

## ÍNDICE GENERAL

	PAG.
Índice general.....	i
Índice de cuadros.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	viii

## CAPITULO I

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 EL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 GENERAL.....	4
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	4
1.4 HIPÓTESIS.....	5

## CAPITULO II

<b>INVESTIGACIÓN TEÓRICA Y DE CAMPO</b>	
2.1 PROCESO DE REFINACIÓN DE PETRÓLEO.....	6
2.1.1 Separación.....	6
➤ Destilación atmosférica.....	6
➤ Destilación al vacío.....	7
2.1.2 Conversión.....	7
2.2 REFINERÍA AMAZONAS.....	7
➤ Corte Kero.....	8
➤ Corte Jet/Fuel.....	8
2.2.1 Unidad de crudo.....	8
2.2.2 Horno de carga C-H001.....	11
2.2.3 Torre de destilación atmosférica C-V001.....	12
2.2.4 Control.....	14
2.3 DERIVADOS DEL PROCESO DE REFINACIÓN.....	14
➤ Gasolina.....	14
➤ Combustible de propulsión.....	14
➤ Kerosén.....	15
➤ Diesel.....	15

➤ Slop.....	15
➤ Residuo.....	16
2.3.1 Sistema de chimenea.....	16
2.4 USOS DEL AGUA Y GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	16
2.4.1 Tratamiento de efluentes.....	19
2.4.1.1 Calidad del agua de entrada al tratamiento.....	21
a) pH.....	22
b) Grasas y aceites.....	22
c) Demanda bioquímica de oxígeno.....	22
d) Demanda química de oxígeno.....	23
e) Sólidos totales disueltos.....	23
f) Cloruros.....	23
g) Temperatura.....	23
h) Conductividad eléctrica.....	23
i) Fenoles.....	24
2.5 FENOLES.....	24
2.5.1 Toxicidad.....	25
2.6 TRATAMIENTO DE FENOLES EN AGUAS RESIDUALES.....	26
➤ Extracción.....	27
➤ Adsorción.....	27
➤ Intercambio iónico.....	28
➤ Oligomerización enzimática.....	28
➤ Incineración.....	28
➤ Oxidación con agua supercrítica.....	29
➤ Oxidación con aire húmedo.....	30
➤ Tratamiento electroquímico.....	30
➤ Proceso H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /pH.....	30
➤ Degradación de contaminantes por H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV.....	31
➤ Degradación de contaminantes por O <sub>3</sub> /UV.....	32
➤ Degradación de contaminantes por TiO <sub>2</sub> /UV.....	33
➤ Degradación de contaminantes por sonoquímica.....	33
➤ Degradación biológica de contaminantes.....	33
➤ Oxidación catalítica.....	34
➤ Arcillas modificadas vía intercalación-pilarización.....	34
2.7 LAS ARCILLAS.....	35
2.7.1 Formación.....	35
2.7.2 Definición y composición.....	35
2.7.3 Composición química de una arcilla esmectita.....	37
2.7.4 Características físico-químicas de las arcillas.....	37
2.8 MODIFICACIONES ESTRUCTURALES DE LA ARCILLA.....	38
2.8.1 Termoactivación.....	38
2.8.2 Pilarización.....	39
2.8.3 Otros usos de las arcillas.....	40
➤ Procesos de remoción de compuestos orgánicos y metales pesados empleando arcillas.....	41
➤ Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorantes.....	41
➤ Remoción de arsénico a nivel domiciliario.....	41

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
3.2 CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	45
3.2.1 Plan de muestreo.....	45
3.2.1.1 Puntos de muestreo.....	47
➤ Punto 1 Separador de aceite "CPI".....	47
➤ Punto 2 Planta de Tratamiento.....	47
➤ Punto 3 Tambor de Reflujo CV – 005.....	48
➤ Punto 4 Salida total de aguas residuales de Refinería 2.....	48
➤ Punto 5 de Emisión.....	48
➤ Punto 6 de Inmisión.....	48
3.2.1.2 Frecuencia de muestreo.....	48
3.2.1.3 Tipo de muestra, condiciones de muestreo.....	49
3.2.1.4 Parámetros a evaluarse en las aguas residuales.....	49
3.2.1.5 Manejo de muestras.....	50
3.2.2 Medición de caudales.....	50
➤ Medición volumétrica.....	50
➤ Medición a canal abierto forma trapezoidal.....	51
3.2.3 Tratamiento estadístico de los resultados.....	51
3.3 MATERIALES EQUIPOS Y REACTIVOS.....	51
3.4 SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	52
3.4.1 Pruebas preliminares.....	52
Caracterización de las arcillas.....	53
Activación.....	53
➤ Mineralogía.....	53
➤ Capacidad de intercambio catiónico.....	53
➤ Materia orgánica.....	54
➤ pH.....	54
➤ Lavado y decantación.....	54
➤ Activación química con HCl.....	54
➤ Activación catalítica.....	54
➤ Activación térmica.....	55
3.4.2 Ensayos.....	56
3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	57
➤ Arcillas seleccionadas.....	57
➤ Operaciones unitarias.....	57
1. Oxigenación con aire y agitación.....	58
2. Oxidación con peróxido de hidrógeno.....	58
3. Catálisis mediante arcillas modificadas.....	58
3.6 DISEÑO DE PLANTA PILOTO.....	58
➤ Tanque de aireación.....	59
➤ Tanque de oxidación.....	59
➤ Reservorio.....	60
➤ Filtro.....	61

➤ Aireación.....	62
3.7 PRUEBAS PRELIMINARES Y AJUSTES.....	64
3.8 TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	65

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES**

4.1 CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	68
➤ pH.....	68
➤ Conductiva eléctrica.....	69
➤ Temperatura °C.....	71
➤ Demanda química de oxígeno (DQO).....	72
➤ Fenoles.....	73
4.2 MEDICIÓN DE CAUDAL.....	75
4.3 CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS.....	78
➤ Composición mineralógica.....	78
➤ Composición físico-química.....	80
4.3.1 Arcillas purificadas.....	81
4.4 PRUEBAS DE PRETRATAMIENTO Y PRELIMINARES.....	82
4.4.1 Pruebas de pretratamiento.....	82
4.4.2 Pruebas preliminares.....	83
4.5 ENSAYOS PILOTO.....	85
➤ pH.....	85
➤ Conductiva eléctrica.....	86
➤ Turbidez.....	88
➤ Hierro.....	89
➤ Demanda química de oxígeno (DQO).....	91
➤ Fenoles.....	92

## **CAPITULO V**

CONCLUSIONES.....	96
-------------------	----

## **CAPITULO VI**

RECOMENDACIONES.....	98
----------------------	----

## CAPITULO VII

RESUMEN.....	99
--------------	----

## CAPITULO VIII

SUMMARY.....	101
--------------	-----

## CAPITULO IX

BIBLIOGRAFÍA.....	103
-------------------	-----

## CAPITULO X

ANEXOS.....	107
-------------	-----

## CUADROS

<b>Cuadro 3.1</b> Coordenadas del polígono (CIS).....	43
<b>Cuadro 3.2</b> Frecuencia de muestreo.....	49
<b>Cuadro 3.3</b> Parámetros seleccionados para el análisis de aguas residuales.....	49
<b>Cuadro 3.4</b> Envase, tipo y tamaño de muestra, preservación y almacenamiento.....	50
<b>Cuadro 3.5</b> Materiales equipos y reactivos.....	52
<b>Cuadro 3.6</b> Volúmenes usados para preparar la arcilla catalizadora.....	55
<b>Cuadro 3.7</b> Planificación de trabajo.....	65

## TABLAS

<b>Tabla 2.1</b>	Parámetros control de calidad en el tratamiento de agua cruda.....	18
<b>Tabla 2.2</b>	Composición media del agua residual en la planta de tratamiento.....	21
<b>Tabla 2.3</b>	Compuestos fenólicos, clasificados por la EPA dentro de las 275 sustancias tóxicas.....	25
<b>Tabla 2.4</b>	Toxicidad del fenol en función de su concentración.....	26
<b>Tabla 4.1</b>	Resultados del análisis del pH, en las aguas residuales del "CIS".....	68
<b>Tabla 4.2</b>	Resultados del análisis de la conductividad eléctrica, en las aguas residuales del "CIS".....	70
<b>Tabla 4.3</b>	Resultados del análisis de la temperatura, en las aguas residuales del "CIS".....	71
<b>Tabla 4.4</b>	Resultados del análisis de la demanda química de oxígeno, en las aguas residuales del "CIS".....	72
<b>Tabla 4.5</b>	Resultados del análisis de fenoles, en las aguas residuales del "CIS".....	73
<b>Tabla 4.6</b>	Valores de fenol en el punto 3.....	74
<b>Tabla 4.7</b>	Medición del caudal del punto 3.....	76
<b>Tabla 4.8</b>	Resumen de los valores promedio de los 6 puntos de muestreo.....	77
<b>Tabla 4.9</b>	Composición mineralógica de la arcilla de Manabí.....	79
<b>Tabla 4.10</b>	Composición mineralógica de la arcilla del Chota.....	79
<b>Tabla 4.11</b>	Caracterización físico-química de la arcilla de Manabí.....	80
<b>Tabla 4.12</b>	Composición mineralógica de las arcillas purificadas.....	81
<b>Tabla 4.13</b>	Caracterización de la "CIC" de las arcillas purificadas.....	81
<b>Tabla 4.14</b>	Resultados de la absorbancia de fenoles.....	82
<b>Tabla 4.15</b>	Resultados de la absorbancia de fenoles.....	82
<b>Tabla 4.16</b>	Resultados de la absorbancia de fenoles.....	83
<b>Tabla 4.17</b>	Resultados de aireación en las aguas residuales del punto 3.....	84
<b>Tabla 4.18</b>	Resultados de dosificación de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , en las aguas residuales del punto 3.....	84
<b>Tabla 4.19</b>	Resultados del análisis del pH, en las aguas residuales del punto 3.....	85
<b>Tabla 4.20</b>	Resultados del análisis de la conductividad eléctrica, en las aguas residuales del punto 3.....	87
<b>Tabla 4.21</b>	Resultados del análisis de la turbidez, en las aguas residuales del punto 3.....	88
<b>Tabla 4.22</b>	Resultados del análisis del hierro, en las aguas residuales del punto 3.....	90
<b>Tabla 4.23</b>	Resultados del análisis de la DQO, en las aguas residuales del punto 3.....	91
<b>Tabla 4.24</b>	Resultados del análisis de fenoles, en las aguas residuales del punto 3.....	93
<b>Tabla 4.25</b>	Resumen de los valores promedio de los tres tratamientos.....	94

## FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Diagrama del proceso general de refinación.....	9
<b>Figura 2.2</b>	Desalador.....	10
<b>Figura 2.3</b>	Horno de Crudo.....	11
<b>Figura 2.4</b>	Domo de Torre.....	12
<b>Figura 2.5</b>	Diagrama del proceso del uso de agua.....	19
<b>Figura 2.6</b>	Diagrama de producción de aguas residuales.....	21
<b>Figura 2.7</b>	Estructura del fenol.....	24
<b>Figura 2.8</b>	Estructura de la montmorillonita.....	36
<b>Figura 2.9</b>	Composición química de una arcilla esmectita.....	37
<b>Figura 2.10</b>	Estructura de la montmorillonita: a) natural b) termoactivada.....	39
<b>Figura 2.11</b>	Proceso de pilarización.....	40
<b>Figura 3.1</b>	Ubicación del área de estudio.....	44
<b>Figura 3.2</b>	Diagrama de flujo del proceso de refinación y ubicación de los puntos de muestreo.....	46
<b>Figura 3.3</b>	Medición volumétrica del caudal.....	50
<b>Figura 3.4</b>	Medición de caudal en canal abierto.....	51
<b>Figura 3.5</b>	Pruebas de pretratamiento en filtros de columna.....	56
<b>Figura 3.6</b>	Horno eléctrico usado en la activación térmica.....	57
<b>Figura 3.7</b>	Tanque de aireación.....	59
<b>Figura 3.8</b>	Tanque de oxidación.....	60
<b>Figura 3.9</b>	Reservorio.....	60
<b>Figura 3.10</b>	Filtro.....	61
<b>Figura 3.11</b>	Compresor para generar aire.....	62
<b>Figura 3.12</b>	Diseño de la planta piloto para el tratamiento del agua residual del punto 3 en el "CIS".....	63
<b>Figura 3.13</b>	Tratamiento del agua residual.....	67
<b>Figura 4.1</b>	Determinación del pH.....	69
<b>Figura 4.2</b>	Determinación de la conductividad eléctrica.....	70
<b>Figura 4.3</b>	Determinación de la temperatura.....	71
<b>Figura 4.4</b>	Determinación de la demanda química de oxígeno.....	72
<b>Figura 4.5</b>	Determinación de fenoles.....	73
<b>Figura 4.6</b>	Determinación de límites potenciales en el punto 3 sobre fenoles.....	75
<b>Figura 4.7</b>	Determinación de límites potenciales en la medición del caudal en el punto 3.....	76
<b>Figura 4.8</b>	Determinación del pH del punto 3 con las tres arcillas.....	86
<b>Figura 4.9</b>	Determinación de la conductividad eléctrica del punto 3 con las tres arcillas.....	87
<b>Figura 4.10</b>	Determinación de la turbidez del punto 3 con las tres arcillas.....	89
<b>Figura 4.11</b>	Determinación del hierro del punto 3 con las tres arcillas.....	90
<b>Figura 4.12</b>	Determinación de la DQO del punto 3 con las tres arcillas.....	92
<b>Figura 4.13</b>	Determinación de fenoles en el punto 3 con las tres arcillas.....	93

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **CÁLCULOS**

Evaluación de la altura y caudal a canal abierto de forma trapezoidal para determinar las curvas de descarga en 4 puntos.

### **ANEXO 2**

#### **CÁLCULOS**

Volúmenes usados para preparar la arcilla catalizadora.

### **ANEXO 3**

#### **LÍMITES PERMISIBLES**

Límites permisibles para el monitoreo ambiental permanente de aguas y descargas líquidas en la exploración, producción, industrialización, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos y sus derivados inclusive lavado y mantenimiento de tanques y vehículos.

### **ANEXO 4**

#### **DOCUMENTOS**

Resultados de análisis realizados en: Escuela Politécnica Nacional (Departamento de Metalurgia extractiva) y Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Químicas (Laboratorio de Química Ambiental).

### **ANEXO 5**

#### **COSTOS Y PLANOS DE INSTALACIONES BÁSICAS**

Costos e instalaciones básicas para el tratamiento de  $1/m^3$  por hora de agua residual.