

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO PARA EL SISTEMA DE RECOLECCION SUPERFICIAL DE HIDROCARBUROS PARA LA PISCINA DE CARGA BA-4001 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR DE LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA ECOPEPETROL S.A.

JORGE HUMBERTO CABALLERO GOMEZ  
CODIGO: 1982702

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2008

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO PARA EL SISTEMA DE  
RECOLECCION SUPERFICIAL DE HIDROCARBUROS PARA LA PISCINA  
DE CARGA BA-4001 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PTAR DE LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA  
ECOPETROL S.A.

JORGE HUMBERTO CABALLERO GOMEZ  
CODIGO: 1982702

TESIS DE GRADO  
Presentada como requisito para optar al título de Diseñador Industrial

DIRECTOR  
M.D.I. HECTOR JULIO PARRA

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2008

## **RESUMEN**

**\*TITULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO PARA EL SISTEMA DE RECOLECCION SUPERFICIAL DE HIDROCARBUROS PARA LA PISCINA DE CARGA BA-4001 DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR DE LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A.

**AUTOR:** JORGE HUMBERTO CABALLERO GOMEZ \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Hidrocarburo, agua, aceite, medio-ambiente, tratamiento, conservación

### **DESCRIPCION.**

La refinación del petróleo es una de las actividades más importantes de la industria manufacturera del país ya que a través de ella se elaboran subproductos que son de gran utilidad en el resto de la industria, tales como combustibles (líquidos y gaseosos), lubricantes, asfaltos y productos químicos, entre otros.

La refinación del petróleo es la industria que mas demanda el uso del agua y lo devuelve al río en condiciones no aptas para el consumo humano, afectando la calidad del agua, el ciclo de vida animal y el medio ambiente.

La GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA (GRB) de ECOPETROL SA. Preocupada por esta situación y dando cumplimiento a una política de responsabilidad social con sus trabajadores, el entorno de trabajo, con la naturaleza y el medio ambiente en toda el área de influencia de sus campos de producción ha implementado una serie de estrategias y acciones encaminadas a disminuir la contaminación del agua del río Magdalena y de sus ciénagas.

El proyecto está enfocado a solucionar una pequeña parte que es la separación primaria del agua y el hidrocarburo que llega a la PTAR (PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES).

Este proyecto define la construcción de un modulo separador capaz de extraer el hidrocarburo del agua utilizando nuevos métodos de absorción de grasas o aceites realizando una combinación de técnicas de separación y de movilidad dentro de las piscinas donde hay tratamiento de aguas y así ayudar a disminuir los altos índices de contaminación que tanto afectan la salud de los trabajadores.

---

\* TESIS DE GRADO

\*\* FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS, ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL, DIRECTOR M.D.I. HECTOR JULIO PARRA

## **SUMMARY**

**\*TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF I MODULATE FOR THE SYSTEM OF SUPERFICIAL HYDROCARBON HARVESTING FOR THE SWIMMING POOL OF LOAD BA-4001 OF THE PLANT OF RESIDUAL WATER TREATMENT PTAR OF COMPLEX MANAGEMENT BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A.

**AUTHOR:** JORGE HUMBERTO CABALLERO GOMEZ \*\*

**KEY WORDS:** Hydrocarbon, water, oil, mean-atmosphere, treatment, conservation

## **DESCRIPTION.**

The refinement of petroleum is one of the most important activities of the manufacturing industry of the country since through her by-products are elaborated that are very useful in the rest of the industry, such as combustible (liquid and gaseous), lubricants, asphalts and chemical agents, among others. The refinement of petroleum is the industry that but demands the use of the water and it gives back it to the river in conditions non apt for the human consumption, affecting the quality of the water, the service life animal and environment.

The MANAGEMENT REFINERY BARRANCABERMEJA (GRB) of ECOPETROL SA. Worried about this situation and giving fulfillment to a policy of social responsibility with its workers, the work surroundings, with the nature and environment on all the area of influence of its fields of production have implemented a series of strategies and directed actions to diminish the contamination of the water of the river Magdalena and of their bogs.

The project is focused to solve a small part that is the primary separation of the water and the hydrocarbon that arrives at PTAR (PLANTA OF TRATAMIENTO OF AGUAS RESIDUALES).

This project defines the construction of I modulate separator able to extract hydrocarbon of the water using new methods of absorption of fats or oils making a combination of techniques of separation and mobility within the swimming pools where there is water treatment and thus to help to diminish the high indices of contamination which as much they affect the health of the wor

---

\* TESIS DE GRADO

\*\* FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS, ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL, DIRECTOR M.D.I. HECTOR JULIO PARRA

## **AGRADECIMIENTOS**

El hombre alimenta su alma y su corazón con las cosas más pequeñas de la vida, su cuerpo y su mente los alimenta con la razón y el conocimiento que nunca dejarán de existir.

Un profundo agradecimiento a la academia por todos esos años que me ayudaron a ser mas persona con sólidas bases técnicas que me permitieron formar criterios como profesional

Un inmenso agradecimiento a la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL S.A. por brindarme la oportunidad de seguir mi carrera técnica y adquirir conocimientos avanzados en la industria petrolera.

A mi director de proyecto de grado HECTOR JULIO PARRA por su paciencia y recomendaciones claves para salir adelante con mi proyecto

A mi familia en especial a mis viejos por el sacrificio y la esperanza que tuvieron en mí, a mis hijos que son mi inspiración y fuente de energía para salir adelante.

## CONTENIDO

INTRODUCCION	19
1. ORIGEN DEL PROYECTO	20
1.1. JUSTIFICACION	21
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	22
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO	23
1.4. DESCRIPCION DEL PROCESO DE HIDROCARBUROS	23
1.4.1. RESIDUOS DE HIDROCARBUROS	23
1.5. DESCRIPCION DEL COMPONENTE AGUA	29
1.5.1. RESIDUOS DE AGUAS CONTAMINADAS	31
1.6. ESTRUCTURA OPERATIVA (GCB) ECOPETROL S.A.	32
1.6.1. TRATAMIENTO DE HIDROCARBUROS	34
1.6.2. USOS DEL COMPONENTE AGUA EN LA GCB	37
1.7. COMPONENTE AMBIENTAL DE LA GCB ECOPETROL S.A	38
1.7.1. ESQUEMA GENERAL DE AGUAS LLUVIAS Y ACEITOSAS	40
1.7.2. SEPARADORES 3010 – 3020 - 3030 - 3050	41
1.7.3. PISCINA PULMÓN SE-3054	42
1.8. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR"	47
1.8.1. PROCESOS GENERALES DE LA "PTAR"	48
1.8.2. OBJETIVOS Y FUNCIONES DE LA "PTAR"	51
1.8.3. PROCESOS INTERNOS DE LA "PTAR"	53
1.8.4. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS	56
1.9. PISCINA DE CARGA BA-4001	60
1.9.1. TIPOS DE AGUAS DE LA PISCINA DE CARGA	62
1.9.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PISCINA	63
1.9.3. SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN	63
1.9.4. MECÁNICA DE LA W-4003	66
1.9.5. CARACTERÍSTICAS LA DESNATADORA	67
1.9.6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE ESTE SISTEMA	70
2. NORMAS SISTEMA NACIONAL AMBIENTAL	71
2.1. LEY CONSERVACION DEL AGUA	72
2.2. CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS RENOVABLES	73
2.3. PLAN NACIONAL CONTRA DERRAMES DE HIDROCARBUROS	73
3. INGENIERIA CONCEPTUAL Y BASICA	75

3.1. INFORMACION PRELIMINAR	75
3.1.1. GRASAS – ACEITES – HIDROCARBUROS RESIDUALES	75
3.1.2. PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN DE HIDROCARBUROS	81
3.1.3. MATERIAL PARTICULADO DE ACEITE EN EL AGUA	83
3.1.4. DISEÑO DE UN SEPARADOR	86
3.1.5. FORMULAS PARA LA SEPARACIÓN DE HIDROCARBUROS	88
3.1.6. CAPACIDAD DE RECOLECCIÓN DE GLÓBULOS DE ACEITE	89
3.1.7. DISEÑO DE LA PISCINA DE UN SEPARADOR	90
3.1.8. RELACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DE UN SEPARADOR	90
3.1.9. REMOCIÓN DE GRASAS, ACEITES Y SÓLIDOS	92
3.1.10. PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL AGUA	94
3.2. TIPOS DE SISTEMAS SEPARADORES	100
3.2.1. SEPARADORES DE DISCO	100
3.2.2. SEPARADORES GRAVITACIONALES API	101
3.2.3. SEPARADORES TIPO TANQUES	105
3.2.4. SEPARADORES TIPO BAFLES	106
3.2.5. SEPARADORES – DESNATADORES	107
3.2.6. SEPARADORES ESTÁTICOS CON MANGUERA	110
3.2.7. SEPARADORES TIPO BARCO	111
3.2.8. SEPARADORES TIPO GRABBER	112
3.2.9. TIPOS DE CINTAS ABSORBENTES	113
3.3. PARAMETROS FUNCIONALES	115
3.3.1. ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN MODULAR	117
3.3.2. DESIGNACIÓN DE FUNCIONES	119
3.3.2.1. JERARQUIZACIÓN DE FUNCIONES PRINCIPALES	119
3.3.2.2. JERARQUIZACIÓN DE FUNCIONES SECUNDARIAS	119
3.3.2.3. JERARQUIZACIÓN DE FUNCIONES TERCIARIAS	119
3.3.3. HSE Y SEGURIDAD OPERACIONAL	120
3.4. BENCHMARKING SEPARADORES DE LA “GCB”	123
3.5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	126
3.5.1. REQUERIMIENTOS DE USO	126
3.5.2. REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES	126
3.5.3. REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	127
3.5.4. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	128
3.5.5. REQUERIMIENTOS FORMALES	128
3.5.6. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	129
3.5.7. REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO SEGÚN LA GCB	129
3.5.8. REQUERIMIENTOS EN COSTOS DE PRODUCCIÓN	129
4. DISEÑO MODULO DESNATADOR	130
4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	130
4.1.1. ATRIBUTOS DEL NUEVO DESNATADOR	130
4.1.2. ANÁLISIS MODULO CON LA PISCINA BA-4001	130
4.1.3. SEPARACIÓN DEL NUEVO SISTEMA	131

4.2. MORFOLOGIA DEL MODULO	133
4.3. CREACION DE ALTERNATIVAS	135
4.3.1. ÁREAS DE SEPARACIÓN CON CINTA OLEOFÍLICA	137
4.3.2. FREE – MOVILIZACIÓN	138
4.3.3. CRECIMIENTO DE MÓDULOS	139
4.4. ALTERNATIVA MODULAR 1	140
4.4.1. MODULO 1	140
4.4.2. BOCETOS MODULO 1	141
4.4.3. EVALUACIÓN MODULO 1	142
4.4.4. ESPECIFICACIONES GENERALES 1	143
4.4.5. CONCLUSIONES	143
4.5. ALTERNATIVA MODULAR 2	144
4.5.1. MODULO 2	144
4.5.2. BOCETOS MODULO 2	145
4.5.3. EVALUACIÓN MODULO 2	145
4.5.4. ESPECIFICACIONES GENERALES 2	147
4.5.5. CONCLUSIONES	148
4.6. ALTERNATIVA MODULAR 3	148
4.6.1. MODULO 3	148
4.6.2. BOCETOS MODULO 3	149
4.6.3. EVALUACIÓN MODULO 3	150
4.6.4. ESPECIFICACIONES GENERALES 3	150
4.7. ALTERNATIVA MODULAR ESCOGIDA	151
4.7.1. MODULO DE RECOLECCIÓN SUPERFICIAL 1	151
4.7.2. MODULO DE RECOLECCIÓN SUPERFICIAL 2	152
4.7.3. MODULO DE RECOLECCIÓN SUPERFICIAL 3	153
4.7.4. MODULO DE RECOLECCIÓN SUPERFICIAL 4	153
4.7.5. MODULO DE RECOLECCIÓN SUPERFICIAL 5	154
4.8. ALTERNATIVAS FINALES	154
4.9. QFD	156
4.10. DESARROLLO BASICO MODULAR ESC100	159
4.10.1. MODULO ESC100 SIMPLE	159
4.10.2. MODULO ESC100 DOBLE	160
4.10.3. MODULO ESC100 MULTIDIRECCIONAL	161
4.11. QFD MODULO FINAL ESC100	161
5. INGENIERIA DE DETALLLE MODULO ESC100	163
5.1. DETALLE ESTRUCTURA MODULAR	163
5.2. DETALLE FLOTADORES	164
5.3. DETALLE CINTA OLEOFILICA	167
5.3.1. MODO DE SUJECIÓN DE LA CINTA	169
5.4. DETALLES DEL TAMBOR GRAVITACIONAL	170
5.4.1. TAMBOR DE MALLA Y POLIETILENO	171
5.5. SISTEMA MOTO – REDUCTOR	172

5.6. SISTEMA HIDRAULICO	173
5.6.1. UNIDAD DE POTENCIA HIDRÁULICA	173
5.6.2. SISTEMA TRANSMISIÓN HIDRÁULICA	174
5.7. SEPARACION MECANICA DE HIDROCARBURO	175
5.7.1. SEPARACIÓN POR BARRAS ACTUADORAS	175
5.8. TOLVA ALMACENADORA	176
5.8.1. TOLVA SIMÉTRICA	176
5.8.2. AÉREAS DE CONTACTO CON LA SUPERFICIE	178
5.9. BOMBA DE TRANSFERENCIA DE ACEITE	180
6. FABRICACION DEL MODELO PROTOTIPO	185
6.1. ETAPAS DE FABRICACION DEL MODELO PROTOTIPO	185
6.2. PRUEBAS DE IMPERMEABILIDAD DEL SISTEMA MOTRIZ	187
6.3. PRUEBAS DE FLOTABILIDAD	187
6.4. PRUEBAS DE SEPARACION MECANICA	188
6.5. CUANTIFICACION DEL HIDROCARBURO RECUPERADO	189
6.6. CUADRO COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS DE CAMPO	190
6.7. PRUEBAS DE CAMPO CON LAS CINTAS	191
6.8. CONCLUSIONES DEL MODELO PROTOTIPO	191
7. ANALISIS ESTRUCTURAL	192
7.1. ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS (AEF)	192
7.2. ANALISIS ESTRUCTURAL ESC100	192
7.3. ANALISIS DE DEFORMACION DE LA TOLVA	193
7.4. ANÁLISIS COMPONENTES DE FLOTABILIDAD	194
7.5. ANALISIS EJES DE TRANSMISION	194
7.6. ANALISIS CARGAS RADIALES Y AXIALES DEL TAMBOR	195
7.7. ANALISIS RASPADORES	195
8. FABRICACION DE MODELO FINAL	196
8.1. PROCESO DE FABRICACION	196
8.2. CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA	196
8.3. CONSTRUCCION DE LA TOLVA	197
8.4. CONSTRUCCION DE LOS FLOTADORES	199
8.5. DETALLES DE SOLDADURA Y PERFORADO	200
8.6. ADAPTACION DE LA BOMBA DE ACEITE	201
8.7. ADAPTACION DEL REDUCTOR DE MOVIMIENTO	202
8.8. ADAPTACION DE LOS TAMBORES GRAVITACIONALES	203
8.9. PINTURA	204
8.10. MONTAJE DE LAS PARTES	205
8.11. INSTALACION EN LA PISCINA PRUEBA	209
9. COSTOS	212
9.1. MATERIALES CONSUMIDOS	212
9.2. COSTOS DE DISEÑO	213
9.3. COSTOS DE PRODUCCION	214
9.4. COSTOS DE MONTAJE	214

9.5. COSTO FINAL	215
10. PRESENTACION MODELADO FINAL	216
11. CONCLUSIONES	218
12. BIBLIOGRAFIA	219
ANEXOS	221

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Niveles permisibles para aceites reutilizados	27
Tabla 2. Propiedades del agua	28
Tabla 3. Cuerpos de agua concesionada a la GCB	29
Tabla 4. Principales Plantas de la Refinería de Barrancabermeja	32
Tabla 5. RESUMEN CUMPLIMIENTO DE VERTIMIENTO DE LA REFINERIA RESPECTO A LAS NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES.	34
Tabla 6. Capacidad total de producción de agua de la refinería.	36
Tabla 7. Listado de separadores y ubicación de la GCB.	45
Tabla 8. Carga a la unidad PTAR ambiental	47
Tabla 9. Características afluentes PTAR	50
Tabla 10. Características afluentes DIAPAC	51
Tabla 11. Características efluente PTAR	51
Tabla 12. Características efluentes DIAPAC	51
Tabla 13. Equipos actuales ESTATICOS encontrados en PTAR	58
Tabla 14. Equipos actuales ROTATIVOS encontrados en PTAR	58
Tabla 15. Volumen útil y tiempo de residencia de las piscinas	59
Tabla 16. Porcentaje final de aspectos generales de la W-4001	68
Tabla 17. Grupo de Hidrocarburos encontrados en la GCB	74
Tabla 18. Grupos de Hidrocarburos Según el Número Total de Átomos de Carbono.	76
Tabla 19. Composición Media de un Aceite Lubricante	77
Tabla 20. Caracterización del residuo	78
Tabla 21. Moléculas de los Afluentes a la unidad de tratamiento	78
Tabla 22. Diferencias físicas de los compuestos a separar.	80
Tabla 23. Cantidad de aceite para películas de aceite	85
Tabla 24. Factores de turbulencia	88
Tabla 25. Remoción en separadores API.	90
Tabla 26. Remoción en PTAR	91
Tabla 27. Matriz principal de funciones de los separadores de la GCB	120
Tabla 28. Matriz general de funciones de los desnatadores comerciales.	121
Tabla 29. Medición final de los módulos escogidos.	147
Tabla 30. Medición de alternativas según sus requerimientos	151
Tabla 31. Matriz de relaciones (casa de calidad)	153
Tabla 32. Matriz de relaciones de los 5 desnatadores propuestos	154
Tabla 33. Matriz de relaciones modulo final	158
Tabla 34. Especificaciones americanas de la cinta oleofílica	164
Tabla 35. Tipos de aceite hidráulico usados por la unidad de potencia	170
Tabla 36. Cálculos técnicos de la tolva	174

Tabla 37. Hoja de datos para selección de bombas	179
Tabla 38. Cuadro comparativo de los sistemas a instalar	180
Tabla 39. Especificación del motor – reductor prototipo	182
Tabla 40. Resultados pruebas de campo del modelo prototipo.	185
Tabla 41. Pruebas de campo modelo prototipo	186
Tabla 42. Pruebas de campo con las cintas	187
Tabla 43. Costos de materiales consumidos	208
Tabla 44. Costos de diseño	209
Tabla 45. Costos de Producción	210
Tabla 46. Costos de Montaje	210
Tabla 47. Costos finales del proyecto	211

## INDICE FIGURAS

Figura 1. Molécula de un metano	21
Figura 2. Diferentes capas sedimentarias antes de llegar al pozo	22
Figura 3. Esquema de un pozo en exploración	23
Figura 4. Obtención de la mayor cantidad de barriles de crudo por día	24
Figura 5. Transporte marítimo y los oleoductos los más comunes	24
Figura 6. Planta procesadora de crudo	25
Figura 7. Diagrama general operacional de la refinería Barrancabermeja	33
Figura 8. Esquema de producción del agua en la GCB.	35
Figura 9. Piscina de planta de aguas	36
Figura 10. Piscina de tratamiento de lodos planta de aguas	36
Figura 11. Esquema general de aguas lluvias y aceitosas de la GCB	38
Figura 12. Piscina principal separador SE-3010	39
Figura 13. Piscina principal separador sur SE-3020	40
Figura 14. Piscinas colectoras del separador 3030.	41
Figura 15. Tornillos sin-fin recuperadores de lodos SE-3060	41
Figura 16. Separador de aguas lluvias SE-3090	42
Figura 17. Las diferentes piscinas que actúan por diferencial de nivel del separador SE-3050 y el colector principal	43
Figura 18 – 19 Primera etapa de la piscina pulmón retención del fluido	43
Figura 20 – 21 Segunda etapa de la piscina pulmón, separación	44
Figura 22. Flujo grama general del proceso de la planta PTAR	44
Figura 23. Balance material PTAR.	49
Figura 24. Balance material DIAPAC	52
Figura 25. En la piscina de carga BA-4001 ocurre la Homogenización	53
Figura 26. Piscina BA-4002 donde ocurre la neutralización	53
Figura 27. Trenes donde ocurre la coagulación – floculación	54
Figura 28. Plano superior de la ubicación de equipos de PTAR.	55
Figura 29. Piscinas de estabilización BA-4009 A/B.	56
Figura 30. Piscina de carga BA-4001 con el desnatador W-4003	59
Figura 31. Aquí se descarga los tipos de agua que llegan a la piscina	60
Figura 32. Detalles mecánicos de la piscina BA-4001	62
Figura 33. Desnatadora de aceite superficial W-4003	63
Figura 34. Partes mecánicas visibles de la W-4001	64
Figura 35. Carcasa en lamina col roll de ¼”	65
Figura 36. Cuatro ejes de transmisión principal	65
Figura 37. Discos que exprimen la cinta oleofílica	66
Figura 38. Disco en material lamina de acero tensionada a la pared	66
Figura 39. La piscina de recibo consta de una bomba y un motor	67
Figura 40. Jerarquización de las normas colombianas.	69
Figura 41: Ejemplo de Parafina	74

Figura 42: Ejemplo de ISO parafina	75
Figura 43: Ejemplo de Naftenos	75
Figura 44: Ejemplo de Aromático	75
Figura 45. Comportamiento del agua y el aceite	80
Figura 46. Estabilidad de los coloides.	81
Figura 47. Formación del coagulo.	82
Figura 48. Formación de floccs	83
Figura 49. Propiedad de adherencia Cohesividad e impermeabilidad del aceite.	84
Figura 50. Gravedad especifica del agua limpia (fresca y de la desembocadura) temperaturas entre 40 °f y 120°f.	86
Figura 51. Viscosidad absoluta del agua limpia (fresca y de la desembocadura) temperaturas entre 40 °f y 120°f.	86
Figura 52. Valores recomendados de F para valores varios de ( $V_H$ )	89
Figura 53. Método de separación del separador de disco.	97
Figura 54. Separador de disco.	98
Figura 55. Áreas y partes de un separador API	99
Figura 56. Corte transversal de un separador API.	100
Figura 57. Vista general de un separador API.	101
Figura 58. Separadores tipo tanque.	102
Figura 59. Detalle externo del separador tipo bafle.	102
Figura 60. Detalle interno de los baffles	103
Figura 61. Desnatadores con cinta oleofílica, propiedad de Canadyne Technologies Inc.	104
Figura 62. Desnatador de aceite con la cinta oleofílica de la GCB	105
Figura 63. Desnatador múltiple vertical, propiedad de CRUCIAL, Inc. 2003 ©	105
Figura 64. Detalle del separador con manguera. Propiedad de waterandwastewater Inc. 2007 ©	106
Figura 65. Área de trabajo del Separador con manguera. Propiedad de waterandwastewater Inc. 2007 ©	106
Figura 66. Separadores tipo barco con flotadores. Propiedad de International spill control organización 2007 ©	107
Figura 67. Separador de una altura de más de 5 metros	108
Figura 68. Cintas oleofílica absorbentes. Propiedad de The Spill Control People Copyright 1996-2001, Dawg, Inc.	109
Figura 69. Estas son las más comunes para separar petróleo e hidrocarburos Propiedad de Intersateproductos Inc. 2007 ©	109
Figura 70. Cintas tipo servilletas, o de rollo	110
Figura 71. Mangueras hechas en polímeros de alta densidad.	110
Figura 72. Separadores comerciales, análisis funcional	112
Figura 73. áreas efectivas de la piscina de carga BA-4001	127

Figura 74. Área de trabajo de la separación gravitacional	128
Figura 75. Área de sólidos suspendidos	128
Figura 76. Área de influencia del modulo	129
Figura 77. Zancudo	129
Figura 78. Planteamiento básico de la morfología	131
Figura 79. Bocetos con definición de áreas de trabajo	132
Figura 80. Vistas frontal de áreas	132
Figura 81. Configuración 1 cinta oleofílica	133
Figura 82. Configuración 2 cinta oleofílica	133
Figura 83. Configuración 3 cinta oleofílica	134
Figura 84. Fuerzas intermedias de la cinta y la superficie.	135
Figura 85. Fuerzas de corrientes intermedias y gravedad de mecanismo	135
Figura 86. Formas crecimiento de módulos	136
Figura 87. Modulo 1 aceptado	136
Figura 88. Bocetos modulo 1	137
Figura 89. Modulo 1	138
Figura 90. Características básicas del modulo	138
Figura 91. Modulo 2 aprobado	140
Figura 92. Bocetos modulo 2 con cinta oleofílica	141
Figura 93. Modulo 2 en vista superior y frontal	142
Figura 94. Características básicas del modulo.	143
Figura 95. Modulo 2 configuración de la cinta oleofílica	144
Figura 96. Modulo 3 aprobado.	144
Figura 97. Bocetos modulo 3 con cinta oleofílica	145
Figura 98. Modulo 3 con tambor gravitacional	146
Figura 99. Modulo desnatador 1 desarrollado	148
Figura 100. Modulo desnatador 2 desarrollado	148
Figura 101. Modulo desnatador 3 desarrollado	149
Figura 102. Modulo desnatador 4 desarrollado	149
Figura 103. Modulo desnatador 5 desarrollado	150
Figura 104. Modulo básico del desnatador	155
Figura 105. Modulo ESC-100 simple.	156
Figura 106. Modulo ESC-100 doble	156
Figura 107. Modulo ESC-100 multidireccional	157
Figura 108. Detalle estructura del modulo	159
Figura 109. Detalle soldadura de la estructura.	160
Figura 110. Flotadores de polietileno o poliuretano de alta.	161
Figura 111. Flotadores en lámina de aluminio o acero inoxidable.	161
Figura 112. Detalle de la tornillería de los flotadores	162
Figura 113. Detalle de la tornillería flotadores en aluminio	162
Figura 114. Detalle de los cuatro flotadores de polietileno de alta densidad	163

Figura 115. Detalle de la cinta oleofílica	164
Figura 116. Ganchos sujetadores	165
Figura 117. Otro detalle de ganchos sujetadores	166
Figura 118. Detalle del tambor con su eje.	167
Figura 119. Detalle del tambor tipo malla.	167
Figura 120. Tambor de polietileno.	168
Figura 121. Sistema de transmisión hidráulica	170
Figura 122 Actuación de las barras	171
Figura 123. Forma de separación del aceite en el modulo	172
Tabla 124. Condiciones del volumen almacenado de la tolva	173
Figura 125. Diseño final de la tolva	173
Figura 126. Identificación áreas de contacto de la tolva	174
Figura 127. Identificación áreas de contacto del modelo final	175
Figura 128 Bomba neumática de transferencia	178
Figura 129. Tambor Modelo prototipo	181
Figura 130. Motores utilizado en el modelo prototipo.	182
Figura 131. Tipo de cintas oleofílica usadas en el modelo	182
Figura 132. Detalle general del prototipo	183
Figura 133. Flotabilidad del modulo desnatador	184
Figura 134. Separación mecánica del aceite	184
Figura 135. Hidrocarburo recuperado	186
Figura 136. Análisis estructural	188
Figura 137. Análisis estructural de la tolva recolectora	189
Figura 138. Análisis deformación y factor de seguridad	189
Figura 139. Análisis de stress y factor de seguridad de los	190
Figura 140. Análisis del eje	190
Figura 141. Análisis esfuerzos tambor gravitacional	191
Figura142. Análisis de los raspadores	191
Figura143. Construcción de la estructura	193
Figura144. Construcción de la tolva	193
Figura145. Pulido y corte de la lamina para la tolva	194
Figura146. Pulido y corte de la lamina para la tolva	194
Figura147. Detalle del refuerzo de los flotadores	195
Figura148. Detalle superior flotadores	195
Figura149. Maquina usada para corte de láminas	196
Figura150. Detalle del taladro y área de pulido y soldadura	196
Figura151. Recuperación de la bomba de aceite	197
Figura152. Armado general de la bomba de aceite	197
Figura153. Caja reductora	198
Figura154. Adaptación de ejes y sellado de la caja	198
Figura155. Recuperación tambor y chumaceras	199
Figura156. Adaptación chumacera y discos guías	200
Figura157. Pintura sistema hidráulico	201

Figura 158. Pintura general del modulo	201
Figura 159. Armado estructura de la tolva y flotadores	202
Figura 160. Armado sistema hidráulico	202
Figura 161. Armado sistema reductor	203
Figura 162. Armado de la cinta	203
Figura 163. Armado del tambor numero 1	204
Figura 164. Armado general del modulo separador	204
Figura 165. Instalaciones finales del modulo	205
Figura 166. Instalación logo corporativo ECOPETROL SA.	205
Figura 167. Preparativos para la instalada	206
Figura 168. Modulo flotando en la piscina	206
Figura 169. Detalles generales del modulo flotador	207
Figura 170. Modulo final separador de hidrocarburo	207
Figura 171. Modelado final 1	212
Figura 172. Modelado final 2	212
Figura 173. Modelado final 3	213
Figura 174. Modelado final 4	213
Figura 175. Nueva imagen de ECOPETROL S.A	217
Figura 176. Posiciones del logo símbolo.	218
Figura 177. Áreas básicas dl logo símbolo	219
Figura 178. Logo símbolo dos tintas especiales y policromía	220
Figura 179. Colores corporativos	221
Figura 180. Colores complementarios	221
Figura 181. Uso de paleta de colores.	221
Figura 182. Tipografía logo símbolo	222
Figura 183. Planimetría logo símbolo	223
Figura 184. Planimetría logo símbolo eslogan vertical	223
Figura 185. Planimetría logo símbolo eslogan horizontal.	223
Figura 186. Zona de seguridad del logo símbolo	224
Figura 187. Zona de seguridad eslogan vertical	224
Figura 188. Zona de seguridad eslogan horizontal	224
Figura 189. Positivos e invertidos de logo símbolos	225
Figura 190. Positivos e invertidos del logo símbolo	226
Figura 191. Eslogan corporativo lectura vertical	227
Figura 192. Eslogan corporativo lectura horizontal positivo	227
Figura 193. Eslogan corporativo lectura horizontal invertido	227
Figura 194. Sala recepción	228
Figura 195. Señal piso – señal dirección	229
Figura 196. Señal punto fijo.	229
Figura 197. Señal instrucciones	229
Figura 198. Aviso entrada planta	230
Figura 199. Aviso entrada edificio.	230
Figura 200. Aviso externo común	230

## INTRODUCCION

En el proceso operativo de la GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA "GCB" ECOPETROL SA. Esta el aprovechamiento de las aguas aceitosas que se producen en las plantas, producto de la refinación y la petroquímica del petróleo, estas aguas aceitosas para muchos significan desechos, para otros significan una gran recuperación de estos desechos en hidrocarburos reutilizables y potencialmente comercializables en el mercado de los aceites pesados y el aporte más importante es el impacto ambiental que se genera en las fuentes hídricas a donde irán a parar estas aguas recuperadas, en esencia es un principio fundamental como parte de la política de responsabilidad social con las personas y con el medio ambiente de ECOPETROL SA en todas las áreas de influencia en donde existe presencia de la compañía.

El fin primordial de los diferentes procesos de separación de hidrocarburos es enviar corrientes de agua al río MAGDALENA en igual o mejores condiciones de las cuales fueron sustraídas; actualmente existen varios métodos de separación de hidrocarburos los principales son los separadores API, otros separadores se encuentran en la PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" encargada de la recuperación secundaria de las aguas residuales; aquí en "PTAR" existen varios métodos de separación de estos hidrocarburos en las piscinas de carga, pero que no cuentan con la suficiente capacidad ni técnica para separarlos.

Identificada esta oportunidad de mejora dentro del proceso de la planta se dio a la tarea de diseñar un producto nuevo, innovador que cumpla con las exigencias de productividad, impacto en el ambiente y costos de mantenimiento, que impacte en otras áreas del sector que también requieren separación de otros tipos de grasas y aceites con una técnica más segura y confiable.

Este proyecto tiene como enfoque el diseño modular para la separación de hidrocarburos, grasas y aceites a través de una combinación de metodologías adquiridas en la universidad y en la experiencia de campo en el sector de los hidrocarburos.

## 1. ORIGEN DEL PROYECTO

Toda la comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos, la fracción líquida (agua residual) está constituida, esencialmente, por el agua de abastecimiento, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida.

Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas y zonas industriales en nuestro caso particular la refinería de Barrancabermeja, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores.

Uno de los grandes contaminantes ambientales son las aguas residuales, en especial si se dejan estancar, la descomposición de la materia orgánica que contienen puede dar lugar a la producción de grandes cantidades de gases pestilentes etc. Además, las aguas residuales crudas contienen usualmente numerosos organismos patógenos o causantes de enfermedades, los cuales habitan en los seres humanos, o también pueden encontrarse en ciertos vertidos industriales e incluso pueden contener compuestos tóxicos.

La refinería de Barrancabermeja "GCB" Gerencia Complejo Barrancabermeja por sus siglas, genera millones de litros de aguas residuales por año, la gran mayoría regresan al río sin una calidad de tratamiento que no cumplen con las exigencias de las normas ambientales colombianas convirtiéndose así en un factor de contaminación y de imagen negativa para la empresa, esto conlleva al pago de multas mensuales exigidas por el Ministerio del Medio Ambiente.

Por estas razones, en una sociedad industrializada no es solo deseable, sino de carácter obligatorio la eliminación inmediata de las aguas residuales de sus lugares de generación, seguida de su tratamiento y posterior evacuación.

## 1.1 JUSTIFICACION

La refinación del petróleo es una de las actividades mas importantes de la industria manufacturera del país ya que a través de ella se elaboran subproductos que son de gran utilidad en el resto de la industria, tales como combustibles (líquidos y gaseosos), lubricantes, asfaltos y productos químicos, entre otros.

La refinación del petróleo involucra un conjunto de operaciones unitarias y procesos químicos interrelacionados que demandan el uso de agua para calentamiento, enfriamiento, lavado y procesamiento. Además requiere agua para las labores de limpieza, mantenimiento de las instalaciones, sistema contra incendio, y uso domestico. El agua empleada en el proceso industrial finalmente es evacuada como un residuo liquido, siendo su calidad dependiendo de los procesos industriales de la refinería considerados como contaminantes; las tecnologías empleadas, los procedimientos operativos, la calidad de la infraestructura (Tuberías, Tanques, etc.) y las técnicas de reciclaje aun cuando son rudimentarias las que empleamos en la gerencia tratamos de mantener esta situación estable.

La GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA GCB ECOPETROL SA, consciente de la necesidad de preservar nuestro más preciado recurso natural EL AGUA, y teniendo en cuenta su irreversible deterioro por efectos de la expansión de la industria del petróleo, y que se considera tan necesaria para el desarrollo industrial del país; y dando cumplimiento a las cada día más exigentes políticas ambientales colombianas dispuso de una serie de reglamentaciones e implementaciones de nuevas tecnologías para afrontar su responsabilidad moral y legal de planificar la defensa de nuestro medio ambiente.

Dentro de la implementación de nuevas tecnologías se encuentran la de recuperación del hidrocarburo dentro del recurso agua y es aquí donde se derivan el mayor desarrollo tecnológico que se desea implementar en nuestra planta de tratamiento de aguas residuales.

Con el fin principal de minimizar la explotación del recurso hídrico, así como minimizar el uso de los cuerpos de agua, se elaboro el **“Plan de manejo para el componente agua de la Gerencia Complejo Barrancabermeja (GCB ECOPETROL SA)”**<sup>5</sup>, el cual involucró la evaluación de los sistemas de manejo actual, tanto en la fuente de generación (río Magdalena) como en los sitios de tratamiento y el desarrollo de medidas de prevención y control.

---

<sup>5</sup> Documento Oficial de la política Ambiental para ECOPETROL SA. Ley 373/97 Congreso Nacional de Colombia.

Dicho plan involucra las condiciones actuales y toma en consideración los planes de ampliación y construcción de nuevas facilidades para el procesamiento de crudo o productos intermedios dentro del complejo

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar y fabricar un modulo para el sistema de recolección y separación superficial de hidrocarburos que aumente la capacidad de recolección y separación en 10 bls/día de G&A (Grasas y Aceites) de la piscina de tratamiento primario (BA-4001) y que disminuya en un 90% los costos de tratamientos químicos secundarios necesarios para verter las aguas al río Magdalena.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Efectuar una separación cercana al 90% equivalente a cuatro (4 bls/día) por encima de los separados por el sistema actual que son 6 bls/día de la estimación de los caudales que llegan a la piscina de carga tanto de aguas lluvias como de aguas aceitosas.
- Establecer una disminución de los tiempos de mantenimiento cercano al 80% del nuevo sistema de recolección superficial que implique su adaptación al manejo integral del programa preventivo de equipos rotativos de la refinería.
- Combinar la metodología ambiental conocida como DESARROLLO AMBIENTAL DE PRODUCTOS (Environmental Design of Industrial Products, EDIP)<sup>6</sup> y la QFD; Utilizar la técnica para análisis y desarrollo de prototipos AEF (Análisis de elementos finitos) como complemento a la innovación y las exigencias propias de las normas que regulan la calidad de los productos del mercado de los Hidrocarburos.
- Hacer uso de parámetros de Eco-diseño en el ciclo de permanencia de las aguas y posterior tratamiento residual de la misma, proceso de

---

<sup>6</sup> CAPUZ RIZO, Salvador. ECODISEÑO. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles. Universidad Politécnica de Valencia. 2006.93 p.

extracción de los contaminantes, para el diseño del equipo, así como La imagen proyectada del producto.

### **1.3 ALCANCE DEL PROYECTO**

El proyecto contempla en todas sus etapas el estudio de los principios básicos de manejo de aguas y aceites residuales, la búsqueda de información sobre las Características del agua, grasas, aceites, tratamientos, residuos químicos y sistemas de transporte,

- Tendencias y características de los sistemas de recolección actuales tanto formal y funcional como son los separadores API y su impacto en la reducción de las cargas contaminantes; la PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “PTAR”.
- Explicación de todos sus subprocesos, especificaciones de diseño de la planta, trenes de descontaminación, equipos, la utilización de los cuatro métodos de limpieza de aguas, especificaciones técnicas de la piscina de carga BA-4001.
- Diferenciar con las metodologías a usar en el proyecto, las ventajas y desventajas del nuevo diseño de separador de hidrocarburo con el existente en la piscina.
- Analizar documentos, libros, videos e Internet de los productos existentes en la actualidad.
- Creación de nuevas ideas con mejoramientos o cambios definitivos del nuevo modulo desnatador, el sistema, la construcción de partes con materiales reales manejados en el proceso propio de la petroquímica y la recuperación de hidrocarburos.
- La experimentación con el estudio de herramientas virtuales que ayudan a modelar calcular y simular piezas mecánicas con una alta complejidad formal.
- Evolución en la fabricación de modelos bidimensionales - tridimensionales hasta resolver las inquietudes de la propuesta final.

### **1.4 DESCRIPCION DEL COMPONENTE HIDROCARBURO**

#### **- QUE ES EL PETROLEO**

El Petróleo es un recurso natural no renovable, considerado como el energético más importante del mundo contemporáneo y motor del desarrollo industrial y tecnológico.

El Petróleo representa 40 % del total de la energía que se consume en el mundo y si se incluye el gas, se alcanza el 70 %

## - Definición

(Del latín Petra: Piedra y Oleo: Aceite; Aceite de Piedra)

El petróleo es una sustancia líquida formada de la mezcla de diversas sustancias de origen orgánico, es decir, hidrocarburos, que se encuentran en estado líquido, gaseoso y sólido en menor proporción.

Su significado es "ACEITE DE ROCA", es una sustancia oscura y aceitosa que se formó hace millones de años en las entrañas de la tierra, como consecuencia de la descomposición de enormes cantidades de sedimentos marinos. Su origen es de tipo orgánico.

## - Formación del petróleo

El Petróleo se forma como producto de la transformación de materia orgánica (proveniente de restos de plancton, radiolarios, algas, pólipos y otros seres vivos) en un ambiente anaerobio (en ausencia de oxígeno) durante millones de años y a una temperatura entre 40 a 80 grados centígrados.

Esta transformación involucra un rompimiento y redistribución de la forma de los hidrocarburos complejos que poseen los seres vivos dando origen a componentes más sencillos, constituyendo la mezcla que conocemos como "petróleo".

## - Que son los Hidrocarburos

Es la familia de compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos.

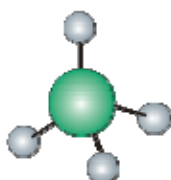
Se clasifican en dos grupos principales, de cadena abierta y cíclica.

Los de cadena abierta que contiene más de un átomo de carbono, los átomos de carbono están unidos entre sí formando una cadena lineal que puede tener una o más ramificaciones.

En los cíclicos, los átomos de carbono forman uno o más anillos cerrados.

Se subdividen según su comportamiento químico en saturados e insaturados.

**METANO, CH<sub>4</sub>**



● C (carbono) ● H (hidrogeno)

Figura 1. Molécula de un metano

- **Para que ocurra lo anterior se requiere de:**

- ✓ Disponibilidad de materia orgánica.
- ✓ Un sitio donde pueda quedar acumulada durante el tiempo suficiente.
- ✓ Ambiente anaerobio (sin aire) para que la materia orgánica no se descomponga por la acción de las bacterias aeróbicas.
- ✓ Estas condiciones se logran en “cuencas sedimentarias”, lugares donde ocurre la acumulación de material arrastrado por el agua, los vientos, el hielo y la gravedad.

- **Rocas sedimentarias**

Siglos de deposiciones sedimentarias se han convertido con el tiempo en una pared de cañón, donde se aprecian diferentes capas, al quedar pegadas las partículas de roca y minerales por la acción del agua y de la presión. Las diferencias de color y composición de las capas indican cambios del tipo de sedimentos o de la velocidad de deposición.

Un buen ejemplo lo constituyen las desembocaduras de los ríos al mar, pues al perder velocidad la corriente deposita todo el material que pueda traer a poca distancia de la costa.

El proceso de acumulación se conoce también como sedimentación y produce con el tiempo capas en las que también queda atrapada la materia orgánica.

Sólo el 2% del total de materia orgánica disponible llegará a formar petróleo y el resto será catabolizado por bacterias o no logrará estar en las condiciones adecuadas para formarlo, ya que si hay mucho calor se degradará hasta producir gas o por lo contrario formará una brea pesada y viscosa de poco interés comercial.

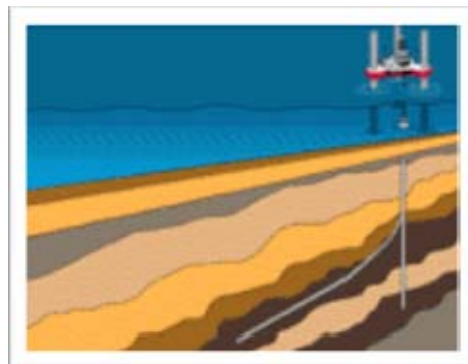


Figura 2. Diferentes capas sedimentarias antes de llegar al pozo

Para poder producir el petróleo se requiere de un lugar que permita su acumulación en cantidades comerciales.

El sitio donde se puede formar una acumulación comercial de petróleo y gas recibe el nombre de “trampa geológica” y la acumulación de petróleo en ella se llama “yacimiento”.

- **Etapas del proceso del hidrocarburo**

- ✓ Exploración
- ✓ Explotación
- ✓ Transporte
- ✓ Refinación y Petroquímica

- **Exploración.**

Conjunto de técnicas cuyo objeto es ubicar un yacimiento petrolífero comercial

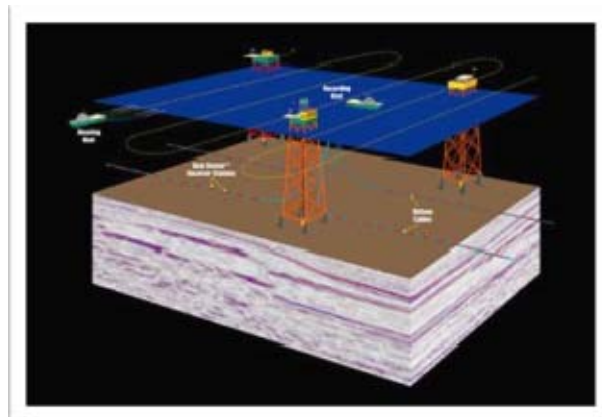


Figura 3. Esquema de un pozo en exploración

- **Explotación.**

Perforación de desarrollo y Producción

La meta es lograr obtener el máximo beneficio económico mediante el cálculo de los parámetros de producción óptimos para cada caso durante el desarrollo de las reservas, partiendo del equilibrio con los fondos invertidos y los recursos técnicos.

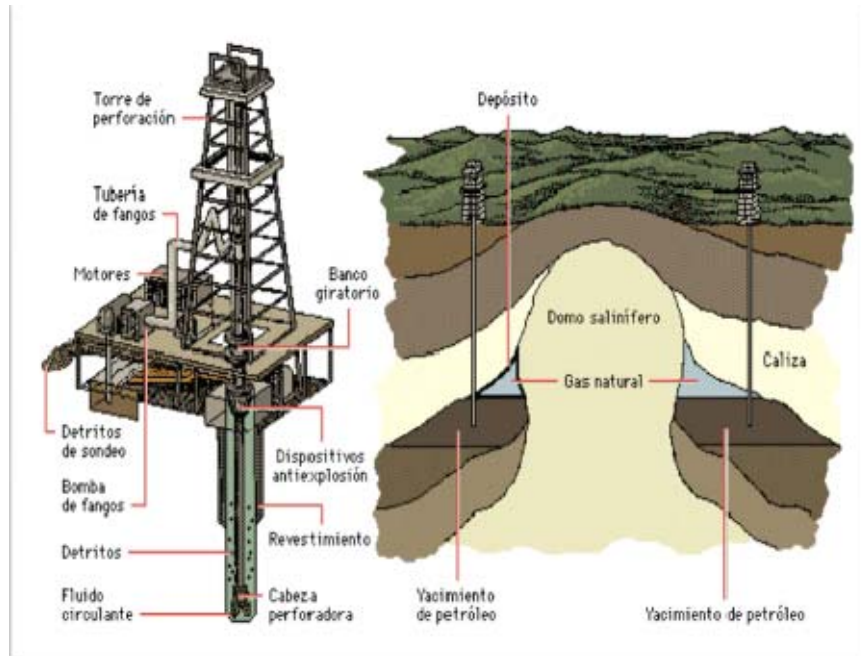


Figura 4. Obtención de la mayor cantidad de barriles de crudo por día

- **Transporte**

Su objetivo es transportar grandes volúmenes de crudo, gas y/o productos derivados al menor costo y máxima seguridad desde los sitios de producción hasta donde será utilizado.



Figura 5. Transporte marítimo y los oleoductos los más comunes

## - Refinación y Petroquímica

La Refinación tiene por objeto separar las diferentes sustancias que componen el petróleo.

La técnica utilizada para separación de mezclas sin alterar químicamente los componentes se llama: "Destilación fraccionada"

La herramienta básica de refinado es la unidad de destilación. El petróleo crudo empieza a vaporizarse a una temperatura algo menor que la necesaria para hervir el agua. Los hidrocarburos con menor masa molecular son los que se vaporizan a temperaturas más bajas, y a medida que aumenta la temperatura se van evaporando las moléculas más grandes. El primer material destilado a partir del crudo es la fracción de gasolina, seguida por la nafta y finalmente el queroseno.

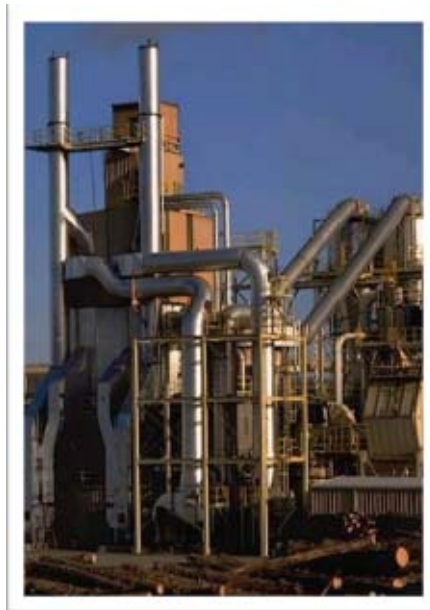


Figura 6. Planta procesadora de crudo

Luego de esta separación inicial se procede a llevarlos a las unidades de petroquímica, con estas unidades se obtienen muchos productos que son útiles para la vida diaria tales como:

- ✓ Combustibles para vehículos, barcos y aviones.
- ✓ Lubricantes.
- ✓ Materiales (plásticos y acrílicos).
- ✓ Productos cosméticos.

- ✓ Insecticidas y abonos.
- ✓ Explosivos.
- ✓ Disolventes.
- ✓ Pinturas y lacas.
- ✓ Asfalto para carreteras e impermeabilizaciones.
- ✓ Gas para cocinar y generación de energía eléctrica.
- ✓ Bakelita y otros materiales para artículos electrónicos.

#### **1.4.1 Residuos de hidrocarburos y aceites lubricantes.**

Se considera aceite lubricante usado todo aceite lubricante (de motor, de transmisión o hidráulico de base mineral o sintética) de desecho a partir del momento en que deja de cumplir la misión inicial para la cual fue destinado.

Todo residuo o desecho que pueda causar daño a la salud o al medio ambiente es considerado como un residuo peligroso; fundamento por el cual los gobiernos tienen la responsabilidad de promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos, así como establecer políticas y estrategias para que su manejo y eliminación se ejecuten sin menoscabo del medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas, tal es el caso de materiales sintéticos, gomas, neumáticos, residuos de madera, aceites de motor usados, residuos petroquímicos y fangos asfálticos, entre otros, porque su composición química están generando cada vez mayores peligros para los seres vivos. Y al mismo tiempo, en el mundo han hecho su aparición en los últimos años, nuevos procesos y tecnologías que permiten la reutilización o reciclaje de residuos o desechos peligrosos, transformándolos en sustancias susceptibles de ser utilizadas o aprovechadas ya sea como materia prima o como energéticos.

Un aceite lubricante usado es considerado un residuo peligroso por la ley 253 de 1996 (mediante la cual Colombia se adscribió al Convenio de Basilea) y el Decreto 4741 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Su condición de peligrosidad no se debe a las bases lubricantes usadas para su elaboración sino a los compuestos que se adicionan para mejorar sus propiedades y en el caso de los aceites de motor y los aceites pesados del proceso de refinación principalmente por los metales pesados que se liberan durante su uso y los compuestos tóxicos que se generan en las cámaras de combustión.

Las características de peligrosidad de un aceite lubricante usado varían dependiendo de los aditivos del aceite original, los contaminantes que le aporta la fuente generadora y las condiciones de operación a que fue

sometido. De manera general se puede indicar que son residuos tóxicos, poco inflamables y en algunos casos reactivos. Por ejemplo algunos aceites lubricantes sintéticos, reaccionan al entrar en contacto con determinado tipo de pinturas o barnices que tienen los equipos.

En el país se generaran anualmente millones de toneladas de aceites usados, Provenientes del consumo de lubricantes por el sector automotor, de aceites de proceso y aceites de transformadores, entre otros. Esto llevó a emprender un análisis cualitativo y cuantitativo de las diferentes actividades realizadas en la cadena comercial de este residuo (generación, almacenamiento, mezcla, recolección, transporte y disposición final), encontrándose resultados inquietantes que atañen al sector energético por las prácticas de disposición final, ya que los aceites usados se están utilizando como combustibles en forma indiscriminada y sin tratamiento, por la pequeña y mediana industria colombiana.

Antes de considerar la alternativa de disposición final para los aceites lubricantes usados, se deben considerar las alternativas de re-uso y recicló. Por lo tanto si la GCB cuenta con servicio de dialización se deben evaluar los parámetros que determinan si el aceite se puede dializar, que son el número ácido, el contenido de agua y la existencia de emulsiones.

Si se determina que el aceite no puede ser dializado o no se tiene servicio de dialización, se debe evaluar si el aceite puede ser adicionado en las cargas de slop para su re-refinación, evaluando previamente el impacto que puede generar en los procesos según el contenido de contaminantes.

La EPA establece no utilizar el aceite lubricante usado como insumo industrial de ningún proceso si las concentraciones de contaminantes son superiores a las presentadas en la siguiente tabla:

SUSTANCIA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE (mg / Kg - ppm)
Bifenilos Poli clorados (PCB's)	50
Halógenos Orgánicos Totales (Como Cloro)	1000
Arsénico	2
Cadmio	5
Cromo	10
Plomo	100
Azufre	1.7 % en Peso

Tabla 1. Niveles permisibles para aceites reutilizados

## 1.5 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE AGUA

El agua es un compuesto muy abundante por cubrir las tres cuartas partes de la tierra y su fórmula química  $H_2O$  y su peso molecular es 18 gr/mol. La distancia atómica entre el H y O es 0.96 Å, y el ángulo de H-O-H es  $104^\circ 5'$ . El agua es un descolorido, insípido e inoloro transparente el líquido a la temperatura ambiente.

El calor de fusión a  $0^\circ C$  y el calor de evaporación a  $100^\circ C$  están alrededor de 80 Kcal/kg y alrededor de 540 Kcal/kg respectivamente. Este calor latente grande de agua se utiliza para varios usos industriales y para enfriamiento en los procesos.

A continuación se presentarán algunas propiedades fisicoquímicas del agua:

La gravedad específica ( $20^\circ C$ )	0,9982
El punto fundición (el C de $^\circ$ )	0
El punto de ebullición (el C de $^\circ$ )	100
La presión de vapor (el mmHg)	17,535
Temperatura que da la máxima densidad (el C de $^\circ$ )	4
Constante dieléctrica ( $20^\circ C$ )	82
El índice refractivo ( $20^\circ C$ )	133,3
La viscosidad ( $20^\circ C$ ) (cp)	1,009
El calor específico (el $0^\circ$ el C de C)(cal/GR $^\circ$ )	1,007
El calor de fusión (el Kcal/mol)	1,435
El calor de vaporización ( $100^\circ C$ ) (el Kcal/mol)	9,719
El producto del Ion ( $25^\circ C$ )	$1 \times 10^{-14}$
El calor de formación ( $20^\circ C$ )(Kcal/mol)	68,35
El momento de Dipolo (el gas)(CGS x 1018)	1,84
La densidad ( $100^\circ C$ )(g/ml)	0,958
La tensión de la superficie ( $100^\circ C$ )(dyna/cm)	58,9

Tabla 2. Propiedades del agua

El agua se denomina el solvente universal. Cuando disuelve a un mineral, se producen nuevos materiales a partir de los átomos liberados del mineral, estas partículas se llaman iones.

El agua es un medio absolutamente indispensable para los seres vivos. La prueba es que fue precisamente en el agua en donde se originó la vida a partir de moléculas o átomos tan simples como el carbono, nitrógeno y oxígeno mediante reacciones químicas seriadas que tomaron muchos miles de años. Por otra parte las reacciones químicas dentro de nuestro organismo se realizan en un medio acuoso. Esto es absolutamente indispensable ya que el agua presenta un medio excelente en el cual se pueden llevar a cabo las reacciones químicas.

En la industria petrolera el consumo del agua es de forma desmedida, en la GCB el consumo de agua supera los 20.000 gpm una cifra de grandes proporciones si se tiene en cuenta que el consumo de agua de la población de la ciudad de Barrancabermeja no supera los 15.000 gpm.

A través de la concesión de aguas otorgada por el ministerio del medio ambiente a la GCB se le otorga un uso del recurso hídrico desde el 2005 hasta el 2010, Ver tabla.

<b>CUERPO DE AGUA</b>	<b>CAUDAL CONCESIONADO [gpm]</b>
Río Magdalena	<b>15000</b>
Ciénaga San Silvestre	<b>2995</b>
Ciénaga Miramar	<b>4300</b>

Tabla 3. Cuerpos de agua concesionada a la GCB

### **1.5.1 Residuos de aguas contaminadas.**

En términos generales se puede considerar como contaminación cualquier cambio en la pureza del agua. Sin embargo, el agua es una sustancia distribuida tan ampliamente y un solvente tan bueno que nunca se encuentra naturalmente en un estado completamente puro. Aun en las áreas geográficas menos contaminadas, el agua de lluvia contiene en disolución anhídrido carbónico, oxígeno y nitrógeno y puede llevar también en suspensión polvo y otros particulados que los toma de la atmósfera.

El agua de la superficie de los pozos generalmente contiene en disolución compuestos metálicos a base de sodio, magnesio, calcio y hierro. Inclusive al agua que destinamos para tomar se le han quitado los sólidos suspendidos y se han destruido las bacterias peligrosas, pero hay todavía muchas

sustancias en disolución las cuales le dan el “gusto” especial que le detectamos.

De acuerdo con esto el término **agua pura**, indica que es un estado del agua en el que no hay sustancias presentes en concentraciones suficientes como para impedir que sea utilizada en determinado propósito. Según estos propósitos son:

- VIDA ACUATICA
- UTILIZACION PUBLICA
- AGRICULTURA
- RECREACION
- INDUSTRIA.

El agua que se puede utilizar para algunos usos no se puede utilizar para otros.

Los signos de contaminación acuática son obvios para casi todo el mundo y estos son: puede tener un sabor malo, puede presentar masas de plantas, olores incómodos, presencia de aceite en la superficie, esto indica la diversidad de problemas y la complejidad de los mismos, todos estos contaminantes se agrupan en nueve (9) categorías:

- Desperdicios que demandan oxígeno
- Agentes que causan enfermedades
- Nutrientes vegetales
- Compuestos orgánicos sintéticos
- Aceites
- Materiales químicos inorgánicos y sustancias minerales
- Sedimentos
- Materiales Radiactivos
- Calor

#### - **CONTAMNACION DEL AGUA RESIDUAL.**

Toda la comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos, la fracción líquida (agua residual) está constituida, esencialmente, por el agua de abastecimiento, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida.

Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas y zonas industriales en nuestro caso particular la refinería de Barrancabermeja,

junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores.

Uno de los grandes contaminantes ambientales son las aguas residuales, en especial si se dejan estancar, la descomposición de la materia orgánica que contienen, puede dar lugar a la producción de grandes cantidades de gases pestilentes. Además, las aguas residuales crudas contienen usualmente numerosos organismos patógenos o causantes de enfermedades, los cuales habitan en los seres humanos, o también pueden encontrarse en ciertos vertidos industriales e incluso pueden contener compuestos tóxicos.

Por estas razones, en una sociedad industrializada no es solo deseable, sino de carácter obligatorio la eliminación inmediata de las aguas residuales de sus lugares de generación, seguida de su tratamiento y posterior evacuación.

## **1.6 ESTRUCTURA OPERATIVA DE LA GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA (GCB) ECOPETROL S.A.**

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión de Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), que había sido creada en 1948 mediante la Ley 165 de ese año.

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company, que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Los inicios de la Refinería de Barrancabermeja se dan con el primer equipo, un célebre alambique para destilar el crudo, traído de Talara, Perú, propiedad de la Internacional Petroleum Company, INTERCOL.

60 años después en el 2007 la refinería tiene una capacidad instalada de 250.000 barriles y se inicia la construcción de la Planta de Generación de Hidrógeno, Planta de Hidrotratamiento de Nafta y ACPM, Planta de Tratamientos de Amina, Azufre y Aguas Acidas.

El complejo procesa crudos de varias calidades para producir diferentes tipos de productos requeridos por el mercado nacional.

El área de refinación produce principalmente gasolinas y destilados.

El área de petroquímica elabora productos petroquímicos tales como bases lubricantes, parafinas, aromáticos y polietilenos.

En el área de cracking se cargan gasóleos principalmente para producir GLP y nafta por medio del rompimiento de moléculas de hidrocarburos grandes.

Los productos terminados y el recibo de crudos se realizan en el Área de Materias Primas.

Los servicios industriales son generados en la Refinería con recurso propio.

La tabla 6: Principales Plantas de la Refinería de Barrancabermeja<sup>7</sup>, presenta las plantas que comprenden el Complejo Industrial.

Cantidad de Plantas	Plantas
5	Destilación Atmosférica de Crudo
4	Destilación al vacío de Crudo
4	Ruptura Catalítica
2	Viscorreductora
1	Demex (Desasfaltado con Solvente)
1	Unibón (Hidrosulfurización)
2	Generación de Hidrógeno
1	Alquilación (Avigas)
1	Acido Sulfúrico
1	Aromáticos
1	Parafinas
1	Turboexpander
2	Etileno I y II
2	Polietileno
1	Nitrógeno
1	Plantas de Especialidades
3	Recuperación de Azufre
1	Tratamiento de Aguas Acidas
1	Tratamiento de Aguas Residuales

Tabla 4: Principales Plantas de la Refinería de Barrancabermeja

A continuación anexamos un esquema general del flujo grama de todos los procesos de la refinería y su interconexión con todas las plantas.

Es de suma importancia para nuestro proyecto el determinar en qué área de la refinería se ejecutara nuestro proyecto, ya que existen dentro del complejo

<sup>7</sup> MANUAL DE SEGURIDAD FISICA. Política de Responsabilidad Integral, 2007 10 P

industrial otros sectores en los cuales también podría desarrollarse a conformidad el proyecto de separación superficial de hidrocarburos.

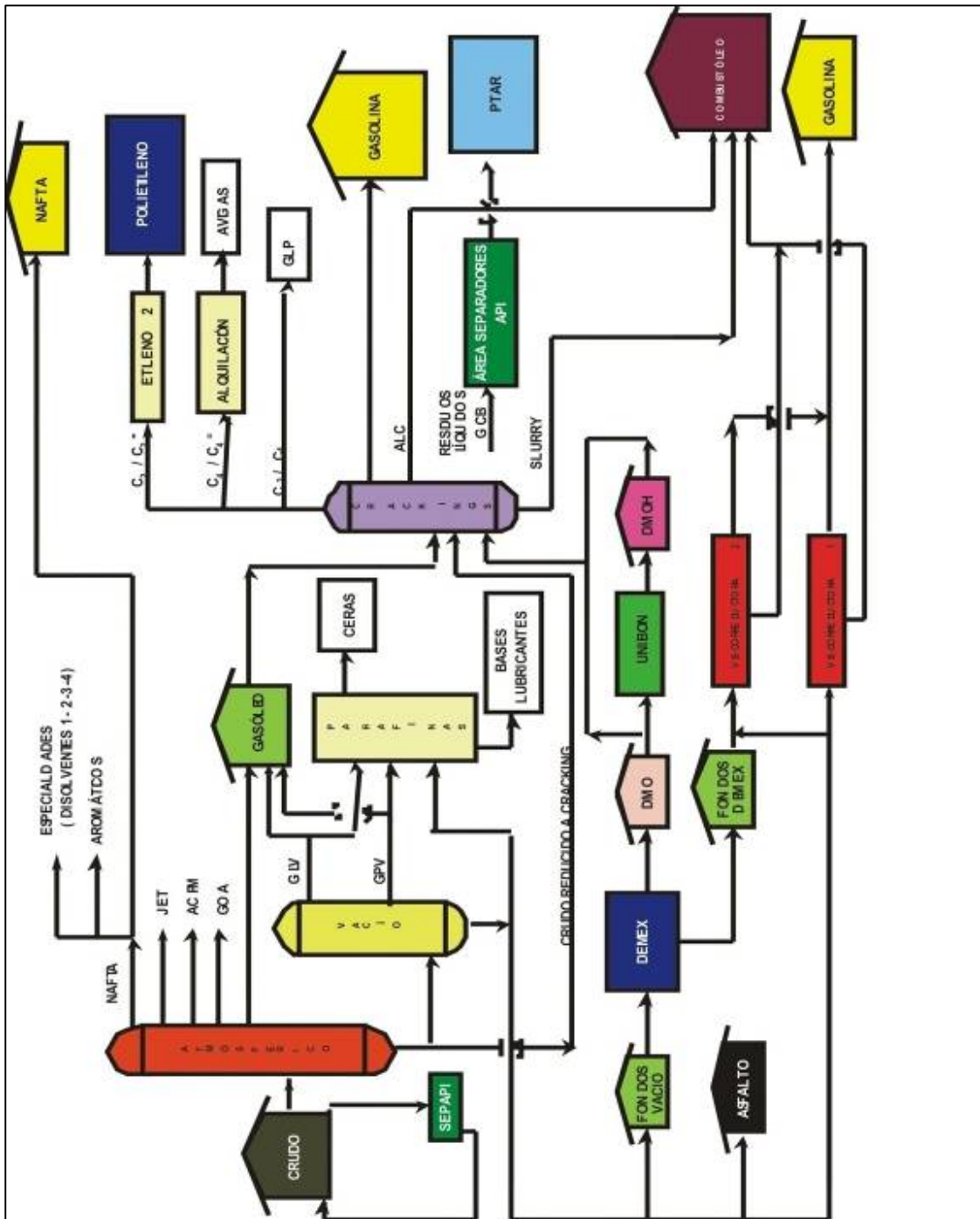


Figura 7. Diagrama general operacional de la refinería Barrancabermeja

### 1.6.1 Tratamiento de hidrocarburos y aceites en la GCB

En la actualidad existe una política de responsabilidad integral como estrategia en ECOPETROL S.A. la cual actúa dentro de un marco de responsabilidad, integridad y respeto por las personas, las instituciones y el medio ambiente, generando condiciones de desarrollo sostenible y valor para nuestros accionistas<sup>8</sup>. Como estrategia existe el Sistema de gestión integral de residuos sólidos industriales y el manual de residuos sólidos industriales. Dentro de las evaluaciones de los sistemas de tratamiento primario en las que se encuentra nuestro proyecto se estableció que la refinería NO CUMPLE los parámetros de G&A (Grasas y Aceites) exigidos por las normas nacionales y que con respecto a los estándares internacionales (EPA-US y ARPEL), se establece igualmente que los vertimientos de la refinería no cumplen con los mismos (ver Tabla 7)

PARAMETRO	CUMPLIMIENTO RESPECTO A LA NORMA		
	EPA - US	ARPEL	COL (DEC 1594/84)
Cromo total	O.K.	O.K.	n.e.
DBO5	O.K.	n.e.	O.K.*
DQO	N.C.	N.C.	n.e.
Fenoles	N.C.	N.C.	N.C.
Fósforo	n.e.	O.K.	n.e.
Grasas & Aceites	N.C.	N.C.	N.C.**
Amonio	N.C.	N.C.	n.e.
Níquel	n.e.	O.K.	O.K.
PH.	O.K.	O.K.	O.K.
Sólidos suspendidos totales	N.C.	N.C.	O.K.
Sulfuros	N.C.	N.C.	n.e.
Temperatura	n.e.	n.e.	O.K.

Tabla 5. RESUMEN CUMPLIMIENTO DE VERTIMIENTO DE LA REFINERIA RESPECTO A LAS NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES.

\* Estimado solo para PTAR con base en los datos de monitoreo histórico (jul. /03 – Dic. /04)

<sup>8</sup> MANUAL DE MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN LA GCB, Documento oficial GPB-RMG-M-001. 2005. 11P.

- \*\* La remoción histórica para G&A de PTAR (Planta de tratamiento de Aguas Residuales) es del 65% equivalente a 32.5 m<sup>3</sup> de agua de los 50 m<sup>3</sup> de agua para la cual fue diseñada
- O.K. Cumple con la norma especificada.
- N.C. No cumple con la norma especificada.
- n.e. La norma no especifica valor limite admisible.

### 1.6.2 Usos y Especialidades del componente Agua en la GCB

En la actualidad existe el departamento de servicios industriales encargado de toda la parte operativa del recurso agua, suministra a todas las áreas del complejo los servicios de:

- ✓ Vapor
- ✓ Agua
- ✓ Energía
- ✓ Aire

Dentro del ítem agua suministra las siguientes tipos de agua:

- ✓ Agua industrial
- ✓ Agua de calderas
- ✓ Agua de enfriamiento
- ✓ Agua de contraincendios
- ✓ Agua potable
- ✓ Condensados

Veamos un esquema de la producción de aguas en la gcb.

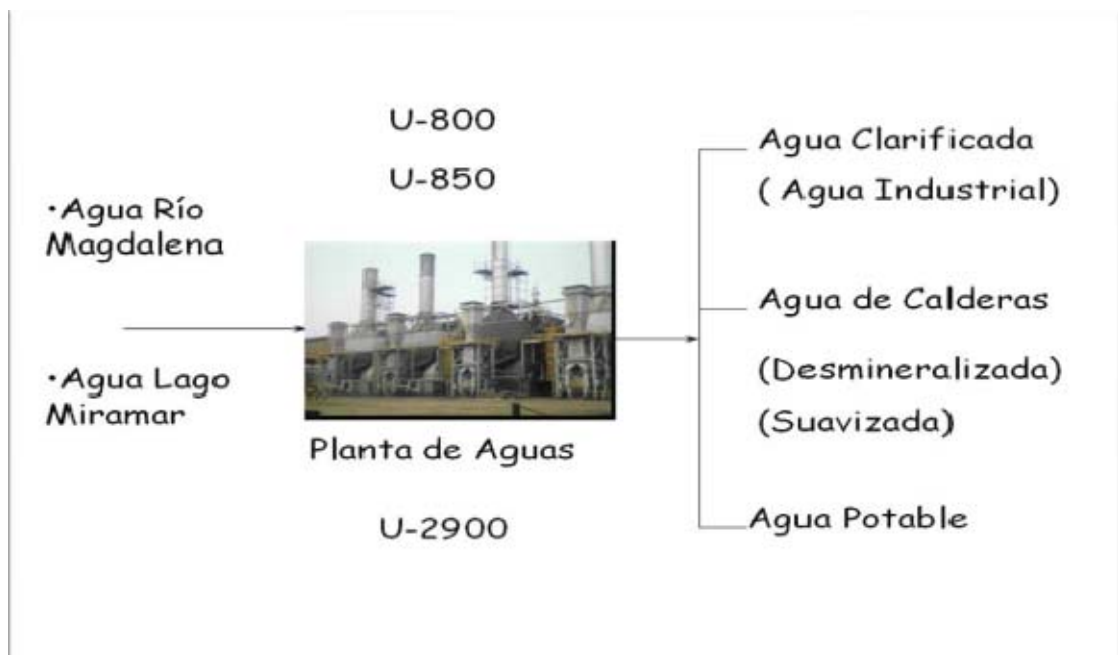


Figura 8. Esquema de producción del agua en la GCB.

Dentro de este esquema podemos calcular la capacidad de producción actual de la refinería.

ESPECIALIDAD	Consumo normal GPM	TOTAL
CAPTACIÓN	9000	15000
POTABLE	900	1200
AGUA DE CALDERAS	2000	3000
AGUA CLARIFICADA	4500	9000
5 TORRES ENFRIADORAS	250000	
REMOCION	55200 MBTU/D	
		28200 GPM

Tabla 6. Capacidad total de producción de agua de la refinería.

Del total de la capacidad de producción de agua el 80% de estas aguas terminan siendo aguas residuales o contaminadas que son aproximadamente 22560 gpm y que van a parar a la PTAR.



Figura 9. Piscina de planta de aguas



Figura 10. Piscina de tratamiento de lodos planta de aguas

### **1.7 COMPONENTE AMBIENTAL DE LA GCB ECOPETROL S.A**

El proyecto de separación superficial de hidrocarburos está enmarcado dentro de este componente el ambiental, por todo el impacto que representa el poder reducir el nivel de contaminación y de concentración de los hidrocarburos en el recurso agua.

Otra de las razones del porque hablamos del componente ambiental es porque el separador superficial se ubicara en la zona ambiental y esta zona está enmarcada por un principio de trabajo conjunto con nuestros socios, clientes, proveedores y contratistas para que los contratos, productos y servicios cumplan con los requisitos legales, políticas y directrices corporativas, promoviendo el mutuo beneficio.

Con el fin de preservar los recursos AGUA, SUELO, AIRE y proteger la salud de las personas, comunidades e instalaciones, la Gerencia Complejo Barrancabermeja, cumplirá con los requisitos legales exigidos por las autoridades nacionales y regionales mediante la aplicación de procedimientos. (Decreto 1594 de 1984 vertimiento agua, Ley 373 de 1995, uso de agua.

Otros aspectos que enmarcan el componente ambiental es el compromiso con todos los actores del negocio, por lo tanto La empresa tiene implementado el proceso de gestión de HEMP (Manejo de la Gestión de Peligros y Efectos), HRA (Manejo de riesgos de la salud), Aspectos e Impactos , RBI's, RCA's, Permisos de Trabajo, ATS, SAS, Tres Que's, E&L, programas de capacitación, mantenimiento preventivo, e inspecciones de planta, los cuales garantizan el trabajo seguro y confiable de nuestros equipos asegurando condiciones óptimas de trabajo para el personal que labora en tales instalaciones.

Empezaremos por enumerar las principales zonas donde se tratan los vertimientos líquidos contaminantes tanto aguas como aceites, luego nos enfocaremos donde el proyecto generara mayor impacto que es la PTAR.

### 1.7.1 Esquema general de aguas lluvias y aceitosas

En este esquema se puede apreciar en forma general como está distribuido el sistema de aguas lluvias y aceitosas de la GCB la finalidad de esto es dar una idea del recorrido normal de los afluentes, de los camiones de vacío y de cuales puntos que no hacen parte del recorrido, están consumiendo este recurso.

Me parece importante aclarar que tanto los puntos que vierten al río, a la ciénaga, al caño y las aguas aceitosas que se tratan en los separadores y posteriormente en PTAR, están siendo afectados por los excesivos vertimientos de productos a estos sistemas y por la comunicación que se da en plantas y en área de tanques, de los sistemas de aguas lluvias al aceitoso o del aceitoso al de aguas lluvias. Muchas de estas inconsistencias están identificadas y es por esto la excesiva contaminación de las cajas lluvias y aceitosas.

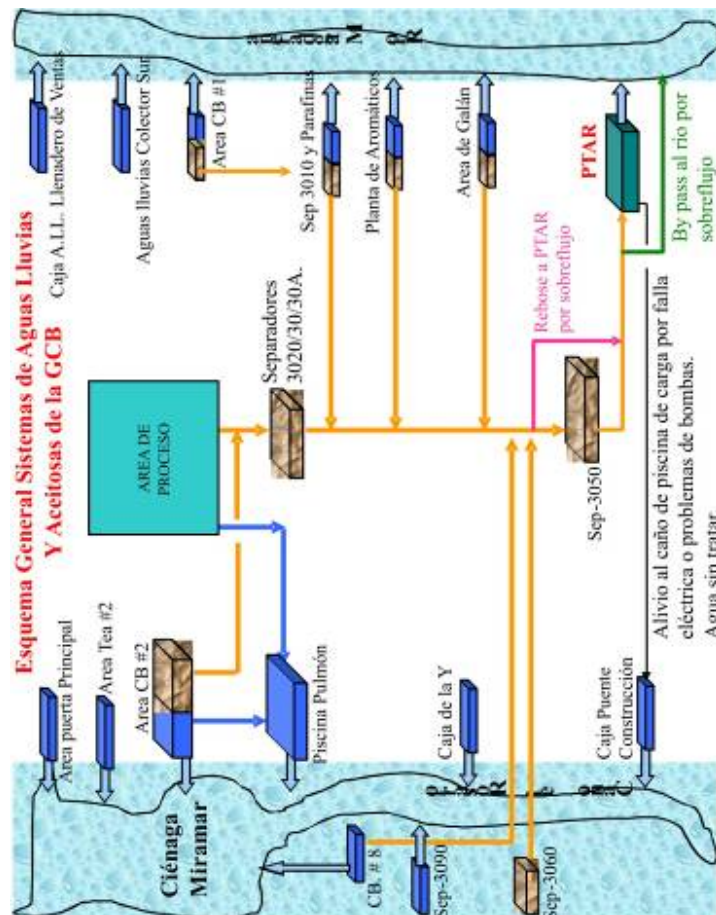


Figura 11. Esquema general de aguas lluvias y aceitosas de la GCB

### 1.7.2 Separadores 3010 – 3020 - 3030 – 3050 - 3090

El tratamiento primario de los residuos líquidos se realiza en los Separadores Gravitacionales API. En éstos se efectúa una separación física de la interface agua-hidrocarburo; presenta también el recorrido del agua aceitosa a través del separador y una sedimentación primaria de los sólidos en suspensión

Los Separadores API de tratamiento primario, remueven hidrocarburos e impurezas del flujo, proporcionan el tiempo de retención y las condiciones de flujo necesarias para la sedimentación y flotación de las impurezas, y eliminan los productos de la sedimentación y flotación mediante limpieza programada.

En la refinería actualmente existen estos separadores:

- Separador de Parafinas SE-3010

Las aguas residuales provenientes de Proceso de Extracción Líquido-Líquido con Fenol y Parafinas se unen en una corriente que llega por gravedad a la pre-cámara de distribución del Separador de Parafinas SE-3010. También por gravedad llega a la pre-cámara de distribución la corriente conformada por las aguas residuales que salen de Planta de Ácidos y Unidad 850. En la pre-cámara se eliminan los sólidos más grandes presentes en el agua gracias a una reja allí colocada y se remueve el aceite libre por medio de un desnatador.



Figura 12. Piscina principal separador SE-3010

- Separador Sur SE-3020

En el Separador Sur SE-3020 se reciben las aguas aceitosas provenientes de Casa Bombas # 1, Especialidades, Cracking y Topping 150, las aguas ácidas y fenólicas procedentes de Alquilación y Modelo IV y las aguas cáusticas derivadas de la Planta de Soda y Topping 150. Estas aguas se unen en una corriente que llega por gravedad a la pre-cámara de distribución del SE-3020.

Este separador actúa por medio de la técnica de baffles que disminuyen la turbulencia del flujo y permiten que en la piscina se separen el agua, el slop y el lodo.



Figura 13. Piscina principal separador sur SE-3020

- Separadores Sur SE-3030/30<sup>a</sup>

La corriente conformada por las aguas cáusticas provenientes de la Planta de Sodas y por las aguas aceitosas de Casa Bombas # 2 y # 4, Orthoflow y U-200/250/2000/2100, se divide en dos corrientes que llegan por gravedad a las pre-cámaras de distribución de los Separadores Sur SE-3030/30A, respectivamente. Además de esta corriente, el Separador Sur SE-3030 recibe el efluente del Separador de Parafinas SE-3010 y el aceite recuperado por los camiones de vacío en la Piscina Pulmón SE-3054 y en el Separador de Aguas Lluvias SE-3090. Cuando por novedades y/o incidentes

operacionales se presentan derrames o acumulaciones en áreas no adecuadas, los camiones de vacío recogen slop y lo descargan también en la cámara del pre-SE-3030.



Figura 14. Piscinas colectoras del separador 3030.

- Separador de la Unidad de Balance SE-3060

El Separador de la Unidad de Balance SE-3060 recibe la corriente que se compone por las aguas aceitosas de la Unidad de Balance, las aguas agrias de la Planta de Tratamiento de Aguas Agrias de UOPI, las aguas de Servicios Industriales, Demex, Unibón, U-2500 y Área Externa. Las Bombas Tornillo P-3065A/B toman y elevan la corriente y la dirigen hacia la pre-cámara de distribución del Separador.



Figura 15. Tornillos sin-fin recuperadores de lodos SE-3060

- Separador de Aguas Lluvias SE-3090

El Separador de Aguas Lluvias SE-3090, recibe la corriente de agua conformada por las aguas de alcantarillas y del colector de aguas lluvias de la Unidad de Balance, a esta corriente se une el efluente proveniente del Separador de la Unidad de Balance SE-3060 (línea secundaria). La corriente llega por gravedad a la pre-cámara de distribución del Separador de Aguas Lluvias SE-3090. El tratamiento del agua en el Separador se realiza con el fin de llevar a cabo la separación del agua y el poco hidrocarburo presente en este tipo de aguas, aplicando el principio de separación física por gravedad a lo largo de las cámaras de separación.



Figura 16. Separador de aguas lluvias SE-3090

- Separador de Crudos SE-3080

En el Separador de Crudos SE-3080 se reciben las aguas aceitosas de Casa Bombas # 8 y las descargas de camiones con decomisos de crudo. Esta corriente llega por gravedad a la pre-cámara de distribución del SE-3080. El tratamiento de las aguas en el Separador de Crudos SE-3080 se realiza a lo largo de las cámaras, las cuales cuentan con filtros de láminas de eternit que permiten la separación óptima del agua, el lodo y el hidrocarburo.

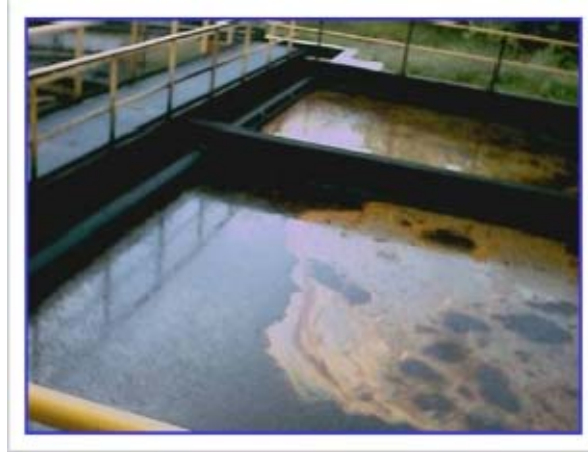


Figura 16. Piscinas de lodos del separador SE-3080

- Separador Norte SE-3050

Las aguas aceitosas provenientes de Casa Bombas # 5, SE-3020/30/30A/60 y SE-3080, se unen en una corriente que antes de entrar al SE-3050 pasa por una caja o depósito llamado Pacha Vieja, cuando el nivel de la Pacha Vieja aumenta, se envía el exceso de agua directamente a la salida del SE-3050 para que llegue a la PTAR. Las Bombas Tornillo P-3050A-C, toman y elevan la corriente de agua sobre un tornillo sin fin para que llegue a la pre cámara de distribución del Separador Norte SE-3050. En la pre-cámara se eliminan los sólidos más grandes presentes en el agua gracias a una reja allí colocada y se remueve el aceite libre que llega al SE-3050.



Figura 17. Las diferentes

piscinas que actúan por diferencial de nivel del separador SE-3050 y el colector principal

### 1.7.3 Piscina pulmón SE-3054

La Piscina Pulmón SE-3054 se encuentra ubicada en el sector del separador norte SE-3050 y tiene una capacidad aproximada de 42000 m<sup>3</sup>. La piscina pulmón SE-3054 recibe la corriente de aguas conformada por una gran parte de los sistemas de aguas lluvias de la refinería, casa bombas # 2, UOP II y petroquímica. El objetivo de la piscina pulmón SE-3054 es contener y homogenizar el agua, para garantizar que el vertimiento al caño rosario no impacte significativamente el medio ambiente.

La piscina pulmón SE-3054 se diseñó para recibir solamente aguas lluvias, sin embargo, no se descarta la posibilidad de que a ella lleguen aguas con residuos de hidrocarburo proveniente de los procesos que se llevan a cabo en la refinería. De ser así, se dispone de facilidades de evacuación de slop por medio de los camiones de vacío, los cuales dirigen y retornan el slop al Separador Sur SE-3030 para reproceso



Figura 18 – 19 Primera etapa de la piscina pulmón retención del fluido



Figura 20 – 21 Segunda etapa de la piscina pulmón, separación

Relación general de los separadores de la GCB.

No.	SEPARADOR	UBICACIÓN	TIPO DE SEPARADOR
1	SE-3010	Oriente de la Planta de Parafinas	Caja separadora
2	SE-3020	Norte de la Planta de Alquilación	Separador API
3	SE-3030	Sur-oeste Casa de Bombas # 4	Separador API
4	SE-3030A	Oriente del Separador # 3	Separador API
5	SE-3050	Oriente de PTAR	Separador API
6	SE-3070	Norte del TK-812	Caja separadora
7	SE-3080	Central de Crudos Casa de Bombas # 8	Separador API
8	SE-3080A	Central de Crudos Casa de Bombas # 8	Separador API
9	SE-3054	Piscina Pulmón	Caja separadora

Tabla 7. Listado de separadores y ubicación de la GCB.

## 1.8 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR"

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la GCB, considerada como una de las más grandes del mundo, es consecuencia de una disposición de la gerencia general del distrito emanada el 30 de noviembre de 1971, la cual dio origen al proyecto 72-014, hoy culminado.

La ingeniería básica de diseño de la planta, de acuerdo con las características propias de la GCB, fue encomendada a la firma UOP de los Estados Unidos y la ingeniería de montaje y construcción fue realizada por DEGREMONT de Francia. La interventoría de la obra estuvo a cargo de la firma TPL de Italia, conjuntamente con el departamento de interventoría de ECOPETROL SA.

Las plantas de tratamiento de la unidad PTAR ambiental fueron diseñadas para manejar como carga los residuos líquidos de tipo residual y sanitario de la GCB.

El sistema general de tratamiento de los residuos líquidos industriales de la GCB, comprende los separadores gravitacionales API y la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), construida para purificar los efluentes provenientes de los separadores.

El tratamiento de las aguas lluvias y aguas negras se realiza en la planta de tratamiento de aguas sanitarias (DIAPAC). La carga de la unidad PTAR Ambiental de la GCB comprende diversos flujos así:

- Aguas Aceitosas
- Aguas Ácidas
- Aguas Agrias
- Aguas Cáusticas
- Aguas Fenólicas
- Aguas Sanitarias

Explicaremos a continuación estas aguas.

- **Aguas Aceitosas**

Constituyen más del 75% de la carga de la PTAR y son las aguas provenientes de:

- ✓ Desagües de tanques de almacenamiento
- ✓ Emulsiones aceitosas de equipos de enfriamiento de las plantas de proceso
- ✓ Hidrocarburos aromáticos, alifáticos, parafínicos y nafténicos
- ✓ Drenajes de las plantas de proceso

- **Aguas Ácidas**

Son las aguas provenientes de los lavados de resinas y calderas, además de las purgas de los tanques de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

- **Aguas Agrias**

Son todas las corrientes que contienen arrastre de sulfuros, poli sulfuros y amoniaco, generalmente provienen de las torres despojadoras de amoniaco y  $H_2S$ .

- **Aguas Cáusticas**

A esta categoría pertenecen las emulsiones resultantes del tratamiento con soda a las gasolinas, el lavado de equipos y resinas.

- **Aguas Fenólicas**

Son los residuos líquidos provenientes del tratamiento que se le hace a las bases parafínicos con fenol ( $C_6H_5OH$ ).

- **Aguas Sanitarias**

Las Aguas sanitarias son de color grisáceo con tendencia a café amarillento, en ocasiones están coloreadas por algunos efluentes industriales. Los contaminantes que poseen comprenden en su mayoría sólidos suspendidos, sustancias orgánicas disueltas y amoniaco o urea

A continuación hare una relación de todas las cargas de PTAR.

Planta		Carga	Fuente
<b>Tratamiento Primario en Separadores API</b>	SE-3010	Aguas Aceitosas	Casa Bombas # 1
		Aguas Fenólicas	Fenol
		Aguas Ácidas	Llenadero Carro Tanques
		Aguas Aceitosas	Parafinas y Unidad 850
		Aguas Ácidas	Planta de Ácidos
		Aguas Cáusticas	Sodas Gastadas
	SE-3020	Aguas Ácidas	Alquilación y Modelo IV
		Aguas Aceitosas	Cracking, Especialidades
		Aguas Aceitosas, Fenólicas	Modelo IV
		Aguas Cáusticas	Soda y Topping 150
		Aguas Aceitosas	Topping 150
	SE-3030 SE-3030 A	Aguas Aceitosas	Casa Bombas # 2 y # 4
		Aguas Aceitosas	Vertientes SE-3010
		Aguas Aceitosas	Orthoflow
		Aguas Cáusticas	P. Soda
		Aguas Aceitosas	U-200
		Aguas Aceitosas	U-250
		Aguas Aceitosas	U-2000
		Aguas Aceitosas	U-2100
	SE-3060	Aguas Aceitosas	Unidad de Balance
		Aguas Agrias	Aguas Agrias UOP1
	SE-3080	Aguas Aceitosas	Casa Bombas # 5 y # 8
	SE-3050	Aguas Aceitosas	Caja Siberia
Aguas Aceitosas		Efluente SE-3020/30/30A	
Aguas Aceitosas		Efluente SE-3060/80	
<b>PTAR</b>	Aguas de Proceso	Drenajes BA-4015	
	Aguas Ácidas	Drenajes Cuarto Químicos	
	Aguas Aceitosas	Efluentes Separadores API	
	Aguas de Proceso	Retornos BA-4014A/B	
	Aguas de Proceso	Sobrenadantes BA-4013	
<b>DIAPAC</b>	Aguas Sanitarias	Aguas Lluvias, Domésticas y Negras de la Unidad de Balance y Club Miramar	

Tabla 8. Carga a la unidad PTAR ambiental

### **1.8.1 Descripción de los procesos generales de la “PTAR”**

Las unidades de tratamiento de la unidad PTAR Ambiental adecuan las corrientes líquidas residuales y sanitarias de la GCB, para ser convertidas en efluentes tratados con bajos niveles de contaminantes.

Existen tres (3) procesos principales dentro de la estructura ambiental de la GCB estos son:

- Tratamiento Primario

Describe el tratamiento primario de los residuos líquidos aceitosos

Con el tratamiento primario en los separadores API se remueven hidrocarburos e impurezas del flujo, se proporcionan el tiempo de retención y las condiciones de flujo necesarias para la sedimentación y flotación de las impurezas, y se eliminan los productos de la sedimentación y flotación mediante limpieza programada

- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

En la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se realiza la purificación de una mezcla de flujos. La mezcla se compone de los efluentes de separadores API, las aguas residuales de la unidad de balance, los drenajes del cuarto de químicos, y las aguas que se recirculan del proceso

- Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias (DIAPAC)

En la planta de tratamiento de aguas sanitarias (DIAPAC) se realiza el tratamiento de las aguas negras y las aguas lluvias de la gcb. La base del tratamiento es la aireación extendida. Esta sección describe el tratamiento directo de las aguas por medio de lodos activados con un bajo factor de carga.

Para nuestro interés la PTAR significa el mayor centro separador y purificador de hidrocarburos por lo tanto presentaremos un esquema del funcionamiento de la PTAR, las condiciones de cómo entran las aguas y como deben salir hacia el río Magdalena, bajo qué condiciones ambientales deben llegar allí y cuál es el mecanismo interno de esta unidad.

Hasta llegar a la piscina de carga BA-4001 donde sucede la separación superficial de hidrocarburo y es donde nuestro proyecto concentra su interés.

El flujo grama de la PTAR detalla en su dimensión todos los equipos que interactúan entre sí.

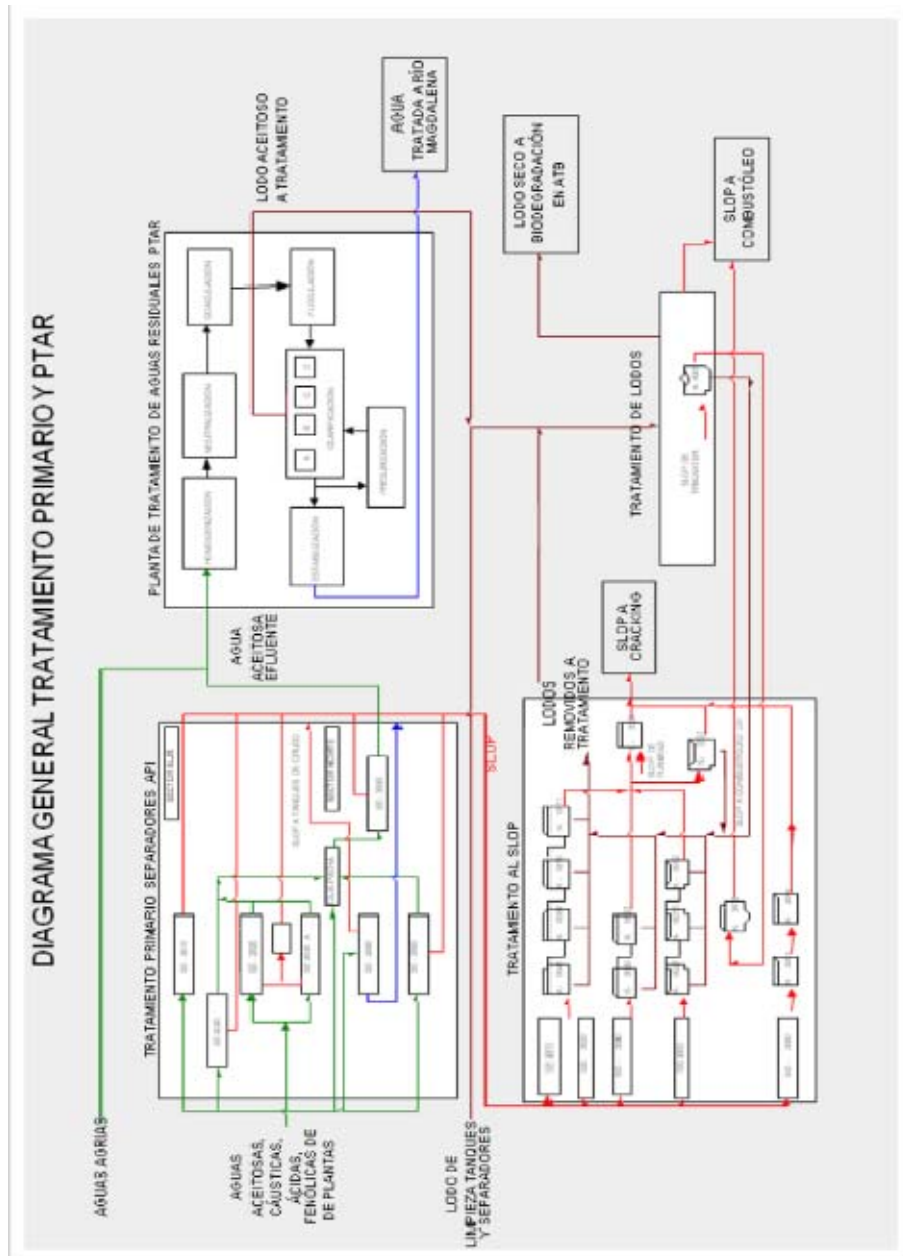


Figura 22. Flujo grama general del proceso de la planta PTAR

### 1.8.2 Objetivos y funciones de la “PTAR”

El principal objetivo del programa de control a la contaminación establecido por la PTAR es producir un efluente estéticamente aceptable para la corriente receptora, permitiendo que sea adecuada para la vida acuática, por estar libre de sustancias tóxicas y organismos patógenos.

El segundo objetivo de la planta de tratamiento de aguas residuales, fue el de ser construida para purificar los efluentes provenientes de los Separadores API.

- Funciones.
- ✓ Dentro de las funciones primordiales de la planta es vigilar y controlar los tipos de afluentes que provienen de todas las áreas de la GCB.
- ✓ Vigilar y controlar todos los efluentes que salen de la planta y que deben salir con unas mínimas partículas contaminadas, con un control ambiental aceptable y que no impacten negativamente en el río.

Dentro de los rangos permisibles para que la PTAR cumpla con estos requerimientos se deben conocer las composiciones de carga tanto de llegada como de salida de las aguas residuales.

La composición de la carga a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se presenta así:

Parámetro	Valor
Sólidos Disueltos (ppm)	500-3000
Sólidos Suspendidos (ppm)	250-350
Sulfuros Totales (como S) (ppm)	10-100
Contenido de Aceite (ppm HC)	500-700
Temperatura (°C)	50-60
pH	4.0-10.0

Tabla 9. Características afluentes PTAR

La composición de la carga a la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias (DIAPAC), se presenta así:

Parámetro	Valor
pH	6.0-7.0
DBO (ppm)	450-500
Temperatura (°C)	20-30
Sólidos Suspendidos (ppm)	250-350

Tabla 10. Características afluentes DIAPAC

Después de ser tratada se presentan las condicionales finales o salientes de la carga de PTAR a continuación se presentan algunos resultados de la caracterización del agua después del tratamiento; estos datos reflejan la reducción de contaminantes en el producto.

Parámetro	Valor
Sólidos Disueltos (ppm)	70-90
Sólidos Suspendidos (ppm)	45-55 Máx.
Sulfuros Totales (como S) (ppm)	5-15
Contenido de Aceite (ppm HC)	35-45 Máx.
Temperatura (°C)	25-35
pH	6.0-7.0

Tabla 11. Características efluente PTAR

Características Efluente DIAPAC, se presentan algunos resultados de la caracterización del agua después del tratamiento; estos datos reflejan la reducción de contaminantes en el producto.

Parámetro	Valor
pH	6.0-7.0
DBO (ppm)	60-80
Temperatura (°C)	20-30
Sólidos Suspendidos (ppm)	35-55

Tabla 12. Características efluentes DIAPAC

Por último se muestra el balance de masa o material; este balance de material presenta los flujos típicos de entrada y salida de la unidad.

✓ Material de Entrada.

La unidad recibe entre 2900 y 13200 GPM de agua residual. La carga se compone de los efluentes provenientes de los Separadores API, los drenajes del cuarto de químicos y las aguas recirculadas de proceso.

✓ Material de Salida.

La unidad produce entre 2897 y 13197 GPM de efluente (no potable) tratado con los procesos físico-químicos. Este efluente se descarga a la fuente receptora (Río Magdalena). Además de este efluente, se recuperan como slop aproximadamente 1.9 GPM de aceite, y alrededor de 1.1 GPM de lodos de flotación.

✓ Diagrama de Balance de Material.

La figura 23: Balance de Material PTAR, ilustra un ejemplo de diagrama de flujo simplificado en el que la carga típica a la planta es de 13200 GPM de agua residual. Se muestran también las corrientes de producto y sub-productos para representar la conservación de material en la planta.

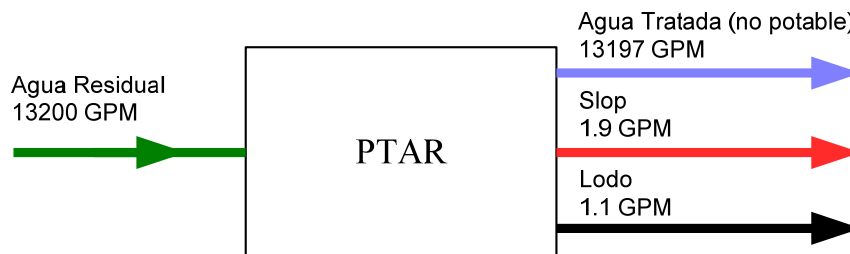
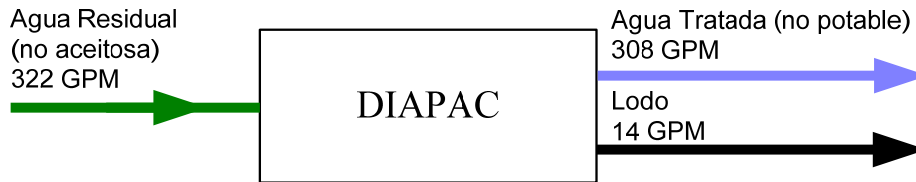


Figura 23. Balance material PTAR.

✓ Diagrama de Balance de Material.

La figura 24: balance de Material DIAPAC, ilustra un ejemplo de diagrama de flujo simplificado en el que la carga típica a la planta es de 322 GPM de agua residual no aceitosa. Se muestran también las corrientes de producto y sub-productos para representar la conservación de material en la planta.



a 24. Balance material DIAPAC

Figur

### 1.8.3 Descripción de los procesos internos de la “PTAR”

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) realiza siete (7) técnicas de purificación de los efluentes provenientes de los separadores API. A continuación las enumeramos y explicaremos brevemente cada una.

- Homogenización
- Neutralización
- Flotación-Clarificación
- Coagulación
- Floculación
- Tratamiento de Lodos
- Estabilización
- Homogenización

La homogenización ocurre en la piscina de Carga BA-4001. Es el proceso mediante el cual los flujos afluentes a la PTAR se mezclan. La mezcla se promueve porque los afluentes presentan propiedades similares y esto facilita la formación de una solución físicamente homogénea, de esta forma se evita la estratificación y disminuye el impacto de la variación de pH del agua de carga que resulta perjudicial para los procesos que conforman el tratamiento.



Figura 25. En la piscina de carga BA-4001 ocurre la Homogenización

- Neutralización

El proceso se realiza en la piscina de neutralización BA-4002. En este proceso, el pH del flujo se lleva a un valor puntual. La neutralización se realiza adicionando  $H_2SO_4$  o  $CO_2$ . En esta piscina la carga sufre una agitación con aire, inyectado por la parte más baja de la estructura. El aire se envía por medio de cuatro Sopladores en línea C-4002 A-D.



Figura 26. Piscina BA-4002 donde ocurre la neutralización

- Flotación-Clarificación

El efluente de la piscina de neutralización BA-4002, actúa por gravedad y mediante un sistema de compuertas móviles se envía a cuatro Trenes de Flotación-Clarificación.

Los Trenes de Flotación-Clarificación A/B/C/D pueden operarse individualmente o en conjunto

Cada tren de Flotación-Clarificación consta de:

- ✓ Cámara de Coagulación BA-4003A-D
- ✓ Cámara de Floculación BA-4004A-D
- ✓ Tanque de Flotación BA-4005A-D
- ✓ Cámara de Espesamiento Compartida BA-4006A/B
- ✓ Columna de Equilibrio Compartida BA-4007A/B
- ✓ Drums de Presurización D-4001A-C



Figura 27. Trenes donde ocurre la coagulación - floculación

- **Coagulación**

El flujo proveniente de la piscina de neutralización BA-4002 llega por gravedad a la cámara de coagulación BA-4003A-D con capacidad aproximada de 15 m<sup>3</sup>. Con el propósito de reunir y precipitar los sólidos suspendidos y la materia coloidal presente en el agua (formación de coágulos), estos son pequeñas esferas del tamaño de un grano de arena. En la ingeniería básica se estará explicando con más detalle acerca de este tema.

- **Floculación**

Desde la cámara de coagulación BA-4003A-D fluye el agua por gravedad hacia la cámara de floculación BA-4004A-D con capacidad aproximada de 150 m<sup>3</sup>. Allí se inyectan a las Cámaras de Floculación un floculante (químico). Esto permite el contacto íntimo del floculante con los coágulos formados en la BA-4003A-D, y facilita la formación de flocs por la adherencia de los coágulos a las moléculas del floculante. Para evitar el rompimiento de los flocs, en la BA-4004A-D se encuentra ubicado un Agitador AG-4004A-D de velocidad ajustable por medio de un reductor, la velocidad de agitación en la cámara es moderadamente lenta y oscila entre 9 y 15 rpm.

- **Tratamiento de Lodos**

En esta unidad después de la coagulación y floculación se da la sedimentación y remoción de sólidos.

El aceite allí segregado se bombea a los Tanques de Tratamiento de Slop o va directamente a Combustóleo quiere decir a venta a los clientes.

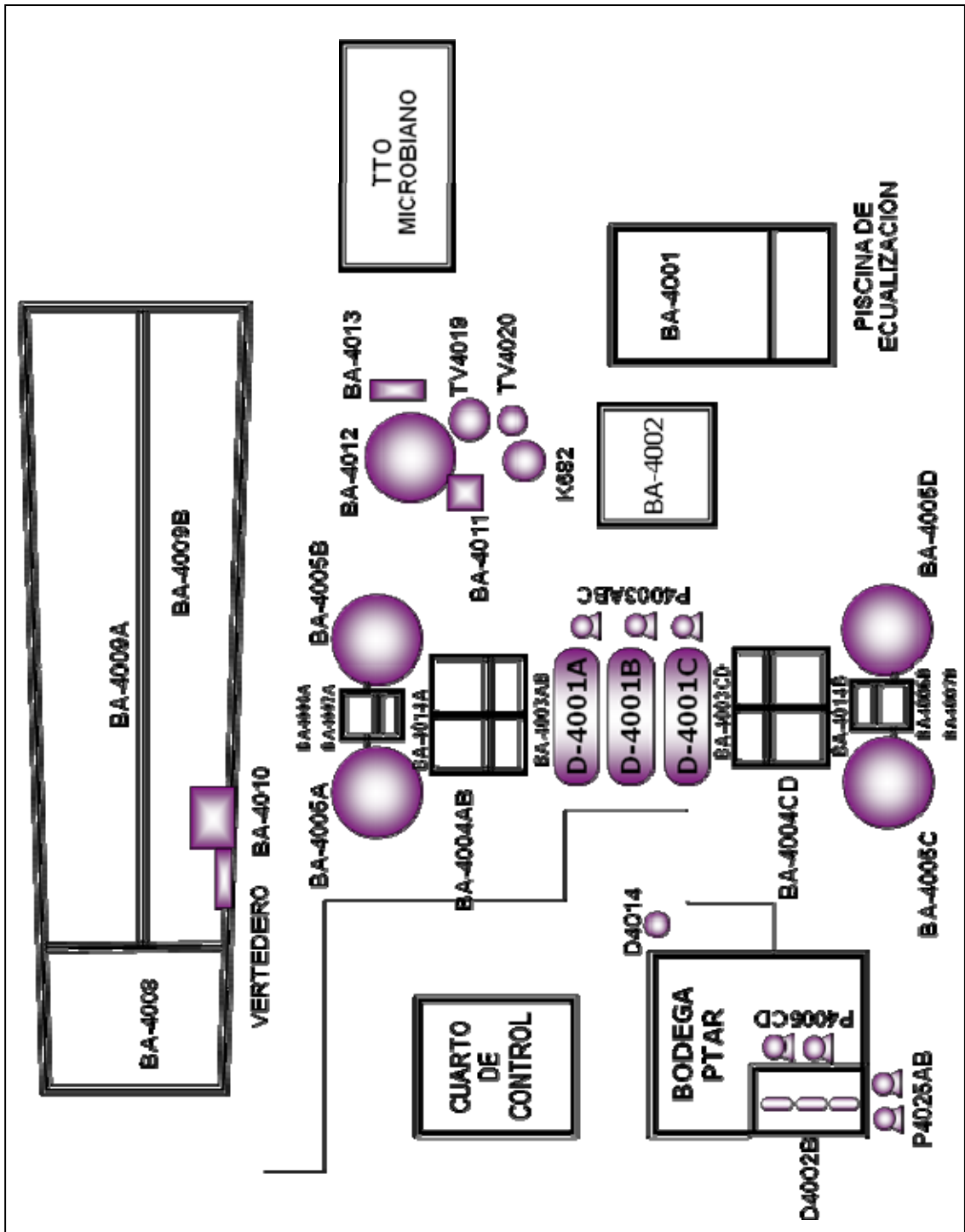


Figura 28. Plano superior de la ubicación de equipos de PTAR.

- **Estabilización**

Las piscinas de estabilización biológica BA-4009A/B, con capacidad aproximada de 7500 m<sup>3</sup> cada una, reciben por gravedad el agua clarificada de las Columnas de Equilibrio BA-4007A/B, por medio de una válvula de compuerta ubicada en la entrada y recibe por el fondo el agua que sale de la BA-4008. En las BA-4009A/B se efectúa una biodegradación de fenoles (degradación del hidrocarburo soluble) por medio de la foto-oxidación.

Finalmente el efluente pasa al Pozo de Succión BA-4010, en donde es tomado para descargarse al Río Magdalena o al Distrito de Oleoductos DOL.



Figura 29. Piscinas de estabilización BA-4009 A/B.

#### **1.8.4 Descripción de los equipos.**

En la PTAR de la GCB, existen actualmente trece piscinas, cada una de las cuales cuenta con diferentes equipos y accesorios, que proporcionan al proceso las condiciones necesarias para su ejecución.

Del total del listado de equipos se puede concluir que la PTAR es la planta más grande de Colombia que trata aguas residuales, y una de las más grandes del mundo.

A continuación relaciono el listado general de piscinas y equipos su descripción, su servicio.

PISCINA	EQUIPOS	SERVICIO
BA-4001	P-4001 A/B/C	BOMBAS DE CARGA
	W-4003	DESNATADOR ACEITE, MOPA
BA-4002	C-4002 A/B/C/D	SOPLADORES, NEUTRALIZACION
	AIC-40001	PH METRO AUTOMATICO
BA-4003 A/B/C/D	AG-4003 A/B/C/D	AGITADORES DE COAGULACION
BA-4004 A/B/C/D	AG-4004 A/B/C/D	AGITADORES DE FLOCULACION
BA-4005 A/B/C/D	X-4005 A/B/C/D	RASPADORES DE FLOC
BA-4006 A/B	P-4004 A/B/C/D/E/F	LODOS A BA-4012
BA-4010	P-4002 A	BOMBA DE RECIRCULAR Y AL RIO
BA-4012	P-4008 A/B	BOMBAS SLOP RECUPERADO
	P-4009 A/B/C	BOMBAS MANEJO LODO Y SLOP
BA-4014	P-4018 A/C	BOMBAS DESOCUPAR SOTANO
PRESURIZACION	D-4001 A/B/C	TAMBORES DE PRESURIZACION
	P-4003 A/B/C	BOMBAS DE PRESURIZACION
AIRE IND E INST.	C-4001 C/D	COMPRESORES RECIPROCOS
	D-4011 A/B	CILINDROS ELIMINACION AGUA
	D-4012	ALMACENAMIENTO AIRE PRES.
QUIMICOS	D-4002 A/B	DRUMS DE ACIDO SULFURICO
	D-4003	DRUM DE SODA CAUSTICA
	P-4005 C/D	BOMBAS ACIDO A BA-4002
	P-4025	DESCARGUE CAMION DE ACIDO
LODOS	TV-4019	TOLVA TTO DE LODOS Y SLOP
	TV-4020	TOLVA TTO DE LODOS Y SLOP
	K-0682	ALMACENAMIENTO AUXILIAR
	K-4001	ALMACENAMIENTO SLOP

Tabla 13. Equipos actuales ESTATICOS encontrados en PTAR

BOMBAS	SERVICIO	GPM	TIPO
P-4001 A/B/C	HOMOGENIZACION	6200	VERTICALES SUMERGIDAS
P-4002 A	ESTABILIZACION	6200	VERTICALES SUMERGIDAS
P-4003 A/B/C	PRESURIZACION	2200	CENTRIFUGAS HORIZONT.
P-4004 A-F	LODOS FLOTAC.	110	DESPLAZAMIENTO TORN.
P-4005 C/D	ACIDO	2.2	DESPLAZAMIENTO PISTON
P-4008 A/B	SLOP	104	CENTRIFUGAS HORIZONT.
P-4009 A/B	LODOS Y SLOP	134	DESPLAZAMIENTO TORN.
P-4018 A/D	SOTANOS DESOC.	200	VERTICALES SUMERGIDAS

Tabla 14. Equipos actuales ROTATIVOS encontrados en PTAR

PISCINA	VOLUMEN ÚTIL	TIEMPO DE RESIDENCIA
BA-4001	850 m <sup>3</sup>	15 a 60 min.
BA-4002	750 m <sup>3</sup>	10 a 55 min.
BA-4003 A/B/C/D	15 m <sup>3</sup> c/u	1 a 2 min.
BA-4004 A/B/C/D	150 m <sup>3</sup>	9 a 14 min.
BA-4005 A/B/C/D	915 m <sup>3</sup>	55 a 85 min.
BA-4009 A/B	7500 m <sup>3</sup>	8 horas en c/u
BA-4011	6.5 m <sup>3</sup>	10 a 30 min.
BA-4012	1225 m <sup>3</sup>	32 horas
D-4001	22 m <sup>3</sup>	2 min.

Tabla 15. Volumen útil y tiempo de residencia de las piscinas

### 1.9 Piscina de carga BA-4001

También conocida como piscina de homogenización y claro como su nombre lo dice homogeniza toda la carga de los diferentes afluentes, como se había mencionado anteriormente es importante que estas aguas tengan una similitud entre sus componentes ya que así permite la formación de una solución físicamente homogénea o de características físico – químicas semejantes que permita una separación inicialmente física con un proceso mecánico sin facilitadores químicos.



Figura 30. Piscina de carga BA-4001 con el desnatador W-4003

### 1.9.1 Descripción de los tipos de agua de la piscina de carga

La piscina de carga recibe tres corrientes de aguas residuales:

- la primera proveniente del Separador Norte SE-3050,
- la segunda proveniente de la Unidad de Balance
- la tercera corriente procede de los drenajes del cuarto de químicos de la unidad.
- La cuarta corriente es una secundaria que llega también a la PTAR y corresponde a las aguas provenientes del Pozo de Recobro de Aceite BA-4013 y de los Sótanos BA-4014A/B.

Las tres corrientes principales de agua residual se unen en un cabezal de tubería y entran por gravedad a la piscina de carga BA-4001 con capacidad aproximada de 850 m<sup>3</sup>.

Con el objeto de incrementar el valor de pH del agua que se carga a PTAR, por la parte superior de la piscina de carga BA-4001 se adiciona soda cáustica (NaOH al 40%) proveniente de la unidad de balance, refinería y petroquímica, esta soda también llega por gravedad a la piscina.



Figura 31. Aquí se descarga los tipos de agua que llegan a la piscina

### 1.9.2 Características arquitectónicas, civiles y mecánicas de la piscina

- **Arquitectónicas**
  - ✓ La piscina de carga es una piscina rectangular de medidas 40 mts x 15 mts X 3.5 mts de profundidad.

- ✓ Contiguo a la piscina tiene otra mucho más pequeña se trata del pozo de recibo de la W-4003 DESNATADORA allí se recoge todo el aceite superficial que recoge la cinta oleofílica.
- ✓ Es una piscina que no tiene techo o ningún otro elemento que lo aíse de la atmosfera.
- ✓ Esta demarcada perimetralmente por un pasamanos de 1.50 mts de altura
- ✓ Tiene otras dos cámaras una de ellas es la cámara de espuma que soporta las bombas de carga, la otra re circula las aguas de llegada para controlar el nivel de la piscina
- ✓ Externamente se encuentra rodeada de un dique de aproximadamente 1.50 mts de altura en caso de rebosarse la piscina pueda contener ese rebose.
- ✓ Tiene dos (2) entradas principales por donde el personal de operaciones puede circular y acceder externamente a la piscina
- ✓ Tiene un pasillo central donde se encuentra ubicado algunos equipos rotativos ese pasillo es de lamina metálica y esta 3 mts por encima del nivel del piso.

- **Civiles**

- ✓ La piscina se encuentra construida en la parte del fondo con concreto reforzado de 3000 psi reforzado con varillas de ½" con un espesor superior a los 70 cms de profundidad.
- ✓ En la parte externa tiene una losa SIKADUR 32 PRIMER
- ✓ Tiene aplicado un mortero de refuerzo mortero EMACO S88-C.
- ✓ Tiene también Aplicado un recubrimiento antiácido llamado CEILCOTE P-680 (MBT) a un espesor de 3 mils, y posteriormente dos capas de FLAKELINE 2000 (MBT) a dos manos en un espesor total de 40 mils
- ✓ Sus paredes son de concreto reforzado de un espesor de 50 cms de profundidad también con el recubrimiento antiácido.
- ✓ Juntas de dilatación: Para evitar daños en el concreto por filtración de ácido por las juntas de construcción, están construidas con MASTERFILL 300 (MBT). Este es un sellador de juntas epóxido semirrígido el cual va a proteger los bordes de las juntas de dilatación en el piso y paredes, con una resistencia al ataque químico permitiendo el movimiento de las juntas.

- **Mecánicas**

- ✓ Consta de 3 bombas verticales las P-4001 A – B – C DE 6,600 gpm de capacidad cada una

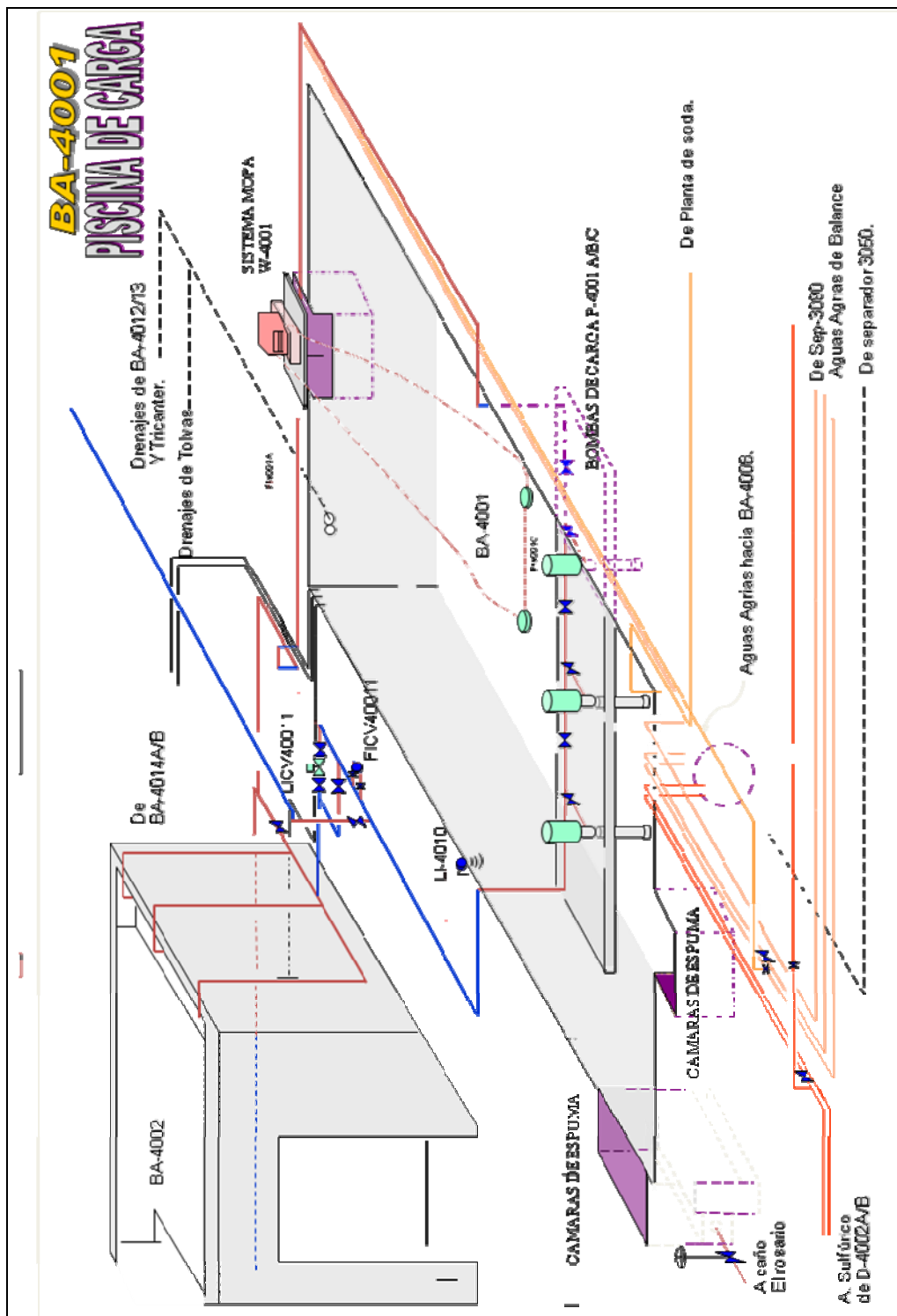


Figura 32. Detalles mecánicos de la piscina BA-4001

- ✓ El flujo de carga a la unidad se regula automáticamente por un Controlador de Nivel de Agua de Entrada a la BA-4001, LIC-40010, en cascada con el Controlador de Flujo de Agua hacia la piscina de neutralización BA-4002, FIC-40001
- ✓ La piscina de carga BA-4001 tiene un bafle que permite el rebose del agua desde la BA-4001 hacia el caño el rosario
- ✓ Adicionalmente en caso de que se presente un aumento inesperado de nivel en la piscina de carga BA-4001, para evitar rebose y daños en los equipos eléctricos existe la facilidad de descargar directamente al río Magdalena por medio de una línea de bypass de descarga construida para tal fin.

### 1.9.3 Sistema actual de recolección superficial de hidrocarburo

También conocido como sistema desnatador o modulo desnatador, es el encargado de separar físicamente el hidrocarburo del agua, este es un método soportado por las normas “WATES WATER DISPOSAL” norma americana encargada de los principios de ingeniería básica y conceptual del diseño de los separadores de aceite superficial en su modulo de separadores API.

Descrito internamente como la W-4003 es un diseño de la compañía Kolda Corporation, fabricado en el año de 1990, básicamente consta de tres (3) elementos:

- ✓ Parte mecánica
- ✓ Cinta oleofilica (mopa)
- ✓ Piscina de recolección.



Figura 33. Desnatadora de aceite superficial W-4003

#### 1.9.4 Mecánica de la Desnatadora de aceite W-4003

Es un equipo rotativo de recuperación superficial de hidrocarburo, también se puede usar para recuperar grasas, aceites, de altas densidades, de otros procesos y en otras industrias.

Existen muchos modelos desnatadores que pueden trabajar bajo condiciones extremas de temperatura, altitud, presión de operación, ambientes corrosivos, y de altos caudales, con alta salinidad del agua o bajo pH, también existen de numerosas series y con diferentes especificaciones de producción, tamaño, formas, y de métodos de supresión para el retiro del aceite internamente.

Este modelo consta de las siguientes partes:

- ✓ Motor – reductor fabricante RELIANCE SXE – PLUS
- Bomba P-4025
- HP: 2
- RPM: 1725
- VOLTAJE: 230 / 460
- Amperaje 5.4 / 2.7
- HZ: 60
- SF: 1.15
- FR: HF – 56C
- TYPE: P
- PH: 3.0



Figura 34. Partes mecánicas visibles de la W-4001

- ✓ Carcasa metálica



Figura 35. Carcaza en lamina coll roll de 1/4"

- ✓ Ejes de transmisión



Figura 36. Cuatro ejes de transmisión principal

- ✓ Piñonera de ejes principales y motor reductor
- ✓ Ejes guía de la cinta oleofílica

La presión ejercida en funcionamiento de los rodillos es mayor a 20 kg-f, esta fuerza es suficiente para exprimir la cinta y así extraer el hidrocarburo.



Figura 37. Discos que exprimen la cinta oleofílica

- ✓ Discos guía de la cinta oleofílica



Figura 38. Disco en material lamina de acero tensionada a la pared

- ✓ Piscina de recibo



Figura 39. La piscina de recibo consta de una bomba y un motor

### 1.9.5 Características Formales y funcionales de la desnatadora

La desnatadora cumple a cabalidad con la función específica que es la de separar aceites superficiales pero en su entorno funcional y formal tiene muchas deficiencias que las mencionamos a continuación:

- ✓ Su aspecto formal es muy rígido
- ✓ Para acceder a la mopa toca entrar en contacto con la maquina lo que es peligroso.
- ✓ Ergonómicamente es muy riesgoso por cuanto su altura supera el 1.70 mts.
- ✓ Es muy sucia no tiene unos guarda aceites que lo proteja del exterior
- ✓ Esta a una altura muy superior con respecto a la piscina
- ✓ La piscina de recibo es muy voluptuosa con respecto al W-4003
- ✓ El sistema de la cinta no recorre toda la piscina
- ✓ Es muy limitante para recuperar en otras áreas de la piscina
- ✓ Toca detener todo el sistema para realizar mantenimiento
- ✓ Muchos tiempos muertos de la maquina
- ✓ Es muy compleja mecánicamente
- ✓ Tiene muchos elementos rotativos que generan mucho desgaste
- ✓ Los elementos mecánicos están sobre diseñados y muy pesados

- ✓ Se traba con mucha facilidad partiendo la cinta
- 1.9.6 Fortalezas y debilidades de este sistema**

A continuación relacionamos en conjunto todos los aspectos generales que involucran el análisis del separador superficial de hidrocarburos existente en la piscina de carga.

Con este resultado de este análisis podemos identificar las debilidades que tiene este sistema y nos permite cuantificar y valorar el alcance del nuevo sistema de recolección superficial, aun sin haberlo definido podemos resaltar a primera vista que el sistema actual tiene muchas debilidades formales y de ergonomía y por cuanto no ofrece la productividad requerida para el diseño de la piscina

No.	ASPECTOS GENERALES W-4003	FUERTE	MEDIO	DEBIL
1	ASPECTO FORMAL MAQUINA			X
2	ASPECTO FORMAL-ESTETICO			X
3	ACCESIBILIDAD MAQUINA		X	
4	ACCESIBILIDAD MOPA			X
5	ACCESIBILIDAD PISCINA		X	
6	DISEÑO MECANICO MAQUINA			x
7	DISEÑO MECANICO PISCINA	X		
8	DISEÑO MECANICO MOPA			X
9	FUNCIONALIDAD MAQUINA		X	
10	FUNCIONALIDAD MOPA			X
11	FUNCIONALIDAD PISCINA	X		
12	COMPLEJIDAD			X
13	TIEMPO MTTO.			X
14	TIEMPOS REPARACION		X	
15	TIEMPOS MUERTOS			X
16	LIMPIEZA MAQUINA			X
17	LIMPIEZA PISCINA			X
18	ERGONOMIA MAQUINA			X
19	ERGONOMIA PISCINA		X	
20	PRODUCTIVIDAD	X		
	PORCENTAJE TOTALIZADO	20%	25%	60%

Tabla 16. Porcentaje final de aspectos generales de la W-4001

## 2 NORMAS SISTEMA NACIONAL AMBIENTAL

Se enmarca dentro de cuatro principios fundamentales dentro de ECOPETROL SA.

- Marco legal
- Marco institucional
- La gestión ambiental
- Concesiones y permisos

Para poder entender esto debemos jerarquizar todas estas normas



Figura 40. Jerarquización de las normas colombianas.

Como ECOPETROL SA. Es una empresa del estado colombiano debe someterse a las leyes impartidas por el estamento judicial y por lo tanto no decreta ni ordenanzas, ni acuerdos, ni actos administrativos propios o de otras autoridades.

Simplemente se somete a todas las decisiones a la cual el estado se someta.

## **2.1 LEY CONSERVACION DEL AGUA**

- **Aguas superficiales**

Se tramita para los campamentos, pruebas hidrostáticas e instalaciones fijas que durante la operación requieran este servicio. Se tramita ante la corporación regional respectiva.

Resolución 00272 de 2005. Concesión aguas gcb.

- **Aguas subterráneas**

De acuerdo con el decreto 1541, la prospección y exploración, que incluye perforaciones de prueba en busca de aguas subterráneas con miras a su posterior aprovechamiento, tanto en terrenos de propiedad privada como en baldíos, requiere permiso de la autoridad ambiental. Necesitan permiso y se otorgan mediante concesión

- **Permiso de vertimientos**

Se dispone de un permiso provisional de vertimientos de residuos industriales de gcb al 2007.

Resolución 3440 de 2004

## **2.2 CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS RENOVABLES Y DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE**

- **Ley 23 de 1973**

Esta ley tiene por objeto la prevención y control de la contaminación del medio ambiente y la búsqueda del mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional. Esta ley sentó los principios de protección del aire, el agua y el suelo

## **2.3 PLAN NACIONAL CONTRA DERRAMES DE HIDROCARBUROS, DERIVADOS Y SUSTANCIAS NOCIVAS**

- **permiso de emisiones atmosféricas**

Se dispone de permiso de emisiones atmosféricas de gcb al 2007. Resolución 1011 de 2004

- **sólidos**

Decreto 2104 de 1983: establece las definiciones generales sobre la materia y consagra las normas y parámetros sobre el almacenamiento, recolección y disposición de las basuras domesticas. Resolución 2309 de 1986: establece

las normas para la disposición de los residuos peligrosos o especiales.  
Resolución 058 de 2002 y 0886 de 2004

- licencias de funcionamientos de rellenos sanitarios  
Resolución 002 de 2001

Estas son las normas más principales dentro del complejo jurídico que existe en Colombia y que en la mayoría son convenios internacionales que el gobierno colombiano acoge y se somete a ellos.

### **3 INGENIERIA CONCEPTUAL Y BASICA**

En este capítulo desarrollaremos los principios básicos, conceptos de ingeniería, diseño primario de la teoría de separación de hidrocarburos basados en la norma “WASTES AND WATER DISPOSAL”<sup>9</sup>, conoceremos los cálculos básicos para diseñar cualquier elemento que vaya a separar aceites, tipos de separadores estandarizados, y de acuerdo a todos estos parámetros definir el tipo de separador a usar en la piscina de carga BA-4001.

#### **3.1 INFORMACION PRELIMINAR**

Como punto de partida para explicar los aceites tenemos que todo aceite usado o tratado es aquel que ha sido sometido mediante medios físicos, químicos o biológicos a un proceso de limpieza de elementos tales como sedimentos compuestos de cloro, metales pesados, solventes y otros elementos provenientes de aditivos y usos originales como aceites en vehículos o sistemas industriales, a excepción de aquellos usados como aceites dieléctricos en transformadores, equipos de refrigeración, entre otros, hasta niveles aceptables de tal forma que pueden ser usados para su aprovechamiento energético como combustibles en actividades industriales.

##### **3.1.1 Que son grasas – aceites – hidrocarburos residuales**

Un aceite lubricante es un aceite de base mineral o sintética utilizado para reducir el rozamiento entre dos superficies.

El aceite lubricante mineral Es elaborado a partir de una base extraída del petróleo que no ha sido sometida a reacciones químicas.


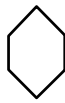
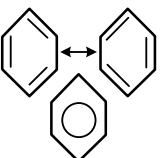

En cambio las grasas o los aceites sintéticos son aceites lubricantes fabricados mediante reacciones químicas. Sus propiedades de fluidez a baja temperatura facilitan el arranque en frío y proporcionan una excelente estabilidad termoxidativa que ayuda a prolongar su vida útil.

La química básica muestra las formas y describe la estructura de las moléculas de agua e hidrocarburo que en últimas son las moléculas de generación de estos productos.

Los grupos de hidrocarburos más comunes encontrados en la GCB de acuerdo a sus estructuras son:

---

<sup>9</sup> WASTES AND WATER DISPOSAL, API Norma International American Petroleum; Environmental Hygiene and oil disposal, Enero 1972. 5 pág.

C#	Parafinas	ISO parafinas	Naftenos	Aromáticos	Olefinas
C <sub>1</sub>	$\begin{array}{c}   \\ -C- \\   \end{array}$ Metano P.E. -259°F				
C <sub>2</sub>	$\begin{array}{c}   &   \\ -C- & -C- \\   &   \end{array}$ Etano P.E. -128°F				$\begin{array}{c} -C=C- \\   &   \end{array}$ Etileno P.E. -155°F
C <sub>3</sub>	$\begin{array}{c}   &   &   \\ -C- & -C- & -C- \\   &   &   \end{array}$ Propano P.E. -44°F				$\begin{array}{c}   &   &   \\ -C- & -C= & -C- \\   & &   \end{array}$ Propileno P.E. -54°F
C <sub>4</sub>	$\begin{array}{c}   &   &   &   \\ -C- & -C- & -C- & -C- \\   &   &   &   \end{array}$ n-Butano P.E. 31°F	$\begin{array}{c}   \\ -C- \\   \\ -C- & -C- \\   &   \\   &   \end{array}$ Isobutano P.E. 11°F			$\begin{array}{c}   &   &   &   \\ -C- & -C= & -C- & -C- \\   & &   &   \end{array}$ Butileno P.E. 21-34°F
C <sub>5</sub>	$\begin{array}{c}   &   &   &   &   \\ -C- & -C- & -C- & -C- & -C- \\   &   &   &   &   \end{array}$ n-Pentano P.E. 97°F	$\begin{array}{c}   \\ -C- \\   \\ -C- & -C- & -C- \\   &   &   \\   &   &   \end{array}$ Isopentano P.E. 82°F	 Ciclopentano P.E. 121°F		$\begin{array}{c}   &   &   &   &   \\ -C= & -C- & -C- & -C- & -C- \\   &   &   &   &   \end{array}$ Penteno P.E. 68-101°F
C <sub>6</sub>	$\begin{array}{c}   &   &   &   &   &   \\ -C- & -C- & -C- & -C- & -C- & -C- \\   &   &   &   &   &   \end{array}$ n-Hexano P.E. 156°F		 Ciclohexano P.E. 177°F	 Benceno P.E. 176°F	
C <sub>7</sub>	$\begin{array}{c}   &   &   &   &   &   &   \\ -C- & -C- & -C- & -C- & -C- & -C- & -C- \\   &   &   &   &   &   &   \end{array}$ n-Heptano P.E. 209°F			 Tolueno P.E. 231°F	

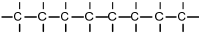
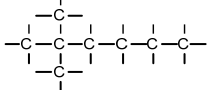
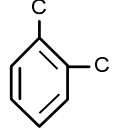
C#	Parafinas	ISO parafinas	Naftenos	Aromáticos	Olefinas
C <sub>8</sub>	 n-Octano P.E. 258°F	 Isooctano P.E. 210-245°F		 Ortoxileno P.E. 292°F	

Tabla 17. Grupo de Hidrocarburos encontrados en la GCB

Según esta tabla existe el acrónimo PIANO (Parafinas, ISO parafinas, Aromáticos, Naftenos y Olefinas) que puede ser usado para recordar los cinco tipos de moléculas.

La estabilidad relativa de los compuestos descritos en la tabla anterior, de más estable a menos estable es:

Parafinas > isoparafinas > naftenos > aromáticos > olefinas

Algunos ejemplos de las estructuras químicas más comunes que se crean en el proceso de la refinación en la GCB.

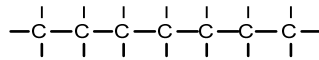


Figura 41: Ejemplo de Parafina

Se dice que las parafinas son saturadas porque no pueden aceptar átomos adicionales en sus moléculas. Por lo tanto, sólo reaccionan por sustitución de un átomo existente por uno diferente.

Cuando el segundo carbono de una parafina se ramifica en dos átomos separados de carbono, la estructura molecular resultante se conoce generalmente como isoparafinas, como se ilustra en la Figura 42:

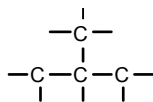


Figura 42: Ejemplo de ISO parafina

Los naftenos son también compuestos saturados, pero a diferencia de las parafinas, forman anillos. Para nombrarlos, se usa el prefijo “ciclo” como en

Ciclo hexano, La Figura 43: Ejemplo de Naftenos, muestra la molécula de Ciclo hexano.

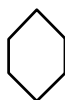


Figura 43: Ejemplo de Naftenos

Los aromáticos forman anillos como los naftenos, pero con una estructura más estable de un anillo con seis átomos de carbono y enlaces dobles alternados en sus átomos de carbono. Estos dobles enlaces alternos hacen esta molécula muy difícil de romper. Un ejemplo es el benceno, ilustrado en la Figura 44: Ejemplo de Aromático.

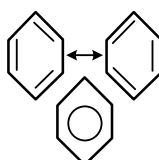


Figura 44: Ejemplo de Aromático

Unas olefinas es una molécula de hidrocarburo que contiene uno o más pares de átomos de carbono unidos por un doble enlace. Se conoce también como insaturación porque siempre se saturan por la adición de dos átomos de hidrógeno. La presencia de dobles enlaces hace estas moléculas extremadamente reactivas.

Ahora los grupos de hidrocarburos Según el Número Total de Átomos de Carbono, muestra los grupos mayores de materiales por rango de número de carbonos en sus moléculas. Esto da una buena definición de los compuestos típicos de una refinería.

Según la tabla 19 Muestra el orden en que se clasifican los hidrocarburos según el número total de átomos de carbono.

Rango de Número de Carbonos	Nombre Común	Ejemplos
C <sub>1</sub> -C <sub>5</sub>	Productos Livianos	propanos, butanos, pentanos
C <sub>6</sub> -C <sub>12</sub>	Naftas	gasolinas y solventes

Rango de Número de Carbonos	Nombre Común	Ejemplos
C <sub>10</sub> -C <sub>30</sub>	Destilados Medios	aceite de calentamiento, queroseno, combustible de avión, y ACPM
C <sub>20</sub> -C <sub>50</sub>	Bases Lubricantes y Gasóleos	lubricantes, carga de cracking, etc.
C <sub>50</sub> -C <sub>500</sub> +	Residuo	Residuo Atmosférico y de Vacío

Tabla 18. Grupos de Hidrocarburos Según el Número Total de Átomos de Carbono.

Estos son los hidrocarburos bases para la extracción de los aceites las grasas y los residuos de hidrocarburos, todos sometidos al proceso de refinación y petroquímica.

- Generación del residuo

Las principales fuentes de generación de aceite lubricante usado dentro de la refinería son:

- Equipo Rotativo: Bombas, compresores, turbinas, turbogeneradores, ventiladores, chillers y motores.
- Equipo Liviano: Automóviles, camionetas y camiones pequeños a gasolina.
- Equipo Pesado: Camiones diesel, grúas, montacargas, camiones contraincendios, y compresores portátiles.

Los aceites lubricantes se contaminan durante su uso con productos orgánicos de su oxidación, materiales como carbón, productos provenientes del desgaste de los equipos y con otros sólidos que modifican sus propiedades y limitan su vida útil. Cuando los contaminantes alcanzan una concentración excesiva o cuando los aditivos se degradan, el aceite pierde sus propiedades y es necesario cambiarlos.

Generalmente se puede determinar que un aceite lubricante debe ser dializado o desechado cuando personal experto realiza una inspección visual, o mediante un equipo portátil para el análisis de aceite; la propiedad más importante que debe conservar un aceite es su viscosidad, pero también el color es señal del estado en que se encuentra el aceite. A veces se requieren pruebas en el laboratorio, en particular si se trata de aceites con características especiales que son más costosos.

En las actividades de mantenimiento preventivo también se realizan cambios de aceite de algunos equipos generándose aceites lubricantes usados.

Así como en el uso nunca se deben mezclar los aceites de diferente base, es decir minerales y sintéticos, los residuos tampoco deben mezclarse.

La composición media de un aceite lubricante se presenta en la siguiente tabla:

<b>Hidrocarburos Totales (Base) 75 – 85 %</b>	
Alcanos	40 – 76 %
Ciclo alcanos	13 – 45 %
Aromáticos	10 – 30 %
<b>Aditivos 15 – 25 %</b>	
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, aminas
Detergentes	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de Zinc y Bario, Sulfonatos
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos
Antisépticos	Alcoholes, fenoles, compuestos clorados

Tabla 19. Composición Media de un Aceite Lubricante

Los aceites lubricantes usados adquieren concentraciones elevadas de metales pesados, como plomo, cadmio, cromo, arsénico y zinc, agua, partículas sólidas, entre otros contaminantes.

Dentro de la refinería “GCB” el aceite usado se produce periódicamente, los operadores revisan constantemente el estado del aceite mediante un analizador de aceite portátil o en su defecto visualmente. En el caso de estar fuera de especificación, se dializa, pero como esto ya no se realiza dentro de la refinería, el aceite se cambia y se genera el aceite usado como residuo.

Este residuo es tratado en los procesos de separación donde se tiene como objetivo primordial en su primera etapa la separación física mediante procesos mecánicos, en la cual los factores de gravedad API, viscosidad, y Corrosividad adquieren un papel decisivo para el éxito de esta tarea.

A continuación y de acuerdo con estos factores se relacionan la caracterización de un aceite residual ideal para la separación mecánica.

Ítem / Unidad	Valor
Punto de Inflamación, C	238
Calor de Combustión, MJ/Kg	45,98
Gravedad API, GR API	29,7
Viscosidad a 40 GR C, mm2/s	58,46
Corrosividad	
Reactividad	
Toxicidad en el lixiviado	

Tabla 20. Caracterización del residuo

### 3.1.2 Principios de separación de hidrocarburos

Ya hablamos de los aceites como su composición química y sus características principales.

Ahora como el aceite no viene solo, sino que viene mezclado principalmente con el agua y otros productos, pues debemos saber que tipos de aguas llegan con el aceite ya sea como desperdicios líquidos o aguas residuales. Dentro de los residuos líquidos se encuentran también las aguas aceitosas. Estas aguas conforman el 70% del volumen total de los efluentes y son aguas mezcladas con la mayoría de los hidrocarburos presentados en la Tabla 22

Formula Química	Nombre Químico	Notas
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de Hidrógeno	Presente en las aguas agrias provenientes de las torres despojadoras de amoníaco y H <sub>2</sub> S.
NH <sub>3</sub>	Amoníaco	Presente en las aguas agrias provenientes de las torres despojadoras de amoníaco y H <sub>2</sub> S.
NaOH	Soda Cáustica	Presente en las aguas cáusticas. A esta categoría pertenecen las emulsiones resultantes del tratamiento con soda a las gasolinas, el lavado de equipos y resinas.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico	Presente en las aguas ácidas provenientes de los lavados de resinas y calderas, además de las purgas de los tanques de ácido sulfúrico.
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Fenol	Presente en las aguas fenólicas provenientes del tratamiento que se le hace a las bases parafínicas con fenol.

Tabla 21. Moléculas de los Afluentes a la unidad de tratamiento  
Existen cuatro (4) principios de separación:

- 1) Separación primaria. Separa los hidrocarburos y sólidos en suspensión.
- 2) Separación secundaria. Elimina los hidrocarburos emulsionados y sólidos suspendidos de tamaño muy pequeño.
- 3) Separación terciario. Elimina hidrocarburos disueltos, oxida el posible H<sub>2</sub>S residual y en caso necesario, realiza la nitrificación/des nitrificación.
- 4) Separación cuaternaria. Esta fase de tratamiento se aplica a las aguas a reutilizar en los procesos.

Para nuestra consideración hablaremos solamente de la separación primaria

- **Separación Primaria:**

La separación primaria de los residuos sólidos - líquidos se realiza en los Separadores Gravitacionales API y en segunda instancia en los desnatadores. En éstos se efectúa una separación física de la interfase agua-hidrocarburo y una sedimentación primaria de los sólidos en suspensión.

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 una balsa o tanque de homogeneización.

La reducción del tiempo de permanencia en la superficie de los hidrocarburos separados (utilización de discos oleofílicos u otros sistemas automáticos de recogida), o la instalación de sellos de agua en alcantarillado, drenajes y cubiertas a prueba de gas en las cajas de unión del sistema.

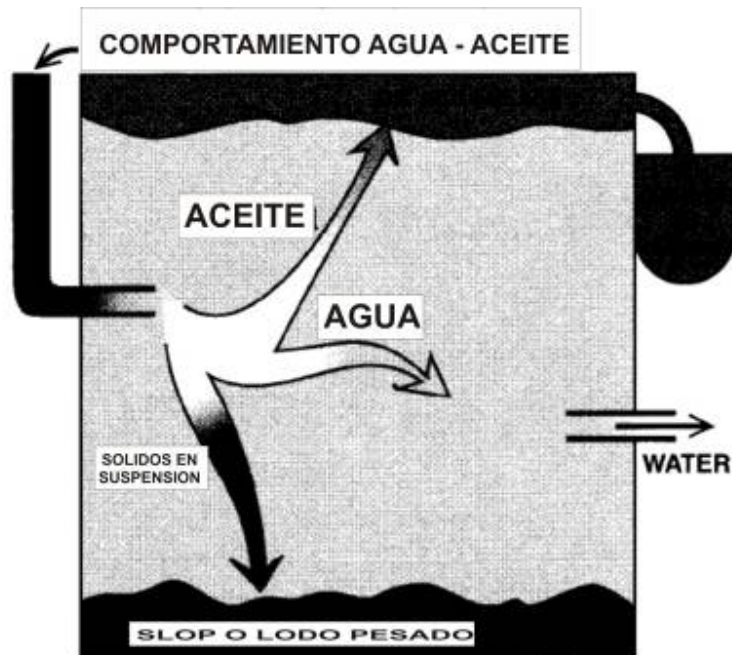
Por principio de gravedad existen dos tipos de aceites:

- ✓ Slop pesado
- ✓ Slop liviano

- **Separación Física por Gravedad.**

Es un método en el cual la liberación de las partículas se hace usando como base la diferencia de pesos específicos (relación entre peso y volumen) y densidades relativas (relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua).

En el siguiente esquema podemos observar como el aceite y el lodo o el slop tienen un área específica de movimiento y de unificación.



Figura

45.

Comportamiento del agua y el aceite.

En la siguiente tabla podemos diferenciar los valores de ambos elementos y su comportamiento físico cuando están en estado líquido.

ELEMENTO	AGUA	ACEITE
La gravedad específica (20° C)	0,9982	29,7
La viscosidad (20° C) (cp)	1,009	58,46
La tensión de la superficie (100° C)(dyna/cm)	58,9	85,3

Tabla 22. Diferencias físicas de los compuestos a separar.

### 3.1.3 Material particulado de aceite en el agua

La remoción de aceites, grasas y sólidos en suspensión en el tratamiento de aguas tiene varias técnicas y métodos aceptados en la industria petrolera. Sin embargo la aplicación de cada una de estas tecnologías depende de la calidad, características y condiciones del aceite como tal y las partículas suspendidas en el agua.

Estas partículas también reciben el nombre de material particulado o esferas en suspensión.

Para que estas esferas puedan unirse o tomen una consistencia viscosa mayor deben poseer las mismas características mencionadas en la tabla 23.

Si no poseen las mismas características son sometidas o revueltas con aditivos o emulsificantes para que reaccionen y puedan unirse.

Las esferas más pequeñas reciben el nombre de coloides y son microscópicas que necesitan de las siguientes técnicas para poderlas separar.

Estas técnicas fueron mencionadas en la página 40, ahora podemos hablar con mayor claridad acerca de estas dos técnicas que se pueden resumir en dos:

- **Coagulación**
- **Floculación**

- **Coagulación:**

El propósito de la coagulación es reunir los sólidos suspendidos y las materias coloidales muy finas que se encuentran disueltas en el agua. Si estas partículas no reciben un tratamiento adecuado no precipitan. Esto hace que el agua salga del tratamiento con la misma turbiedad de entrada. Los coloides son partículas de tamaño intermedio entre las moléculas y las partículas suspendidas que tarde o temprano decantan por efecto de la gravedad.

Es decir, el estado coloidal está entre las soluciones y las suspensiones que terminan precipitando. Los coloides presentes en forma natural en el agua impiden la coagulación; por esta razón, una cantidad mayor de coloides inhiben el efecto de la dosificación óptima del coagulante, implicando un consumo mayor de reactivos para la clarificación del agua.

La siguiente figura llamada estabilidad de los coloides, ilustra la carga negativa de los coloides. Al estar cargados negativamente son estables en el agua debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles.

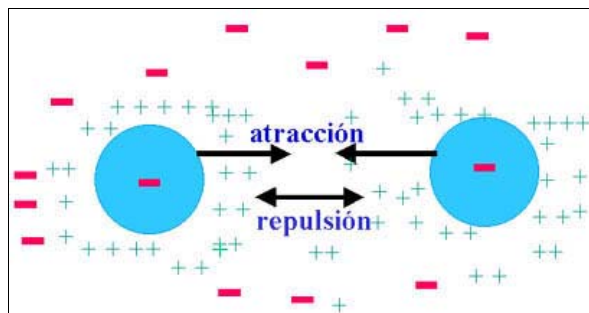


Figura 46. Estabilidad de los coloides.

El hidrocarburo disuelto, emulsionado con la turbidez del agua, requiere entonces la adición de un coagulante y su separación es más efectiva en un medio neutro (pH de 7.0).

Por esta razón el pH del medio es muy importante en la coagulación. El coagulante es una sustancia que ayuda a la precipitación más rápida de partículas suspendidas y coloides durante el tratamiento del agua. La dosificación del coagulante, así como su selección, dependen de la naturaleza del agua a tratar y solo se puede determinar apropiadamente después de realizar numerosas pruebas de laboratorio.

Las cargas positivas de los coagulantes neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan formando aglomerados pequeños o coágulos.

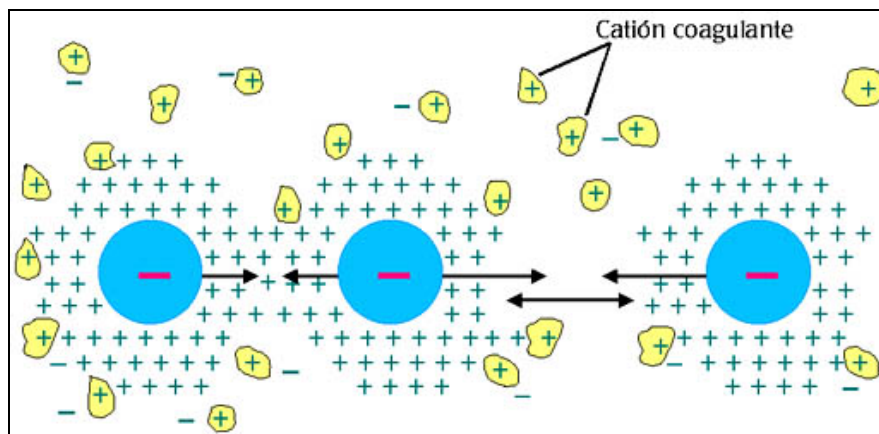


Figura 47. Formación del coágulo.

- **Floculación:**

La floculación es un proceso consecutivo a la coagulación y consiste en agrupar los coágulos en forma de un precipitado voluminoso y pesado (Floc). Esto se logra al introducir en el agua un floculante, generalmente un polímero sintético con el cual, mediante agitación lenta, se obtiene el contacto íntimo entre los grumos ya formados facilitando su adherencia a las moléculas del polímero. La agitación lenta aumenta las posibilidades de colisión y atracción entre las partículas coaguladas y por tanto facilita la formación de nuevos flocs. Las masas de Floc grandes son fácilmente removibles.

En PTAR se utiliza un floculante aniónico (cargado negativamente) de alto peso molecular. Este floculante está diseñado para aplicar en la remoción de sólidos suspendidos en los procesos de clarificación de aguas industriales, municipales, precipitación, ablandamiento, flotación y deshidratación de lodos brindando una eficiente y rápida separación líquido/sólido, un Floc fuerte y

pesado de alta sedimentación y un incremento en la eficiencia de clarificadores y equipos de tratamiento de lodos.

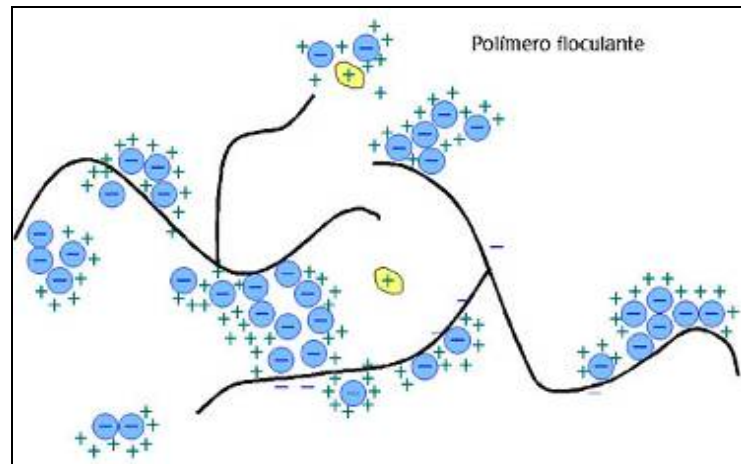


Figura 48. Formación de flocs

### 3.1.4 Principios básicos para el diseño de un separador

- Propiedades físicas del fluido
  - ✓ Gravedad específica.
  - ✓ Nivel de agitación del líquido
  - ✓ Flotación superficial
  - ✓ Flotación semi – superficial
  - ✓ Fase líquida acuosa del aceite
  - ✓ Tensión superficial y afinidad
  - ✓ Cohesividad
  - ✓ Impermeabilidad
  - ✓ Adherencia

Todas estas propiedades dependen básicamente de la densidad diferencial de las partículas y la separación está medida por la ley de viscosidad.

- ✓ **Ley de Viscosidad:**

Establece que la velocidad de separación está en función del cuadrado del tamaño de las partículas.

Las diferencias de tensión superficial entre el aceite y el agua causan que el aceite adquiera propiedades de afinidad y adherencia.

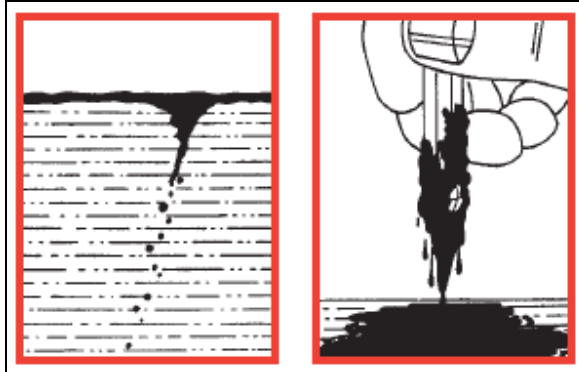


Figura 49. Propiedad de adherencia Cohesividad e impermeabilidad del aceite.

- Propiedades físicas del afluente
  - ✓ Nivel del caudal
  - ✓ Velocidad del caudal
  - ✓ Presión del caudal
  - ✓ Tipos de aguas
  - ✓ Temperatura
  - ✓ Ataques corrosivos
  - ✓ Tiempos de permanencia del cauce
  
- Propiedades mecánicas del separador.
  - ✓ Diseño y tamaño del separador
  - ✓ Área a procesar o área de trabajo
  - ✓ Absorbedor de aceite cinta oleofílica u otro método
  - ✓ Velocidad de separación del aceite
  - ✓ Capacidad de remoción del aceite
  - ✓ Capacidad de retención del aceite recuperado
  - ✓ Método de evacuación
  - ✓ Materiales
  - ✓ Seguridad en los materiales a remover
  - ✓ Portabilidad
  - ✓ Fijo, de movimiento libre o dirigido.

### 3.1.5 Formulas utilizadas en la separación de hidrocarburos

Formula de la teoría básica de separación “Law Stokes”

✓ **Ley de Viscosidad:**

$$V_s = \frac{gd^2(P_o - P_a)}{18\mu} \quad (1)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación de partículas

$g$  = Aceleración de la gravedad

$d$  = diámetro de la partícula (aceite/solido)

$P_a$  = densidad del agua

$P_o$  = densidad del aceite

$\mu$  = viscosidad del agua

Turbiedad y material particulado:

$$V = \frac{2gr^2(D-D^1)}{9\gamma} \quad (2)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación de partículas en pies por segundo (ft/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad, 32.2 ft/seg<sup>2</sup>

$d$  = diámetro de la partícula (aceite/solido) en pies (f)

$P_a$  = densidad del agua en libra por pie cubico (lb.ft<sup>3</sup>)

$P_o$  = densidad del aceite en libra por pie cubico (lb.ft<sup>3</sup>)

$\gamma$  = viscosidad del agua en poises unidad de viscosidad libras por pie – segundo (lb.ft/s)

Cantidad de aceite requerido para producir una película superficial de aceite.

Espesor aproximado de la película (Pulg)	Apariencia	cantidad aproximada de aceite en 1 mil. de milla de área por galón
0,000015	Visible en pequeñas zonas por debajo de la superficie	25
0,000003	visible en trazas de color plata en la superficie del agua	50
0,000006	primeras trazas en forma de líneas del color del aceite	100
0,000012	primeras franjas de color brillante son visibles	200
0,00004	el color empieza a tornarse color mate oscuro	666
0,00008	el color se torna mucho más oscuro	1,332

Tabla 23. Cantidad de aceite para películas de aceite

### 3.1.6 Capacidad de recolección de glóbulos de aceite

$$V_t = 0.0241 \frac{(S_w - S_o)}{\mu} \quad (3)$$

Donde:

$V_t$  = Capacidad de recolección de glóbulos de aceite (0.015 cm en diámetro) en aguas residuales, ft/min.

$S_w$  = Gravedad específica del agua residual en función de la temperatura de flujo del agua residual

$S_o$  = gravedad específica del aceite en función de la temperatura de flujo del agua residual

$\mu$  = Viscosidad absoluta del agua residual en función de la temperatura de diseño, en poises.

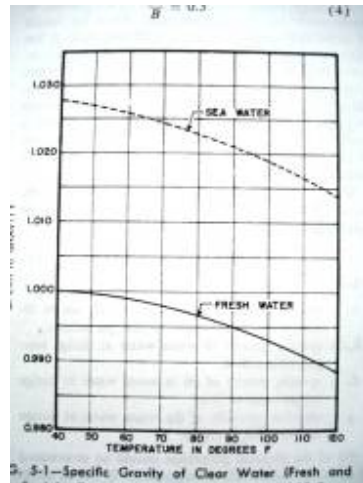


Figura 50. Gravedad específica del agua limpia (fresca y de la desembocadura) temperaturas entre 40 °f y 120°f.

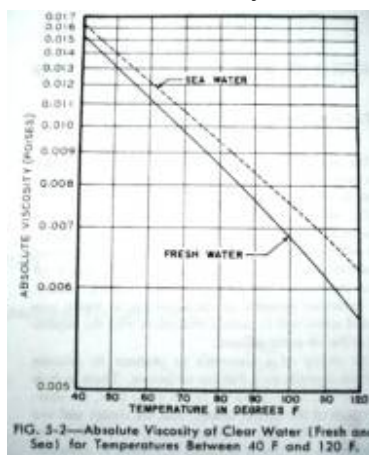


Figura 51. Viscosidad absoluta del agua limpia (fresca y de la desembocadura) temperaturas entre 40 °f y 120°f.

### 3.1.7 Relaciones básicas para el diseño de la piscina de un separador

El diseño de un separador API está regido por tres relaciones:

- Área Horizontal mínima  $A_H$

$$A_H = F \frac{Q_m}{V_t} \quad (4)$$

Donde:

$F$  = Factor de diseño de turbulencias,  $F_t$ , y circuitos pequeños,  $F_s$ , Factores  
 $Q_m$  = Flujo de agua residual, en Ft<sup>3</sup>/ min.

- Área de sección transversal mínima  $A_c$ :

$$A_c = \frac{Q_m}{V_H} \quad (5)$$

Donde:

$V_H$  = Velocidad de flujo horizontal, en Ft/min, que no exceda los 15  $V_t$  o 3 fpm.

- Altura mínima de la capa de aceite o espesor de 0.3

$$\frac{d}{B} = 0.3 \quad (6)$$

Donde:

$d$  = Espesor del agua residual en el separador en pies

$B$  = Altura de la cámara del separador, en pies

De estas tres mínimas relaciones se definen los cálculos del separador.

### 3.1.8 Relaciones básicas para el diseño de un separador

- Área mínima horizontal del propio separador.

Esta parte define el área en la que el separador trabajara si se tiene en cuenta el área inmediatamente superior a donde se separa el aceite y el área inmediatamente inferior del aceite superficial o sea donde están los sólidos suspendidos, se tiene en cuenta el volumen del área superficial, su velocidad que es diferente al área de los sólidos,

Cuando la capacidad de recolección es equivalente al volumen de flujo la relación se expresa así:

$$V_t = \frac{d_i}{T_i} = \frac{d_i}{\frac{L_i B_i d_i}{Q_m}} = \frac{Q_m}{L_i B_i} = V_o \quad (7)$$

Donde:

$d_i$  = Profundidad de las aguas residuales del separador ideal, en pies

$T_i$  = Tiempo de retención en un separador ideal, en minutos

$L_i$  = Longitud de un separador ideal, en pies

$B_i$  = ancho de un separador ideal, en pies

$V_o$  = volumen del flujo superior, en pies por minutos ft/min.

Esta ecuación establece que el área superficial requerida para un separador ideal es equivalente al flujo del agua residual dividido por la capacidad de recolección de aceite distribuida entre lo que se quiere recoger y la profundidad asignada.

- Longitud de la cámara del separador

$$L = F \frac{(V_H)}{V_t} d \quad (8)$$

Donde:

$L$  = Longitud de la cámara del separador, en pies

La ecuación (8) es derivada de la ecuación (4)

$$A_H = LB$$

$$= F \frac{(Q_m)}{V_t}$$

$$L = F \frac{(V_H)}{V_t} \frac{(A_c)}{B}$$

$$= F \frac{(V_H)}{V_t} \frac{(B_d)}{B}$$

$$= F \frac{(V_H)}{V_t} d$$

A continuación relacionamos los valores recomendados para los factores de turbulencia

$V_H / V_t$	Factor de turbulencia, Ft
20	1,45
15	1,37
10	1,27
6	1,14
3	1,07

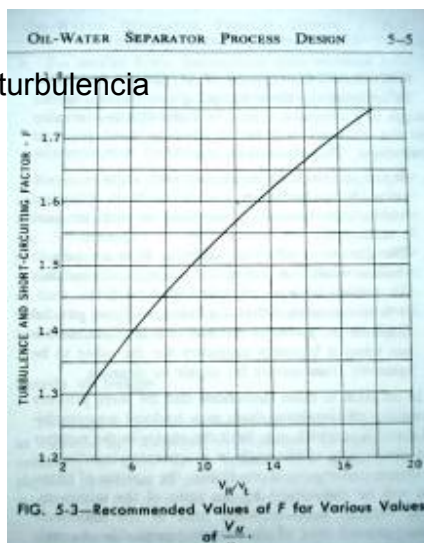


Tabla 24. Factores de turbulencia

Figura 52. Valores recomendados de F para valores varios de  $\frac{V_H}{V_t}$

- Limites para el diseño de un separador
  - a) Velocidad Horizontal,  $V_H$ , máximo = 3 fpm o  $15 V_t$ , en el caso si es pequeño.
  - b) Profundidad,  $d = 3$  ft mínimo o 8 ft máximo
  - c) Profundidad del área de separación  $d/B = 0.3$  mínimo a 0.5 máximo
  - d) Altura,  $B = 6$  ft mínimo a 20 ft máximo.

### 3.1.9 Calculo para la remoción de grasas, aceites y sólidos

Otro aspecto importante es el factor económico y de rentabilidad en la separación de hidrocarburos.

Los objetivos económicos específicos de una planta de tratamiento de aguas son:

- Cumplir con los requisitos y decretos ambientales establecidos por la ley para evitar multas y sanciones económicas (pago de tasas retributivas) por utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos
- Optimizar el tratamiento de los residuos líquidos en la planta de tratamiento y aprovechar la capacidad de la misma
- Incrementar el atractivo de la zona para los posibles inversionistas
- Optimizar el consumo de los servicios industriales y de los sistemas auxiliares

- Remoción en Separadores API, muestra los índices de calidad del efluente, teniendo como base el porcentaje de remoción de sólidos y grasas y aceites en los separadores.

Componente	Remoción
Cantidad de Grasas y Aceites	86%
Sólidos Suspendingos	79%

Tabla 25. Remoción en separadores API.

- Para calcular el porcentaje de remoción de sólidos y grasas y aceites en los separadores API se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bullet \quad \% \text{ Remoción} = \left( \frac{Af - Ef}{Af} \right) \times 100$$

Donde:

- Af: ppm de sólidos suspendidos o grasas y aceites en el afluente
- Ef.: ppm de sólidos suspendidos o grasas y aceites en el efluente
- El porcentaje de remoción de cantidad de grasa y aceite (G y A) en los separadores API se obtiene reemplazando en la fórmula los valores de cantidad (ppm) de grasa y aceite en el afluente y en el efluente, así:

$$\% \text{ Remoción G y A} = \left( \frac{4400 \text{ ppm} - 600 \text{ ppm}}{4400 \text{ ppm}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Remoción G y A} = 86,3 \%$$

- De la misma forma se calcula el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos en los separadores API.
- Los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos, grasas y aceites en la PTAR se calcularon a partir de la fórmula usada para el cálculo de los porcentajes de remoción en los separadores API. Para el cálculo se tomaron los datos reportados en el afluente y en el efluente de la PTAR.
- La tabla 27: Remoción en PTAR, muestra los índices de calidad del efluente, teniendo como base el porcentaje de remoción de sólidos y grasa y aceite en la PTAR.

Componente	Remoción
Cantidad de G y A	93%
Sólidos Suspendedos	83%

Tabla 26. Remoción en PTAR

### 3.1.10 Propiedades Físico – Químicas del agua

A continuación enumeramos los doce (12) parámetros físico – químicos principales que tiene el agua y que en gran medida se están monitoreando en los diferentes trenes de tratamiento de la planta PTAR.

Posteriormente se dará una pequeña explicación de cada una de sus propiedades.

- 1) Dureza
- 2) Alcalinidad
- 3) Turbidez
- 4) PH
- 5) Conductividad
- 6) Color
- 7) Sílice
- 8) Cloruros
- 9) Calcio
- 10) Sulfatos
- 11) Cloro residual
- 12) Sodio

#### 1) Dureza:

Es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de Calcio y magnesio.

- ¿Porque se controla? :

La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles. En calderas y sistemas enfriados por agua, se producen incrustaciones en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor. Además le da un sabor indeseable al agua potable.

## 2) Alcalinidad:

Definimos alcalinidad como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones.

- ¿Para qué se mide la alcalinidad?

La medición de la alcalinidad, sirve para fijar los parámetros del tratamiento químico del agua, así como ayudarnos al control de la corrosión y la incrustación en los sistemas que utilizan agua como materia prima o en su proceso.

## 3) Turbidez:

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia

- ¿Cómo se elimina la turbidez?

La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración. La medición de la turbiedad, en una manera rápida que nos sirve para saber cuándo, cómo y hasta qué punto debemos tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida.

## 4) PH.

En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la concentración molar (mas exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

En pocas palabras el pH es el grado de acidez o basicidad de una sustancia.

- ¿Para qué se mide?

La determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad.

Un pH menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino.

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos

y bicarbonatos. Un pH muy ácido o muy alcalino, puede ser indicio de una contaminación industrial.

El valor del pH en el agua, es utilizado también cuando nos interesa conocer su tendencia corrosiva o incrustante, y en las plantas de tratamiento de agua.

#### **5) Conductividad:**

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

- **Sustancias conductoras:**

Algunas sustancias se ionizan en forma más completa que otras y por lo mismo conducen mejor la corriente. Cada ácido, base o sal tienen su curva característica de concentración contra conductividad.

Son buenos conductores: los ácidos, bases y sales inorgánicas: HCl, NaOH, NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>...etc.

Son malos conductores: Las moléculas de sustancias orgánicas que por la naturaleza de sus enlaces son no iónicas: como la sacarosa, el benceno, los hidrocarburos, los carbohidratos... etc., estas sustancias, no se ionizan en el agua y por lo tanto no conducen la corriente eléctrica.

#### **6) Color:**

Cuando se habla de descripción del agua, lo definen como una sustancia: Inodora, incolora e insabora, es decir sin ninguna de estas propiedades.

- **Tipos de color**

El color que en el agua produce la materia suspendida y disuelta, se le denomina "Color aparente", una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como "Color verdadero" siendo este último el se mide en la determinación de color Pt – Co.

Se recomienda que para las aguas de uso doméstico no excedan de 20 unidades de color en la escala platino cobalto.

#### **7) Sílice:**

El silicio es el segundo elemento más abundante del planeta y se encuentra en la mayoría de las aguas. Es el constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena. La sílice existe normalmente como óxido (como SiO<sub>2</sub> en la arena y como silicato SiO<sub>3</sub><sup>=</sup>). Puede estar en forma insoluble, soluble y coloidal.

- ¿Para qué se mide y controla?

El análisis de la sílice en el agua de alimentación de las calderas de alta presión, es de gran importancia para evitar la formación de depósitos duros de sílice en los tubos de las calderas y en las aspas de las turbinas de vapor. Los análisis de la sílice, también proporcionan un método sensitivo para el control de la operación los des mineralizadores de agua, ya que la sílice es una de las primeras impurezas que salen a través de una unidad agotada. Se puede eliminar la sílice del agua por intercambio iónico, destilación, tratamientos con cal, carbonato y magnesio. En ocasiones es usado para formar capas protectoras internas en las tuberías para inhibir la corrosión. No tiene efectos tóxicos conocidos.

### **8) Cloruros:**

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio ó de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 ppm

- ¿Para qué se mide?

El cloruro es esencial en la dieta y pasa a través del sistema digestivo, inalterado. Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial, puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras. La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias

### **9) Calcio:**

El calcio es el 5º elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe a su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso y dolomita. La cantidad de calcio puede variar desde cero hasta varios cientos de mg/l, dependiendo de la fuente y del tratamiento del agua. Las aguas que contienen cantidades altas de calcio y de magnesio, se les da el nombre de "aguas duras".

- ¿Por qué es importante medir el calcio?

Concentraciones bajas de carbonato de calcio, previenen la corrosión de las tuberías metálicas, produciendo una capa delgada protectora. Cantidades elevadas de sales de calcio, se descomponen al ser calentadas, produciendo

incrustaciones dañinas en calderas, calentadores, tuberías y utensilios de cocina; también interfieren con los procesos de lavado doméstico e industrial, ya que reaccionan con los jabones, produciendo jabones de calcio insolubles, que precipitan y se depositan en las fibras, tinas, regaderas, etc.

#### **10) Sulfatos:**

Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones.

- ¿Dónde se encuentran?

Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. Las aguas de minas y los efluentes industriales contienen grandes cantidades de sulfatos provenientes de la oxidación de la pirita y del uso del ácido sulfúrico. Los estándares para agua potable del servicio de salud pública tienen un límite máximo de 250 ppm de sulfatos, ya que a valores superiores tiene una acción "purgante". Los límites de concentración, arriba de los cuales se percibe un sabor amargo en el agua son: Para el sulfato de magnesio 400 a 600 ppm y para el sulfato de calcio son de 250 a 400 ppm.

#### **11) Cloro residual:**

- ¿Qué es cloro?

En condiciones normales de presión y temperatura, el Cloro es un gas de color verde, más pesado que el aire por cual en un caso de escape, se deposita en Las partes bajas de la zona de desinfección.

- ¿es toxico el cloro?

Dependiendo de las concentraciones, la inhalación del gas de cloro produce graves irritaciones e incluso puede producir la muerte en corto tiempo de exposición a concentraciones elevadas.

- ¿Cómo reacciona con el agua?

Cuando se agrega cloro al agua, lo primero que ocurre es la hidrólisis del mismo; luego se combina con el amoniaco presente y la materia orgánica, así como una serie de sustancias químicas, produciendo una gran variedad de compuestos, algunos con poder bactericida. Entonces se producen dos tipos de reacciones:

- ✓ Hidrólisis
- ✓ Reacción de Oxido - Reducción

- Ventajas:
  - ✓ Es fácilmente disponible en forma gaseosa, líquida y sólida.
  - ✓ Es Barato.
  - ✓ Es de fácil aplicación por su alta solubilidad.
  - ✓ Deja un residual en solución cuya concentración es fácilmente determinable.
  - ✓ Las concentraciones requeridas para potabilizar el agua son inocuas para el hombre.
  - ✓ Tiene la capacidad para eliminar la mayor cantidad de microorganismos existentes.
- Desventajas:
  - ✓ Es un gas venenoso y corrosivo, por lo cual se requiere un cuidado extremo en su manejo.
  - ✓ Produce daño en tuberías metálicas, concreto y estructuras próximas a los equipos dosificadores.
  - ✓ La cloración hecha en presencia de color orgánico originado por ácidos húmicos principalmente dan origen a la formación de Trihalometanos, cuando el contacto es prolongado y a altas concentraciones.

## 12) Sodio:

El sodio es el sexto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, es por esto y por la solubilidad de sus sales, que casi siempre está presente en la mayoría de las aguas naturales. Su cantidad puede variar desde muy poco hasta valores apreciables. Altas concentraciones de sodio se encuentran en las salmueras y en las aguas duras que han sido ablandadas con el proceso de intercambio ciclo sodio.

- ¿Por qué es importante medirlo?
  - ✓ La relación entre sodio y los cationes totales es de importancia en la agricultura y en la patología humana.
  - ✓ La permeabilidad de los suelos, esto afecta negativamente cuando se riega con agua de alta relación de sodio.
  - ✓ A las personas que tienen una alta presión arterial, se les recomienda ingerir agua y alimentos de bajo contenido de sodio.
  - ✓ Cuando se requiere, se puede eliminar el sodio, por procesos de intercambio ciclo hidrógeno, por destilación o por osmosis inversa.

### 3.2. TIPOS DE SISTEMAS DE SEPARADORES DE GRASAS Y ACEITES RESIDUALES

Existen muchos sistemas separadores de grasa en la industria petrolera, todos con un mismo objetivo separar los hidrocarburos del agua.

A continuación explicaremos con imágenes y datos los más importantes de la industria y los que se usan dentro de la refinería

#### 3.2.1. Separadores de disco

Estos tipos de separadores separan aceites, engrasantes, ácidos grasos, escorias y lodos tipo metálico.

Debido a las cualidades adhesivas de estos contaminantes ellos se adhieren al disco que gira muy lentamente luego son removidos por medio de un raspador tipo hoja y son descargados en un contenedor pequeño.

Las aguas que no tengan alguna propiedad adhesiva quedaran en el recipiente.

Los aceites que son separados se descargarán en un recipiente que tiene que estar muy cercano del separador.

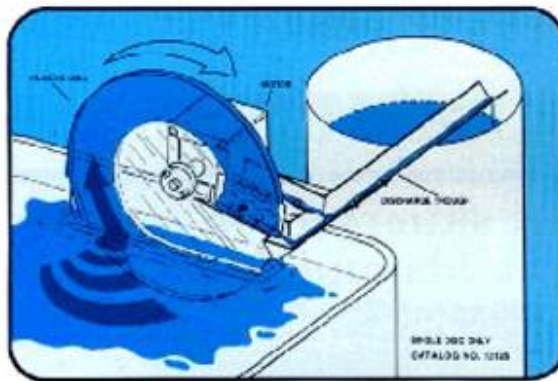


Figura 53. Método de separación del separador de disco.

- Características:
  - ✓ Los raspadores son de peso ligero y fácil de instalar
  - ✓ Disco normal que opera a 150°f
  - ✓ Rango de trabajo hasta de 200°f
  - ✓ Trabaja con 115 voltios con una sola fase y un motor de 60 ciclos
  - ✓ Estructura en acero carbón liviano.



Figura 54. Separador de disco.

- Ventajas:
  - ✓ El agua se conserva mientras retira aceite y lodos. Extendiendo la vida de los refrigerantes
  - ✓ Los contaminantes sólidos y las áreas de aceite son removidas por esta limpieza buena.
  - ✓ Reducción de vapores contaminantes a través de esta técnica segura
  - ✓ Recupera en su totalidad el aceite
  - ✓ El disco funciona en cualquier tipo de aceite superficial o grasas.
- Desventajas:
  - ✓ Solamente trabaja en áreas muy pequeñas por debajo de 2 m<sup>2</sup>
  - ✓ La capacidad de separación es muy reducida

### 3.2.2 Separadores gravitacionales API.

Son los más comunes y los más utilizados en la industria petrolera.

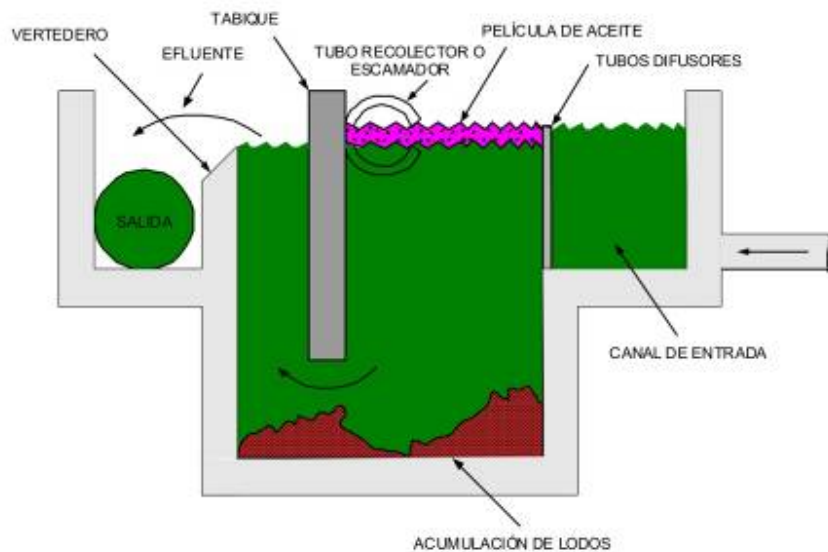
- ✓ **Separación Física por Gravedad.**

Es un método en el cual la liberación de las partículas se hace usando como base la diferencia de pesos específicos (relación entre peso y volumen) y densidades relativas (relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua). Los separadores gravitacionales, como el tipo del Instituto Americano de Petróleo (API), utilizan pantallas sobre y bajo flujo para desnatar la superficie del agua residual. Esta pantalla permite que una pequeña cantidad de agua se pierda en la porción aceitosa.



extremo de entrada generalmente tienen una cámara de distribución, con el objeto de distribuir el flujo entre las cámaras del separador. Este proceso ayuda a que se pueda realizar una mejor tarea de separación para recuperar todas aquellas aguas aceitosas.

- Partes principales de un separador API convencional
  - ✓ Pre cámara
  - ✓ Bahía de Acceso
  - ✓ Compuertas
  - ✓ Tubos Deflectores
  - ✓ Cámaras Separadoras
  - ✓ Raspadores de Aceite y Lodos
  - ✓ Desnatador
  - ✓ Bafle de Retención de Aceite
  - ✓ Caja Colectora de Aceite Recuperado (Slop)
  - ✓ Colector de Lodos



- ✓ Vertedero Efluente

Figura 56. Corte transversal de un separador API.



- Ventajas:
  - ✓ Su diseño robusto permite separar cualquier tipo de aceites o hidrocarburos de densidades livianas hasta las mas pesadas.
  - ✓ Separa también lodos y los sedimenta en unas recamaras especiales para acumularlas y secarlas.
  - ✓ Logra separar desde 10 hasta 100 gpm.



Figura 57. Vista general de un separador API.

- ✓ Sus rangos de temperatura son muy amplios desde 100°f – 1000 °f.
- ✓ Trabajan en áreas grandes y extensas

- ✓ Soporta una gran variedad de ataques químicos del agua, sulfuros, ácidos y básicos,
- Desventajas:
  - ✓ Utiliza sistemas de vapor para calentar los aceites, esto genera vapores orgánicos peligrosos dañinos para la salud.
  - ✓ Son muy costosos y no todas las industrias pueden adquirir uno.
  - ✓ Contiene muchas partes que se dañan con frecuencia perdiendo muchas horas en mantenimiento.

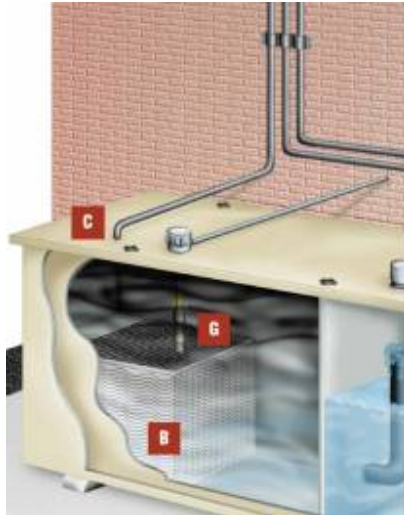
### **3.2.3 Separadores tipo Tanque.**

Actúan con el mismo principio de los separadores api pero aíslan la carga y la confinan en un lugar cerrado del tipo de un tanque y en ocasiones puede estar enterrado.

Sirven solamente para un propósito o separan aceite o separan hidrocarburo, no sirven para separar ambos aceites.

- Ventajas:
  - ✓ Vienen contruidos en material poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
  - ✓ Accesorios en polipropileno (PPH)
  - ✓ Alta resistencia química y mecánica
  - ✓ Alta resistencia a la corrosión
  - ✓ Alta resistencia a la intemperie.
- Desventajas
  - ✓ No tiene la capacidad de evacuar los aceites separados.
  - ✓ Requieren de limpiezas muy constantes.
  - ✓ Los cámaras filtradoras se taponan con facilidad

Figura 58. Separadores tipo tanque.



### 3.2.4 Separadores tipo baffles

Separan partículas más pequeñas de aceites en una proporción de 10ppm del efluente.

Actúa por medio de baffles y unas membranas separadoras capaces de separar grasas aceites y sólidos en suspensión.



Figura 59. Detalle externo del separador tipo baffle.

Figura 60. Detalle interno de los baffles

- Ventajas
  - ✓ Actúan electrónicamente
  - ✓ Controladores y sensores electrónicos de punta
  - ✓ Se instalan exteriormente y aislados del proceso
  - ✓ Tiene doble barrera epoxica que evita olores al medio ambiente
  - ✓ Sensor de alarma cuando llega al límite máximo de capacidad
  - ✓ Bomba externa succionadora del aceite y del lodo
- Desventajas
  - ✓ No actúan en afluentes abiertos o con corrientes acidas
  - ✓ Constante mantenimiento de sus filtros y platos separadores
  - ✓ Deterioro muy rápido de sus internos

### 3.2.5 Separadores - desnatadores con cinta oleofílica

Separa el hidrocarburo y aceite con la cinta oleofílica, actúan por medio de la diferencia de gravedad de los dos elementos controlando el tiempo de separación física para luego actuar la separación mecánica.

Su principal sistema es la cinta oleofílica que realiza un recorrido en cierta área de influencia, durante ese recorrido el aceite junto con cierta cantidad de agua se impregnan a la cinta para luego realizar un traslado vertical que ayuda a que el agua se desprenda o realice la separación con el aceite.

Ocurre luego la separación mecánica por medio de cilindros, raspadores, actuadores mecánicos, bandas raspadoras y muchos otros métodos exprimidores o escurridores de la cinta.



Figura 61. Desnatadores con cinta oleofílica, propiedad de Canadyne Technologies Inc.

- Ventajas:
  - ✓ Es el método de mayor uso para separar aceites pesados
  - ✓ Por su gran versatilidad se pueden adaptar a muchas formas y estilos
  - ✓ Sus diseños permiten actuar en muchos campos de la industria
  - ✓ Pueden actuar en áreas pequeñas y grandes.
  - ✓ Alta resistencia química y mecánica
  - ✓ Alta resistencia a la corrosión
  - ✓ Alta resistencia a la intemperie.
  
- Desventajas:
  - ✓ Muchas partes móviles
  - ✓ Las piezas se desgastan con mucha facilidad por su uso
  - ✓ Sufren constantemente rompimiento de la cinta
  - ✓ Los tiempos de mantenimiento son altos
  - ✓ Su estructura muchas veces es muy compleja

También existen muchos otros modelos de desnatadores con cinta de mayor capacidad, para trabajos extremos, con presencia de fuentes corrosivas altas, temperaturas extremas, presiones altas de los afluentes.

Aplican estos desnatadores para el derrame de hidrocarburos en ríos mares y lagunas, pueden trabajar con alta turbulencia del agua, y con presencia de hielo.



Figura 62.

Desnatador de aceite con la cinta oleofílica de la GCB



Figura 63. Desnatador múltiple vertical, propiedad de CRUCIAL, Inc. 2003 ©

### 3.2.6 Separadores estáticos con manguera

Estos desnatadores se usan principalmente en la industria de los aceites y grasas lubricantes.

Existen muchos tipos de modelos y tamaños, la mayoría actúan en recintos cerrados o con presencia poca de agentes químicos corrosivos.

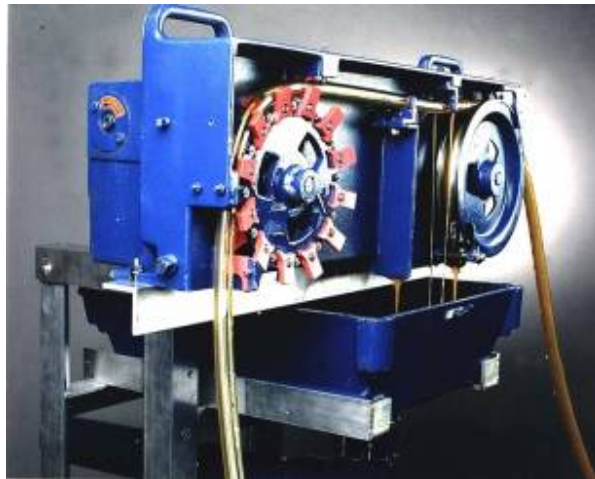


Figura 64. Detalle del separador con manguera. Propiedad de waterandwastewater Inc. 2007 ©

- Ventajas:
  - ✓ Es un método muy simple de separación
  - ✓ Resistente a la abrasividad
  - ✓ Es de fácil instalación y mantenimiento
  - ✓ Es muy liviano, construido en su mayoría de aluminio



Figura 65. Área de trabajo del Separador con manguera. Propiedad de waterandwastewater Inc. 2007 ©

- Desventajas:
  - ✓ Solamente está diseñado para separar aceites pesados.
  - ✓ Aplica para áreas pequeñas y afluentes de volúmenes bajos
  - ✓ No aplican a la industria petrolera.

### 3.2.7 Separadores tipo barco

Como su nombre lo indica son barcos que trabajan con unos flotadores de gran tamaño, tienen un complejo sistema de abertura y cierre de cámaras que permiten a estas cintas contener la expansión de manchas de aceite e hidrocarburos en eventos de derrame o emergencias ecológicas.

- Ventajas:
  - ✓ Actúan en emergencias en el área marítima y fluvial
  - ✓ Gran capacidad de recuperación de aceite
  - ✓ Gran maniobrabilidad acuática justo y por debajo de la superficie del agua
  - ✓ Centros de control computarizados y automatizados.
  - ✓ Trabajan con aguas peligrosas y turbulentas
  - ✓ Soportan ataques corrosivos y de salinidad de las aguas



Figura 66. Separadores tipo barco con flotadores. Propiedad de International spill control organization 2007 ©

- Desventajas:
  - ✓ Costos de adquisición altísimos
  - ✓ Costos de mantenimiento altos
  - ✓ Solo separan petróleo y aceites pesados

### 3.2.8 Separador tipo GRABBER

Tiene el mismo principio de los demás con la diferencia que actúan a través de una cinta plana tipo Grabber (cinta plana esponjosa oleofílica)

- Ventajas:
  - ✓ Actúan en piscinas y terrenos profundos
  - ✓ Su mecanismo es muy sencillo y fácil de instalar
  - ✓ Tiene un gancho al final del recorrido que permite estabilizar la cinta
  - ✓ También actúan en superficies pequeñas, delgadas y de difícil acceso
  - ✓ Existe variedad de tamaños de equipos



gran  
de  
de estos

Figura 67. Separador de una altura de más de 5 metros

- Desventajas:
  - ✓ Solo recuperan aceites y grasas pesados
  - ✓ Su nivel de productividad es medio
  - ✓ Cinta se rompe con mucha facilidad.

### 3.2.9 Tipos de cintas absorbentes

También conocidas como cinta oleofílica, o cinta mopa, existe una gran variedad de tipos, tamaños, formas, capacidades de absorción, etc. La mayoría son construidas de material polipropileno.

- Características:
  - ✓ Material de polipropileno
  - ✓ Adaptadas para los derrames en tierra como en los derrames marinos
  - ✓ Tienen la propiedad de rechazar el agua
  - ✓ Tienen afinidad química con el petróleo y los aceites
  - ✓ Tiene afinidad química con los productos bases
  - ✓ Algunas pueden absorber hasta 25 veces su propio peso.



Figura 68. Cintas oleofílica absorbentes. Propiedad de The Spill Control People Copyright 1996-2001, Dawg, Inc.

- Cintas para aceites pesados y livianos

Estas son algunas características de las cintas oleofílica para hidrocarburos, existen las blancas, azules y amarillas.



White Rope	Blue Rope
Petrol	Gear Oil
Engine Oil	Soaps
Jet Fuel	Fuel oil
Paraffin	Vegetable Oil
Diesel Oil	Crude Oil
Solvents	Grease
Turpentine	Hydraulic Oil

Figura 69. Estas son las más comunes para separar petróleo e hidrocarburos

Propiedad de Intersate product's Inc. 2007 ©

- Formas y tamaños:  
Existe gran variedad de formas de las cintas oleofílicas, tipo servilletas, tipo almohadas, tipo calcetines, en rollo, planas, tipo espuma,



Figura 70. Cintas tipo servilletas, o de rollo

Estos productos tienen la propiedad de flotar, no absorben agua (0,5 % de absorción) y retiene por adherencia el hidrocarburo derramado. Algunas cintas son de material teflón o mangueras hechas en polímeros de alta densidad.



Figura 71. Mangueras hechas en polímeros de alta densidad.

### 3.3 PARAMETROS FUNCIONALES

A continuación realizaremos una medición de parámetros funcionales con la línea de productos más utilizados en la industria petrolera, la cual nos ayudara a definir los parámetros que nos determinaran el diseño de nuestro modulo separador.

Para la medición definimos valores así:

- 10 - Muy alto
- 8 - Alto
- 7 - Medio alto
- 5 - Medio
- 4 - Medio bajo
- 3 - Bajo
- 2 - Muy bajo

La matriz de medición nos mostrara el resultado de los aspectos más fuertes de cada producto y sus debilidades.

Parámetros a usar:

- Funcional
- Estructural
- Operatividad
- Usabilidad
- Proyección de mercado
- Costos de producción
- Costos operativos
- Costos mantenimiento

Estos son los separadores y los desnatadores que más se pueden acercar a nuestro diseño y los más usados en la industria de las aguas residuales.

- S1 - Separadores API
- S2 - Separador de disco
- S3 - Separador tanque
- S4 - Separador tipo baffle
- S5 - Desnatadora cinta oleofílica
- S6 - Separador con manguera
- S7 - Separador tipo barco
- S8 - Separador tipo Grabber

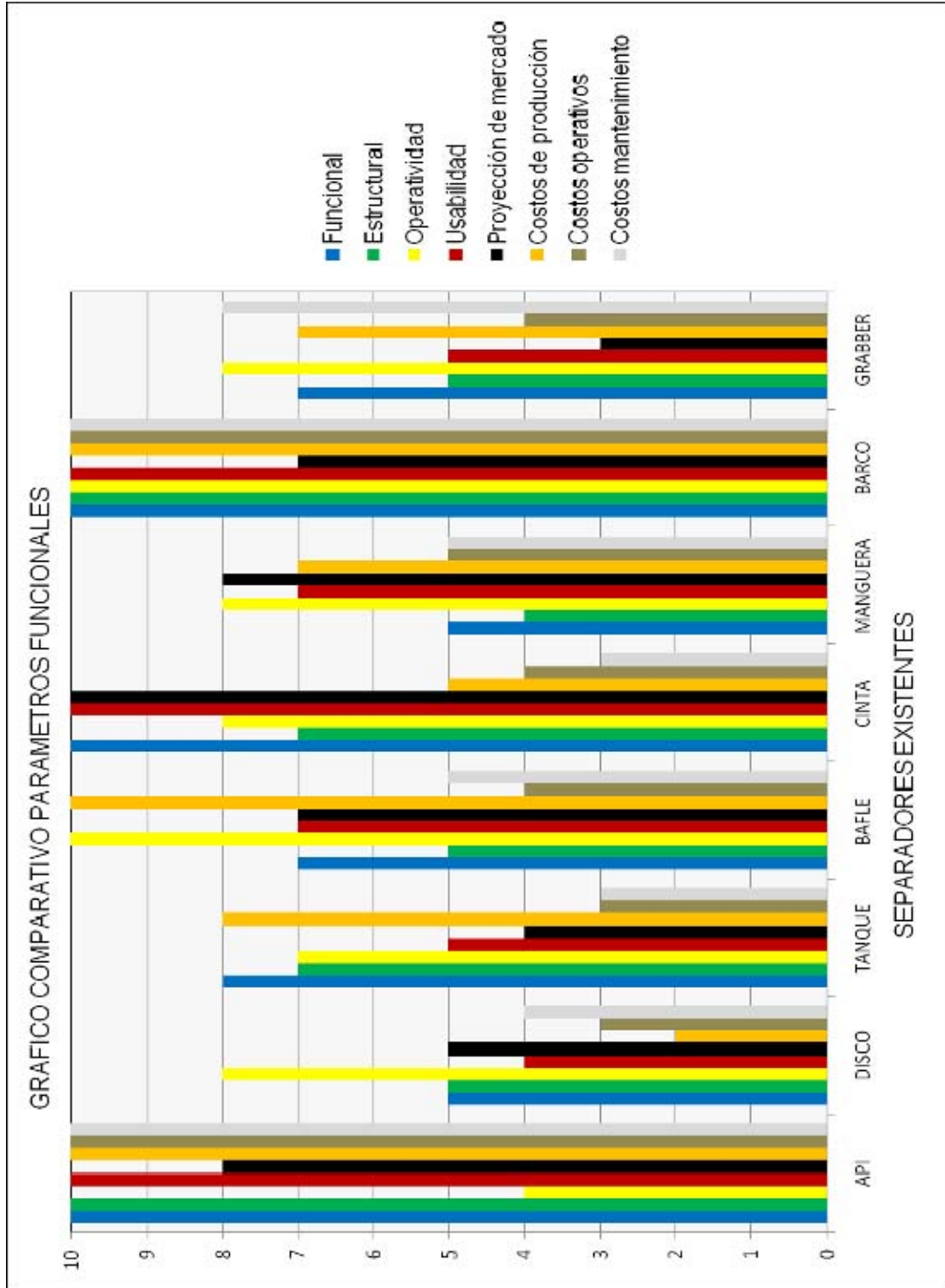


Figura 72. Separadores comerciales, análisis funcional

Resultados:

- ✓ Parámetro funcional:  
10 muy alto – api, cinta, barco
- ✓ Parámetro estructural:  
10 muy alto – api, barco  
7 medio alto – tanque, cinta
- ✓ Parámetro operativo:  
10 muy alto – baffle, barco  
8 alto – disco, cinta, manguera, Grabber
- ✓ Usabilidad  
10 muy alto – api, cinta, barco  
8 alto – manguera, baffle
- ✓ Proyección de mercado:  
10 muy alto – cinta  
8 alto – api, manguera
- ✓ Costos de producción:  
10 muy alto – api, baffle, barco  
5 medio - cinta  
2 muy bajo - disco
- ✓ Costos operativos  
10 muy alto – api, barco  
4 medio bajo – baffle, cinta, Grabber  
3 bajo - disco
- ✓ Costos mantenimiento:  
10 muy alto – api, barco  
3 bajo – tanque, cinta

De acuerdo con estos resultados podemos definir que los separadores que pueden servir de acuerdo a nuestra necesidad de implantarlo en la piscina pueden ser los de disco, de cinta o el tipo Grabber.

### 3.3.1 Análisis de la función modular

Basándonos en las necesidades específicas ya vistas en el análisis de la piscina de carga que es donde existe el problema a solucionar se explica a continuación los puntos de partida para el nuevo diseño, dentro de estos puntos está el módulo a diseñar como la estrategia más viable para desarrollar un producto.

- Definición de módulo:

- Elementos de forma constante que debidamente cambiados, pueden organizar diferentes variable y soluciones.
- Para obtener diferentes formas para un producto, o sea con el mismo modulo.
- Reducir piezas en el diseño de la luminaria, simplificando el diseño, es mas difícil sintetizar que aumentar.

- Modulo separador

Es un pequeño sistema que tiene la característica de poder crecer o de cambiar no su apariencia estética sino su estructura dimensional que le permita abarcar todas las áreas de la piscina en todos sus ángulos y en diferentes direcciones.

- ¿Fin del modulo?:

Separar físicamente hidrocarburos, y aceites pesados que llegan a la piscina de carga BA-4001.

- ¿Que afecta?:

Afecta a las aguas residuales que llegan a la planta y a la piscina de carga

- ¿Quién se beneficia?:

Beneficia a los operadores del área de homogenización, a los operadores de toda la planta, a los procesos internos al agua y al medio ambiente

- ¿Cómo trabaja?:

Trabaja con un sistema mecánico sencillo, sin piezas giratorias generadoras o que transmitan fuerza ya que puede disminuir la confiabilidad y el tiempo de vida de la maquina

- ¿Cómo afecta a la planta PTAR?

La afecta en la disminución de químicos a utilizar en los siguientes procesos de la planta también en la sobrecarga de trabajo de los trenes ya que el modulo absorberá mas aceite y el agua saldrá de la piscina con menos contaminantes a su segunda etapa.

- ¿Cuál es su rango de acción?:

En primer lugar separar el aceite físicamente, transportarlo a una zona contigua segura y en segundo lugar actuar en todos los sectores de la piscina de carga

- ¿Cuál es su diferencia con el sistema actual?:

Que actúa directamente y en contacto directo con la piscina sin intervención de ninguna persona durante su operación.

- ¿Cuándo debe actuar?:

Cuando los niveles de la piscina estén en condiciones normales de operatividad por encima de 1 mts de nivel en su carga de agua

- ¿Cuánto debe trabajar el modulo?:

Una vez puesto en servicio el primer modulo debe actuar las 24 horas del día los 7 días de la semana y los 365 días del año

- ¿Cuando se realiza mantenimiento a los módulos?:

Cuando alguno de sus elementos que la compongan afecten directamente el normal funcionamiento del modulo

- ¿Cada cuanto se realiza mantenimiento a los módulos?:

Los mantenimientos preventivos a los módulos se deben realizar una (1) vez cada seis meses.

### **3.3.2 Designación de funciones**

#### **3.3.2.1 Jerarquización de funciones principales:**

- La separación de hidrocarburos y aceites que se encuentren en la superficie del agua que está dentro de la piscina de carga BA-4001 de la planta PTAR.
- La evacuación del aceite o hidrocarburo separado del agua a otra piscina o sitio seguro para dar otro tratamiento a este aceite.

#### **3.3.2.2 Jerarquización de funciones secundarias:**

- Almacenar de forma temporal el aceite recogido en caso de que no se pueda retirar este aceite almacenado en la cámara destinada para este fin
- Disminuir los altos índices de Corrosividad que traen estos aceites y que se presentan en las otras piscinas.
- Disminuir el nivel de pH de las aguas que llegan a la piscina
- Disminuir el nivel de acides de estas aguas para que puedan ser tratadas con mayor facilidad en los diferentes trenes de descontaminación.

#### **3.3.2.3 Jerarquización de funciones Terciarias**

- Ayudar a reducir los niveles de concentración de voc's en ppm, que emanan estos aceites por las altas temperaturas que se concentran en la piscina
- Disminuir los sólidos en suspensión que se logran separar por el contacto directo de la cinta con el agua.
- Aumentar el tiempo de permanencia de este sistema en la piscina para homogenizar la separación
- Brindar una función ambientalista a los principios de tratamiento de aguas residuales
- Disminuir el impacto ambiental que conlleva llevar estas aguas al cauce del río Magdalena
- impactar positivamente en el aire que se respira en las áreas de tratamiento de la planta
- Mejorar la imagen de la empresa en el ámbito nacional como una empresa que se preocupa por el medio ambiente
- Cumplir con las normas ambientales colombianas
- Respetar y cuidar el medio ambiente.

### **3.3.3 Hse y seguridad operacional**

Uno de los temas más importantes en la refinería de ECOPELROL - Gerencia Complejo Barrancabermeja (GCB) es el cumplimiento de asuntos relacionados con la salud, medio ambiente y seguridad (HSE) de los trabajadores. Es responsabilidad de los empleados entender los peligros que pueden llegar a enfrentar en la refinería de Barrancabermeja, en general y específicamente en sus áreas de trabajo

- Seguridad:

La meta de ECOPELROL es contar con una refinería con cero accidentes todos los días. La primera prioridad es la salud y seguridad de los empleados, del personal que ofrece servicios a la refinería y también la de los vecinos. Es responsabilidad de cada empleado la ejecución de sus labores con seguridad y responsabilidad.

- Medio ambiente:

Trata los diferentes eventos que pueden ocurrir en la unidad y que pueden afectar el medio ambiente circundante.

- Peligros:

Pueden existir dos tipos de peligros en la unidad.

Peligros Químicos

Peligros de Proceso

- Peligros Químicos:

Existen diversos químicos potencialmente peligrosos para el personal de la unidad. Es responsabilidad de cada empleado en el área de procesos el consultar la ficha toxicológica antes de trabajar con algún químico desconocido para conocer los posibles daños.

- Peligros de Proceso

Algunas condiciones o actividades de proceso pueden representar peligros para el personal como son:

- Fuego, Explosión e Incendio
- Líneas y Equipos de Proceso Calientes
- Descargas
- Procedimientos de Pruebas
- Venteos de Vapor

Fuego, Explosión e Incendio. La presencia de hidrocarburos, altas temperaturas y altas presiones en los diferentes equipos de la planta generan un alto riesgo de incendios y explosiones, si hay entrada y contacto de los hidrocarburos con aire.

Líneas y Equipos de Proceso Calientes. Muchas líneas y equipos trabajan a altas temperaturas. El personal de la unidad debe ser precavido al trabajar cerca de líneas y equipos de proceso para evitar quemaduras.

Descargas. Cualquier sustancia contenida presenta un riesgo potencial si es liberada o descargada al medio ambiente. El personal de la unidad debe estar consciente de cada riesgo específico de los materiales y la ubicación de dichos riesgos.

Procedimientos de Pruebas. Al manejar o probar cualquier químico peligroso en la unidad, el personal debe observar todos los procedimientos de seguridad de la refinería asociados con el químico.

Venteos de Vapor. Cualquier venteo de vapor, incluyendo las trampas de vapor, líneas de exhosto o válvulas de alivio hacia la atmósfera, puede ocasionar daños al personal. El personal de la unidad debe estar consciente de los peligros específicos que ocasionan los Venteos de vapor y de su ubicación.

La unidad PTAR Ambiental utiliza dos tipos de equipos de seguridad.

- Equipo Contra Incendios
- Equipo de Seguridad Personal

Equipo Contra Incendios. Existen diversos tipos de equipos para contener y extinguir incendios. El Plano de Terreno (Plot Plan) de la unidad PTAR Ambiental muestra la ubicación de cada equipo, los cuales son la primera reacción de defensa antes de la llegada del Equipo de Control de Emergencia que es:

- Monitores de Agua Contra Incendio
- Extintores Móviles
- Mangueras
- Extintores Portátiles

Equipo de Seguridad del Personal. La unidad PTAR Ambiental cuenta con diversos tipos de equipos y procedimientos que protegen al personal de la unidad de lesiones. Estos equipos son:

- El equipo de Protección Personal (EPP)
- Lavaojos y Duchas
- Equipos de Aire Auto contenido

Equipo de Protección Personal (EPP). El procedimiento ECP-DRI-P-005<sup>10</sup> contiene información acerca de la selección, uso y mantenimiento de elementos de protección personal.

La unidad PTAR Ambiental exige el uso de los siguientes equipos de protección personal:

- Casco
- Gafas de Seguridad con Protección Lateral
- Botas de Seguridad
- Protección Auditiva
- Protección Respiratoria con Filtro para Vapores Orgánicos (media cara y cara completa)
- Guantes

Además de los anteriores, para el manejo específico de ácido sulfúrico, la unidad exige el uso de los siguientes elementos de protección personal:

- Traje o Peto de Nitrilo o Neopreno
- Guantes de Nitrilo o Neopreno
- Botas de Caucho

Lavaojos y Duchas. Estas estaciones se localizan en la unidad para proporcionar primeros auxilios al personal que haya entrado en contacto con

---

<sup>10</sup> ECP-DRI-P-005, PROCEDIMIENTO, Selección, uso y mantenimiento de Elementos de Protección Personal. ECOPETROL SA. 2005

químicos peligrosos o fuego. Las estaciones se encuentran ubicadas estratégicamente por toda la planta.

Equipos de Aire Auto contenido. Existen dos tipos de equipos de aire auto contenido:

uno de rescate y otro para trabajar en atmósferas peligrosas.

Ambos tipos son aparatos portátiles de respiración con aire comprimido.

### **3.4 BENCHMARKING MATRICIAL PARA LOS SEPARADORES DE LA “GCB”.**

Se basa en la construcción de una matriz con todas las características de los productos existentes de la empresa comparables al estudiado colocadas en el eje vertical, y con los distintos modelos de la empresa en el eje horizontal.<sup>11</sup>

También permite descubrir que características son más comunes en los modelos (y por tanto menos diferenciadores, pero también esperables por el usuario), cuales menos (en cuyo caso se puede ver porque y si es posible desarrollarlas) y que huecos existen para poder desarrollar nuestro diseño.

Este método de análisis permite descubrir que características son más comunes en los modelos

Para determinar las características más relevantes de los separadores dentro de la GCB elaboramos la matriz de funciones de las principales actividades que realizan estos separadores, cabe recordar que casi todos los separadores tiene configuraciones diferentes y se enmarcan específicamente dentro de cada actividad en particular siguiendo las necesidades de cada negocio, por lo tanto es muy difícil definir unos parámetros colectivos que enmarquen todas las actividades de todos los separadores.

En la tabla 28. Hemos definido los parámetros más importantes y en los que se pueden encontrar la mayoría de los separadores, principalmente la parte funcional nos enmarca la jerarquización de funciones principales y secundarias.

Los resultados nos muestran datos importantes a seguir en la definición de nuestro diseño. Los ítems de actividades principales arrojan que la principal función que es la separación de hidrocarburos cumplen casi la mayoría pero con muchos problemas de productividad y tiempos de operación.

---

<sup>11</sup> ALCAIDE MARZAL, Jorge, Diseño de Producto. Métodos y técnicas. Alfa omega. Grupo Editor, S.A. México, D.F. p. 28.

BENCHMARKING MATRICIAL PARA LOS SEPARADORES DE LA "GCB".														
PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS SEPARADORES														
No.	SEPARADORES													
	SEPARADOR 3010	SEPARADOR 3020	SEPARADOR 3030	SEPARADOR 3030 A	SEPARADOR 3050	SEPARADOR 3050	SEPARADOR 3050	SEPARADOR 3070	SEPARADOR 3080	SEPARADOR 3080 A	SEPARADOR 3090	SEPARADOR 3094	W-4003 DESMANTADOR	%
	ESTRUCTURAL													
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	83,3
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75
9													✓	8,3
10													✓	8,3
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	83,3
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	58,3
16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	91,6
17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	91,6
18													✓	41,6
19													✓	33,3
20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8,3
22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	50
23													✓	16,6
24														0
25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
26	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
27													✓	50
28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
29													✓	0
30		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	58,3

Tabla 27. Matriz principal de funciones de los separadores de la GCB

En la tabla 29. Veremos el comportamiento de los diferentes desnatadores del mercado. Se definió otra matriz de funciones ya que la usada para nuestro mercado interno no aplica para los productos comercializados en su mayoría en el exterior.

Esta matriz es mucho menos compleja y con enfoque propiamente a los desnatadores de complejidad media – baja.

BENCHMARKING MATRICIAL PARA LOS DESNATADORES COMERCIALES										
GENERAL DE FUNCIONES DE LOS DESNATADORES										
No.	SEPARADORES ESTRUCTURAL	DESNATADOR	DESNATADOR	DESNATADOR	DESNATADOR	DESNATADOR	DESNATADOR	DESNATADOR	DESNATADOR	%
		DISCO	API	TANQUE	BAFLE	CINTA OLEOFILICA	MANGUERA	BARCO	GRABBER	
1	Separa aceite	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
2	separa hidrocarburo		✓	✓	✓	✓		✓	✓	75
3	sep. Solidos suspendidos		✓	✓		✓				37,5
4	separa slop		✓	✓	✓					37,5
5	Sist. Succion aceite		✓		✓	✓		✓		50
6	Modulo estatico	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	87,5
7	Modulo rotativo	✓				✓	✓		✓	50
8	Modulo dirigido					✓		✓		25
9	Sistema cinta					✓			✓	25
10	Ajuste separador vertical					✓	✓		✓	37,5
11	Se sostiene con flotadores					✓		✓		25
12	separa con raspador	✓				✓	✓		✓	50
13	Platos filtrador		✓	✓	✓			✓		50
14	calentamiento con vapor		✓			✓		✓		37,5
15	Estructura civil		✓	✓	✓					37,5
16	Estruct. Architect.		✓	✓	✓			✓		50
17	Estructura metalica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	100
18	Separa de 1-10 bls/dia	✓				✓	✓		✓	50
19	Separa 10 o mas bls/dia		✓	✓	✓	✓		✓	✓	75
20	Bombas centrifugas		✓	✓	✓	✓		✓		62,5
21	trat. aceites		✓	✓	✓					37,5
22	trat. lodos		✓	✓						25
23	Soporta corrosion		✓	✓	✓	✓		✓	✓	75
24	Soporta ataques quim.		✓	✓	✓	✓		✓	✓	75
25	Elementos rotativos	✓				✓	✓	✓	✓	62,5
26	Sist. Almacenamiento temporal de aceite		✓	✓	✓	✓		✓		62,5
27	Ruidosos		✓			✓		✓	✓	50
28	Complejidad mecanica		✓	✓		✓	✓	✓	✓	62,5
29	Automatizados		✓	✓	✓			✓		50
30	Confiables	✓	✓			✓	✓	✓	✓	62,5

Tabla 28. Matriz general de funciones de los desnatadores comerciales.

### **3.5 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO**

Las variables más importantes a tenerse en consideración una vez analizado la matriz general de funciones de algunos desnatadores del mercado son las que no cumplieron con las expectativas de mayor cuantificación o valoración en porcentajes y teniendo en cuenta el marco de acción del futuro diseño dentro de la piscina de carga BA-4001.

#### **3.5.1 Requerimientos de uso**

- El desnatador deberá ser muy práctico con una facilidad de trasladar de una piscina a otra, o en caso de mantenimiento
- el mecanismo de pescante, es el sistema para introducir y sacar el desnatador de la piscina debe ser mecánico o con apalancamiento manual sin que el operador entre en contacto directo entre el desnatador y la piscina
- los mecanismos de operación deben ser todos internos, que no pongan en riesgo la salud del trabajador en caso de manipulación.
- Las piezas o repuestos a usar deben estar debidamente catalogados dentro del sistema de información de compras de la gcb “ELLIPSE” y deben ser productos comerciales en la ciudad
- A nivel ergonómico el modulo debe tener los espacios suficientes para que el operador pueda identificar o reconocer algún problema operacional
- El modulo debe considerar el buen acceso a las partes que se intervendrán a la hora de realizar el mantenimiento de las partes fijas y móviles.

#### **3.5.2 Requerimientos estructurales**

- El modulo desnatador debe poseer un sistema que entre en contacto directo con la piscina y que le permita sostenerse por tiempos largos de operación.
- El modulo constara de unas partes fijas como son el sistema flotador, la piscina o cámara de retención del aceite, el área de protección interna del motor y el área de protección a la intemperie del sistema raspador o cualquier otro sistema
- La estructura de los motores debe ser completamente impermeable al contacto con el agua, al aceite o a las condiciones atmosféricas.

- Su peso debe ser calculado de tal forma que la parte de la cinta o mecanismo de separación debe permanecer en continuo contacto con el agua a una altura determinada
- El peso total del modulo vacío debe ser calculado de tal forma que los mecanismos de separación del aceite permanezcan a la altura exigida para la recolección del mismo
- El peso total del modulo lleno de aceite debe ser calculado de tal forma que los mecanismos de separación estén a una altura exigida para la recolección del aceite
- Su centro de gravedad debe estar ubicado de tal forma que ofrezca estabilidad en el área superficial de la piscina y en el desplazamiento a través de ella.
- El modulo debe poseer un sistema de sujeción que le permita crecer entre ellos en un número determinado y limitado por el tamaño de la piscina.
- La construcción de las estructuras debe ser en un perfil, ángulo o tubería o material muy liviano y que su metalurgia resista a la intemperie y a los modos de falla por actuación de cargas o debilitamiento por desgaste.
- Todas las conexiones de mangueras y eléctricas deben estar regidas por las normas implementadas por Ecopetrol SA. Para estos casos y cumplir las normas API

### **3.5.3 Requerimientos de función**

- El mecanismo de separación debe ser un raspador sencillo u otro de poco peso y desmontable
- El mecanismo de rotación será por medio de un motor - reductor eléctrico de poco caballaje y un tamaño pequeño que sea resistente al agua.
- El sistema de traslación será por un sistema propio de la piscina y que se pueda acoplar fácilmente al modulo desnatador
- El sistema flotador debe estar configurado de tal forma que cumpla con la geometría, tamaño y distribución en el modulo para soportar su peso y sostenimiento en la superficie
- La piscina o tolva de retención u otro debe ser diseñada de tal forma que se acople con facilidad a la estructura y que pueda ser removida en caso de reparación
- El acabado del modulo desnatador debe ir ligado a la nueva imagen corporativa de ECOPETROL SA. Con pintura polimérica de altos sólidos resistente a la abrasividad, corrosión, salinidad, exposición a agentes ácidos.

#### **3.5.4 Requerimientos técnicos**

- La materia prima con que se fabricara el modulo debe conseguirse en la ciudad y en los principales centros de comercialización de material para la construcción.
- Los ejes de transmisión deben ser de material acero inoxidable
- La Carcasa del modulo debe ser de un material resistente a la corrosión y a los ataques químicos del agua puede ser de material inoxidable o aluminio
- Los tambores de rotación u otro mecanismo deben ser de un material polimérico o de malla resistente pero de un peso liviano
- La piscina o tolva de retención u otro mecanismo debe ser de un material de acero inoxidable o polimérico que resista la presión y temperatura del aceite y los ataques químicos también debe tener facilidades para recibo y salida del aceite
- El sistema flotador debe ser de un material plástico, de espuma o polimérico que resista la presión del peso del modulo y los ataques químicos definidos con anterioridad
- El sistema guía de traslación debe ser de material acero carbono con guayas metálicas o eslingas plásticas resistente para soportar el peso de varios módulos
- La bomba centrifuga que servirá de succión del aceite debe ser pequeña en tamaño y en capacidad resistente a la corrosión

#### **3.5.5 Requerimientos formales**

- El diseño del modulo desnatador debe transmitir un interés por la conservación del medio ambiente
- La convergencia de su estructura flotadora con la piscina debe disminuir el impacto visual que se presenta por la suciedad y la remoción del aceite dentro del modulo
- La unión de sus módulos dentro de la piscina debe expresar un mensaje innovador y de recuperación visual por la alta carga de objetos rígidos que existen en la piscina
- El color debe ser alegre, fresco, expresivo, con un mensaje contundente y alusivo a la conservación.

### **3.5.6 Requerimientos ambientales**

- Los materiales a usar para la fabricación del modulo deben ayudar a disminuir la generación de productos tóxicos dentro de la piscina
- Al contacto con las aguas de la piscina estos materiales no deben generar gases tóxicos ni reaccionar o degradasen con el aceite o sustancias fenólicas.
- Las pinturas y los acabados deben soportar las altas temperaturas de llegada de las aguas
- El diseño del modulo debe estar comprometido con el ciclo de vida útil de los productos usados en estas industrias.
- El diseño del modulo desnatador debe estar enmarcado dentro de las normas ambientales internas de la GCB.

### **3.5.7 Requerimientos de mantenimiento según la GCB**

- Para las partes rotativas el diseño permitirá un uso continuo superior al primer año antes de realizar chequeos de engrase y ajustes de piezas.
- El modulo desnatador debe estar diseñado para no superar una carga de 90 horas hombre semanales para su mantenimiento preventivo
- En caso de mantenimiento correctivo la adquisición de partes y repuestos debe ser mínima, ya que se usaran en lo posible partes comerciales convencionales.

### **3.5.8 Requerimientos en costos de producción**

- Como este diseño está sujeto a la demanda de un usuario en particular los costos de fabricación pueden variar de acuerdo a los precios de materiales actuales
- La mano de obra a usar debe ser de personal calificado y con experiencia en el montaje de equipos rotativos como son bombas o turbinas que conozcan el tema de alineación y ensamblaje de ejes.
- Inicialmente se fabricara un modulo con toda la línea de producción y ensamblaje en algún taller de la ciudad de Barrancabermeja.
- Toda la línea de construcción están sujetas a las normas ISO 286 que es la que rige este tipo de equipos rotativos.

## **4 DISEÑO MODULO DESNATADOR**

### **4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Revisando los últimos análisis de la ingeniería básica y la matriz de funciones de los diferentes desnatadores de la industria podemos determinar que el principal problema de la piscina de carga BA-4001 es la alta concentración de contaminantes, hidrocarburos y sólidos en suspensión del agua con la que sale de la piscina a los diferentes procesos.

Su principal falla es la falta de un sistema que le ayude al actual desnatador a recuperar la cantidad de hidrocarburo que entran a la piscina, o diseñar uno completamente nuevo que tenga la capacidad de tratar o intervenir por lo menos el 50% (120.000 gpm) o todo el hidrocarburo que se deposita allí, que pueda salir a mantenimiento sin necesidad de sacar de servicio todo el sistema desnatador como ocurre actualmente.

Es por eso que se requiere diseñar un modulo desnatador que cumpla con los niveles de producción requerido, que interactúe con el nivel variable de aguas, que pueda crecer y recorrer toda el área de la piscina.

#### **4.1.1 Atributos del nuevo desnatador**

- Que sea modular
- Que separe hidrocarburo del agua
- Que pueda crecer bidimensionalmente
- Que actúe directamente en el agua
- Que flote
- Que permanezca junto con el nivel del agua de la piscina
- Que tenga movilidad dentro de la piscina

#### **4.1.2 Análisis dimensional del modulo con la piscina BA-4001**

El tamaño del modulo va de acuerdo a las especificaciones arquitectónicas y mecánicas de la piscina, como son:

Área de la piscina: 43 mts x 16 mts = 688 mts<sup>2</sup>

Profundidad: 4.5 mts

Área de influencia del modulo (área efectiva de trabajo) = 40 mts x 15 mts = 600 mts<sup>2</sup>

Profundidad de trabajo efectiva o nivel máximo de las aguas: 2.0 mts.

De acuerdo con esto tendremos un área efectiva de 600 mts<sup>2</sup> repartida entre los módulos.

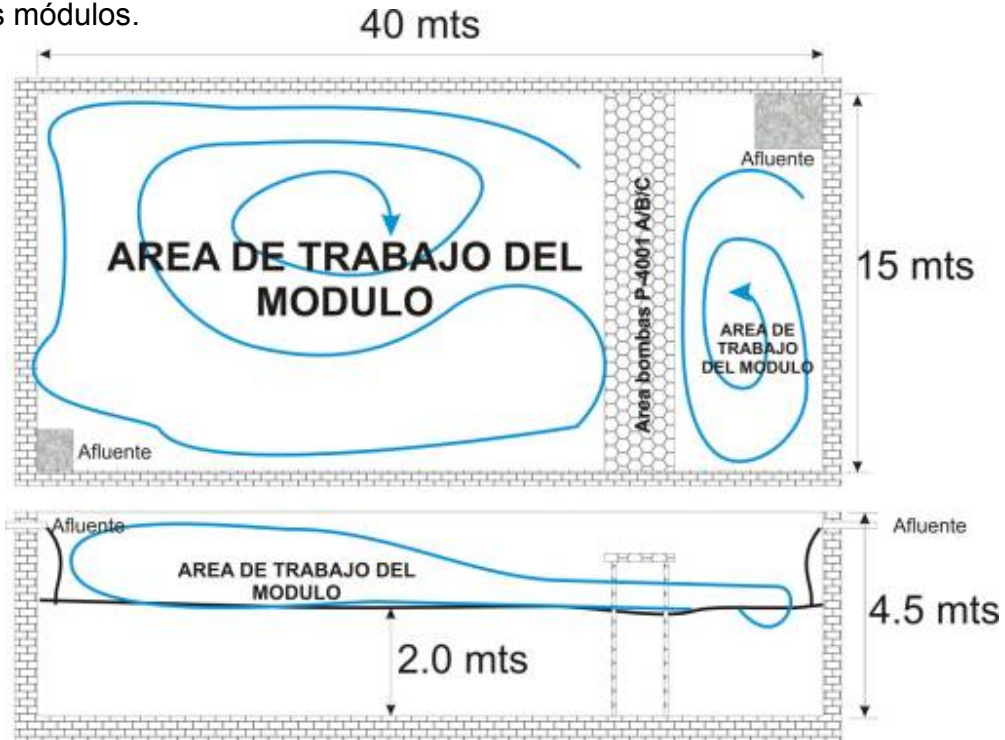


Figura 73. áreas efectivas de la piscina de carga BA-4001

#### 4.1.3 Características de separación del nuevo sistema

Como el modulo debe interactuar directamente con la piscina, entonces su mecanismo deberá entrar en contacto directamente con las aguas residuales a separar.

La separación se realizara dentro de la piscina teniendo en cuenta aspectos básicos como:

- Nivel del agua
- Presión del agua
- Caudal circulado en la piscina
- Principales corrientes
- Turbulencia de la piscina
- Áreas críticas de turbulencia
- Temperatura promedio

- Tiempo de permanencia del caudal
- Área de la separación gravitacional



Figura 74. Área de trabajo de la separación gravitacional

El área de trabajo del nuevo modulo estará entre la frontera de separación gravitacional que es de aproximadamente 30 cms del nivel de la línea superficial del agua

El área de los sólidos suspendidos comprende la franja inferior del área de trabajo y puede comprender los 70 cms



Figura 75. Área de sólidos suspendidos

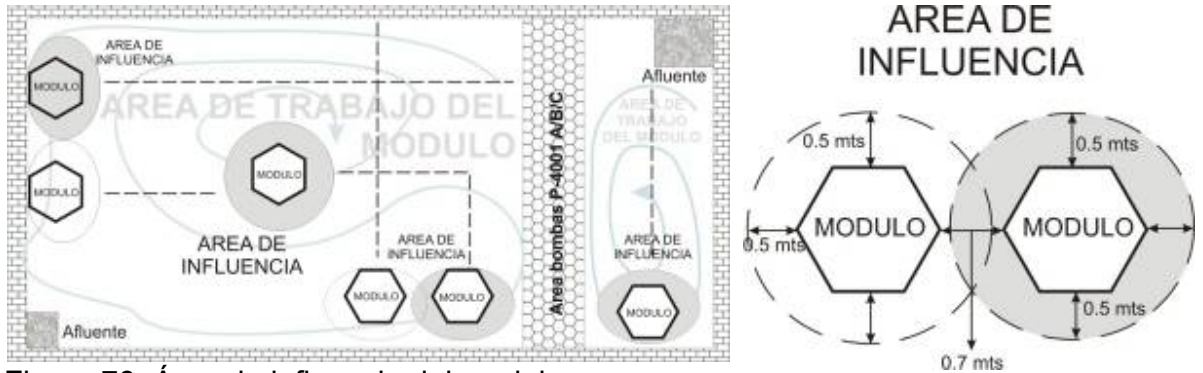


Figura 76. Área de influencia del modulo

## 4.2 MORFOLOGIA DEL MODULO

En este análisis mostraremos como en el orden animal existen algunos animales que tienen la propiedad de flotar en el agua, de mantenerse equilibrados y de desplazarse a través de la superficie.

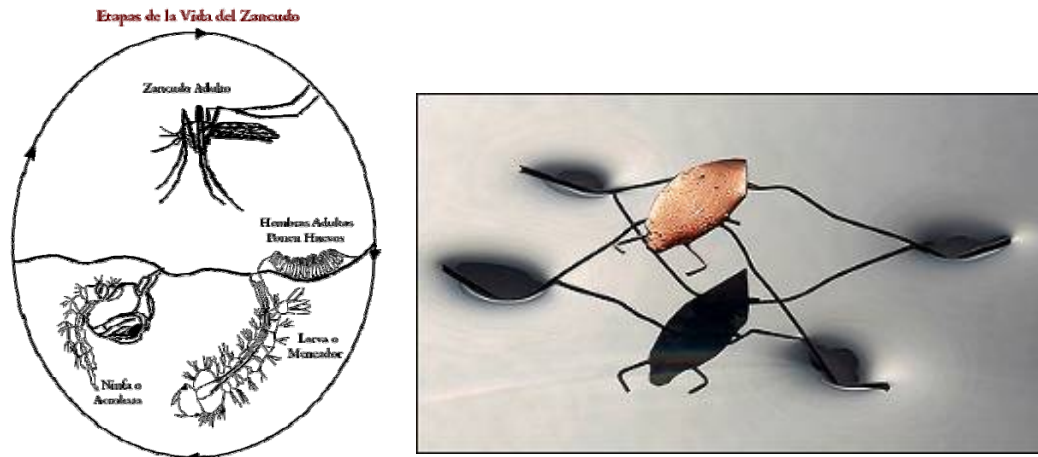


Figura 77. Zancudo

- Zancudo:

**Fílum**, Artrópodo; **Clase**, Insecto; **Orden**, Díptero

El animal más característico es el zancudo o llamado comúnmente el mosquito. Los zancudos son insectos holometábolos, así que salen de un huevo pasan por larva y ninfa hasta llegar a la etapa de adulto. La larva y la ninfa son acuáticas, los adultos son voladores. A los 80° F pasa por cuatro crisálidas en más o menos 4 días antes de convertirse en pupa (ninfa). La pupa tarda tres días en convertirse en adulto. Las hembras adultas viven por

varias semanas si se les da algo de azúcar. Los machos viven menos de una semana.

El secreto de trasladarse en la superficie del agua esta:

En vez de moverse al crear ondas, como pensaban algunos investigadores, los insectos usan uno de sus tres conjuntos de patas velludas como remos para crear vórtices o espirales en el agua, que les impulsan hacia adelante a velocidades de hasta 150 centímetros por segundo.

El profesor John Bush, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, y sus colegas, quienes descubrieron el secreto, dijeron que aunque se creaban pequeñas ondas, no eran la principal fuerza motriz. "La transferencia del impulso es principalmente en la forma de vórtices subyacentes", dijo Bush en un informe publicado en la revista científica *Nature*.<sup>12</sup>

De aquí se desprende la otra gran teoría utilizada para demostrar que algunos objetos flotan en el agua.

- **El principio de Arquímedes**

Es un principio físico que afirma que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido estático (e incompresible), será empujado con una fuerza igual al peso del volumen de fluido desplazado por dicho objeto.

De este modo cuando un cuerpo está sumergido en el fluido se genera un empuje hidrostático resultante de las presiones sobre la superficie del cuerpo que actúa siempre hacia arriba a través del centro de gravedad del cuerpo y de valor igual al peso del fluido desplazado. Esta fuerza se mide en Newton (en el SI) y su ecuación se describe como:

$$F_y = E - mg = (\rho_f - \rho_s)Vg$$

Donde  $\rho_f$  y  $\rho_s$  son respectivamente la densidad del fluido y del sólido sumergido;  $V$  el volumen del cuerpo sumergido; y  $g$  la aceleración de la gravedad.

- **Principio de Pascal o ley de Pascal**

es una ley enunciada por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662) que se resume en la frase: «el incremento de presión aplicado a una superficie de un fluido incompresible (líquido), contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo».

$$p = p_0 + \rho gh$$

Donde:  $P$ , presión total a la profundidad  $h$ .

$p_0$ , presión sobre la superficie libre del fluido.

---

<sup>12</sup> Bush John, Nature revista científica. 2007. <http://axxon.com.ar/mus/Insectos.htm>

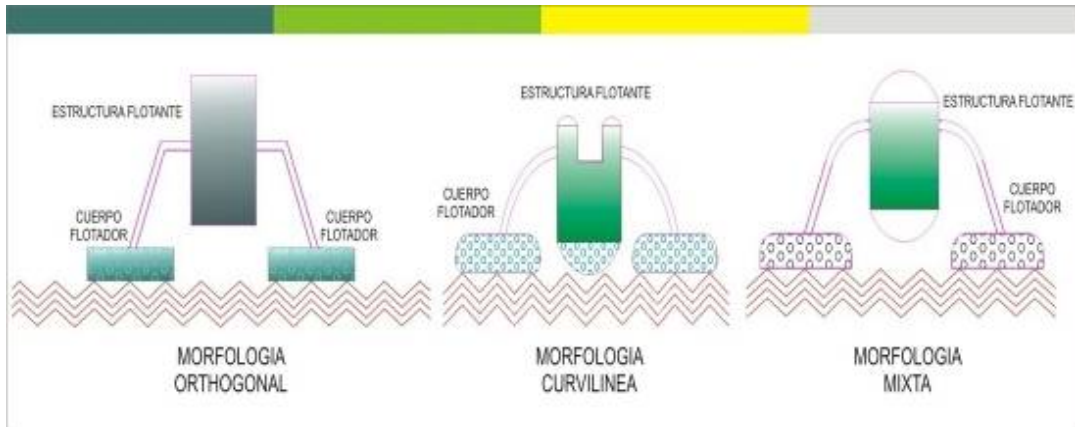


Figura 78. Planteamiento básico de la morfología

Debe existir un área concurrente y congruente entre la estructura que se designara para flotar y la estructura que flota si se decide que ambas deben estar en contacto con el agua entonces el área concurrente no debe existir

Esta explicación del área concurrente la damos a continuación

### 4.3 CREACION DE ALTERNATIVAS

Se plantearon las dos alternativas de áreas con sus respectivas vistas de planta.

Cada alternativa se desarrollo con 3 bocetos básicos.

Se identificaron sus áreas concurrentes y áreas congruentes determinando las áreas básicas de trabajo en las que el modulo separara el aceite.

Con estos esquemas podemos concluir lo siguiente:

- Áreas concurrentes:
  - ✓ Son áreas muertas pero que pueden servir de recirculación de la piscina
  - ✓ El modulo se aprecia muy disperso
- Áreas congruentes:
  - ✓ Se aprecian mucho más estructurales
  - ✓ Las áreas de trabajo se pueden definir con mayor facilidad y dirección del flujo de trabajo.

Después de haber definido estos espacios se llevara a las áreas de la piscina y se establecerán varias configuraciones

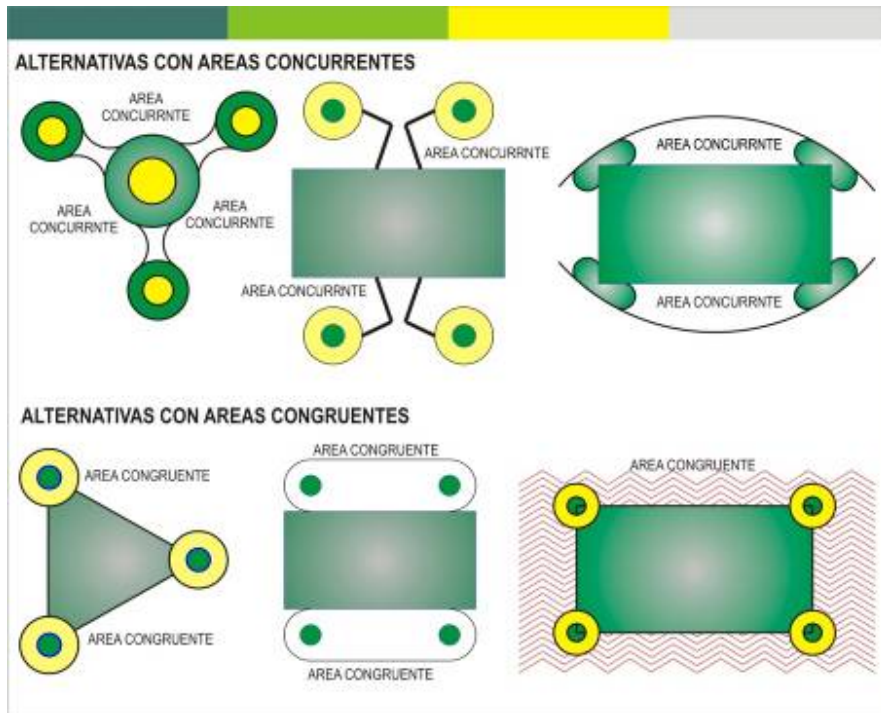


Figura 79. Bocetos con definición de áreas de trabajo

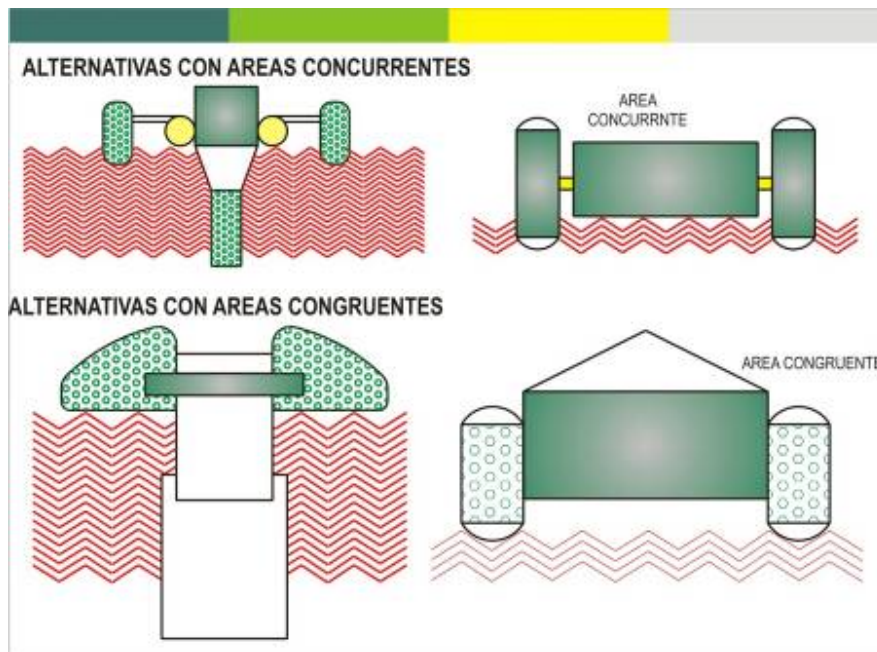


Figura 80. Vistas frontal de áreas

### 4.3.1 Áreas de separación con cinta oleofílica

Estas son algunas configuraciones del manejo de la cinta oleofílica dentro de la piscina.



Figura 81. Configuración 1 cinta oleofílica



Figura 82. Configuración 2 cinta oleofílica

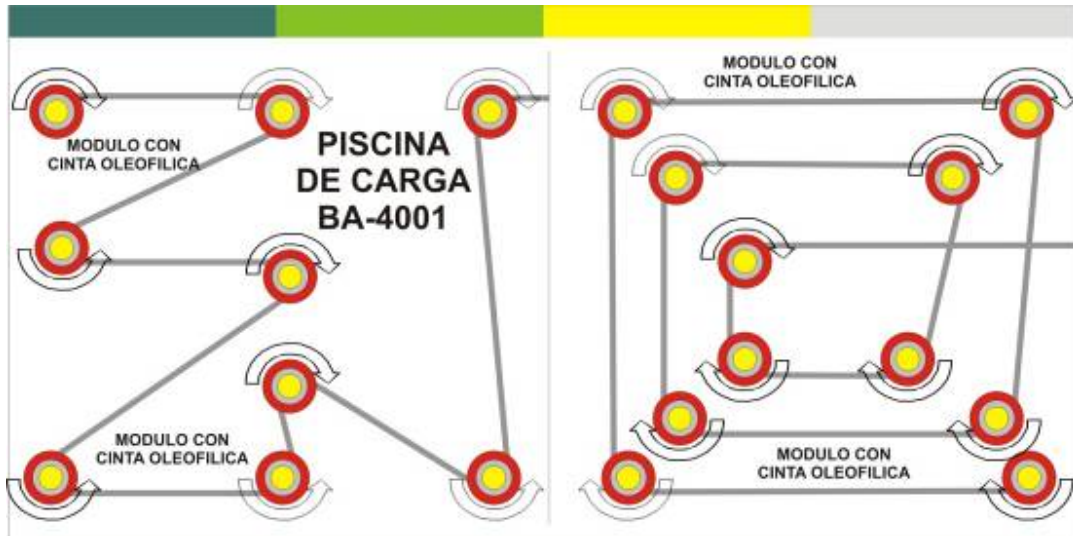


Figura 83. Configuración 3 cinta oleofílica

Podemos argumentar que se pueden presentar muchas configuraciones de cómo distribuir la cinta oleofílica dentro de la piscina, siempre y cuando respetemos las zonas del área de las bombas y las zonas de los afluentes porque son zonas muy turbulentas y aquí el módulo podría verse comprometido.

#### 4.3.2 FREE – Movilización

Este concepto de diseño lo podemos argumentar desde el punto de vista de flexibilidad y libertad con que cualquier módulo pueda trasladarse y generar movimientos involuntarios producto de las corrientes de aguas que descargan a la piscina y la presión con la que influyen en las zonas intermedias de las aguas y que pueden fluir a la superficie.

Las causas de esta free – movilización son:

- Las fuerzas de los afluentes
- Las fuerzas de las aguas intermedias
- La fuerza de arrastre de la cinta
- La fuerza de movimiento del mecanismo

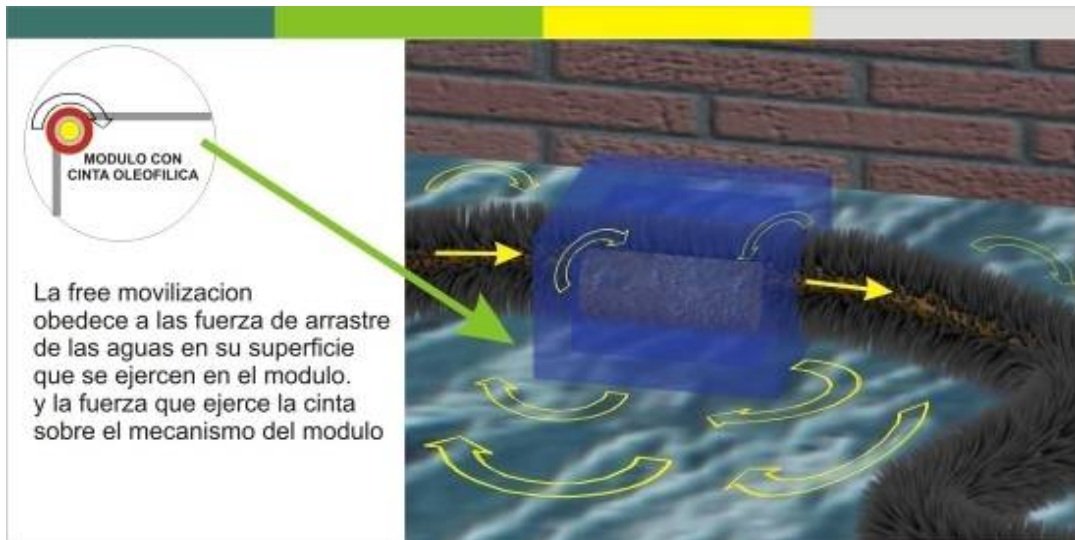


Figura 84. Fuerzas intermedias de la cinta y la superficie.

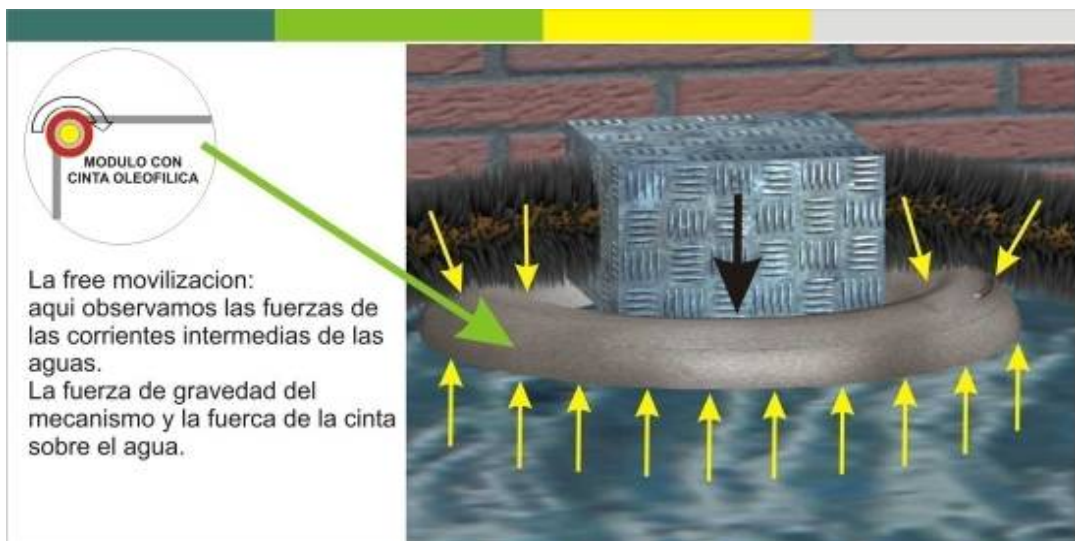


Figura 85. Fuerzas de corrientes intermedias y gravedad de mecanismo

### 4.3.3 Crecimiento de módulos

Para el crecimiento de los módulos se debe tener en cuenta el criterio de acoplamiento o de expansión dimensional, bidimensional. Independientemente del diseño del modulo desnatador el crecimiento del modulo obedece a la cantidad de módulos que se puedan instalar y su

capacidad requerida por los caudales de la piscina, sin embargo el modulo puede crecer y expandirse tanto a lo ancho como a lo largo de la piscina.

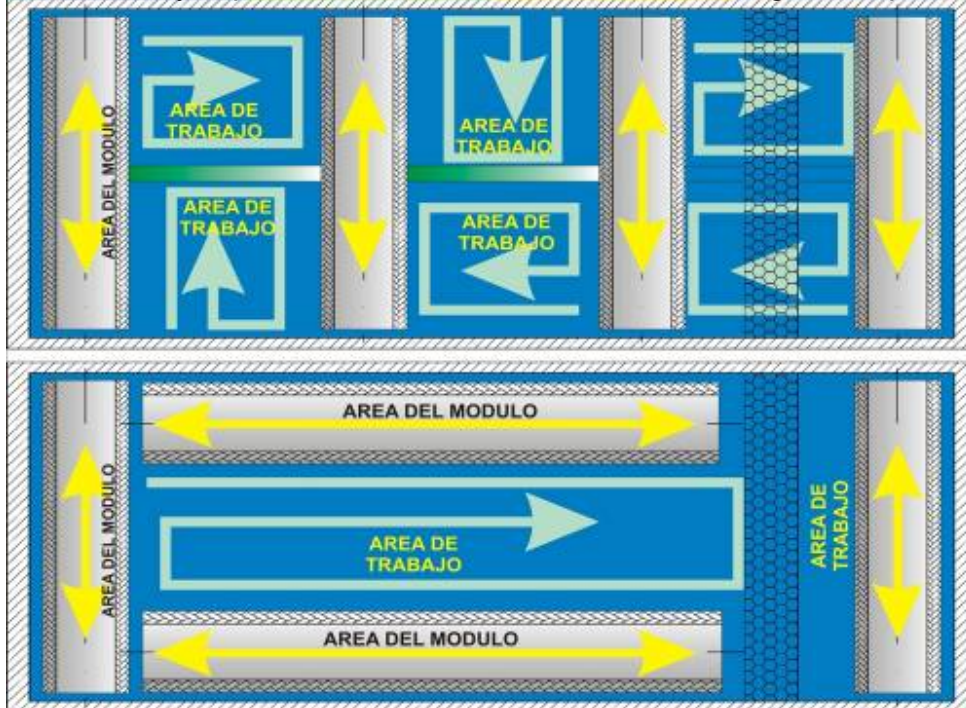


Figura 86. Formas crecimiento de módulos

#### 4.4 ALTERNATIVA MODULAR 1

Definimos la alternativa modular 1 como un modulo de separación sin la utilización de cinta oleofílica.

##### 4.4.1 Modulo 1

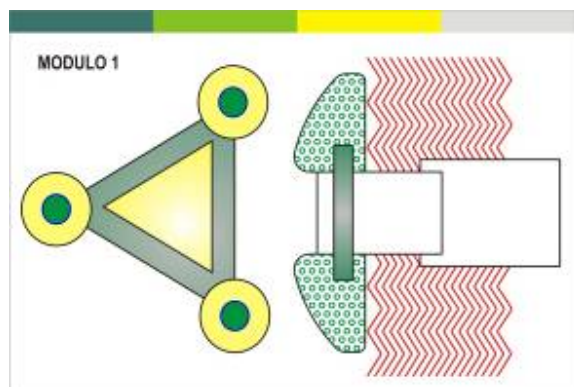


Figura 87. Modulo 1 aceptado

#### 4.4.2 Bocetos modulo 1

Estos bocetos muestran una idea clara del modulo a innovar en la piscina, en este caso es un modulo que no usa la cinta oleofílica, trabaja por medio de un sistema que succiona los sólidos que se encuentran en una determinada área de la superficie.

Esta succión se realiza por una diferencia bien calculada del peso del modulo total y las recamaras de entrada que se deben encontrar a una altura por debajo pero muy mínima de la superficie del agua y con la ayuda de la bomba centrifuga se succiona lo que se deposita en las tres recamaras internas del modulo.

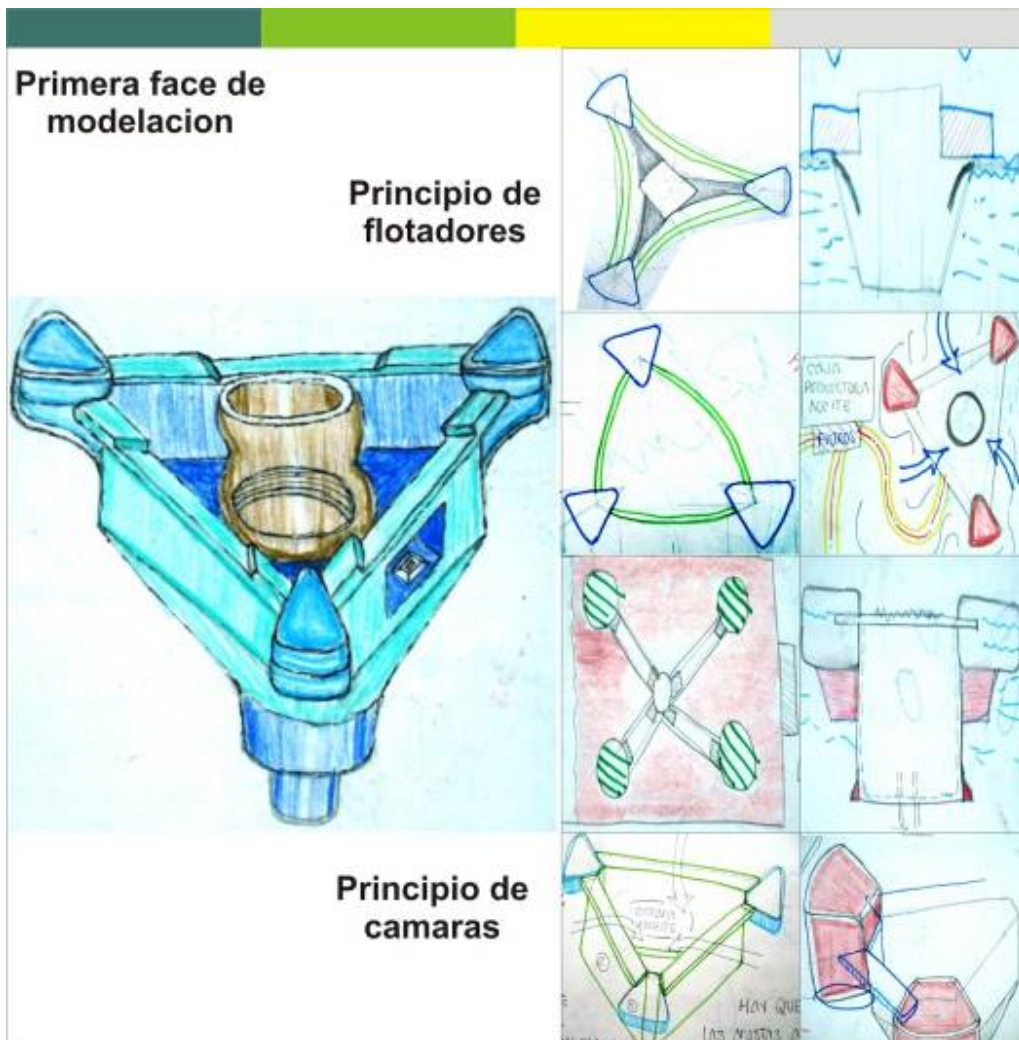


Figura 88. Bocetos modulo 1

#### 4.4.3 Evaluación modulo 1

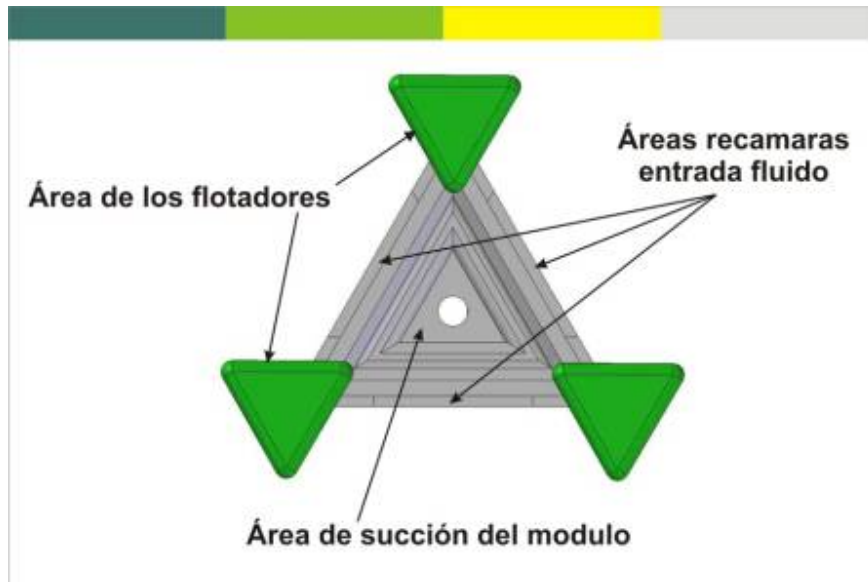


Figura 89. Modulo 1

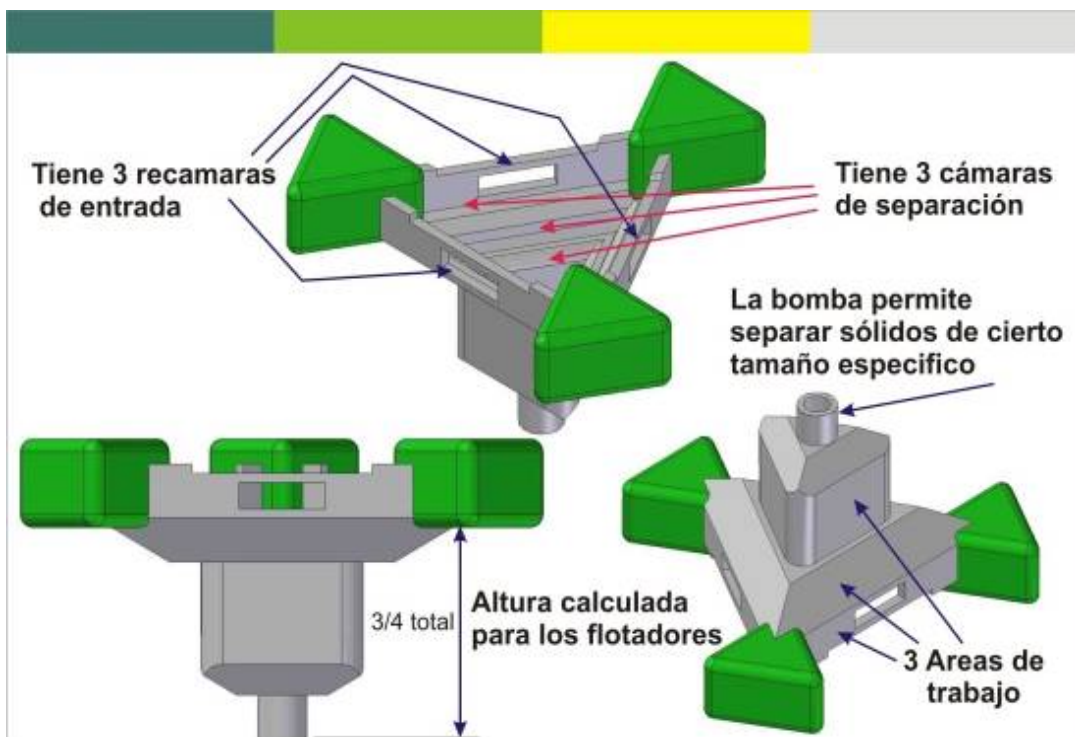


Figura 90. Características básicas del modulo

Áreas congruentes del modulo con los flotadores.  
Estas áreas son idénticas en dimensiones y distribución espacial.

Consta de tres recamaras de entrada con un tamaño específico para cierta cantidad de entrada de efluentes a la velocidad que regule la bomba.

Sistema de movimiento libre (free movilización) está dado por el diseño de los flotadores, estos flotadores son de material polimérico con una altura no superior a  $\frac{1}{4}$ " del tamaño total del modulo, no tienen ningún tipo de mecanismo eléctrico o mecánico que lo gobierne.

Tres (3) áreas de trabajo de separación de sólidos, estas áreas se irán reduciendo a medida que profundiza en el modulo,  
Las áreas pueden ser calculadas de tal forma que cada área se diferencia en la mitad de capacidad en volumen una a una determinando que la ultima área o área de la bomba es  $\frac{1}{3}$  parte de capacidad del total del caudal de entrada.

#### **4.4.4 Especificaciones generales 1**

Este modulo funciona principalmente por acción mecánica de la bomba y la separación es netamente superficial y por la diferencia de gravedad de fluidos.

Especificaciones técnicas del modulo:

Largo modulo con flotadores	1000 mm
Ancho modulo con flotadores	1100 mm
Altura modulo	850 mm
Peso modulo vacio	10.7 Kg
Peso modulo lleno	19 Kg
Capacidad	1 m <sup>3</sup> /hr
Flujo hidráulico	10–17 l/min
Presión hidráulica	50-100 bar
Poder requerido	2 – 10 kw.

El tamaño de sólidos a separar es de 150 – 200 ppm.

Esto indica que el mecanismo no se puede usar para separar aguas residuales pesadas o con hidrocarburos pesados.

#### **4.4.5 Conclusiones**

- ✓ Es un modulo desnatador muy sencillo, con una pequeña capacidad de separación.

- ✓ Es excelente para piscinas de capacidad media con unos afluentes en promedio de 50 m<sup>3</sup>/min.
- ✓ Por utilizar una bomba centrífuga como método de separación principal el consumo de agua es excesivo y el promedio de separación se reduce en un 50%.
- ✓ El promedio de separación por cada galón de aceite separado lleva un galón de agua mezclado.

#### 4.5 ALTERNATIVA MODULAR 2

Este modulo utiliza la cinta oleofílica como el método principal de separación de hidrocarburos.

Tiene dos fases principales para el éxito de su función.

Una es la separación física por medio de un sistema mecánico rotativo que exprime la cinta en diferentes niveles de altura del mismo modulo.

Otra es la evacuación del hidrocarburo separado a través de un sistema de canales interiores que se distribuyen alrededor de la piscina y mediante una bomba lleva estos hidrocarburos a la piscina o cámara auxiliar.

##### 4.5.1 Modulo 2

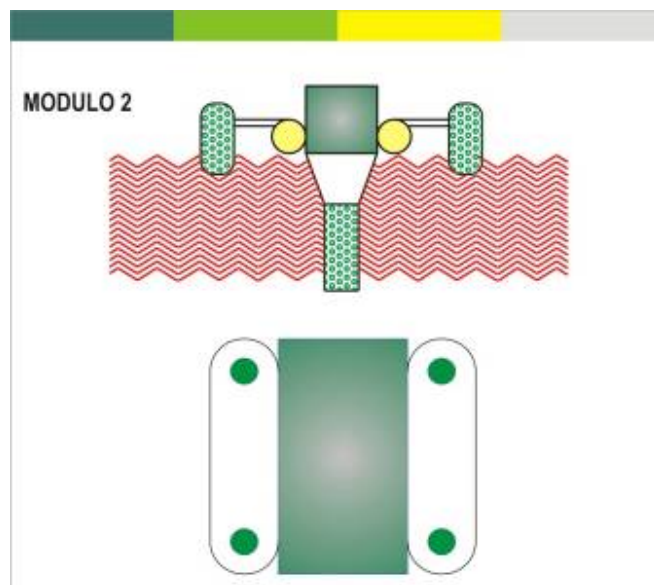


Figura 91. Modulo 2 aprobado

#### 4.5.2 Bocetos modulo 2

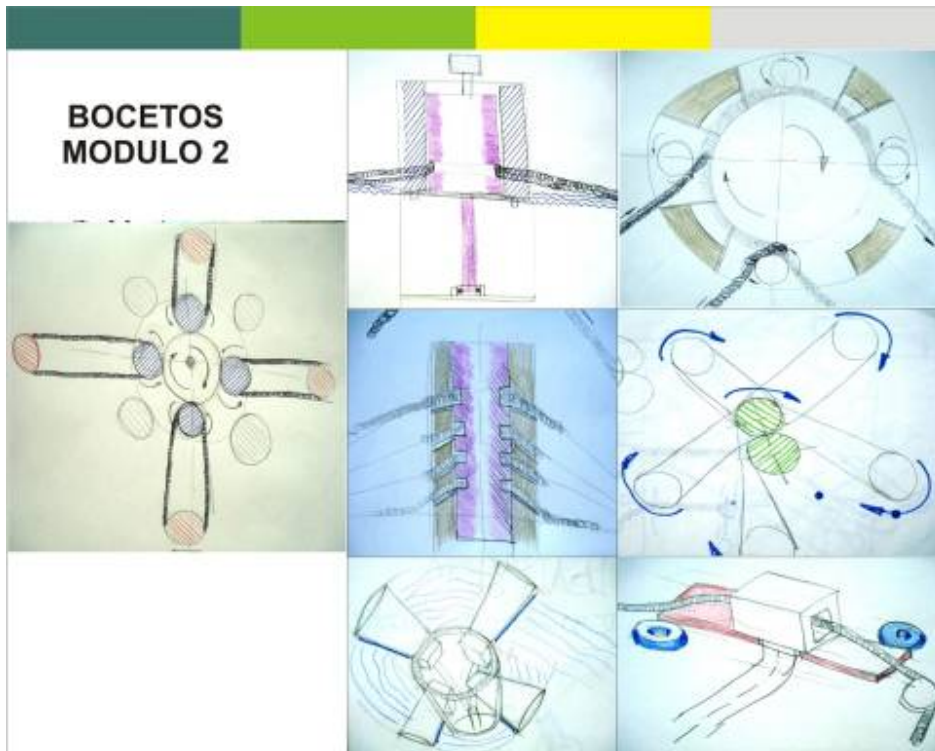


Figura 92. Bocetos modulo 2 con cinta oleofílica

En estos bocetos podemos apreciar claramente la influencia de la cinta oleofílica como parte fundamental del proceso de separación.

En este caso actúa en diferentes direcciones abarcando un área mucho mayor y en los cuatro sentidos principales.

#### 4.5.3 Evaluación modulo 2

En este modulo podemos apreciar las cuatro áreas congruentes en las que la cinta realiza su trabajo.

Consta de 4 recamaras de llegada del afluyente distribuidas cada  $90^\circ$  estas se encargan de recibir la cinta.

Tiene una sola cámara de separación de la cinta, esta cámara por su tamaño puede almacenar gran cantidad de hidrocarburo separado.

Tiene un mecanismo gobernado por un motor eléctrico, encargado de girar el eje mayor y este por acción de las fuerzas de tensión gira en sentido contrario a los ejes secundarios encargados de aprisionar la cinta.

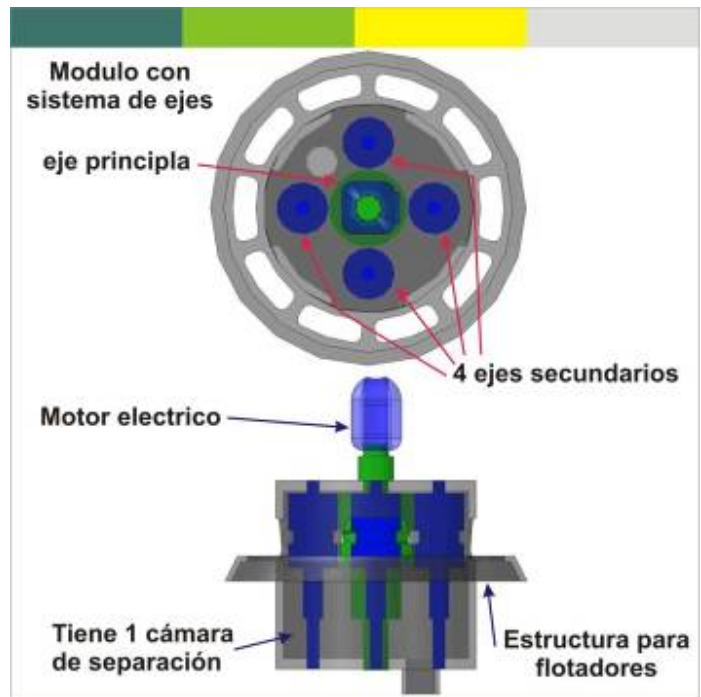


Figura 93. Modulo 2 en vista superior y frontal

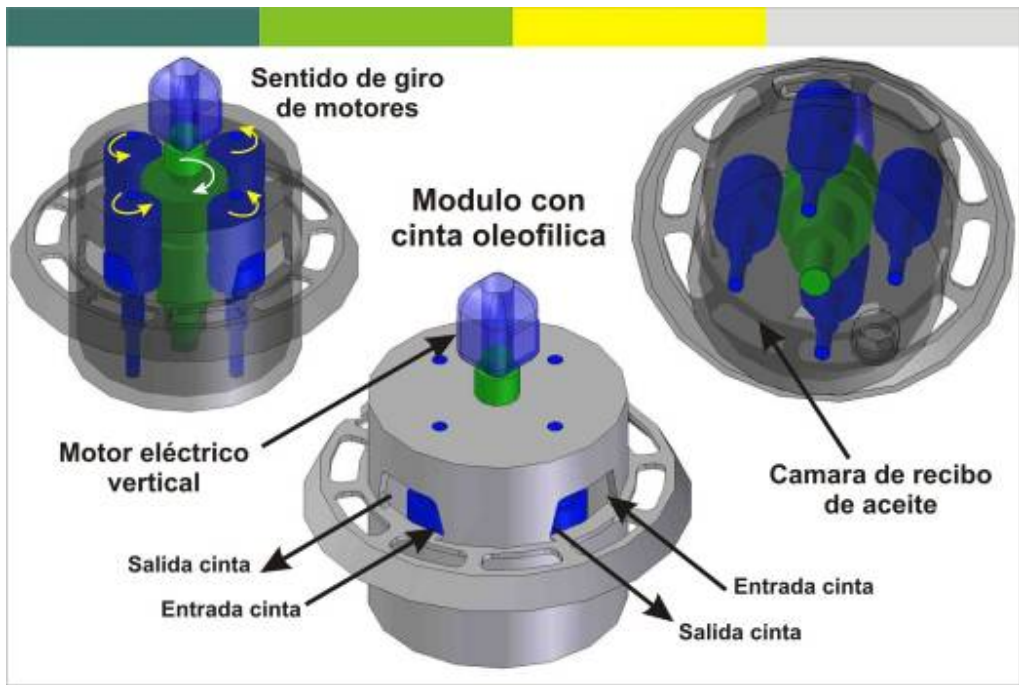


Figura 94. Características básicas del modulo.

#### 4.5.4 Especificaciones generales 2

Funciona por acción del motor reductor de sentido inverso, la separación del hidrocarburo se realiza por la acción mecánica de los ejes secundarios con el eje principal.

Especificaciones técnicas del modulo:

Largo modulo con flotadores	1000 mm
Ancho modulo con flotadores	1000 mm
Altura modulo	1800 mm
Peso modulo vacio	100 Kg
Peso modulo lleno	180 – 220 Kg
Capacidad	5 m <sup>3</sup> /hr
Flujo hidráulico	80 - 90 l/min
Presión hidráulica	100-200 bar
Poder requerido	10 – 20 kw.

El tamaño de sólidos a separar es de 250 – 350 ppm.

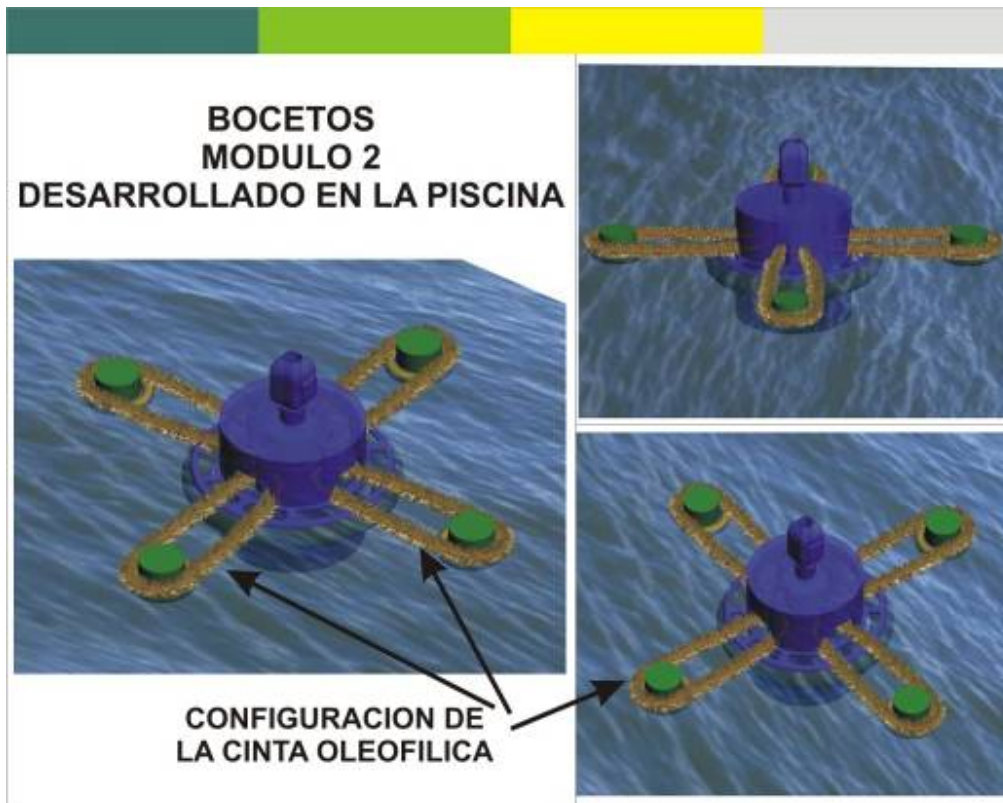


Figura 95. Modulo 2 configuración de la cinta oleofílica

#### 4.5.5 Conclusiones

- ✓ El mecanismo funciona para volúmenes altos puede recoger gran cantidad de aceite y la estructura de su modulo permite ser instalado en diferentes lugares de la piscina.
- ✓ Puede abarcar grandes áreas de la piscina con 2 o tres módulos instalados y puede llegar a esos sitios donde el sistema actual no llega.
- ✓ Su sistema mecánico es muy robusto pero poco confiable por cuanto los ejes verticales tienden a deformarse fácilmente por las fuerzas de compresión del sistema.
- ✓ La configuración del tamaño de la cinta puede regularse de acuerdo a las necesidades operativas de la piscina, esta es una gran ventaja para la producción de separación de hidrocarburos.

#### 4.6 ALTERNATIVA MODULAR 3

El modulo final utiliza también el sistema de cinta oleofílica pero con la particularidad de pertenecer al mismo mecanismo de separación.

Esto se explica en los bocetos y módulos a desarrollar.

Como característica básica se establece que la cinta oleofílica va en acompañamiento del mecanismo separador y pertenece al área congruente de trabajo.

##### 4.6.1 Modulo 3

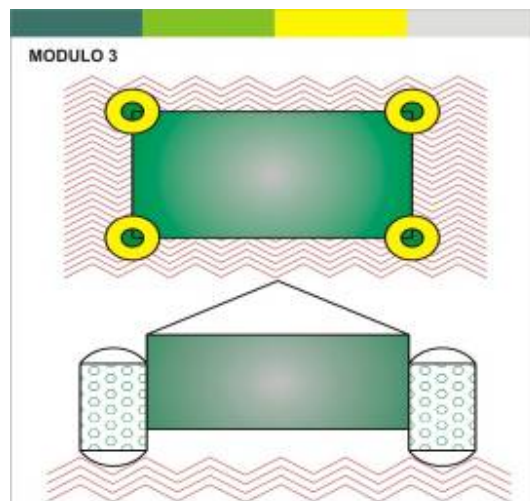


Figura 96. Modulo 3 aprobado.

#### 4.6.2 Bocetos modulo 3

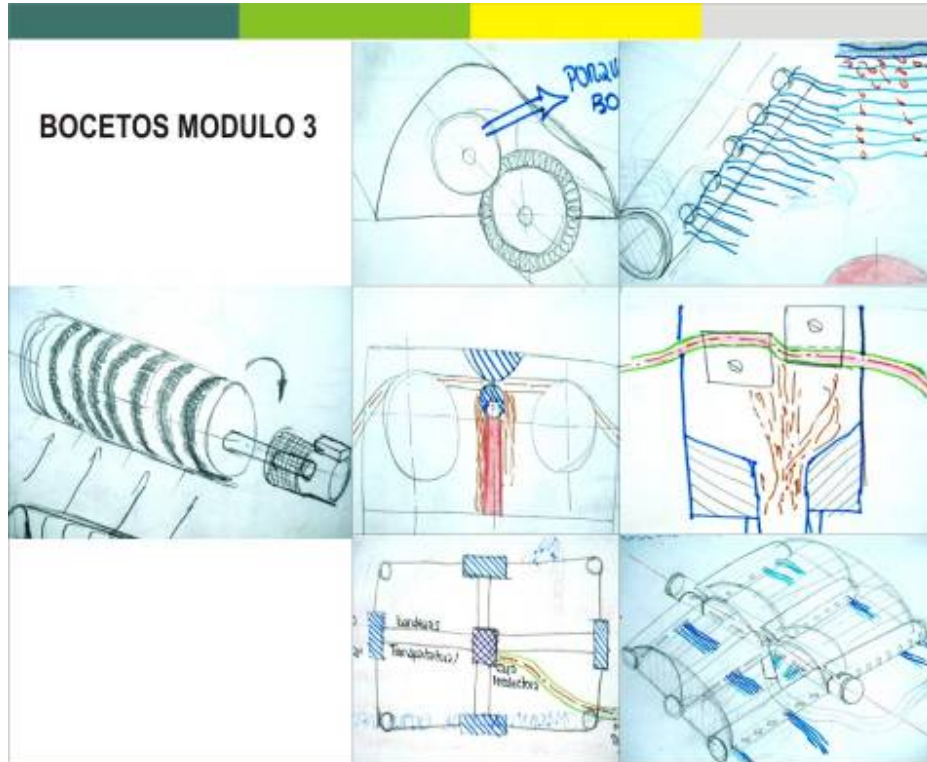


Figura 97. Bocetos modulo 3 con cinta oleofílica

#### 4.6.3 Evaluación modulo 3

Aquí empezamos a evaluar el método del tambor gravitacional o tambor separador, este es un mecanismo sencillo que se puede usar en un modulo de tamaño medio.

El mecanismo consta básicamente del arrastre de la cinta a través del tambor sujetando la misma cinta.

El tambor que es impulsado por un motor – reductor gira a una velocidad mínima, la cinta lo acompaña y a través de un sistema de raspador separa el aceite cayendo por la diferencial gravitacional a otra piscina provisional.

Estos raspadores pueden ser diseñados de acuerdo a la densidad del aceite a separar y el volumen de agua que los acompaña.

Más adelante se definirá que sistema es el apropiado para raspar el aceite.

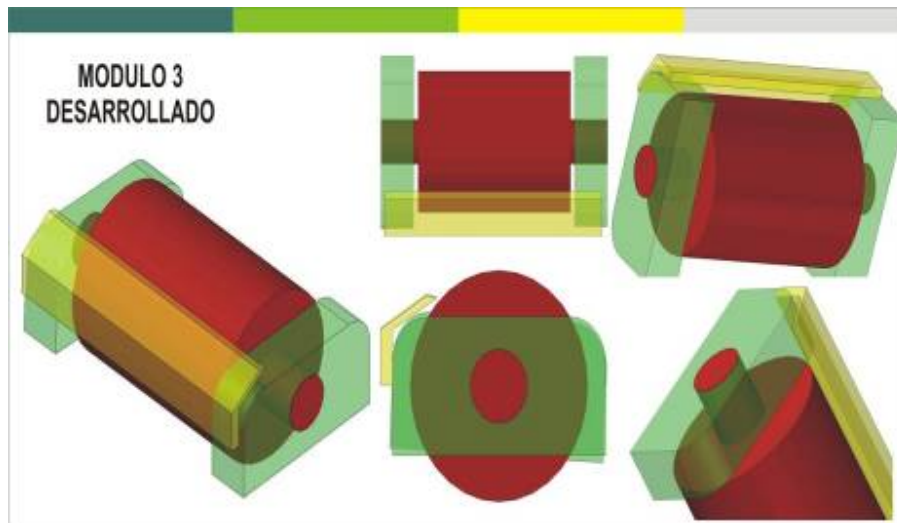


Figura 98. Modulo 3 con tambor gravitacional

#### 4.6.4 Especificaciones generales 3

Al finalizar el análisis de todos los módulos propuestos veremos cómo este sistema es el que mejor se adapta a nuestros requerimientos y necesidades de diseño.

Veremos cómo es la evolución de este modulo que puede adquirir muchas formas de solución y adaptación en la superficie de la piscina.

Algunas especificaciones técnicas del modulo:

Largo modulo con flotadores	se define de acuerdo a la necesidad
Ancho modulo con flotadores	1000 – 2000 mm
Altura modulo	800 mm
Peso modulo vacio	30 - 40 Kg
Peso modulo lleno	80 – 100 Kg
Capacidad	4 m <sup>3</sup> /hr
Flujo hidráulico	100 - 120 l/min
Presión hidráulica	100-200 bar
Poder requerido	10 – 20 kw.
El tamaño de sólidos a separar es de	250 – 350 ppm.

## 4.7 ALTERNATIVA MODULAR ESCOGIDA

En este caso partimos de un modulo más sencillo con menos piezas rotativas con la inclusión de raspadores tipo aleta y con la particularidad de que el sistema de flotación puede ser diseñado de acuerdo a la forma y las especificaciones de peso y tamaño del modulo desnatador.

No.	MODULOS PROPUESTOS									
		FUERTE	MEDIO	DEBIL	FUERTE	MEDIO	DEBIL	FUERTE	MEDIO	DEBIL
1	ASPECTO FORMAL MAQUINA	X				X		X		
2	ASPECTO FORMAL-ESTETICO		X				X		X	
3	ACCESIBILIDAD MAQUINA		X				X	X		
4	ACCESIBILIDAD MOPA						X	X		
5	ACCESIBILIDAD PISCINA		X				X		X	
6	DISEÑO MECANICO MAQUINA			x			X	X		
7	DISEÑO MECANICO PISCINA		X			X		X		
8	DISEÑO MECANICO MOPA					X		X		
9	FUNCIONALIDAD MAQUINA			X	X				X	
10	FUNCIONALIDAD MOPA				X				X	
11	FUNCIONALIDAD PISCINA	X				X		X		
12	COMPLEJIDAD		X		X					X
13	TIEMPO MTTO.	X					X		X	
14	TIEMPOS REPARACION	X					X		X	
15	TIEMPOS MUERTOS		X				X			X
16	LIMPIEZA MAQUINA	X					X	X		
17	LIMPIEZA PISCINA		X				X	X		
18	ERGONOMIA MAQUINA		X				X	X		
19	ERGONOMIA PISCINA		X			X		X		
20	PRODUCTIVIDAD			X	X			X		
	PORCENTAJE TOTALIZADO	25%	45%	10%	20%	30%	50%	60%	30%	10%

Tabla 29. Medición final de los módulos escogidos.

De la interpretación de esta tabla podemos concluir que la alternativa modular N.3 en sus aspectos más fuertes es la que mejor se puede adaptar al funcionamiento de la piscina y será este modulo el que desarrollaremos como nuestra propuesta de diseño.

### 4.7.1 Modulo de recolección superficial 1

Presentaremos la bocetación como parte de la evolución del modulo escogido, desde un concepto formal, hasta la mejor propuesta mecánica de separación de hidrocarburo superficial.

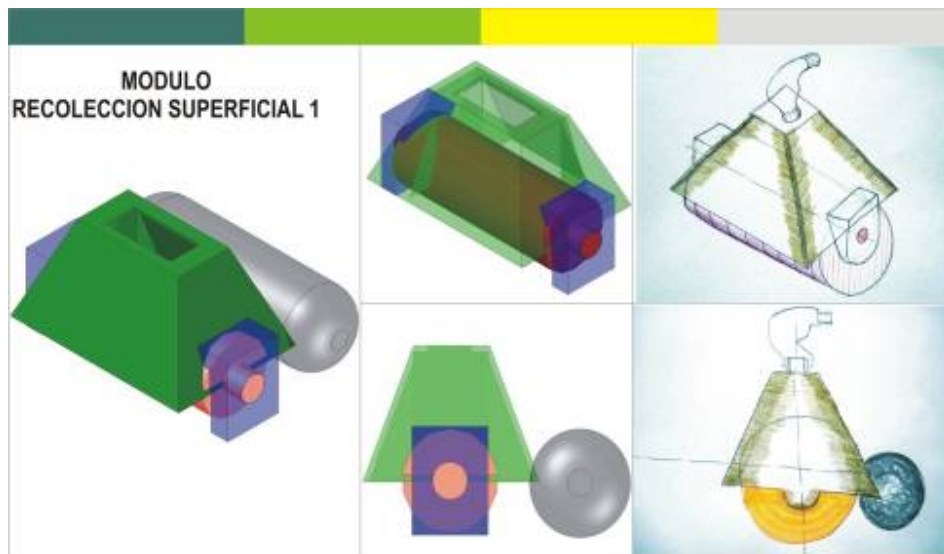


Figura 99. Modulo desnatador 1 desarrollado

Este modulo consta de una estructura piramidal, un flotador y un cilindro gravitacional.

#### 4.7.2 Modulo de recolección superficial 2

El diseño de este modelo es mucho más simple que el anterior, pero muy enriquecido formalmente ya que su estructura se conjuga con el sistema desnatador y da mucha estabilidad al conjunto.

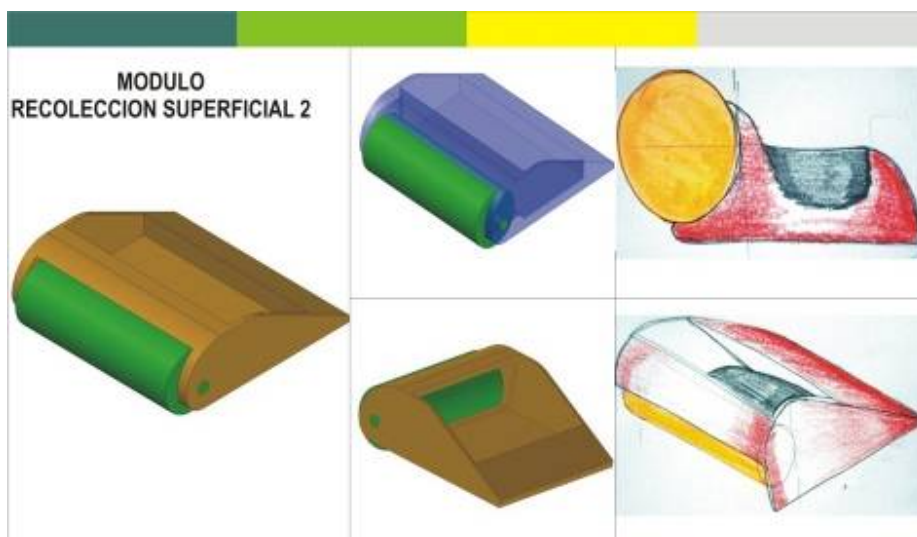


Figura 100. Modulo desnatador 2 desarrollado

### 4.7.3 Modulo de recolección superficial 3

Este modulo presenta la variante de ser de muchas mas capacidad e incluye un sistema motriz dentro del tambor gravitacional.

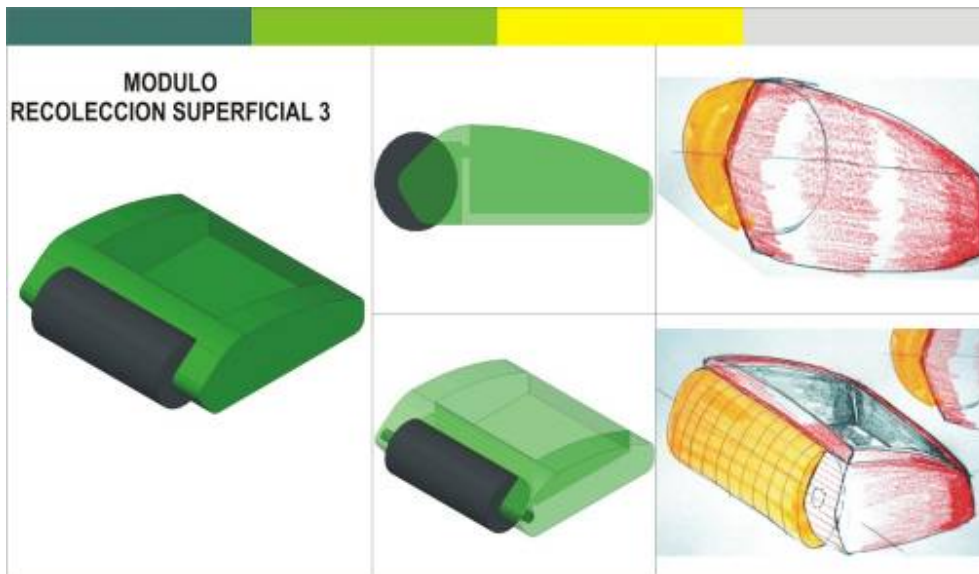


Figura 101. Modulo desnatador 3 desarrollado

### 4.7.4 Modulo de recolección superficial 4

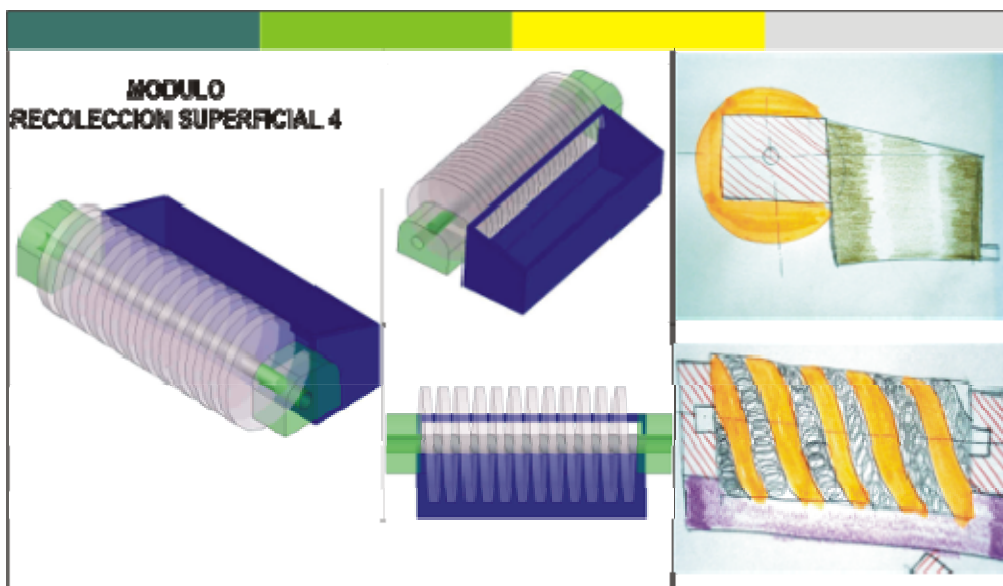


Figura 102. Modulo desnatador 4 desarrollado

En este modulo trabaja con el principio de Arquímedes a través de un tornillo sin-fin recoge el aceite y por su movimiento lo lleva a la zona superior donde puede ser separado.

Por su principio no necesita flotadores, lo gobierna un sistema motriz, puede trabajar en condiciones extremas y separa grandes volúmenes de aceite.

#### 4.7.5 Modulo de recolección superficial 5

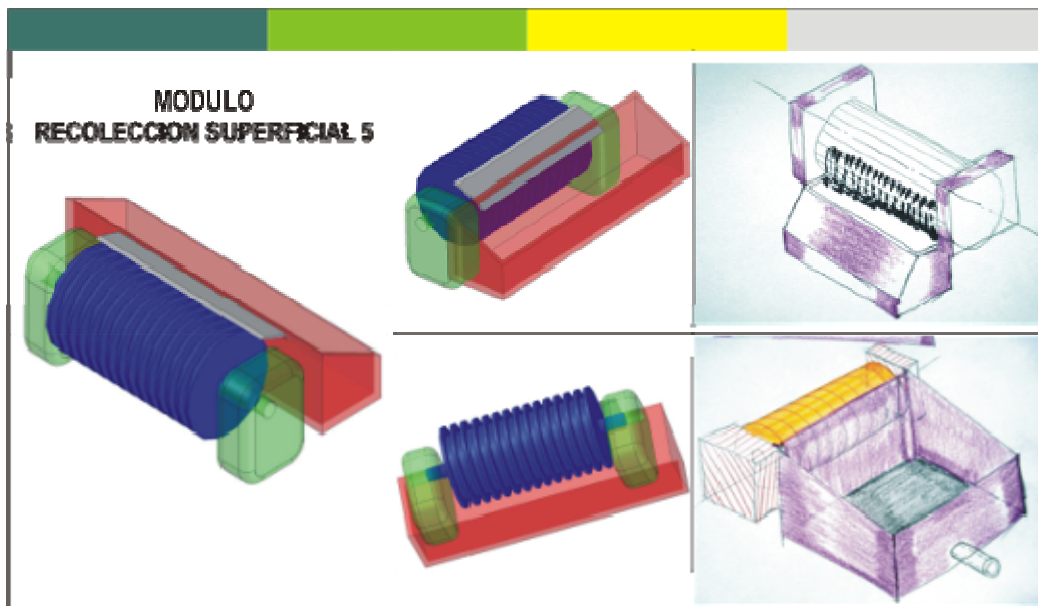


Figura 103. Modulo desnatador 5 desarrollado

#### 4.8 ALTERNATIVAS FINALES

Antes de realizar el análisis del despliegue de la función de calidad<sup>13</sup> debemos mencionar como los 5 módulos desnatadores propuestos cumplen con los parámetros exigidos en el ítem 3.5.

Para eso definimos una pequeña matriz de requerimientos y en ella evaluaremos los 5 módulos finales

Con esto podemos evaluar que la propuesta modulo 5 es la que mejor se acondiciona a los parámetros y requerimientos de diseño del modulo final.

<sup>13</sup> ALCAIDE MARZAL, Jorge. DISEÑO DE PRODUCTO. Métodos y técnicas. Universidad Politécnica de Valencia. Alfa omega 2006.67 p.

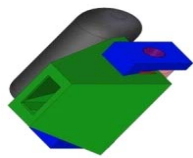
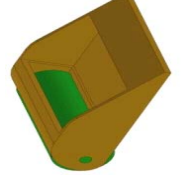
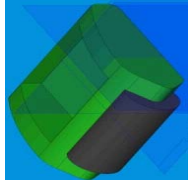
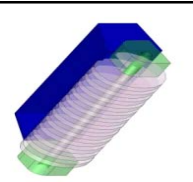
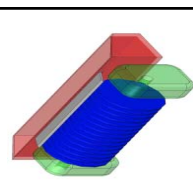
PROPUESTAS DESTINATORES					
	MODULO1	MODULO2	MODULO3	MODULO4	MODULO5
CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS	X	✓	✓	X	✓
Requerimientos de uso	✓	X	X	X	✓
Requerimientos estructurales	✓	✓	✓	✓	✓
Requerimientos de función	X	X	✓	X	✓
Requerimientos técnicos	X	X	X	✓	✓
Requerimientos formales	✓	✓	✓	✓	✓
Requerimientos ambientales	X	X	X	X	✓
Requerimientos de mantenimiento según la GCB	✓	X	X	X	✓
Requerimientos en costos de producción	X	X	✓	X	✓
Requerimientos de ECODISEÑO	X	X	✓	X	✓

Tabla 30. Medición de alternativas según sus requerimientos

## 4.9 QFD

Este método desarrollado en 1972 por Yoji Akao, en Japón, pretende en unas cuantas palabras:

“aportar una sistemática que permita captar las demandas reales del mercado, plasmarlas como objetivo de diseño, y conseguir que dichos objetivos permanezcan presentes a lo largo de todo el proceso de diseño”<sup>14</sup>

Estableceremos los parámetros anteriormente expuestos, junto con los requerimientos de función, estructurales, viables para la construcción del modulo, los técnicos exigidos por los operadores de la planta de Ptar y los ergonómicos y funcionales exigidos por los operadores de mantenimiento que en últimas son los clientes a usar el modulo desnatador.

Para las evaluaciones del cliente se tiene como primordial la demanda del usuario en los aspectos técnicos y formales dentro del valor objetivo, para la importancia ponderada se tendrá el cálculo total de todas las demandas una vez el diseño cumpla con absoluto puntaje la matriz de las 2 relaciones.

Podemos observar dentro de la matriz de relaciones los siguientes aspectos:

- Parámetros técnicos del modulo desnatador
- Requerimientos de diseño del modulo
- Las 5 propuestas evaluadas finales
- Las especificaciones técnicas con lo que debe cumplir el modulo desnatador
- La valoración porcentual de cada propuesta
- La valoración estratégica del modulo en el diseño
- La comparación entre parámetros dentro de la importancia ponderada
- Las tasas de mejora nos permitirá reflejar los cambios a realizar en el diseño escogido

A continuación resaltamos los valores más significativos del ejercicio realizado con los primeros módulos propuestos.

Una vez más obtuvimos un resultado interesante ya que el modulo identificado con el numero 5 nos dio una puntuación porcentual casi al 5.0 %

---

<sup>14</sup> ALCAIDE MARZAL, Jorge. DISEÑO DE PRODUCTO. Métodos y técnicas. Universidad Politécnica de Valencia. Alfa omega 2006.65 p.

lo cual nos indica que será el modulo a seguir desarrollándose en este capítulo.

	Separa aceite	Separa hidrocarburo	Sep. Sólidos suspendidos	Sist. Succión aceite	Modulo estatico	Modulo rotativo	Modulo dirigido	Sistema cinta	Ajuste separador vertical	flotadores	Platos filtrador	calentamiento con vapor	Bombas centrifugas	Importancia	evaluacion del cliente					valor objetivo	tasa de mejora	valor estrategico	Importancia compuesta	IC NORMALIZADA			
															1	2	3	4	5								
sin peligro de contaminación																											
que no sea pesado																											
de facil acceso																											
de facil armado																											
facil de operar																											
que sea monitoreado																											
controles fuera de la maquina																											
que no haga ruido																											
facil de transportar																											
no tenga complejidad mecanica																											
la cinta se facil de instalar																											
que la mopa sea corta																											
que sea de facil retiro de la piscina																											
que sea limpio																											
que el mtto. Sea rapido																											
que se vea bien																											
que no sea tan rigido																											
que dure																											
importancia ponderada																											
ip normalizada																											
desnatador 1																											
desnatador 2																											
desnatador 3																											
desnatador 4																											
desnatador 5																											
dificultad tecnica																											
especificaciones	Largo modulo con flotadore	Ancho modulo con flotadores 1000 – 2000 mm	Altura modulo 800 mm	Peso modulo vacio 30 - 40 Kg	Peso modulo lleno 80 - 100 Kg	Capacidad 4 m <sup>3</sup> /hr	Flujo hidraulico 100 - 120 l/min	Presión hidraulica 100-200 bar	Poder requerido 10 – 20 kw.	El tamaño de sólidos a separar es de 250 – 350 ppm.	longitud de la cinta de 3,00 mts	pintura de altos solidos para aguas acidas	sistema de anclaje cinta tornilleria 1/4"														

Tabla 31. Matriz de relaciones (casa de calidad)

PARAMETROS TECNICOS

DEMANDAS DEL USUARIO	PARAMETROS TECNICOS										importancia	evaluacion del cliente					valor objetivo	tasa de mejora	valor estrategico	importancia compuesta	IC NORMALIZADA				
	separa aceite	separa hidrocarburo	sep. Sólidos suspendidos	Sist. Succión aceite	Modulo elastico	Modulo rotativo	Modulo dirigido	Sistema cinta	Ajuste separador vertical	flotadores		Platos filtrador	calentamiento con vapor	Bombas centrifugas	1	2						3	4	5	
	●	△	○	●	○	○	○	○	○	○		○	○	○	1	2						3	4	5	
sin peligro de contaminación	●	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	5	4	3	2	1	5	3,5	1,1	10,0	3,0		
que no sea pesado	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	4	3	2	1	4	4,2	1,5	3,6			
de facil acceso	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	3	3	2	1	5	3	2,5	1,2	3,9			
de facil armado	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4	2	3	2	1	5	3,1	1,6	5,0			
facil de operar	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	5	2	3	4	5	5	4	1,2	2,5	1,2		
que sea monitoreado	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	5	3	5	3	3	2	1,5	2,2	1,4			
controles fuera de la maquina	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4	2	2	2	5	3	1,6	2,3	1,6			
que no haga ruido	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2	5	3	5	3	3	1,2	1,5	3,8			
facil de transportar	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	3	4	5	4	4	4	1,1	1,4	3,9			
no tenga complejidad mecanica	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	5	1	4	1	2	5	5	1,0	1,1	5,6		
la cinta se facil de instalar	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4	2	1	2	2	5	5	2,1	1,0	6,5		
que la mopa sea corta	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4	3	2	3	1	5	3	2,5	2,5	7,8		
que sea de facil retiro de la piscina	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	3	1	3	5	1	5	4	2,3	3,1	4,2		
que sea limpio	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2	1	5	5	1	4	4	2,2	2,2	7,6		
que el mtto. Sea rapido	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4	1	1	2	3	3	3	2,4	2,1	6,1		
que se vea bien	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	3	1	5	2	2	2	2	2,8	2,0	2,6		
que no sea tan rigido	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	3	1	2	1	1	5	4	3,1	1,0	6,9		
que dure	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	4	2	1	3	3	4	5	3,0	1,0	3,4		
importancia ponderada	3,6	3,9	3,4	3,9	4,2	1,6	3,8	4,7	3,8	4,9	3,5	2,0	4,5												
ip normalizada	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	1,0	4,0	5,0	4,0	4,0	3,0	2,0	4,0												
desnatador 1	3,3	3,5	3,3	1,0	1,5	1,3	1,5	2,5	1,2	2,3	1,2	1,5	2,8												
desnatador 2	3,2	4,0	3,2	1,0	2,3	1,5	1,4	3,2	2,5	2,5	0,5	2,6	3,5												
desnatador 3	3,5	3,9	2,5	1,0	3,5	3,5	1,7	3,5	3,2	3,6	0,3	3,4	4,5												
desnatador 4	4,3	4,3	2,8	1,0	4,2	3,2	2,3	4,2	3,1	3,8	0,4	3,9	4,6												
desnatador 5	5,0	5,0	3,3	1,0	5,0	3,0	3,8	4,8	2,5	4,1	0,9	3,5	4,8												
dificultad tecnica	1	2	1	1	2	3	4	5	1	2	1	1	4												
Especificaciones	Largo modulo con flotadore																								
	Ancho modulo con flotadores 1000 – 2000 mm																								
	Altura modulo 800 mm																								
	Peso modulo vacio 30 - 40 Kg																								
	Peso modulo lleno 80 – 100 Kg																								
	Capacidad 4 m3/hr																								
	Flujo hidráulico 100 - 120l/min																								
	Presión hidráulica 100-200 bar																								
	Poder requerido 10 – 20 kw.																								
	El tamaño de sólidos a separar es de 250 – 350 ppm.																								
	longitud de la cinta de 3,00 mts																								
	pintura de altos sólidos para aguas acidas																								
	sistema de anclaje cinta tornilleria 1/4"																								

Tabla 32. Matriz de relaciones de los 5 desnatadores propuestos

#### 4.10 DESARROLLO BASICO MODULAR ESC100

El modulo base se centra en dos principios:

- Mecanismo de recolección superficial
- Sistema flotador

El desarrollo del modulo se especifica de acuerdo a los materiales disponibles o con los elementos comerciales que se puedan adquirir en la ciudad y para eso tenemos que desarrollarlo en tubería de acero inoxidable o aluminio.

Consta de la estructura que conjuga el sistema motriz, la tolva almacenadora y el área de flotadores.

Su crecimiento se analizara de acuerdo al diseño de sus juntas.

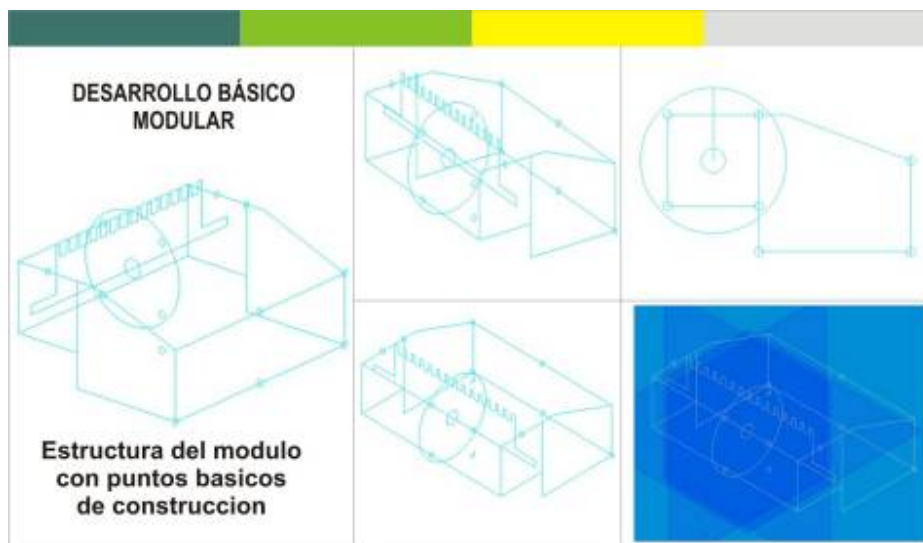


Figura 104. Modulo básico del desnatador

##### 4.10.1 Modulo ESC100 simple

Definimos el modulo con un solo sistema de fijación para el mecanismo, la tolva y los flotadores.

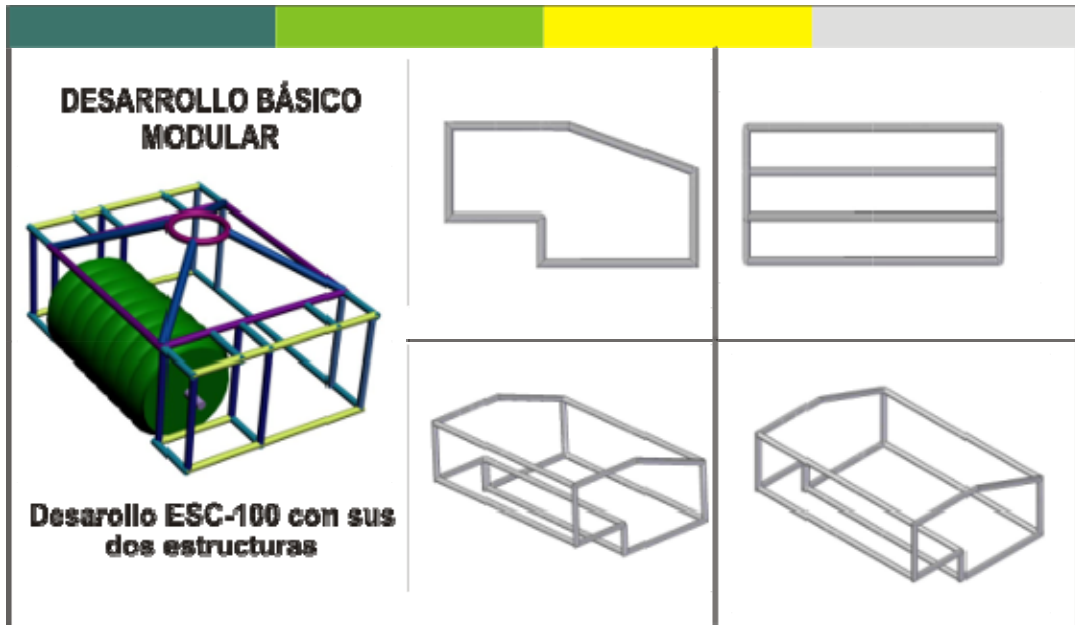


Figura 105. Modulo ESC-100 simple.

#### 4.10.2 Modulo ESC100 doble

Este modulo se especifica con dos sistemas mecánicos separadores y su estructura modular doble.

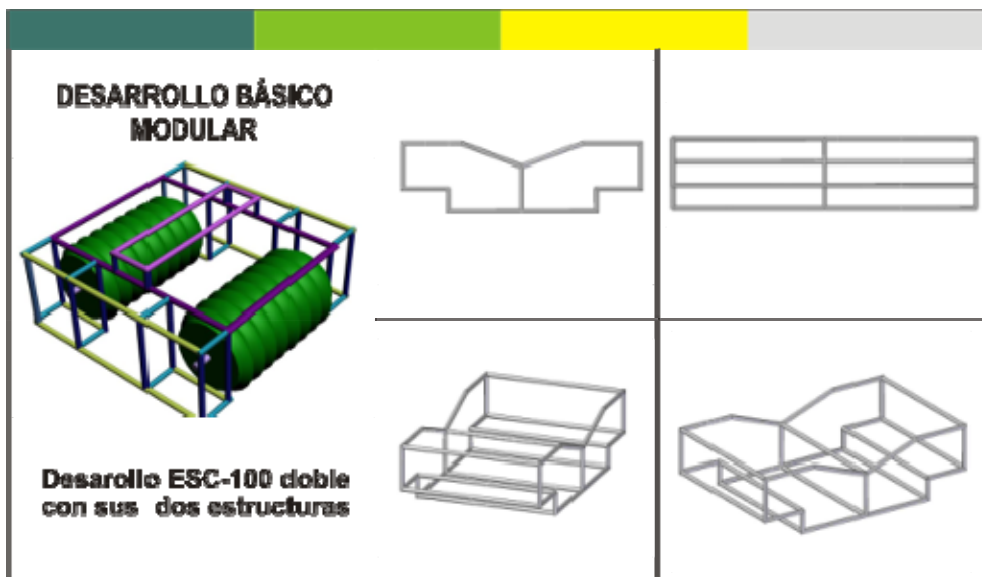


Figura 106. Modulo ESC-100 doble

#### 4.10.3 Modulo ESC100 multidireccional

Esta estructura es mucho más compleja donde el modulo flotador puede tomar múltiple direcciones, esto va ligado a algún tipo de sistema que le pueda ayudar a trasladarse puede ser por medio de impulsadores tipo ventiladores o sistema de correas con guayas para trasladarlo de un sitio a otro.

Este sistema es muy complejo de construir y requiere de una serie de relaciones mecánicas bien definidas y construidas.

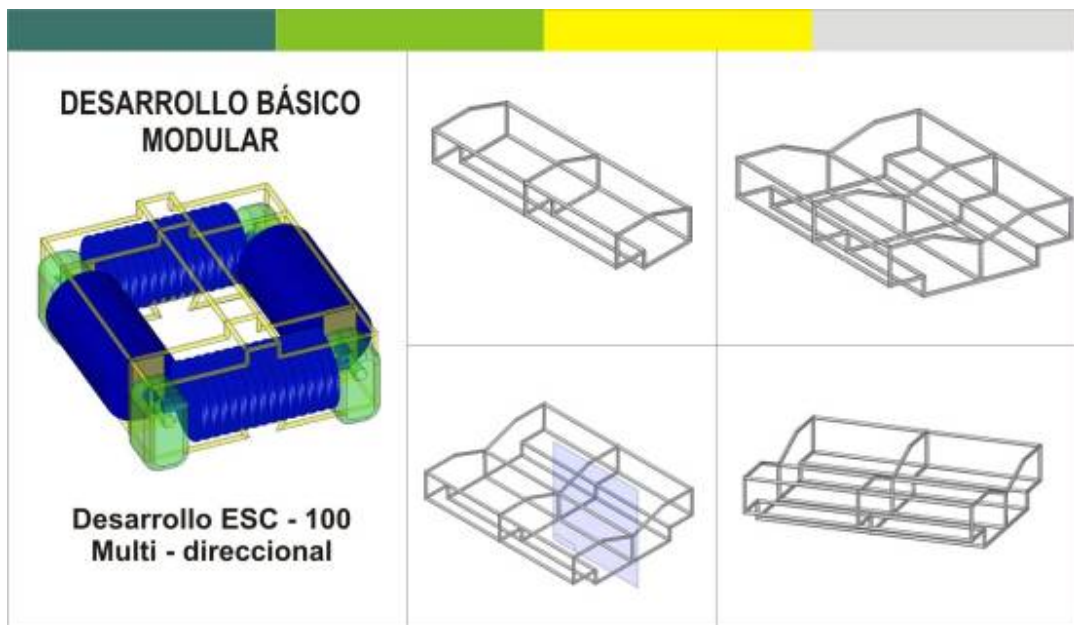


Figura 107. Modulo ESC-100 multidireccional

#### 4.11 QFD MODULO FINAL ESC100

Nuestra matriz de relaciones de calidad volvemos a usarla para identificar cual modulo será el más conveniente para pasar a su etapa de construcción.

Los mismos parámetros de diseño, de uso, de mantenimiento, de ergonomía y de función serán usados en esta matriz.

A continuación presentamos los resultados de la matriz.

especificaciones	DEMANDA DEL USUARIO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Longitud máxima de la tubería										
2. Área máxima de la tubería										
3. Área mínima de la tubería										
4. Capacidad de la tubería										
5. Peso máximo de la tubería										
6. Precio máximo de la tubería										
7. Precio mínimo de la tubería										
8. Longitud de la tubería										
9. Área de la tubería										
10. Área mínima de la tubería										
11. Capacidad de la tubería										
12. Peso máximo de la tubería										
13. Precio máximo de la tubería										
14. Precio mínimo de la tubería										
15. Longitud de la tubería										
16. Área de la tubería										
17. Área mínima de la tubería										
18. Capacidad de la tubería										
19. Peso máximo de la tubería										
20. Precio máximo de la tubería										
21. Precio mínimo de la tubería										
22. Longitud de la tubería										
23. Área de la tubería										
24. Área mínima de la tubería										
25. Capacidad de la tubería										
26. Peso máximo de la tubería										
27. Precio máximo de la tubería										
28. Precio mínimo de la tubería										
29. Longitud de la tubería										
30. Área de la tubería										
31. Área mínima de la tubería										
32. Capacidad de la tubería										
33. Peso máximo de la tubería										
34. Precio máximo de la tubería										
35. Precio mínimo de la tubería										
36. Longitud de la tubería										
37. Área de la tubería										
38. Área mínima de la tubería										
39. Capacidad de la tubería										
40. Peso máximo de la tubería										
41. Precio máximo de la tubería										
42. Precio mínimo de la tubería										
43. Longitud de la tubería										
44. Área de la tubería										
45. Área mínima de la tubería										
46. Capacidad de la tubería										
47. Peso máximo de la tubería										
48. Precio máximo de la tubería										
49. Precio mínimo de la tubería										
50. Longitud de la tubería										
51. Área de la tubería										
52. Área mínima de la tubería										
53. Capacidad de la tubería										
54. Peso máximo de la tubería										
55. Precio máximo de la tubería										
56. Precio mínimo de la tubería										
57. Longitud de la tubería										
58. Área de la tubería										
59. Área mínima de la tubería										
60. Capacidad de la tubería										
61. Peso máximo de la tubería										
62. Precio máximo de la tubería										
63. Precio mínimo de la tubería										
64. Longitud de la tubería										
65. Área de la tubería										
66. Área mínima de la tubería										
67. Capacidad de la tubería										
68. Peso máximo de la tubería										
69. Precio máximo de la tubería										
70. Precio mínimo de la tubería										
71. Longitud de la tubería										
72. Área de la tubería										
73. Área mínima de la tubería										
74. Capacidad de la tubería										
75. Peso máximo de la tubería										
76. Precio máximo de la tubería										
77. Precio mínimo de la tubería										
78. Longitud de la tubería										
79. Área de la tubería										
80. Área mínima de la tubería										
81. Capacidad de la tubería										
82. Peso máximo de la tubería										
83. Precio máximo de la tubería										
84. Precio mínimo de la tubería										
85. Longitud de la tubería										
86. Área de la tubería										
87. Área mínima de la tubería										
88. Capacidad de la tubería										
89. Peso máximo de la tubería										
90. Precio máximo de la tubería										
91. Precio mínimo de la tubería										
92. Longitud de la tubería										
93. Área de la tubería										
94. Área mínima de la tubería										
95. Capacidad de la tubería										
96. Peso máximo de la tubería										
97. Precio máximo de la tubería										
98. Precio mínimo de la tubería										
99. Longitud de la tubería										
100. Área de la tubería										
101. Área mínima de la tubería										
102. Capacidad de la tubería										
103. Peso máximo de la tubería										
104. Precio máximo de la tubería										
105. Precio mínimo de la tubería										
106. Longitud de la tubería										
107. Área de la tubería										
108. Área mínima de la tubería										
109. Capacidad de la tubería										
110. Peso máximo de la tubería										
111. Precio máximo de la tubería										
112. Precio mínimo de la tubería										
113. Longitud de la tubería										
114. Área de la tubería										
115. Área mínima de la tubería										
116. Capacidad de la tubería										
117. Peso máximo de la tubería										
118. Precio máximo de la tubería										
119. Precio mínimo de la tubería										
120. Longitud de la tubería										
121. Área de la tubería										
122. Área mínima de la tubería										
123. Capacidad de la tubería										
124. Peso máximo de la tubería										
125. Precio máximo de la tubería										
126. Precio mínimo de la tubería										
127. Longitud de la tubería										
128. Área de la tubería										
129. Área mínima de la tubería										
130. Capacidad de la tubería										
131. Peso máximo de la tubería										
132. Precio máximo de la tubería										
133. Precio mínimo de la tubería										
134. Longitud de la tubería										
135. Área de la tubería										
136. Área mínima de la tubería										
137. Capacidad de la tubería										
138. Peso máximo de la tubería										
139. Precio máximo de la tubería										
140. Precio mínimo de la tubería										
141. Longitud de la tubería										
142. Área de la tubería										
143. Área mínima de la tubería										
144. Capacidad de la tubería										
145. Peso máximo de la tubería										
146. Precio máximo de la tubería										
147. Precio mínimo de la tubería										
148. Longitud de la tubería										
149. Área de la tubería										
150. Área mínima de la tubería										
151. Capacidad de la tubería										
152. Peso máximo de la tubería										
153. Precio máximo de la tubería										
154. Precio mínimo de la tubería										
155. Longitud de la tubería										
156. Área de la tubería										
157. Área mínima de la tubería										
158. Capacidad de la tubería										
159. Peso máximo de la tubería										
160. Precio máximo de la tubería										
161. Precio mínimo de la tubería										
162. Longitud de la tubería										
163. Área de la tubería										
164. Área mínima de la tubería										
165. Capacidad de la tubería										
166. Peso máximo de la tubería										
167. Precio máximo de la tubería										
168. Precio mínimo de la tubería										
169. Longitud de la tubería										
170. Área de la tubería										

Con esto podemos concluir que el modulo ESC – 100 doble, cumple con todas las características y parámetros a satisfacción para su etapa de modelado y construcción.

## 5 INGENIERIA DE DETALLLE MODULO ESC100

En este capítulo estará en todo su potencial el desarrollo del prototipo final del modulo desnatador.

En primera medida desarrollaremos la estructura final del modulo su forma de crecimiento dentro de la piscina y los detalles con medidas serán entregas con el anexo de los planos.

### 5.1 DETALLE ESTRUCTURA MODULAR

El modulo será construido en tubería de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$ " calibre cedula 40

El detalle de la estructura se rige por el tamaño de la tolva almacenadora y la forma como ira soportada a los flotadores.

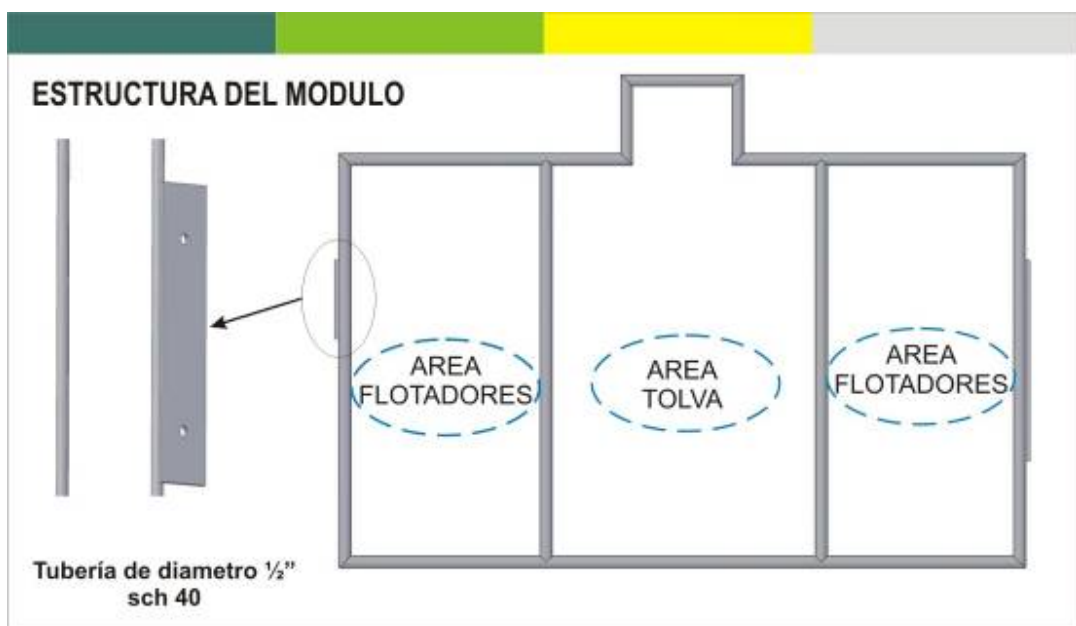


Figura 108. Detalle estructura del modulo

La estructura modular ira soldada con electrodo revestido así:  
Para el pase de raíz y presentación soldadura revestida de acero inoxidable  
E-309 diámetro 3/32”

8 puntos a soldar en la estructura del modulo.

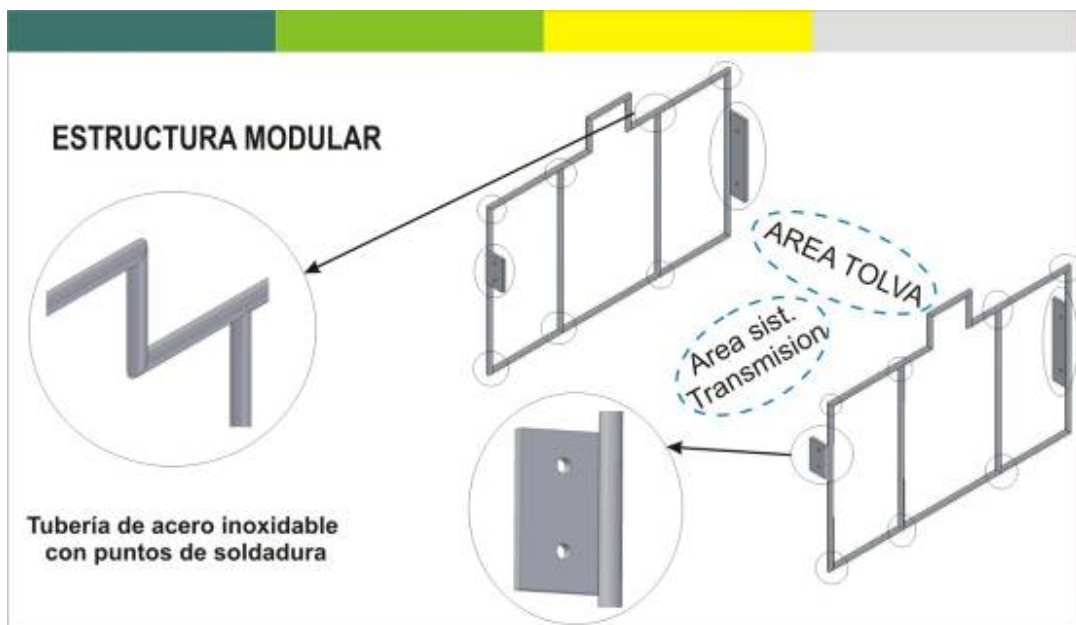


Figura 109. Detalle soldadura de la estructura.

## 5.2 DETALLE FLOTADORES

Los flotadores son el alma de la movilidad del modulo.

Características básicas:

- Pueden ser fabricados de:
- Material de polietileno de alta o poliuretano de alta densidad
- Lamina de aluminio calibre 14 y uniones en soldadura de aluminio
- Concavidad interna para soporte de sistema motriz
- Concavidad interna para el soporte de la estructura

- Anclaje en tornillería de ¼" nc.
- Con probabilidad de sistema retráctil para los golpes en el agua.

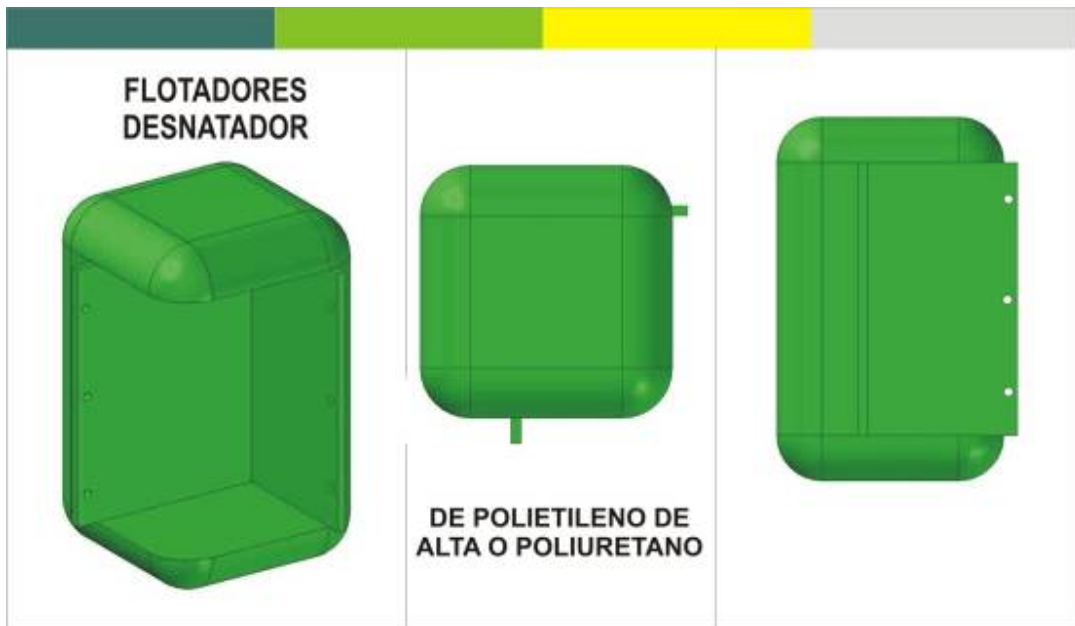


Figura 110. Flotadores de polietileno o poliuretano de alta.

- Detalle Flotadores en aluminio o acero inoxidable



Figura 111. Flotadores en lámina de aluminio o acero inoxidable.

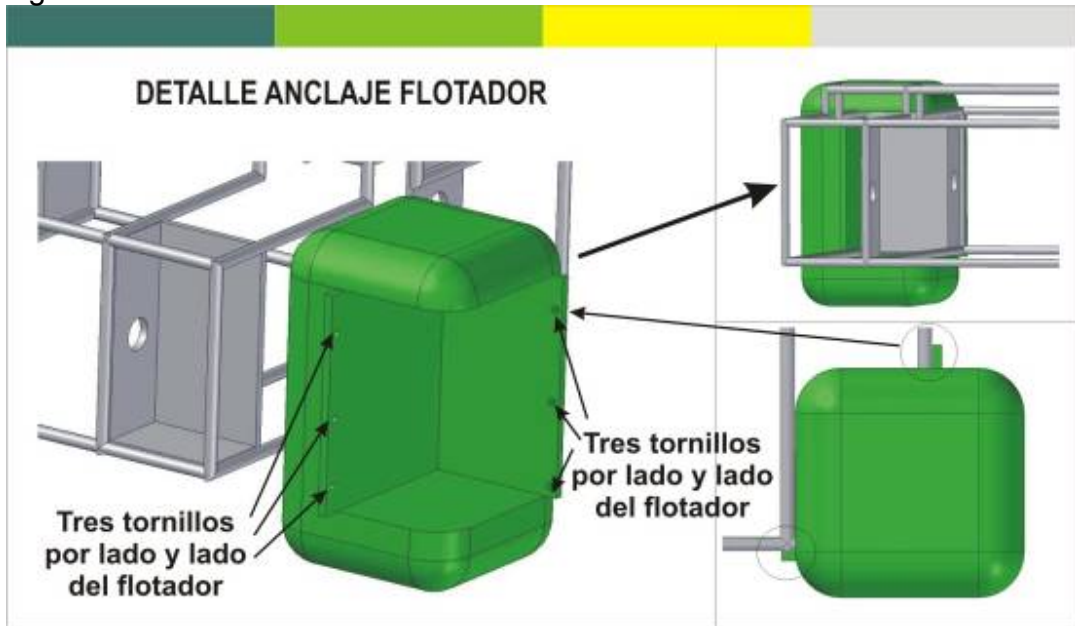


Figura 112. Detalle de la tornillería de los flotadores

La tornillería de anclaje será tornillo de 1/4" x 1-1/2" en material acero inoxidable, rosca Nc



Figura 113. Detalle de la tornillería flotadores en aluminio

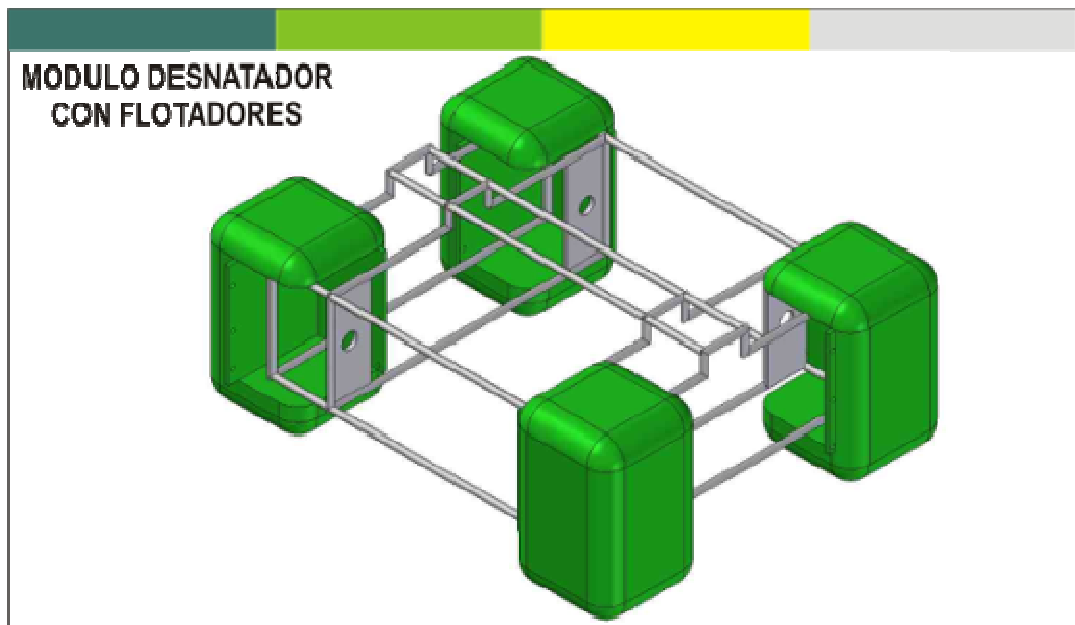


Figura 114. Detalle de los cuatro flotadores de polietileno de alta densidad

### 5.3 DETALLE CINTA OLEOFILICA

La cinta oleofílica se fabrica en la ciudad y sus medidas varían de acuerdo al tamaño del desnatador a montarse.

Para nuestro diseño mencionamos las siguientes:

- Longitud de la cinta a utilizar 7 mts
- Se distribuirán en 2 tambores cada una con 3.5 mts de longitud
- Tamaño de la cinta 20 cms ancho x 2 cms de profundidad
- La cinta tiene una correa de amarre o sujeción, cocida con doble refuerzo e instalada por todo el centro de la cinta.

Otras especificaciones encontradas

<b>Oil Only Industrial Strength Absorbent Pads &amp; Rolls</b>				
<b>Part No.</b>	<b>Description</b>	<b>Size</b>	<b>Absorbs</b>	<b>Pack Qty.</b>
			<b>each/ltr</b>	
21-1029	Oil absorbent bonded pad	51cm x 41cm	1.36	100
21-1040	Oil absorbent roll	96cm x 44m	273	1
21-1041	Oil absorbent roll	48cm x 44m	144	2
<b>Oil Only Bonded Absorbent Pads &amp; Rolls</b>				
21-1003	Oil absorbent perforated pad	51cm x 41cm	1.14	100
21-1013	Oil absorbent Perforated roll	76cm x 46m	189	1
21-1006	Oil absorbent Perforated roll	38cm x 46m	94	1
21-1048	Oil absorbent perforated roll 'n' box	38cm x 22m	45	1

Tabla 34. Especificaciones americanas de la cinta oleofílica

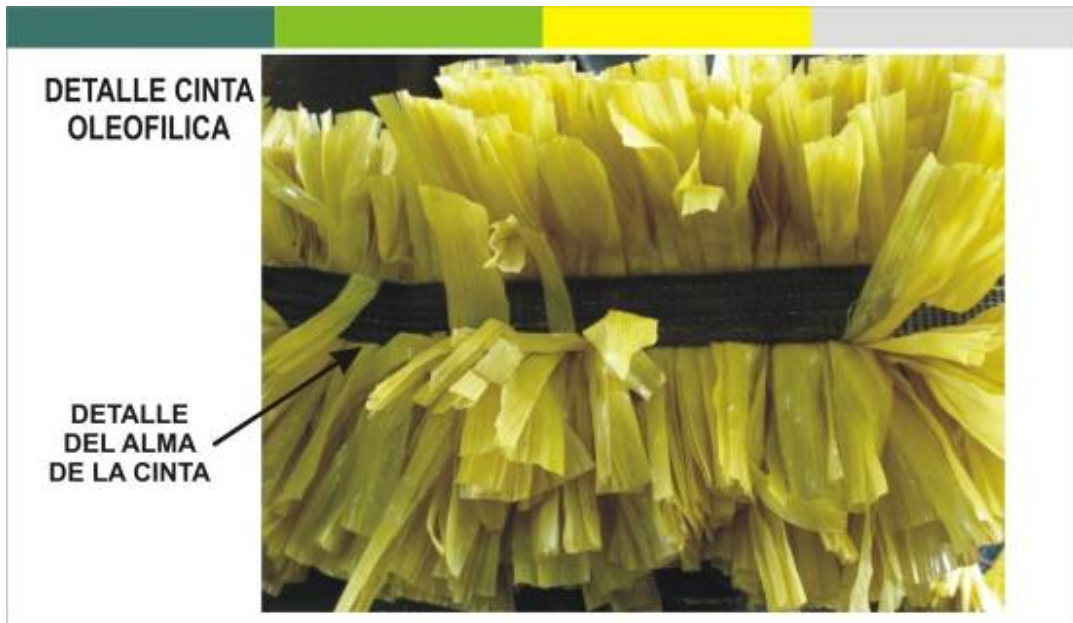


Figura 115. Detalle de la cinta oleofílica

### 5.3.1 Modo de sujeción de la cinta

La cinta puede sujetarse de dos formas posible.

- mediante unos ganchos anclados al tambor de una medida pequeña para que no intervenga en los esfuerzos realizados por los raspadores y no lleguen a doblarse o que se partan.

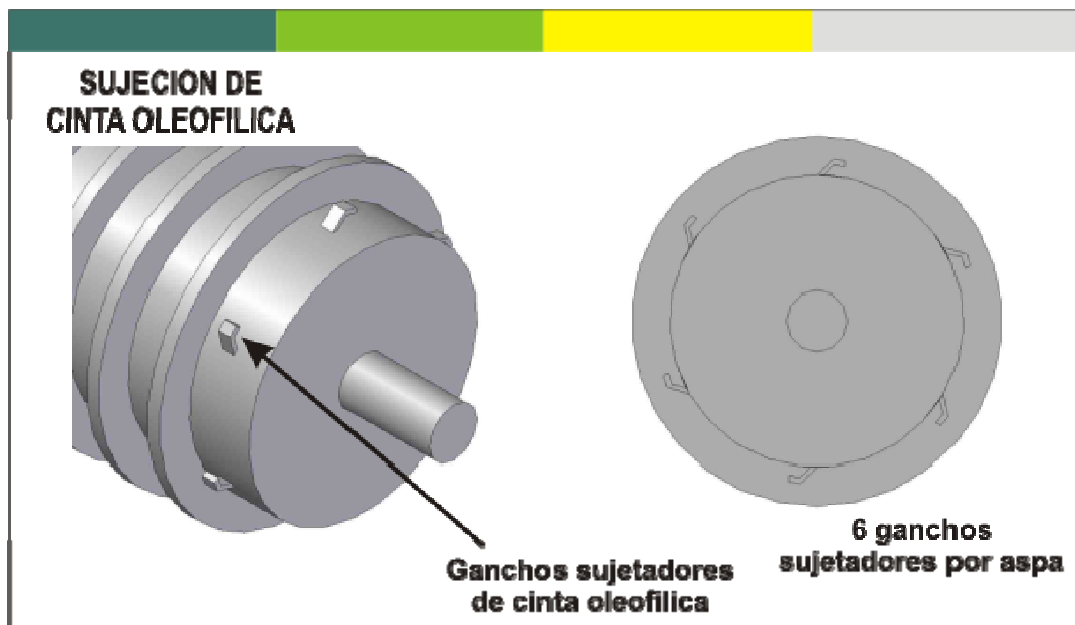


Figura 116. Ganchos sujetadores

- Puede sujetarse mediante un pasador en u doblado de la misma lámina anclada al tambor y posteriormente aprisionada o remachada.
- La distancia es de aproximadamente  $\frac{1}{2}$ " de distancia del tambor y son ganchos de aluminio de  $\frac{1}{4}$ " de espesor.
- La lamina guía de la tolva debe ser independiente y fácil de retirar ya que esta lamina sufrirá un deterioro constante por el continuo rose con los raspadores.

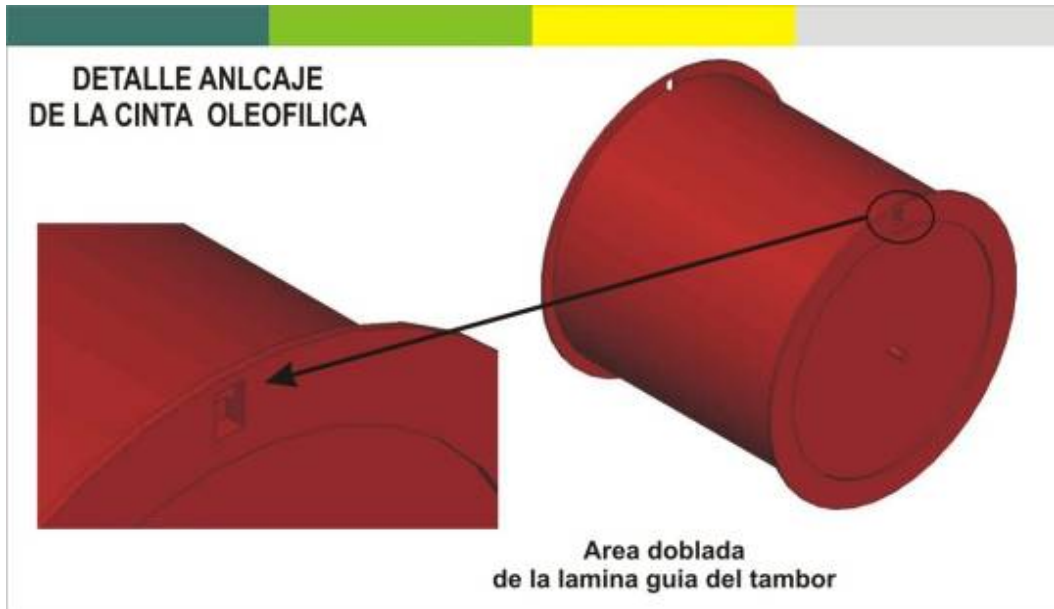


Figura 117. Otro detalle de ganchos sujetadores

#### 5.4 DETALLES DEL TAMBOR GRAVITACIONAL

El tambor gravitacional consta de varias partes.  
En el anexo de los planos se indicara más en detalle las medidas, tolerancias de ajustes, acabados superficiales y roscas de sujeción.

Podemos decir que es un tambor en polietileno o de malla como mas adelante lo explicaremos tiene un eje interior que lo sujeta todo el tiempo, y la característica de él es que la cinta estará enganchada a él para poder girar en el mismo sentido y no permitir devoluciones ni contra giros.

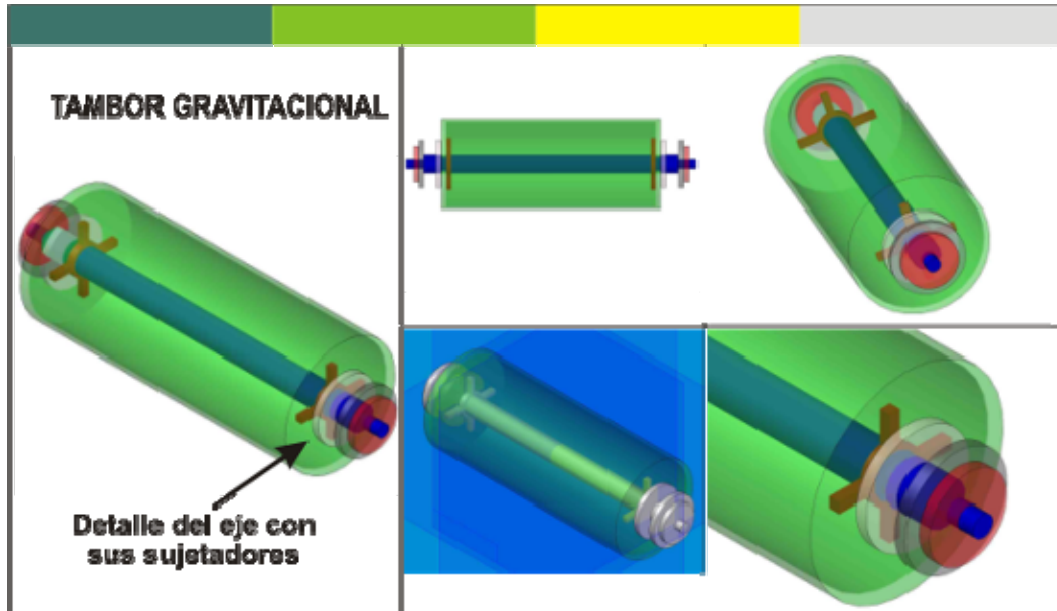


Figura 118. Detalle del tambor con su eje.

#### 5.4.1 Tambor de malla y polietileno

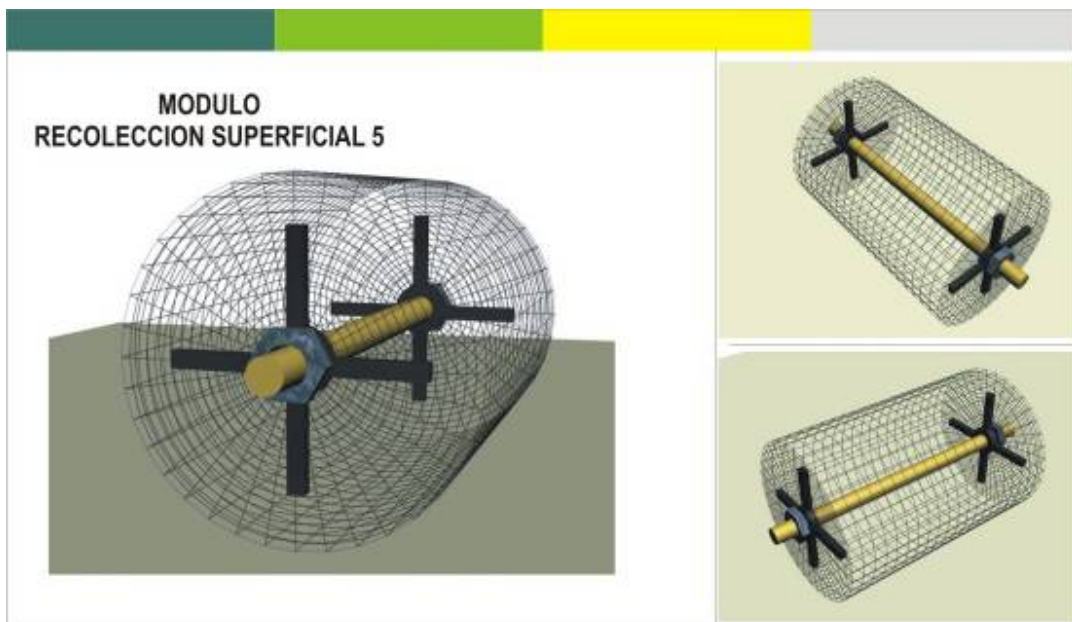


Figura 119. Detalle del tambor tipo malla.

Este tambor tiene la particularidad de ser de malla de acero inoxidable calibre 1/8", lo suficientemente resistente para soportar las cargas axiales y de compresión que viene de los raspadores, de la tensión del agua y de la fuerza ejercida en la cinta.



Figura 120. Tambor de polietileno.

## 5.5 SISTEMA MOTO - REDUCTOR

Los Reductores y los Motor reductores son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que se necesiten reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura.

Las ventajas de usar Reductores y/o Motor reductores son:

- Alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor
- Alta regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos
- Poco espacio para el mecanismo
- Poco tiempo de instalación y mantenimiento
- Elemento seguro en todos los aspectos, muy protegido

El cálculo del motor reductor se basa en cuatro partes:

- Potencia, en HP, de entrada y de salida.

- Velocidad, en RPM, de entrada y de salida.
- PAR (o torque), a la salida del mismo, en KG/m.
- Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

De acuerdo a los requerimientos y a las velocidades del fluido que llega la piscina podemos concluir lo siguiente:

Requerimientos del motor:

Motor de 1000 RPM y 1/4 HP de potencia

Reductor de 1/20 de potencia con carga fija y par torque de 25 KG/m., si Instalación en líneas trifásico.

De acuerdo a requerimientos de ECOPETROL SA. Debe poseer sistema de seguridad de acuerdo a norma ISSE -1002 A.

## **5.6 SISTEMA HIDRAULICO**

Este sistema es mucho más confiable y práctico para nuestro diseño. Trabaja con aceite hidráulico y diesel para el motor.

Consta de dos partes:

- Unidad de potencia hidráulica
- Sistema transmisión de movimiento

### **5.6.1 Unidad de potencia hidráulica**

Contiene las siguientes partes:

- Unidad diesel
- 2 bombas hidráulicas
- Tanque almacenador de aceite de 14 galones
- Tablero control del circuito
- Válvulas controladoras de flujo
- 3 mangueras hidráulicas de alta presión

Los tipos de aceite que usan estas unidades pueden ser:

<b>Pennzoil</b>	AW46 Acete hidraulico	<b>Mobil</b>	D.T.E. 20 series
<b>Texaco</b>	Rando HDAZ	<b>Chevron</b>	EP aceite hidraulico
<b>Shell</b>	Tellas aceite hisdraulico	<b>Exxon</b>	J-58 Aceite hidraulico

Tabla 35. Tipos de aceite hidráulico usados por la unidad de potencia

La presión de trabajo puede alcanzar las 3000 libras de presión (PSI)

La unidad puede almacenar 24 galones de aceite hidráulico usados para presionar el sistema.

### 5.6.2 Sistema transmisión hidráulica

Consta de dos partes:

- Bomba de aceite transmisora de potencia
- Caja reductora de movimiento



Figura 121. Sistema de transmisión hidráulica

- Relación de movimiento de la transmisión hidráulica:  
Bomba: 1000 rpm. A una presión constante de 3000 psi.

Caja reductora: 1/20 = 50 rpm. A una presión constante de 3000 psi.  
Torque transmitido de la bomba: 1250 N – m equivalente a 127.465 Kgf – m  
Torque de la caja reductora: 1110 N – m equivalente a 113.188 Kgf – m.

## 5.7 SEPARACION MECANICA DE HIDROCARBURO

Veamos el principio de actuación de las barras actuadoras y como es de importancia las distancias de separación del tambor gravitacional

### 5.7.1 Separación por barras actuadoras

De acuerdo con las dimensiones del tambor gravitacional, del tamaño de la película de aceite a separar y el espesor de la cinta oleofílica instalada podemos definir que la distancia del actuador debe estar entre  
Distancia del actuador:

- Distancia máxima 10 – 20 mm del punto tangencial del tambor
- Distancia mínima 5 – 15 mm del punto tangencial del tambor.

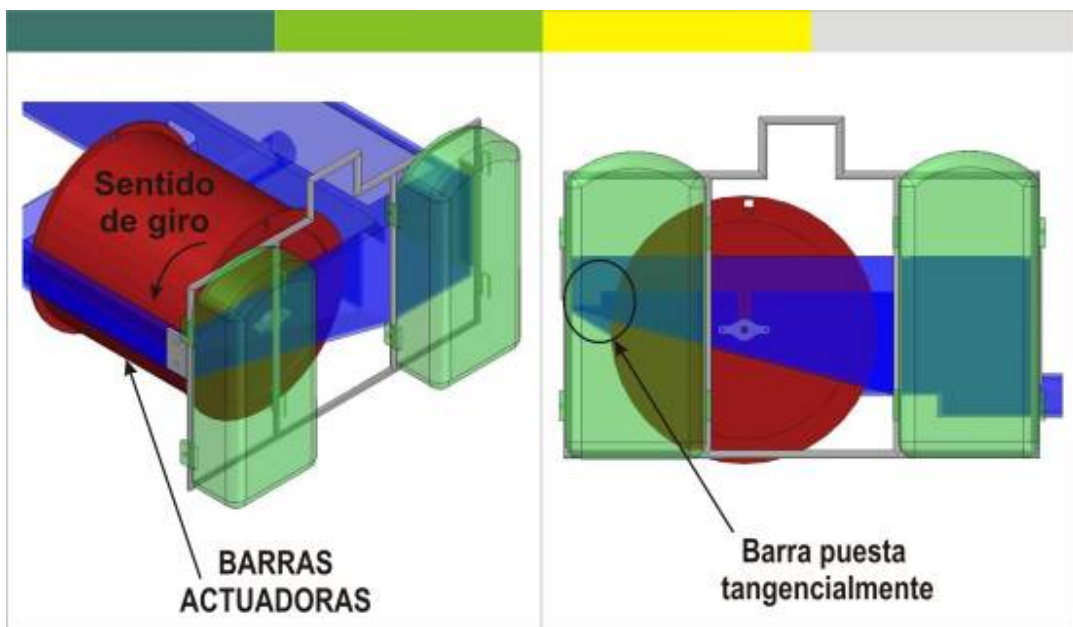


Figura 122 Actuación de las barras

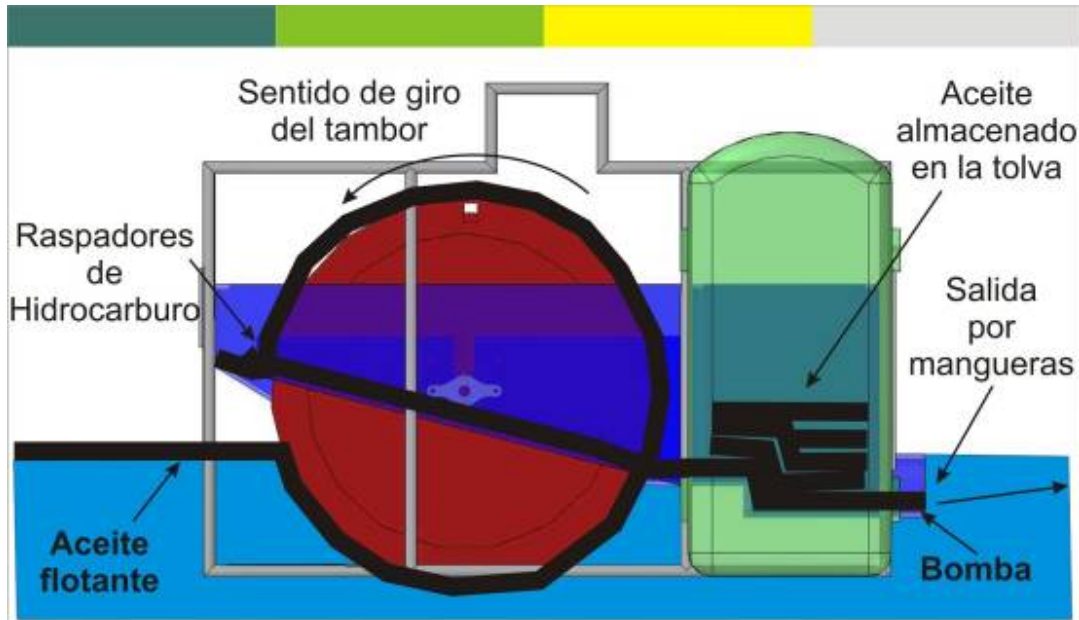


Figura 123. Forma de separación del aceite en el modulo

## 5.8 TOLVA ALMACENADORA

### 5.8.1 Tolva simétrica

La condición de simetría es clave para la instalación de la tolva, ya que ella se acopla y distribuye su peso uniformemente en todas las cargas de la estructura, también ayuda a la estabilidad del modulo por cuanto la salida del aceite se realizara por la parte central del modulo disminuyendo las turbulencias de fluidos.

La dimensión de la tolva está ligada a la eficiencia de la separación de hidrocarburo del tambor.

A su vez esta tolva estará instalada en medio de los dos tambores gravitacionales y el cálculo de su volumen esta dado así:

- Tiempo de permanencia del aceite: 1 – 10 minutos
- Volumen aceite separado por minuto: 0.5 – 2 gpm
- Volumen agua separado por minuto: 0.1 – 0.4 gpm

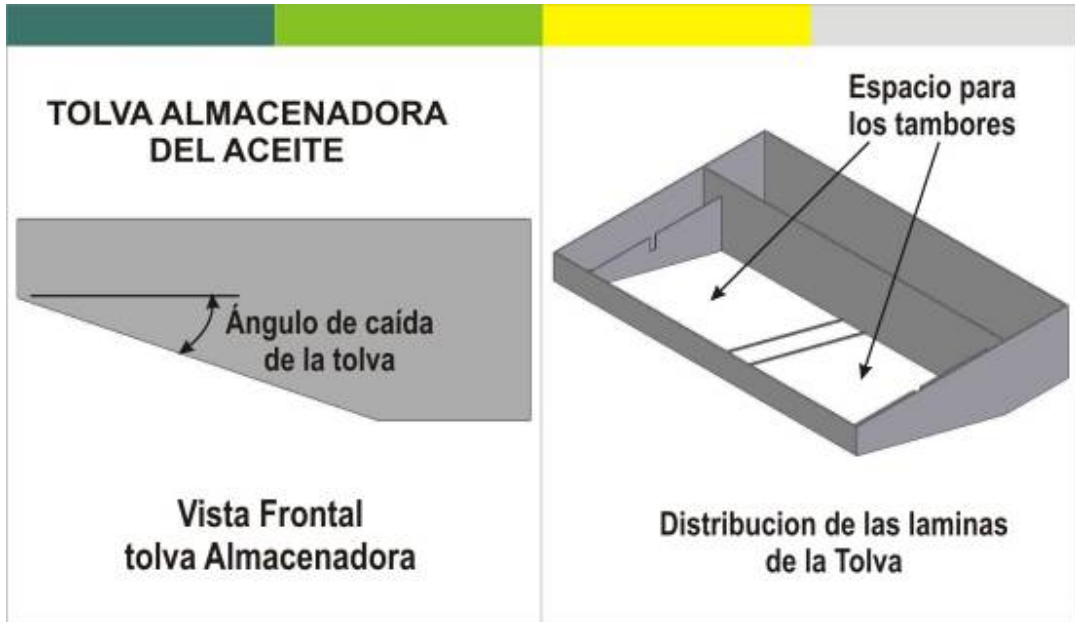


Tabla 124. Condiciones del volumen almacenado de la tolva

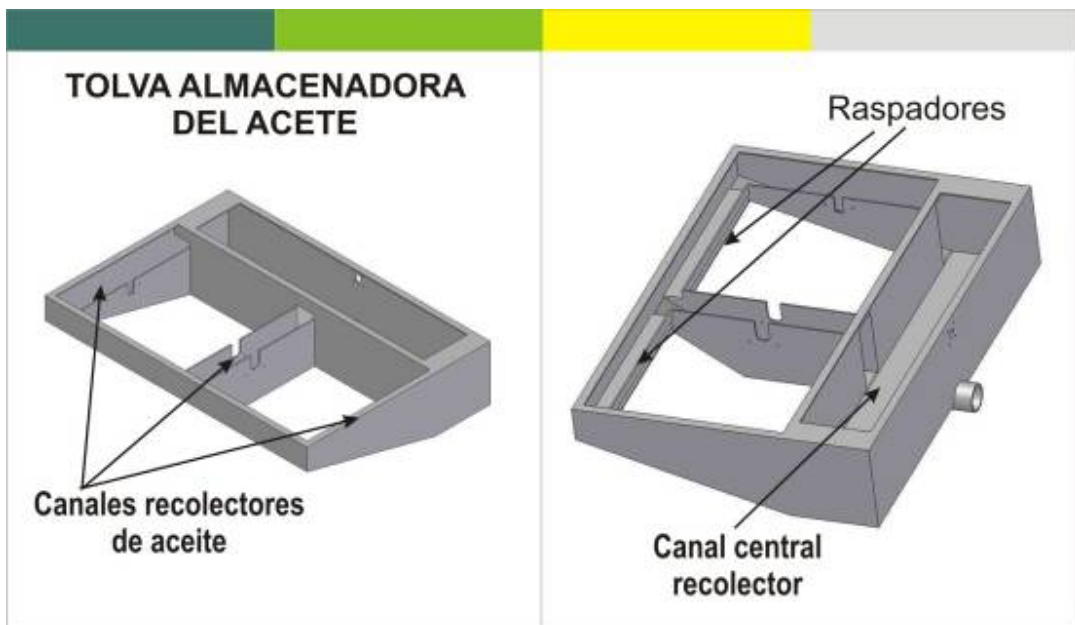


Figura 125. Diseño final de la tolva

- Aspectos técnicos del diseño.

ASPECTOS TECNICOS DE LA TOLVA	
capacidad de volumen	30 galones
capacidad en peso	175 kgs.
peso de la tolva	20 kg.
canales recolectores	3 canales
superficie de contacto	1,5 mts cuadrados
nivel de hundimiento maximo	15 cms
numero de conexiones	2
Capacidad instalada de tambores	2

Tabla 36. Cálculos técnicos de la tolva

### 5.8.2 Calculo de las áreas de contacto con la superficie

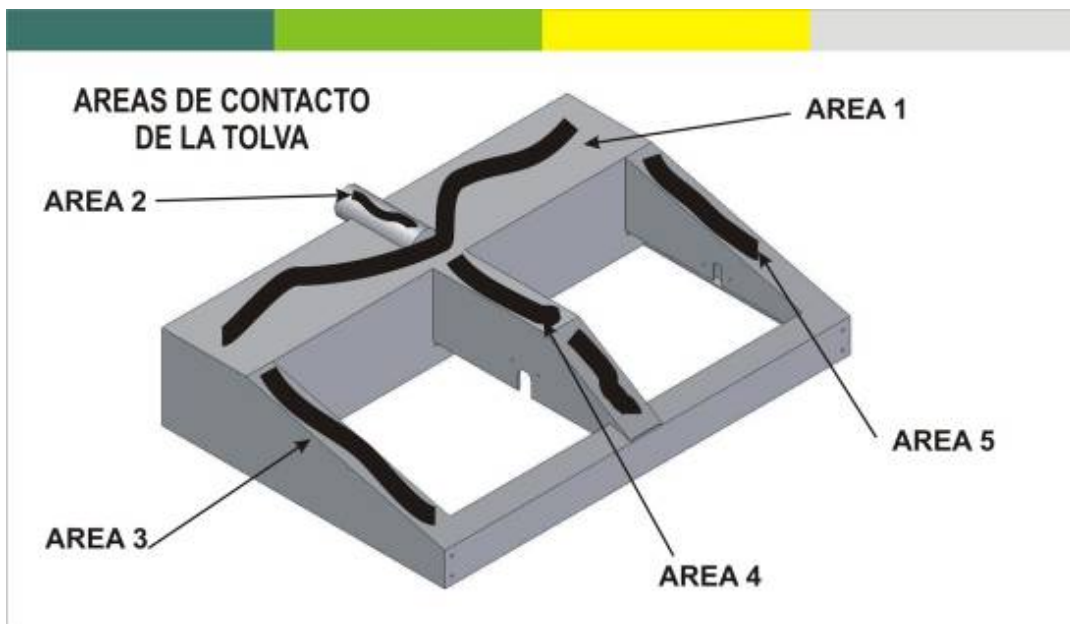


Figura 126. Identificación áreas de contacto de la tolva

La tolva junto con los flotadores y los tambores suman 11 áreas de contacto así:

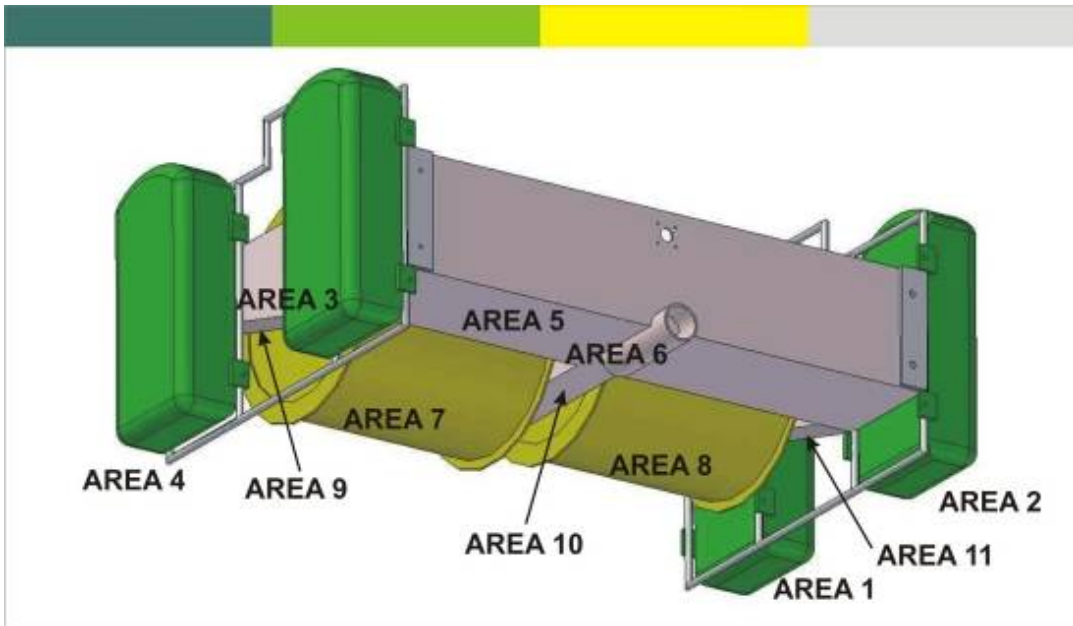


Figura 127. Identificación áreas de contacto del modelo final

Todas estas áreas suman un total de  $1.5 \text{ mts}^2$

Así:

- Área flotadores: cantidad 4 =  $0.13 \text{ mts}^2$
- Área tambores: cantidad 2 =  $0.24 \text{ mts}^2$
- Área tolva almacenadora 5 =  $1.18 \text{ mts}^2$

Total área de contacto con la superficie =  $1.5 \text{ mts}^2$

## 5.9 BOMBA DE TRANSFERENCIA DE ACEITE

Según la norma API 610 (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE) que es la que rige todo lo relacionado a la SELECCIÓN Y OPERACIÓN DE BOMBAS PARA INSTALACIONES PETROLERAS, especifica que para el tipo de fluido que en nuestro caso es agua rigen los parámetros para selección y operación de bombeo del fluido agua.

Características generales para el tipo de bomba del fluido agua:

Esta norma está ampliamente desarrollada e investigada por el instituto y rige las normas colombianas ICONTEC sobre el uso e instalación de bombas para la industria petrolera, también se rigen las normas medioambientales sobre el uso y manejo de bombas centrífugas para la industria de tratamiento de aguas residuales.

Para nuestro caso podemos definir como los parámetros principales para la selección de la bomba adecuada para la evacuación del hidrocarburo.

Características generales para el tipo de bomba del fluido agua:

- Dinámica
- Bomba centrífuga
- Flujo radial
- Simple succión
- Uní paso
- Impulso abierto

Tópicos Principales de las bombas

- Clasificación general de bombas, diferencias entre las Normas API, ASME y otras.
- Velocidad específica e impulsores, influencias del tamaño y forma del impulsor en el rendimiento de una bomba.
- Curva característica para bombas y sistemas
- Bombeo de líquidos viscosos, que no se afecten con fluidos livianos o pesados que deben ser bombeados.
- Energía de los sistemas, gradiente hidráulica, cálculos de la energía necesaria para cualquier tipo de sistema involucrado o imaginado.
- Pérdidas de presión.
- Estaciones de bombeo.
- Sistemas de bombeo en serie y en paralelo.

- oleoductos, estaciones reductoras de presión, y líneas de flujo como complemento de la explotación del crudo y preparación para su transporte.
- Estación de bombeo

Bomba escogida.

Se pueden instalar dos tipos de bombas:

- Bomba Neumática
- Bomba Hidráulica.

Cabeza total dinámica THD.

De acuerdo al diseño de la tolva, la bomba podría ir instalada de dos formas

1. Por encima del caudal a recoger la bomba está por encima de la fuente de suministro de líquido a bombear y predomina una cabeza de succión a levantar (por debajo de la horizontal)

$$TDH = h_s + h_d + h_f$$

Para la bomba neumática aplica este concepto.

2. La bomba está por debajo del caudal a recoger, la fuente de suministro está por encima de la bomba y el líquido fluye hacia la bomba por gravedad predomina la condición de una cabeza estática de succión

$$TDH = h_d - h_s + h_f$$

Para la bomba hidráulica aplica este concepto.

Donde:

- **h<sub>s</sub>** = Cabeza estática a levantar en la succión. La distancia vertical en pies desde el nivel libre de la fuente, hasta el eje central horizontal de la bomba.
- **h<sub>d</sub>** = Cabeza estática de descarga: distancia vertical en pies desde el eje central horizontal hasta la descarga libre. En caso de descargar a un equipo presionado determinar la cabeza equivalente.
- **h<sub>f</sub>** = La cabeza en pies de líquido necesaria para vencer la resistencia de la fricción de tuberías y conexiones en ambos lados, succión y descarga.

$$\text{THD} = 0.333 \text{ ft} - 0.166 \text{ ft} + 0.13 \text{ ft}$$

$$\text{THD} = 0.297 \text{ ft.}$$

$$\text{THD} = 3.564'' \text{ in.}$$

Con base a este dato miraremos las curvas de eficiencia de las bombas a seleccionar según fabricante.

A continuación relacionaremos la hoja de cálculo con los datos de diseño, datos de operación y rangos operacionales en donde el diseño actuara.

Se debe tener en cuenta los datos ya establecidos para la piscina de carga, algunos de estos datos se anexan en la hoja de cálculo



Figura 128 Bomba neumática de transferencia

1	FLUIDO BOMBEADO	AGUA - ACEITE	
2	Sp. Gr a 15°C	0,9982	
3	TEMPERATURA DE BOMBEO	40 - 70 °C	
4	VISCOSIDAD A T.	1,009 CP	
5	PRESIÓN DE VAPOR A T	Kg/cm2a	
6	Sp. Gr. ACEITE	29,7	
7	CAUDAL MÁSSICO	60 Kg/hr	
8	CAUDAL VOLUMÉTRICO (7)/1000*(6)	7,0 m3/hr	
9	EXCESO DE CAPACIDAD	15%	
10	CAUDAL DISEÑO (8)*(1+(9)/1000)	8,0 m3/hr	
11	IMPULSIÓN	NORMAL	MAXIMO
12	PRESIÓN DEL RECIPIENTE	+	⋮ Kg/cm2a
13	ALTURA ESTÁTICA	±	⋮ Kg/cm2 (m de líquido) (6)/10=
14	DP CAMBIADOR 1	+	⋮ Kg/cm2
15	DP CAMBIADOR 2	+	⋮ Kg/cm2
16	DP HORNO	+	⋮ Kg/cm2
17	ORIFICIO	+	⋮ Kg/cm2
18	OTROS	+	⋮ Kg/cm2
19	VÁLVULA DE CONTROL	+	⋮ Kg/cm2
20	DP LÍNEA	+	⋮ Kg/cm2
21	TOTAL	+	⋮ Kg/cm2a
22	SUCCIÓN	DISEÑO	MAXIMO
23	PRESIÓN DEL RECIPIENTE	+	Kg/cm2
24	ALTURA ESTÁTICA	±	Kg/cm2 (m de líquido) (6)/10=
25	DP LÍNEA	+	Kg/cm2
26	TOTAL	+	⋮ Kg/cm2a
27	NPSH		
28	NPSH	+	m [(62)-(5)]*10/(6)=
29	MARGEN DE SEGURIDAD	-	m
30	NPSH DISPONIBLE		m
31	PRESIÓN DIFERENCIAL (21)-(26)		Kg/cm2
32	PRESIÓN DIFERENCIAL		m (31)*10/(6)=
33	POTENCIA HIDRÁULICA		CV (10)*(31)/27=
34	EFICIENCIA		65%
35	POTENCIA AL EJE (33)*100/(33)		CV
36	TIPO DE BOMBA		CENTRIFUGA
37	MOVIDA POR		ACEITE
38	TIPO DE OPERACIÓN		MANUAL
39	MATERIAL CARCASA		FUNDICION
	MATERIAL IMPULSOR		ACERO INOXIDABLE
	MATERIAL EJE		ACERO INOXIDABLE

Tabla 37. Hoja de datos para selección de bombas

Este es un cuadro comparativo de los tres sistemas posibles a instalar en el modulo

Características mecanismo	Sistema electrico	Sistema Hidraulico	Sistema Neumatico
Confiability	✓	✓	X
Instalacion bomba	✓	✓	X
Horas operaci3n bomba	✓		X
Instalacion Unidad de potencia	✓	✓	X
horas de operaci3n unidad potencia	✓	✓	X
Instalacion sistema transmision	✓	✓	✓
Horas de operaci3n sistema transmision	✓	✓	✓
Facilidad bombeo	✓	✓	X
Instalacion mangueras de alta presi3n	NA	✓	X
Unidad fija	✓	X	X
Unidad Portatil	X	✓	✓
Utilizacion valvulas de control	✓	X	X
utilizacion valvulas de seguridad	✓	X	X
Consumos adicionales	NA	✓	✓
Seguridad operacional	✓	✓	X
Seguridad de Mantenimiento	X	✓	✓
Costos instalacion	X	✓	✓
costos operaci3n	X	✓	✓
costos de mantenimiento	X	✓	X

Tabla 38. Cuadro comparativo de los sistemas a instalar

Podemos concluir que el mejor sistema a instalar es el el3ctrico, pero los costos de instalaci3n y de mantenimiento de este sistema son muy altos.

La siguiente alternativa a usar es el sistema hidr3ulico.

Consta de:

- Unidad de potencia con capacidad de 2 hasta 4 caballos de potencia
- Sistema transmisor de potencia (Bomba y reductor)
- Bomba de transferencia (sistema hidr3ulico)
- Mangueras

## 6 FABRICACION DEL MODELO PROTOTIPO

A continuación veremos las etapas de la fabricación del modelo prototipo del separador superficial de hidrocarburos.

### 6.1 ETAPAS DE FABRICACION DEL MODELO PROTOTIPO



Figura 129. Tambor Modelo prototipo

Modelo prototipo desarrollado en materiales de poli metil metacrilato o acrílico.

Este tambor consta de 5 láminas espaciadoras y 4 espacios para la cinta

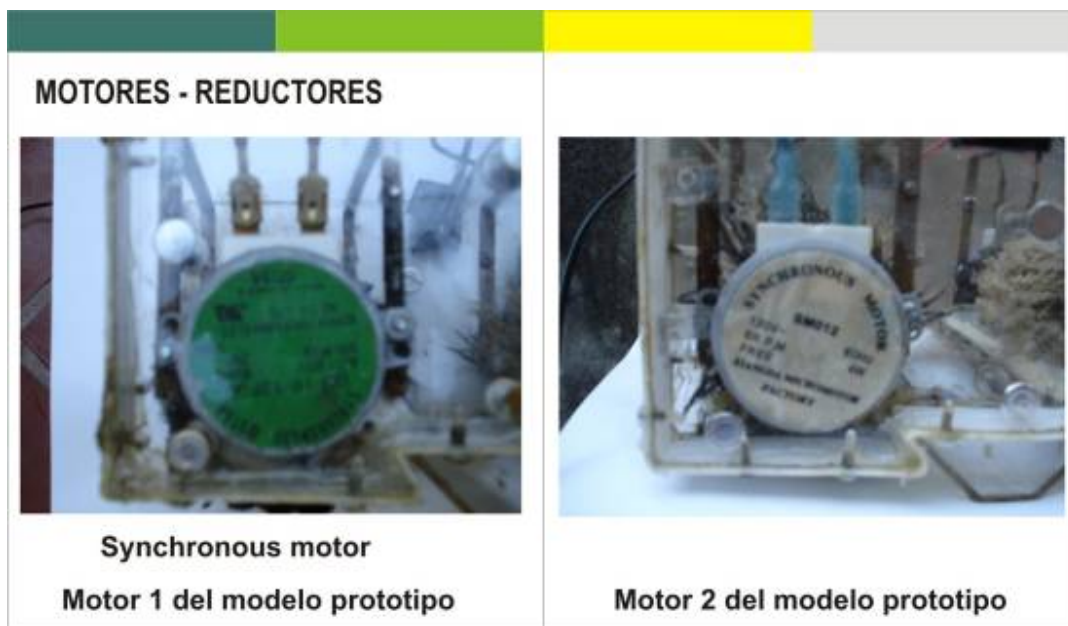


Figura 130. Motores utilizado en el modelo prototipo.

Marca:	Synchronous motor	voltaje	120v
Velocidad	6 R.P.M	Frecuencia	60 Hz
Amperaje	4 W	Movimiento	Free

Tabla 39. Especificación del motor – reductor prototipo

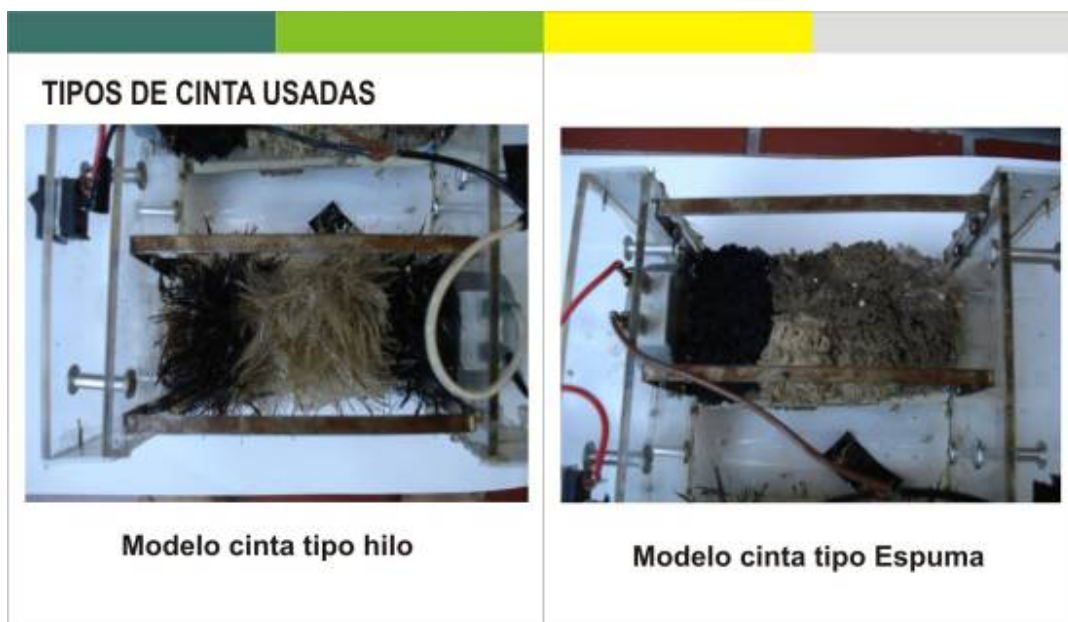


Figura 131. Tipo de cintas oleofílica usadas en el modelo

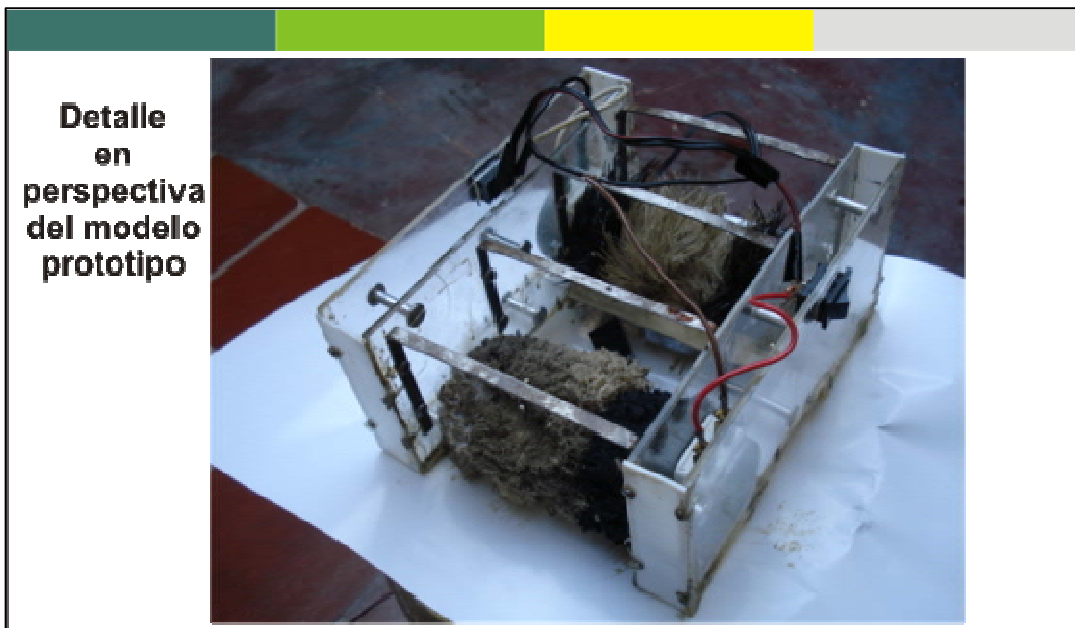


Figura 132. Detalle general del prototipo

## **6.2 PRUEBAS DE IMPERMEABILIDAD DEL SISTEMA MOTRIZ**

En esta prueba simplemente se mantuvo el modelo prototipo por un tiempo estimado superior a los 10 minutos dentro de los cuales se calculo el nivel de agua por donde se filtraría hacia los motores.

Su nivel de permeabilidad fue de 0 (cero) presencia de partículas de agua o aceite en el motor.

## **6.3 PRUEBAS DE FLOTABILIDAD**

En esta prueba vemos como los flotadores actúan de forma efectiva para que el modulo permanezca en la superficie.

En forma libre y con carga vacía el modelo alcanzo una profundidad de 2.5 cms por debajo de la superficie del agua

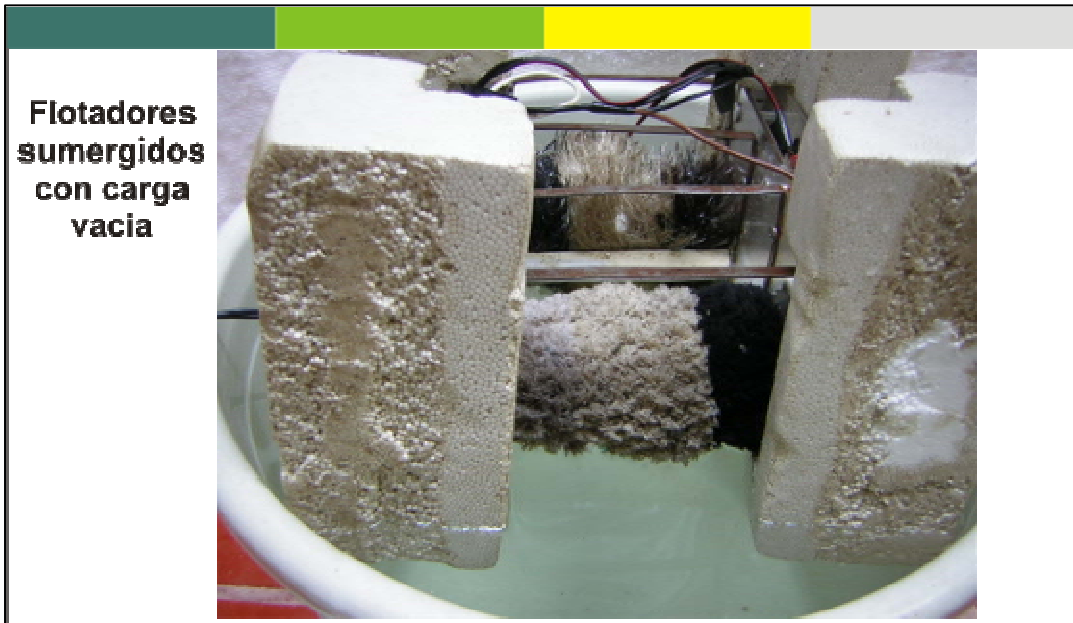


Figura 133. Flotabilidad del modulo desnatador

#### 6.4 PRUEBAS DE SEPARACION MECANICA

En esta prueba podemos observar como el modelo logra separar con gran propiedad el aceite del agua

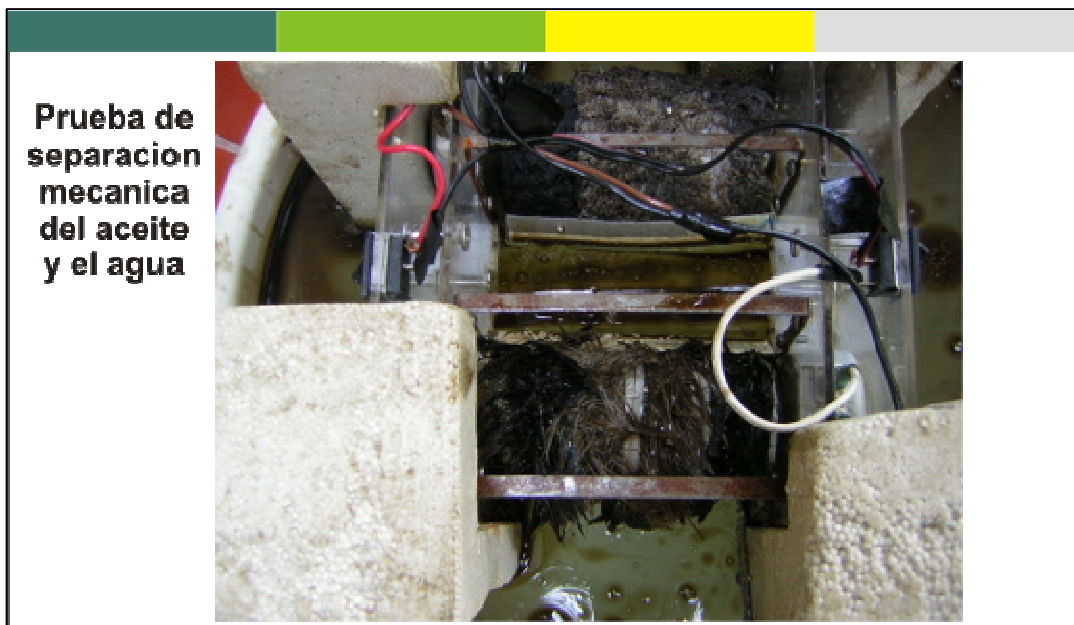


Figura 134. Separación mecánica del aceite

## 6.5 CUANTIFICACION DEL HIDROCARBURO RECUPERADO

Para cuantificar el hidrocarburo primero medimos el tiempo total que gasto todas las dos cintas en recoger el hidrocarburo.

Luego por separado medimos el tiempo que tomo cada una de ellas en recoger todo el hidrocarburo.

Los resultados son:

CALCULO HIDROCARBURO RECUPERADO	Datos
Cantidad de aceite derramado en la prueba	1 galon
tiempo transcurrido hasta recuperar la totalidad del aceite	2 min
Rata de recuperacion	0,5 gpm
Escala real del modelo	01:20

CALCULO HIDROCARBURO RECUPERADO	TRABAJO SOLO ESPUMA
Cantidad de aceite derramado en la prueba	1 Galon
tiempo transcurrido hasta recuperar la totalidad del aceite	5 min.
Area de la espuma	6 cms x 15 cms de contacto
Rata de recuperacion	0,2 gpm

CALCULO HIDROCARBURO RECUPERADO	TRABAJO SOLO CINTA
Cantidad de aceite derramado en la prueba	1 Galon
tiempo transcurrido hasta recuperar la totalidad del aceite	7 min.
Area de la cinta	8 cms x 15 cms de contacto
Rata de recuperacion	0,14 gpm

Tabla 40. Resultados pruebas de campo del modelo prototipo.

Como el prototipo está construido a una escala de 1: 20 si aplicamos una relación directa al modelo y lo llevamos a una escala real podemos concluir que el modelo final podría recoger así:

Escala modelo prototipo 1: 20 recogió 0.2 gpm

Escala real del modelo 1: 1 recoge 20 – 25 gpm.

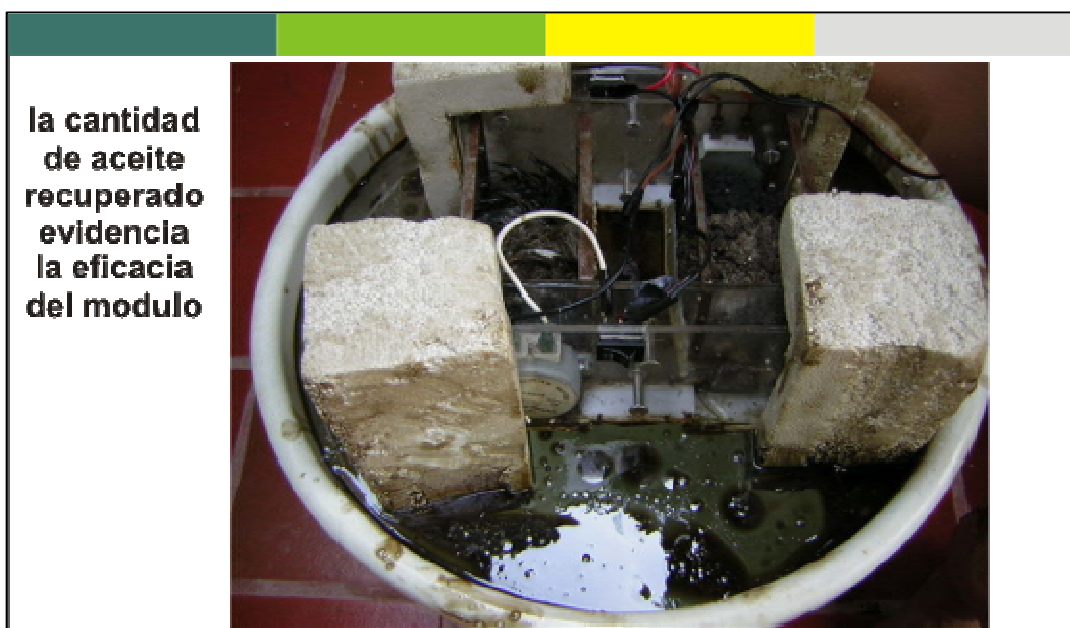


Figura 135. Hidrocarburo recuperado

## 6.6 CUADRO COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS DE CAMPO

Aquí veremos un cuadro comparativo de los dos escenarios que se vieron con las cintas trabajando y el comportamiento del modelo en la superficie del agua.

PRUEBAS DE CAMPO			
CUADRO COMPARATIVO DEL MODELO PROTOTIPO			
CARACTERISTICAS OBSERVADAS	Modulo con carga vacia	Modulo con carga llena	Observaciones
Area de contacto con la superficie	0,2 mts	0,5 mts	aumento 30 cms
Area sumergida	1,8 cms con respecto al nivel del agua	4 cms	se hundio 2,2 cms
Peso total	1,2 kg	2,5 kg	aumento 1,3 kg
Distancia diferencial de hundimiento de las 2 cintas	1,5 cms	2,7	1,2 cms aproximado de diferencia
Estabilidad de la estructura sobre el agua	muy buena	presenta sobre saltos por la deficiente distribucion del aceite en la tolva	
Estabilidad de ls flotadores	los flotadores son muy inestables	con el peso los flotadores se adhieren mas a la estructura	
cabeceo de la tolva	no cabezea	cuando inicia el recogido intenta inclinarse ahcia uno de los lados	
Comportamiento con turbulencia	se vuelve muy inestable	absorbe muy rapido la turbulencia pero empieza a regar aceite	

Tabla 41. Pruebas de campo modelo prototipo

## 6.7 PRUEBAS DE CAMPO CON LAS CINTAS

Veremos algunos datos interesantes de cómo fue el comportamiento de las cintas en el momento de ejecutar la acción.

PRUEBAS DE CAMPO CON LAS CINTAS		
ASPECTOS TECNICOS	CINTA OLEOFILICA	ESPUMA
TIEMPO DE LLENADO DE LA TOLVA	2: 30 SEG	1: 45 SEG
% DE AGUA FILTRADA APROXIMADA	25%	55%
FALLAS DETECTADAS	No es uniforme el raspado de la cinta	se desprende con mas facilidad del
Estabilidad Mecanica de la cinta	Es bastante regular	Muy buena la estabilidad de la
NIVELES DE ABSORCION	75% Aproximadamente	100% Aproximadamente
DEFORMACION PLASTICA DE LA CINTA	Muy baja 20%	Muy alta 75%
UNIFORMIDAD DE RASPADO	Aquí es uniforme el raspado salvo en una pequeña area de la parte central	El raspado no es uniforme y presenta intervalos en el perimetro del tambor

Tabla 42. Pruebas de campo con las cintas

## 6.8 CONCLUSIONES DEL MODELO PROTOTIPO

- La cinta oleofílica es mucho más estable pero no tan eficiente que la espuma.
- El cabeceo de la cinta oleofílica es mucho menor que el de la espuma
- Cuando la espuma se humedece en su totalidad se vuelve muy pesada y fatiga el motor
- El nivel del agua que recoge la espuma es mucho mayor que el de la cinta
- A medida que aumenta el peso con el aceite recogido se vuelve mucho mas estable
- El modelo prototipo en piscinas con gran turbulencias recoge menor cantidad de aceite
- Este mecanismo sirve para trabajar en aguas muy tranquilas y poco turbulentas

## 7 ANALISIS ESTRUCTURAL

### 7.1 ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS (AEF)

A continuación analizaremos de forma consecutiva todas las partes que conforman el modulo desnatador mediante la técnica de análisis de elementos finitos.

Utilizando como herramienta el ANSYS WORKBENCH 10.0

Para estos análisis tomamos como referencia la modelación de los módulos a escala real junto con todas las fuerzas que interactúan con el modulo y las implicaciones que tiene en el aspecto estructural, deformaciones, modificaciones de geometría, reforzamiento de partes.

### 7.2 ANALISIS ESTRUCTURAL ESC100

En este análisis se puede ver claramente la deformación de las soldaduras

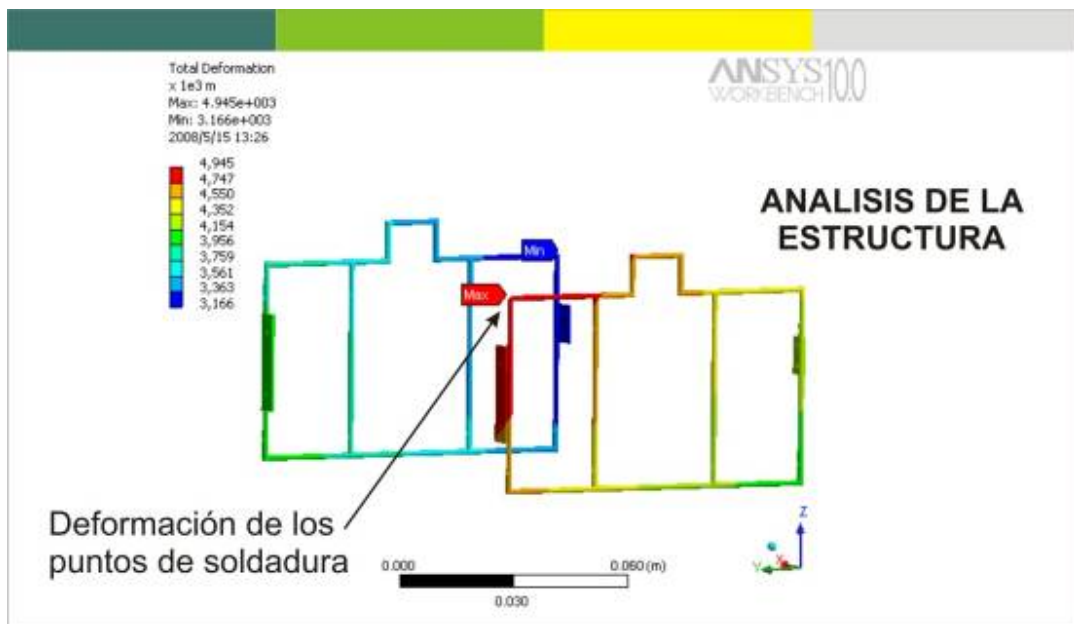


Figura 136. Análisis estructural

### 7.3 ANALISIS DE DEFORMACION DE LA TOLVA

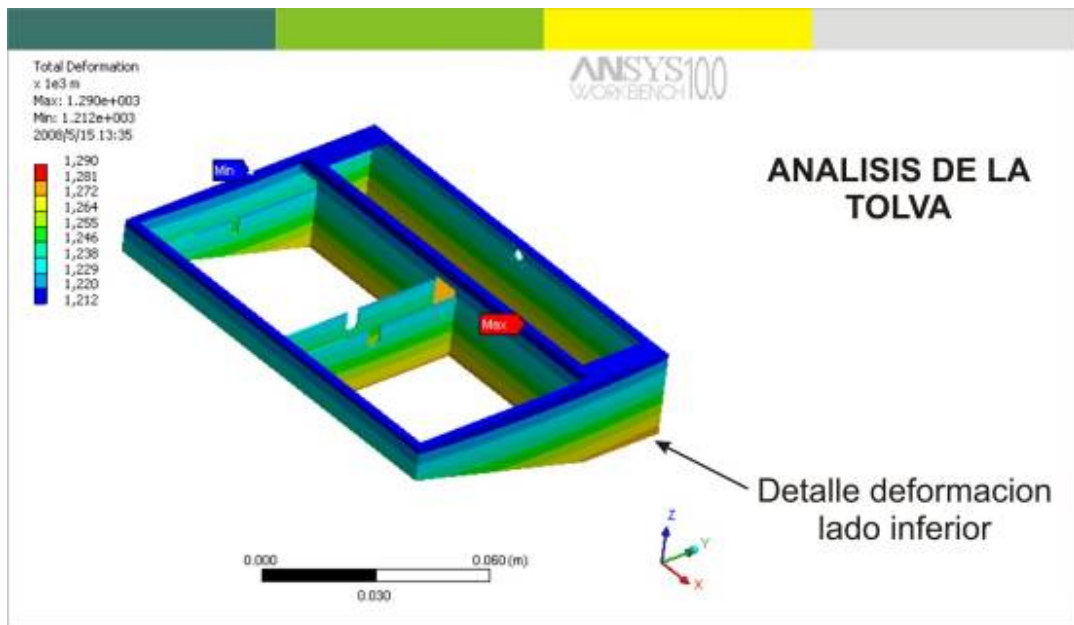


Figura 137. Análisis estructural de la tolva recolectora

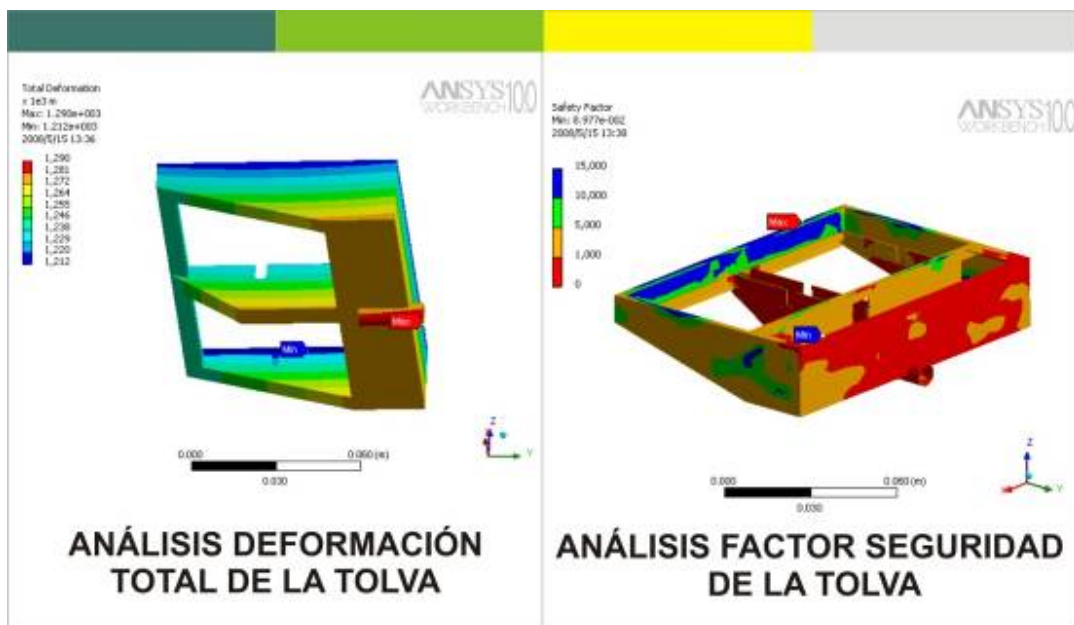


Figura 138. Análisis deformación y factor de seguridad

## 7.4 ANÁLISIS COMPONENTES DE FLOTABILIDAD

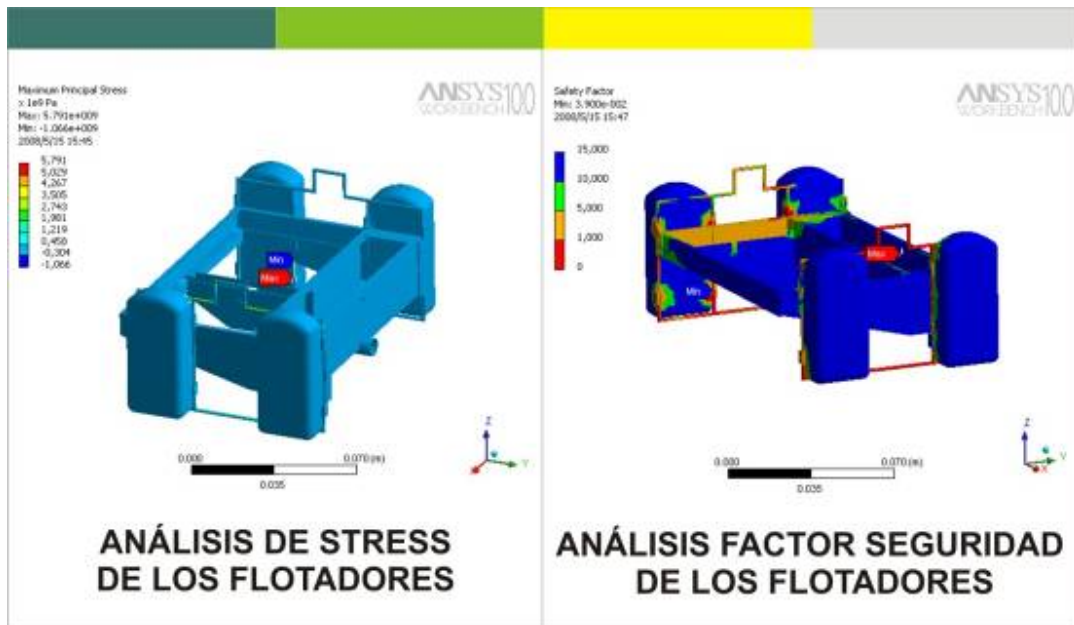


Figura 139. Análisis de stress y factor de seguridad de los flotadores

## 7.5 ANALISIS EJES DE TRANSMISION

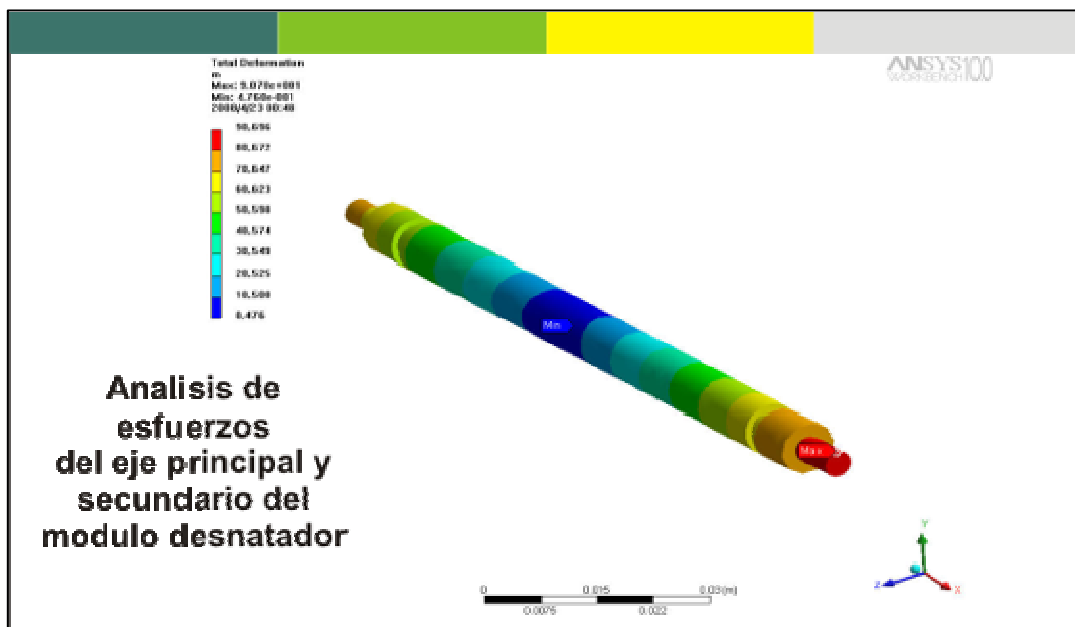


Figura 140. Análisis del eje

## 7.6 ANALISIS CARGAS RADIALES Y AXIALES DEL TAMBOR

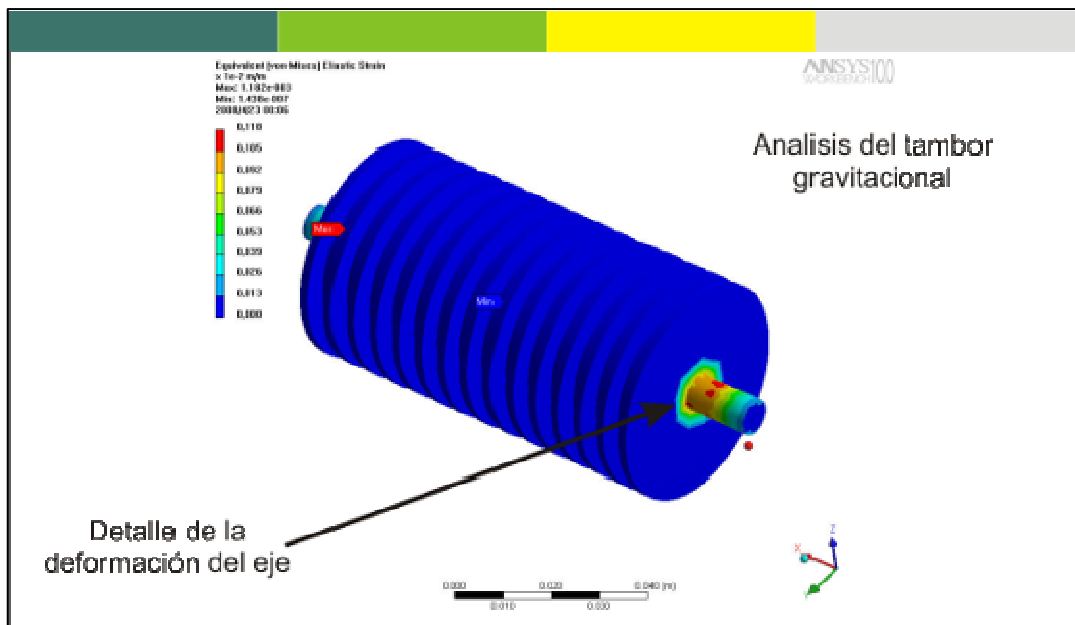


Figura 141. Análisis esfuerzos tambor gravitacional

## 7.7 ANALISIS RASPADORES

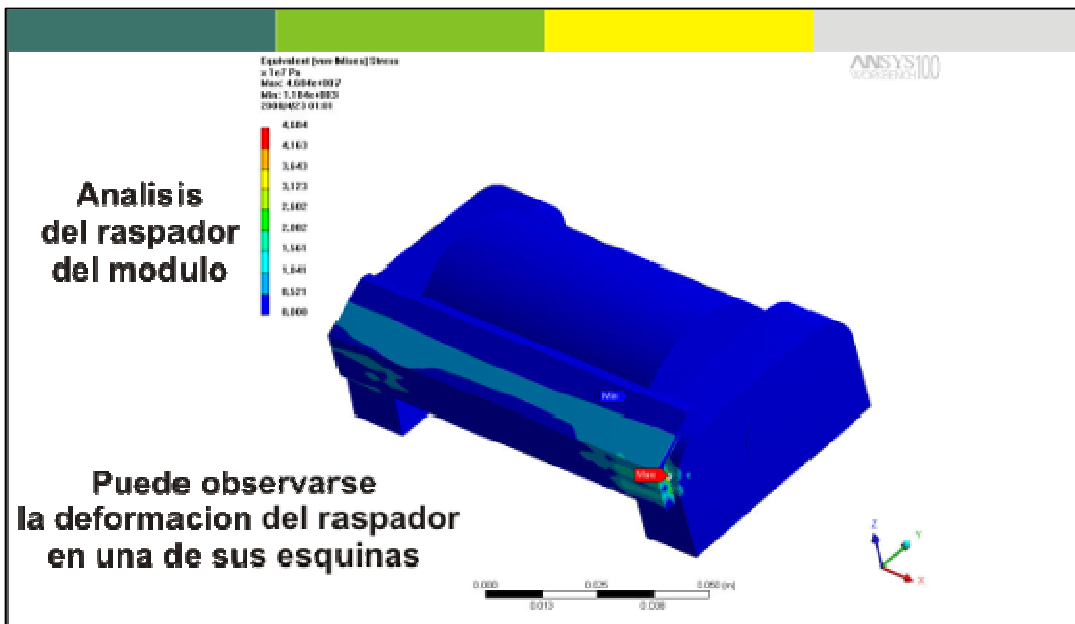


Figura142. Análisis de los raspadores

## **8 FABRICACION DEL MODELO FINAL**

### **8.1 PROCESO DE FABRICACION**

Mencionamos todos los procesos utilizados en la fabricación, recuperación de partes, y montaje final del modulo separador de hidrocarburo,, hay que tener en cuenta que algunas de las partes fueron adaptadas de otros equipos.

Detallamos los siguientes procesos.

- Trazado de la lámina de acero inoxidable
- Corte y rayado (láminas y tubos).
- Doblado de la lámina.
- Doblado de la tubería
- Soldadura.
- Limpieza de partes mecánicas
- Adaptación de piezas mecánicas
- Montaje de la cinta
- Montaje de los flotadores
- Pruebas mecánicas
- Pulido.
- Proceso y pintura.
- Armado.

### **8.2 CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA**

Para la construcción de la estructura se uso tubería de acero inoxidable de ½" SCH 40.

El proceso fue  
Corte de la tubería, doblado y soldadura.



Figura143. Construcción de la estructura

### 8.3 CONSTRUCCION DE LA TOLVA

Para la construcción de la tolva se uso una lamina de acero inoxidable calibre 14 de 6 mts x 3 mts.



Figura144. Construcción de la tolva



Figura145. Pulido y corte de la lamina para la tolva

Este proceso fue mucho más complejo por la cantidad de cortes y juntas realizadas en las láminas.



Figura146. Pulido y corte de la lamina para la tolva

## 8.4 CONSTRUCCION DE LOS FLOTADORES

Los flotadores se construyen en lamina de acero inoxidable calibre 14 con cuatro refuerzos en platina para la sujeción de la estructura y el orificio de venteo que ayuda a que la lamina no se deforme debido al calor o la concentración de aire caliente dentro del flotador



Figura147. Detalle del refuerzo de los flotadores



Figura148. Detalle superior flotadores

## 8.5 DETALLES DE SOLDADURA Y PERFORADO



Figura149. Maquina usada para corte de láminas

Dentro de los detalles más relevantes esta la perforación con taladro vertical para la armada de la estructura



Figura150. Detalle del taladro y área de pulido y soldadura

## 8.6 ADAPTACION DE LA BOMBA DE ACEITE

La adaptación de la bomba surgió de la necesidad de usar un sistema hidráulico y que se pudiera adaptar a nuestro diseño.



Figura151. Recuperación de la bomba de aceite



Figura152. Armado general de la bomba de aceite

## 8.7 ADAPTACION DEL REDUCTOR DE MOVIMIENTO



Figura153. Caja reductora

Esta caja reductora cuenta con un sistema de sin fin – corona para la reducción de movimiento con su eje de salida y un eje de entrada con bujes variables.



Figura154. Adaptación de ejes y sellado de la caja

## 8.8 ADAPTACION DE LOS TAMBORES GRAVITACIONALES

Los tambores provienen de un despelusador de peles de la planta polietileno y fue adaptado a nuestro modulo separador.



Figura155. Recuperación tambor y chumaceras



Figura156. Adaptación chumacera y discos guías

## 8.9 PINTURA

Como anteriormente lo mencionamos la pintura será aplicada en dos tonos,

- Al modulo se le aplicara una pintura poliuretano de altos sólidos
- Aplicar a todo el conjunto de la estructura pintura anticorrosiva Zinc-Coat Ref. 110.840 / 110.841 de Pintuco o similar homologada con espesor final de película seca de 3 a 4 mil.
- Para el acabado Epoxi-Poliamida Alquitrán con alto contenido de sólidos Ref. 113.265 / 113.266 de Pintuco o similar homologada con espesor final en película seca de 5 a 6 mil. Color verde esmeralda



Figura157. Pintura sistema hidráulico



Figura158. Pintura general del modulo

### 8.10 MONTAJE DE LAS PARTES

Se instalara primero la estructura del modulo desnatador para darle firmeza al resto de piezas.



Figura159. Armado estructura de la tolva y flotadores



Figura 160. Armado sistema hidráulico

Se instala luego la caja reductora con el eje



Figura 161. Armado sistema reductor

Después de armar el sistema reductor se procede a armar los tambores gravitacionales



Figura 162. Armado de la cinta



Figura 163. Armado del tambor numero 1



Figura 164. Armado general del modulo separador

Para asegurar las chumaceras y los ejes de las bombas se usaron pasadores hexagonales de 1/8", roca nc.



Figura 165. Instalaciones finales del modulo



Figura 166. Instalación logo corporativo ECOPETROL SA.

### 8.11 INSTALACION EN LA PISCINA PRUEBA

Para la prueba del modulo desnatador se llevara hacia la piscina de precarga del separador SE-3050 es una pequeña piscina donde se realiza la prueba de campo.



Figura 167. Preparativos para la instalada



Figura 168. Modulo flotando en la piscina



Figura 169. Detalles generales del modulo flotador



Figura 170. Modulo final separador de hidrocarburo

## 9 COSTOS

### 9.1 MATERIALES CONSUMIDOS

A continuación haremos una relación general de toso los costos, directos e indirectos

Concepto materiales	cantidad	costo unitario	costo total
Lamina acero inoxidable calibre 14	1	\$ 1,350,000	\$ 1,500,000
2 tubos acero inoxidable de 1/2" sch 40, de 6 mts	2	\$ 135.000,00	\$ 270.000,00
Soldadura revestida de diametro 3/32" E-309 bimetálica	2 kg.	\$ 100.000	\$ 200.000
1/4 Lamina galvanizada calibre # 12	1	\$ 235.000	\$ 125.000
1barra solida de aluminio diametro 3/4" x 2 mts	1	\$ 1.985.000	\$ 1.112.000
Soldadura de aporte con alambre de aluminio TIGG	1 Kg.	\$ 750.000	\$ 750.000
platina acero rectangular de 3" x 6 mts calibre 1/8"	1	\$ 180.000	\$ 100.000
Tornilleria de 174" x 2" rosca nc.	30	\$ 1.500	\$ 45.000
discos de pulidora de 1/8" de espesor	5	\$ 85.000	\$ 425.000
Liston de madera de 4" x 3" x 6,0 mts de largo	1	\$ 45.000	\$ 25.000
6 rodamientos SKF de 3/8" serie kf-3000	6	\$ 55.000	\$ 330.000
2 chumaceras SKF de 3/8" x 1/2"	2	\$ 250.000	\$ 275.000
2 retenedores de 3/8"	2	\$ 25.000	\$ 50.000
1 barra solida de acero inoxidable diametro 3/4" x 1 mts	1	\$ 465.000	\$ 320.000
1 galon pintura color verde esmeralda	1	\$ 65.000	\$ 90.000
1 galon pintura color Plateado metal brillo	1	\$ 95.000	\$ 120.000
2 Gaolnes de gasolina corriente	2	\$ 6.700	\$ 13.400
2 galones de petroleo	2	\$ 25.000	\$ 50.000
7,5 metros de cinta oleofilica	7,5	\$ 37.000	\$ 277.500
TOTAL			4577900

Tabla 43. Costos de materiales consumidos

## 9.2 COSTOS DE DISEÑO

Dentro de las más variadas situaciones que se presentan a la hora de diseñar un producto como en el caso específico de un sistema separador de aceite podemos enumerar las más principales actividades propias del diseño que son inherentes al trabajo de construcción del módulo.

I ITEM	Costos
Búsqueda de Información primaria en Internet	\$ 100.000
Visitas	\$ 150.000
transporte	\$ 85.000
Videos y fotografías	\$ 100.000
Empresa ECOPETROL S.A.	\$ 200.000
EDASABA	\$ 50.000
CDMB.	\$ 300.000
Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	\$ 200.000
Refinería de CARTAGENA VRP.	\$ 500.000
Universidad Industrial de Santander	\$ 100.000
EDOSPINA S.A. (Bogotá)	\$ 200.000
Talleres Unidos S.A.	\$ 30.000
Catalogo del Empaque	\$ 60.000
Huacales HC	\$ 80.000
Análisis	\$ 350.000
Matrix RAM (HSEQ)	\$ 100.000
DESARROLLO AMBIENTAL DE PRODUCTOS	\$ 100.000
Procesos de ECO-ISEÑO	\$ 200.000
análisis externo entrevistas y toma de videos	\$1'000.000
Desarrollo de primeras alternativas y simulación	\$ 500.000
Recopilación de Información	\$ 300.000
Internet	\$ 200.000
II ITEM	
Conclusiones	\$ 100.000
Creación de nuevas ideas	\$1'000.000
Concepto de Diseño	\$ 600.000
Papelería	\$ 200.000
Gastos varios	\$ 500.000
III ITEM	
materiales y procesos	\$1'000.000
Entrega final	\$1'000.000
Papelería	\$ 500.000
IVA. 16%	4'675.200
TOTAL	\$ 5.805.000

Tabla 44. Costos de diseño

### 9.3 COSTOS DE PRODUCCION

La variable de los costos de producción identifica todas las actividades realizadas antes, durante y después de la instalación del modulo separador. Aquí podemos apreciar las horas hombres utilizados, el equipo capital usado en las actividades, así como el servicio de transporte y alimentación de las personas involucradas en cada actividad, esto representado en horas hombre de trabajo efectivo.

ACTIVIDAD	RECURSO HUMANO		H. EQUIPO CAPITAL USADO		COSTO TOTAL
	H/H ACTIVIDAD	H/H TOTALES	H/HOMBRE	H. MAQUINA	
TRAZADO Y MARCADO DE LAMINAS	4 H	8 H	-	-	390800
CORTE DE LAMINA	4H	4H	4H	4H	585600
DOBLADO DE LAMINA	6 H	12 H	6 H	8 H	1268800
SOLDADURA	4 H	8 H	4 H	4 H	780800
PERFORACION HUECOS	4 H	8 H	4 H	4 H	585600
TRABAJO MECANICO	4 H	8 H	8 H	8 H	1171200
TORNEADO EJES	6 H	8 H	6 H	8 H	878400
RECUPERACION PARTES MEC.	8 H	16 H	-	-	1171200
APLICACIÓN PINTURA	6 H	6 H	-	-	100000
ARMADO GENERAL	8 H	16 H	-	-	780800
MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA	8 H	8 H	-	-	390400
TRANSPORTE	6 H	6 H	6 H	6 H	585600
ALIMENTACION					200000
<b>TOTAL</b>				\$	<b>8889200</b>

Tabla 45. Costos de Producción

### 9.4 COSTOS DE MONTAJE

El montaje del modulo se realiza en la piscina de precarga del separador SE-3050, tiene una profundidad de 4 mts aproximadamente y maneja un alto grado de hidrocarburos pesados.

ACTIVIDAD	RECURSO HUMANO		H. EQUIPO CAPITAL USADO		COSTO TOTAL
	H/H ACTIVIDAD	H/H TOTALES	H/HOMBRE	H. MAQUINA	
Maquina de soldadura	4 H	4 H	4 H	4 H	585600
acondicionamiento del area	1 H	1 H	-	-	96000
limpieza de la zona	1 H	1 H	-	-	48800
solicitud de permiso de trabajo	2 H	2 H	-	-	96000
realización de sas	2 H	2 H	-	-	96000
instalacion del modulo separador	3 H	3 H	-	-	146400
pruebas	4 H	4 H	4 H	4 H	585600
<b>TOTAL</b>				\$	<b>1654400</b>

Tabla 46. Costos de Montaje

## 9.5 COSTO FINAL

El costo final es la suma de los 4 ítem principales que resumen el total de las actividades propias del proyecto realizado hasta el final.

COSTO FINAL	
MATERIALES CONSUMIDOS	\$ 4.577.900
COSTOS DE DISEÑO	\$ 5.805.000
COSTOS DE PRODUCCION	\$ 8.889.200
COSTOS DE MONTAJE	\$ 1.654.400
TOTAL	\$ 20.926.500

Tabla 47. Costos finales del proyecto

## 10 PRESENTACION MODELADO FINAL

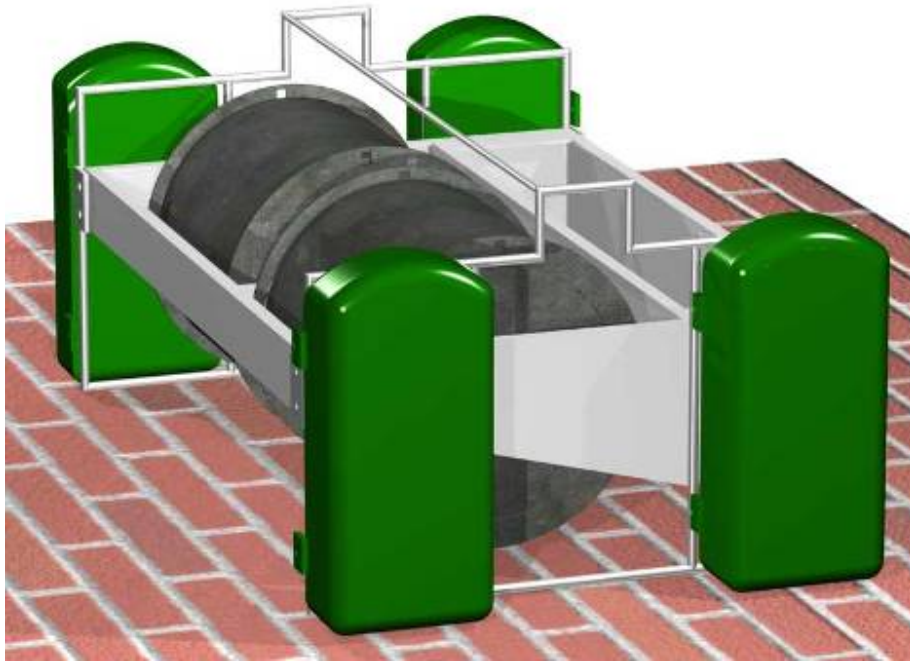


Figura 171. Modelado final 1



Figura 172. Modelado final 2



Figura 173. Modelado final 3



Figura 174. Modelado final 4

## 11 CONCLUSIONES

- El modulo desnatador MODELO ESC-100 se presenta como la mejor opción para solucionar uno de los problemas más grandes de contaminación de la refinería.
- Dentro de los requerimientos exigentes que tiene la industria del petróleo el modelo desnatador se encuentra a la altura de los materiales, metalurgia de equipo estático, requerimientos de las normas API, ASME Y WATERS AND WASTES AND DISPOSAL
- El modulo desnatador dentro de su desarrollo como prototipo cumplió con todas las expectativas que se buscaban como un modelo innovador con un sistema completamente diferente de separación de hidrocarburos superficiales, con un tiempo de vida útil mucho mayor
- El modulo cumple con las exigencias en cuanto a los tiempos de mantenimiento al reducir a un mínimo las piezas móviles y de sistemas de transmisión actual, para solamente obtener un producto de 2 elementos móviles con sus respectivas partes.
- Fue importante la práctica que se realizo en campo y junto con el acompañamiento de las personas de operaciones de la planta PTAR, para conocer de primera mano el funcionamiento de la planta y poder interiorizar todos los procesos del tratamiento de aguas.
- Conocer todos los aspectos que rigen las exigentes normas de la industria del petróleo y en especial a aquellas que tiene que ver con el tratamiento del medio ambiente como un componente mucho mas importante que la propia producción.
- Vender ideas y alternativas dentro del lenguaje del diseño industrial para poder solucionar casos puntuales dentro de una industria muy compleja y de poca accesibilidad al diseño industrial
- Dentro de las ramas del diseño al menos en Colombia no se tiene conocimiento de diseñadores que estén involucrados dentro de los organigramas productivos de ninguna compañía petrolera, es por esto que se hace importante la idea de penetrar este campo ya sea a través de soluciones ambientales o diseños productivos con ideas frescas e innovadoras.

## 12 BIBLIOGRAFIA

Agua, calidad y tratamiento; Mc GRAW HILL. Nueva York. 1998

KEMMER, Fran N. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones; Mc GRAW HILL. México.

Plan de manejo ambiental para la gerencia del complejo industrial de Barrancabermeja, (GCB) Volumen III Componente AGUA. Geoingeniería LTDA. Bogotá 1.999

MONSALVE, Gladys. Propuesta de trabajo 2001, Procesos biológicos PTAR.

Manual de principios de operación de PTAR, operadores del área.

DOBINGER, Johannes. Manual para la implementación del eco diseño en Centroamérica. CEGESTI, Universidad Tecnológica de Delft, Costa Rica.

ALCAIDE MARZAL, Jorge. Diseño de producto. Métodos y técnicas. Universidad Politécnica de Valencia. Alfa omega. Grupo Editor, S.A. México, D.F. 376 p

ESTRADA, Jairo. Ergonomía. Introducción al análisis del trabajo. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 254p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Segunda actualización. Santa fe de Bogotá D.C.: ICONTEC, 1996. 126p. NTC 1307.

HIBELER, Russel C. Mecánica de Materiales. Prentice Hall. México, S.A. DE C.V. 1998.

IVÁÑEZ GIMENO, José María. La gestión del diseño en la empresa. Mc Graw Hill.

MANUAL ON DISPOSAL OF REFINERY WASTES.  
Volume II. WASTE GASES AND PARTICULATE MATTER. American Petroleum Institute API.  
Division of Refining, Washington. D.C. 20006.

METCALF & EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales.  
Tratamiento de aguas residuales, Mac Graw Hill 1.995

ANTEK S.A., Plan de manejo ambiental integral GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA (GCB) ECOPETROL S.A. Volumen III Componente Agua. 1.999.

MANUAL DEL DISEÑADOR INDUSTRIAL., Bruno Munari.

- Visitas.

- Gerencia Complejo Barrancabermeja (GCB) ECOPETROL S.A. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR (GCB).

- Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) ECOPETROL S.A. Piedecuesta Santander.

- Empresa de Acueducto y Saneamiento Básico de Barrancabermeja EDASABA. S.A.

- Global Suport Group Ltda. 35 n 19-41, oficina 606 y 607 la triada Bucaramanga, Colombia.

- Direcciones de Internet

<http://www.ecologixsystems.com>

<http://www.resmat.net>

<http://www.dawginc.com/spill-control-absorbents/>

<http://www.process-controls.com/Separator/reply.htm>

<http://news.thomasnet.com/news/chemical-processing>

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### IDENTIDAD CORPORATIVA ECOPETROL SA.

Ecopetrol se transformó desde el 2003 y decidió prepararse para competir tanto en el mercado colombiano como en el exterior. Esa ambición también la llevó a diseñar una nueva estrategia al 2011, que prevé un crecimiento en sus principales indicadores, la consolidación organizacional y la ejecución de un plan de inversiones sin antecedentes en su historia.

Este nuevo escenario de empresa competitiva llevó a que Ecopetrol se planteara renovar su marca e imagen corporativa. El resultado: una nueva imagen que responde a esa nueva estrategia, al proceso de transformación que vive, y que se sintetiza en cinco atributos por los cuales pretende ser reconocida: abierta, vital, confiable, progresista y universal.

#### NUEVA IMAGEN ECOPETROL SA.

Esta es la nueva imagen de ECOPETROL SA. Después de casi 80 años en la que el tunjo se había convertido en un icono nacional de la industria petrolera del país



Figura 175. Nueva imagen de ECOPETROL S.A

Los atributos de su identidad corporativa son:

- **Confiable**

Una empresa sólida, que inspira seriedad y respeto, comprometida con el cumplimiento de sus responsabilidades frente a sus clientes, proveedores, empleados, comunidades y accionistas

- **Abierta**

Una empresa flexible y receptiva, preparada para el cambio y la adaptación a los requerimientos de la industria; transparente en su gestión.

- **Progresista**

Una empresa innovadora, que refleja dinamismo en su gestión cotidiana; orientada 100% al futuro.

- **Universal**

Una empresa preparada para desempeñarse en la gran aldea global. Capaz de entender las diferentes culturas, de aceptar la diversidad y de generar una comunicación comprensible, sencilla e integradora.

- **Vital**

Una empresa esencial para la vida; con una mirada integral, creativa y prospectiva sobre el concepto de energía, como fuente de desarrollo.

## MANUAL DE IDENTIDAD CORPORATIVA

Hemos elegido a la IGUANA VERDE, o iguana-iguana, como centro de nuestro logo símbolo. La iguana, en sí misma, proyecta vida y ha demostrado su gran capacidad de adaptación sobreviviendo a través del tiempo. Por su gran flexibilidad, ha evolucionado soportando cambios climáticos. Incluso, ha aprendido a vivir junto al hombre y a alimentarse de plantas para asegurar su ciclo vital.

Para reforzar el concepto de vida, nuestra iguana recorrerá el logotipo ocupando varias posiciones.

- Posición 1



- posición 2



- posición 3



Figura 176. Posiciones del logo símbolo.

## LOGOSÍMBOLO

### Elementos básicos

El logo símbolo de **ECOPETROL** consta de dos partes básicas: el nombre y el símbolo; y un área de extensión de identificación.

#### El nombre:

En amarillo se escribe la palabra ECO, que estamos resaltando dentro del nombre **ECOPETROL**. La palabra PETROL se usa en verde. El nombre no se puede usar independiente del símbolo.

#### El Símbolo:

Representa la esencia de la marca. Es un macho joven de la especie Iguana Verde. Como expresión gráfica se puede usar independiente del nombre o fraccionado, (parcial) siempre y cuando se diseñe dentro de un contexto corporativo en el que se reproduzca el logo símbolo completo.

#### El Área de Extensión:

Está destinada para ubicar los diferentes elementos que integran la nomenclatura de la marca: eslogan, nombres de divisiones, referencias de productos.



Figura 177. Áreas básicas del logo símbolo

## Color

El color es la mejor herramienta para generar recordación de marca. La paleta de colores corporativos y complementarios debe facilitar la tarea de comunicar la identidad gráfica de la marca.

- **Colores Corporativos.**

El color corporativo principal es el verde oscuro. Complementando el verde oscuro está un verde luminoso, cuya función como acento es muy importante, conservamos el amarillo como elemento de transición y herencia de marca del logo símbolo anterior, los colores corporativos se pueden utilizar al 100% y en diferentes porcentajes del Pantone.



Figura 178. Logo símbolo dos tintas especiales y policromía (CMYK)

- **Colores Complementarios.**

Los colores complementarios pueden acompañar a los corporativos, no los reemplazan y siempre deben aparecer en compañía de al menos uno de ellos, en una proporción igual o inferior al tono corporativo. Nunca debe ser superior, para enriquecer el diseño de publicaciones existe una paleta de tonos azules y grises y se incluye un color acento, el naranja. El plata es el color definido para las aplicaciones protocolarias del logo símbolo. Además puede usarse como complemento para el diseño de publicaciones.

La aplicación del naranja, no debe exceder el 5% del área visible de un impreso o de una locación. No se debe aplicar en grandes superficies.

Los colores complementarios se pueden utilizar al 100% y en diferentes porcentajes del Pantone.

Presentamos las siguientes convenciones de color: Para diseño de piezas impresas, presentamos las referencias CMYK y PANTONE.

Para visualización, las referencias RGB, para edición digital y multimedia, los CÓDIGOS WEB



Figura 179. Colores corporativos



Figura 180. Colores complementarios.



Figura 181. Uso de paleta de colores.

## Tipografía

- **Tipografía corporativa.**

La tipografía corporativa ha sido especialmente diseñada para **ECOPETROL** y es propiedad de la Empresa. Su característica distintiva es el juego de mayúsculas y minúsculas. Es una tipografía vanguardista, con orígenes modernos en la tipografía Futura.

El efecto de escritura es de caja, el interlineado ha sido homologado, las proporciones son simétricas.

Rasgos distintivos:

- Juego de mayúsculas y minúsculas
- Equilibrio entre las horizontales “P” y “R”
- Perfeccionamiento de las letras “e” y “o”.
- El nombre **ECOPETROL** está escrito en minúsculas.



Figura 182. Tipografía logo símbolo

## Planimetría

Este plano servirá de guía para la construcción gráfica del logo símbolo. Esta aplicación está hecha sobre retícula con medidas en X (X =1).



Figura 183. Planimetría logo símbolo

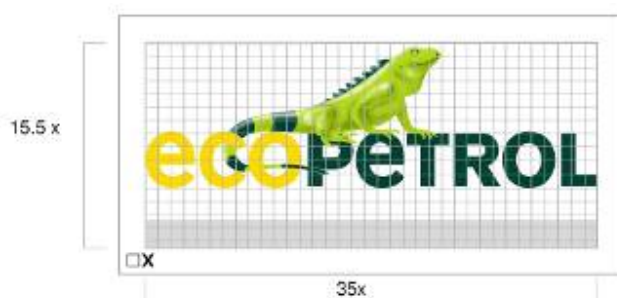


Figura 184. Planimetría logo símbolo eslogan vertical



Figura 185. Planimetría logo símbolo eslogan horizontal.

### Zona de seguridad

La zona de seguridad, determina el área mínima exigida alrededor del logo símbolo. Cumple dos funciones:

- Evitar que elementos ajenos a la marca, dificulten su lectura. De esta forma se logrará una ubicación clara y destacada del logo símbolo dentro del mensaje.
- Dar al logo símbolo, el aire necesario en aplicaciones como cajas luminosas para avisos externos, pendones y pasacalles, avisos internos.



Figura 186. Zona de seguridad del logo símbolo

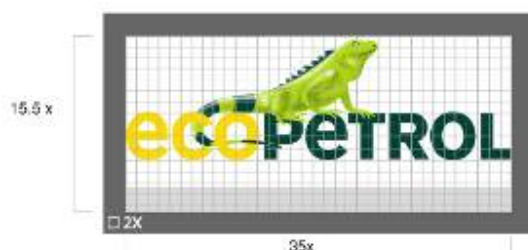


Figura 187. Zona de seguridad eslogan vertical



Figura 188. Zona de seguridad eslogan horizontal

## MANEJO LOGOSIMBOLO

### Logo símbolos permitidos

Es la posición básica del logo símbolo, la que debe usarse en los ambientes y en los formatos institucionales, más formales, los logo símbolos marcados como restringidos, tienen un uso limitado, descrito en el texto

Es la aplicación ideal del logo símbolo. El nombre está construido en dos tintas especiales y la Iguana está construida en policromía, recomendado para impresos en los que la exactitud y fidelidad del color sean muy importantes, el logo símbolo de **ECOPETROL** no se puede aplicar directamente sobre ningún fondo de color, diferente al verde corporativo, para lo cual se han autorizado los usos invertidos.

**Excepción:** En casos indispensables, para usos en positivo se podrá utilizar

la aplicación Blur. Estos casos deberán contar con la autorización expresa de la Coordinación de Comunicaciones Externas.

Veamos algunos logo símbolos permitidos.

	no tiene uso permitido
	no tiene uso permitido
	no tiene uso permitido
	no tiene uso permitido
	no tiene uso permitido

Figura 189. Positivos e invertidos de logo símbolos

Positivos

Invertidos



Figura 190. Positivos e invertidos del logo símbolo

## NOMENCLATURA

### Nomenclatura eslogan corporativo

El eslogan corporativo, “Energía para el futuro”, se ubica en las áreas de extensión en dos posiciones:

Para lecturas verticales, en la parte inferior del logo símbolo; y para lecturas horizontales, al lado derecho del logo símbolo. Para papelería, la aplicación se debe manejar justificada a la derecha, en ambos casos está escrito en la tipografía exclusiva de **ECOPETROL**, en mayúsculas, en el color verde corporativo, el eslogan se podrá manejar de manera independiente siempre cuando esté presente el logo símbolo en la misma pieza.

Ambas versiones tienen usos autorizados en positivo y en invertido.



Figura 191. Eslogan corporativo lectura vertical



Figura 192. Eslogan corporativo lectura horizontal positivo



Figura 193. Eslogan corporativo lectura horizontal invertido

## APLICACIONES

### Señalización

Para la señalización externa se han definido elementos que cumplan una función urbanística y generen el concepto de conjunto, creando integración de edificios y plazoletas.

Tótems con luz interior para señalización y direccionamiento, logo símbolos con volumetría, para enmarcar los accesos, y cubiertas y tableros tipo industrial para las plantas, son los elementos básicos, al interior, en materiales similares, se construye la señalización con los dos tonos verdes corporativos.

Las señales de dirección y las de punto fijo no llevan el logo símbolo.

- Señalización interna.

Señal recepción, piso, señal dirección, señal punto fijo, señal instrucciones, avisos gerencia, hale y empuje.

- Señalización externa.

Aviso planta, aviso entrada planta, entrada edificio, techo, tótems, reloj y externo común.

Algunos ejemplos.



Figura 194. Sala recepción



Figura 195. Señal piso – señal dirección



Figura 196. Señal punto fijo.



Figura 197. Señal instrucciones



Figura 198. Aviso entrada planta




Figura 199. Aviso entrada edificio.



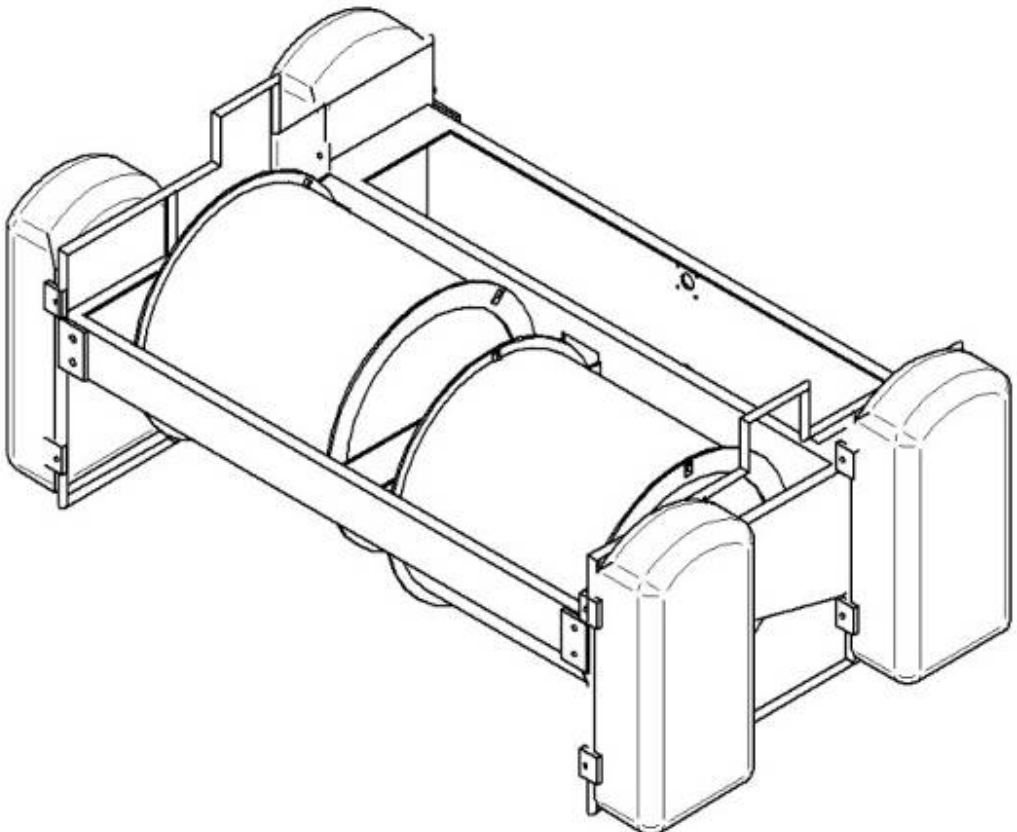
Figura 200. Aviso externo común

## ANEXO 2

### PLANOS TECNICOS

 ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados	PRODUCTO: GENERAL	MODULO DESHATADOR	1/8
	PIEZA N°: 1	DIMENSIONES	
	NOMBRE: ISOMETRIA G.	LARGO:	1252 mm
	MATERIAL: ACERO INOX.	ANCHO:	917 mm
	CANTIDAD: 1	CALIBRE:	3 mm

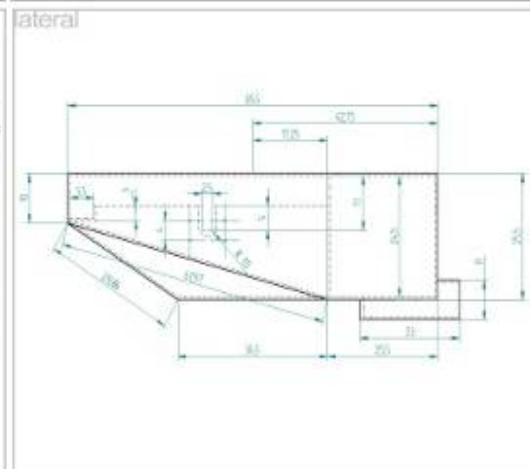
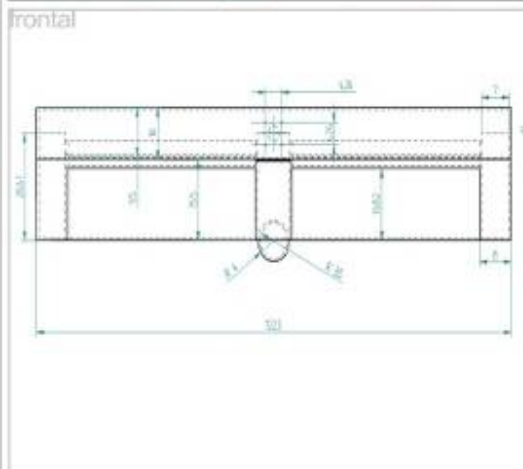
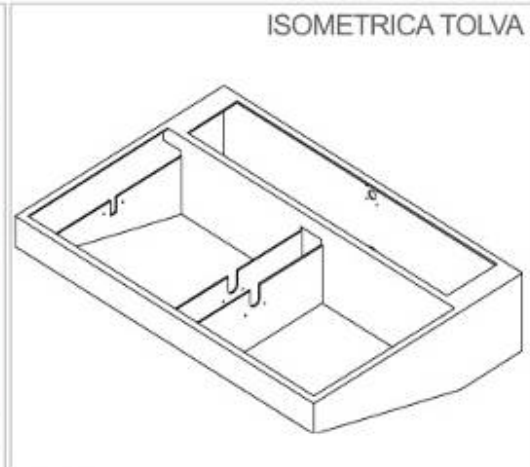
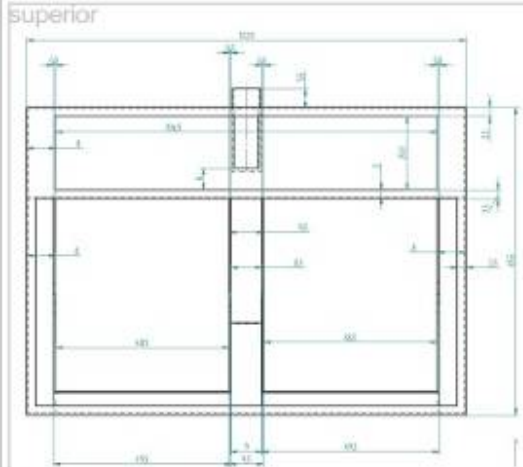
ISOMETRICA GENERAL





ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados

PRODUCTO: TOLVA RECOLECT.	MODULO DESNATADOR	2/8
PIEZA N°: 1	DIMENSIONES	
NOMBRE: RECOLECTOR G.	LARGO:	1252 mm
MATERIAL: ACERO INOX.	ANCHO:	255 mm
CANTIDAD: 1	CALIBRE:	2 mm



N°	PROCESO	MAQUINARIA
1	TRAZADO LAMINA	COMPAS-METRO
2	DOBLADO	DOBLADORA
3	PULIDO	PULIDORA
4	PERFORACION	TALADRO BANCO

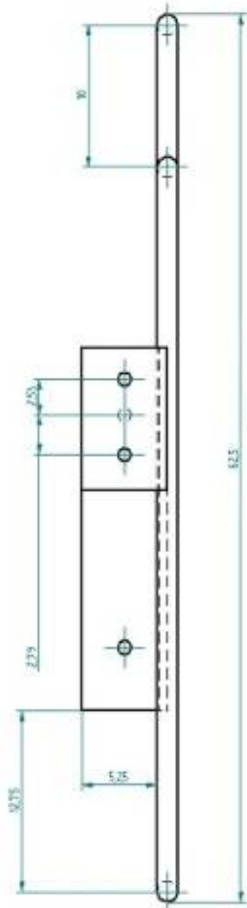
Siguiente operación: ARMADO  
 Observaciones:



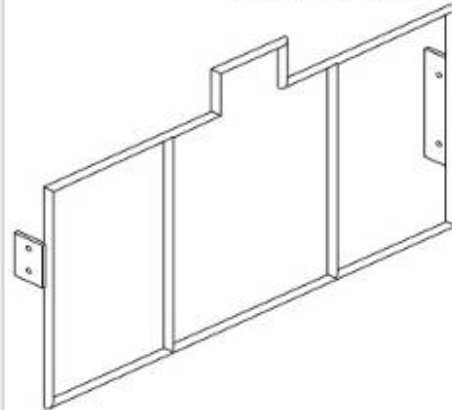
ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados

PRODUCTO: ESTRUCTURA	MODULO DESNATADOR	3/8
PIEZA N°: 2	DIMENSIONES	
NOMBRE: ESTRUCTURA TUB.	LARGO:	625 mm
MATERIAL: ACERO INOX.	ANCHO:	870 mm
CANTIDAD: 2	CALIBRE:	SCH 40

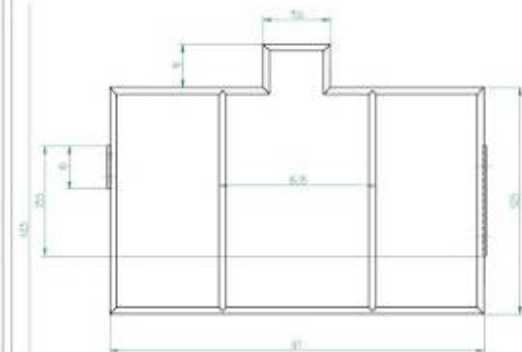
frontal



ISOMETRICA TUBERIA



lateral



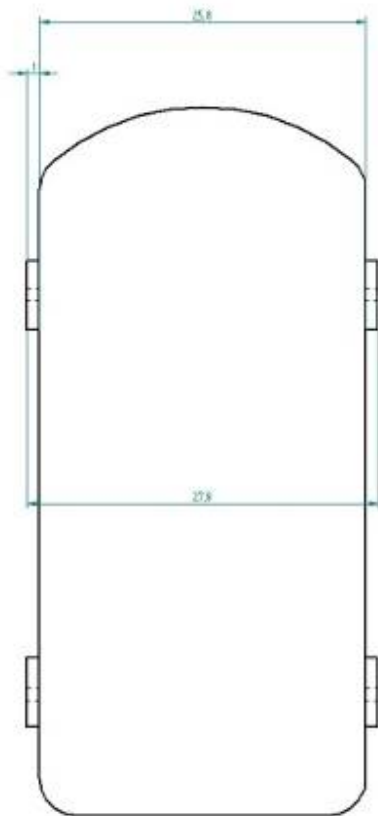
N°	PROCESO	MAQUINARIA
1	TRAZADO TUBERIA	METRO
2	CORTE TUBERIA	SIERRA ELECT.
3	DOBLADO	DOBLADORA
4	SOLDADURA	MAQUINA SOLD.
	PERFORACION	TALADRO BANCO
Siguiete operación:		ARMADO
Observaciones:		



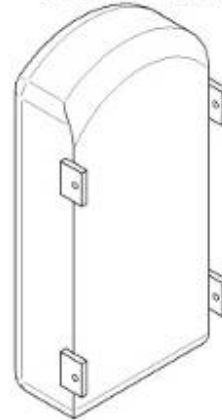
ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados

PRODUCTO: FLOTADORES	MODULO DESNATADOR	4/8
PIEZA N°: 3	DIMENSIONES	
NOMBRE: FLOTADOR.	LARGO:	258 mm
MATERIAL: ACERO INOX.	ANCHO:	561.8 mm
CANTIDAD: 4	CALIBRE:	14

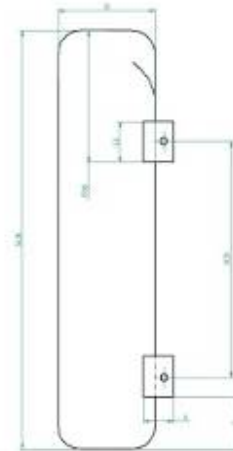
frontal



ISOMETRICA FLOTADOR



lateral

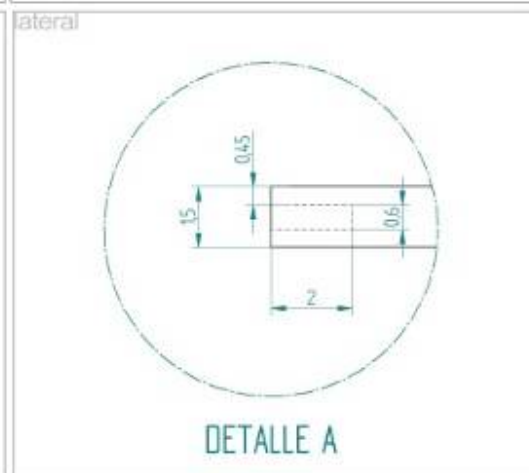
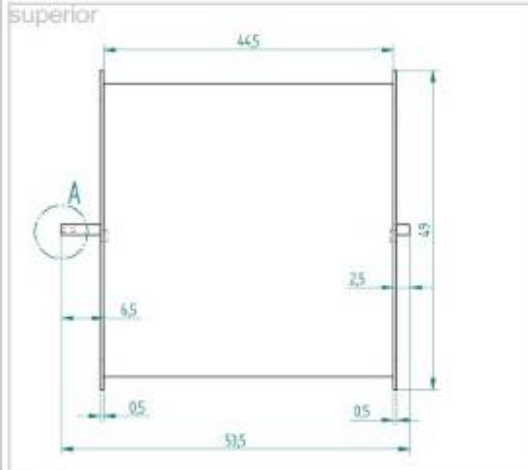


N°	PROCESO	MAQUINARIA
1	TRAZADO LAMINA	METRO-COMPAS
2	CORTE LAMINA	CORTADORA
3	DOBLADO	DOBLADORA
4	SOLDADURA	MAQUINA SOLD.
	PERFORACION	TALADRO BANCO
	Siguiente operación:	ARMADO
	Observaciones:	



ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados

PRODUCTO: TAMBOR GRAV.	MODULO DESNATADOR	5/8
PIEZA N°: 5	DIMENSIONES	
NOMBRE: GRAVITACIONAL.	LARGO:	535 mm
MATERIAL: POLIETILENO ALTA.	ANCHO:	490 mm
CANTIDAD: 2	CALIBRE:	4 mm

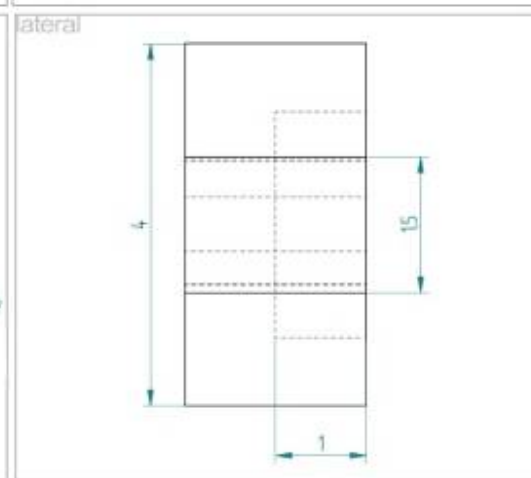
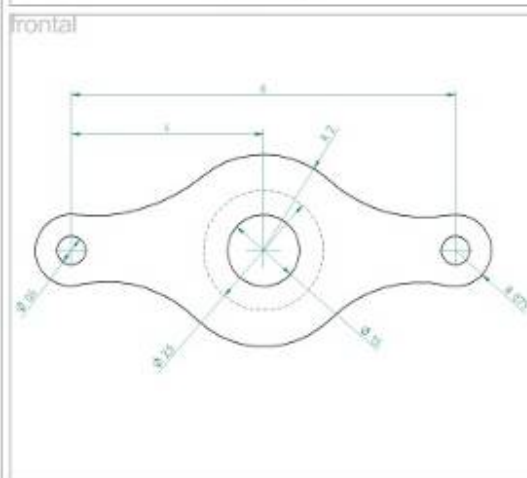
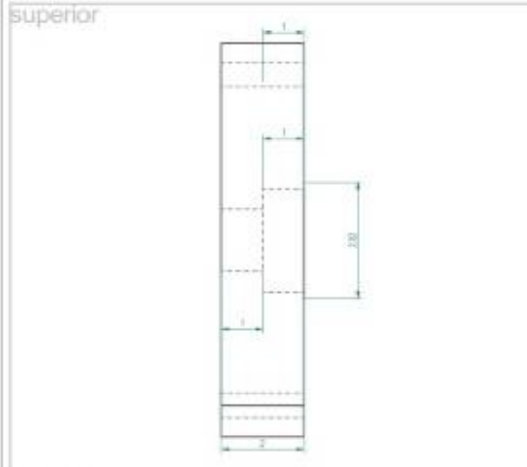


N°	PROCESO	MAQUINARIA
1	LIMPIEZA TAMBOR	COMPRESOR
2	MAQUINADO EJE	TORNO
3	MAQUINADO CUÑERO	FRESADORA
4	PERFORACION	TALADRO BANCO
Siguiete operación:		ARMADO
Observaciones:		



PRODUCTO: CHUMACERA	MODULO DESNATADOR	6/8
PIEZA N°: 6	DIMENSIONES	
NOMBRE: RODAMIENTO	LARGO:	125 mm
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE	ANCHO:	20 mm
CANTIDAD: 2	CALIBRE:	NA

ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados



N°	PROCESO	MAQUINARIA
1	LIMPIEZA CHUMACERA	COMPRESOR
2	LIJADA CUERPO	LIJA
3	RECUPERACION RODAMIENTO	LESADORA
4	ALINEACION	MASTER TREND

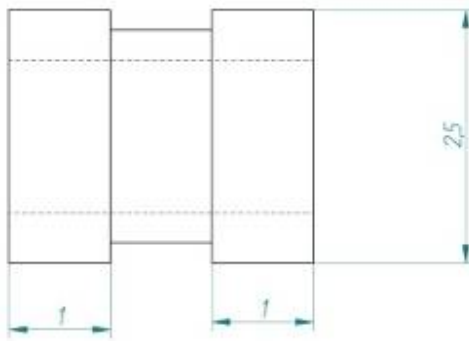
Siguiente operación: ARMADO  
 Observaciones:



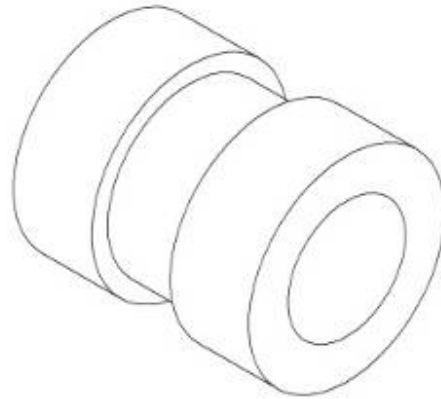
ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados

PRODUCTO: BUJE RETENEDOR	MODULO DESNATADOR	7/8
PIEZA N°: 7	DIMENSIONES	
NOMBRE: BUJE	LARGO:	30 mm
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE	ANCHO:	25 mm
CANTIDAD: 2	CALIBRE:	NA

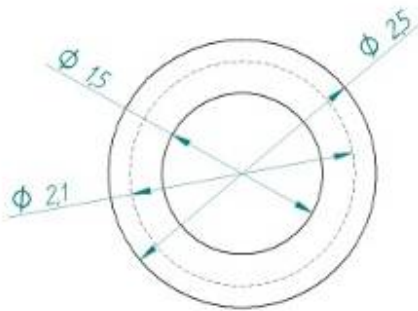
superior



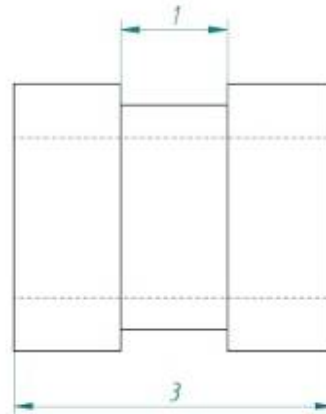
ISOMETRICA BUJE RETENEDOR



frontal



lateral



N°	PROCESO	MAQUINARIA
1	MAQUINADA BUJE	TORNO
2	PERFORADA	TALADRO VERT.
3	ALINEACION	MASTER TREND
4		
Siguiete operación:		ARMADO
Observaciones:		



ECOPETROL. Dimensiones en mm y grados

PRODUCTO: BUJE RETENEDOR	MODULO DESNATADOR	8/8
PIEZA N°: 13	DIMENSIONES	
NOMBRE: GENERAL	LARGO:	850 mm
MATERIAL: NA	ANCHO:	1225 mm
CANTIDAD: 13	CALIBRE:	NA

ISOMETRICA DE ARMADO

