sumado a esto se tiene la pérdida de profundidad por la acumulación de lodos.

Por otra parte, en la empresa hace varios años se contaba con un equipo de muestreo de automático en la salida de la Laguna de Oxidación que suministraba datos de microvoltios, pH, temperatura y caudal el cual operaba de excelente manera, pero éste no se le daba ni la calibración ni mantenimiento preventivo por lo cual dejó de dar resultados confiables, hasta el punto de no operar. El equipo está aún instalado y el control remoto se encuentra en buen estado, solo se requiere reparar la unidad de muestreo ubicado en la laguna. A continuación se detalla el equipo:

**Figura 13. Panel de control muestreador de aguas**



// Se muestra el panel de control e interfaz (izquierda) de datos y equipo de recolección de datos (derecha)

A continuación se detalla un esquema de las fuentes de generación para el sistema de tratamiento de las aguas de proceso

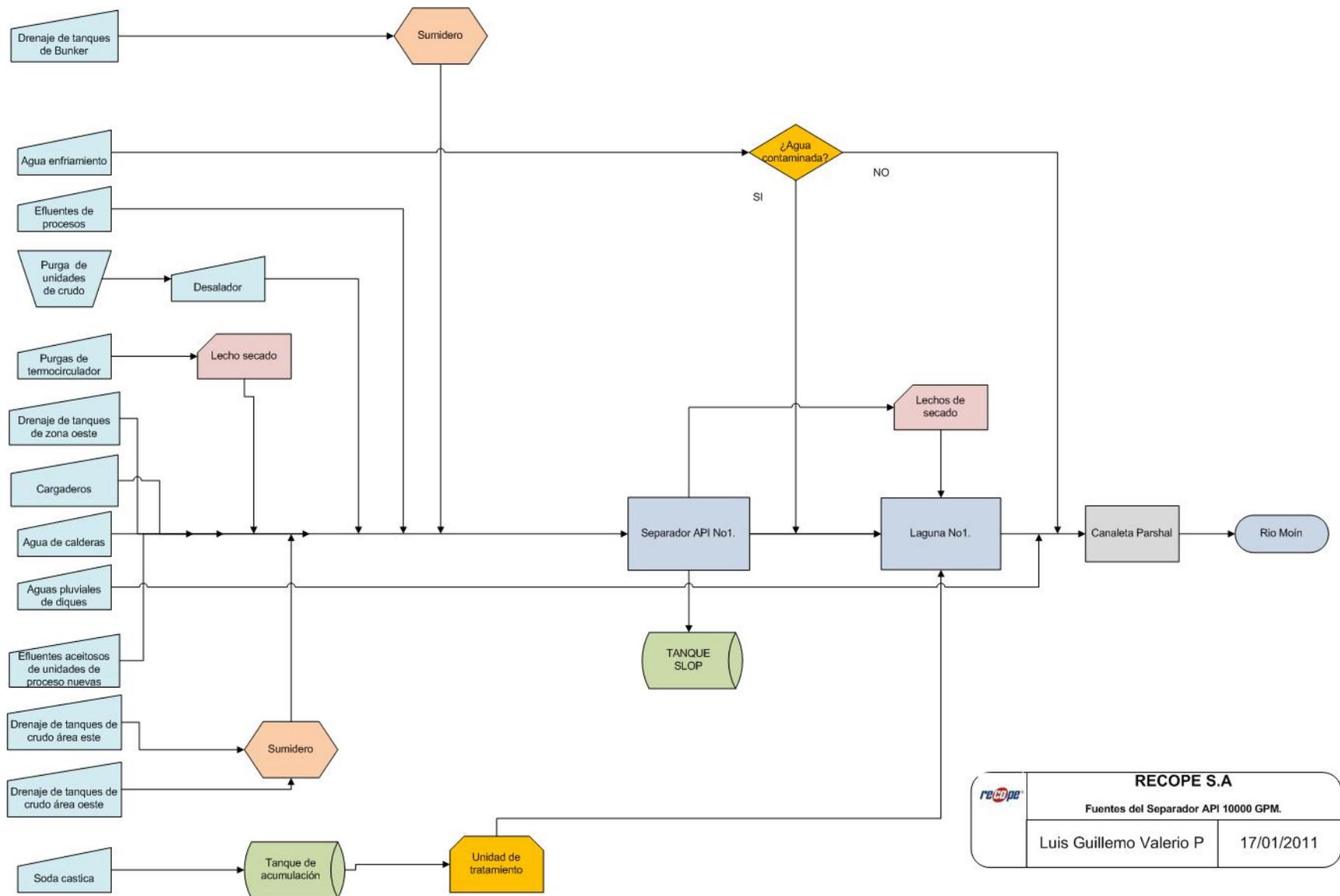


Figura 14. Esquema de fuentes

## Sistema de Salida del Vertido

En lo que respecta al sistema de salida hacia el cuerpo receptor, se requiere realizar algunas mejoras en la operación, por ejemplo el sistema Parshall utilizado para medir los caudales para los reportes diarios, tiene el inconveniente que el agua que pasa por ella es retenida por un floculador colocado en salida, que hace que la medida del tomada por el operario varié, ya que el agua al ser retenida aumenta la columna medida en la garganta de la canaleta reportando valores más altos. Por lo tanto es necesario reubicar este sistema en otro punto.

**Figura 15. Canaleta Parshall**



En el sistema de pantallas colocadas en la salida hacia el cuerpo receptor, existen algunos problemas que ponen en riesgo la integridad de los operarios, ya que en el área donde se construyó dicho sistema hay muchos árboles, por lo que caen sus hojas en los canales, provocando obstrucción en las rejillas de salida. Ante esta situación, los operarios tienen que proceder a limpiar por medio de rastrillos, apoyándose de en las cumbreras de los muros las cuales son muy delgadas, acción que es muy riesgosa la cual puede generar un accidente laboral.

**Figura 16. Sistema de pantallas de la salida.**



### **2.3. Evaluación de la Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).**

La planta de tratamiento se encuentra ubicada en Moín, Limón en el plantel de la empresa RECOPE S.A. en una zona clasificada como rural. El terreno del plantel a la cual la planta de tratamiento da sus servicios se encuentra en una planicie. El método empleado para el tratamiento se puede describir como un Pretratamiento (Separador API) y Tratamiento Secundario (Laguna de Oxidación).

Esta evaluación se realizó, por medio del programa ArcGIS, de la empresa fabricante ESRI, con el fin de ver que la planta de tratamiento esté ubicada sin violar ninguna ley, para ello se introdujo los parámetros por medio de comandos al programa para que de manera automática determina si cumple lo establecido.

Al ubicar una planta de tratamiento de aguas residuales son varios los parámetros a utilizar, primeramente se debe respetar la legislación nacional vigente en Costa Rica como son el Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET, el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAET-S y el Ley Forestal N° 7575 .

En ésta se establece que todo sistema de tratamiento debe ubicarse dentro de la propiedad de las aguas a tratar. El sistema de tratamiento a emplear se puede clasificar como una laguna aerobia por lo tanto debe tener un retiro de por lo menos 20 m de los linderos de la propiedad sin contar calles, aceras y demás infraestructura de uso público. La propiedad de la empresa es atravesada por dos ríos, la planta debe ubicarse a 15m de estos ríos, ya que como se mencionó el terreno es plano y está ubicado en una zona rural. De igual manera se debe dejar un retiro de 100 m de las nacientes permanentes y de 30 m de radio de pozos de extracción de agua. Se debe tener en cuenta que siempre que haya dos restricciones se debe escoger la de distancia mayor.

Además, se debe determinar si la planta de tratamiento se ubica en un lugar de fácil acceso al personal, al equipo y vehículos necesarios para realizar las obras de mantenimiento y operación necesarias. Según la literatura se establecen algunos elementos (ver anexos matriz de correlación) como factores importantes para la ubicación de una laguna de oxidación como son declividades del terreno, textura, permeabilidad y granulometría del suelo, la temperatura y régimen de vientos.

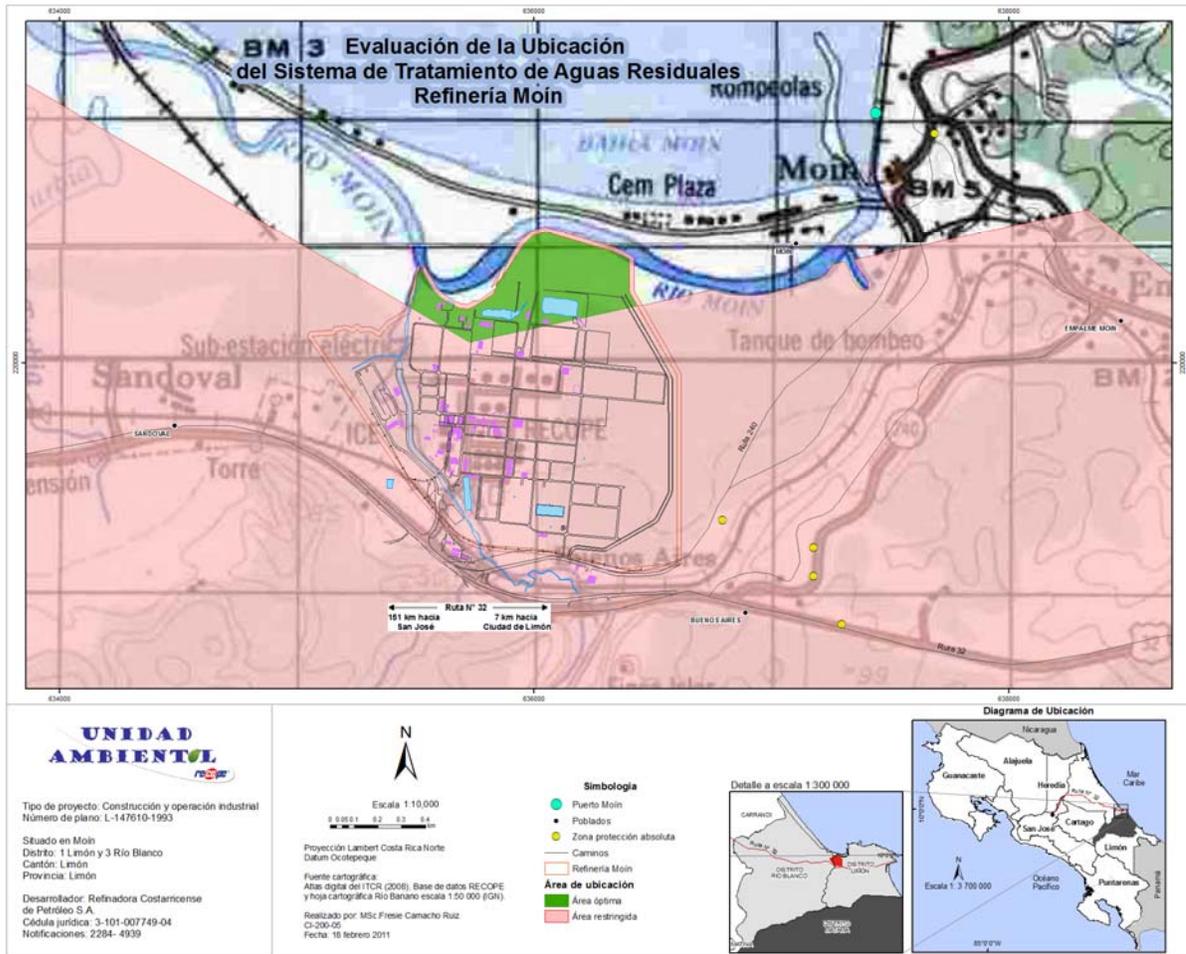
Estos factores de localización están directamente relacionados con la operación del sistema. El régimen de vientos tiene una marcada influencia en las reacciones que se producen en la mezcla y renovación de oxígeno. Por lo tanto, la laguna no deberá poseer contornos irregulares que dificulten su homogenización y deberá estar bien posicionada con

relación a los vientos predominantes, facilitando así las condiciones de mezcla y aereación atmosférica.

Los suelos jugarán un papel decisivo en la selección, ya que suelos demasiados permeables no pueden ser considerados para ubicar este tipo de tratamiento dado que las aguas podrían percolar con suma facilidad y contaminar las aguas subterráneas, además que la impermeabilización resultaría en costos elevados dado el espacio ocupado; pero hay otros factores que tienen que tomarse en cuenta para tal efecto como son la textura y granulometría. Entre más superficial el nivel freático este, más propensa es el agua subterránea a contaminarse.

La declividad del terreno es importante ya que relieves planos y suavemente ondulados facilitan el movimiento de tierra, siendo por tanto propicios para aquellos tipos de tratamientos que requieren el uso de grandes áreas. El terreno idóneo debe situarse en una cota más abajo de las instalaciones de donde se reciben las aguas para que el transporte de las aguas sea por gravedad y por ende más económico. Y debe colocarse en un lugar que no interfiera con la producción de la planta. Se debe evitar terrenos propensos a desastres naturales como erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones, huracanes, tsunamis y amenazas antropogénicas como el vandalismo. Todos estos factores se tomarán en cuenta en la evaluación de la planta de tratamiento en cuestión.

Figura 17. Evaluación de la ubicación de la Plana de Tratamiento



### 2.3.1. Resultados obtenidos

El siguiente mapa fue elaborado con el Programa ArcGis donde se incluyeron los parámetros exigidos por la ley y los recomendados por la teoría para la ubicación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Como se puede observar la región en rojo corresponde a los sitios que no son aptos debido a que presentan no conformidades con alguna norma, por lo contrario, la región verde son los sitios que cumplen todos los requerimientos técnicos establecidos, y es en esta área donde se ubica el actual Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería

### 2.3.2. Discusión de Resultados

Como se observa en la mapa , la ubicación actual de las plantas de tratamiento cumple con todos los requisitos legales y las recomendaciones citadas por la literatura en lo que respecta a la ubicación de una planta de tratamiento tipo laguna de oxidación. La planta

se encuentra dentro del perímetro de la propiedad de la empresa, a una distancia mayor de los 20 metros determinados por ley entre la delimitación de la propiedad y la ubicación de la planta. Continuo a las plantas de tratamiento se encuentran caminos que permiten el tránsito de vehículos, personas y equipo necesarios para el mantenimiento.

Las plantas de tratamiento se ubican a más de 15 metros de distancia del río que atraviesa la empresa, el Río Bartolo, por lo tanto cumple con la reglamentación. Todos los cuerpos de agua analizados (acuíferos, lagunas y humedales) se encuentran a distancias mayores de las plantas de tratamiento que lo determinado por ley. Los pozos reportados existentes en la propiedad están a un radio mayor de 30m de las plantas de tratamiento. Las plantas de tratamiento de aguas residuales no se encuentran en alguna área de conservación, corredor biológico, ni ningún tipo de área protegida.

Según las recomendaciones citadas por la literatura hay varios factores a tomar en cuenta a la hora de ubicar una laguna de oxidación, entre ellos el régimen de los vientos, características de los suelos y la pendiente del terreno. La temperatura promedio de la zona de la empresa es de 28°C, favoreciendo la actividad microbológica encargada de limpieza de las aguas. El régimen de viento no pudo ser analizado ya que no existe una referencia geográfica del tema. Por otra parte, en las características del suelo se encontró un Informe realizado por Geól. Gladys Cubilla Cubilla, en el estudio se identificaron las siguientes capas de suelos en la Refinería:

- Capa 1. Horizonte Arcilloso Superior
- Capa 2. Paquete Arenoso
- Capa 3. Paquete Arcilloso-Arenoso o Arenoso Arcilloso

Lo anterior indica que hay presencia de material arcillosos en buena cantidad, lo cuales son capaces de adsorber o contener contaminantes (por ejemplo, vertidos de hidrocarburos), esto es debido al intercambio iónico. (Higueras, y otros, 2007) Pero en el suelo de la Refinería también hay existencia de arenas la cuales retienen muy pocos contaminantes, ya que facilitan la infiltración, por lo que existe probabilidad de contaminación de suelos por Hidrocarburos en el área donde está ubicada la Laguna de Oxidación ya que no cuenta con protección como materiales impermeabilizantes (geomembranas).

Por otra parte, en la actualidad el agua que la planta de tratamiento recibe se transporta por medio de gravedad, por lo tanto la localización de la planta en cuanto a su relieve es correcta.

Finalmente, según los datos obtenidos del Atlas Digital de Costa Rica 2008, la zona en la que se encuentran las plantas de tratamiento no es propensa a desastres naturales como erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones o incendios, por lo que se puede concluir que ambas planta de tratamiento se encuentran ubicada correctamente

## 2.4. Evaluación de la Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

La operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es indispensable para garantizar que siempre se cumpla por los parámetros de calidad exigidos por ley (ver anexos). Para que esa operación y mantenimiento sean adecuadas es necesario que hayan recursos suficientes destinados a tal fin.

El diagnóstico se realizó evaluando documentos suministrados por la empresa, además de consultas al personal y visitas a la planta. Entre los documentos entregados por RECOPE se encuentran los reportes operacionales presentados al Ministerio de Salud, de los cuales se realizó un análisis del comportamiento histórico de diferentes puntos de muestreo de la PTAR, con una muestra de 12 reportes operacionales escogidos en orden aleatorio, donde se evaluó la eficiencia de remoción de contaminantes en cada punto mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Remoción (\%)} = (C_i - C_f) \times 100 / C_i$$

Donde  $C_i$  = Concentración inicial y  $C_f$  = Concentración final

### 2.4.1. Resultados

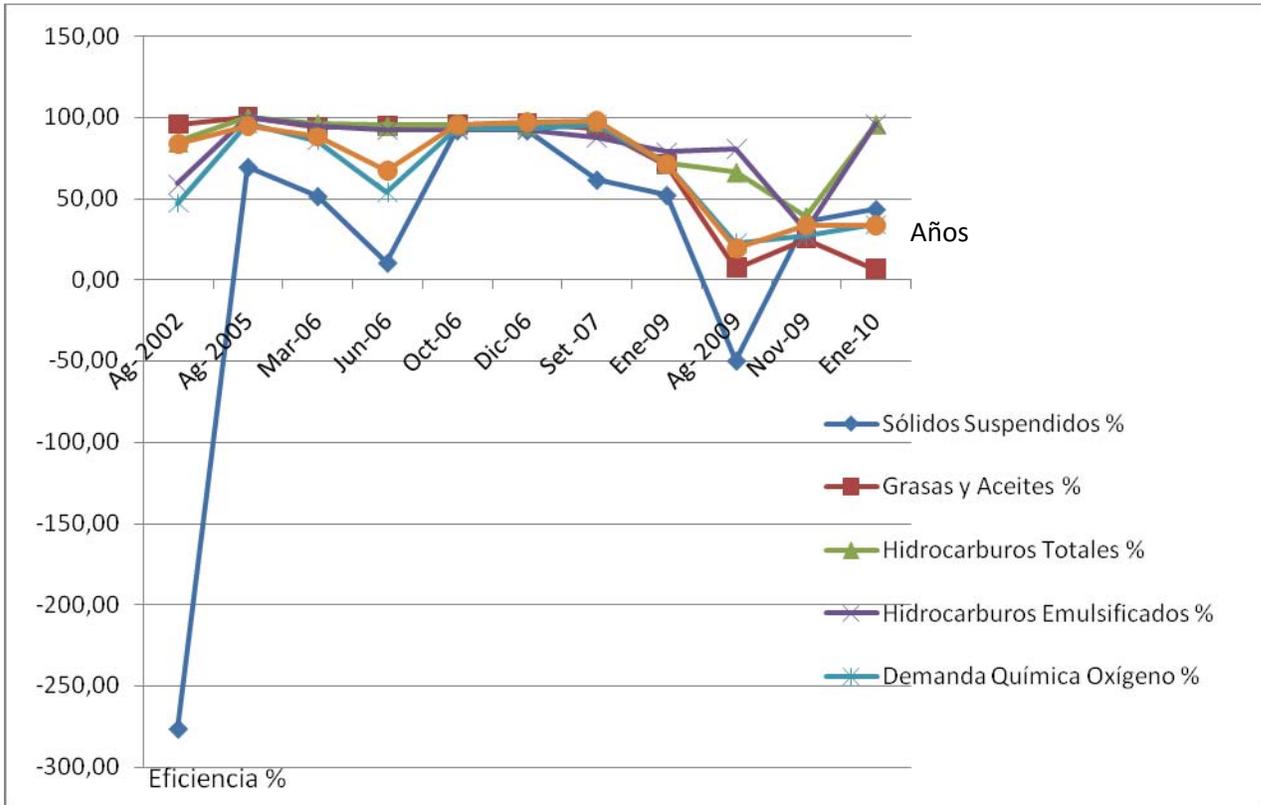
A continuación se muestran las eficiencias del Separador API, para ello se tomó los reportes operacionales del periodo de Agosto del 2002 a Enero del 2010.

**Tabla 2. Porcentajes de Remoción de Contaminantes Separador API No.1**

Año	Sólidos Suspendidos	Grasas Aceites	Hidrocarburos Totales	Hidrocarburos Emulsificados	DQO	DBO
	%	%	%	%	%	%
Ag- 2002	-276,92	95,45	84,80	58,62	47,36	83,45
Ag- 2005	69,37	99,89	99,85	99,74	96,51	94,76
mar-06	51,43	93,78	96,13	94,44	85,77	88,10
jun-06	10,34	94,21	95,00	92,11	54,02	67,31
oct-06	91,95	95,08	95,37	91,88	93,41	95,64
dic-06	91,95	96,00	95,37	91,88	93,45	97,14
Set -07	61,54	92,73	97,37	87,50	95,45	97,93
ene-09	52,00	70,59	71,91	78,57	71,62	70,97
Ag- 2009	-50,00	7,14	66,32	80,49	22,62	19,15
nov-09	35,29	25,00	39,13	30,00	27,27	33,33
ene-10	43,33	6,25	95,87	95,86	34,21	33,33
Promedio	16,39	70,56	85,19	81,92	65,61	71,01
Desviación Estándar	105,03	38,14	18,85	20,62	29,34	29,27

// Para un n= 12 muestras.

**Gráfico 1. Eficiencias de Remoción de Contaminantes con los años Separador API No.1**



// Se pueden observar variaciones en cada parámetro con el pasar de los años

Tanto como en Tabla 2 y el Gráfico 1 se muestran las eficiencias de remoción históricas del Separador API. Se puede observar que los parámetros tienden a disminuir como en el caso de la Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Grasas y Aceites e Hidrocarburos Totales, mientras que los Sólidos Suspendidos e Hidrocarburos en Emulsión no tienen una tendencia clara. Estas disminuciones son causadas que no se ha implementado un Programa de Mantenimiento Preventivo de Equipos, lo que ha generado un deterioro de los mismos por lo que no operan en toda su capacidad.

Una situación importante de analizar, son las variaciones entre la época seca y lluviosa a través del año, Limón es una región considerada lluviosa por esto no se puede hablar de una estación seca bien definida. Según algunos datos climatológicos suministrados por RECOPE, (Ver anexos) se tienen dos periodos relativamente secos, uno que va desde febrero hasta marzo y otro, los meses de setiembre y octubre. Los meses más lluviosos son julio, agosto, noviembre y diciembre.

Tomando en cuenta lo anterior se tiene que en el Separador API, los Sólidos Suspendedos han presentado las remociones más bajas tanto en el mes de agosto del 2002 y 2009, meses considerados de fuertes precipitaciones, por lo que muchas aguas pluviales arrastran todo tipo de sólidos de los alrededores de la Planta de Tratamiento hacia el canal de aguas oleaginosas, razón por la cual el parámetro excede la norma.

Por su parte los Hidrocarburos Totales, reportaron rendimientos más bajos tanto en agosto y noviembre del 2009, meses considerados de altas de precipitación, por lo que existen momentos en que el sistema colapsa, ya que se supera el caudal de diseño del Separador API. Además, según las notificaciones al Ministerio de Salud se que desde finales de octubre hasta la primera semana de noviembre 2009, se tuvo un inconveniente en los enfriadores de la columna principal de destilación atmosférica, producto de una mala indicación de una válvula de control, la cual fue afectada y corregida después de la toma de esa muestra. Lo anterior también aumento la cantidad de Hidrocarburo Emulsificado en los efluentes, como los valores de DBO y DQO.

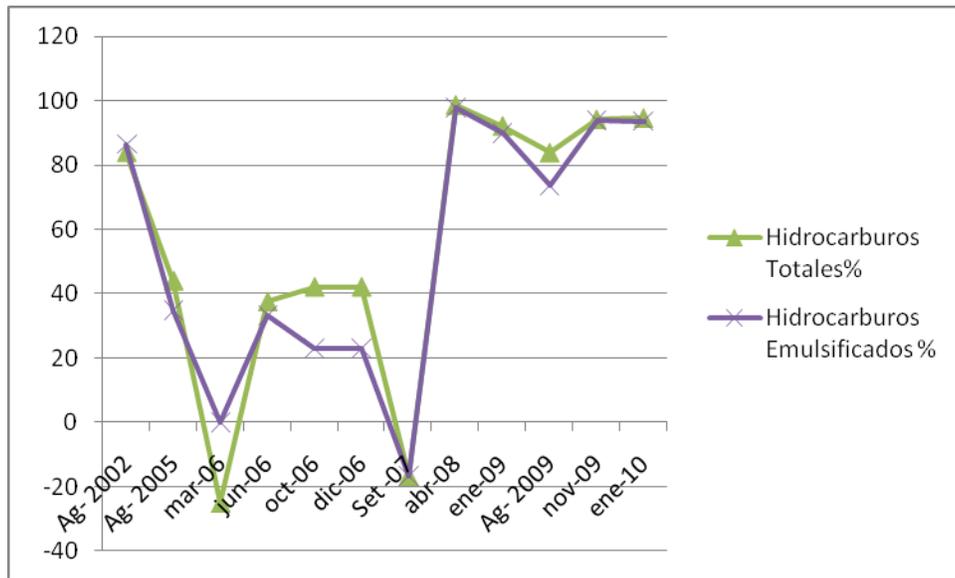
A continuación se presenta las eficiencias reportadas en la laguna de Oxidación, para ello se tomó los reportes operacionales del periodo de Agosto del 2002 a Enero del 2010. Para la laguna solo se analizó el parámetro de Hidrocarburos Totales y Emulsificados, debido a que no se contaba con una caracterización histórica de las sus otras fuentes de alimentación que aportan tanto Sólidos Suspendedos, DBO<sub>5</sub> y DQO.

**Tabla 3. Porcentajes de Remoción de Contaminantes Laguna de Oxidación No.1**

Año	Hidrocarburos Totales %	Hidrocarburos Emulsificados %
Ag- 2002	83,87	86,66
Ag- 2005	44,00	35,00
Mar-06	-25,00	0,00
Jun-06	37,50	33,33
Oct-06	42,11	23,07
Dic-06	42,10	23,07
Set -07	-16,66	-16,66
Abr-08	98,54	98,02
Ene-09	92,00	90,00
Ag- 2009	83,75	73,75
Nov-09	94,04	94,00
Ene-10	94,47	93,79
Promedio	55,89	52,84
Desviación Estándar	42,95	40,07

// Para un n= 12 muestras.

**Gráfico 2. Eficiencias de Remoción de Contaminantes con los años Laguna de Oxidación No.1**

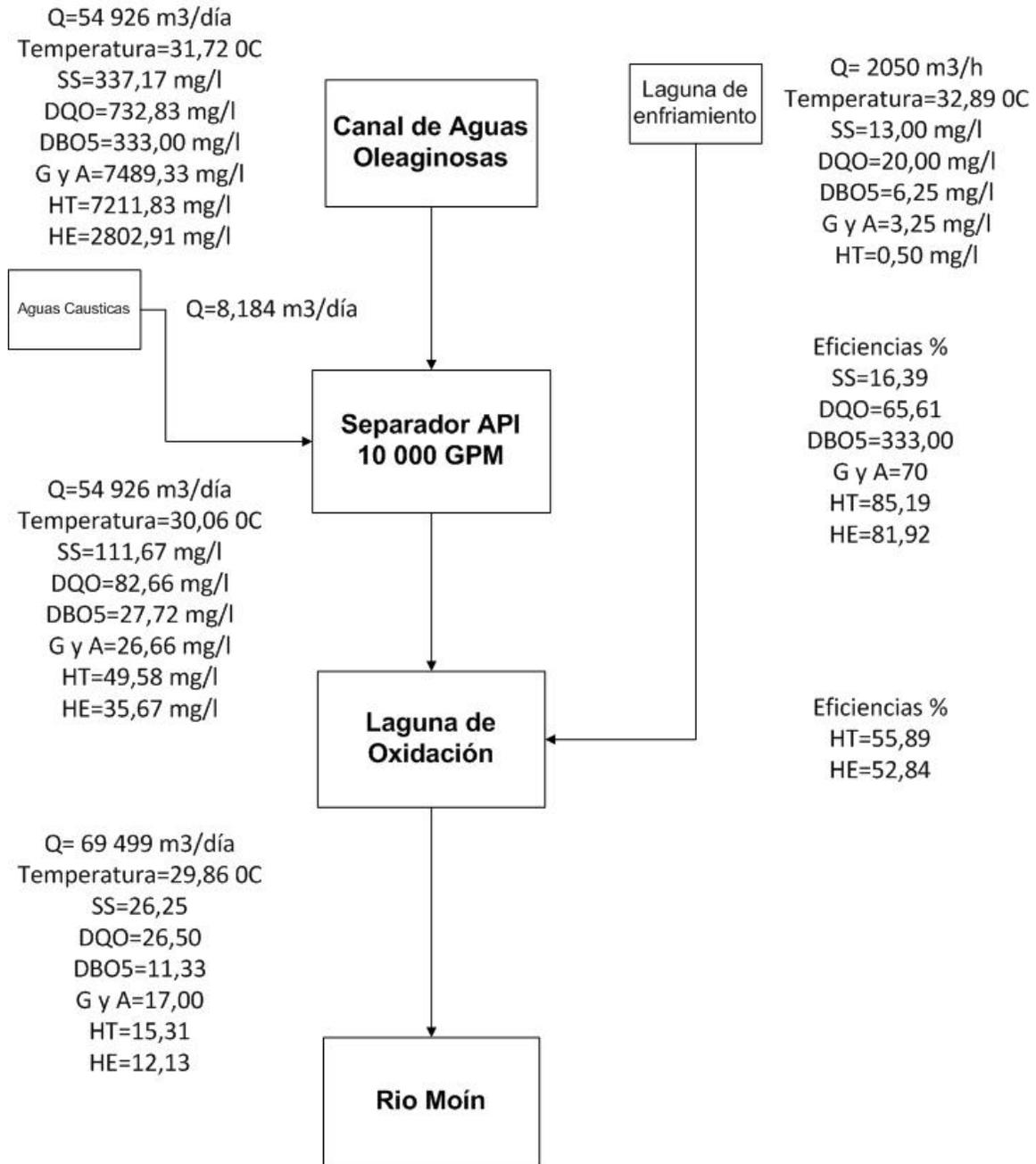


// Se pueden observar variaciones en cada parámetro con el pasar de los años

Tanto como en Tabla 3 y el Gráfico 2 se muestran las eficiencias de remoción históricas de la Laguna de Oxidación. Se puede observar que las tendencias de los Hidrocarburos no está definida ya que por periodos las concentraciones suben de manera significativa. Haciendo un análisis de las épocas climáticas en Limón, los Hidrocarburos Totales y Emulsificados, presentaron rendimientos más bajos en Marzo del 2006 y Setiembre 2007, meses considerados secos, por lo que existe alta intensidad luminosa, provocando un aumento de los organismos fotosintéticos, el agua se vuelve verdosa y turbia, aumentando la cantidad de oxígeno en el agua superficial, esto genera la muerte del fitoplancton el cual acumula en el fondo y se propicia la aparición de bacterias aerobias que consumen grandes cantidades de oxígeno y, por lo que hay menor cantidad de oxígeno disponible para la degradación de Hidrocarburos. (UMSS, 2004)

A continuación se detalla una caracterización de las aguas que componen el sistema de tratamiento del sector oeste de la calle 7 de la Refinería

Figura 18. Caracterización de las aguas del sistema de tratamiento del sector oeste de la calle 7



Caracterización de Aguas Residuales del Sistema de Tratamiento de Refinería  
 RECOPE  
 Luis Guillermo Valerio  
 martes, 18 de enero de 2011



**Tabla 4. Balance de masas entradas y salidas del separador API**

Parámetro	Entrada mg/l	Salida mg/l
Sólidos Suspendidos	337,17	111,67
Grasas y Aceites	7489,33	26,66
Hidrocarburos Totales	7211,83	49,58
Hidrocarburos Emulsificado	2802,91	35,67
DQO	732,83	82,66
DBO <sub>5</sub>	333,00	27,75

// Para un n= 12 muestras

//Se tomaron reportes operacionales del periodo de Agosto del 2002 a Enero del 2010

Podemos observar que la remoción promedio de contaminantes el Separador API es buena, ya que muchos parámetros al pasar solo por esta unidad cumplen el Reglamento de Vertidos 33601, como es el caso de la DBO<sub>5</sub>, DQO y Grasas y Aceites, condición que se podría mejorar con Mantenimiento Preventivo de los dispositivos del Separador como bombas, paletas, discos oleofílicos y válvulas de extracción de lodos.

**Tabla 5. Balance de masas de entradas y salidas de la Laguna de Oxidación No.1**

Parámetro	Entrada mg/l	Salida mg/l
Hidrocarburos Totales	49,58	15,31
Hidrocarburos Emulsificado	35,67	12,13

// Para un n= 12 muestras,

//Se tomaron reportes operacionales del periodo de Agosto del 2002 a Enero del 2010

Se puede observar que el promedio de salida de Hidrocarburos Totales de la Laguna de Oxidación es mayor que el Límite máximo permitido por el Reglamento 33601 el cual es de 10 mg/l, esto evidencia la necesidad que tiene la empresa de mejorar las tecnológicas para el tratamiento de aguas, como es la incorporación de un Sistema de Flotación con Aire Disuelto, que ayudaría tanto a remover y recuperar producto de los efluente

#### **2.4.2. Discusión de Resultados**

El presente diagnostico permitió tener un mejor panorama de las acciones que se requieren para fortalecer y modernizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la Refinería, en donde se encontró algunas no conformidades en la operación, condición de instalaciones y de mantenimiento de las mismas.

En la evaluación de la infraestructura civil, se logró comprobar que las malas prácticas y la ausencia de un plan de mantenimiento, son las principales causas que generan tanto en

el deterioro de los equipos y una disminución en la calidad de los efluentes. Es indispensable trabajar en concientizar a los operarios y contratistas para reducir en gran medida la acumulación de sólidos en los efluentes, sumado a la destrucción de las rejillas, las cuales ya no cumplen su función de retener sólidos, por lo que muchos de éstos producen la obstrucción de bombas y los discos oleofílicos. Para lograr este objetivo es necesario realizar un Programa de Educación Ambiental dirigido para el personal, además de la implementación de un Programa Reciclaje y la separación en la fuente.

En lo que respecta al mantenimiento, se evidencia que los equipos solo son revisados cuando estos dejan de operar por completo, situación que hay que evitar ya que mientras los equipos son reparados el agua no recibe el tratamiento completo, esto provoca en caso del Separador API, dejar de usar un canal, para realizar las debidas reparaciones y sobrecargar los otros dos canales, lo que le disminuye la eficiencia de remoción. Con un Programa de Mantenimiento Preventivo Total se puede buscar la eficiencia total, a través de reducción de los tiempos muertos o paro de sistemas productivos y el malfuncionamiento de las operaciones en un equipo.

El objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos lo podemos definir cómo conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene.

Con lo anterior, es necesario realizar una revisión tanto mecánica y civil de Separador API, por parte del departamento de ingeniería de la empresa, porque es indispensable reparar el equipo de arrastre para que este opere en su máxima eficiencia, además se debe procurar mantener repuestos inmediatos del sistema de paletas para realizar las mejoras en el menor tiempo posible y así no poner en juego la calidad de las aguas. Otro punto que no se puede descuidar es el sistema de extracción de lodos del separador API, ya que sí este equipo opera deficientemente se va ir acumulando sólidos que no permite que otros sólidos de las aguas de entrada sedimenten, provocando que aumente la concentración de los mismo en la salida.

En lo que respecta a la laguna de Oxidación, es necesario mejorar la hidráulica de la misma, el problema radica a que se tiene dos entradas independientes, y una de las éstas son las aguas provenientes del separador API, la cual es introducida por un costado de la laguna por lo que hay una pérdida de área efectiva de tratabilidad en esta unidad, la otra fuente son las aguas de enfriamiento las cuales son 2050 m<sup>3</sup>/h de purga aproximadamente. En una laguna se recomienda una sola entrada de agua, la cual debe disponerse con un sistema de distribución laminar, además es necesario realizar un programa de dragado de la

misma, el cual contemple a lo sumo 2 limpiezas al año. Las mejoras de diseño se contemplaran en el capítulo IV de este documento con mayor detalle.

En las lagunas constantemente se necesita cambiar algunos componentes dispensables para la recolección de hidrocarburos como son las barreras adsorbentes y las mechas oleofílicas, según los operadores las mechas son un sistema de trabaja bien en la claridad de la laguna, pero de acuerdo a lo observado genera muchos desechos sólidos al cambiarlas, por lo que es necesario comprar mechas de buena calidad , ya que los funcionarios argumentan que la calidad de las misma varían de un proveedor a otro, hay unas mechas que duran 3 días y otras que se cambian cada 6 meses, por lo que se recomienda comprar las de mayor vida útil para reducir desechos y horas de trabajo. Por otra parte, es de suma importancia reparar el equipo de medición automática de Caudal, Potencial de Hidrógeno, Temperatura y Conductividad que está instalado al final de la Laguna, ya que actualmente es una inversión sin uso la cual es muy costosa como para no usarla.

En lo que respecta a la evaluación de la operación de los sistemas de tratamiento se han encontrado puntos interesantes que son óptimos a mejorar. El sistema de tratamiento de aguas de proceso, el Separador API según las eficiencias medias calculadas con 12 reportes operacionales de los últimos años, se obtuvo que la mayor eficiencia de remoción de contaminantes fue en los Hidrocarburos Totales de 85,19 % y siendo la remoción más baja la presentada en los Sólidos Suspendidos con 16,39 %. Una de las causas de generación de sólidos en suspensión son las aguas de calderas las cuales se le agregan Cal, para su estabilización, además en el sistema de conducción de aguas oleaginosas es muy común en cada lluvia el rebalse de asfalto que genera la formación de complejos que tienen que ser removidos con un tractor lo que cual aumenta los sólidos en suspensión.

Otra fuente importante de contaminación de sólidos, son las malas prácticas por parte de los funcionarios y contratistas de RECOPE, los cuales utilizan el canal de aguas oleaginosas como sitio para disponer sus desechos (botellas, cepillos, palos, etc.), lo que produce que se genere contaminación cruzada de residuos sólidos con hidrocarburos, saturando constantemente las rejillas del sistema. Además, los contratistas encargados del mantenimiento de zonas verdes cortan el césped pero no recogen este de inmediato, lo que produce que todo lo cortado se dirija a los canales aumentando el problema de sólidos en las aguas.

En lo referente a las condiciones de mantenimiento se logró comprobar que en el Separador API, hay problemas que hacen que este sistema no trate las aguas en su mayor capacidad, por ejemplo actualmente el sistema de cadenas de remoción de material flotante del canal 2 se desmonta constantemente por lo cual deja de operar, además, el sistema de

extracción de lodos específicamente las válvulas están dañadas, lo cual dificulta la evacuación de los mismos.

La laguna de Oxidación presentó rendimientos más bajos que los esperados teóricamente de 70 a 80% para Hidrocarburos Totales el cual es de 55,89 %, esto es generado por la pérdida en la profundidad que reduce el tiempo de retención hidráulico y de microorganismos. Ante lo anterior, es necesario realizar un rediseño de la misma para elevar los rendimientos, además realizar una impermeabilización con geomembranas de la misma para evitar contaminación por infiltración de hidrocarburos sedimentados.

Actualmente la laguna de oxidación es el sistema final antes de descargar las aguas al río Moín, debido a esta situación, es necesario que a su salida los parámetros exigidos por la ley de Vertidos estén por debajo de esta norma, pero según este estudio se encontró que los valores de Hidrocarburos Totales, en algunos casos ha sobrepasado este valor que es de 10 mg/l. Dentro de las causas encontradas están que cuando hay fuertes precipitaciones, aumenta el volumen de agua que circula durante el sistema, por lo que existen momentos en que las unidades de tratamiento colapsan. Otra causa es que muchas veces la planta, tiene inconveniente en los enfriadores de la columna principal de destilación atmosférica, producto de una mala indicación de una válvula de control.

### **Capítulo III. Ensayos Experimentales, Pruebas de Coagulación – Floculación**

A continuación se presenta los principales resultados obtenidos de una serie de ensayos experimentales, realizados con el fin de determinar el tipo de Coagulante-Floculante que se requiere para instalar un Sistema de Tratamiento tipo Flotación con Aire con Disuelto (FAD ) con Coagulación- Flotación previa de las aguas.

Para ello, se realizaron pruebas tanto en laboratorios como en campo para determinar los productos químicos óptimos, como también, las dosis con mayor rendimiento de remoción de contaminante. A continuación se detallan los principales resultados obtenidos en estas pruebas:

#### **3.1. Resultados Ensayo 1**

El ensayo 1 se realizó 26 de agosto 2010 en los Laboratorios de la empresa Bio-Engineering, bajo la supervisión de Ing. Nancy Carvajal, con el objetivo de determinar el tipo Coagulante y Floculante a utilizar en los posteriores ensayos. Se probó con varios tipos químicos con diferentes propiedades, las pruebas fueron de carácter cualitativo porque lo que se buscaba era descartar o aprobar productos, a continuación se muestran los principales resultados obtenidos:

**Tabla 6. Síntesis de las pruebas realizadas en el ensayo 1**

<b>Coagulante</b>	<b>Floculante</b>	<b>Resultado</b>
Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1%	CALLAWAY C-4893, 0,1%	El cloruro Férrico comienza a coagular a dosis mayores a 120 ppm (mg/l), además, se comprobó que con dosis menores a 20 ppm floculante se logra una buena aglomeración de sólidos.
Sulfato de aluminio, 1%		No se logró obtener coagulación, aún ni aumentando las concentraciones a 400 ppm
Amida orgánica	CALLAWAY C-4893 0,1%	No se generó un coagulo apto para ser Separado.
	Flok eco 8040 Puro	No se generó un coagulo apto para ser separado.
Kemira PIX-111 Cloruro férrico, 1%		Excelentes resultados a concentraciones cercanas a 200 ppm, se requiere de mayor tiempo de sedimentación
Kemira PIX-111 Cloruro férrico, 1%	Flok eco 8040, 1%	Buenos resultados a concentraciones cercanas a 200 ppm

// Este es el resultado de 15 pruebas experimentales la cuales se detallan en el capítulo de anexos

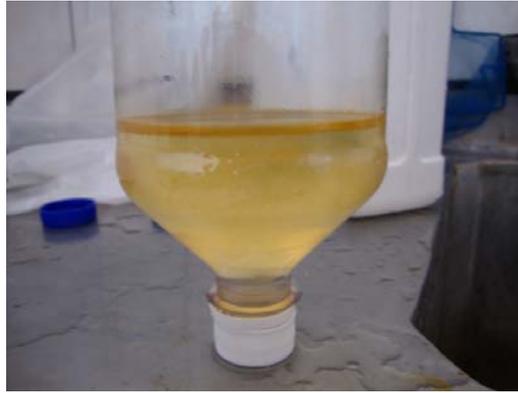
### 3.1.1 Registro Fotográfico Ensayo 1.

**Figura 19. Utilización solo de coagulante cloruro férrico 200 ppm**



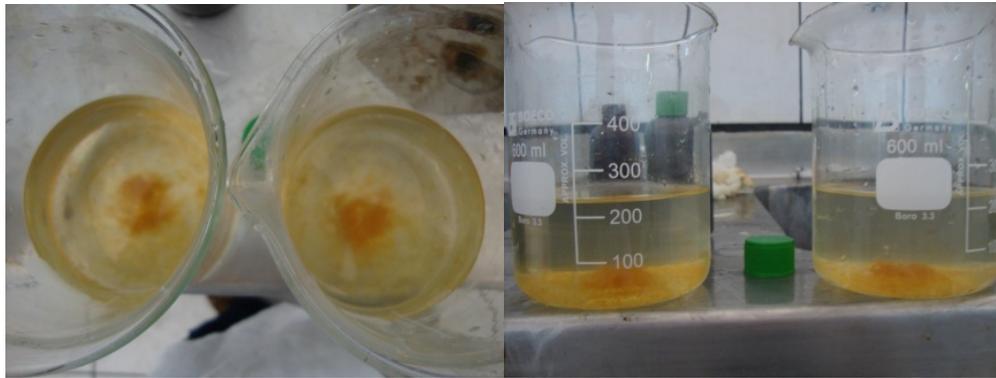
// Se puede observar un buen resultado, el tamaño de los flóculos son de buen tamaño como para ser removidos por un sistema FAD.

**Figura 20. Simulación de FAD con botella plástica**



// Se puede observar que al saturar agua, se induce a la flotación de los flóculos formados, por lo que un FAD puede ser una buena opción de tratabilidad.

**Figura 21. Comparación de rendimiento de Cloruro férrico y floculante 4893 vs Cloruro férrico y floculante Flok eco 8040 respectivamente**



// Se puede observar que los dos mejores resultados son muy similares en cuanto a la remoción de material coloidal, no obstante, la combinación con Flok eco 8040 presentó mayores sólidos suspendidos

### **3.1.3. Discusión de Resultados**

A partir los resultados de estos ensayos se logró escoger algunos tipos de coagulantes y floculantes y a la vez, descartar otros debido a que muchas mezclas no llegan coagular o que requerían dosis muy altas para obtener resultados favorables.

La primer combinación probada fue Cloruro Férrico y CALLAWAY C-4893, en esta mezcla se logró determinar que el Cloruro Férrico comienza a coagular a dosis mayores a 120 ppm (mg/l), además, se comprobó que con dosis menores a 20 ppm de CALLAWAY C-4893 se obtiene una buena aglomeración de sólidos. Esta prueba permitió establecer un rango de manejo de dosis para las aguas de la refinería de RECOPE de coagulante Cloruro Férrico entre 120 a 240 ppm y floculante CALLAWAY C-4893 entre 15 a 20 ppm.

Por otra parte, se corroboró que el Sulfato de Aluminio no es apto para aguas de Refinerías, ya que con las pruebas realizadas no se logró obtener coagulación, aún ni aumentando las concentraciones a 400 ppm, ante lo anterior se descartó este coagulante para pruebas futuras. Además, otra mezcla descartada fue el uso de una amida orgánica como coagulante y CALLAWAY C-4893 como Floculante, ya que al igual que el Sulfato de Aluminio no se generó un coagulo apto para ser separado.

En trabajos de investigación consultados aplicados en aguas de otras Refinerías en América Latina, se concluyó que es muy factible utilizar solo un floculante de alto peso molecular, para verificar esta situación, se realizó pruebas con Floculante Flok eco 8040 puro, los resultados obtenidos no fueron los esperados, esto es debido que las aguas de cada Refinería son diferentes y además las condiciones varían de un sitio a otro.

En este ensayo también se realizaron pruebas utilizando solo Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1%, las cuales dieron excelentes resultados a concentraciones cercanas a 200 ppm, ya que se formaron coágulos de buen tamaño y aglomeración, la única desventaja es que se requiere de mayor tiempo de sedimentación que anteriores pruebas.

Como los mejores resultados fueron las mezclas entre Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1% con los floculantes Floculante Flok eco 8040 y CALLAWAY C-4893, se realizó una comparación entre ambas combinaciones en condiciones iguales para determinar cual presentaba resultados más favorables. Para las pruebas de utilizó 200 ppm de coagulante y 40 ppm de floculantes, los resultados fueron muy similares, con la diferencia que con CALLAWAY C-4893 se observaron menos sólidos suspendidos y menor cantidad grasas flotantes en la superficie.

Además, en este ensayo se realizó una prueba experimental saturando agua coagulada y floculada con aire, a través de una botella plástica, esto con el fin de observar si es posible recuperar el producto separado por la superficie, esta prueba logró corroborar que si es posible flotar el material a recuperar con un FAD.

### **3.2. Resultados Ensayo 2.**

Una vez clasificado cuales Coagulantes Floculantes funcionan se procedió a hacer una prueba en el campo, por lo que se realizó una visita a la Refinería en Moín, el 08 de Setiembre 2010, en este ensayo se contó con la supervisión de los ingenieros Samuel Cubero, Cristian Bogantes y Fernando Bourrouet, con el objetivo de determinar el comportamiento real del Coagulante Kemira PIX-111 en conjunto con algunos Floculantes, a continuación se detallan los principales resultados:

**Tabla 7. Pruebas con Cloruro Férrico y CALLAWAY C-4330 realizadas en el ensayo 2.**

Jarra	Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico,1% mg/l	Floculante CALLAWAY C- 4330,1% mg/l	pH	Observaciones
1	120	20	7,25	Formó un buen coágulo, pero hubo predominio de los sólidos suspendidos, además se formó una capa grasosa sobre la superficie.
2	100	20	7,25	Formó coágulo, pero hubo predominio de los sólidos suspendidos, además se formó una capa grasosa sobre la superficie igual a la primera.
3	160	20	7,25	Presentó mejores resultados no se formó la película grasosa en la superficie, además presentó menor número de sólidos suspendidos.

**Tabla 8. Resultados de remoción de Grasas y Aceites utilizando 160 ppm de PIX como Coagulante y 20 ppm de 4330 como Floculante.**

Agua sin Tratar mg/kg	Agua tratada mg/kg	Eficiencia %
10.37	5.41	47,83

// Este análisis fue realizado por el Laboratorio del Departamento de Control de Producción de la Refinería

### 3.2.1. Registro fotográfico Ensayo 2.

**Figura 22. Coagulante Kemira PIX-111Cloruro férrico1% 120 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/l**



// Se puede observar que las pruebas en campo presenta condiciones similares a las presentadas en el laboratorio. El uso de tanto coagulante como floculante genera buena formación de floculó, con esta combinación se presentaron algunas grasas flotantes.

**Figura 23.Coagulante Kemira PIX-111Cloruro férrico1% 100 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/**



// Con esta combinación se presentaron algunas grasas flotantes, si se logró amarrar parte de material en disolución.

**Figura 24. Coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1% 160 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/l**



// Con esta combinación se presentó los mejores resultados porque se formó mayor cantidad de flóculo y el agua generada presentó mayor claridad.

**Figura 25. Comparaciones de pruebas**



// Se observa que la jarra 1 (primera de izquierda a derecha), es la combinación de mejores resultados la cual corresponde a coagulante Kemira PIX-111 Cloruro férrico 1% 160 mg/l y Floculante CALLAWAY C-4330 0,1% 20 mg/l.

**Figura 26. Prueba de Remoción de Grasas y Aceites**



// Se logra apreciar como la adición de químicos permitió sedimentar mucho producto en emulsión, la remoción de Grasas y Aceites fue de 47,83%.

### **3.2.3. Discusión de Resultados**

A partir los resultados se logró corroborar el comportamiento presentado en el en el ensayo anterior. En esta prueba se observó que a mayor cantidad de Coagulante Cloruro Férrico se obtiene mejores coágulos y mayor claridad de las aguas. Una observación importante de este ensayo es que en ese día la refinería no estaba operando como es habitual debido al mantenimiento de algunos equipos, por lo que las aguas residuales no presentaban características tan críticas como en otras ocasiones.

En las pruebas de Coagulación- Floculación, los resultados con Cloruro Férrico a 100 y 120 ppm y CALLAWAY C-4330 20 ppm, se determinó que el Cloruro Férrico para estas concentraciones requiere indispensablemente del floculante para lograr sedimentar el material presente en las aguas, esto debido a que el tamaño del coágulo no es lo suficientemente grande para precipitar. Estas pruebas permitieron concluir que se requiere aumentar la concentración de coagulante para lograr remover algunas grasas que flotaron después de aplicar esta dosis.

La prueba con Cloruro Férrico a 160 ppm y CALLAWAY C-4330 20 ppm, fue la que presentó mejores flóculos y se observó el agua con mayor claridad, por lo que esta prueba se tomará de base para los siguientes ensayos como base de los diseños experimentales.

En ese mismo día, se realizó una medición de caudales de la salida del separador API de 10 000 galones/min, donde se logró ver que el sistema cuenta con 3 vertederos rectangulares sin contracciones, los cuales solo en 2 salía agua por situaciones de

mantenimiento, y además el caudal no es era el habitual por las razones ya mencionadas. Para la medición de caudales se procedió a medir las dimensiones de cada vertedero y columna de agua con el fin de utilizar las respectivas formulas de cálculo.

En la medición de las dimensiones de la canaleta Parshall ubicada al final del sistema, se observó que este dispositivo no está operando en las mejores condiciones por algunas modificaciones realizadas después de ésta que hacen que el flujo se almacene por lo que afecta las mediciones. Es necesario, reubicar este sistema para así garantizar una buena medición por parte del operario o realizar algunas mejoras del diseño de la misma.

En esta gira se analizó las opciones de tratamiento que pueden implementarse en la Refinería para mejorar las aguas según el criterio del Ingeniero Cristian Bogantes experto en el tema de sistemas de tratamientos de aguas, entre las opciones manejadas se encuentra colocar un Sistema de Flotación con Aire disuelto (FAD) después del Separador API ya sea con sistema de bomba de saturación o uno con cámara de presuración con coagulación – floculación previa. Otra alternativa manejada es aplicar coagulación – floculación y después colocar un sedimentador de pantallas laminares después del separador API. Por último, la opción de convertir el separador API en un FAD.

Con lo anterior, se tiene que tanto la implementación de un FAD con cámara de presuración como la implementación de un sedimentador requieren de mucho espacio para operar, por lo cual se descartan ya que lo que se busca es optimizar el espacio de refinería, además de que el espacio disponible cercano a la planta de tratamiento no es suficiente para ubicar estos dispositivos.

Los sedimentadores se pueden emplear para la eliminación de materia en suspensión en flóculo cuando se aplica coagulación química, su objetivo principal es la obtención de un efluente mas clarificado, pero también producir sedimentos que posean un valor comercial o que la menos no se conviertan en desecho difícil de tratar, pero para los caudales manejados se van a requerir de altos tiempos de residencia, lo que aumentaría el área de la obra. Además, en un sedimentador se van a generar lodos con altos contenidos de hidrocarburo los cuales se convertirían en un problema ambiental, la condición ideal sería inducir una flotación de los flóculos para recuperar estos de la superficie y así, incorporarlos al tanque de SLOP disponible del sistema de tratamiento actual.

Por otra parte, en lo que respecta a los resultados de remoción de grasas y aceites, esta prueba se realizó con la dosis que presentó un mejor comportamiento en este ensayo que fue 160 de Cloruro Férrico y Floculante 4330 a 20 ppm, el porcentaje de remoción obtenido fue de 47,83 %, el fue bajo para un sistema de tratamiento pero esto se debe a que el agua tratada solo se le agregó químico y no tuvo ayuda de un sistema auxiliar como

un FAD o un sedimentado Laminar que le diera una mejor separación de las fases, este rendimiento aún se puede mejorar hasta 80 % con las mismas dosis o hasta con dosis menores, si aplica un sistema de Flotación con Aire disuelto, porque permite flotar todos los flóculos presentes en el agua.

### 3.3. Resultados Ensayo 3.

En los ensayos anteriores se habían determinado cual tipo reactivos son los que presentaban mejores resultados de tratamiento, por lo que en esta práctica se buscó en definir cuál era la dosis óptima de cada producto. Para ello se diseñó un modelo factorial  $2^3$  con variables (dosis de coagulante, dosis de floculante y tipo de coagulante) y se tomó como parámetro de respuesta la turbiedad en unidades de NTU.

Este ensayo se realizó en los Laboratorios Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Costa Rica, el 30 de setiembre del 2010 y se contó con la supervisión de la Ingeniera Nancy Carvajal y el Técnico del laboratorio Marco Méndez. A continuación se detalla los principales resultados de estas pruebas:

#### Condiciones iniciales de las aguas

- Turbiedad inicial:  $(32,04 \pm 0,01)$ , pH :  $(7,13 \pm 0,01)$  y Temperatura:  $(22,5 \pm 0,1)$

Tabla 9. Aplicación de Factorial en la prueba

Experimento	Coagulante mg/l	Floculante mg/l	Tipo de Floculante
1	160	16	4893
2	240	16	4893
3	160	24	4893
4	240	24	4893
5	160	16	4330
6	240	24	4330
7	160	24	4330
8	240	16	4330

// Los de Tipo Floculantes utilizados fueron las Poliacrilamidas Catiónicas CALLAWAY C4893 y CALLAWAY C4330. El Coagulante aplicado fue Cloruro Férrico Kemira PIX-111 Coagulante con dosis de 160 y 240 ppm

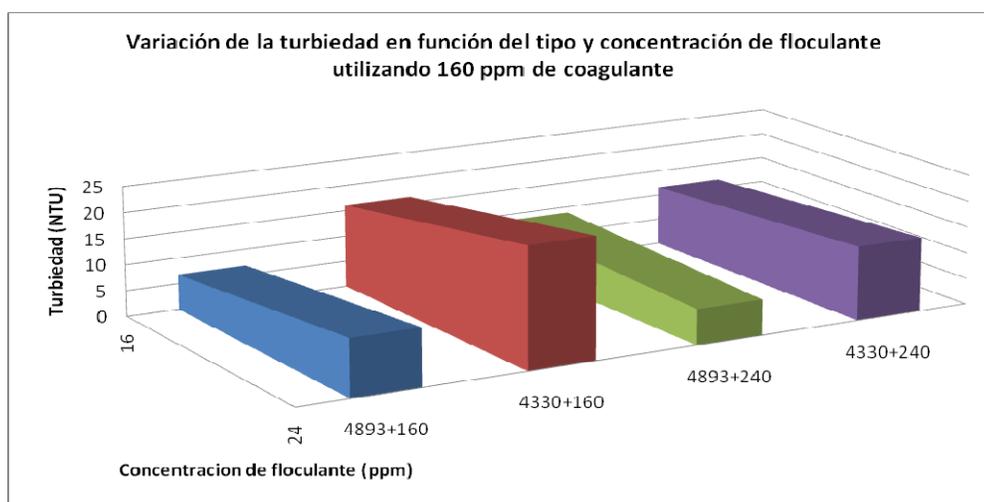
**Tabla 10. Diseño factorial 2<sup>3</sup> empleado**

Experimento	Coagulante	Floculante	Tipo de Floculante	Turbiedad final
	mg/l	mg/l		NTU
1	160	16	4893	6,78
2	240	16	4893	8,84
3	160	24	4893	10,93
4	240	24	4893	6,80
5	160	16	4330	16,10
6	240	16	4330	14,20
7	160	24	4330	23,10
8	240	24	4330	11,60

// Se puede observar que el experimento 1 correspondiente a la combinación de la Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4893 y Cloruro Férrico Kemira PIX-111 presentó un menor valor de turbiedad Final, es decir, mejor remoción de material en suspensión. Algo importante de destacar que este resultado corresponde a las dosis más bajas de productos químicos, por lo que se disminuye los costos operativos ante una eventual aplicación en la Refinería.

El segundo mejor resultado fue el experimento 4, que es la mezcla de la Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4330 y Cloruro Férrico Kemira PIX-111, pero vemos que corresponde a las dosis más altas de productos, por lo que aumenta el costo operativo ante una eventual aplicación en las aguas de la Refinería. Los resultados de esta prueba se pueden apreciar mejor con el siguiente gráfico.

**Gráfico 3. Resultados del factorial 2<sup>3</sup>**



// Se puede apreciar como a mayores dosis de Floculante Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4893 se aumenta la turbiedad para una misma concentración de Coagulante, situación contraria ocurre con el Floculante Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4330 que a mayor dosis menor Turbiedad.

### Efectos principales

**Tabla 11. Medida individual del efecto de cambiar la concentración de Coagulante de 160 a 240 ppm**

Medida individual del efecto de cambiar la concentración de Coagulante de 160 a 240 ppm			
Condición	Resultado	Concentración de floculante	Tipo Floculante
Y <sub>2</sub> -Y <sub>1</sub>	2,06	16	4893
Y <sub>4</sub> -Y <sub>3</sub>	-4,13	24	4893
Y <sub>6</sub> -Y <sub>5</sub>	-1,90	16	4330
Y <sub>8</sub> -Y <sub>7</sub>	-11,50	24	4330
Efecto principal	-3,87		

// Este efecto nos indica que no están significativo un cambio en concentración de Coagulante por lo que se podría trabajar con la dosis más baja para la reducción de costos operativos.

**Tabla 12. Medida individual del efecto de cambiar la concentración de Floculante de 16 a 24 ppm**

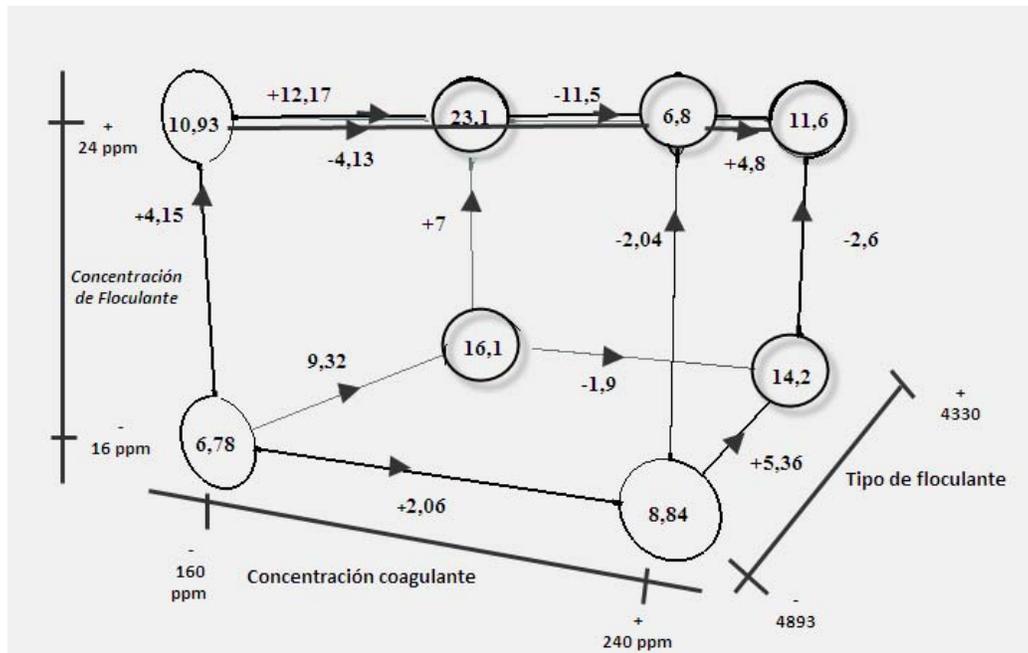
Medida individual del efecto de cambiar la concentración de Floculante de 16 a 24 ppm			
Condición	Resultado	Concentración de coagulante	Tipo Floculante
Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub>	4,15	160	4893
Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub>	-2,04	240	4893
Y <sub>7</sub> -Y <sub>5</sub>	7	160	4330
Y <sub>8</sub> -Y <sub>6</sub>	-2,6	240	4330
Efecto principal	1,63		

// Este resultado indica que puede variar la concentración de floculante, ya que como se vio en los resultados de turbiedad, a mayores dosis de Floculante Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4893 se aumenta la turbiedad, para una misma concentración de Coagulante, situación contraria ocurre con el Floculante Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4330 que a mayor dosis menos Turbiedad.

**Tabla 13. Medida individual del efecto de cambiar el tipo de Floculante de 4893 A 4330**

Medida individual del efecto de cambiar el tipo de Floculante de 4893 A 4330			
Condición	Resultado	Concentración de coagulante	Concentración Floculante
Y <sub>5</sub> -Y <sub>1</sub>	9,32	160	16
Y <sub>6</sub> -Y <sub>2</sub>	5,36	240	24
Y <sub>7</sub> -Y <sub>3</sub>	12,17	160	16
Y <sub>8</sub> -Y <sub>4</sub>	4,80	240	24
Efecto principal	7,91		

// Este es el mayor efecto presentado por lo que sí es significativo el tipo de Floculante que se utilice, en este caso se recomienda utilizar Poliacrilamida Catiónicas CALLAWAY C4893 debido a que requiere de menores dosis para la operación y además presenta mejores resultados de tratabilidad.



**Figura 27. Diseño factorial 2<sup>3</sup> tratabilidad de aguas de RECOPE**

Con la aplicación de este factorial 2<sup>3</sup> se obtuvo que es recomendable trabajar con una dosis de 160 mg/l de Cloruro Férrico Kemira PIX-111 como Coagulante y en combinación con la 16 mg/l Poliacrilamida Catiónica CALLAWAY C4893 como Floculante. Estas dosis nos dan una idea aproximada del comportamiento real en una planta de tratamiento, pero en la mayoría de los casos tiende a cambiar. Aún se podría trabajar en bajar las dosis de Floculante, que es el producto que tiene un mayor valor en el mercado, situación que si es factible ya que según los resultados al bajar sus concentraciones de 4893 se logran mejores valores de turbiedad.

Otro punto interesante es probar la utilización de solo Coagulante pero con una dosis similar a 160 mg/l, ya que se realizaron unas pruebas que corroboran que se obtiene valores bajos de turbiedad en estas condiciones, las cuales se detallan a continuación:

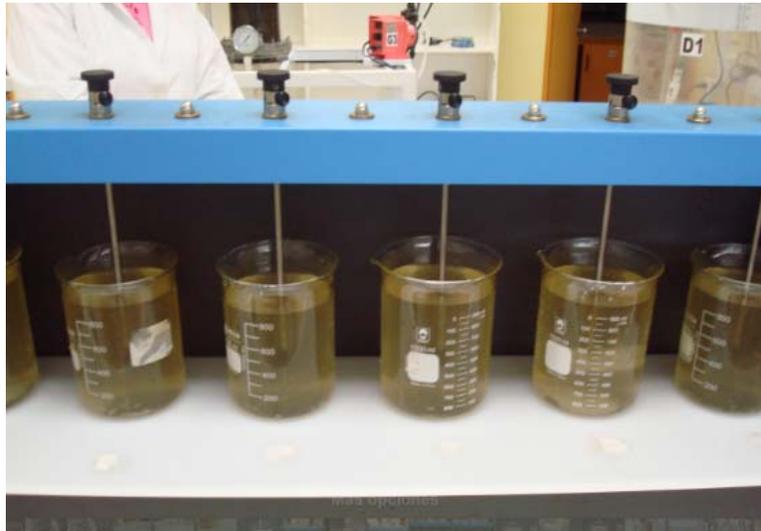
**Tabla 14. Pruebas adicionales utilizando solo Kemira PIX-111**

Experimento	Coagulante mg/l	Floculante mg/l	Turbiedad final NTU
9	180	0	8,24
10	160	0	5,51

// Se puede observar que la utilización de solo Cloruro Férrico se obtienen valores de turbiedad más bajos que los reportados anteriormente por lo que se recomienda aplicar esta dosis a una escala mayor para determinar si se presenta un comportamiento similar al anterior.

### 3.3.3. Registro fotográfico Ensayo3.

**Figura 28. Condición inicial de pruebas de Pix con 4893**



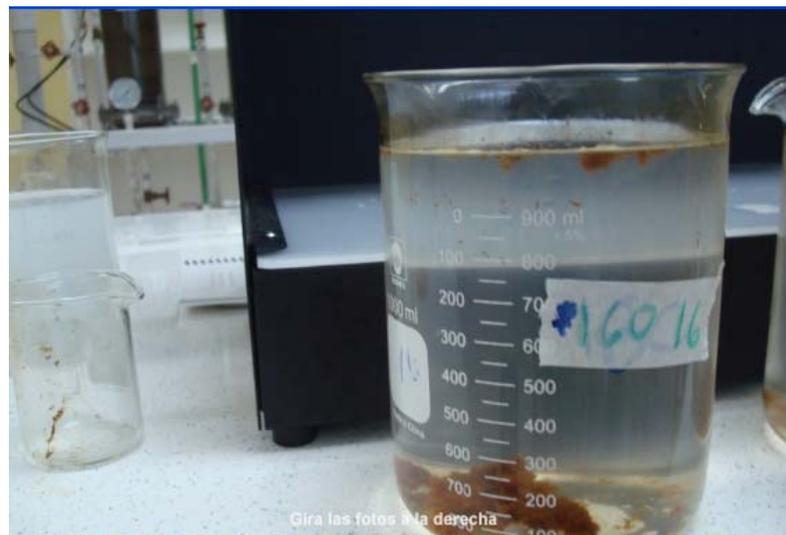
// Condición de las aguas sin agregar productos químicos

**Figura 29. Resultados 1 hora de sedimentación**



// Después de la adición de floculante y una hora de sedimentación

**Figura 30. Mejor resultado de Pix con 4893**



// Esta prueba reportó menor turbiedad y mejor formación y textura de flóculos

**Figura 31. Peor resultado de Pix con 4893**



// Esta prueba reportó la mayor turbiedad y mayor cantidad de material en suspensión

**Figura 32. Peor resultado Pix con 4330**



// Esta prueba reportó la mayor turbiedad y mayor cantidad de material en suspensión

**Figura 33. Mejor resultado Pix con 4330**



// Esta prueba reportó menor turbiedad y mejor formación y textura de flóculos

### 3.4. Resultados Ensayo 4.

Como en el ensayo anterior se recomendó realizar una prueba a una escala mayor usando solo una dosis similar o igual a 160 ppm de Cloruro Férrico, se procedió a utilizar una planta de Tratamiento de Sedimentación con Coagulación- Floculación previa, del Laboratorio de Aguas de Ingeniería Ambiental del TEC, el cual se detalla a continuación :

**Figura 34. Modulo de Tratamiento de sedimentación con Coagulación- Floculación Previas**



// Equipo utilizado en la prueba para simular coagulación- floculación a escala.

Inicialmente se visitó la Refinería con la finalidad de tomar muestras de agua residual provenientes de la entrada del Separador API aproximadamente 300 litros. El agua para realizar la prueba fue tomada a la 1 de la tarde con la colaboración de Ing. Samuel Cubero y Luis Solano, para la recolección se utilizó un equipo de bombeo de derrames de la empresa para bombear el agua del separador a los barriles (ver anexos).

A continuación se detalla los principales resultados de esta prueba.

**Tabla 15. Condiciones antes y después de la coagulación**

Parámetro	Condición inicial	Condición final
Turbiedad ( $\pm 0,1$ ) NTU	61,80	136,00
pH ( $\pm 0,01$ )	6,73	2,51
Temperatura ( $\pm 0,1$ ) °C	23,30	23,70

La condición de las aguas empeoro después de la aplicación del producto debido, a que la bomba de coagulante estaba dañada y dosificó una cantidad de Cloruro Férrico mayor a la recomendada, que hizo que el pH del agua bajara drásticamente evitando que los pequeños flóculos formados sedimentaran, por lo cual todo el contaminante quedó en suspensión aumentando la turbiedad final. A continuación se detalla un control del pH en

diferentes puntos de la planta, que evidencia como el exceso de Cloruro Férrico produjo una disminución importante de este parámetro

**Tabla 16. Control de pH en el proceso**

Punto	pH ( $\pm 0,01$ )
Reactor R1	2,39
Reactor R2	2,14
Sedimentador de pantallas	2,51

// Los valores son de ámbitos muy ácidos

### 3.4.1. Discusión de Resultados

La idea inicial que se tenía con este ensayo era ver cuál era el comportamiento de utilizar a una escala mayor una dosis de Cloruro Férrico para el tratamiento de las aguas de la Refinería. Lo recomendado era aplicarla en una Planta Piloto de tipo Flotación con Aire Disuelto (FAD), porque es el sistema que se pretende implementar en la Refinería, lo anterior no se consiguió porque adquirir equipos tipo FAD para pruebas es muy difícil en el Costa Rica, ya que la mayoría de proveedores solo venden o alquilan unidades mayores 10 GPM y están contruidos con materiales incompatibles para el manejo de Hidrocarburos. Ante esta situación se procedió a utilizar un sistema de Sedimentación con Coagulación- Floculación previa, el cual tiene una operación y condiciones de trabajo muy distintas a un FAD, pero el principio de Coagulación- Floculación es similar ya que ambos equipos la requieren previamente.

Con este ensayo lo que se buscaba era ver el comportamiento de la coagulación-floculación en condiciones de mayor escala. Este objetivo no se logró concretar porque durante la prueba existieron algunos imprevistos que no fueron contemplados inicialmente como el mal estado de las bombas de dosificación tanto de coagulante y floculante. Ante esta situación, se hizo uso de una bomba alterna la cual no tenía regulado el caudal, lo que generó que se dosificará mas producto del óptimo, sobrepasando el punto electroestático que hizo el Cloruro Férrico acidificara el medio a través de la siguiente ecuación



Como vemos al agregar mayor cantidad de Cloruro Férrico hay predominio de iones  $H^+$  lo hace que el pH baje y por lo tanto no se origina la coagulación, ya que los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del rango adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio. Cuanto menor sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios en el pH. El pH típico para la clarificación que va entre 6 y 7 en este laboratorio el pH de agua

utilizada se encontraba en 6,73, pero con la adicción del Cloruro Férrico bajo a 2,51 por lo cual no se originó la precipitación química esperada.

Para futuras pruebas es necesario contar con que el equipo de coagulación-floculación este en buen estado ya que para realizar estos ensayos se requieren de muchos recursos y de tiempo, además, se recomienda realizar pruebas de coagulación previas antes de aplicar las dosis en el módulo.

### **3.5. Resultados ensayo 5.**

Para tener datos más confiables y cercanos a una condición real de operación se procedió a realizar unas pruebas en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Empresa Procesadora de Pollo, ya que al combinar introducir agua saturada a 120 psi con aguas de la Refinería previamente Coagulada- Floculada, se puede inducir a la flotación de los flóculos formados.

Antes de las pruebas se colectó agua de la entrada el Separador API de la Refinería, la cual se preservó al día siguiente por medio de refrigeración, posteriormente, se tomó el agua saturada de un sistema FAD, y se mezclaron las aguas. El FAD estaba operando de forma continua y es similar al que se pretende recomendar en RECOPE. En el ensayo se realizaron 4 tratamientos diferentes, los cuales fueron:

- Prueba con 160 ppm de Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893
- Prueba solo adicionando agua saturada
- Prueba solo adicionando 16 ppm de floculante
- Prueba con 80 ppm de Coagulante PIX y 8 ppm de Floculante 4893

Para cada tratamiento se tomó 250 ml de agua cruda proveniente del Separador API, después se aplicó las dosis de Coagulante- Floculante. Posteriormente, se le agregó 50 ml de agua saturada proveniente del FAD a 120 psi, esto para simular un 20% de recirculación que se da generalmente se emplea en estos sistemas. Posteriormente, se deja de reposar el agua para que se produzca la flotación. A continuación se presentan los principales resultados obtenidos en este ensayo

**Tabla 17. Resultados Obtenidos de diferentes Tratamientos con un Sistema FAD.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Observaciones</b>
160 ppm de Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893	Presentó una excelente flotación de material en emulsión, el agua resultante estaba muy clarificada.
Solo adicionando agua saturada	Presentó flotación de material en emulsión, el agua resultante aún poseía material en emulsificado.
Solo adicionando 16 ppm de floculante	Presentó flotación muy eficiente de material en emulsión, el agua resultante tenía muy poco material emulsificado.
80 ppm de Coagulante PIX y 8 ppm de Floculante 4893	Presentó muy buenos resultados de flotación de material en emulsión, el agua resultante tenía muy buena claridad.

### **3.5.1. Registro Fotográfico de las Pruebas**

**Figura 35. Agua saturada a 120 Psi**



// Esta agua fue sacada después de la bomba de saturación, la cual tiene un efecto efervescente

**Figura 36. Prueba con 160 ppm de Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893**



// Se puede observar que casi en su totalidad floto todo el material en emulsión

**Figura 37. Prueba aplicada solo con adicción de agua saturada**



// Se puede observar que las sustancias presentes en el agua si flotaron pero no en su totalidad presentando mayor turbiedad.

**Figura 38. Prueba solo adicionando 16 ppm de floculante**



// Se puede observar que también es posible utilizar solo flocculante para inducir una flotación

**Figura 39. Prueba con 80 ppm de Coagulante PIX y 8 ppm de Flocculante 4893**



// Puede observarse que es factible aun optimar aún más las dosis con un sistema FAD y así percibir mayores ahorros a largo plazo.

**Figura 40. Agua con remoción manual de Natas**



// Se puede ver el antes y el después de un tratamiento con FAD para las aguas de la Refinería de RECOPE.

### **3.5.2. Discusión de Resultados**

Este ensayo se realizó en un sistema FAD operando de forma continua, esto permitió darle solidez a la idea de recomendar la Instalación de un sistema similar en RECOPE, esto con el fin de recuperar la mayor cantidad de material emulsificado a través de la adición de agentes Coagulantes - Flocculantes y agua saturada entre 80 y 120 Psi. Según pruebas previas del ensayo 3 se había obtenido que la dosis de Coagulante- Flocculante que presentaba mayores niveles de rompimiento de emulsión era la combinación entre 160 ppm de

Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893, por lo tanto, se tomó esta dosis como base para la experimentación del presente ensayo.

En lo que respecta a la metodología empleada, se tiene que era necesario tomar una muestra representativa de las aguas generadas por RECOPE, además de buscar una empresa que tuviera un FAD con buena operación y que trabaje de forma continua. Se escogió una procesadora de pollo debido a que las grasas y aceites generadas en el proceso son altas, de igual forma se generan altas cargas de materia orgánica, situación que también se presenta en una refinadora aunque el tipo de agua sea muy diferente.

El sistema FAD visitado, trabaja solo con la adición de Floculante en la entrada, el cual posee características químicas similares al Floculante 4893 utilizado en este ensayo. Esta unidad de tratamiento está constituida por una cámara de flotación que posee un sistema de desnatadores que remueven el material flotante hacia una tolva donde posteriormente son tratados. Además, entre un 15 a 30 % del caudal de salida es recirculado por medio de una bomba de saturación de 25 HP y de 3510 rpm, que tiene la función de presurar el agua entre 80 y 120 Psi e ingresarla al flujo de entrada a través de un sistema de dosificación. El agua saturada tiene una característica efervescente de pequeñas burbujas que ascienden a la superficie arrastrando todo el material disuelto en el agua residual.

Esta prueba se realizó en una Planta de Tratamiento debido a que es muy complicado simular un FAD a nivel de laboratorio, debido a que es muy difícil encontrar bombas pequeñas que saturaren el agua como se requiere, por lo que los resultados que se pueden generar en una prueba piloto quizás no se aproximen a la realidad.

Las diferentes pruebas realizadas permiten verificar que un FAD es una excelente alternativa para tratar las aguas de la Refinería, esto se logró corroborar con la aplicación de 4 tratamientos distintos. En general, las 4 pruebas indujeron a la flotación del material emulsificado, lo que vario fue que unas clarificaron mejor el agua que las otras. El mejor resultado como era de esperarse fue la adicción de 160 ppm de Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893, debido que permitió generar un mejor floculo y por ende una mayor Flotación. Una observación importante de este ensayo fue que se logró notar que con solo la adicción de agua saturada en un sistema de aguas con Hidrocarburos se provoca flotación, el resultado no es tan eficiente, pero esto ayuda a bajar aún más las dosis de Coagulante-Floculante, o utilizar solo floculante como es el caso de la empresa procesadora de pollo, lo que puede generar un ahorro significativo para RECOPE.

Las anteriores situaciones fueron probadas en los tratamientos 3 y 4 en donde en un caso se utilizó 16 ppm de Floculante 4893 y en otra la mitad de la dosis óptima inicial es decir, 80 ppm de Coagulante PIX y 8 ppm de Floculante 4893, respectivamente. En ambos

casos se logró obtener aguas clarificadas, por lo tanto es necesario ya una vez instalado el sistema FAD en RECOPE, realizar estos ajustes y ver cual es mejor a nivel real, además es de suma importancia respaldar esas pruebas con análisis químicos de un laboratorio con ensayos acreditados.

Como recomendación de este ensayo, es necesario realizar una prueba cuantitativa que permita decir con certeza de cuanto es la remoción real, para ello, se tendrá que formular un procedimiento y una metodología a emplear.

## **Capítulo IV. Mejoras del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería**

### **4.1. Rediseño de la Laguna de Oxidación**

Para el rediseño se utilizó bases del documento Principios para el Diseño y Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Refinerías de Petróleo elaborado por la Asociación Alemana de Saneamiento, en conjunto con la Cooperación Técnica Alemana GTZ, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se recomienda que para el diseño de lagunas secundarias de una Refinería:

- Tiempo de retención: 18 – 49 (h)
- Alimentación de superficie: 0,40 – 1,3 ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ )
- Carga de diseño DBO 5: 0,011- 0,053 ( $\text{Kg}/\text{m}^3 \text{d}$ ).

Inicialmente, para proponer un nuevo diseño de laguna se debe tener una caracterización de las fuentes que van a alimentar el sistema.

#### **A. Aguas de purga de Torre de Enfriamiento.**

La empresa tiene unas aguas provenientes de los intercambiadores de calor del proceso, las cuales son dirigidas a una laguna de enfriamiento para estabilizarle la temperatura, y después son depositadas en la laguna de Oxidación, éstas son aproximadamente  $2050 \text{ m}^3/\text{h}$ . A través de un proyecto de construcción de una torre de enfriamiento en la empresa se pretende dar uso de las estas aguas, por lo cual el caudal que ingresaría a la lagunas laguna seria menor rondando los  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  con una  $\text{DBO}_5$  de  $6,25 \text{ mg}/\text{l}$  según un estudio realizado por el ingeniero Samuel Cubero Vargas. Se muestran algunas propiedades Físico- Químicas de estas aguas en el capítulo de anexos.

## B. Aguas Causticas

Actualmente, la soda caustica proveniente del lavado de crudo y LPG, se recolecta en un recipiente, para ser diluida en agua y posteriormente dosificada en el final laguna de Oxidación, a una razón de 341 l/h (1,5 Galones/minuto). Para principios del 2011 se pretende realizar un proyecto de una Planta de Tratamiento de Soda Caustica por lo tanto, estas ya no serian dispuestas en la laguna, por ende, no se va tomar en cuenta esta fuente para el rediseño de la laguna.

## C. Aguas Oleaginosas del Separador API.

Para el diseño de la laguna se contemplara la máxima capacidad de operación del Separador API que es de 10 000 galones/ minuto y una DBO<sub>5</sub> promedio de salida de 27,75 mg/l según el capítulo de Diagnostico de la planta de Tratamiento antes expuesto.

## D. Aguas Pluviales

Para determinar la cantidad de lluvia que puede recibir la laguna de oxidación se realizó una recopilación de información del Estudio Hidrológico Integral de la Refinería del año 1989, donde se utilizó un análisis estadístico tomando datos climatológicos suministrados por la Estación Meteorológica ubicada en Limón, con base al método de Gambel, el cual toma los peores escenarios anuales en intensidad- duración- frecuencia. Se detallan algunos datos del clima reportados en la Refinería entre el año 1970 y 1990 en el capítulo de anexos.

Para el cálculo de la cantidad de aguas de lluvias que pueden aumentar la el volumen a tratar en la laguna se tomó el reporte mensual mayor, es decir, el mes de Julio con 427 mm, y con la relación de  $mm = l/m^2$ , se estimó la cantidad de agua de lluvia que cae sobre el Separador API como en la laguna. Se usó el parámetro que una lluvia fuerte es de 5 horas, lo cual es muy común en Limón. Para ello, se multiplicará los  $l/m^2 h$  por el área superficial del Separador API y la laguna, no se contemplaran las perdidas por evaporación e infiltración, ni el agua que cae en los canales ni en zonas aledañas al sistema de tratamiento.

Cálculo de aguas provenientes de lluvias

$$427 \frac{mm}{mez} \times \frac{1 mes}{30 días} \times \frac{1 día}{24 horas} = 0,59 mm/h$$

Usando equivalencia

$$\frac{mm}{mes} = \frac{l/m^2}{mes}$$

Calculando el área superficial del separador API

$$A_s = 549,1 \text{ m}^2$$

Calculando la cantidad de lluvias que caen el separador se tiene que

$$0,59 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 \text{ h}} \times 549,1 \text{ m}^2 = 323,9 \frac{\text{l}}{\text{h}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} = 0,32 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Calculando el área superficial de la laguna se tiene

$$A_s = 3872 \text{ m}^2$$

Calculando la cantidad de lluvias que caen laguna se tiene que

$$0,59 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 \text{ h}} \times 3872 \text{ m}^2 = 2284,5 \frac{\text{l}}{\text{h}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} = 2,28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### Calculo de Carga Hidráulica Total

Tabla 18. Sumatoria y caracterización de afluentes de las lagunas

Fuente	Caudal m <sup>3</sup> /d	DBO mg/l
Aguas de precipitación que caen en laguna	54,72	2
Aguas de precipitación que caen en Separador API	7,68	2
Aguas provenientes del Separador API	54504	27,75
Aguas de purga de torre de Enfriamiento.	360	6,25
Total	54926	38

#### 4.1.1. Factores de Influencia para el Diseño.

##### a. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH afecta, la mortalidad de las bacterias en lagunas de estabilización, como se mencionó en el marco teórico de este proyecto, ante esta situación, es necesario tener un control del pH de las aguas para no ver reducido la eficiencia en la laguna, no obstante, el pH de las aguas de Refinería según los reportes operacionales es neutro (7,59), es decir, es apto para el crecimiento bacteriano.

##### b. Profundidad:

Para el rediseño de la laguna de RECOPE, se propone una laguna Facultativa, cuyas profundidades varían entre 1,2 a 2,5 m, con el fin de darle mayor capacidad de manejo de volúmenes y evitar la formación de metano el cual es muy peligroso en una Refinería.

### c. Nutrientes

Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento de algas, además del Carbono, se mencionan generalmente al Nitrógeno, al Fósforo, Calcio y Magnesio. En el caso de las aguas de Refinería estas tienen importantes cantidades de Hidrocarburos por lo tanto, tiene buenas fuentes de carbono, además al ser aguas de origen salino posee concentraciones de Calcio y Magnesio.

#### 4.1.2. Especificaciones del Diseño

##### A. Preparación del terreno

Se recomienda inicialmente la colocación de una capa de arcilla en el fondo de la laguna actual para evitar riesgos de contaminación de suelos por hidrocarburos. A continuación se detallan los pasos a realizar:

**Figura 41. Base conformada para la colocación de la Arcilla con un grosor de 60 cm.**



Fuente: (Calvo, 2008)

// Esta arcilla debe compactarse, posteriormente, se recomienda colocar un material aislante en este caso geomembrana en las paredes de los taludes

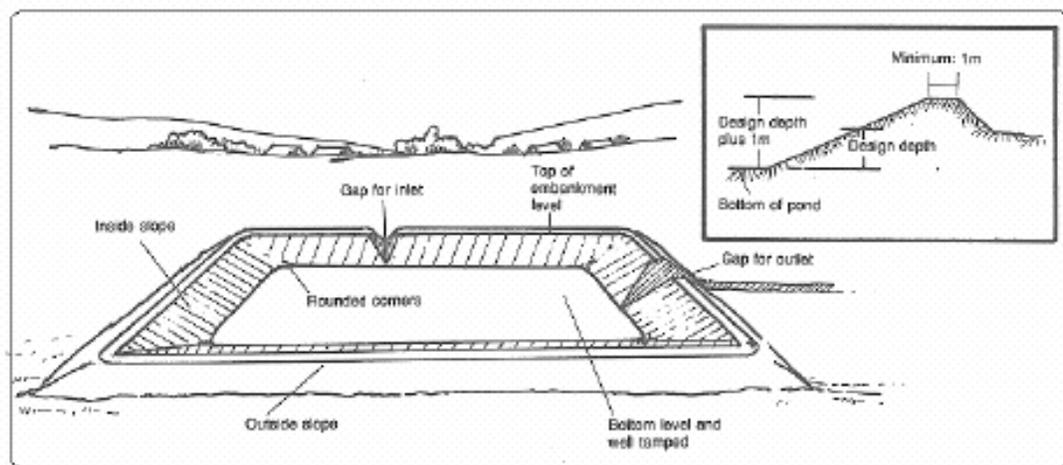
##### B. Geometría de la Laguna

La forma de la laguna de estabilización depende básicamente de la topografía. Las lagunas pueden tener cualquier forma geométrica, pero se prefieren estanques con bordes uniformes continuos que impidan el estancamiento del agua y la formación de zonas muertas o la incidencia de cortocircuitos. (Rojas, 2000). En el diseño de esta laguna se recomienda una relación largo/ancho de 4/1, para fomentar flujo pistón y asegurar un mejor rendimiento

### C. Construcción de los terraplenes.

- Los terraplenes se deben apisonar bien, con los lados inclinados según especificaciones de diseño. En este caso se recomienda una pendiente de los taludes con un ángulo de 45 ó 30 grados.
- La parte superior del terraplén debe ser nivelada, bien apisonada, y por lo menos 1.0 m de ancho. La distancia de la tapa del terraplén al fondo de la laguna deberá ser igual a la profundidad del diseño de la laguna más 1.0 m.

Figura 42. Construcción de terraplenes.



Fuente: (OPS/CEPIS/05.164)

#### 4.1.3. Criterios de Diseño

Se escogió diseñar una laguna facultativa por varias razones:

1. Las lagunas aerobias requieren mayor cantidad de terreno por lo cual costo es mayor.
2. Las lagunas anaerobias tienen producción de metano lo cual es muy peligroso en una refinería.
3. Las lagunas anaerobias son más sensibles a cambios de pH y en se presentan con frecuencia la acumulación de natas.

##### a. Dimensionamiento de la Laguna

Por cuestiones de disponibilidad de terreno solo se puede ampliar la laguna a 190 de largo y 35 m, con una profundidad de 2,20 m.

### b. Carga Hidráulica

La carga hidráulica según lo calculado anteriormente, y tomando en cuenta el proyecto de Torre de enfriamiento y de la Planta de Tratamiento de Soda Caustica, la carga hidráulica va ser 54926 m<sup>3</sup>/día aproximadamente.

### c. Carga Orgánica del sistema (CO)

$$CO = \frac{33 \left( \frac{mg}{l} \right) \cdot 54926 \left( \frac{m^3}{d} \right)}{1000} = 2087 \text{ kg DBO/día}$$

Se utilizará fórmula de volumen de un estanque rectangular

$$V = L * A * H$$

Donde

- L = Largo de la laguna para este caso será 190 m
- A= ancho de la laguna que en este es 35 m
- H= la altura de la laguna, y como es una laguna facultativa se recomienda 1,2 a 2,5 m , se utilizará 2,2 m para un volumen total de 14630 m<sup>3</sup>

Se recomienda una relación largo/ancho mínima de 4/1, con estas dimensiones se tiene  $\frac{190}{35}$  es decir es aproximadamente 5/1 por que se cumple esta condición.

### d. Área superficial (As)

$$A_s = 190 * 35$$

$$A_s = 6650 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,6 \text{ hectareas}$$

### e. Tiempo de retención de la laguna (T<sub>r</sub>)

$$T_r = \frac{14630 \text{ (m}^3\text{)}}{54926 \text{ (m}^3\text{/d)}}$$

$$T_r = 0,27 \text{ dias} = 6,30 \text{ h}$$

- La teoría recomienda tiempo de retención: 18 – 49 (h) , por lo tanto, vemos que aunque se mejoró significativamente los tiempos de la laguna actual, no se cumple con lo que recomiendan los autores.

### f. Alimentación de la superficie (qA)

La teoría recomienda que Alimentación de superficie:  $0,40 - 1,3 \text{ (m}^3/\text{m}^2\text{d)}$

$$qA \equiv \frac{Q \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{A \frac{\text{m}^2}{\text{d}}}$$

$$qA \equiv \frac{54926 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{6650 \frac{\text{m}^2}{\text{d}}} = 8,25$$

// No está entre el intervalo recomendado

Con los cálculos anteriores se evidencia que la propuesta no es la suficiente para poder tratar las cargas orgánicas ni hidráulicas generadas por la empresa. Para lograr rendimientos de mayor calidad de efluente se podrían pensar en colocar algunos dispositivos que permitan darle mayor capacidad de tratamiento a la laguna, los cuales se detallan a continuación en el capítulo de conclusiones y recomendaciones. Con esas mejoras se podría esperar la siguiente eficiencia:

**g. Remoción de DBO<sub>5</sub>**

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100$$

Donde  $C_i$ = Concentración inicial y  $C_f$ = Concentración final

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{(38 - 5)}{38} \times 100$$

$$\text{Remoción (\%)} = 87\%$$

La cual supera lo que cumple con lo establecido por la teoría, que una laguna facultativa debe remover DBO<sub>5</sub> a con una eficiencia de 75-80 %

El diseño de los taludes debe contemplar los efectos destructivos de la erosión causados por el oleaje en las lagunas grandes y por aguas de lluvias así como la acción del paso de vehículos y operarios. En los taludes se debe proveer protección contra la erosión, especialmente en la zona comprendida entre 0,3 m por debajo del nivel mínimo del agua y 0,3 por encima del nivel máximo del agua. La protección contra la erosión se puede suministrar mediante recubrimientos con piedra de río de 15 – 20 m de tamaño, también se puede asfalto, concreto, telas plásticas y pastos cortos. La corona del dique debe ser de un

ancho suficiente, 3 m, para permitir el paso vehicular, con pendiente que permita el drenaje de lluvia. (Rojas, 2000)

En lagunas pequeñas, menores de 2 ha, como la de RECOPE se usan bordes libre mayores a 0,50 m, en lagunas grandes, mayores a 1 m, además los diques deben ser diseñados y construidos para minimizar percolación de agua, la vegetación y el suelo poroso deben removerse y los terraplenes deben compactarse apropiadamente. La pendiente de los taludes depende del material del dique y de la protección prevista contra erosión.

En general se usan pendientes de 3 H/1 V en taludes internos y mayores de 1,5 H/1 V en taludes externos. Las tuberías que atraviesan los diques deben estar dotados de collares contra la infiltración.

#### **h. Unidades de Entrada y Salida**

Las unidades de entrada y salida tienen por objeto distribuir lo más uniformemente posible el agua en la laguna y evitar la formación de cortocircuito.

En general, se considera convenientemente unidades de entrada centrales, por el fondo, para depositar sumergidamente el lodo, la tubería de acceso se voltea y se eleva, aproximadamente, 45 cm, para evitar taponamiento. La unidad de entrada debe colocarse a la distancia máxima posible de la unidad de salida y preferiblemente, en lagunas grandes. (Rojas, 2000)

### **4.2. Propuesta de Suministro de Sistema de Tratamiento Primario Físico-Químico por Flotación por Aire Disuelto (FAD).**

A Continuación se presentan 2 alternativas para la instalación de un sistema de Flotación con Aire Disuelto en la Refinería

#### **4.2.1. Compra de Unidades FAD como Sistemas de Tratamiento Primario**

Esta propuesta consiste en la instalación de dos sistemas FAD a la salida del Separador API, cada uno con una capacidad de tratar 5000 GPM, estos sistemas están diseñados para remover grasas, aceites, sólidos suspendidos y materia orgánica insoluble. Las eficiencias de remoción reales de estos sistemas pueden verse mejorada si existe adición de productos químicos coagulantes y floculantes en la entrada del FAD. Para ello, es necesario realizar “pruebas de jarras” para proyectar la reducción real a través de FAD en lo que respecta a DBO, remoción de grasas y aceites e hidrocarburos totales y emulsificados, que para el caso de este proyecto ya fueron realizadas y se exponen en el capítulo III.

El principio de este sistema consiste en que el agua residual entra inicialmente en un mezclador tubular de bajo esfuerzo cortante (floculador tubular) donde coagulantes y

floculantes pueden ser agregados para aumentar el tamaño de las partículas, así como agua saturada de aire o “agua blanca”. Esta es una mezcla de una porción del influente al FAD que es saturada con aire atmosférico utilizando de la tecnología Nikuni de disolución de aire.

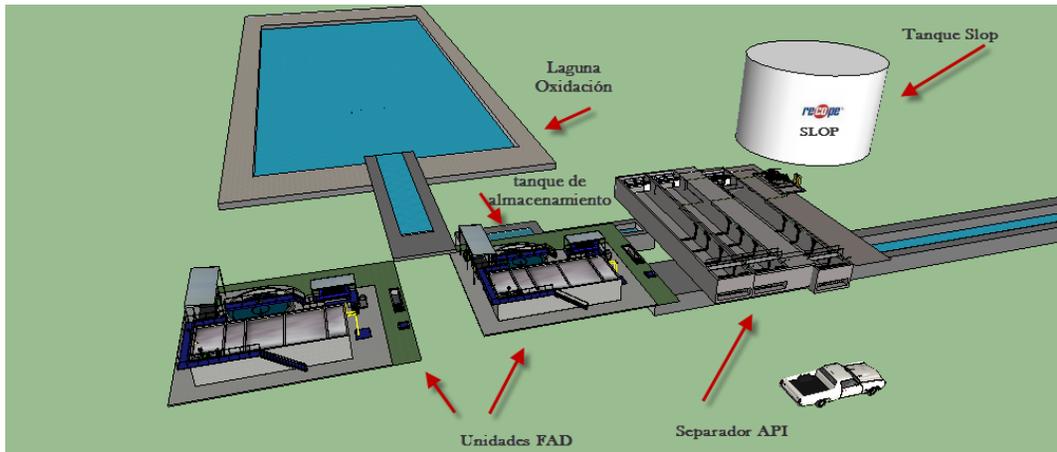
El agua residual entra al tanque del FAD orientada a lo largo de este. La velocidad del agua se reduce significativamente para maximizar el potencial de separación. Dentro del tanque, las micro burbujas que se han adherido a la superficie de los sólidos suspendidas, afectan su densidad, lo que las obliga a flotar, donde una sistema de cadenas con piezas transversales las “raspan” la superficie del líquido y las depositan en un cono superior. El líquido “limpio” es continuamente removido a través de varios puntos dentro del tanque y pasa sobre presas hacia la descarga del efluente de donde se descarga pro gravedad del FAD.

Estos sistemas propuestos remueven sólidos suspendidos, grasas, aceites y otras materias insolubles, alcanza altas eficiencias de remoción a bajos costos operativos, pero en el caso de RECOPE estos costos aumentarían significativamente ya que para poder instalar estos equipos se requeriría invertir en un tanque de almacenamiento de concreto reforzado de como mínimo de 1000 m<sup>3</sup>, para un tiempo de retención de media hora, el cual es muy poco como para atender una eventual emergencia por aumento en las lluvias, en donde se ubicarían como mínimo 4 bombas sumergidas para suministrar los 5000 GPM a cada unidad FAD y estas bombas consumen como mínimo 30 HP, lo que haría que los costos operativos aumenten.

Para poder instalar estos equipos se requiere de un espacio físico cercano al Separador API para que evitar tener que bombear aguas, actualmente no hay una área disponible como para ubicarlos, por lo cual tendría que adecuarse algún terreno y por ende, sacar los respectivos permisos ante el gobierno. Una alternativa para ubicación de estos equipos sería acortar el área de la laguna de Oxidación, ya que estando éstos instalados se disminuiría las cargas de contaminantes, por lo que el efluente que llegaría a la laguna probablemente ya se cumpla con lo establecido por el Reglamento de Vertidos 33601.

A continuación se detalla la configuración de sistema de Tratamiento Propuesta

Figura 43. Configuración para la instalación de sistemas FAD



A continuación se detallan las especificaciones técnicas de los sistemas FAD.

Tabla 19. Equipos y suministrados por el proveedor

Ítem	Descripción
FAD primario	2 x RSP-13L (1n135.6 m <sup>3</sup> /d c/u)
Opciones (cotizadas por separado)	Bomba de saturación de aire Nikuni de repuesto
Sistema de control	Panel de control por lógica de relés Paneles eléctricos alambrados con variadores de frecuencia, arrancadores para motores y elementos relacionados
Sistema de preparación y dosificación para coagulante y polímero	2 x para RSP-13L
Soporte y entrenamiento	5 días en sitio para arranque y soporte

Fuente: (Ferencz, 2010)

### Descripción del FAD

- a. **Panales de Lamela:** son utilizadas para aumentar la superficie de contacto con el agua y el desempeño del equipo.

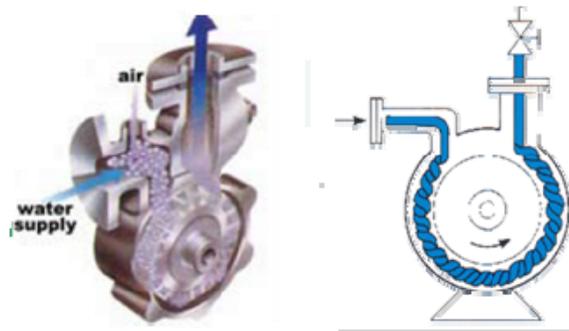
Figura 44. Pantallas lamelares



Fuente: (WaterWorks, 2010)

- b. **Extracción progresiva del agua:** es el proceso por medio del cual se extrae el agua “limpia” a través del sistema conforme se desplaza influente a través de este, lo que aumenta el tiempo disponible para la separación del lodo concentrado.
- c. **Aire disuelto:** La bomba regenerativa de turbina Nikuni se utiliza para generar micro burbujas de 20 $\mu$ m con altas tasas de saturación.

**Figura 45. Bomba Nikuni**



Fuente: (WaterWorks, 2010)

**Figura 46. Equipo DAF propuesto**



(WaterWorks, 2010)

- d. **Flujo transversal:** El diseño de reservorio es tal que el influente se reparte a lo largo del mismo, para reducir su velocidad con el fin de aumentar la eficiencia de separación de sólidos.
- e. **Conos inferiores para remoción de lodos:** Método seguro y de bajo mantenimiento para la remoción de lodos y partículas precipitadas. (Ferencz, 2010)

### Especificaciones

**Tabla 20. Materiales de construcción**

Bomba para aire disuelto	2 x Nikuni M80SP-1 (40 HP c/u)
Bomba trasiego de lodos	Por determinar
Válvulas solenoides	SMC o similar
Motor del rastrillo	Nord 0.5 HP, para uso con inversor o similar
Variadores de frecuencia	Baldor o similar
Floculador tubular	Básico

Fuente: (Ferencz, 2010)

Reservorio	Acero inoxidable AISI 304
Tuberías	PVC Sch.80
Cadena	Poliéster reforzado con vidrio
Válvulas neumáticas	Acero inoxidable
Bloques de desgaste	UHMW
Sellos	EPDM

Fuente: (Ferencz, 2010)

### Preparación y dosificación del coagulante y floculante

Lo equipos poseen un sistema de preparación y dosificación de coagulante y floculante completo con un sistema de dilución que asegura una mezcla química óptima. Está equipado con tanques y equipo de bombeo para el floculante el cual se dosifica automáticamente según el caudal del influente.

#### **4.2.2. Propuesta de Adaptación de Sistema de Sistema de Separación API en un Sistema FAD.**

Esta propuesta surge como una alternativa novedosa ya que no se encuentran en el mercado un sistema que convine los principios de un Separador API con los de un FAD, aunque tienen componentes en común. Los Separadores al igual que los FAD poseen una Cámara de Flotación y un Sistema de Paletas que remueven el material flotante o en suspensión. La diferencia de estos equipos es que el FAD toma cierto caudal de salida y lo satura aproximadamente a entre 80 a 120 psi y lo dosifica en la celda de flotación lo que induce a una mayor remoción de los contaminantes.

Otra diferencia es que los sistemas FAD tienen el fondo de la celda de flotación de forma cónica lo que ayuda a la remoción de sólidos sedimentables, y en su parte, el separador posee un fondo rectangular pero dispone de un sistema de paletas que extraen los lodos acumulados. Además, los sistemas FAD gozan de un sistema de pantallas lamelares que ayudan a la disminución de sólidos en el efluente, que los Separadores no tienen.

A continuación se detallan las principales modificaciones al sistema:

##### **4.3.1. Proceso de Coagulación- Flocculación**

Primeramente se tiene el proceso de coagulación, que consiste en la dosificación de Cloruro Férrico en mezcla rápida, para ello se va a aprovechar el canal de aguas oleaginosas que trae el agua residual para la adición de dicho producto, a través de un equipo de dosificación por gravedad, ya que en este punto se forma una buena turbulencia. A continuación se detalla el punto recomendado para la adición de Cloruro Férrico

**Figura 47. Punto para la dosificación de Coagulante**



En esta etapa se recomienda adicionar 160 ppm de Cloruro Férrico. Estas cantidades se pueden disminuir a la mitad según lo obtenido en la prueba experimental del ensayo 4 referida anteriormente. La dosis óptima real solo se puede establecer, cuando el equipo empiece a operar. A continuación se detallan los datos de diseño del equipo de dosificación

**Tabla 21. Parámetros de Diseño equipo de dosificación Coagulante.**

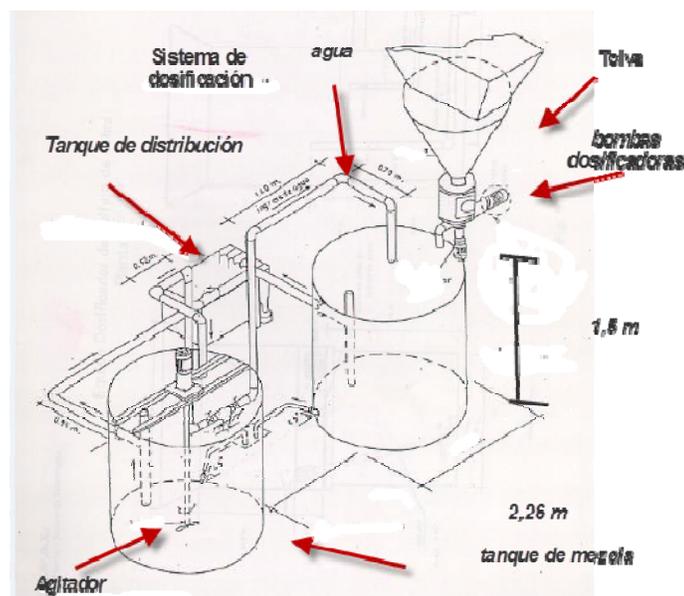
Parámetro	Magnitud	Unidades
Caudal	10000	gal/min
Dosis máxima (DM)	160	mg/L
Dosis mínima (Dm)	80	mg/L
Peso volumétrico del coagulante	1450	kg/m <sup>3</sup>
Concentración	10000	mg/L
Tiempo de mezcla en el tanque	5	minutos
Precio del Kilogramo	1	dólar
Producto	Cloruro Férrico	

**Tabla 22. Diseño equipo de dosificación Coagulante.**

Parámetros de diseño	Magnitud	Unidades
Peso máximo de coagulante	363,36	Kg/h
Peso mínimo de coagulante	181,68	Kg/h
Rango	80	Kg/h
Consumo diario Máximo	8720,64	Kg/d
Consumo diario Mínimo	4360,32	Kg/d
Dosis media	120	mg/L
Volumen de la tolva de dosificación	6,00	m <sup>3</sup> /día
Costo diario mínimo	2 223 600	Colones

// Utilizando una dosis de Coagulante de 80 mg/l se tendría un costo diario de 2 223 600 colones, esto se debe a los volúmenes de caudal generados en la Refinería.

**Figura 48. Componentes del sistema de Coagulación.**



Fuente: (Valerio, 2011)

- a. **Tanque de mezclado:** es el lugar donde se realiza la dilución del coagulante puro con el agua se recomienda hacer dilución al 1%.
- b. **Bombas de dosificación:** estas deben tener sistema de regulación de caudal porque la cantidad de coagulante a utilizar puede variar.
- c. **Válvulas:** estas deben tener capacidad para regular los caudales.
- d. **Tolva:** es el sitio por donde se alimenta el coagulante al sistema.

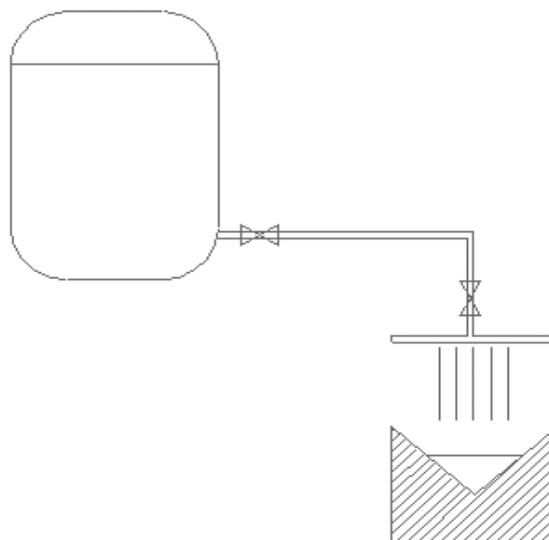
En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 segundos máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microfloculos. (Andía Cárdenas., 2000)

La mezcla rápida se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos. Las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos : - Retromezcladores (agitadores)
- Mezcladores Hidráulicos: - Resalto Hidráulico: Canaleta Parshall y Vertedero Rectangular
- En línea: Difusores (tuberías y canales) Inyectores, etc. (Andía Cárdenas., 2000)

En el caso de RECOPE se recomienda un sistema en línea por gravedad como se detalla a continuación

Figura 49. Tanque de distribución



Fuente: (Valerio, 2011)

El agua coagulada pasa a la cámara de preseparación, esta unidad tiene como finalidad reducir las velocidades de entrada del flujo y a la vez distribuirlo de forma homogénea a lo ancho del canal, de manera que se obtenga una corriente aproximadamente laminar dentro de la cámara de separación. Ante esta situación, se recomienda realizar la adición de Floculante en esta área, ya que la misma debe ser aplicada en mezcla lenta según lo establecido por la teoría para inducir la formación de flóculos. En esta etapa se recomienda adicionar entre 8 a 16 ppm de alguna Poliacrilamida catiónica, la cual puede ser el producto CALLAWAY C-4893 ya que fue con el cual se llegó a este resultado. A continuación se detalla el sitio recomendado para realizar la adición de Floculante.

**Figura 50. Punto de dosificación de Floculante**



// Se puede observar la forma en que detiene la velocidad del flujo al pasar por esta unidad.

Parámetros de diseño	Magnitud	Unidades
Producto	Floculante	
Precio	8,1	dólares
Peso máximo de coagulante	36,336	Kg/h
Peso mínimo de coagulante	18,168	Kg/h
Rango	8	Kg/h
Consumo diario Máximo	872,064	Kg/d
Consumo diario Mínimo	436,032	Kg/d
Dosis media	120	mg/L
Volumen de la tolva de dosificación	6,014234483	m3/día
Costo diario mínimo	1 800 810	Colones

// Utilizando una dosis de floculante de 8 mg/l se tendría un costo diario de 1 800 810 colones, esto se debe a los volúmenes de caudal generados en la Refinería.

### **Cámara de Separación:**

La Cámara de Separación del Separador API funcionaría como la celda de flotación de un FAD, donde se lleva a cabo el proceso de separación líquido-sólido. En esta unidad se va a recircular una parte del flujo de salida de cada canal del separador aproximadamente un 20% (670 galones/min), este caudal será presurado por tres bombas de saturación (en cada canal) las cuales operan con aire comprimido. El agua una vez saturada se distribuirá uniformemente por medio de tuberías en toda la celda de Flotación, siendo éste el suministro de burbujas que hará que el flóculo flote y forme una espesa nata en la superficie. De esta manera, se recupera el producto por medio del mecanismo de rastras del Separador API, donde el material recolectado se dirigirá al tanque de SLOP como es habitual.

Algo muy importante de resaltar en los cálculos de cantidades de Coagulante-Floculante, es que se tomó como base los resultados de las pruebas de jarras del ensayo 3 del capítulo III, y en la mayoría de los casos estas pruebas dan una idea aproximada de la dosis real a utilizar, pero siempre varía y las tendencias son siempre a bajar. Además cuando se realiza Coagulación – Floculación previa a algún equipo con inyección con agua saturada, las cantidades de químico disminuyen significativamente, por lo que los costos operacionales bajan, la anterior situación se puede corroborar con lo obtenido en el ensayo 5 en donde con dosis más bajas de producto se obtuvo buenos resultados de tratabilidad.

Para tener un respaldo teórico, de este comportamiento se procedió a comparar los resultados obtenidos en este estudio con las dos investigaciones mencionadas en el marco teórico. En ambos estudios se obtuvieron resultados similares, los mejores pruebas se presentaron con las combinaciones de 45 ppm de  $\text{FeCl}_3$  y 0,1 ppm de C-1288 (Poliacrilamida catiónica), con eficiencias de Remoción de Grasas y Aceites de 92% y DQO 89%. Si se utilizan estos valores de concentraciones para el tratamiento de aguas de la Refinería de RECOPE, los costos operacionales en productos químicos pueden bajarse para Cloruro Férrico 750 516 colones/día y Poliacrilamida catiónica a 112 200 colones/día.

Otro resultado importante de estas investigaciones fue que utilizar solamente polímero catiónico ECOFLOC (Poliacrilamida catiónica) a una concentración de 1 ppm, con el cual se obtienen remociones de Grasas y Aceites de 99,8% y DQO de 90,6%, esta opción bajaría los costos operativos por productos químicos a 224 910 colones/día.

### **Sistema de Arrastre:**

Es necesario reparar o cambiar el sistema de arrastre del separador ya que no está operando en su totalidad, y para realizar esta modificación se requiere que las rastras tengan capacidad de remover todo el material flotante, cantidad mayor que la actual.

Además para realizar la modificación se requiere de los siguientes componentes:

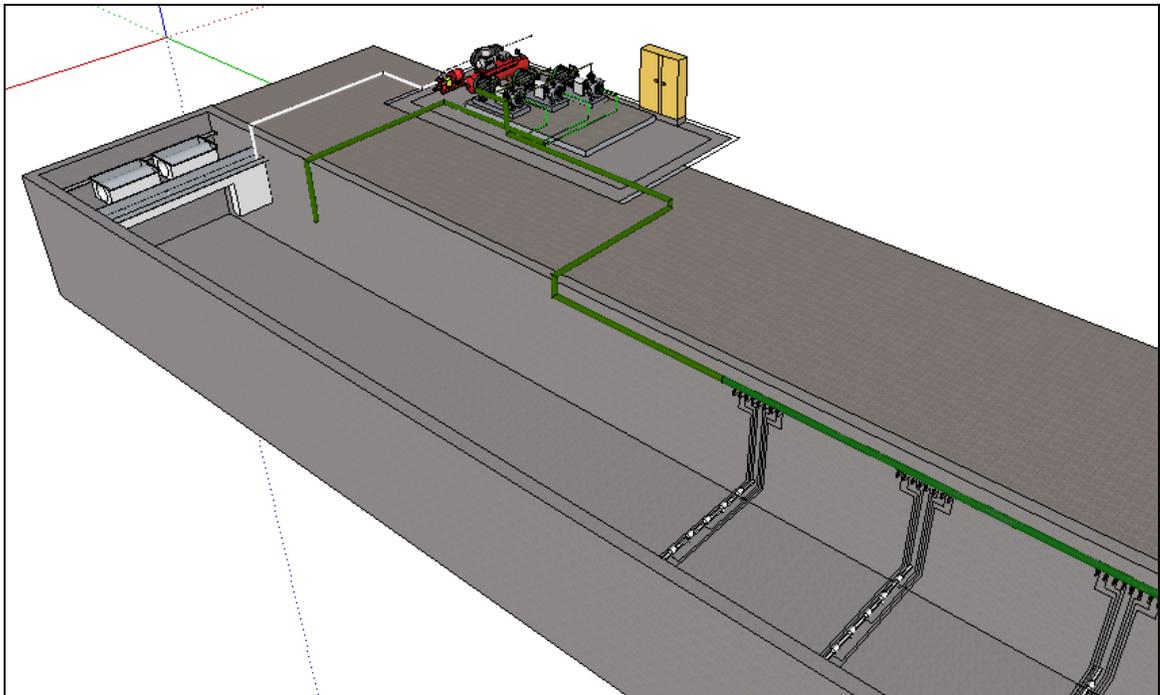
1. Incorporar bombas multi-etapa en paralelo para la saturación agua-aire que recicle aproximadamente un 15% del caudal de diseño de los API cuya presión de

operación sea de 100 psig y logren tener una dilución de aire del 12% formando burbujas de 30 micrones.

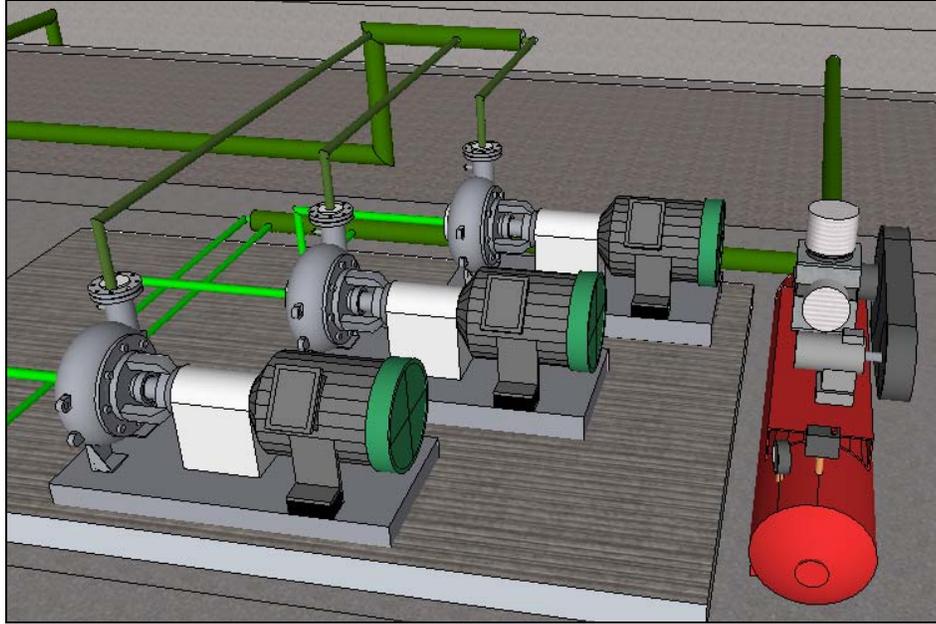
2. El motor del equipo debe ser a prueba de explosión y la bomba de acero inoxidable 316 tanto la cavidad de succión, descarga, impulsor y el eje del equipo.
3. Difusores de eyección del agua saturada construidos en acero inoxidable
4. Válvulas dosificadoras para regular el caudal de la línea
5. Tubo distribuidor que suministre agua saturada a todo el sistema
6. Válvulas de alivio
7. Canal de recolección de flotantes
8. Bomba de cavidad progresiva con motor a prueba de explosión y para el trasiego del material flotante
9. Sensor ultrasónico para activar la bomba de extracción de lodos
10. Medidores de presión
11. Rotámetros para la calibración del aire de entrada a cada bomba
12. Compresor de aire
13. Panel eléctrico NEMA 4x
14. Panel neumático (Bogantes, 2011)

### Diagrama tridimensional general de la propuesta

Figura 51. Diagrama de flujo actualizado del sistema de tratamiento de aguas residuales



**Figura 52. Bombas de saturación en paralelo y compresor**



**Figura 53. Distribuidor y válvulas para la dosificación del agua saturada en el interior del API.**

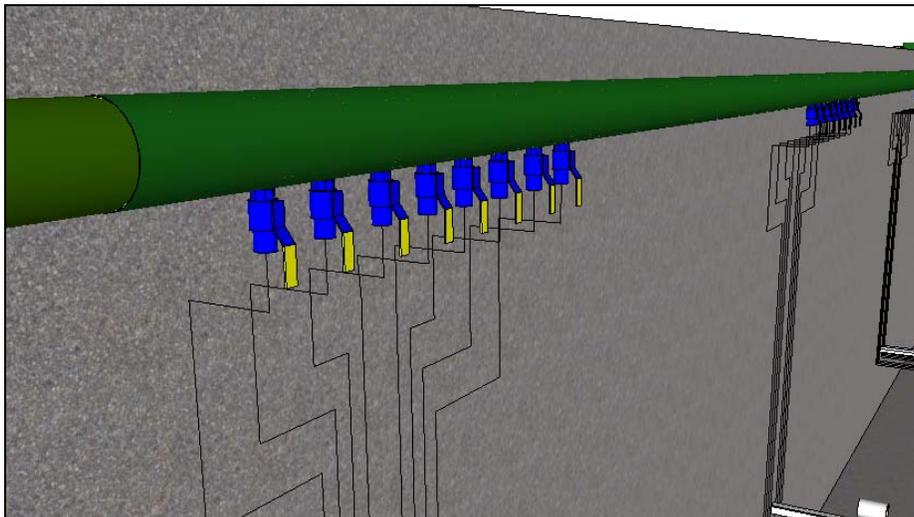
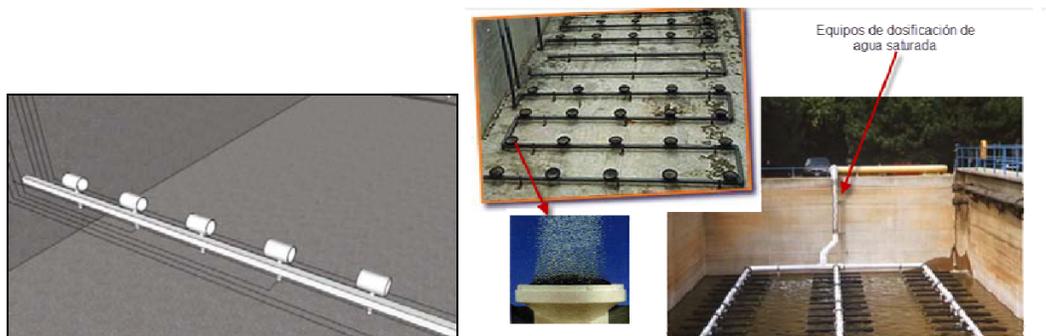


Figura 54. Distribuidores de agua saturada



Fuente: (Bogantes, 2011)

## 4.5. Evaluación Económica, Ambiental y Técnica de las Alternativas de Tratamiento Primario

### 4.5.1. Evaluación económica de la compra de Sistemas FAD.

#### Ahorros potenciales

##### a. Recuperación de producto

Según el capítulo II de diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa se tiene que la salida de Hidrocarburos Totales en el Separador es de 49,58 mg/l por lo tanto, esta sería la carga que ingresaría a los 2 sistemas FAD propuestos como Sistema de Tratamiento Primario. A continuación se calcula la carga de hidrocarburos totales del afluente (CH):

$$CH = \frac{49,58 \left(\frac{mg}{l}\right) \cdot 24720 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{1000} = 2723,23 \text{ kg Hidrocarburos Totales/día}$$

Esperando obtener 5 mg/l de Hidrocarburos Totales a la Salida de los FAD se tiene una eficiencia del 91% se recuperaría 2448,6 Kg/día. Para determinar la densidad del producto presente en el agua se tomará el promedio de las densidades de los productos crudos que compra la empresa la cual es de 858 kg/m<sup>3</sup>

$$2448,6 \frac{kg}{día} \times \frac{m^3}{858 kg} \times \frac{1000 l}{m^3} \times \frac{barril}{158,987049 l} = 18 \text{ barriles/día}$$

Para determinar el valor en colones de la cantidad de dinero que se podría recuperar se realizó un estudio del precio del barril de Crudo Liviano según los datos suministrados por la Gerencia de Comercio Internacional de RECOPE. Para ello, se tomó el precio promedio 80,55 dólares correspondiente al periodo del 1 de julio del 2010 al

29 de diciembre del 2010, en el capítulo de anexos se detalla los promedios mensuales de precio del barril de crudo.

**Tabla 23. Síntesis de ahorros por recuperación de producto.**

Ahorro	Cantidad Hidrocarburo desechado barriles/año	Cantidad de dinero perdido colones /año	Ahorro potencial colones /año
Recuperación de producto	7286	344 088 636	<b>269 898 885</b>

//El tipo de cambio del dólar es de 510 colones según datos del Banco Central de Costa Rica.

**b. Ahorro por Reducción por Canon Ambiental**

El canon ambiental por vertidos se establece como la prestación en dinero que deberán pagar todas las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas por utilización directa o indirecta de los cuerpos de agua .La base imponible de este canon es la carga neta contaminante vertida, calculada conforme a los parámetros de contaminación por Sólidos Suspendidos y Demanda Química Oxígeno (Ver anexos). A continuación se detallan las cantidades de contaminantes vertidas actualmente en el Rio Moín y las que se podrían removerse tomando en cuenta la compra de dos sistemas FAD (Eficiencia de 90%), valorando la reducción del área de la laguna Oxidación (eficiencia bajaría a 65% por la disminución de dimensiones) para ubicarlos antes de la misma. Este cálculo incluye las mejoras propuestas para la laguna como la incorporación de los aireadores superficiales.

**Tabla 24. Cantidades de DQO Y SS vertidos en el rio Moín**

Parámetro	Carga de contaminante actuales Kg/d	Carga de contaminante Con modificación del Separador API Kg/d	Diferencia Kg/d
Demanda Química de Oxígeno	1954	216	1738
Sólidos Suspendidos	1935	108	1827

// Estos valores como responden a la salida de la laguna de Oxidación, y corresponde a la media calculada de reportes operacionales del periodo de Agosto del 2002 a Enero del 2011.

El artículo 23 del Reglamento de comentario fija, la suma de Veintidós centavos de dólar (\$0,22), o su equivalente en colones, por cada kilogramo de DQO vertido y de Diecinueve centavos de dólar (\$0,19) o su equivalente en colones, por cada por cada kilogramo de SST vertido. A continuación se muestran las cantidades en colones/año que actualmente pagan la empresa por Canon ambiental y lo que eventualmente se podría ahorrar por año.

**Tabla 25. Ahorro por Reducción por Canon Ambiental por la compra de equipos FAD.**

Parámetro	Colones/año pagados actualmente	Colones/año pagados con el FAD	Ahorro potencial Colones/año
DQO	78 925 968	8 724 672	70 201 296
Sólidos Suspendidos	67 500 540	3 767 472	63 733 068
<b>Total</b>	<b>146 426 508</b>	<b>12 492 144</b>	<b>133 4 364</b>

// Estos datos se calcularon tomando en cuenta la formula especificada en los anexos y que se pague un 100% del canon es decir después del sexto año.

**c. Ingresos por Beneficios Ambientales del Proceso de Depuración de Aguas Residuales**

El proceso de depuración de aguas residuales tiene asociados diversos beneficios ambientales. Sin embargo, estos beneficios a menudo no son calculados porque no tienen precio de mercado y las contribuciones existentes en la literatura son muy limitadas. A pesar de ello, la valoración de estos beneficios es necesaria para justificar en términos económicos la adopción de determinadas medidas. Este valor representa el beneficio ambiental (coste evitado) asociado al eliminar el vertido de costes internos del proceso de depuración proporcionará un indicador útil para evaluar la viabilidad de los proyectos de depuración de aguas residuales.

En este apartado se pretende calcular los precios sombra asociados a los outputs no deseables obtenidos en el proceso de tratamiento de aguas residuales actuales y los posibles beneficios que se tendrían si se compran 2 FAD. A partir de estos resultados se obtendrá el valor del beneficio ambiental derivado en forma de daño ambiental evitado, debido a que las sustancias contaminantes ya no serán vertidas al medio natural gracias al proceso de depuración. De este modo se obtendrá un indicador sobre el valor ambiental de la depuración. Para ello, se utilizará la aproximación metodológica propuesta por Färe et al. (1989) para una plantas de tratamiento de aguas residuales ubicada en la Comunidad Valenciana en España. De esta investigación se obtuvo los siguientes resultados

**Tabla 26. Valor en Euros de los metros cúbicos de agua tratada**

Destino	Precio referencia agua tratada (€/m <sup>3</sup> )
Rio	0,7
Mar	0,1
Marjal	0,9
Reutilización	1,5

Fuente: (Hernández Sancho, 2000)

Con lo anterior se tiene que RECOPE pretende tratar 54 926 m<sup>3</sup> /día y disponer las aguas en el rio Moín por lo que se utilizaría el factor 0,7 €/m<sup>3</sup>

$$54926 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{0,7 \text{ €}}{\text{m}^3} \times \frac{1.000}{13} \times \frac{210 \text{ colones}}{13} = 26 079 414 \text{ colones/día}$$

Además con esta metodología se tienen algunos parámetros que permite calcular los beneficios ambientales del tratamiento de aguas.

**Tabla 27. Beneficio ambiental de la depuración**

Contaminantes	Factor de relación anual Kg/€
DBO <sub>5</sub>	22,17
DQO	8,49
SS	139,89

(Hernández Sancho, 2000)

Con lo anterior se tiene que

**Tabla 28. Valoración ambiental del tratamiento de aguas de la refinería de RECOPE**

Contaminante	Carga anual removida Actual Kg/año	Valor ambiental actual Colones/año	Carga anual removida Con equipos FAD Kg/año	Valor ambiental Con equipos FAD Colones/año
SS	6 233 105	30 223 140	6 676 215	32 371 596
DBO	6 448 820	197 304 222	6 615 990	202 418 855
DQO	14 160 175	1131 312 921	14 651 830	1170 593 202
<b>TOTAL</b>		<b>1358 840 283</b>		<b>1405 383 653</b>
<b>Ingreso anual</b>				<b>46 43 370</b>

//Para este cálculo se tomó el valor promedio de entrada de cada parámetro al Separador API y se le resto el valor de salida de la laguna de Oxidación, además se cálculo el valor solo para estos parámetros ya no se contaba con criterios establecidos. Con la tabla anterior se puede observar el beneficio actual de RECOPE es de 1358 840 283 Colones/año, valor que aumentaría en 46 543 370 Colones/año si se realiza la compra de dos unidades FAD.

**a. Inversión inicial por equipo**

**Tabla 29. Precio de inversión inicial**

PRODUCTO	PRECIO US\$
2 x DAF modelo RSP-13L con bombas, sistema eléctrico y dosificación de coagulante y floculante	1, 650,000.00
Precio adicional por paquete a prueba de explosión para equipo eléctrico NEMA 8 (según NEMA 1-10-1979) – Clase I Grupos A,B,C,D	6,000.00
Asesoría para arranque, soporte y entrenamiento (5 días hábiles + gastos)	7,000.00
Opcional: Bomba Nikuni M25NPD (3 HP) para respaldo	32,000.00 + I.V.
Equipo de alimentación de los FAD (4 Bombas de 2500 GPM)	140 000
Tanques de almacenamiento 10000 m <sup>3</sup> concreto reforzado (500 dólares/m <sup>3</sup> ) según industrias de construcción de plantas de tratamiento	500 000
<b>TOTAL</b>	<b>2 335 000</b>
<b>Total en colones</b>	<b>1190 850 000</b>

## b. Gastos operativos

### Consumo de Productos Químicos

El cálculo se realizó proponiendo el uso de 80 mg/l de Coagulante y 8 mg/l de Floculante, por lo que se detalla el costo anual. Para esta estimación se utilizó el precio de mercado el cual puede bajar significativamente al tratarse de grandes cantidades de producto al día.

**Tabla 30. Costos Operativos por consumo de productos químicos**

Producto	Colones /año
Coagulante	811 395 000
Floculante	657 295 650
<b>Total</b>	<b>1468 690 650</b>

### Consumo de energía de los equipos

Para esta estimación se hizo uso de un estudio presentado en II Congreso Nacional de Energía, organizado por la Cámara de Industria Costa Rica en Abril 22-2010. Donde se estableció las siguientes reglas generales de consumo de equipos en operación:

- Cuesta Aprox. \$2.00 al día por HP para operar un motor uso continuo a \$.10 kWh Gas/Costo de energía
- 25 HP = \$50.00 al día, \$1,500.00 al mes y \$18,000.00 al año
- 10 HP = \$20.00 al día, \$600.00 al mes y \$7,200.00 al año

**Tabla 31. Costo de operación de las dos unidades FAD por consumo de energía anual**

Equipo	Colones/año
4 Bombas de alimentación del FAD	71 343 696
4 Bombas para aire disuelto Nikuni M80SP-1 (40 HP c/u), más 2 Motores del rastrillo Cada FAD tiene 2 bombas y un rastrillo	59 119 200
<b>Total</b>	<b>130 462 896</b>

## 4.5.2. Evaluación económica de la modificación del Separador API.

### Ahorros Potenciales

#### A. Recuperación de producto

Según el capítulo II de diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa se tiene que la entrada de Hidrocarburos Totales en el Separador es de 7211,83 mg/l y además se tiene que la eficiencia actual es de 85,14 %, con la modificación del separador se podría obtener un efluente de 10 mg/l la eficiencia podría alcanzar.

Esperando obtener 10 mg/l de Hidrocarburos Totales a la Salida del separador Modificado se tiene una recuperación 2173,97 ~~kg Hidrocarburos Totales/día~~.

Para determinar la densidad del producto presente en el agua se tomará el promedio de las densidades de los productos crudos que compra la empresa la cual es de 858 kg/m<sup>3</sup>

$$2173,97 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{\text{m}^3}{858 \text{ kg}} \times \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{baril}}{166,666667 \text{ l}} = 16 \text{ barriles/día}$$

Tabla 32. Recuperación por ahorros de la modificación de separador

Ahorro	Cantidad Hidrocarburo desechado barriles/año	Cantidad de dinero perdido colones /año	Ahorro potencial colones /año
Recuperación de producto	7286	344 088 636	<b>239 910 120</b>

// El tipo de cambio del dólar es de 510 colones

#### B. Ahorro en terreno

Al modificar el Separador no se tendría que disponer terreno adicional para tratar las aguas de la empresa, por lo que ese espacio se puede utilizar para colocar alguna unidad productiva como un tanque de almacenamiento. Por lo general una unidad de FAD requiere de 45 m<sup>2</sup>, en este caso se requiere de dos, y si se toma en cuenta que en Moín, el m<sup>2</sup> de terreno vale 25 000 colones según datos de bienes y raíces se tiene un ahorro de **1 147 500 colones**.

#### C. Ahorro por Reducción por Canon Ambiental

A continuación se detallan las cantidades de contaminantes vertidas actualmente en el Rio Moín y las que se podrían removerse tomando en cuenta la modificación de Separador API (Eficiencia de 95%) y las mejoras de la laguna de Oxidación (Eficiencia 85%).

**Tabla 33. Cantidades de DQO Y SS vertidos en el Rio Moin**

Parámetro	Carga de contaminante actuales Kg/d	Carga de contaminante Con modificación del Separador API Kg/d	Diferencia Kg/d
Demanda Química de Oxígeno	1954	334	1620
Sólidos Suspendidos	1935	162	1773

// Estos valores como responden a la salida de la laguna de Oxidación, y corresponde a la media calculada de reportes operacionales del periodo de Agosto del 2002 a Enero del 2011.

**Tabla 34. Ahorro por Reducción por Canon Ambiental por la modificación del Separador API.**

Parámetro	Colones/año pagados actualmente	Colones/año pagados con las mejoras del Separador API	Ahorro potencial Colones/año
DQO	78 925 968	13 087 008	65 838 960
Sólidos Suspendidos	67 500 540	5 621 208	61 879 332
<b>Total</b>	<b>146 426 508</b>	<b>18 708 216</b>	<b>127 709 292</b>

// Estos datos se calcularon tomando en cuenta la formula especificada en los anexos y que se pague un 100% del canon es decir después del sexto año.

***D. Ingresos por Beneficios Ambientales del Proceso de Depuración de Aguas Residuales***

Con lo anterior se tiene que

**Tabla 35. Valoración ambiental del tratamiento de aguas actual de la refinera de RECOPE y con la modificación del Separador API**

Contaminante	Carga anual removida Actual Kg/año	Valor ambiental actual Colones/año	Carga anual removida Con Separador Modificado Kg/año	Valor ambiental Con Separador Modificado Colones/año
SS	6 233 105	30 223 140	6 696 290	32 468 864
DBO	6 448 820	197 304 222	6 595 915	201 804 450
DQO	14 160 175	1131 312 921	14 571 530	1164 177 142
<b>TOTAL</b>		<b>1358 840 283</b>		<b>1398 450 456</b>
<b>Ingreso anual</b>				<b>39 610 173</b>

//Para este cálculo se tomó el valor promedio de entrada de cada parámetro al Separador API y se le resto el valor de salida de la laguna de Oxidación, además se cálculo el valor solo para estos parámetros ya no se contaba con criterios establecidos. Con la tabla anterior se puede observar el beneficio actual de RECOPE es de 1358 840 283 Colones/año, valor que aumentaría en 39 610 173 Colones/año si se realiza la modificación del Separador API.

## Inversión

### A. Inversión inicial

**Tabla 36. Oferta económica por compra de equipos**

Componente	Colones
Equipo ofertados	344 250 000+IV
Equipo de dosificación de químicos	10 200 000
<b>Total</b>	<b>354 0 000</b>

## Gastos operativos

### B. Consumo de Productos Químicos

El cálculo se realizó proponiendo el uso de 80 mg/l de Coagulante y 8 mg/l de Floculante, por lo que se detalla el costo anual. Para esta estimación se utilizó el precio de mercado el cual puede bajar significativamente al tratarse de grandes cantidades de producto al día.

**Tabla 37. Costos Operativos por consumo de productos químicos**

Producto	Colones /año
Coagulante	811 395 000
Floculante	657 295 650
<b>Total</b>	<b>1468 690 650</b>

### C. Consumo de energía de los equipos

El equipo para propuesto para modificar el Separador API tendría los siguientes costos operativos al año:

**Tabla 38. Costo aproximado de operación de los equipos para modificar el separador API por consumo de energía anual**

Equipo	Colones/año
Equipos ofertados	104 652 000
Equipos de dosificación 4 bombas de 5 HP	7 344 000
<b>Total</b>	<b>111 996 000</b>

#### 4.5.3. Balances Económicos

Para la mayoría de proyectos de Producción limpia se puede medir la recuperación de una inversión inicial, sin necesidad de recurrir a métodos como tasa interna de retorno (TIR) y valor actual neto (VAN) que se usan cuando las opciones son complicadas y costosas. Por lo que se hará uso del concepto de Recuperación de la inversión (RI): (Varela, 2009)

**Recuperación de la inversión (RI):** Método rápido para proyectos pequeños; indicador aproximado para proyectos de alto riesgo

$$RI: \frac{\text{INVERSIÓN}}{\text{INGRESOS}}$$

Se tiene que 1 año (proyecto sencillo), < 3-4 años (proyecto de costo medio) y 4 años (proyecto de costo alto) (Varela, 2009)

Tabla 39. Síntesis Balance económico

Rubro	Compra de FAD Colones/año	Modificación Separador API Colones/año
<b>Ingresos</b>		
Recuperación de Producto	269 898 885	239 910 120
Ahorro de terreno	0	1 147 500
Ahorro por reducción de Canon Ambiental	133 934 364	127 709 292
Ingresos por beneficios ambientales por remoción (DBO,DQO y SS)	1405 583 653	1398 450 456
<b>Total Ingresos</b>	<b>1809 416 902</b>	<b>1767 217 368</b>
<b>Inversión</b>		
Compra de Equipos	1190 850 000	354 450 000
Consumo de productos	1468 690 650	1468 690 650
Consumo de energía	130 462 896	111 996 000
<b>Total Inversión</b>	<b>2790 003 546</b>	<b>1935 136 650</b>
<i>Recuperación de la inversión (RI):</i>	1,54	1,09
<i>Clasificación del proyecto</i>	Proyecto sencillo	Proyecto sencillo

La tabla anterior evidencia que ambos proyectos tienen tiempos de recuperación cortos, debido a que los ahorros que se podrían percibir amortiguan los costos de inversión inicial y operativa del primer año. En el caso de la compra de los equipos FAD, son la solución más recomendada teóricamente, porque permitirían recuperar aproximadamente 2 barriles de producto/día adicionales en comparación con la otra alternativa. Otro punto importante, es la disminución en la concentración de los contaminantes en los efluentes, pero esta opción de tratamiento requiere de una inversión inicial y operativa mayor que la modificación del Separador API.

Tomando en cuenta, el Plan de Modernización de la Refinería, el aprovechamiento del espacio es indispensable porque la producción aumentaría a 60 bbl3/día, por lo que se necesitaría espacio para instalar unidades productivas como tanques de almacenamiento de producto, por lo que disponer un terreno para el tratamiento de aguas residuales no es una inversión desde un punto de vista económica tan lucrativa, por las ganancias generadas no son tan altas. Además, considerando que actualmente en las cercanías del Separador API no hay espacios disponibles para la instalación de un tratamiento primario como un FAD, a menos que se modificará la laguna de Oxidación y se reubicará el lecho de secado, lo que requeriría una inversión adicional de dinero y tiempo de trabajo.

Como una solución a corto y mediano plazo la opción de la modificación del Separador API, surge como una solución factible ya que la inversión es más baja y permitiría captar algunos ahorros aunque en menor cantidad. Esta alternativa, no requiere de espacio adicional para su implementación y permitiría aprovechar la infraestructura civil actual. Esta idea de modificar el Separador es novedosa en el mercado, por lo que no se conoce con exactitud cuál va ser su eficiencia operacional, pero puede ser similar a la de un FAD ya que el principio de trabajo es el mismo, pero quizás aumente porque distribuiría el agua de una manera más uniforme en la celda de flotación que un FAD tradicional donde la introducción de agua es solo en la entrada.

Esta idea también puede ser implementada en los sistemas de tratamiento de otros planteles de RECOPE en donde se tenga Separadores API, además se podría hacer una revisión de patentes para ver si esta idea se encuentra registrada, y de no estarla RECOPE podría optar por patentizar venderla a otras Refinerías de América Latina.

#### **4.5.4. Evaluación Ambiental de la instalación de un Sistema de tratamiento Primario en la Refinería.**

Para la toma de decisiones es importante contemplar los impactos ambientales que va tener la implementación de cualquiera de las dos opciones de tratamiento primario, para ello, se va realizar un análisis de los principales impactos que pueden presentarse tanto en la etapa de instalación como en la operación.

### a. Etapa de instalación

Para determinar cual alternativa puede afectar más el ambiente en su etapa de instalación se diseñó una matriz con 4 posibles impactos que se pueden presentar, para ello se utilizó el Cuadro de Evaluación (Umaña, 2002) el cual fue ajustado a tres condiciones según criterios de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental del documento de Evaluación Ambiental D1, el cual es utilizado como estándar de valoración. A cada impacto se le asignó un peso en base a una escala del 100%, este valor se escogió según los efectos de los impactos, los cuales se detallan a continuación

- **Afectación sobre la geoformas del sitio, vegetación, suelo y paisaje, para ubicar la infraestructura:**  
La afectación a las geoformas del sitio se refiere a todas aquellas actividades que de una forma a otra van a generar una modificación al suelo como por ejemplo excavaciones, cambios en el uso del suelo, compactación de terreno y remoción de vegetación, las cuales afectan directamente el paisaje. Ante la complejidad de estas actividades se le asignará de un peso de 40 % a este impacto para la evaluación.
- **Generación de desechos, por la instalación de la infraestructura:**  
La generación de desechos es un impacto que está presente en todas las actividades humanas por lo que existe un gran control y muchas medidas para mitigar sus efectos. En este impacto se toma en cuenta la generación tanto de desechos ordinarios y peligrosos que pueden estar presentes a la hora de instalar una unidad de tratamiento, por lo que se le asignará un peso de 30% para la evaluación.
- **Afectación a la atmósfera por partículas en suspensión y emisiones:**  
Dependiendo de qué tan complicado sea la instalación de una unidad de tratamiento así será la cantidad de maquinaria requerida y por ende, la generación de emisiones y polvos, en este caso particular los equipos a instalar no son de gran tamaño por lo que este impacto es de una significancia menor a los anteriores, por lo que se le denominará un valor de 10 % para la evaluación.
- **Generación de Ruido y Vibraciones:** para la instalación de equipos es indispensable el uso de herramientas eléctricas y mecánicas las cuales generan ruido y algunas vibraciones, además del ruido de maquinarias de transporte, por eso este impacto se le designó un peso de 20% para la evaluación.

A continuación se detallan los impactos con sus criterios de evaluación:

**Tabla 40. Impactos ambientales de la etapa de la instalación de sistema de tratamiento primario con su rangos de evaluación**

<b>Componente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Afectación sobre la geoformas del sitio, vegetación, suelo y paisaje, para ubicar la infraestructura	No hay modificación	Se contempla movimientos de tierra y relleno sin movilización fuera del área del proyecto.	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 1.000 m <sup>3</sup> .
Generación de desechos, por construcción y operación de la infraestructura	Se generan desechos ordinarios	Se generan desechos ordinarios y chatarras	Se generan desechos ordinarios, chatarras y peligrosos
Afectación a la atmósfera por partículas en Suspensión y emisiones	No hay emisiones de ningún tipo	Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero están controladas.	Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero no están controladas.
Generación de Ruido y Vibraciones	No hay ruido ni vibraciones	Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la regulación vigente, se puede confinar.	Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la norma, no es confinable.

Fuente: Elaboración propia con bases a criterios de herramientas de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental del documento de Evaluación Ambiental D1.

**Tabla 41. Evaluación de los impactos ambientales en las dos opciones de tratamiento**

<b>Impacto</b>	<b>Peso</b>	<b>Instalación de 2 FAD</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Modificación Separador</b>	<b>Subtotal</b>
Afectación sobre la geoformas del sitio	40%	2	0,8	1	0,4
Generación de desechos, por la instalación de la infraestructura	30%	1	0,3	2	0,6
Afectación a la atmósfera por partículas en Suspensión y emisiones	10%	2	0,2	2	0,2
Generación de Ruido y Vibraciones	20%	2	0,4	2	0,4
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>1,7</b>		<b>1,6</b>

Fuente: elaboración propia basado en (Umaña, 2002)

Con lo anterior, se logra observar que la instalación de los dos sistemas FAD produce un mayor impacto en el ambiente, básicamente esto es debido a que para su instalación se requiere de una área disponible cercana la Separador API, lo que demandaría acondicionar un terreno y para ello se consumen mayor cantidad de recursos. Además, cada FAD es de 45 m<sup>2</sup> aproximadamente por lo que se demandaría

mayor cantidad de maquinarias tanto para transportarlo e instalarlo lo que genera mayor ruidos, polvos y emisiones.

En lo que respecta a la modificación del Separador API, el mayor impacto es la generación de desechos ya que probablemente se tengan que cambiar algunos dispositivos actuales por algunos mas nuevos, además se requiere adecuar algunas áreas para la ubicación de los sistemas de dosificación de Coagulante- Floculante, pero estas no demandan mucho espacio ni actividades de logística que generen impactos al medio.

### **b. Etapa de Operación**

Para realizar la identificación de impactos ambientales de la etapa de operación se hizo uso de algunas herramientas del sistema de Gestión Ambiental ISO (International Organization For Standardization) 14001 en donde inicialmente se definen algunos criterios de significancia, en este caso se utilizaron los recomendados por la guía de ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en América Latina y el Caribe) número 36. Se tiene que un aspecto ambiental es significativo cuando existe incumplimiento de una norma legal ambiental, compromisos ambientales de la empresa o algún criterio de importancia para la empresa. Para la identificación de aspectos en los procesos se utilizan las siguientes herramientas:

#### **Criterios de significancia**

La importancia de esta etapa de la evaluación de riesgos ambientales es identificar los riesgos potenciales, que tendría la empresa al adquirir una unidad de tratamiento primaria. RECOPE trabaja con protocolos internacionales para Refinerías, como es la Guía ARPEL # 36-2004 que comprende el desarrollo de programas de respuesta a emergencias, en donde se establecen algunos criterios de evaluación ambiental, los cuales van ser empleados a continuación

**Tabla 42. Calificación criterio Frecuencia Potencial Ambiental**

Calificación	Potencial Ambiental	Peso
Improbable	Posible pero muy rara (por ejemplo una vez durante la vida de la instalación). No es probable que ocurra.	1
Remota	Ha ocurrido en la industria pero infrecuentemente (por ejemplo una vez cada 20 años). Posibilidad de ocurrir alguna vez	2
Ocasional	Ocorre cada 3 años. Posibilidad de incidentes aislados	3
Frecuente	Uno o más incidentes cada año. Posibilidad de incidentes repetitivos	4

Fuente: (ARPEL, 2008)

**Tabla 43. Calificación criterio Consecuencia Potencial Ambiental**

Calificación	Potencial Ambiental	Peso
Incidental	Contenida en la instalación o lugar, sin impacto ambiental adverso.	1
Menor	Contenida en la instalación o lugar, con impacto mínimo que no presenta un peligro a largo plazo para el ambiente. Se requiere un informe reglamentario.	2
Serio	Fugas extremas al lugar, repetidas faltas de observancia o incidentes ocurridos una sola vez con potencial de impacto adverso significativo. Se requiere un informe reglamentario.	3
Grave	Impacto ambiental grave sobre receptores vecinos (vecinos, arroyos, vegetación, aire y aguas subterráneas). Se requiere un informe reglamentario	4

Fuente: (ARPEL, 2008)

Tanto como el valor de la frecuencia como de la consecuencia se multiplican y el resultado se clasifica con la siguiente tabla.

**Tabla 44. Prioridades de respuesta según calificación**

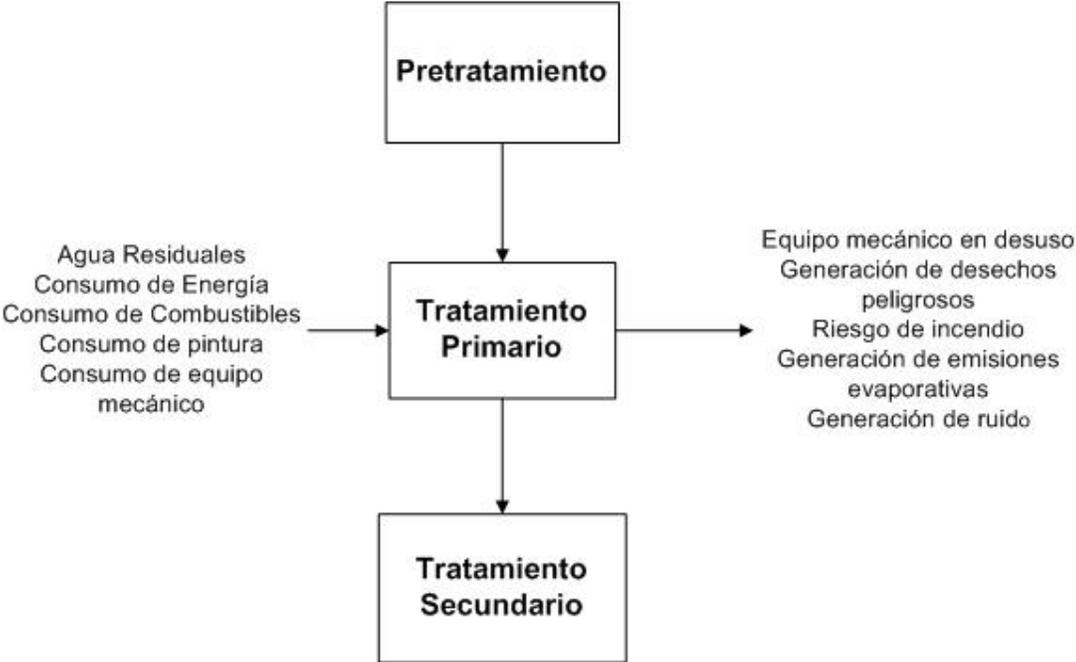
<b>CONSECUENCIA POTENCIAL</b>				
<b>FRECUENCIA POTENCIAL</b>	Incidental (I)	Menor (M)	Seria (S)	Grave(G)
Improbable (I)	1	2	3	4
Remota (R)	2	4	6	7
Ocasional (O)	2	6	7	8
Frecuente (F)	3	7	8	9
<b>PRIORIDAD DE RESPUESTA</b>				
Clasificación 1 y 2:	Prioridad más baja. Podrá requerir más estudio y/o acción según la disponibilidad de recursos.			
Clasificación 3 a 6:	Prioridad mediana. Deberá ser considerada como seria y se deberán desarrollar estrategias adecuadas de respuesta.			
Clasificación 7 a 9:	Prioridad más alta. Se deberá tomar acción inmediata para desarrollar estrategias de respuesta para asegurar que la organización esté preparada para responder.			

Fuente: (ARPEL, 2008)

#### **Identificación de Aspectos Ambientales Significativos (AAS) de la modificación del Separador API**

Tanto la modificación del Separador API como la compra de dos unidades FAD presentan los mismos aspectos ambientales significativos en su fase de operación lo que varía es la magnitud de cada impacto. Para realizar la identificación se elaboró un diagrama de procesos para determinar aquellas acciones que tienen un impacto en el ambiente con la finalidad de corroborar la magnitud de los mismos.

Figura 55. Aspectos ambientales significativos de la modificación del Separador API



<b>RECOPE</b>		
Guillermo Valerio	18/01/2011	

Fuente: Elaboración Propia

**EVALUACION DE AAS.**

**Tabla 45.** Evaluación de aspectos e impactos ambientales en la etapa de construcción

Aspecto ambiental	Impactos ambientales										
	Suelo		Contaminación de Agua			Aire		Flora	Fauna	Consumo de RNR	
	Erosión	Contaminación	Superficial	Subterránea	Otro	Sónica	Contaminación			Consumo combustible fósil	Consumo Energía
Riesgo de Incendio en las instalaciones			x			x	x		x	x	
Generación de ruido									x		
Generación de emisiones de evaporativas							x		x		
Equipo electrónico y mecánico en desuso		x									
Generación de desechos peligrosos		x	x				x		x		

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 46. Resultados obtenidos de la Evaluación Ambiental de la instalación de un sistema de tratamiento Primario en la refinería**

AAS	Frecuencia	Consecuencia	Color	Resultado FxC
Equipo Mecánico en desuso	4	1		4 Impacto medio
Generación de desechos peligrosos(Lodos oleaginosos)	4	1		4 Impacto medio
Riesgo de incendio	1	2		2 Impacto bajo
Generación de emisiones evaporativas	3	1		3 Impacto medio
Generación de ruido	1	1		1 Impacto bajo

Como se puede observar en la tabla anterior los Aspectos Ambientales Significativos presentados para ambos equipos tienen impactos bajos o medios. Pero si existen diferencias significativas entre las alternativas, por ejemplo en la modificación del Separador API se está haciendo uso de una infraestructura existente en la empresa y de algunos equipos, lo que disminuye la cantidad de equipo en desuso y por ende menos generación de desechos sólidos.

Cuando nos referimos a generación de desechos peligrosos se está hablando de Lodos oleaginosos que sedimentan, en cierto modo esta acción es positiva porque si la cantidad de lodo es alta indica que hay menos contaminantes en el efluente, pero hay más lodos que tratar. Actualmente los lodos del separador son enviados al lecho de secado de la empresa, pero con la inyección de agua saturada uniformemente en todos los canales lo que se busca es recuperar la mayor cantidad de producto por flotación por el valor agregado que tiene y por ende disminuir la cantidad de lodos a tratar. Con la instalación de dos sistemas FAD a la salida del separador hay mayor opción de recuperar más producto que se escapa en los efluentes, pero se perdería producto ya que mucho hidrocarburo sedimenta contaminándose con sólidos presentes en el Separador.

En lo que respecta a la generación de ruido, ambos equipos brindan buenas tecnologías por lo esto no sería un impacto tan fuerte; además se tiene un riesgo a incendio como cualquier parte de la refinería al manejarse combustibles y sustancias inflamables por lo que también existen emisiones evaporativas que pueden afectar a los operarios de la planta. Es necesario brindarle mascarillas para gases orgánicos a todas las personas que van laborar en el cualquiera de estos sistemas propuestos.

#### 4.5.6. Evaluación técnica

Para la valoración técnica se expondrán las ventajas y desventajas de instalar las dos opciones

Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="224 396 597 426">Modificación del Separador API</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejor distribución del agua saturada</li> <li>▪ Evitaría que mucho producto se pierda en forma de lodos.</li> <li>▪ Micro burbujas de 20-30 <math>\mu\text{m}</math></li> <li>▪ Permite altas tasa de saturación de aire en el agua</li> <li>▪ Las bombas de saturación no depende de condiciones atmosféricas</li> <li>▪ Se aprovecha el espacio e infraestructura actual.</li> <li>▪ Capacidad de auto purga</li> <li>▪ Menor inversión inicial.</li> <li>▪ Es una idea novedosa y puede ser implementado en el resto de planteles de la empresa.</li> <li>▪ No se requiere contratar más personal para su operación</li> <li>▪ Motores aprueba de explosión</li> <li>▪ Menor costo operativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requiere un compresor para saturar el agua por lo que hay mayor gasto energético</li> <li>▪ No se conoce la eficiencia, pero puede ser similar a la de un FAD</li> <li>▪ Se requiere construir equipo de dosificación por aparte.</li> </ul>
<p data-bbox="224 1056 537 1085">Compra de dos sistemas FAD</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Micro burbujas de 20-30 <math>\mu\text{m}</math></li> <li>▪ Permite altas tasa de saturación de aire en el agua</li> <li>▪ No demanda aire comprimido</li> <li>▪ Mejor calidad del efluente.</li> <li>▪ Capacidad de auto purga</li> <li>▪ Alta eficiencia de remoción de sólidos</li> <li>▪ Reduce el gasto en químicos por que el agua tendría una menor carga orgánica</li> <li>▪ Posee equipo de dosificación de químicos</li> <li>▪ Mayor beneficio ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requiere de espacio adicional de la refinería para poderse implementar</li> <li>▪ Alto precio económico</li> <li>▪ Mayor consumo energético</li> <li>▪ La bomba de saturación depende de condiciones atmosféricas</li> <li>▪ Al tener dos equipos operando aumentan los costos de mantenimiento y operación.</li> </ul>

Fuente: (Valerio, 2011)

## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones del Proyecto

### 5.1. Capítulo II. *Diagnostico Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*

#### Conclusiones

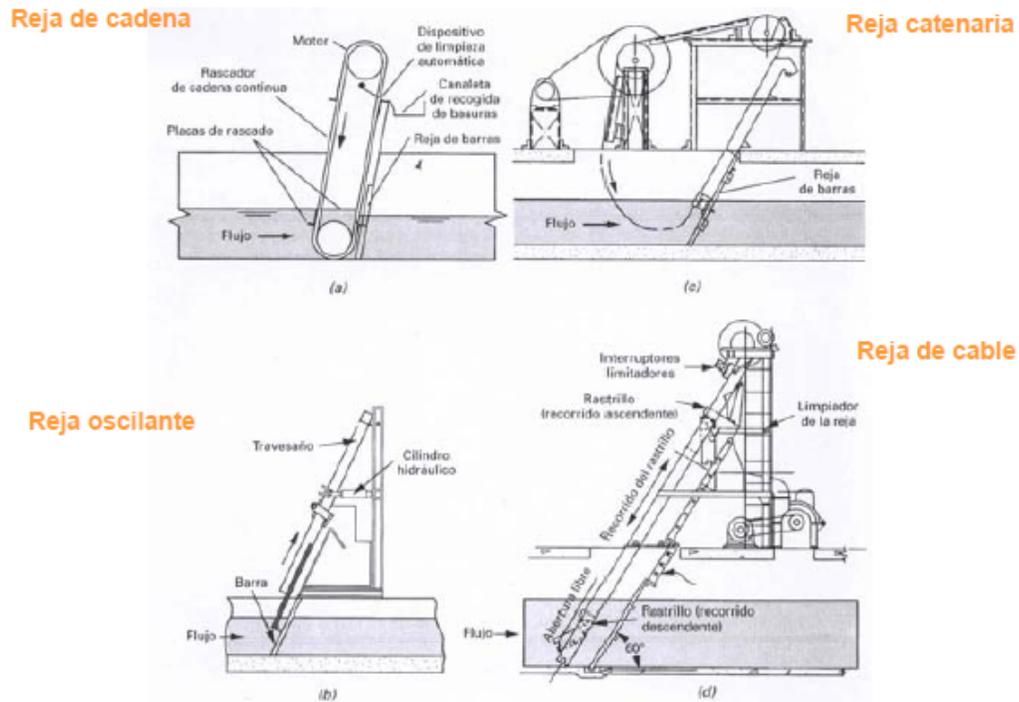
- No se cuenta con un Manual de Operación y de Mantenimiento para las unidades de la Planta de Tratamiento de la empresa, lo que ha generado el deterioro de equipos e infraestructura de la misma.
- En la operación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales se ha incumplido con algunos parámetros como Sólidos Suspendidos y Hidrocarburo Totales, producto de las malas prácticas y la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo son los principales problemas del deterioro de los equipos.
- El caudal de entrada del separador API es muy variado y difícil de medir, debido a que las cantidades de residuos en las fuentes de generación son muy diversas y espontáneas.
- Según los datos obtenidos del Atlas Digital de Costa Rica 2008, la zona en la que se encuentran las plantas de tratamiento de la empresa no es propensa a desastres naturales como erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones o incendios, por lo que se puede concluir que ambas plantas de tratamiento se encuentran ubicadas correctamente.
- Son el tipo de suelo existente en la refinería, hay probabilidad de contaminación por hidrocarburos en la laguna de oxidación.
- El Separador API tiene eficiencias de remoción de Hidrocarburos Totales de 85,19%, Grasas y Aceites de 70, 56%, Hidrocarburos Emulsificado de 81,92%, DQO 65,61%, DBO<sub>5</sub> 71,01% y Sólidos Suspendidos 16,39%.
- La mayor fuente de contaminación de sólidos suspendidos en el Separador API, son las malas prácticas por parte de los funcionarios y contratistas de RECOPE, los cuales utilizan el canal de aguas oleaginosas como sitio para disponer sus desechos, además del mal estado de las válvulas de extracción de Lodos.
- La laguna tiene eficiencias de remoción de Hidrocarburos Totales de 55,89 % y Hidrocarburos Emulsificado de 52,84%, rendimientos más bajos que los esperados teóricamente de 70 a 80% para hidrocarburos Totales.

#### Recomendaciones

- Es necesario cambiar las dos rejillas actuales ya que la división entre cada reja permite el paso de sólidos de gran tamaño como botellas y palos que pueden afectar motores de eléctricos. El cambio puede realizarse por unas rejillas mecánicas, las cuales tienen la capacidad de auto limpieza, pero es necesario hacer un cronograma de mantenimiento preventivo para estos sistemas para evitar desperfectos

mecánicos. A continuación se detallan los tipos de rejillas que pueden encontrarse en el mercado:

Figura 56. Rejas de limpieza mecánica.



Fuente: (Soto, 2008)

- Debido a la cantidad tan alta de sólidos generados en la refinera se podría colocar una reja manual antes de las rejillas mecánicas propuestas para separar sólidos más gruesos presentes en el agua residual.
- RECOPE debe exigir las contratistas la recolección inmediata del Césped después de cortarlo a las orillas del sistema de tratamientos para evitar la caída del mismo en las aguas.
- Capacitar a los operarios de la importancia de no botar la basura en los canales evaluadores.
- Es necesario colocar un sistema de medición de caudal a la entrada del separador para un mejor control operacional.
- Colocar más basureros de reciclaje dentro de la refinera para incentivar una cultura ambiental en los trabajadores.
- Cubrir las zonas aledañas al separador API con asfalto o concreto para evitar los problemas de presencia de zacates en las aguas residuales.
- Suministrar mascarillas para gases orgánicos a los operarios para que trabajen en las cercanías del Separador API ya que las emisiones de producto en esa área son muy fuertes e irritantes para las fosas nasales.

- Reparar los discos oleofílicos del Separador API y darles mantenimiento preventivo para evitar que estos dejen de operar.
- Cambiar las válvulas de extracción de lodos del Separador API ya que muchas de las actuales están en mal estado.
- Colocar un medidor de flujo en la entrada del Separador API para tener un mejor control operacional de los caudales generados.
- Comprar repuestos del sistema de paletas para evitar paros prolongados.
- Es necesario ajustar más el sistema cadenas de los raspadores del separador ya que por esta causa es que las mismas se desmontan. A continuación de detalla la condición ideal de las cadenas

**Figura 57. Cadenas del Separador API de RECOPE vrs Cadenas bien ajustadas**

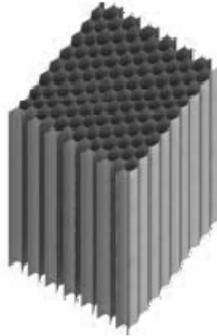


Fuente:

// A la derecha se observa como las cadenas están bien ajustadas para evitar que las rastras se desmonten, en cambio a la izquierda vemos como las cadenas del separador API de RECOPE se encuentran con muy poca tensión

- Colocar lamelas al final de los canales del Separador API, ya que si aplicamos los módulos lamelares formados por multitud de tubos de forma hexagonal independientes, se aumenta la superficie específica provocando la sedimentación acelerada de las partículas, en caso de RECOPE ayudaría a sedimentar algunos sólidos suspendidos que se escapan a la salida del separador. Los Módulos lamelares son especialmente instalados en decantadores rectangulares, cuadrados o circulares

**Figura 58. Módulos lamelares Sedi-Tech®,**



Fuente: (Sedi-Tech, 2010)

- La laguna de oxidación no tiene las dimensiones necesarias para tratar las cargas orgánicas de la empresa, y no hay opción de aumentar su área solo su profundidad a 2,10 m aproximadamente para que trabaje como una laguna facultativa, por lo que requiere de algunas mejoras para aumentarle su eficiencia como:
  1. Ingresar todas las fuentes de agua residual de la laguna de manera uniforme por lo que se debe colocar canales de distribución tanto en la entrada como en la salida. Es necesario levantar los niveles del canal de salida del Separador API para dirigir las aguas de manera vertical por la laguna para evitar cortos circuitos y así aprovechar toda el área de tratamiento.
  2. Colocar aireación artificial se debe colocar los equipos solo en el primer tercio de la laguna, con el fin de crear zonas de reposo hacia la salida para favorecer los procesos de sedimentación en la misma. Cada bomba es de 24HP, y se detalla a continuación :

**Figura 59. Aireadores superficiales**



Fuente: (Calvo, 2008)

3. Colocar la entrada del agua contraria, a la dirección de viento para evitar trillos hidráulicos que perjudiquen el tiempo de retención.
4. Las paredes de los taludes deben estar cubiertos por geomembranas, concreto pobre o piedras. Preferiblemente se recomienda colocar concreto, ya que las geomembranas duran menor tiempo y sirven de habitat para animales como reptiles y roedores.
5. Se debe dragar los lodos cada 2 ó 3 años.
6. Reparar el medidor automático que hay en instalado de flujo, temperatura y pH en la salida de la misma.
7. Reubicar la canaleta Parshall de la salida.
8. Mantener los equipos actuales a la salida de la laguna como son las mechas oleofílicas, mamparas y barreras oleofílicas.
  - En lo que respecta al sistema de salida del agua residual con el rio Moin, es necesario colocar un techo en esta área para evitar caída de hojas de arboles en esta área.
  - Con un manual de operación y mantenimiento que incluya como operar y programa de Mantenimiento Preventivo Total (TPM) en la empresa se mejoraría los problemas de operación y mantenimiento.
  - Realizar un estudio de segregación de aguas residuales en la empresa.
  - Realizar un estudio de evaluación para la reparación del Separador de aguas oleaginosas del sector este de la calle 7.

## 5.2. Capítulo III. Ensayos Experimentales

### Conclusiones

- Para las aguas residuales generadas por la Refinería, el Coagulante que presento mejores resultados de tratamiento fue Kemira PIX-111 Cloruro férrico con una dosis de 160 ppm.
- Para las aguas residuales generadas por la Refinería, el Floculante que presento mejores resultados de tratamiento fue la Poliacrilamida catiónica CALLAWAY C-4893.
- El Cloruro Férrico comienza a coagular a dosis mayores a 120 ppm (mg/l), además, se comprobó que con dosis menores a 20 ppm de Poliacrilamida catiónica CALLAWAY C-4893 se logra una buena aglomeración de sólidos.
- El sulfato de Aluminio no es apto para aguas de la Refinería, ya que con las pruebas realizadas no se logró obtener coagulación, aún ni aumentando las concentraciones a 400 ppm.
- La combinación de Cloruro Férrico a 100 y 120 ppm y CALLAWAY C-4330 20 ppm, se determinó que el Cloruro Férrico para estas concentraciones requiere indispensablemente del floculante para lograr sedimentar el material presente en las aguas, esto debido a que el tamaño del coagulo no es lo suficientemente grande para precipitar.

- En lo que respecta a los resultados de remoción de grasas y aceites, esta prueba se realizó con la dosis de 160 ppm de coagulante Cloruro Férrico y Floculante 4330 a 20 ppm, el porcentaje de remoción obtenido fue de 47,83 %, este rendimiento aún se puede mejorar hasta 80 % con las mismas dosis o hasta con dosis menores, si aplica un sistema de Flotación con Aire disuelto, porque permite flotar todos los flóculos presentes en el agua.
- Según el estudio del factorial  $2^3$  aplicado la variable que tuvo mayor peso fue efecto de cambiar el tipo de Floculante de 4893 a 4330 con una magnitud de 7,91.
- Según el estudio del factorial  $2^3$  aplicado, no afecta el cambio concentración de Coagulante de 160 a 240 ppm.
- Según el estudio del factorial  $2^3$  aplicado, la jarra que presento menor turbiedad fue la combinación de 160 ppm de de Kemira PIX-111 y 16 ppm de floculante 4893
- Se presento una menor turbiedad con solo la aplicación de Kemira PIX-111 160 ppm, pero se requiere mayor tiempo de retención.
- Al agregar mayor cantidad de cloruro férrico hay predominio de iones  $H^+$  lo hace que el pH baje y por lo tanto no se origina la coagulación, ya que los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad.
- Si el pH no está dentro del rango adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro. Cuanto menor sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios en el pH.
- Solo la adicción de agua saturada en un sistema de aguas con Hidrocarburos se provoca flotación de producto.
- Con la inyección de agua satura es posible reducir a la mitad la cantidad de coagulante y floculante a utilizar para el tratamiento de las aguas de refinería.
- Para poder definir las dosis optimas reales de químicos (Coagulante- Floculante), se requiere una planta de tratamiento a escala significativa de un FAD o una vez instalado el equipo por medio de análisis de laboratorio.
- Se presentan buenos resultados de tratabilidad utilizando solo con 200 ppm de Cloruro Férrico pero se requiere un mayor tiempo de residencia.
- Es importante el control de la dosificación del cloruro férrico porque puede acidificar las aguas y aumentar la turbiedad, DQO y DBO del agua.
- El pH no fue una variable significativa en el tratamiento de las aguas residuales de la Refinería.
- No existe en el mercado equipos FAD para realizar pruebas menores a 10 GPM.
- La Canaleta Parshall no está operando en las mejores condiciones, ya que el flujo se almacena por lo que afecta las mediciones. Es necesario, reubicar este sistema para así garantizar una buena medición por parte del operario o realizar algunas mejoras del diseño de la misma.

### Recomendaciones

- Se podría realiza pruebas con otros productos químicos de otras marcas comerciales pero con iguales propiedades.

- Realizar pruebas de coagulación previas antes de cualquier prueba a escala.
- Alquilar un FAD pequeño para realizar pruebas experimentales, para determinar las dosis reales.

### 5.3. Capítulo IV. Alternativas de diseño

#### Conclusiones

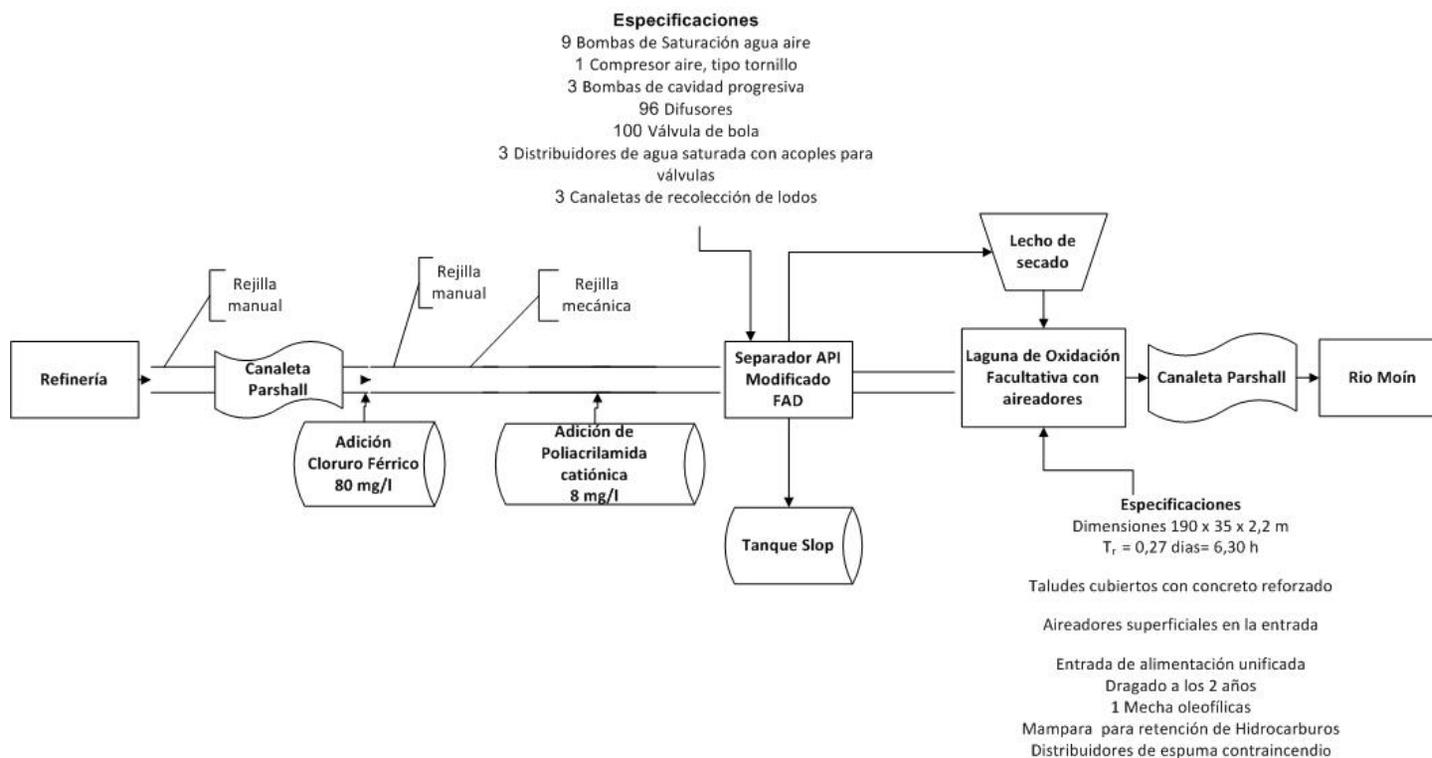
- En la laguna de oxidación se lograr corroborar que la  $CO_D$  está fuera de lo recomendado por la teoría, ya que la carga es muy alta para el área actual.
- El tiempo de retención es de 0,88 h, el cual está fuera de lo recomendado por la teoría de 18 – 49 (h) , por lo tanto, se puede ver que los contaminantes presentes en el agua no tienen un tiempo adecuado para degradarse y sedimentar.
- A partir del cálculo de los parámetros de diseño de la laguna, se puede concluir que la laguna requiere aumentar sus dimensiones para mejorar la calidad de los efluentes. Esta situación también corrobora la necesidad que tiene la empresa de buscar un sistema de tratamiento adicional, porque como vemos los sistemas actuales están colapsados debido a las grandes cargas hidráulicas y orgánicas que se manejan.
- Las dimensiones de laguna propuesta tampoco es capaz de tratar las cargas generadas por la empresa, ya que no se cuenta con espacio disponible para ampliarla.
- El retorno de la inversión inicial de la compra de dos sistemas FAD es de 3,20 años, considerándose como un proyecto de costo medio.
- El retorno de la inversión inicial de la modificación del Separador API 1,42 años, considerándose como un proyecto sencillo.
- El valor del beneficio ambiental (coste evitado) asociado a la planta de tratamiento de aguas residuales de RECOPE es de 1358 840 283 colones/año.
- La instalación de los dos sistemas FAD produce un mayor impacto en el ambiente, básicamente esto es debido a que requiere de una área disponible cercana al Separador API, lo que demandaría acondicionar un terreno y para ello se consume mayor cantidad de Recursos. Además, cada FAD es de 45 m<sup>2</sup> aproximadamente por lo que se requiere mayor cantidad de maquinarias tanto para transportarlo e instalarlo lo que genera mayor ruidos, polvos y emisiones.
- Los Aspectos Ambientales Significativos presentados en la fase de operación para ambos equipos tienen impactos bajos o medios. Pero si existen diferencias significativas entre las alternativas, por ejemplo en la modificación del Separador API se está haciendo uso de una infraestructura existente en la empresa y de algunos equipos, lo que disminuye la cantidad de equipo en desuso y por ende menos generación de desechos sólidos.
- La modificación del separador probablemente demande utilizar más químicos para la Coagulación- Floculación, debido a que las aguas vienen con mayor carga orgánica.
- En lo que respecta a la evaluación técnica, ambos equipos pueden tener eficiencias similares pero es mayor con la instalación de dos FAD.
- La diferencia en la recuperación de producto flotante es de 2 barriles /día y es mayor con la instalación de dos unidades FAD.

- La modificación del Separador API evitaría que mucho producto se pierda como lodos sedimentados.
- Los costos de mantenimiento y operación, con la modificación del Separador son menores ya que no se varia la composición del sistema actual, por su parte la compra de dos FAD al ser equipos independientes requieren mayor consumo de personal y de recursos.

**Recomendación**

- Ante, lo anterior se recomienda realizar la modificación del Separador de manera que opere como un FAD debido a que la inversión inicial es menor, genera un menor impacto ambiental y aprovecha los recursos actuales de la empresa.

Figura 60. Propuesta de Mejora al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

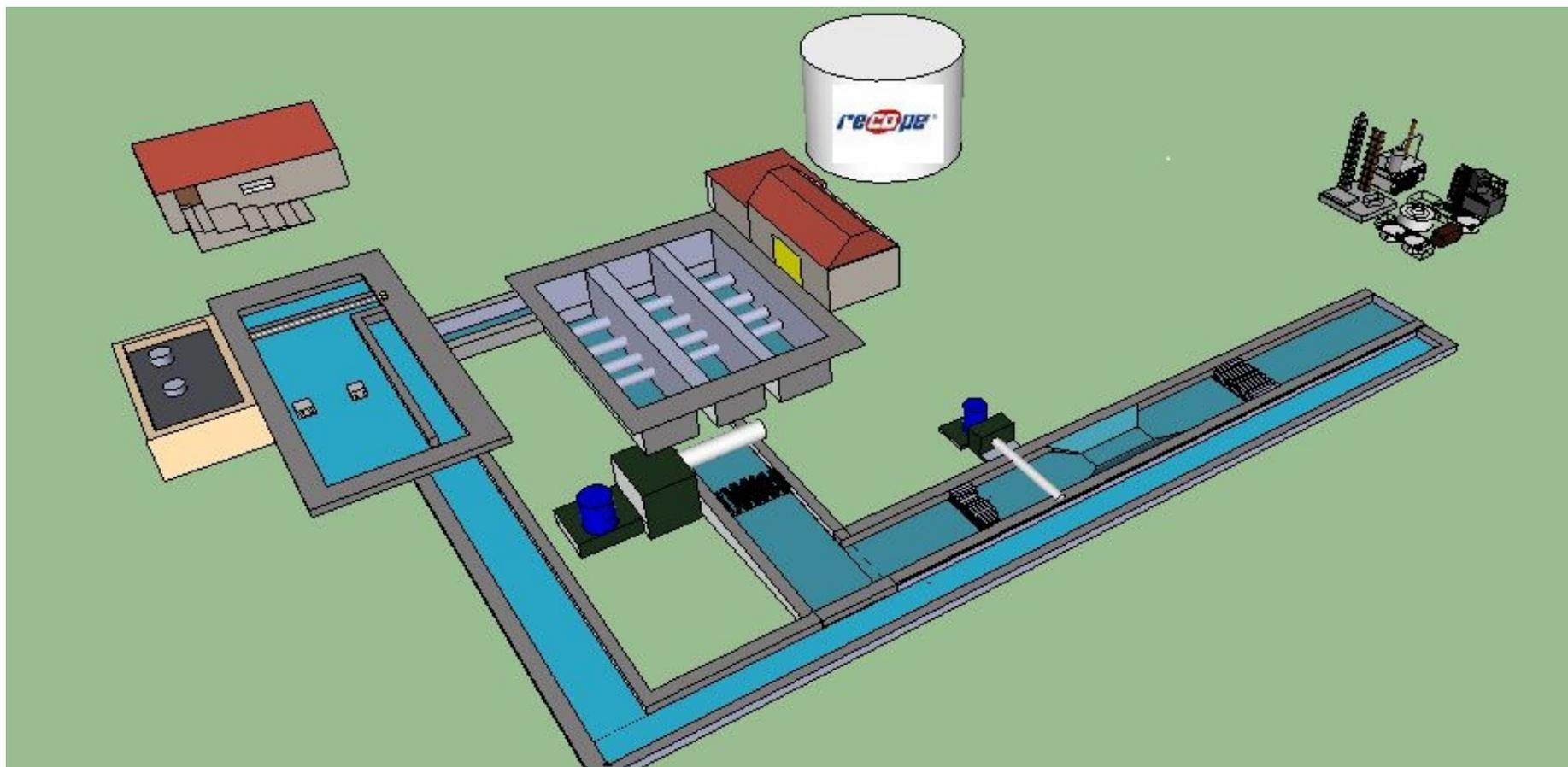


RECOPE S.A

PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA REFINERIA  
 Luis Guillermo Valerio  
 Enero 2011



Vista esquemática de la propuesta



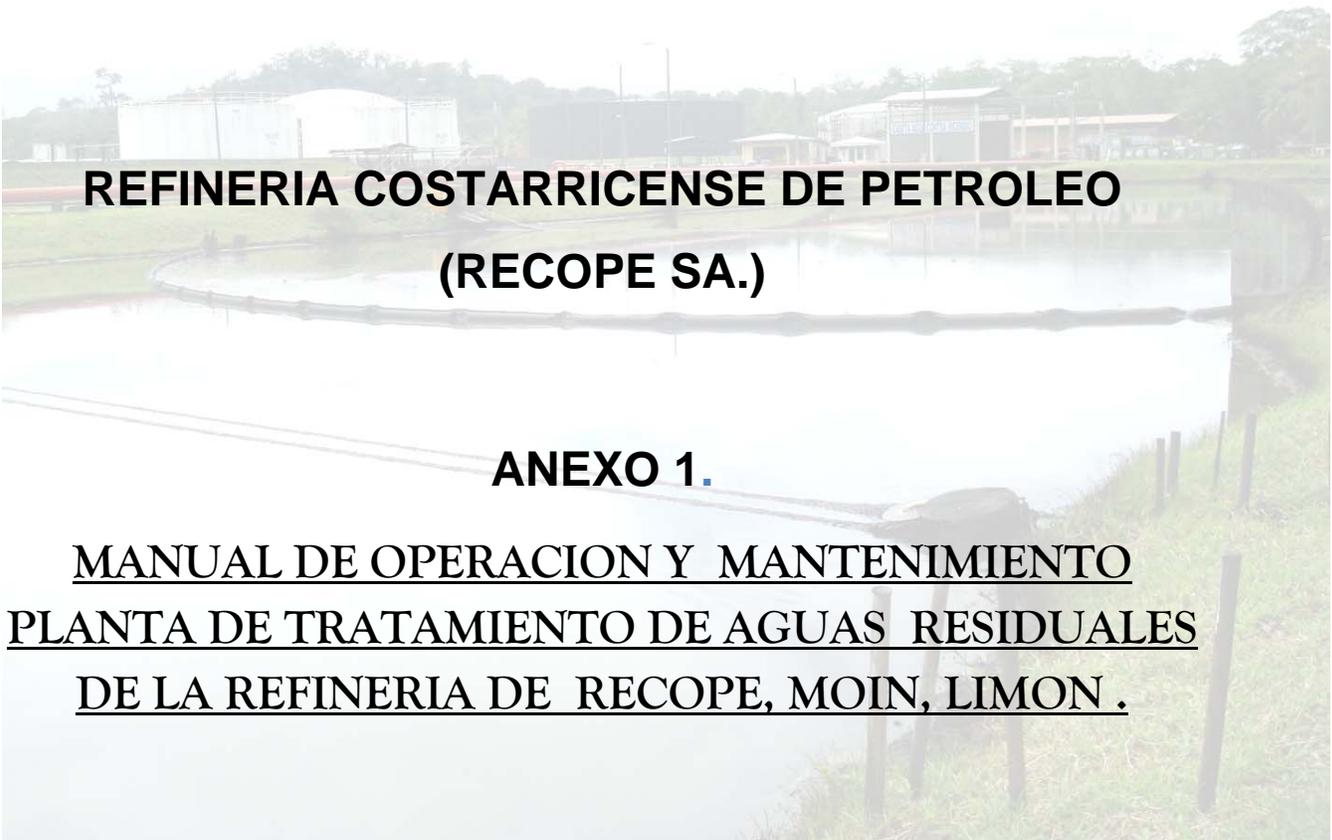
Fuente : (Valerio, 2011)

## Bibliografía

- Andía Cárdenas., Yolanda. 2000.** *Tratamiento de aguas.* Lima : SEDAPAL, 2000. 2.
- ARPEL. 2008.** *Guía Ambiental ARPEL No.36.* Bogota : ARPEL, 2008.
- Bogantes, Cristian. 2011.** *Propuesta de Modificación de Sistema API.* Cartago : DISEÑOS TÉCNICOS AMBIENTALES, 2011. 1.
- CALLAWAY. 2010.** *Hojas de seguridad.* Estados Unidos : CALLAWAY, 2010. 1.
- Calvo, Jorge. 2008.** *Practicas de laboratorio Ingenieria ambiental.* Cartago : Tecnológico de Costa Rica, 2008. 6.
- . **2008.** *Presentación curso manejo de desechos solidos .* Cartago : Tecnológico de Costa Rica, 2008.
- Consultecnica. 1989.** *Estudio Hidrológico Integral de la Refinería .* limon : RECOPE, 1989. 3.
- Cubero, Samuel. 2010.** *Proyecto de Torre de enfriamiento para la Refineria de Moin.* San Jose : RECOPE, 2010. 3.
- EIA. 2011.** Administration Internatinal Energy. *EIA.* [Online] EIA, Enero 4, 2011. [Cited: enero 3, 2011.] [http://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_d.htm](http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm). 1.
- ESRI. 2011.** ESRI. *ARCVIEW GIS 9.3.* [Online] Enero 10, 2011. [Cited: enero 10, 2011.] [www.esri.com](http://www.esri.com). <http://www.softwaregis.cl/arcgis.html>.
- Ferencz, Irving. 2010.** *Propuesta de Venta de dos Sistemas FAD.* San Jose : Potencia Fluida y Mecánica, 2010. 2.
- G.E.P, Box and S., Hunter G. W. y Hunter J. 2005.** *“Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery” . .* New Jersey, USA. : John Wiley & sons, 2005. Second edition.
- Gallardo, Alfonso. 2003.** *Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura.* Extremadura, España : Refineria de Balboa, 2003.
- Gross, Francisco and Cristar, Víctor. 2003.** *CLARIFICACION DE AGUA POR DAF.* Montevideo : SEINCO S.R.L., 2003. 2.
- Gutiérrez Pullido, Humberto and De la Vara, Román. 2008.** *Analisis y diseños de experimentos.* México : McGraw-Hill, 2008. 3.
- Hernández Sancho, Francesc. 2000.** *XVII Jornadas ASEPUMA – V Encuentro Internacional.* Valencia : Universidad de Valencia., 2000. 1 103.
- Higueras, Pedro and Oyarzun, Rodrigo. 2007.** *Absorción y retención de líquidos.* Almadén, España : Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, 2007. 2.
- Neotropica. 2011.** Costa Rica exótica Natural. *CANATUR.* [Online] Enero 2, 2011. [Cited: enero 3, 2011.] [http://www.travelingcostarica.com/viajes/costa\\_rica/clima.htm](http://www.travelingcostarica.com/viajes/costa_rica/clima.htm). 1.
- Pérez, Leonel. 2007.** *Efecto de Hidrocarburos en los Ecosistemas.* Bogotá : Archivos Ecopetrol, 2007. 1.

- Ramirez, Rodrigo. 2007.** *Proceso de Coagulación- Floculación de Aguas Residuales*. Mexico : CEPIS, 2007. 5.
- RECOPE. 2010.** RECOPE NET. *RECOPE NET*. [Online] RECOPE, 10 15, 2010. [Cited: 10 15, 2010.]  
www.recope.com.
- Reporte Operacionales. Elis, Rowena Watson. 2009.* Limón : archivos RECOPE, 2009. 3- 2009.
- REPÚBLICA, EL PRESIDENTE DE LA. 2008.** *Reglamento de Creación de Canon Ambiental por Vertidos*. San Jose : N° 31176-MINAE, 2008.
- Rojas, Jairo Alberto Romero. 2000.** *Tratamiento de Aguas Residuales por lagunas de Estabilización*. Mexico : Alfaomega, 2000.
- Romero, Geovanni. 2000.** *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Lima : CEPIS, 2000. 2.
- Sainz, Juan. 2009.** *Separación de aceites*. Ecolaire España : División de Medio Ambiente, 2009. 3.
- Sanchez, Wilmer and Scott, Jaime. 1997.** *Tratamiento de Aguas Residuales: Mejoras al Separador AP1 y Laguna de Oxidación*. Limón : Archivos RECOPE, 1997. 3.
- Sedi-Tech. 2010.** *Módulos Lamelares /Tube Settler Modules*. Estados Unidos : Sedi-Tech, 2010.
- Sobalvarro, José Alfredo and Batista, Salvador. 2005.** *“Propuesta para selección de procesos de tratamiento de esgotos sanitarios adecuados a ciudades de pequeño y medio porte”*. San Carlos, Brasil : Brasilea, 2005. 5.
- Sotelo, Gilberto. 2008.** HIDRAULICA GENERAL. *HIDRAULICA GENERAL*. [Online] LABORATORIO DE HIDRAULICA:ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA, 10 23, 2008. [Cited: 11 2, 2010.]  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/vertparedelg/vertparedelg.html>. 1.
- Soto, Ana. 2008.** *Pretratamientos de aguas residuales* . Compostela : Universidad de Compostela, 2008.
- Umaña, Gabriel. 2002.** *Método de evaluación y selección de sitio para relleno sanitario*. . México. : XXVIII Congreso Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002. 5 p..
- UMSS. 2004.** *FENÓMENO DE EUTROFICACIÓN*. Lima : FACULTAD DE TECNOLOGÍA - UMSS, 2004. 2.
- Valerio, Guillermo. 2011.** *Ingeniera Básica*. San Jose : RECOPE, 2011. 1.
- Varela, Irene. 2009.** *Evaluación TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL*. Cartago : Tecnológico de Costa Rica, 2009. 23.
- WaterWorks, World. 2010.** <http://www.worldwaterworks.com/product/DAF%20Brochure.pdf>. *World Water Works*. [Online] World Water Works, 10 28, 2010. [Cited: 10 27, 2010.]

## Capitulo 6. ANEXOS



# REFINERIA COSTARRICENSE DE PETROLEO (RECOPE SA.)

## ANEXO 1.

### MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA REFINERIA DE RECOPE, MOIN, LIMON .

Elaborado por:

Lic. Luis Guillermo Valerio Pérez

  
Ingeniero Ambiental  
Una empresa con energía

## **1. Justificación del Manual de Operación y Mantenimiento.**

RECOPE, es la única industria petrolera en Costa Rica, genera diariamente altos volúmenes de aguas residuales, las cuales son vertidas al Río Moín en Limón, desde un sistema de tratamiento de Aguas Residuales. La empresa genera aproximadamente 54 541 m<sup>3</sup>/día de agua residual, los cuales provienen de aguas de procesos, drenaje de tanques, aguas de calderas, soda cáustica gastada, aguas de enfriamiento, aguas de cargaderos, entre otras (Reporte Operacionales, 2009).

Dado el impacto ambiental que tienen los hidrocarburos sobre la flora y fauna, acuática o terrestre, es indispensable su remoción de las aguas, antes de que éstas puedan ser vertidas en el río. La empresa dispone de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, los cuales son independientes entre sí por razones de topografía. Cada uno de ellos se halla constituido por un separador API y una laguna de oxidación. Mientras que uno se destina esencialmente al tratamiento de las aguas provenientes del área del sector Oeste de la calle 7, en el otro se reciben preferiblemente las aguas del sector Este de la calle 7.

Actualmente, la empresa no cuenta con un manual de operación y mantenimiento establecido para la Planta de Tratamiento, ante esta situación se formuló el presente documento para tener un mayor control sobre las actividades relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales. La operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es indispensable para garantizar que siempre se cumpla por los parámetros de calidad exigidos por ley. Para que esa operación y mantenimiento sean adecuadas es necesario que hayan recursos suficientes destinados a tal fin.

A continuación se detallan las especificaciones técnicas que cubren los requisitos mínimos para el mantenimiento y operación de la P.T.A.R de RECOPE específicamente de las siguientes labores:

- Mantenimiento y Operación de la Modificación de Separador API,
- Mantenimiento y Operación de Laguna de Oxidación N0.1,

Las especificaciones técnicas que a continuación se presentan, se utilizarán para orientar a los Operarios de la planta, además a Contratistas en la realización de las labores en las unidades de tratamiento.

En lo que respecta las labores que desarrolle algún Contratista en la ejecución de los servicios deberán estar dentro de normas y procedimientos estandarizados que garanticen la calidad de los servicios y particularmente encaminados a garantizar la seguridad del personal a su cargo, el personal de la interventora y de todas las demás personas autorizadas por RECOPE para transitar dentro del área de desarrollo de los servicios.

## **2. Importancia del Manual**

Entre las principales ventajas del mantenimiento, podemos mencionar las siguientes:

- Mejor conservación de los equipos;
- Aumento de la calidad y de la productividad;
- Disminución de paralizaciones imprevistas;

- Disminución de reparaciones;
- Reducción de horas extra de trabajo, y
- Reducción de costos.

### **3. Descripción del Proceso Industrial**

El complejo de producción industrial de RECOPE, está constituido por una planta procesadora de hidrocarburos, tanques de almacenamiento de crudos y producto limpio, talleres de mantenimiento, laboratorio, facilidades portuarias, instalaciones de seguridad, centro de salud, polideportivo y edificios administrativos; los cuales constituyen la Gerencia de Refinación.

Este está conformado por un muelle petrolero, localizado en el Puerto de Moín, donde se reciben los embarques de crudo y productos terminados; una refinería, localizada junto al muelle petrolero, con capacidad instalada para procesar 25.000 bbl/día de crudo liviano y 1.200 bbl/día de crudo pesado se obtiene diésel, naftas y búnker, los cuales son mezclados para obtener los productos que requiere el país.

En términos generales la refinación es el proceso de transformación de petróleo crudo para obtener combustibles y productos químicos de uso doméstico e industrial. Comienza con la llegada del petróleo crudo a la Refinería, por la vía marítima (buques tanque) donde se almacena en estanques especiales. Luego es enviado hacia las plantas de la Refinería para su transformación. El proceso inicial de la refinación es la destilación del crudo, que consiste enEl proceso actual de la refinería de RECOPE es del tipo "destilación primaria", con una capacidad de procesamiento de petróleo crudo de 166 m<sup>3</sup>/h (25000 BPSD), en un rango de densidad de: 28.5 API a 39,7 API y bajo azufre contenido, no más de 1,5%. Considerando que no hay suficiente capacidad de hidrot ratamiento y un complejo para recuperación de azufre, la refinería sólo procesa algunos crudos con bajo nivel de azufre y produce algunos productos y componentes de mezcla. Las siguientes unidades de proceso son parte de la actual refinería

Unidad de Concentración de Gases: Con capacidad para procesar gases totales y nafta inestable que se forman en todas las unidades de proceso.

Unidad de Hidrot ratamiento de naftas y reformado catalítico: Con capacidad para procesar 8 m<sup>3</sup>/h (1200 BPSD) de nafta pesada.

Unidad de Hidrot ratamiento de queroseno: Con capacidad para procesar hasta 14.6 m<sup>3</sup> / h (2200 BPSD) y obtener un combustibles de aviación con las especificaciones de Jet A-1.

Unidad de Reducción de la viscosidad: Con capacidad para procesar hasta 43 m<sup>3</sup>/ h (6 500 BPSD) de carga fresca con residuos atmosféricos producto de la destilación atmosférica.

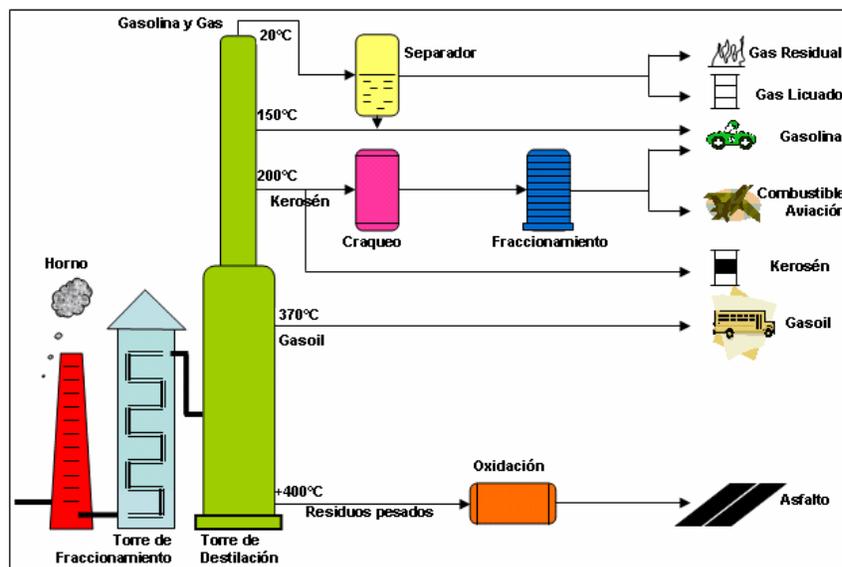
Unidad de destilación al vacío: Con capacidad para procesar hasta 8,0 m<sup>3</sup>/h de crudo pesado y obtener asfaltos, gasoleo y diesel.

Unidades de tratamiento cáustico para GLP y nafta ligera: Con capacidad de procesar 6,6 m<sup>3</sup>/h (1000 BPSD) y 16, 6 m<sup>3</sup>/h (2500 BPSD) respectivamente.

Utilidades: Enfriamiento de agua, gases y aceites combustibles, proceso de tratamiento de agua para vapor, energía, aire comprimido, sistemas contra incendio, sistemas de antorcha de alivio de gas, separación y tratamiento primario de aguas pluviales y oleaginosas. Refinería actualmente cuenta con un sistema de control distribuido (DCS).

El área de almacenamiento de tanques tiene una capacidad global de alrededor de 475 000 m<sup>3</sup> (3 millones de barriles).

**Figura 61. Diagrama de el Proceso de Refinación**



Fuente: (Hernandez, 2006)

#### 4. Información básica

**A. Jornada de Operación:** La jornada de operación consta de 24 horas, 7 días por semana y 52 semanas por año.

**B. Descripción de los Equipos:**  
Separador API Modificado Especificaciones Técnicas

Esta unidad tiene una capacidad para tratar 37,85 m<sup>3</sup>/minuto (10 000 GMP) de agua, y el tanque principal consta de tres canales.

Las aguas que lo alimentan son recolectadas en un canal a cielo abierto, sobre cuyo tabique de desbordamiento, ubicado al final del canal, las aguas excedentes pasan directamente a la laguna No1.

### Dimensiones

- Ancho (3 canales): 16,39 metros , Largo : 33,5 metros, Altura total: 3,3 metros, Altura de vertederos : 2,5 metros

Partes del separador API

<p><b>Entrada al Separador API</b></p>			
<p><b>Cámara de separación</b></p>			
<p><b>Canal y sistema de desnatadores del Separador</b></p>			
<p><b>Vertedero de salida del separador API vacío</b></p>			

**Tabla 47. Capacidad de Equipos de Tratamiento de Aguas Residuales**

Unidad	Capacidad
<i>Separador API No.1 Modificado como FAD</i>	Esta unidad tiene una capacidad para tratar 37,85 m <sup>3</sup> /minuto (10 000 GMP) de agua, y el tanque principal consta de tres canales, con dispositivos especializados para la inyección de Agua Saturada.
Laguna de oxidación No.1.	Es una laguna facultativa de 2,2 m de profundidad, de Area superficial de 6650 m <sup>2</sup> (0,6 hectareas ), posee una relacion largo/ancho de 5/1, para un volumen total de 14630 m <sup>3</sup> . Posee algunos dispositivos que aumentan la eficiencia como aireadores artificiales, sistema de mechas oleofílicas y mamparas para la retención de Hidrocarburos.

**C. Tipo de Agua Residual:**

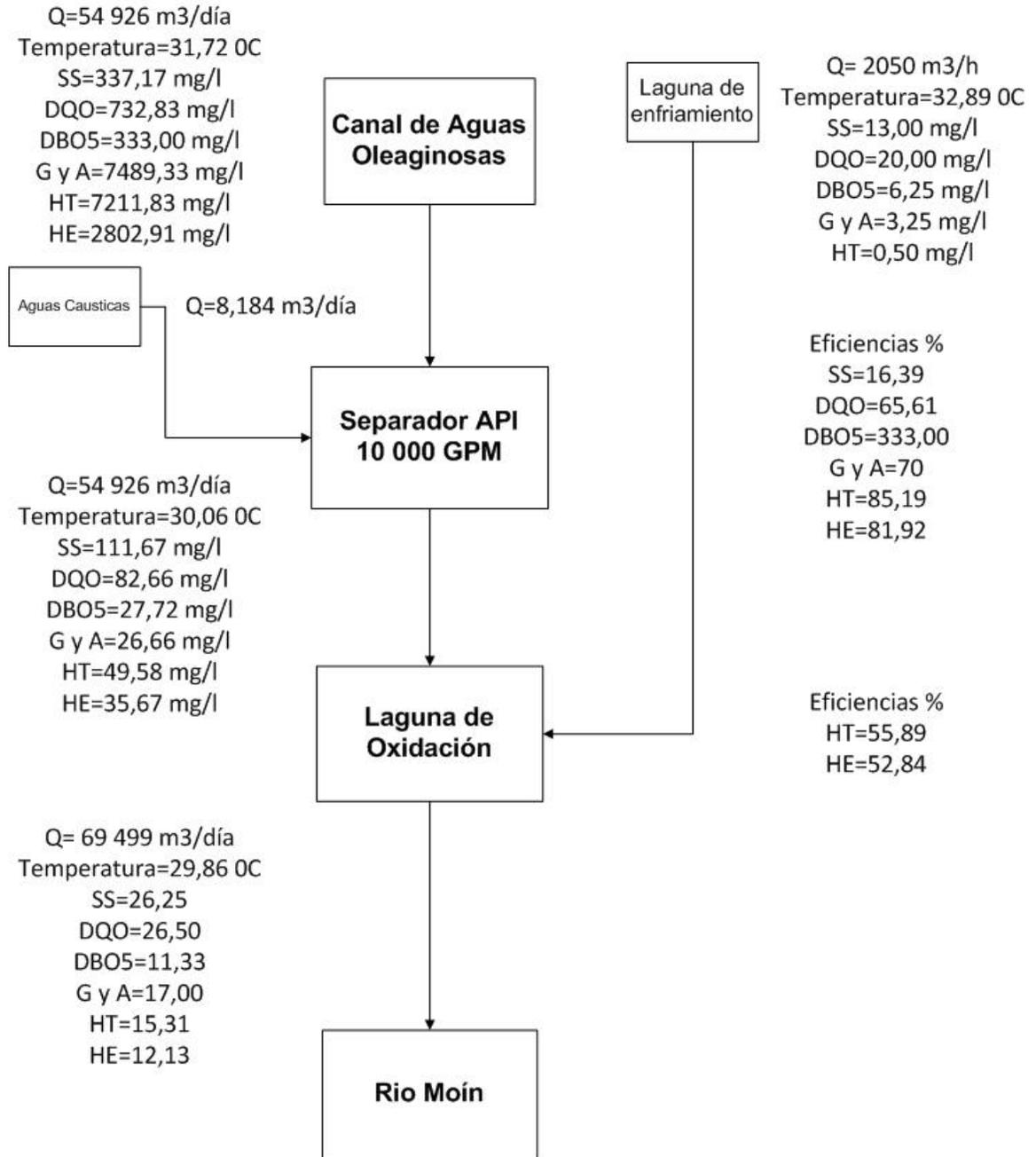
Según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales las aguas residuales procedentes del sistema de producción se clasifican como especiales. El código CIU de las mismas es 23201.

**D. Caracterización de Aguas Residuales**

A continuación de se detallan las concentraciones de entrada como de salida tanto del Separador API y laguna de Oxidación actuales, estos valores pretenden ser mejorados a través del Proyecto Ingeniería Básica Ambiental para el Diseño de Mejoras del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de RECOPE S.A en Moín-Limón.

Para obtener estos datos se realizó un diagnostico a partir de los reportes operacionales presentados al Ministerio de Salud, de los cuales se analizó del comportamiento histórico de diferentes puntos de muestreo de la PTAR, con una muestra de 12 reportes operacionales escogidos en orden aleatorio.

**Figura 62. Caracterización de las aguas del sistema de tratamiento del sector oeste de la calle 7**



Caracterización de Aguas Residuales del Sistema de Tratamiento de Refinería  
 RECOPE  
 Luis Guillermo Valerio  
 martes, 18 de enero de 2011



## **E. Descripción del Personal:**

### **▪ Operadores de la PTAR**

Actualmente la planta es operada por 3 trabajadores cuya jornada es de 8 horas/día. Estos se encargan de la limpieza de rejillas, medición de parámetros operacionales, revisión de equipos y control de emergencias. Es necesario que el personal encargado sea un (a) ingeniero (a), el cual es el encargado del sistema. Este mantendrá la coordinación con los operarios de las tareas de operación y mantenimiento del recinto. Debe de ser una persona debidamente clasificada en materias de ingeniería sanitaria, ambiental o afines.

1. Además se recomienda aumentar el número de horas extras a los operarios de la planta ya que no cumplen todo el tiempo de operación de la Refinería, por lo que en estos tiempos no cubiertos se corre el riesgo que algún equipo falle o deje de funcionar. Otra opción es contratar a otra persona para completar 4 operadores, para hacer una rotación de 2 operarios con turnos de trabajo de 6 am a 2 pm y de 2 pm a 10 pm.
2. Los operarios estarán serán los encargados de realizar la alimentación de químicos para la Coagulación y Floculación de las aguas en los puntos indicados en el capítulo IV.
3. Es necesario que los operarios reciban un Curso de Mantenimiento Preventivo Total (TPM) para que estén en la capacidad de reparar equipos en momentos de emergencias.
4. Los operarios deben tener conocimientos de mantenimiento y operación, se recomienda capacitarlos con el curso de Operadores Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Nacional de Aprendizaje.

### **▪ Contratistas de Mantenimiento de Zonas Verdes**

Éstos deberán de preocuparse fundamentalmente de mantener los taludes libres de vegetación de las lagunas. Limpieza de canaletas de distribución, vertederos, así como mantenimiento de todas las unidades, áreas verdes y de acceso. Es necesaria, la recolección inmediata del césped cortado para evitar que este sea transportado por el viento en las unidades de tratamiento.

## **5. Señalización**

Es necesario colocar las señales a utilizar en las plantas de tratamiento, indicando que sitios de peligro eléctrico y biológico, además indicar que es prohibido el ingreso a la planta sin autorización.

### **a. Medidas de Seguridad**

- **Medidas de primeros auxilios:** Se recomienda a la empresa capacitar al operador con un curso de primeros auxilios básicos y contar con un botiquín, para que este en capacidad de atender cualquier situación o inconveniente de seguridad laboral que pueda ocurrir en la planta
- **Medidas de higiene personal:** Los requerimientos de higiene personal que el operador de las plantas de tratamiento debe observar a fin de proteger su salud son:

- Lavarse las manos con agua y jabón y posteriormente alcohol en gel después de operar la planta y antes de comer.
- Bañarse y cambiarse con ropa limpia después de cada jornada.
- **Controles médicos:** Es necesario realizar controles médicos periódicos de hidrocarburo en sangre y orinas, además de dotar de vacunas contra Tétano y hepatitis.

#### **b. Equipo**

En la planta de tratamiento se deben de hacer varias mediciones de diferentes parámetros por lo tanto se necesitan que todos los equipos estén bien calibrados, como el pHmetro, cronómetros y Flujómetros .

Para el mantenimiento de los Separadores API es necesario contar con una caja de herramientas como destornilladores, tornillos y llaves de diferentes tamaños, para solucionar cualquier problema instantáneo, además es necesario que los operarios cuenten con un teléfono o sistema de comunicación rápida para informar al departamento de mantenimiento de maquinarias de la empresa de paros o daños tanto operacionales de los equipos de los separadores que ameriten de un conocimiento más técnico para repararlos .

#### **c. Uso del equipo para medición de parámetros**

- A. pHmetro de campo:** A continuación se muestra los procedimientos del su uso para la determinación del pH.
- Cada vez que este sea utilizado el operador primero revisar si las baterías se encuentren cargadas, y además verificar que este calibrado. De no ser así, cambiar baterías y calibrar equipo por medio de dos compensadores.
  - Introducirlo en el agua y esperar que se establezca la medida
  - Anotar en la bitácora con la respectiva fecha y observaciones.
- B. Conos de Imhoff y probetas:** este equipo se utilizará para determinar para determinar los sólidos sedimentables del sistema de tratamiento
- Se toma una cantidad de agua del efluente hasta llenar el recipiente (probeta de 1000 ml) y se deja reposar por media hora, con el objetivo que los sólidos de sedimenten.
  - Se mide cuantos son ml de sólidos sedimentados y se divide entre el volumen total del recipiente 1000 ml
  - Anotar en la bitácora con la respectiva fecha y observaciones, los resultados se reportan el ml/L de sólidos sedimentables.
- C. Medidor de Caudal:** A continuación se muestra los procedimientos del su uso para la determinación del caudal.
- Cada vez que este sea utilizado el operador primero revisar si las baterías se encuentren cargadas, y además verificar que este calibrado. De no ser así, cambiar baterías y calibrar equipo..
  - Introducirlo en el agua y medir la altura del nivel del agua en la canaleta Parshall.

- Anotar en la bitácora con la respectiva fecha y observaciones

**Tabla 48. Equipo de Higiene operación y mantenimiento**

Equipo de Higiene	Equipo de Operación y Mantenimiento	Equipo de seguridad
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compresor de agua a presión para la limpieza de aceras, pisos y canaletas</li> <li>- Escobas</li> <li>- Hisopos</li> <li>- Palas</li> <li>- Redes</li> <li>- Jabón para lavar manos</li> <li>- Alcohol en gel</li> <li>- Basureros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acido sulfúrico</li> <li>- Cal por si el pH se encuentra menor a 5</li> <li>- 1 litro de aceite para transmisión y grasa</li> <li>- Antiespumante por si se forma espumas</li> <li>- Bacteria por si, no hay flujo de electricidad</li> <li>- Martillo</li> <li>- Cloruro Férrico y polímero de alto peso molecular</li> <li>- Mazo con cabeza de plástico</li> <li>- Taladro portátil.</li> <li>- Juego de brocas.</li> <li>- Sierra manual (segueta)</li> <li>- Juego de desatornilladores</li> <li>- Alicates</li> <li>- Juego de llaves.</li> <li>- Tornillos y tuercas más comunes para repuesto.</li> <li>- Cinta métrica.</li> <li>- Cepillo de cerdas plásticas</li> <li>- Cepillo de cerdas metálicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zapatos de seguridad</li> <li>- Casco</li> <li>- Mascarilla para gases orgánicos</li> <li>- Lentes de seguridad</li> <li>- Chaletto</li> <li>- Camisa manga larga 100% algodón.</li> </ul>

## 6. Mantenimiento y Operación de los Equipos de la Planta de Tratamiento

### Mantenimiento del Separador API Modificado

#### A. Limpieza de Separador API

Esta limpieza se efectuará utilizando jabón industrial biodegradable, cepillos con cerdas metálicas (gratas), cepillos industriales con cerdas en caucho fibra con y sin mango, escobas industriales, espátulas, lijas, etc. También se recomienda lavar con agua a presión (compresor) y demás implementos necesarios para dejar completamente limpio tanto el Separador API como son las áreas internas y externas de cada canal. Esta actividad se recomienda realizarla una vez al año.

#### B. Mantenimiento con Pintura a Barandas, Válvulas y Tuberías Asociadas al Separador API

Antes de pintar es necesaria la limpieza con cepillo industrial, lija industrial y grata manual de las áreas metálicas a pintar. Se deberá aplicar en los materiales galvanizados, una base de pintura tipo wash primer, para los demás elementos

metálicos, incluidos los mismos galvanizados, se deberá aplicar una base de pintura de tipo anticorrosivo y pintura de acabado industrial (tipo esmalte pintuco) en todas las barandas que hacen parte del separador API, en los equipos auxiliares (bombas de Saturación y caseta de la mismas), accesorios en general (líneas de aire industrial y equipo skimmer y en las válvulas de extracción de Lodos y paletas de extracción de material Flotante) .

Este trabajo se realizará, efectuando raspado, limpieza, pulida, aplicación de base anticorrosiva y pintura esmalte para exteriores con los colores asignados de acuerdo al código de colores de RECOPE. Esta acción se recomienda realizarla 1 vez al año.

### **C. Reparación de taludes de Canales de Conducción y Canales del Separador API.**

Es necesario revisar si existen fisuras en las paredes de concreto de los canales del Separador API y taludes del canal de conducción de aguas oleaginosas. En caso de aun hallazgo es necesario utilizar concreto reforzado como recubrimiento. Esta actividad se recomienda realizar revisiones en las paredes como mínimo una vez al mes.

### **D. Evacuación de las aguas oleaginosas de los canales del Separador API para el Mantenimiento o Reparación de equipos**

Este ítem comprende las labores necesarias para extraer y evacuar la totalidad de las aguas aceitosas almacenadas en alguno de los canales del Separador API para darle mantenimiento a su infraestructura. Este trabajo se deberá desarrollar evitando derrames por manejo inadecuado de las aguas extraídas, contaminaciones en los canales de aguas lluvias de la planta, contaminación y erosión de suelos, emisión al aire de elementos orgánicos volátiles tóxicos, impacto visual negativo y alteración del paisaje en las áreas internas y externas de la Refinería.

Para el trabajo de mantenimiento del separador API, primero es necesario cerrar la fuente de entrada del canal a dar mantenimiento, para evitar el paso de aguas. La idea es dejar operando 2 canales para evitar parar el proceso de producción.

Las aguas aceitosas del canal a dar mantenimiento se extraerán por gravedad hasta donde los niveles lo permitan hacia la laguna de oxidación, el agua que no se logra evacuar se eliminará con la Unidad Móvil de extracción de productos que cuenta la empresa, la cual debe disponerse en la laguna de oxidación. El lodo presente en el fondo del Separador debe disponerse en el lecho de secado que cuenta la empresa.

### **E. Extracción, Almacenamiento y Transporte de Sedimentos del Separador API**

Este ítem se refiere al conjunto de actividades necesarias para la extracción de los lodos depositados en el fondo del Separador API. Estos sedimentos, pueden ser extraídos por métodos manuales, utilizando elementos tales como carretillas, palas, baldes, cepillos, escobas, etc; y con todos los demás utensilios y pasos necesarios para dejar libre de basura y sedimentos a los canales. También se puede extraer los

lodos con la Unidad Móvil de extracción de productos que cuenta la empresa, este material debe ser almacenado en el lecho de secado de la Refinería.

Para estas actividades, el personal empleado en las labores de mantenimiento, deberá cumplir con todas las normas de seguridad industrial, especialmente en lo relacionado con la dotación personal, de las cuales, como mínimo, se deberán usar las siguientes: guantes en vaqueta y caucho, botas en caucho con puntera de acero, botas en cuero con puntera de acero, overoles, mascarillas de protección respiratoria con filtros adecuados para el manejo de productos hidrocarburos, gafas de seguridad, etc..

El personal que ejecute la labor de limpieza interna deberá laborar por espacios de tiempo cortos sin permanecer mucho tiempo dentro de la piscina, para evitar afectaciones a la salud, por la inhalación de gases y vapores generados por los residuos existentes en el separador API.

Los recipientes de almacenamiento que se utilicen para el trasiego del material hacia el lecho de secado deberán tener tapa y encontrarse en perfectas condiciones para transportar los residuos sin derramamiento ni contaminación ambiental.

#### **D. Cambio y reparación de accesorios**

Es necesario contar con repuestos de los accesorios presentes en el Separador API, como 1 bombas multi-etapa en paralelo para la saturación agua-aire, varios difusores de eyección del agua saturada, Válvulas dosificadoras para regular el caudal de la línea, Válvulas de alivio y repuestos del Equipo de Rastras de recolección de material flotante como paletas, cadenas, tornillos y demás componentes. Esto es con la finalidad de realizar la reparación en el menor tiempo posible y así no poner en riesgo la calidad de los efluentes.

### **Operación del Separador API Modificado.**

Algunos problemas operacionales que se pueden presentar en el Separador API son:

#### **A. Poca formación de Floculo:**

Si el floculo formado es muy poco, es probablemente generado a que la cantidad de coagulante y floculante no es la suficiente para la aglomeración de los hidrocarburos presentes en el agua residual, por lo que se recomienda realizar varias pruebas de jarras en campo para determinar cuál es la dosis optima

#### **B. Calidad de saturación de aire**

Esta situación puede ser generada por el paro de una bomba de saturación, daños en el compresor, ruptura de alguna tubería de conducción y dispositivos de inyección en mal estado. Se recomienda realizar la debida inspección, reparar los daños si se puede solucionar con herramientas de trabajo, sino llamar a los responsables de mantenimiento de la empresa.

#### **C. Fallo en las bombas:**

La mayor parte de las dificultades en las bombas provienen de las incorrectas condiciones de succión más que de otra causa. La perdida de succión, la

vaporización, el relleno parcial o la cavitación, llevan consigo una carga normal sobre la bomba y ocasionan alto costo de mantenimiento poca duración y funcionamiento irregular. Para evitar problemas operacionales es necesario respetar las condiciones de operación establecidos en los manuales operativos de las bombas que son recomendadas por el proveedor. Si alguna bomba de saturación deja de funcionar se debe reportar a los técnicos en esta área, para que realicen la reparación en el sitio, o cambiar la bomba por alguna que se tenga de repuesto. El objetivo es que el proceso de depuración de aguas no se detenga. A continuación se muestran algunos problemas con sus principales causas, así como la respectiva solución:

**Tabla 49. Problemas frecuentes en bombas y sus respectivas soluciones**

<b>Problema</b>	<b>Causa</b>	<b>Solución</b>
<b>La bomba no entrega buen vacío cuando trabaja</b>	El aceite está contaminado por el proceso	Drene el aceite contaminado de la bomba y colocar aceite nuevo. Revisar la cañería de vacío para detectar posibles pérdidas.
	La válvula de aspiración esta sucia o trabada parcialmente no retiene vacío y retrocede aceite	Desarme la caja de válvula de aspiración y revise la válvula. Limpiarla en caso que lo requiera.
	Perdida de aceite por retenes defectuosos	. Proceder a desarmar. Utilice el despiece del modelo de la bomba para no cometer errores. Revisar los retenes. En caso de ser necesario cambiar por piezas nuevas.
	Partes internas de la bomba dañadas o desgastadas por el uso o mala lubricación.	Desarmar, revisar detenidamente las piezas y volver a ensamblar. Cambiando las partes deterioradas y los retenes.
<b>La bomba no arranca</b>	El motor eléctrico	No está debidamente conectado. No tiene la alimentación eléctrica adecuada. Chequear el correcto suministro de energía eléctrica y verificar de acuerdo a la placa identificatoria del motor, chequear la protección térmica del motor
<b>La bomba en funcionamiento tiene temperatura elevada</b>	No tiene suficiente ventilación la bomba	Limpiar las aletas de disipación de calor del motor de la bomba y el intercambiador de calor si no es el adecuado.
	Filtro de ventilador sucio u obstruido	Cambiar el filtro de aceite de acuerdo al modelo.

#### D. Sistemas de inyección de agua saturada

Como con los sistemas de inyección de agua saturada es por difusión, los problemas de mezcla pueden presentarse, pueden estar sujetos a problemas de sobrecarga, fuga en los sistemas de conducción y falla de los distribuidores de agua saturada. . A continuación se muestra la respectiva solución a estos problemas:

**Tabla 50. Problemas frecuentes en el sistema de inyección de agua saturada y sus respectivas soluciones**

Problema	Causa	Solución
Mala formación de micro burbujas	Distribuidores obstruidos por sólidos.	Remover sólidos, limpieza de los dispositivos
	Distribuidores desprendidos	Considerar el reemplazo del dispositivo, o adecuar el que desprendido
	Fugas en las tuberías de conducción	Proceder a desarmar tubería y cambiar el segmento con fugas, o colocar un material que corte la fuga como un parche.

#### E. Arrastre de sólidos

La condición de arrastre de sólidos puede ser fácilmente detectada cuando se observa una buena sedimentación en el test de sedimentación de 30 minutos, pero mala si se observan sólidos homogéneos flotando cerca de los vertederos del Separador API. Algunas causas probables de arrastre de sólidos son:

**Tabla 51. Causas principales del arrastre de sólidos y sus respectivas soluciones**

Problema	Causa	Solución
Arrastre de sólidos en los efluentes	Válvulas de extracción de lodos en mal estado	Cambiar válvulas dañadas
	Rebalse de contenedores de asfalto en tiempo de lluvias	Ampliar los recipientes de asfaltos o Colocar un dique para la recolección del material desbordado
	Rejillas obstruidas	Hacer la limpieza de rejillas con mayor frecuencia
	Paletas fuera de operación	Ajustar cadenas o cambiar las paletas

## **Compra de repuestos para el Separador API**

- Repuestos de Bombas de Saturación agua aire, Compresor aire, tipo tornillo, Bombas de cavidad progresiva, Difusores, Válvula de bola, Distribuidores de agua saturada con acoples para válvulas y Canaletas de recolección de lodos llamar

## ***Diseños Técnicos Ambientales***

*Contacto Ing. Cristian Bogantes Bogantes*

*Teléfono: 506 88 63 33 27*

- Equipos Separadores API de plástico, nuevas tecnologías utilizadas en Europa.

Componentes especiales para entornos abrasivos, que contengan aceite y altas temperaturas, cadenas especiales y elección personalizada de materiales

### ***Probig GesmbH***

*Atterseestraße 56 · 4850 Timelkam-Pichlwang (Austria)*

*Tel.: +43/76 72/93 272-0 · Fax: +43/76 72/93 272-20*

*office@probig.com · www.probig.com*

## **Acciones a implementar en el Rediseño de la Laguna**

Para realizar estas mejoras de diseño de la laguna estas deben realizarse de manera rápida y debe programarse de forma que no interrumpa el proceso productivo de la empresa. Por los altos caudales que maneja la empresa es difícil buscar alternativas de tratamiento por mientras se implementan las mejoras, una alternativa al caso puede ser programar el rediseño con actividades de mantenimiento o mejoras de la planta de refinación en donde se tenga que dejar de operar.

En general, los trabajos objeto de este mantenimiento corresponden pero no se limitan a lo siguiente:

### **Extracción de las Aguas de la Laguna de Oxidación:**

Comprende las labores necesarias para extraer el agua de la laguna de oxidación, para ello es importante evitar cualquier tipo de derrames por mal manejo de las mismas, contaminación en los canales de aguas lluvias y sistemas de drenajes, contaminación o erosión de los suelos adyacentes, emisión al aire de elementos orgánicos volátiles tóxicos, impacto visual negativo y alteración del paisaje circundante.

Inicialmente es importante cortar la fuente generadora de las aguas, para vaciar la laguna, el agua que no pueda fluir se bombeará ha, utilizando la unidad móvil de la empresa destinada para estos fines. El agua de la piscina de estabilización se desplazará hacia el exterior de la planta es decir hacia el río Moín, se deben tomar todas las precauciones del caso y pedir autorización al Coordinador de Ambiental, para definir las rutas de flujo de desagüe de tal forma que no se causen problemas de contaminación o erosión en las áreas adyacentes de la planta.

### **Extracción, Almacenamiento y Transporte de Lodos.**

Comprende la extracción de los lodos en el fondo de las lagunas de oxidación, los sedimentos serán extraídos por medio de una draga y si amerita el uso de métodos manuales, tales como: carretillas, palas, baldes, cepillos, escobas, etc, los cuales serán suministrados en su totalidad por el Contratista encargado. Se realizarán todos los pasos requeridos y se utilizaran todas las herramientas disponibles del Contratista, para dejar libre de basuras y sedimentos a la laguna de oxidación.

Los residuos extraídos, deberán ser trasladados para depósito al sitio que RECOPE designe para tal fin. El vehículo necesario para el transporte interno de los residuos no puede presentar fugas de producto y debe contar con la debida rotulación.

Para la ejecución de estas actividades, el personal empleado en las labores, deberá cumplir con todas las normas de seguridad industrial, especialmente en lo relacionado con la utilización de todos los elementos de protección personal, tales como: casco de seguridad, guantes de vaqueta y caucho, gafas de seguridad, botas de caucho y cuero con puntera de acero, mascarillas de protección respiratoria con filtros, taponés auditivos (si es necesario).

No obstante de estar libre el área de presencia de gases y vapores de productos combustibles, se recomienda al contratista, establecer jornadas de trabajo de una hora, pausándolas con intervalos de descanso de 10 minutos, para garantizar una adecuada ventilación de los trabajadores, dado que se trabajará en áreas profundas bajo el nivel de circulación de aire normal en el área de los trabajos.

Los lodos removidos se enviran al lecho de secado de la empresa para que estos se estabilicen y pierdan humedad posteriormente se pueden estabilizar con cal y envíalos a la finca Sandoval.

**Figura 63. Lechos de Secado de la empresa**



## **Puesta en Marcha**

Una vez terminada la reconstrucción de la laguna debe revisarse que no haya vegetación alguna creciendo dentro de las diferentes unidades.

El inicio de operación de una laguna debe considerar un programa de llenado y una etapa de establecimiento de condiciones estables de funcionamiento. Es necesario un periodo de aclimatación antes que el sistema reciba toda la carga orgánica proyectada. Es recomendable que el llenado se lleve a cabo durante época de verano, cuando hay temperaturas más altas, y que la carga orgánica que se reciba sea menor o igual a la carga máxima de diseño. También, se debe ir llenando la laguna poco a poco para que el terreno se vaya colmatando y no se acumulen sólidos, en los taludes, al filtrarse los líquidos, que luego se puedan podrir.

Se recomienda diseñar las lagunas facultativas tomando los criterios de carga orgánica mencionados anteriormente en la memoria de cálculo. Esto es importante a la hora del mantenimiento y operación de las lagunas, pues si los niveles se encuentran en el medio de facultativas y anaerobias, pueden darse problemas de malos olores y de bacterias formadoras de sulfuros y metano, lo cual es muy peligroso en una refinería.

Cuando se trabaja con estanques facultativos no se puede liberar la carga orgánica en toda su totalidad, debido a que el desarrollo de las algas es más lento que el bacteriano. La reducción de DBO observada inicialmente se debe a una sedimentación de los sólidos sedimentables en forma de lodo.

En este lodo se produce una fermentación anaerobia que reduce su carga orgánica y libera productos de fermentación que pasan al volumen de agua. Cuando se alcanza el equilibrio en el sistema la DBO agregada al lodo por los sedimentos es igual la DBO liberada en forma de productos de la fermentación.

Es recomendable que las lagunas facultativas se llenen con agua y cierta cantidad de lodo digerido antes de introducir el agua residual. Otro método de aclimatación es llenar la laguna con agua residual hasta una altura de un metro. Luego, se debe esperar un periodo de adaptación de 10 a 20 días o hasta que el agua presente un color verde azulado antes de retirar el agua. En este periodo se produce la multiplicación bacteriana y el desarrollo de algas. Al observar este color se abren las conexiones de entrada y salida para empezar el proceso continuo de tratamiento. Aún así, es necesario un período de aproximadamente 60 días para poder tener una buena comunidad biológica.

Para obtener un mejor rendimiento en el arranque sí es posible se puede introducir cierta cantidad de lodo bien digerido. Este lodo aporta microorganismos de siembra necesarios y propicia una capacidad inicial de amortiguamiento. Si no es posible agregar este lodo, se deben crear condiciones que faciliten la formación de comunidades microbianas.

Se debe tomar en cuenta que los tiempos de llenado y arranque se pueden ver afectados por muchos factores, como usualmente lo son la recepción de caudales menores a los de diseño, tasas de evaporación más altas a distintos tiempos del año, o mayor cantidad de infiltración hacia el subsuelo.

## **Operación de lagunas de Oxidación**

El mal funcionamiento y la baja de la eficiencia en las lagunas de oxidación, generalmente es producto del descuido, abandono o manejo inadecuado de estos sistemas de tratamiento. Para evitar estas situaciones es necesario el llevar a cabo acciones simples encaminadas a una buena operación y mantenimiento del mismo. Un recorrido diario en el cual se realicen observaciones sobre el funcionamiento de las lagunas y el terreno, puede contribuir al buen funcionamiento de estos sistemas.

Algunos indicadores de buen funcionamiento de las lagunas facultativas son:

- El agua presenta una coloración verde intensa y está prácticamente libre de sólidos sedimentados, las coloraciones verde – azuladas denotan la presencia de algas verdeazules (cianofíceas), que tienen efectos negativos por su menor productividad y tendencia a la formación de agregados que impiden la correcta iluminación de las lagunas.
- La superficie del agua está libre de toda materia sólida
- Existe ausencia de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes.

## **Control Operacional**

Un indicador de limpieza de las lagunas es cuando los sólidos empiezan a flotar en la superficie. Otro es la profundidad de lodos en la laguna. Los desperdicios sólidos provenientes de los grandes de las rejillas deben ser removidos inmediatamente para evitarse problemas de interrupción de flujos.

Cuando se vaya a utilizar insecticida o herbicida para control de malezas, se deberá investigar los efectos ambientales de los mismos para así no afectar las aguas receptoras.

Cada laguna de oxidación desarrolla comunidades biológicas individuales y únicas. Lagunas cercanas e idénticas en su diseño pueden presentar variaciones en la pH y oxígeno disuelto. Por ello la necesidad de los muestreos rutinarios. Estos pueden ser realizados por el operador, los cuales incluyen pH, temperatura y oxígeno disuelto. Esto es necesario para obtener el patrón de comportamiento de la laguna. Las horas de muestreo deben variarse para conocer las características de la laguna a diferentes horas del día. Generalmente el pH y el oxígeno disuelto son menores al amanecer, aumentando hasta tener un máximo después del medio día.

Estos análisis rutinarios permiten observar cargas ocasionadas por taponamientos o las líneas de distribución. Las cuales no podrían ser notadas a simple vista en una expedición de rutina.

Un indicador físico importante en la coloración de la laguna. Cuando esta presenta un color verde intenso o ausencia de color generalmente indica un descenso en el pH y oxígeno disuelto. El color gris indica una sobrecarga de la laguna de materia orgánica.

Los análisis de pH, OD y temperatura indican las condiciones de la laguna, mientras que la DBO, Grasas y Aceites, DQO, hidrocarburos y sólidos suspendidos permiten estimar su eficiencia de remoción. La DBO es importante para controlar la carga entrante en la laguna.

En la siguiente tabla se muestra la frecuencia y localización de algunos muestreos importantes en este tipo de tratamientos.

**Tabla 52. Frecuencia y localización de muestreos importantes en laguna de oxidación**

Análisis	Frecuencia	Lugar
pH*	Diario	Laguna
OD*	Diario	Efluente
Temperatura	Diario	Laguna
DBO	Semanal	Efluente e influente
Grasas y Aceites	Semanal	Efluente
Hidrocarburos	Diario	Efluente
Sólidos suspendidos	Semanal	Efluente e influente
Sólidos disueltos	Semanal	Efluente e influente

\*pH arriba de 9 y el OD sobre 15 mg/l no son comunes.

La DBO debe tomarse a caudales mínimos, medios y máximos. El promedio de estas tres proporciona un indicador del agua residual que esta tratándose. Si existen sospechas que la DBO varía fuertemente durante el día o día a día es necesario aumentar la frecuencia de los muestreos, de modo que se definan claramente las variaciones.

### **Posibles Problemas**

En general se pueden mencionar una serie de problemas en las lagunas de oxidación. Los problemas operativos más frecuentes en las lagunas facultativas es acumulación de materias flotantes, aparición de malos olores, desarrollo de coloraciones rosa o rojo, anomalías de flujo, crecimiento de malas hierbas, plantas acuáticas, desarrollo de mosquitos y otros insectos.

### **Espumas Naturales**

Las espumas son producto del arrastre de partículas y microorganismos debido a ascenso de los gases como burbujas a la superficie. La mayor producción de gases, y por ende de espumas, se produce en las épocas más calientes. En la cual se presenta la mayor actividad biológica.

Cuando las espumas no se rompen a tiempo en la superficie se compactan por evaporación, hasta formar una costra difícil de eliminar. En estas, se da el desarrollo de algunas algas azul verdosas, provocando olores desagradables. La acumulación de espumas no permite el paso de la luz solar a la laguna, inhibiendo su buen funcionamiento.

### **Olores**

La generación de olores en plantas de tratamiento de aguas residuales es en algunos casos inevitables. La mayoría de olores son causados en las lagunas de RECOPE son generados a los productos derivados de petróleo, se generan olores que irritan las fosas nasales si se está por mucho tiempo en el lugar.

### **Exceso de aceites flotantes**

Es necesario colocar barreras adsorbentes o cambiar las mechas oleofílicas para evitar que estas grasas salgan al cuerpo receptor

### **Malezas**

Su acumulación en los bordes puede propiciar la procreación de mosquitos y de depósitos de espumas. Si la vegetación cae en la laguna, puede generar microambientes propicios para la proliferación de mosquitos.

### **Insectos**

Los insectos se procrean en lugares agua estancada donde exista una vegetación o espuma donde a la hembra se le permita depositar sus huevos.

### **Bordos**

La erosión de la pendiente de los bordos es ocasionada por la acción del oleaje y es el problema más serio que se presenta en el mantenimiento de las lagunas de oxidación. Si no se corrige a tiempo se dará una reducción en la corona que dificultará el acceso con equipo de mantenimiento. Ante esto se recomienda recubrir toda la laguna con concreto o asfalto.

### **Mantenimiento**

Una vez las lagunas de estabilización han iniciado su operación en estado estable, es necesario llevar a cabo actividades de mantenimiento rutinario que, aunque mínimas, son indispensables para su buena operación. El mantenimiento rutinario consistirá de la limpieza de las estructuras que son base para el funcionamiento hidráulico de las lagunas, como las canalizaciones y los vertederos de entrada y de salida, los muestreos de parámetros y observaciones al afluente y efluente. También se deberán llevar a cabo evaluaciones más bien sobre el comportamiento propio de las lagunas, que se mencionarán adelante

Toda la información recolectada en los muestreos, el mantenimiento y en las reparaciones se debe consignar en una bitácora de mantenimiento del sistema por el operador responsable. Esta persona también está usualmente a cargo de la toma

de muestras y medición de los caudales de entrada al sistema. A continuación se muestran problemas operacionales con sus respectivas soluciones

**Tabla 53. Problemas operacionales de la laguna con sus respectivas soluciones**

<b>Problema</b>	<b>Solución</b>
<i>Espumas</i>	Dentro de los métodos utilizados para romper las espumas son el uso de rastrillos desde la orilla, chorros de agua mediante bombas. En el caso de lagunas grandes se ha utilizado motores fuera de borda. Usar algún tensoactivo comercial
Olores a hidrocarburos	Uso de aireadores superficiales en lagunas y colocar una cubierta protectora en los separadores API.
<i>Malezas</i>	El control de las malezas es una parte esencial en el mantenimiento de las lagunas. La solución es arrancar de raíz las malezas para evitar su proliferación e impedir la creación de zonas de estancamiento. Corte, poda y retiro de pasto y vegetación que crezca sobre los terraplenes. Se recomienda el uso de vegetación o pastos de crecimiento lento para minimizar la frecuencia de esta actividad.
<i>Insectos</i>	El control adecuado de malezas y de espumas elimina el problema de los insectos, ya que los huevecillos son frágiles y no resisten la acción superficial del agua por vientos y corrientes. En la construcción se debe aplicar medidas para evitar la proliferación de insectos. En la laguna se debe poder regular el nivel de agua y poderse vaciar completamente. Eliminar toda la vegetación en el fondo y nivelar el terreno antes de llenar la laguna. Mantener el buen estado de los taludes en los diques para evitar puntos muertos. Los vectores se controlan por medio de prácticas conocidas como el manejo integrado de plagas (MIP), por ejemplo creando hábitat para golondrinas u otras aves depredadoras de insectos.
<i>Bordos</i>	La solución a largo plazo es que la pendiente de los bordos está construida con un material fácilmente erosionable es el revestimiento con mampostería de concreto o piedra quebrada. Reparación de cualquier daño causado a los terraplenes. Al diseñar la corona de los bordos debe procurarse que el agua fluya con un flujo laminar para evitar que se reúna el volumen suficiente para que se dé la erosión de las pendientes cuando esta agua corra en las pendientes.
<i>Rejillas</i>	Las barras de las rejillas deben limpiarse frecuentemente. Lo recomendable es limpiarlas por lo menos dos veces al día y con mayor frecuencia en las épocas lluviosas. El material remanente tiene que disponerse de forma sanitaria todos los días.
<i>Desechos</i>	La maleza generada por el mantenimiento de las lagunas es recogida y dispuesta en un lugar habilitado dentro del terreno. Esto con el fin de obtener un material apto para utilizarse en el mantenimiento de las zonas verdes de la empresa. Los desechos generados en las actividades de los operarios, guantes, papel higiénico, otros, son almacenados en bolsas plásticas y posteriormente recogidos por el servicio de recolección de basura. Las aguas residuales generadas por baños, servicios sanitarios y lavatorios son dispuestas en el sistema de tratamiento actual.

### **Parámetros operacionales (AUTOCONTROL de la empresa)**

El control de los parámetros operacionales de la planta de tratamiento de efluentes contempla:

- Medición de caudales, a través de un flujómetro portátil en la canaleta Parshall
- Análisis de parámetros físico-químicos

En forma semanal se recomienda 2 diarias, se medirán los parámetros factibles de medir con equipos de laboratorio simples:

- pH, Caudal , Color(no obligatorio pero se recomienda , Temperatura, Sólidos sedimentables

Para tal efecto, se dispondrá con implementos tales como: pHmetro, termómetro, flujómetro, cono de Imhoff e instrumental de vidrio.

## Muestreo:

Es responsabilidad del operador realizar los muestreos anteriores, para ello se realizará un muestreo simple, en el cual la muestra es tomada en un corto periodo de tiempo, de tal forma que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

## Bitácora de manejo de aguas residuales.

El operador contará con un expediente foliado que utilizará como Bitácora de Manejo de Aguas Residual, en ella se registrarán diariamente o cuando corresponda, al menos:

- El registro de todos los detalles de operación y mantenimiento.
- Los resultados de las mediciones rutinarias
- La relación de la toma de muestra de los análisis periódicos.
- Los resultados de los análisis periódicos.
- La relación y toma de acciones correctivas de accidentes y situaciones anómalas que ocurran.
- La relación y observaciones de las visitas de inspección de los entes Legalmente facultados
- La relación de las modificaciones realizadas a los equipos y procesos del sistema de tratamiento.
- La relación documentada del manejo y destino de los lodos.

## Parámetros operacionales necesarios para reporte operacional

Los parámetros que la empresa deberá medir trimestralmente para presentar el reporte operacional ante el ministerio de salud. Se analizarán en un laboratorio externo, autorizado por el ministerio de salud; para tal efecto se tomarán muestras de:

**Tabla 54. Límites máximos permisibles según el Reglamento de Vertidos y Reuso 33601 para la refinería CIU 23202**

Parámetro	LMP Reglamento 33601 CIU mg/l
Sólidos suspendidos totales	50
Grasas y Aceites	30
Hidrocarburos Totales	10
Hidrocarburos Emulsificados	ND
Demanda Química de Oxígeno	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno	50
Fenoles	1
Sulfuros	25

## Cuadro Resumen

**Cuadro 1. Programa de actividades para el arranque, operación y mantenimiento de las el sistema de tratamiento de aguas residuales**

Unidad	Lugar	Actividad	Frecuencia	
			Periodo Arranque	Periodo operación
Separador API	Efluente	DQO, Grasas y aceites, SST, Hidrocarburos	Semanal	Mensual
	Afluente Canaleta Parshall	Caudal, pH, Oxígeno disuelto, temperatura	Diario	Diario
	Cámara de Flotación	Revisión de Cadenas y paletas	Diario	Diario
	Discos oleofílicos	Revisión de Aceite, estado de los ejes	Diario	Diario
	Válvulas de lodos	Revisión	Semanal	Semanal
	Bombas de saturación	Revisión general	Diario	Diario
	Skimmers	Revisión general	Diario	Diario
	Equipo de dosificación agua saturada	Revisión de tuberías y distribuidores	Diario	Diario
	Cámara de flotación	Formación de Floculo	Cada 2 horas	Cada 2 horas
Rejillas		Limpieza de rejillas	Dos veces por día	Dos veces por día
Dosificador Coagulante-floculante	Bombas	Revisión de funcionamiento	Mensual	Mensual
		Preparación disolución 1% de Cloruro Férrico Preparación disolución 1% de Polímero	Diario	Diario
		Pruebas de jarras	3 veces/día	3 veces/día
		Regular dosis	Diario	Diario

**Cuadro 2. Programa de actividades para el arranque, operación y mantenimiento de las el sistema de tratamiento de aguas residuales**

Unidad	Lugar	Actividad	Frecuencia	
			Periodo Arranque	Periodo operación
Laguna de oxidación	Efluente	DQO, SST, G y A , Hidrocarburos	Semanal	Mensual
		Temperatura , pH, Oxígeno disuelto	Semanal	Quincenal
	Laguna	Color, olor penetración de la luz, temperatura	Diario	Diario
		Sólidos decantables, pH	Semanal	Semanal
		Control de llenado	Diario	
		Medición de profundidad del nivel de agua	Diario	Semanal
		Medición profundidad de lodos	Añual	Añual
		Determinación de eficiencias	Semanal	Semanal
		Evaluación de la operación (balance hídrico)	Diario	Mensual
		Determinación de caudal de efluente de la planta	Diario	Diario
		Limpieza de taludes	Mensual	Mensual
		Remoción de lodos	-	Cada año
		Remoción de maleza	Semanal	Semanal
		Remoción de espuma	Cuando se presenten espumas	Cuando se presenten espumas

**Anexo 2. Metodología para Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de RECOPE S.A**

**INFORMACION GENERAL**

<b>Ente Generador:</b> Refinería RECOPE	
<b>Fecha:</b> 26 de octubre 2010	
<b>Código CIU:</b> 23201	
<b>Actividad:</b> Fabricación de productos diversos derivados del petróleo	
<b>Provincia:</b> Limón	<b>Cantón:</b> Limón
<b>Distrito:</b> Limón	
<b>Dirección Exacta:</b> 8 km de Limón, Ruta 32.	
<b>Permiso sanitario de Funcionamiento No:</b> 512-660-06	
<b>Rige:</b> 29-05-2006	<b>Vence:</b> 29-05-2011
<b>Cedula jurídica:</b> No 3-101-007749-04	
<b>Frecuencia de reportes:</b> trimestral	
<b>Responsable técnico:</b> Ing. Rowena Watson Ellis	
<b>No. Registro Ministerio de Salud:</b> RRRO-218-08-AR	

**2. DATOS DE DISEÑO**

<b>Elevación sobre el nivel del mar:</b> Refinería se localiza en una llanura o planicie aluvial con una elevación de 0 a 20 m sobre el nivel del mar	
<b>Forma de Conducción:</b>	Por Gravedad (x) Bombeo ( )
<b>Tipos de Descargas:</b>	Domesticas ( ) Industriales (x) Servicios ( )

**Características del Agua Residual**

**Caudal actual**

Promedio ----- L/s Máximo ----- L/s Mínimo ----- ----- L/s
---

**Tabla 55. Parámetros de calidad**

REPORTES	INFORME DPAH	PARÁMETROS PROMEDIOS								
#		Q (m <sup>3</sup> /día)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	T (°C)	SST (mg/l)	S.Sed (ml/l)	GyA (mg/l)	SAAM (mg/l)
Ultimo Reporte										

– **Disposición final de Agua Residual tratada**

Rio (x) Arroyo ( ) Canal Abierto ( ) Mar ( ) Embalse ( ) Recarga ( ) Otro ( )

**Uso de cuerpo receptor:** Las aguas son vertidas al Rio Moín

**3. Características físicas de la planta**

– **Unidades de Pretratamiento**

Ninguno ( ) Cribado y Remoción de Sólidos (x) Separación de Grasas (x)

Compensación y Almacenamiento (x)

– **Tratamiento Primario**

Químico:	Neutralización ( ) Adición de químicos y centralización ( ) Ninguno (x)
Físico:	Flotación de gas ( ) Sedimentación ( ) Filtración ( ) Ninguno (x)

– **Tratamiento Secundario**

Orgánico Disuelto: Lodos Activos ( ) Lagunas de Oxidación (x) Filtros percoladores ( ) Lagunas Aireadas ( ) RAFA ( ) FAFA ( ) Biodisco ( ) Otro ( ) Especifique -----
Eliminación de sólidos suspendidos: Sedimentación ( x)

– **Tratamiento Terciario**

Coagulación Sedimentación ( ) Filtración ( ) Absorción por Carbón ( ) Intercambio iónico ( ) Ninguno (x)
---

– **Tratamiento de lodos**

Digestión o combinación por Peso ( ) Centrifugación ( ) Filtro prensa ( ) Lecho de Secado (x)
---

### Disposición de lodos

Incineración (x) Abono (x) Relleno Sanitario ( ) Disposición al Océano ( )
--

### Medidores de Caudal

Vertederos (x) Canaleta Parshall (x) Tipo: Vertederos Rectangulares sin Restricción.
--

## 4. Documentos de diseños

**Tabla 56. Verificación de documentación**

Planos	SI( X ) NO( ) TIPO: Hay planos de los separadores API, de la laguna de Oxidación
Memoria descriptiva	SI ( X ) NO( ) TIPO: existen dos documentos que explican la operación de los sistemas pero no está a la mano de los operadores
Memoria de cálculo	SI ( X ) NO( ) TIPO: De diseño del API
Especificaciones técnicas	SI ( X ) NO( ) TIPO: existen dos documentos que explican la operación de los sistemas pero no está a la mano de los operadores y son muy generales
Manual de operación y mantenimiento	SI ( X ) NO( x ) TIPO: Del separador API, pero no se le da seguimiento
Bitácoras	SI ( x ) NO( ) TIPO: el operador realiza mediciones diarias de temperatura, caudal, pH y sólidos sedimentables

**Tabla 57. Verificación de servicios auxiliares**

Caseta de vigilancia	SI ( x )      NO ( ) TIPO: Solo personas autorizadas pueden entrar a la refinería
Iluminación	SI ( )      NO(x ) TIPO: existen dos documentos que explican la operación de los sistemas pero no está a la mano de los operadores
Agua potable	SI ( x )      NO ( ) TIPO: se manejan dispensadores para los operarios.
Servicios sanitarios	SI ( x )      NO ( )
Equipo de protección personal	SI ( x )      NO ( ) TIPO: se tiene equipo especial de muestreo , además la empresa suministra uniforme de trabajo

**5. Operación y mantenimiento**

Actividad	Frecuencia
Medición de caudal	
Frecuencia de Limpieza de: Rejas Conducción Tuberías Superficies contaminadas con crudo	
Cambio de pintura de unidades	
Frecuencia de Remoción de flotantes : Natas Espumas Sólidos flotantes Vegetación flotante	
Disposición de material flotante	
Frecuencia remoción de vegetación de taludes	
Disposición de vegetación	
Frecuencia de cambio de mecha oleofílica	
Frecuencia de dragados de lodos en lagunas	

Mantenimiento de obras civiles: Excelente ( )

Bueno ( ) Regular ( )

Malo ( )

Justificación : -----  
 ---

Mantenimiento de áreas verdes: Excelente ( )      Bueno ( ) Regular ( )      Malo ( )

Justificación : -----  
 ---

Mantenimiento de taludes: Excelente ( )      Bueno ( ) Regular ( )      Malo ( )

Justificación : -----  
 ---Mantenimiento de accesos Excelente ( )      Bueno ( ) Regular ( )      Malo ( )

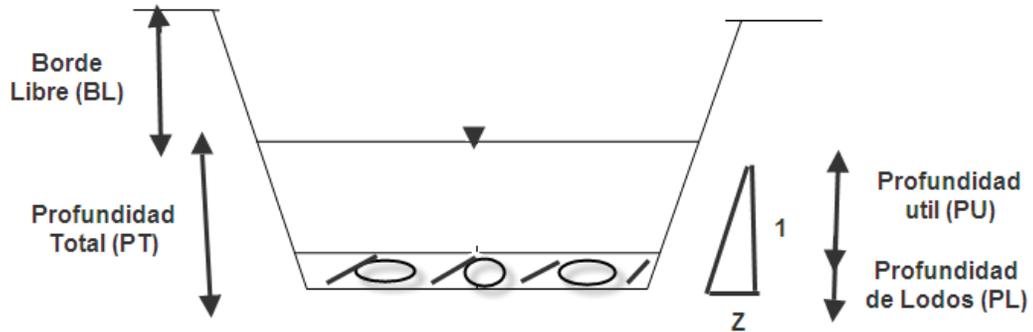
Justificación : -----  
 ----

Mantenimiento de bombas: Excelente ( )      Bueno ( ) Regular ( )      Malo ( )

Justificación : -----  
 ----

Mantenimiento de unidades de Pretratamiento: Excelente ( )      Bueno ( ) Regular ( )  
 Malo ( )

Justificación : -----  
 Dimensiones de las lagunas



Laguna	Dimensiones de espejo de agua (m)		PT (m)	PU (m)	PL (m)	BL (m)	Z (m)
	Largo	Ancho					
No 1							
No2.							

Tabla 58. Verificación de cumplimiento de la parte funcional

Norma	Especificación	Condición de la Planta
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Sistema independiente para realizar labores de mantenimiento	El sistema de separación API de 10000 galones actualmente se encuentra sobrediseñado por lo cual permite segregar las aguas en caso de que éste requiera de mantenimiento. En el caso de la laguna esta es dragada una vez al año.
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Tuberías deben pintarse y rotularse según lo transportado Negro: aguas crudas. Naranja: purga de lodos, natas y otros desechos Gris: aguas tratadas	Las aguas son conducidas por medio de canales, pero estos no cuentan rotulación que indique el tipo de agua transportada.
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Dispositivo para la medición del caudal de salida y entrada,	Solo cuenta con una canaleta Parshall en la salida final del sistema, pero esta no está operando adecuadamente.
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Caja de registro para la toma de muestras en un punto intermedio entre la salida del tratamiento y el cabezal del desfogue	
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Memoria de cálculo para los diseños	Existen para el Separador API, las lagunas no cuentan.
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Manual de operación y mantenimiento	Solo el API cuenta con uno pero este se encuentra en ingles y no está disponible para los operarios.

**Tabla 59. Obligaciones del Ente Generador**

Norma	Especificación	Condición de la Planta
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Permiso de ubicación y funcionamiento aprobado y vigente	
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Contar en todo momento con el personal y equipo requeridos.	Hay personal destinado y capacitado
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Operar y mantener el sistema en apego al manual aprobado de operación y mantenimiento.	No se cuenta con manual de operación y mantenimiento.
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Realizar los muestreos y análisis de laboratorio con la frecuencia requerida, y de reportarlos al Ministerio de Salud o a la entidad administradora del alcantarillado sanitario.	Se realizan cada 3 meses y se toman 13 puntos de muestreos.
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Notificar inmediatamente al Ministerio de Salud o a la entidad administradora del alcantarillado sanitario, cualquier anomalía operacional, violación a los límites autorizados, derrames u otros accidentes, detallando los hechos y el plan de contingencia adoptado.	
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Solicitar permiso al Ministerio de Salud y a la entidad administradora del alcantarillado sanitario, antes de remodelar o modificar en alguna forma el sistema de tratamiento.	
Reglamentos de Aprobación y Operación de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAET	Se cuenta con bitácora de control operacional	Hay registros operacionales diarios.

**Cuadro 3. Comportamiento de la Operación del Separador API**

Fecha de Reporte	Sólidos		Grasas Aceites mg/l		Hidrocarburos Totales		Hidrocarburos		DQO		DBO	
	Suspendidos				mg/l		Emulsificados		mg/l		mg/l	
	mg/l						mg/l					
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	( ± 6)	( ± 6)	( ± 1)	( ± 1)	( ± 5)	( ± 1)	( ± 3)	( ± 2)	( ± 20)	( ± 5)	( ± 16)	( ± 2)
ene-10	60	34	16	15	920	38	700	29	38	25	18	12
nov-09	34	22	8	6	69	42	50	35	44	32	27	18
Ag- 2009	28	42	14	13	95	32	82	16	84	65	47	38
ene-09	300	144	34	10	89	25	70	15	148	42	62	18
abr-08	176	50	90	10	351	68	185	50	790	110	420	58
Set -07	416	160	110	8	228	6	48	6	1100	50	580	12
mar-06	140	68	450	28	310	12	180	10	520	74	210	25
jun-06	116	104	380	22	320	16	190	15	87	40	52	17
oct-06	696	56	650	32	820	38	320	26	2580	170	1100	48
dic-06	696	56	600	24	820	38	320	26	2290	150	980	28
Ag-2005	1332	408	86200	92	81500	125	31200	80	716	25	210	11
Ag- 2002	52	196	1320	60	1020	155	290	120	397	209	290	48
Promedio	337,1667	111,6667	7489,333	26,66667	7211,833	49,58333	2802,917	35,66667	732,8333	82,66667	333	27,75

**Cuadro 4. Comportamiento operacional de la Laguna de Oxidación**

Fecha de Reporte	Sólidos		Grasas Aceites mg/l		Hidrocarburos Totales		Hidrocarburos		DQO		DBO	
	Suspendidos				mg/l		Emulsificados		mg/l		mg/l	
	mg/l						mg/l					
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	( ± 6)	( ± 6)	( ± 1)	( ± 1)	( ± 5)	( ± 1)	( ± 3)	( ± 2)	( ± 20)	( ± 5)	( ± 16)	( ± 2)
ene-10	34	28	15	8	38	2,1	29	1,8	25	30	12	13
nov-09	22	14	6	4	42	2,5	35	2,1	32	17	18	10
Ag- 2009	42	24	13	8	32	5,2	16	4,2	65	17	38	7
ene-09	144	48	10	4	25	2	15	1,5	42	16	18	8
abr-08	50	20	10	6	68	0,99	50	0,99	110	26	58	7
Set -07	160	30	8	8	6	7	6	7	50	27	12	17
mar-06	68	18	28	17	12	15	10	10	74	26	25	10
jun-06	104	32	22	11	16	10	15	10	40	20	17	10
oct-06	56	28	32	12	38	22	26	20	170	38	48	22
dic-06	56	5	24	10	38	22	26	20	150	30	28	14
Ag-2005	408	64	92	72	125	70	80	52	25	33	11	4
Ag- 2002	196	4	60	44	155	25	120	16	209	38	48	14
Promedio	111,6667	26,25	26,66667	17	49,58333	15,31583	35,66667	12,1325	82,66667	26,5	27,75	11,33333

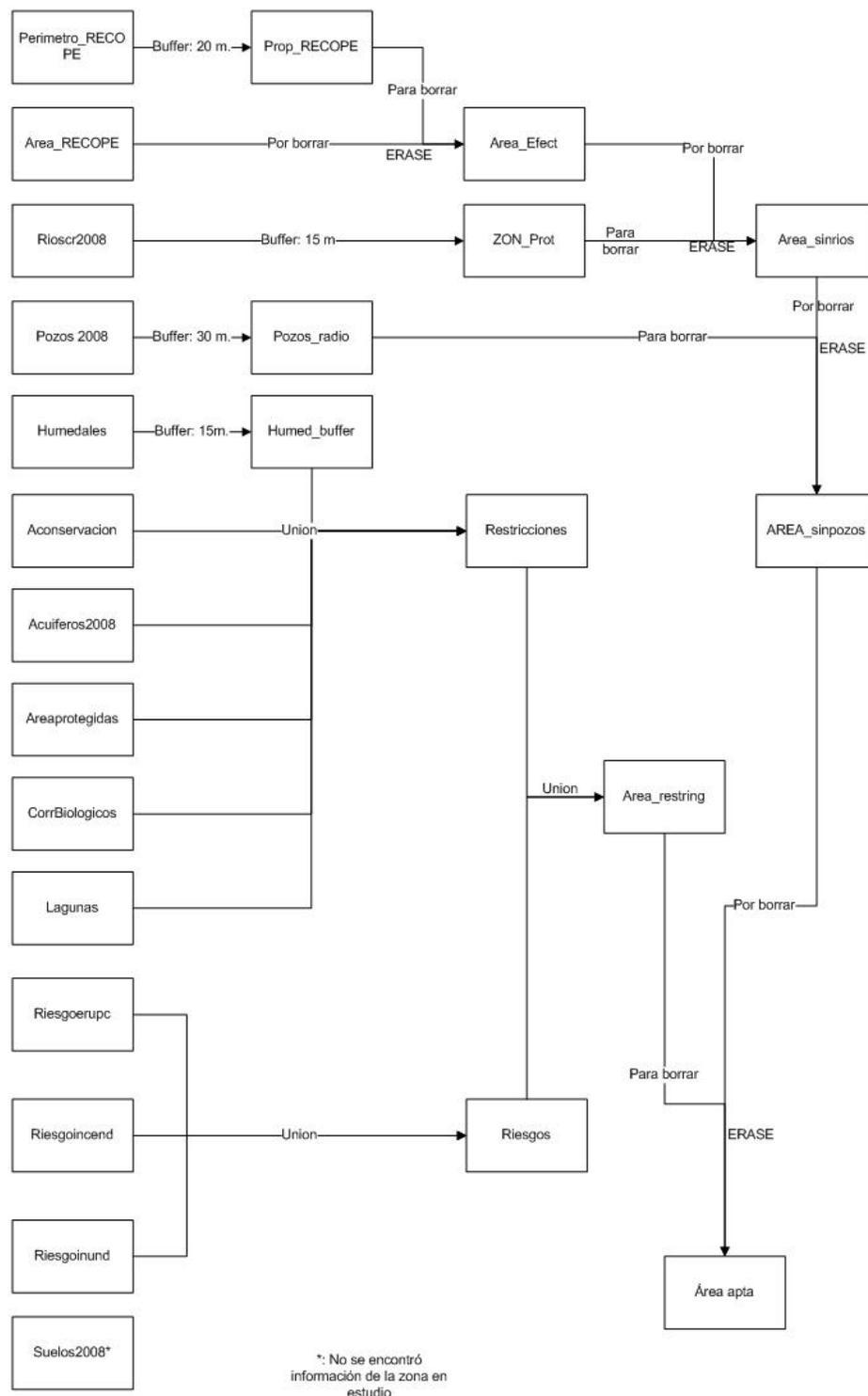
**Tabla 60 .Matriz de correlación entre factores físicos y tipos de tratamiento.**

Tratamiento	Factores Físicos Características de Implantación y Funcionamiento	relevo	solo					clima				
		Declividad	Permeabilidad	Textura	Granulometría	Resistencia	Nivel Freatico	Pluviosidad	Regimen vientos	Temperatura	Luminosidad	Evaporación
Laguna Facultativa	Área	5							5			
	Escavación/mov. de tierra			2	2	2	5					
	Impermeabilización		5	5	5		4					
	Reacciones Bioquímicas							1		5	2	
	Mezcla y Renovación de O2								5	4		
Laguna anaerobia - Laguna Facultativa	Penetración de la luz										5	
	Área	5							5			
	Escavación /mov. de tierra			2	2	2	5					
	Impermeabilización		5	5	5		4					
	Reacciones Bioquímicas							1		5	2	
	Mezcla y Renovación de O2								5	4	2	
Laguna aerada de mezcla completa - Laguna Facultativa	Penetración de la luz										5	
	Área	5										
	Escavación/mov. de tierra			2	2	2	5					
	Impermeabilización		5	5	5		4					
	Reacciones Bioquímicas							1		5	2	
Laguna aerada de mezcla completa - Laguna de decantación	Mezcla y Renovación de O2								5	4	2	
	Área	4										
	Escavación/mov. de tierra			2	2	2	5					
	Impermeabilización		4	5	5		4					
	Reacciones Bioquímicas							1		5	2	
Lodos Activados Convencional	Mezcla y Renovación de O2								4		2	
	Área	1										
	Escavación/mov.de tierra			1	1	2	3					
	Fundaciones					5	3					
	Estructuras					5						
	Reacciones Bioquímicas								5			

Fuente: (Sobalvarro, y otros, 2005)

El reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales establece como requisito para construir y operar cualquier sistema de tratamiento debe contar con permiso de ubicación y de construcción (artículo 4). Además, todo sistema de tratamiento deberá contar con algún dispositivo para la medición del caudal de salida y entrada, una caja de registro para la toma de muestras en un punto intermedio entre la salida del tratamiento y el cabezal del desfogue, memoria de cálculo y manual de operación y mantenimiento.

**Figura 64. Metodología empleada para la ubicación de la planta de tratamiento en el programa Arc Gis**



## Productos probados en las pruebas de tratabilidad

**Tabla 61. Reactivos utilizados en el ensayo**

Nombre	Descripción	Uso	Color	Aspecto	Equipo
CALLAWAY C-4893	Poliacrilamida catiónica Copolímero agua en emulsión de aceite	Floculante	Blanco	Líquido	Usar gafas Guantes, Gavacha
CALLAWAY I-4140	Solución salina acuosa	Coagulante	claro	líquido	Usar gafas Guantes, Gavacha
Kemira PIX-111	Cloruro férrico	Floculante	marrón rojizo	líquido	Usar gafas Guantes, Gavacha
CALLAWAY 4030	Amida orgánica	Coagulante	Blanco	Líquido	Usar gafas Guantes, Gavacha
Flok eco 8040	Poliacrilamida catiónica Copolímero agua en emulsión de aceite	Floculantes	Blanco	líquido	Usar gafas Guantes, Gavacha
Sulfato de Aluminio	Sal catiónica	Coagulante	Blanco	Sólido	Usar gafas Guantes, Gavacha

Fuente: (CALLAWAY, 2010)

### ENSAYO 1. COAGULACION – FLOCULACION

- Lugar: Laboratorios de Bio-Engineering
- Fecha: 26 de agosto 2010
- Supervisión: Ing. Nancy Carvajal

#### Objetivo:

- Determinar el tipo coagulante y floculante que presenta mejor formación de flóculos con las aguas de Refinería RECOPE.

#### Metodología

Inicialmente se visitó la Refinería con la finalidad de tomar muestras de agua residual provenientes de la salida del Separador API aproximadamente 3,8 litros. Estas muestras se preservaron por medio de refrigeración, para que al día siguiente se elaboraran las primeras pruebas de tratabilidad con productos químicos.

Las pruebas se realizaron para determinar cual coagulador en conjunto con floculador forman mejor coagulo. Para ello, se probaron varios compuestos y se realizaron varias combinaciones.

## ENSAYO 2. PRUEBA DE COAGULACION – FLOCULACION EN LA REFINERIA

- Lugar: Refinería Moín RECOPE
- Fecha: 08 de Setiembre
- Elaborado: Luis Guillermo Valerio Pérez.
- Supervisión: Msc. Samuel Cubero, ing. Cristian Bogantes y Fernando Bourrouet

### Objetivo

- Determinar el comportamiento del Coagulante Kemira PIX-111 en conjunto con algunos Floculantes en condiciones reales dentro de la Refinería.

### Metodología

Inicialmente se realizó un recorrido por la planta de tratamiento con el ingeniero Cristian Bogantes de la empresa Bio-Engineering para mostrarle los alcances del proyecto, con la finalidad de que con su experiencia en el campo evaluará la infraestructura y brindará recomendaciones de cómo ir formulando el trabajo. Seguidamente, se procedió a tomar muestras de agua residual provenientes de la salida del Separador API aproximadamente 3 litros, con el fin de realizar las pruebas de tratabilidad con productos químicos.

#### A. Actividad evaluación de canaleta Parshall

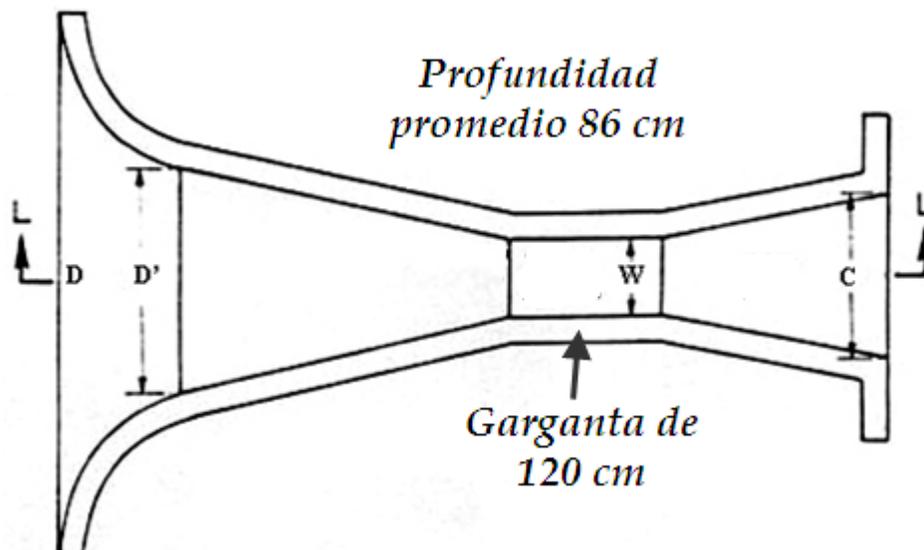


Figura 65. Dimensiones de operación de canaleta Parshall

## B. Medición de caudal Canaleta Parshall

$$Q = 4 \cdot L \cdot H^{1.522} \cdot 1^{0.263}$$

Donde H y L en pies, Q es dado en pies<sup>3</sup>/s

**Tabla 62. Caudales reportados en la Canaleta Parshall**

CANALETA PARSHALL	Magnitud	Unidades
Garganta	4,00	pies
Profundidad máxima	3,00	pies
Profundidad del día	49,21	pies
Caudal máximo	169,97	pies <sup>3</sup> /s
Caudal Reportado para el día	295,27	pies <sup>3</sup> /s

**Tabla 63. Medición de vertederos de salida de laguna de oxidación No. 1**

Salidas	Largo m	Columna de agua m
1	1,50	0,045
2	1,52	0,045
3	1,52	0,045
4	2,80	0,045
5	2,80	0,045
6	2,80	0,045

Para una profundidad de 1m

## C. Medición de Caudales

Un coeficiente  $C_d$  determinado experimentalmente, se involucra para considerar el uso de las suposiciones, entonces:

$$Q_E (\text{EMPIRICO}) = C_d \frac{2}{3} b \sqrt{2g} h^{3/2}$$

Fuente: (Sotelo, 2008)

Donde,

- b: Longitud de la cresta del vertedero.
- h: Carga del vertedero. es el desnivel entre la superficie libre de aguas arriba y la cresta del vertedero
- p : es la altura de la cresta del vertedero medida desde el piso del canal
- Z: Espesor de la lámina de agua, aguas abajo del vertedero
- $C_d$  es conocido como Coeficiente de Descarga.

Un vertedero rectangular sin contracción es aquel cuyo ancho es igual al del canal de aproximación. Para este tipo de vertedero es aplicable la fórmula de Rehbock para hallar el valor de  $C_d$ : (Sotelo, 2008)

$$C_d = 0,602 + 0,083 \frac{h_v}{p}$$

Con lo anterior se tiene que

**Tabla 64. Caudal de salidas de lagunas de oxidación No 1.**

Vertedero	Coefficiente de Descarga. $C_d$	Caudal $m^3/s$
1	0,605	0,113
2	0,605	0,115
3	0,605	0,115
4	0,605	0,211
5	0,605	0,211
6	0,605	0,211
	<b>total</b>	0,978

#### D. Medición Caudal salida API

**Tabla 65. Datos de vertederos de separador API**

Salidas	Largo m
1	5,30
2	5,50

Altura de vertederos 2,5 m

Con la fórmula anterior se tiene que

**Tabla 66. Caudales de salidas separador API**

Salidas	Coficiente de Descarga. Cd	Caudal m <sup>3</sup> /s
1	0,602	0,042
2	0,602	0,043
	total	0,085
	En m <sup>3</sup> /h	305,835

Equipo de muestreo



### **ENSAYO 3. COAGULACION – FLOCULACION EN LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL TEC.**

- Lugar: Laboratorios Ing. Ambiental TEC
- Fecha: 30 de setiembre del 2010
- Elaborado: Guillermo Valerio Pérez.
- Supervisión: Ing. Nancy Carvajal, Marco Méndez

#### **Objetivo:**

- Determinar la dosis óptima del Coagulador y el Floculador según pruebas de tratabilidad para las aguas de Refinería de Moín, Limón de RECOPE.

#### **Metodología**

Inicialmente se visitó la Refinería con la finalidad de tomar muestras de agua residual provenientes de la entrada del Separador API aproximadamente 3 galones.

Estas muestras se preservaron por medio de refrigeración, para al día siguiente realizar las pruebas a las 9 de la mañana.

En los ensayos anteriores se habían determinado cuales reactivos son los que presentaban mejores resultados, por lo que en esta práctica ayudó a determinar cuál era la dosis óptima y con mejores resultados de tratabilidad. Para ello se diseñó un modelo experimental de 3 variables (dosis de coagulante, dosis de floculante y tipo de coagulante) y se tomó como parámetro de respuesta la turbiedad en unidades de NTU.

Inicialmente se realizó una caracterización de las aguas, luego se procedió a realizar unas pruebas cualitativas para corroborar los resultados obtenidos anteriormente.

#### ENSAYO 4. COAGULACION – FLOCULACION EN PLANTA PILOTO

- Lugar: Laboratorios Ing. Ambiental TEC
- Fecha: 07 de octubre del 2010
- Elaborado: Guillermo Valerio Pérez.
- Supervisión: Ing. Nancy Carvajal, Marco Méndez, ing. Samuel Cubero, ing Macario Pino, Lilliana Gaviria

#### **Objetivo:**

- Simular el comportamiento de una dosis óptima a escala mayor, buscando condiciones reales.

// Equipo utilizado en la prueba para simular coagulación- floculación a escala.

#### **Metodología**

Inicialmente se visitó la Refinería con la finalidad de tomar muestras de agua residual provenientes de la entrada del Separador API aproximadamente 300 litros. El agua para realizar la prueba fue tomada a la 1 de la tarde con la colaboración de Ing. Samuel Cubero y Luis Solano, para la recolección se utilizó un equipo de bombeo de derrames de la empresa para bombear el agua del separador a los barriles. A continuación se detalla el equipo.



**Figura 66. Configuración de equipo de muestreo**

// El anterior equipo se utilizó para conducir las aguas del separador hacia los barriles ubicados en vehículo.

### **A. Aplicación en Planta Piloto**

1. Agregar un volumen de agua residual al depósito de alimentación del coagulante a través de una bomba eléctrica.



**Figura 67. Alimentación del módulo de tratamiento**

// Para realizar las pruebas fue indispensable la ayuda del profesor tutor Samuel Cubero

2. Medir dimensiones del depósito para determinar el volumen adicionado.
3. Agregar la dosis de coagulante correspondiente. Agitar hasta deshacer.
4. Preparar la dosis adecuada de floculante en el depósito de alimentación correspondiente.
5. Corroborar que el equipo se encuentre en posición de arranque.
6. Arrancar el equipo.
7. Dejar que inicie el software y se establezca el sistema computarizado.

### **ENSAYO 5. COAGULACION – FLOCULACION**

- Lugar: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Empresa Procesadora de Pollo.
- Fecha: 15 de octubre del 2010
- Elaborado: Guillermo Valerio Pérez.
- Supervisión: Ing. Cristian Bogantes.

#### **Objetivo:**

- Simular el comportamiento de algunas dosis óptimas en un Sistema de Flotación con Aire Disuelto (FAD) que esté operando en condiciones óptimas y a gran escala.

#### **Metodología**

Se colectó 1 galón de agua de la entrada el Separador API No.1, a las 2 y 30 pm, la cual se preservó al día siguiente por medio de refrigeración.

Al día siguiente a las 10 de la mañana, se visitó la planta de tratamiento de una empresa procesadora de Pollo para realizar pruebas cualitativas en un FAD que

esté operando de forma continua y similar al que se pretende recomendar para implementar en RECOPE.

Posteriormente se realizaron 4 tratamientos diferentes, a los cuales fueron

- Prueba con 160 ppm de Coagulante PIX y 16 ppm de Floculante 4893
- Prueba solo adicionando agua saturada
- Prueba solo adicionando 16 ppm de floculante
- Prueba con 80 ppm de Coagulante PIX y 8 ppm de Floculante 4893

Para cada tratamiento se tomó 250 ml de agua cruda proveniente del Separador API No1, para después aplicar las dosis de Coagulante- Floculante. Posteriormente, se le agregó 50 ml de agua saturada proveniente del DAF a 120 Psi, esto para simular un 20% de recirculación que se da generalmente se aplica en un sistema DAF. Posteriormente, se deja de reposar el agua para que se produzca la flotación.

### Componentes de un equipo FAD

**Figura 68. FAD de la planta de procesamiento de Pollos**



**Tabla 67. Caracterización de aguas de enfriamiento**

Parámetro	Unidades	1	2	3	4
Temperatura (°C)		35	30	29	40
pH		6,79	6,96	6,86	7,82
Turbidez	NTU	13,90	15,20	46,40	35,80
Color Pt/Co		13,60	17,10	24,70	18,20
Conductividad Electrica	uS/cm	700,00	704,00	554,00	527,00
Sólidos Totales	mg/l (ppm)	388,00	374,00	316,00	252,00
Sólidos disueltos	mg/l (ppm)	374,00	362,00	296,00	238,00
Sólidos suspendidos totales	mg/l (ppm)	14,00	12,00	12,00	14,00
DQO	mg/l (ppm)	21,00	23,00	18,00	18,00
DBO <sub>5</sub>	UT	4,00	7,00	8,00	6,00
Grasas y aceites	mg/l (ppm)	3,00	3,00	4,00	3,00
Alcalinidad total	mg/l (ppm)	98,00	102,00	95,00	94,00
Dureza Total (RM expresada como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l (ppm)	134,00	135,00	116,00	120,00
Dureza de Calcio (expresada como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l (ppm)	79,00	80,00	71,00	75,00
Cloruros (Cl)	mg/l (ppm)	173,00	173,00	130,00	130,00
Sulfatos	mg/l (ppm)	17,00	18,00	14,00	14,00
Sílice	mg/l (ppm)	17,00	18,00	17,00	19,00
Hidrocarburos totales Cromatografía	mg/l (ppm)	0,20	0,31	1,10	0,40

Fuente: (Cubero, 2010)

**Tabla 68 Datos climatológicos de la estación de Limón**

Mes	Precipitación	Temperaturas	H relativa
	mm	°C	%
enero	317,3	24,3	87
febrero	210,7	24,6	86
marzo	203,9	25,3	85
abril	276	25,7	84
mayo	282	26,1	86
junio	295	26	87
julio	427	25,4	88
agosto	321,4	25,6	87
setiembre	143,3	25,9	86
octubre	206,4	24,7	86
noviembre	390,9	25,1	87
diciembre	425	24,7	87
Promedio	291,6	25,2	86,3
Desviación estándar	87,3	0,6	1,0

Fuente: (Consultecnica, 1989)

// Estos datos corresponden a un promedio comprendido entre 1970- 1989.

**Tabla 69. Precios internacionales del crudo en algunos meses del 2010**

<b>Mes año 2010</b>	<b>Cushing, OK WTI Spot Price FOB (Dollars per Barrel)</b>
Julio	76,32
Agosto	76,60
Setiembre	75,24
Octubre	81,89
Noviembre	84,25
Diciembre	88,99
<b>Promedio</b>	<b>80,55</b>
Desviación estándar	5,45

Fuente: (EIA, 2011)

**Tabla 70. Equipos Ofertados**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
9	Bombas de Saturación agua aire	Construidas en acero inoxidable 316, succión en 3 pulgadas, descarga en 2.5 pulgadas, motor contra explosión, burbujas de 30 micrones, motor de 30 Hp cada una, 3500 rpm, TEFC/460V, 60Hz, 100psi, 200 gpm cada una, 2 etapas, impulsor abierto, con consumo de aire de 3.5 scfm por cada bomba.
1	Compresor aire, tipo tornillo	15 Hp, con capacidad para 45 cfm a 100 psi
3	Bombas de cavidad progresiva	Una para cada API, 5 m3/h
96	Difusores	Difusores de acero inoxidable, de 3 pulgadas de diámetro y 20 cm de longitud
100	Válvula de bola	De ½ pulgada contruida en acero inoxidable
3	Distribuidores de agua saturada con acoples para válvulas	Tubo hecho en acero al carbono de 6 pulgadas de diámetro
3	Canaletas de recolección de lodos	Construcción en acero inoxidable con cárcamo para succión de lodos
3	Sensores de nivel	Tipo ultrasónico
1	Panel eléctrico	NEMA 4X
1	Panel neumático	Con rotámetros para medición del flujo de aire a cada bomba

Fuente: (Bogantes, 2011)

### **CANON DE VERTIDOS**

El sujeto de cobro del canon lo constituye toda persona, física o jurídica, pública o privada, con actividades lucrativas o no, que vierta sustancias que de algún modo altere la

calidad de los cuerpos de agua, o bien, provoque efectos nocivos sobre la salud de las personas y el ambiente.

Fórmula de cobro:

$$Cc = Q \times C \times t \times 0.0864 \times \frac{t}{24} \text{ (REPÚBLICA, 2008)}$$

En donde:

Cc: es la carga contaminante expresada en kilogramos por día, Q: Caudal promedio, expresado en litros por segundo

C: es Concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro, 0,0864: es el factor de conversión en unidades y t: tiempo de vertido del usuario expresado en horas por día

El artículo 23 del Reglamento de comentario fija, la suma de Veintidós centavos de dólar (\$0,22), o su equivalente en colones, por cada kilogramo de DQO vertido y de Diecinueve centavos de dólar (\$0,19) o su equivalente en colones, por cada por cada kilogramo de SST vertido.

Cálculo de monto mensual de cobro, para cada parámetro de contaminación vertido (j) se calculará el monto a cobrar por concepto del canon (Monto Cvj), multiplicando el monto correspondiente a dicho parámetro (Mcj) por la Carga contaminante diaria de la misma (Ccj) y por el período de descarga mensual (T), calculándose el monto a cobrar así:

$$\text{Monto Cvj} = \text{Mcj} \times \text{Ccj} \times \text{T}$$

j = Parámetro de contaminación objeto de cobro, Monto Cvj =Monto a cobrar por concepto del canon ambiental por vertidos del parámetro j, Mcj = Monto correspondiente al parámetro j, Ccj = Carga contaminante diaria del parámetro j y T = Período de descarga mensual