

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



**"EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA ELIMINACION
DE FORMADORES DE TRIHALOMETANOS DE LAS
AGUAS RESIDUALES DE CARAPONGO POR CARBON
ACTIVADO"**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUIMICO**

Presentado por:

Padilla Castro Luis Antonio
Torres Zapata Miguel Angel

LIMA - PERU

1999

INDICE

	Página
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	9
CAPITULO 11	
2 CONTAMINANTES DEL AGUA	
2.1 Contaminantes del agua	11
2.2 Caracterización de aguas residuales industriales	12
2.3 Caracterización de aguas residuales urbanas	12
2.3.1 Estimación de los vertidos urbanos	13
2.4 Tratamiento de agua residual urbana	17
2.4.1 Principales cadenas de depuración	17
2.4.2 Rendimiento de Depuración	19
2.5 Descripción del rio Rímac (fuente de agua superficial)	20
2.6 Legislación Ambiental	24
2.6.1 Reglamento de desagües industriales	25
2.7 Limites Permisibles	32
2.8 Ley General de Aguas	33
2.9 Impacto ambiental de los contaminantes	35

CAPITULO 111

3 TRIHALOMETANOS

3.1	Aspectos generales - Definición	36
	Precusores de Trihalometanos	
	Naturaleza de los Precusores	
3.2	Acidos fúlvicos y húmicos	38
	Características	
3.3	Remoción de Precusores	40
	Efectos de la Coagulación - Floculación en la remoción	
3.4	Trihalometanos	42
	Naturaleza de los Thms	
	Fórmulas Estructurales de Thms	
3.5	Mecanismo de Formación de Thms.	43
3.6	Características Físicas y Químicas de Thms	45
3.7	Cloración de Aguas Residuales	47
	Aspectos Químicos en la cloración	
3.8	Riesgos de Producción de Tóxicos	54

CAPITULO IV

4 AGUAS RESIDUALES

4.1	Aguas residuales industriales	56
	Composición de aguas residuales	
	Clasificación de aguas residuales	
4.2	Tratamientos Biológicos	57
	Lagunas de Estabilización	
4.3	Operación de lagunas de estabilización	60
4.3.1	Observaciones de rutina	62
4.3.2	Coloración y apariencia de las lagunas	63

4.3.3	Transparencia	64
4.3.4	Prevención de vectores	65
4.3.5	Prevención de olores	65
4.3.6	Declinación de pH	67
4.4	Programa de medición de parámetros	68
4.5	Planta de Tratamiento de aguas residuales de Carapongo	70
	Generalidades - ubicación	70
	Composición - sistemas de tratamiento	71
	Diagrama de proceso de tratamiento - características	72
4.6	Procesos Físicoquímicos	74

CAPITULO V

5. CARBON ACTIVADO

5.1	Carbón Activado - Adsorción- Características	76
5.2	Procesos de Adsorción - Adsorción	77
5.2.1	Tipos de Adsorción	78
5.2.2	Equilibrios de adsorción	79
5.2.3	Isoterma de adsorción	80
5.2.3.1	Determinación de Isotermas de adsorción	81
5.2.4	Determinación de la capacidad de adsorción	83
5.2.4.1	Cálculo de la capacidad de adsorción	85
5.2.5	Evaluación experimental de carbones activados	86
5.2.6	Cinética de adsorción	87
5.3	Tipos de adsorbentes	90
5.3.1	Naturaleza de los adsorbentes	90
5.4	Descripción del carbón activado	94

5.4.1	Manufactura del carbón activado	95
5.4.2	Regeneración del carbón activado	100
5.5	Propiedades del carbón activado	101
5.6	Aplicaciones de los carbones activados	104
5.7	Carbón activado para la remoción de compuestos orgánicos específicos	106

CAPITULO VI

6 PARAMETROS DE ANALISIS.

6.1	Parámetros Químicos	108
	Carbón Orgánico Total (COT)	108
6.1.2	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	109
6.1.3	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	111
	• Método reflujó abierto	111
	• Método Digestión por reactor HACH - Espectrofotómetro DR - 2000.	113
6.1.4	Demanda de cloro	115
6.2	Parámetros Físicos	116
6.2.1	Color - Principio	116
6.2.2	Turbidez	119
6.2.3	Sólidos	120
6.2.4	Sólidos Totales	121
6.2.5	Sólidos Suspendidos	123
	Sólidos Fijos y Volátiles	124
6.2.6	Sólidos Sedimentables	126
6.3	Parámetros Biológicos	126
	Análisis Bacteriológicos	

	Método de tubos múltiples.	
6.4	Métodos Analíticos para compuestos específicos	131
6.5	Métodos Analíticos para determinar Trihalometanos	133
6.5.1	Formación de Thms.	133
6.5.1.1	Toma de muestras	
6.5.1.2	Potencial de formación de Thms (PTF)	134
6.5.2	Método de extracción liquido - liquido con cromatografía de Gases.	139
6.6	Remoción de Thms por floculación - coagulación	144

CAPITULO VII

7.1	Estadística - Datos Históricos de parámetros evaluados en	
	PTAR - Carapongo- tablas gráficos.	146
7.1.1	DBO - Ptar 96	146
7.1.2	Sólidos Totales - Ptar 96	147
7.1.3	Sólidos Suspendidos - Ptar 96	148
7.1.4	Resumen Hidrobiológico - Ptar 96	149
7.1.4.1	Fitoplanctón	
7.1.4.2	Zooplanctón	
7.1.5	Caudal de Ingreso - Ptar -96	151
7.1.6	Resumen comparativo parámetros de Diseño	152
7.1.7	Balance entre Suministro y Demanda de Oxígeno	153
7.1.8	Relación entre DQO y DB05 del desagüe crudo de Ptar - Julio 97.	154

CAPITULO VIII

8 PRUEBAS EXPERIMENTALES

8.1	Caracterización y Monitoreo de PTAR - Cara pongo	161
8.1.1	pH - Temperatura	161
8.1.2	Sólidos Totales - Sólidos Suspendidos	163
8.1.3	ST - SS - SD.	164
8.1.4	DBO-DQO	165
8.1.5	DBO ₅ - Sólidos Suspendidos	166
8.1.6	Coliformes fecales	167
8.1.7	Coliformes - Gráfico	168
8.1.8	Carga Orgánica Aplicada Ptar	169
8.1.9	Eficiencia de remoción de carga orgánica	170
8.1.1 O	Resumen de Caracterización de Ptar .	171
8.2	Evaluación de la remoción de contaminantes por coagulación	172
8.2.1.	Agua Sintética (Dosificación de Sulfato de Aluminio, pH = 7.2)	172
8.2.2.	Agua Sintética (Dosificación de Sulfato de Aluminio, pH = 5.5)	173
8.2.3.	Efluente de PTAR - Carapongo (Dosif. Sulfato de Aluminio, pH = 5.5)	174
8.2.4.	Efluente de PTAR - Carapongo (Dosif. 30 mg / L de Sulfato, pH = 5.5)	175
8.2.5.	Efluente de PTAR - Carapongo (Dosif. 30 mg / L de Sulfato, pH = 7.2)	176
8.2.6.	Efluente de PTAR - Carapongo (Dosif. 9 mg / L de Polímero, pH = 7.2)	177
8.2.7.	Resultados Generales - Prueba de Jarras.	178
8.3	Evaluación de la remoción de contaminantes por PAC	179
8.3.1	Variación de Turbidez (Dosif. de PAC)	179
8.3.2	Variación de Turbidez, Color (Dosif. de PAC), Tablas 10.2.1 - 10.2.3.	180
8.3.3	Variación de Turbidez, Color (Dosif. de PAC), Tablas 10.3.1 - 10.3.4.	182
8.3.4	Isoterma de Adsorción	185
8.4	Evaluación de la remoción de contaminantes por GAC	186
8.4.1.	Remoción de DBO 5 , Turbidez, Color, Absorvancia y Carbón Orgánico	

Total por medio de filtros de Carbón Activado.	186
Remoción de DBO ₅ (Flujo 50 cm ³ / min.).	
8.4.2. Remoción de DBO ₅ (Flujo 100 cm ³ / min.).	187
8.4.3. Remoción de DBO ₅ (Flujo 125 cm ³ / min.).	187
8.4.4. Remoción de DBO ₅ (Flujo 150 cm ³ / min.),	187
8.4.5. Resultados de % de Remoción de DBO ₅ .	188
8.4.6. Remoción de Turbidez, Color, Absorvancia, Carbón Orgánico total (flujo 50 cm ³ /min).	189
8.4.7. Curva de Ruptura - Absorvancia (254 nm)	191
8.4.8. Correlación entre Absorvancia y Carbón Orgánico total.	191
8.5 Evaluación de la remoción de contaminantes por Filtros de AC	193
8.5.1. Requerimiento de Cloro	193
8.5.2. Requerimiento de Cloro	194
8.5.3. Formación de Trihalometanos (Potencial básico, pH = 9.2)	196
8.5.4. Formación de Trihalometanos (Potencial de Formación, pH = 7.0)	197
8.5.5. Remoción de formadores de trihalometanos	198

CAPITULO IX

9 COSTOS A NIVEL DE LABORATORIO	199
9.1 Costos de la investigación	199
9.1.1 Costo del producto químico	200
9.1.2 Costo del acondicionamiento y equipos	200
9.1.3 Costo de los análisis Físicoquímicos	201
9.1.4 Costo de la mano de obra	201
9.1.5 Resumen general de costos	201
9.2 Costo referencial de tratamiento	202

CAPITULO X

10	OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	203
-----------	-------------------------------------	------------

CAPITULO XI

BIBLIOGRAFÍA	210
APÉNDICE	214
Tabla 11-1, Tabla 11-2 Componentes Insolubles y Solubles	215
Tabla 11-3, Perfil de aguas crudas de desecho.	216
Tabla 11-4, Determinación de materia orgánica - pruebas	217
Tabla 11-5, Relaciones teóricas de pruebas	218
Tabla 11-6, Posibilidades de tratamiento de efluentes urbanos	219
Tabla 11-12, Ley general de aguas - Límites.	220
Tabla 11-13, Normas de vertido de aguas residuales.	221
Tabla III-1A Formulas de trihalometanos	222
Tabla IV-1, Relación de vertidos industriales.	223
Figuras 1,2,3, Alternativas de tratamiento fisicoquímico	229
Tabla IV-2, Características fisicoquímicas de efluentes	232
Tabla V-2, Determinación de Coliformes Fecales.	233
Información técnica carbón activado Filtrasorb F300, F400.	234
Información técnica carbón activado WPH.	236
Información técnica Coagulante Magnifloc 573C.	237
Método de determinación de DQO.	239
Método de determinación de color.	243
Método de determinación de cloro libre.	245

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Este tema ha sido preparado para la planta de aguas residuales de Carapongo - Sedapal, y es referente a remoción de formadores de trihalometanos por carbón activado, se sabe que la formación de Trihalometanos en la clorinación de aguas es causada por la presencia de material precursor orgánico, como son las sustancias húmicas y fúlvicas. Los Trihalometanos como el cloroformo son compuestos de propiedades cancerígenas comprobadas y su presencia en el agua es regulada por la EPA en 0.1 mg / lt de Thms.

La planta de tratamiento de aguas residuales PTAR CARAPONGO, esta ubicada en el km. 17.5 de la carretera central, opera desde junio de 1988 y recibe los desagues de las localidades de Chosica, Chaclacayo y Huaycán.

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales de Carapongo no realiza la clorinación del efluente final después que ha sido tratado por lagunas de estabilización, a pesar que cuenta con una caseta de clorinación por cloro gaseoso, la formación de trihalometanos es un factor determinante para la no dosificación del cloro gaseoso.

El tema de Tesis " Evaluación Experimental de la remoción de formadores de Trihalometanos de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Carapongo por Carbón Activado ", tiene por finalidad presentar una alternativa adicional de tratamiento en la remoción de estos compuestos, para este propósito el presente estudio se divide en 5 fases :

1. Caracterización y monitoreo de las aguas residuales de Carapongo.
2. Evaluación de la remoción de ciertos parámetros (turbidez, color, absorvancia, etc) por coagulación.
3. Evaluación de la remoción de los parámetros como: turbidez, color, etc., por adsorción usando carbón activado en polvo (PAC).

4. Evaluación de la remoción de los parámetros como: OBO_5 , turbidez, color, absorvancia y carbón orgánico total, por medio de filtros de carbón activado granular (GAC).
5. Evaluación de la remoción de Trihalometanos por medio de filtros de carbón activado granular.

Para complementar las pruebas experimentales se presenta los conocimientos teóricos referidos a contaminantes del agua, trihalometanos, carbón activado y sobre los métodos de análisis de los contaminantes evaluados en la caracterización.

La fase 5, muestra la cuantificación de los trihalometanos que se pueden formar después que el efluente final de la planta de Carapongo, es puesto en contacto con carbón activado por medio de filtros eliminando parte del material húmico presente, luego se procede a la clorinación de este efluente para formar el trihalometano con el material húmico remanente.

Debido a que el análisis de ácidos húmicos - fulvicos requiere de métodos complicados basados en extracción por medio de resinas especiales no se realizan estas evaluaciones, utilizando otros parámetros indirectos de medición para evaluar la remoción.

Los carbones activados (granular -GAC- y polvo -PAC-) para estas evaluaciones son de marca **CALGON** proporcionado por la empresa **MERCANTIL S.A,** (representantes en el Perú de CALGON CARBON CORPORATION - USA), con las características apropiadas para remover trihalometanos según especificaciones técnicas de los productos.

La aplicación del carbón activado es uno de los avances tecnológicos en los procesos de tratamiento de aguas. Muchos resultados muestran la efectividad de la adsorción de sustancias húmicas (precursores de trihalometanos) y trazas de componente orgánicos.

CAPITULO 11

2 CONTAMINANTES DEL AGUA

Introducción

Se ha demostrado que la introducción de contaminantes en las fuentes acuíferas esta relacionada con la lluvia, la naturaleza geológica de la cuenca colectora o del manto acuífero y las actividades de la naturaleza y de la población humana.

Una de las propiedades más notables del agua natural es la capacidad que tiene para reducir la contaminación orgánica mediante la acción bacteriana. Esta propiedad, junto con el hecho que cuando se vierten desechos en aguas naturales, éstos se diluyen mucho, ha permitido que el hombre use las vías acuáticas para deshacerse de grandes cantidades de desecho. Sin embargo, conforme aumenta los volúmenes de desechos, debido al crecimiento poblacional e industrial, comienza a reducirse la capacidad de las aguas para tratar esa carga de contaminación. Asimismo, la calidad de las aguas residuales, debido al desarrollo de nuevos productos químicos, exige que éstas sean tratadas antes de ser vertidos.

21 CONTAMINANTES DEL AGUA - SOLUBLES - INSOLUBLES

Los contaminantes del agua caen en dos categorías: Componentes Insolubles (tabla 11 -1, ver apéndice) y Materia disuelta (tabla 11 -2, ver apéndice) , se incluyen los gases disueltos en los análisis de los ciclos biológicos que afectan la calidad del agua.

Muchos de los materiales son transitorios debido a la actividad biológica. El cambio en el contenido de CO_2 y O_2 con la luz solo es un ejemplo de esto.

Otro equilibrio entre NH_3 , N_2 , NO ; y NO^1 ciclo de Nitrógeno.

2.2 CARACTERIZACION DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Caracterizar los residuos líquidos de una planta se circunscribe a la determinación del caudal y la calidad de éstos. La calidad del agua residual estará definida por los parámetros físicos químicos y biológicos, cada Industria tendrá su propio perfil de agua residual. En la tabla 113, ubicada en el apéndice se resumen los perfiles de aguas residuales crudas, de varias industrias.

Las pruebas que se muestran en la tabla 114 (ver apéndice) indican la presencia de materiales que contienen carbono.

El registro de los volúmenes de agua que requieren tratamiento es de primordial importancia. Debe medirse el flujo de la descarga total de la planta, así como los desechos de los procesos individuales. Para dar datos realistas sobre los flujos que van a tratarse, las mediciones deberían hacerse en períodos largos como sea práctico para mostrar qué variaciones de flujo deben acomodarse a una unidad de tratamiento.

La evaluación y análisis de datos acumulados ha permitido obtener algunas relaciones teóricas entre diferentes índices orgánicos, como se muestran en la tabla 115 (ver apéndice).

2.3 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

Las impurezas contenidas en las aguas residuales urbanas comprenden minerales y materias orgánicas que son arrastradas por la corriente líquida en forma de materias en suspensión (sedimentables, flotantes y coloidales) o, en mayor proporción disuelto en el agua. A estas materias se añaden microorganismos, que pueden degradar las materias orgánicas y provocar fermentaciones pútridas.

Una de las características principal del agua residual urbana es su biodegradabilidad (posibilidad de depuración mediante tratamientos biológicos), que aparece si existe una alimentación equilibrada de las bacterias (nitrógeno y fósforo).

2.3.1 Estimación de los vertidos urbanos.

La contaminación de un agua usada urbana se estima en función de su caudal, de su concentración en materias en suspensión y de su demanda bioquímica de oxígeno. La medida de la demanda química de oxígeno (DQO) permite valorar su contaminación de origen industrial.

A. Caudal:

El caudal es variable a lo largo del día, observándose una o varias puntas. Puede definirse, denominando Q_i al caudal diario:

$$\text{Caudal medio horario diurno } Q_d = \frac{Q_i}{14}$$

$$\text{Caudal medio horario diario } Q_m = \frac{Q_i}{24}$$

Q_d puede variar entre $\frac{Q_i}{12}$ y $\frac{Q_i}{18}$ según las condiciones y la importancia de los vertidos industriales.

El caudal punta en tiempo seco puede calcularse por la fórmula:

$$Q_p = Q_m \left(1,5 + \frac{2,5}{J_0} \right) \text{ y } Q_m \text{ expresados en l/s, con } p$$

un límite de un coeficiente de punta igual a 3 como máximo.

B. Cargas de OB_5

Con un nivel de vida creciente, se aprecia un aumento de la carga de contaminación por usuario y, al mismo tiempo, del volumen de agua usada (el caudal de agua, por otra parte, crece más rápidamente que la carga, de forma que las aguas usadas tienden a ser más abundantes y menos concentradas).

La concentración de OB_5 varía a lo largo del día. la punta horaria de contaminación puede llegar a ser hasta 10 veces la contaminación horaria media.

C. Cargas de materias en suspensión (MeS)

MeS cargas de materias sólidas aportadas por las aguas residuales. Estas aportaciones de MeS se entienden después del desbaste y desarenado.

D. Biodegradabilidad

La presencia de materia orgánica no degradables o que se degradan muy lentamente, de reductores químicos, o de inhibidores biológicos,

produce un aumento de las relaciones, teórica $\frac{DQO}{OB_5}$ y práctica

$\frac{DQO}{OB_5}$, que revela una contaminación industrial.

Con un agua de este tipo se corre el peligro que, después del tratamiento, su DQO sea alto.

La calidad de la OB_5 de las materias orgánicas puede indicar igualmente la presencia de aguas industriales.

En las aguas residuales urbanas, sin vertidos industriales, la OB_5 se descompone aproximadamente en:

- 66% correspondiente a la DBO_5 de las materias en suspensión o coloidales.
- 34% correspondiente a la DBO_5 de las materias disueltas.

En general, la proporción de la DBO (soluble) aumenta con el porcentaje de vertidos industriales en el efluente.

E. Influencia de los vertidos de aguas residuales industriales

La proporción de vertidos residuales industriales en las aguas residuales urbanas aumenta constantemente; el tratamiento de la mezcla es, generalmente, más económico que los tratamientos separados, pero si el vertido contiene cuerpos tóxicos e inhibidores biológicos, es totalmente indispensable un tratamiento previo en la planta.

Pueden estimarse la importancia y los efectos de la presencia de vertidos industriales en un agua residual urbana, comparando las características de esta agua con las de un agua usada urbana que no reciba ningún vertido industrial. Esta comparación puede realizarse sobre la bases de los siguientes criterios:

- **Presencia de nitrógeno:** en las aguas residuales urbanas, el contenido en nitrógeno total (NTK) es del orden del 15 al 20% del de la DBO_5 .
- **Efecto del pH:** El pH de las aguas residuales urbanas se encuentra, generalmente, próximo al valor neutro, entre 7 y 7,5 aproximadamente. Un pH distinto indica una contaminación industrial. La depuración biológica puede realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5.
- **Potencial de oxidación - reducción o potencial Redox (E_H);** poder oxido-reductor (rH); las aguas residuales urbanas, no

mezcladas, y suficientemente frescas, tiene, un potencial de oxidación-reducción del orden de + 100 mV, para un pH aproximado de 7, a un rH de 17 a 21 aproximadamente. Un potencial de +40 mV (que equivale a un rH = 15 a pH 7) o negativo, es característico de un medio reductor (aguas sépticas, fermentaciones pútricas, empalme de fosas sépticas, presencia de reductores químicos). Un potencial superior a +300 mV (es decir rH = 24, a pH 7) indica un medio oxidante anormal.

- **Toxicidad e inhibición:** la presencia de metales pesados Cu^{2+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} ... aún en pequeña cantidad (0,1 mg/l), puede anular la acción de las bacterias.

Los sulfuros, en una concentración de 25 mg/l, detienen completamente el crecimiento biológico de un fango activado que no se haya aclimatado previamente.

Existen numerosos productos tóxicos, cuyo vertido a la red de alcantarillado y con mayor razón a un medio receptor natural, está prohibido legalmente (por ejemplo, los cianuros, compuestos cíclicos hidroxilados, etc).

- **Equilibrio de nutrición:** en las aguas industriales se encuentra generalmente un déficit de nitrógeno y fósforo. En algunas casos, es necesaria una aportación de nutrientes para restablecer las relaciones.

$$\frac{\text{DBO}_5}{\text{N}} \diamond 20 \quad \text{y} \quad \frac{\text{DBO}_5}{\text{p}} \diamond 100$$

Un desequilibrio puede ser causa de mal funcionamiento de la depuración biológica: bajo rendimiento de depuración.

- **Temperatura:** las variaciones de temperatura afectan igualmente a los procesos de depuración.

2.4 TRATAMIENTO -AGUA RESIDUAL URBANA

El fin del tratamiento consiste en obtener un agua depurada cuya contaminación se limite a un grado tal, que su vertido no ocasione ningún perjuicio a la fauna y a la flora del medio receptor.

La reglamentación sanitaria fija, en cada país, el límite de contaminación tolerada en los vertidos a los ríos.

Los criterios de depuración deberán determinarse, en cada caso, en función de las posibilidades de auto-depuración del medio receptor y de la contaminación global de todos los vertidos. El grado de contaminación límite de un río depende de su clasificación (río de fuerte contaminación, utilizado como desagüe de aguas usadas con contenidos de oxígeno disuelto $O_2 \approx 4 \text{ mg/l}$).

El agua depurada contiene todavía impurezas minerales (nitrogenadas o fosfatadas) y orgánicas no biodegradables (detergentes, pesticidas, etc.). En algunos casos, es preciso realizar un tratamiento terciario.

2.4.1 Principales cadenas de depuración - Rendimientos

La depuración de un efluente urbano puede poner en juego, por separado o conjuntamente:

- instalaciones de depuración física:
 - Pretratamiento (desbaste, desarenado, etc.)
 - Decantación primaria (tratamiento primario) que elimina las materias en suspensión sedimentables y flotantes.
- instalaciones de depuración físico-química: en ellas pueden separarse, por coagulación, las materias en suspensión no sedimentables, obteniéndose así un resultado más eficaz que mediante una simple

decantación; la coagulación elimina igualmente ciertos metales pesados, así como los fosfatos.

- instalaciones de depuración biológica con las que se obtiene una eliminación más completa de la contaminación orgánica por acción bacteriana;
- instalaciones de tratamiento y secado de los fangos (fangos primarios depositados en los decantadores primarios, y fangos en exceso producidos en el tratamiento biológico).

En ciertas estaciones de depuración de importancia media, puede adoptarse este esquema principal, suprimiendo la decantación primaria y efectuando un tratamiento biológico aerobio simultáneo de las aguas y de los fangos.

En algunos casos, en los que sólo se desea una depuración parcial, pueden ser suficientes las instalaciones de depuración física.

Por el contrario, si es necesario obtener un grado de depuración muy alto o la eliminación de cuerpos residuales no biodegradables, debe preverse un tratamiento terciario, por ejemplo:

- afinado de la DBO y de las MeS_5 ;
- eliminación de fosfatos;
- desnitrificación;
- eliminación de productos tensoactivos.
- cloración.

Es necesario, sin embargo, estudiar convenientemente las condiciones de eliminación de fangos y los gastos de explotación.

2.4.2 Rendimiento de depuración de los distintos procedimientos

El rendimiento de la depuración depende de numerosos factores, en especial:

- regularidad del caudal y de la carga del efluente a tratar;
- proporción de agua residual industrial;
- concentración del agua bruta;
- temperatura del agua.

La tabla 11- 6 (ver apéndice) se indican los rendimientos obtenidos con los diferentes tipos de procedimientos.

Los rendimientos de eliminación, en porcentaje, pueden estimarse como sigue:

- **Decantación primaria** (tratamiento físico).

En el caso de aguas urbanas solas:

- Eliminación de DBO del orden del 35%.
- Eliminación de Mes sedimentables hasta el 90%.

La presencia de aguas industriales puede reducir hasta el 10% el rendimiento de eliminación de la DBO.

- **Decantación después de floculación** (tratamiento físico-químico).

- Eliminación de la DBO del orden del 70%.
- Eliminación de las Mes totales hasta el 90%.

- **Depuración biológica:** Puede obtenerse un rendimiento elevado de reducción de la DBO (más del 95%) en instalaciones tradicionales de pequeña carga másica (inferior a 0,30 Kg de DBO_5 /Kg de MeS en la aeración).

Un incremento del rendimiento da lugar a un aumento del consumo de energía, especialmente sensible si se llega a la nitrificación.

Hay que tener en cuenta, por otra parte, que en la depuración biológica se utilizan depósitos de aeración y de clarificación, que constituyen una unidad de tratamiento inseparable.

- **Tratamiento terciario:** bajo esta denominación se agrupan cierto número de tratamientos destinados a completar generalmente una depuración biológica (o secundaria). Estos tratamientos comprenden, principalmente: filtración, aeración en lagunas, cloración, post-precipitación química, adsorción a través de carbón activo, desmineralización, etc.

2.5. DESCRIPCIÓN DE NUESTRA FUENTE DE AGUA SUPERFICIAL (RÍO RÍMAC) (CUERPO RECEPTOR) CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS

El río Rimac que es nuestra única fuente de agua natural en la actualidad tiene un alto grado de contaminación.

La materia orgánica son sustancias químicas de origen animal, vegetal o industrial.

La que proviene de desagües domésticos consiste en residuos alimenticios, excretas, materia vegetal, proveniente de los desperdicios de cocina, sales minerales, orgánicas y materiales diversos como jabón, detergentes, sintéticos. Algunos son sólidos, otros en solución o en suspensión coloidal. En general la materia orgánica agrupa a complejos proteínicos, grasas, hidratos de carbono, que por acción de las bacterias saprófitas es descompuesta a sustancias más sencillas y produciendo gases como bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, metano, amoníaco, ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas.

La contaminación orgánica afecta en mayor o menor grado el balance de oxígeno disuelto en aguas, DBO es la cantidad necesario de oxígeno para estabilizar la materia orgánica carbonácea, mediante acción bioquímica aeróbica.

Al discurrir el río ocurre un fenómeno de reaereación el cual proporciona oxígeno de la atmósfera y trata de compensar en los extremos la deficiencia originada por la estabilización de la materia orgánica.

El río Rímac nace en las cumbres de los Andes y en su corto recorrido de 125 Kms. desciende cerca de 5,000 m., desde las empinadas laderas de la Cordillera, se producen deslizamientos de tierras que se precipitan sólo en épocas de lluvias.

Recibe descargas de vertimientos domésticos, industriales, agrícolas, pecuarios, energéticos, piscícolas a todo lo largo de su recorrido sin tratamiento previo, eventualmente recibe relaves de minas por lo que se considera un río que tiene gran cantidad de compuestos orgánicos (materia orgánica), inorgánica, microorganismos, etc.

Vertimientos domésticos.- Representan el 36.6% del total de las descargas identificadas.

Vertimientos industriales.- Que más impacto causan a la calidad fisicoquímica de las aguas del Río Rímac son:

- Vertimiento industrial de la Papelera Atlas S.A.
- Vertimiento perteneciente a la Maltería Lima S.A.
- Vertimiento de la papelera S.A.
- Vertimiento de Tejidos Unión S.A.
- Vertimiento industrial del calzado Bata Rímac.
- Vertimiento de la fábrica de derivados del maíz S.A. (DEMSA)
- Vertimiento ADISA
- Vertimiento de Quimesa a la altura de Santa Clara.
- Vertimiento de TTX S.A. (Fábrica de Vidrios) que vierte aguas de lavado y enfriamiento.
- Vertimiento PROVAICO S.A. arroja aguas de origen doméstico, etc.

Vertimientos energéticos.- No influyen en la calidad del agua, aportan cierta cantidad de agua el río ejemplo:

- Vertimiento en el Km. 36 de la Carretera Central (Huampaní).
- Vertimiento en la localidad de Moyopampa (Distrito de Lurigancho).

Vertimientos agrícolas.- representan el 35.7%. Vienen fuerte influencia sobre la calidad de las aguas del Rimara, ellos llevan consigo restos de fertilizantes, insecticidas que se emplean en el control masivo de plagas.

Tenemos un vertimiento agrícola en Huachipa parte baja conformado por los siguientes subsectores: Huampaní, Ñaña, Carapongo, Nievería, Huachipa, localizados todos en la margen derecha y que son abastecidos a través de pequeños canales individuales, pero los excedentes de riego se van colectando paulatinamente hasta formar un volumen considerable cuyo excedente de riego se descarga a este nivel.

En la margen izquierda del río Rímac se encuentran los siguientes vertimientos.

- Descargas de aguas de riego sobrantes desde Chosica a la altura de Gloria Carapongo (Km. 16 de la Carretera Central).
- Vertimiento aguas de los regantes de Vitarte localizado a la altura de la toma del río Surco en Ate.

Vertimientos Mineros.- Son en total 26 vertimientos mineros a la altura de Casapalca.

- Vertimiento de la Cía. Minera San Nonato Tambo de Viso.
- Vertimiento de la Cía. Minera Miltotingo aguas provenientes de galería mineros explotadas.
- En Santa Eulalia la Cía. Minera Huamipar S.A. descarga aguas de relave.
- En el Km. 50 de la Carretera Central la Cía. Minera Barmine S.A. descarga aguas de relave.
- Aguas que se originan en el área de explotación de la Cía. Minera Pacococha.

- Aguas residuales del área del campamento y de la concentradora Pacococha.
- Aguas de la Cía. Perú Bar S.A. que se encuentra a la altura del Km. 50 de la Carretera Central.
- Aguas de minas provenientes del asiento minero minas Juanita - S.A. en el Km. 50 de la Carretera Central.
- Tunel Gratón. aguas subterráneas pertenecientes a CENTROMIN-PERÚ a la altura del Km. 95 de la Carretera Central.
- Tubería de relaves mineros pertenecientes a la Cía. Perú Bar S.A. que impacta fuertemente en la calidad del río.
- Negociación Minera de Tamboraque.

Vertimientos Pecuarios.- Agrupa a granjas y a centro ganaderos.

- Granja San Pablo frente al Country Club el Bosque en Chaclacayo. Luego siguen las localizadas en la sub-cuenca de Santa Eulalia. La tabla 11-7 muestra la característica de los vertimientos.

TABLA 11-7
CONTAMINACIÓN ORGÁNICA

Tipos de vertimientos	D.B.O. mg/l	D.B.O. Kgr/día	Coliformes /día	Nitrógeno Orgánico	Nitrógeno Orgánico día
a) Vertimiento energético (Huampaní)	3.36	6,096.4	37.9×10^4	0.39	707.62
b) Vertimiento Industrial (papelera peruana)	150	4,847	29.8×10^{10}	5.8	22.55
c) Vertimiento doméstico (Concejo distrital de Chaclacayo)	145	33,232	20.7×10^{15}	2.3	51.27
d) Vertimiento Industrial (Papelera Lugón).	98	2,038	78.32×10^{11}	2.37	36.18

2.6 LEGISLACION AMBIENTAL

La legislación ambiental en el Perú es realmente abundante y data desde el año 1904. Se han emitido aproximadamente 6000 normas legales de las cuales 1200 de ellas están aún vigentes.

En el Perú la norma ordenadora y principal de la política nacional del ambiente es el Decreto Legislativo N° 613 "Código del Medio ambiente y Los Recursos Naturales" promulgado el 7 de Setiembre de 1990. esta norma ha sido modificada por los siguientes dispositivos legales:

- Decreto Legislativo N° 653 (01 .08.91)
- Decreto Legislativo N° 655 (07.08.91)
- Decreto Legislativo N° 757 (13.11.91)
- Decreto Legislativo N° 708 (14.11.91)
- Decreto N° 036 - 90 - ICTI (06.01 .91)
- Decreto Supremo N° 031-91 ICTI (06.11.91)
- Decreto Legislativo N° 635 (08.04.91)

En función de este documento base, a partir del año 1992 se ha iniciado en el Perú, un programa de Protección al Medio Ambiente. De acuerdo a la modificación del código los sectores (Ministerios) han iniciado sus programas, así tenemos:

Ministerio de Industria

R.O. N° 080-92-ICTI-DGI (22-05-92) Abre registro de entidades a ser autorizadas para realizar estudios de Impacto Ambiental;

Ministerio de Energía y Minas

R.M. n° 143-92-EMNMM (13-07-92) Abre el registro de entidades a ser autorizadas para ser realizar estudios de Impacto Ambiental.

- D.L. N° 25763 (11-10-92) Ley de Fiscalización de Actividades Minero Energéticas por terceros.

- D.S. N° 012-93-EM Reglamento de la Ley de Fiscalización de Actividades Minero Energéticas
- D.S. N° 046-93-EM (12-11-92) Reglamento para la protección ambiental en las actividades de Hidrocarburos y su modificación D.S. 009-95-EM (13-05-95)
- D.S. N° 016-93-EM (01-05-93) Reglamento de la Ley General de la Minería sobre el medio ambiente.
- R.M. N° 8 011-96-EMNMM (13-01-96) Aprueban los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos Minero Metalúrgicos.

2.6.1 Reglamento de Desagües Industriales

Legislación Sanitaria sobre aspectos de Salud Ambiental

Decreto Supremo N° 28/60 ASPL - Propósito de Reglamentación.

Los reglamentos sobre desagüe que existen en diferentes países y aun dentro de un mismo país, son muy diversos en su criterio, planteamiento y medios de control, dependiente de la consideración que ha primado en el seno de la comisión que lo ha redactado, Hay reglamentaciones que están basadas en una interpretación rígida de normas y en ellos se señala con la mayor amplitud posible y en la forma más concreta, que éste problema plantea, cuales son los límites máximos que puede tener un líquido o residuo industrial para que pueda ser admitido en un colector público.

Generalmente la consideración que guía a estas comisiones es la de conseguir una calidad de desagüe industrial y doméstico tal, que no sobrecargue indebidamente la operación normal de la planta de tratamiento de desagüe local.

Hay otras reglamentaciones que tienen como objetivo, conseguir que a los colectores sólo ingresen líquidos que por su condición no planteen

problemas físicos, químicos o biológicos que aceleren la destrucción de los materiales de que están formadas las redes de colectores domésticos y sobre todo industriales.

En los primeros, las consideraciones que principalmente guían su planteamiento son las que tiendan a conservar o prolongar hasta donde sea económicamente factible la frescura de los líquidos, las que tiendan a preparar a los líquidos para que no causen problemas en el flujo normal. Las que tienden a preparar los líquidos para que no causen problemas en el manejo o acorten los períodos de retención en los tanques de sedimentación y en los digestores de la planta de tratamiento. Las que tiendan a impedir que los líquidos estén sobrecargados de productos tóxicos que alteren las condiciones biológicas normal de los desagües. Las que tiendan a controlar el volumen de descarga, etc.

Para lograr satisfacer la primera exigencia, generalmente limitan la cantidad total de oxígeno que requieren los líquidos para su estabilización y esto lo hacen limitando la Demanda Bioquímica de Oxígeno admisible en los líquidos que pretenden ingresar a la red, obligando a pre-tratar los desagües industriales para reducir dicha demanda al límite tolerado ó exigiendo en compensación una tarifa progresiva sobre la diferencia en B.D.O. que exista en promedio entre la B.D.O. real de los líquidos industriales y la señalada en el reglamento, para hacer la acotación más justa, derivan fórmulas que tratan de generalizar en forma racional este aspecto.

Para lograr no alterar el flujo normal de los desagües reglamentan las normas limitativas en los que se refiere a sólidos, rápida y medianamente sedimentables, grasas y aceites.

Para cumplir con el tercer aspecto, limitan la concentración máxima admisible de sólidos suspendidos a fin de que no constituyan un problema en los procesos de sedimentación y digestión.

Para lograr la cuarta, norman lo mas concretamente posible la concentración de productos y elementos venenosos que puedan ingresar al desagüe, así como aquellos que no puedan ingresar, no importa cuan pequeña sea su concentración.

En nuestro caso después de haber comparado las reglamentaciones de una serie de países, algunos de ellos de nuestra propia idiosincrasia, creemos que la reglamentación debe carecer de términos vagos e indeterminados tanto como sea posible. Pues el pensamiento es el de entregar a la autoridad un incremento que sea justo y equitativo, entendemos que nuestra reglamentación debe estar guiada por sobre todas las cosas a defender nuestra redes de colectores y nuestro cuerpos de agua receptores, ya que no tenemos actualmente, plantas de tratamiento; sin embargo no debemos dejar de lado la posibilidad de que en un futuro ciertas zonas de la ciudad por sus condiciones especiales tengan que drenar sus desagües a plantas de tratamiento.

Definición de términos

En toda Reglamentación que pretende ser objetiva y práctica, es menester en primer lugar, definirle lo más claramente posible los términos, sobre todo técnicos, que en ella se usa. Por lo tanto, en el presente reglamento se entenderá por:

Artículo 202 : Alcalinidad

La alcalinidad quiere decir el contenido de carbonato, bicarbonatos, hidróxidos y ocasionalmente boratos,

silicatos y fosfatos, se expresa en p.p.m. en carbonato de calcio.

Artículo 205: Carga Orgánica (C.O.)

Para los fines de este reglamento, se entenderá por tal, la cantidad de materia orgánica que en promedio descarga una persona por día, expresado en mgr/lit se aceptará que es en nuestro medio 62,500

Artículo 206: Colector Doméstico

Significa la tubería o alcantarilla construida para evacuar los líquidos domésticos.

Artículo 207: Colector Industrial

Significa la tubería o alcantarilla construida para evacuar los residuos industriales.

Artículo 208: Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.)

La cantidad de oxígeno expresado en partes por millón por peso, utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, en condiciones standard de laboratorio, durante 05 días, a 20°C, de acuerdo con los procedimientos indicados en los Métodos Standard Norteamericanos.

Artículo 212: Población Equivalente (P.E.)

Se usará éste término como parámetro de medida de la concentración de materia orgánica que contiene un volumen determinado de residuos industriales.

Artículos 213: pH

Se entenderá por tal, al logaritmo de base 10 de la recíproca de la concentración de iones de hidrógeno expresado en moles por litros.

Artículos 214: Residuo Industrial

Se entiende por tal, la descarga de cualquier substancia sea gaseosa, líquida o sólida que sea lanzada al desagüe público o el que esté bajo la administración pública. Por la industria, el comercio o en general cualquier establecimiento y que resulte como consecuencia de un proceso de desarrollo o manufactura de cualquier naturaleza.

Artículo 216: Sobre tasa

Significa el gravamen adicional que pagará cualquier industria en general, cuando sus residuos pasen la concentración normal establecida.

Artículo 217: Sólidos Sedimentables

Son aquellos sólidos que pueden ser removidos de un residuo industrial, en un tiempo determinado, por la sola acción de la fuerza de la gravedad.

Artículo 218: Sólidos Suspendidos

Son aquellos que sólo pueden ser removidos de un residuo líquido industrial, por la acción de filtración o centrifugación, en el laboratorio.

Limites normales de los desagües industriales

Para establecer una Reglamentación es menester comenzar por fijar cuales son los límites normales de ciertas características básicas de los desagües en general y de los industriales en particular. Las

investigaciones realizadas por el comité, le permiten señalar como valores cercanos a nuestra realidad, los siguientes:

Artículo 301: Para los fines de esta reglamentación, se aceptará como D.B.O. normal en los colectores domésticos: **250 p.p.m.**

Artículo 302: Para los fines de esta reglamentación, se aceptará como promedio normal del volumen de desagüe, la cantidad de 250 lts de cap/día.

Artículo 303: Para los fines de esta reglamentación, se calculará la P.E. mediante la siguiente fórmula:

$$P.E = \frac{\text{Volumen de desg. en lt/día} \times \text{D.B.O. en mgr/lt}}{62,500}$$

Artículo 304 : Para los fines de esta reglamentación, se aceptará como normal el líquido cloaca! que no deposite más de 8.5 ml/lt/H. (mililitros/litros/hora) de sólidos sedimentables.

Limites admisibles máximos de los residuos industriales en las redes

Artículo 501 : Ninguna industria podrá lanzar al colector industrial en forma directa, residuos cuya temperatura esté por encima de los 35° C, ni sobrante de vapor. Los vapores deberán ser condensados para ingresar al desagüe.

Artículo 502 : Ninguna sustancia grasa que ingrese al colector, deberá tener una concentración mayor de 0.1 gr/lt. en peso.

Artículo 503 : Ninguna sustancia inflamable que ingrese al desagüe podrá tener un punto de ignición que esté por debajo de los 90° C, y no podrán estar en concentración mayor de 1 gr/lt.

Artículo 504 : No se permitirá el ingreso de residuos a los desagües públicos cuyo pH esté por debajo de 5 ó por encima de 8.5. Las industrias que trabajan con ácidos minerales o sustancias fuertemente alcalinas, deberán obligatoriamente tener tanques de suficiente capacidad y en número adecuado, a juicio de la autoridad, donde serán neutralizados, mediante la mezcla de residuos ácidos y alcalinos o diluidos, hasta alcanzar los límites de pH establecido. La autoridad podrá solicitar a la industria que presente un estudio completo de la solución, el que deberá ser ejecutado por un profesional especializado y se deberán introducir en todos los dispositivos que la autoridad juzgue necesarios para la mayor eficiencia del sistema, fijándose un plazo para la ejecución de la obra.

Artículo 505 : Queda prohibido el ingreso a la red pública, de residuos que tengan más de 1,000 p.p.m., de D.B.O. bajo ninguna circunstancia los residuos industriales que con tratamiento o sin él, alcancen esa concentración de D.B.O., podrán ingresar a los colectores públicos o que estén bajo la administración pública.

Artículo 506 : Queda prohibido el ingreso a las redes públicas de líquidos que depositen sedimentos en una concentración de más de 8.5 ml/L.H. (mililitros/litros/hora).

Disposiciones Generales

Artículo 701 : No se permitirá por razones sanitarias, la descarga directa en los cuerpos de agua, de los desagües y residuos industriales.

Solo será permitida la descarga directa de las aguas de refrigeración o los sobrantes condensados del vapor.

Artículo 704 : El sistema de colectores de desagüe y las estructuras de tratamiento y disposición final, deberán ser usados de una manera razonable de acuerdo a la capacidad y objeto para los que fueron diseñados.

2.7 LIMITES PERMISIBLES

Se adjunta los límites permisibles para efluentes en los únicos sectores que han reglamentado sus vertimientos:

Ministerio de Energía y Minas Sector Minería: R.M. N° 011-96-EMNMM (13.01 .96)

Límites Máximos Permisibles para efluentes líquidos.

TABLA 118

PARAMETRO CONTAMINANTE	PRIMER NIVEL		NIVEL FINAL	
	Valor en cualquier momento	Valor promedio Anual	Valor en cualquier momento	Valor promedio Anual
pH	5.5 - 10.5	5.5 - 10.5	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0
Sólidos suspendidos (mg/1)	100	50	50	25
Plomo (mg/1)	1	0.5	0.4	0.2
Cobre (mg/1)	2	1	1.0	0.3
Zinc (mg/1)	6	3	3.0	1.0
Fierro (mg/1)	5	2	2.0	1.0
Arsénico (mg/1)	1	0.5	1.0	0.5
Cianuro total (mg/1)	2	1	1.0	1.0

Ministerio de Salud : D.S. N° 28/60-ASPL (29.11.60)

Límites Normales de los Desagües Industriales

TABLA 110

OBO₅	250 ppm
volumen de desagüe	250 litros por día por persona
Sólidos Sedimentables	8.5 ml/hora
Temperatura	menor de 35 °C
Punto de Ignición	mayor de 90 °C
pH	entre 5.0 y 8.5

Ministerio de Pesquería R.M. N° 478-94-PE (16.12.94)

TABLA 11-10

PARAMETRO CONTAMINANTE	AGUA DE COLA	AGUA DE BOMBEO		SANGUAZA	
		Instantáneo	Promedio diario	Instantáneo	Promedio Diario
OBO₅	100 mg/l	800 mg/l	400 mg/l	800 mg/l	400 mg/l
SOLIDOS TOTALES	100 mg/l	37.000 mg/l	35.250 mg/l	37.000 mg/l	35.250 mg/l
GRASAS	100 mg/l	700 mg/l	350 mg/l	700 mg/l	350 mg/l
pH	5 a 8	5 a 8	5 a 8	5 a 8	5 a 8

2.8 LEY N° 17752" LEY GENERAL DE AGUA"

En la parte que concierne a las funciones del Ministerio de Salud en los aspectos de preservación de las aguas y uso de aguas servidas con fines de irrigación.

Artículo 81 : Para los efectos de la aplicación del presente reglamentos, la calidad de los cuerpos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasificarán respecto a sus usos de la siguiente manera:

- I. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- 11. Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- 111. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebido de animales.
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares)
- V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
- VI. Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

Artículo 82 : Para los efectos de protección de las aguas , correspondientes a los diferentes usos, regirán los siguientes valores límites:

Normas de Calidad

TABLA 11-11

PARAMETRO	UNIDADES	R.S. de fecha 17-12-46	DS 007- 83-SA Clase III	ITINTEC	OMS	A.W.W.A.
Físicos						
Color	TCP	< 20 UPC		mdx 15	15	3
Sólidos Totales	mg/l	NO		500 - 1000	100	
Sabor		Ausencia			Inof.	No obj.
Turbiedad	NTU	< 10 ppm		mdx 5	5	0.1

En el Perú la calidad del agua está reglamentada por el D.S. 007-83-SA (15.03.83) que modifica el reglamento de la ley general de Aguas y que en la actualidad todavía está vigente.

2.9 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LOS CUERPOS RECEPTORES.

La población humana contamina las aguas oceánicas y continentales con diversos residuos industriales, agrícolas y domésticos, lo que ocasiona cambios en su composición química y en sus propiedades biológicas.

Los peces adultos y las aves acuáticas padecen o se enferman e incluso el bentos es deteriorado por la acumulación de "metales pesados" y compuestos insolubles en el fondo.

La contaminación no sólo da muerte a los organismos, sino que los contaminantes pueden irse concentrando gradual y selectivamente en los seres vivos a lo largo de la cadena alimenticia.

Los hidrocarburos aromáticos originan disfunciones del complejo enzimático de los peces; mientras que el DDT perturba también su transmisión de los impulsos nerviosos.

Mucha de la **"materia orgánica"** que contamina los océanos es **tensoactiva**, lo cual significa que es absorbida por partículas sólidas en suspensión, burbujas de aire y diminutos organismos superficiales, situación que altera los procesos fisicoquímicos naturales.

Cuando la capacidad de autodepuración del agua es superada, debido al ingreso excesivo de la materia orgánica, los requerimientos de oxígeno son muy elevados, lo cual ocasiona un descenso importante de este gas vital para la sobrevivencia de los organismos que habitan en esas aguas, como peces y plantas; hasta puede llegar a producir la asfixia de todos los organismos, y en ese caso se considera el agua biológicamente muerta.

"Los sólidos en suspensión" precipitan en el fondo; en los ríos también se depositan en las orillas y se descomponen causando olores y la disminución del oxígeno en las aguas del río. Frecuentemente, los peces se mueren a causa de

esta baja súbita de oxígeno en la corriente y en los sólidos que precipitan en el fondo pueden cubrir las zonas de desove y reducirse la propagación.

Esta breve presentación de los problemas que causa el ingreso de residuos líquidos a los cuerpos receptores permite concluir que la protección de los mismos se podrá lograr si se diseñan e instalan tratamientos que minimicen las cargas contaminantes.

La tabla 11- 13 (ver apéndice), corresponde a la comparación de los límites permisibles de contaminantes en países como Alemania, Bélgica, Francia, Gran Bretaña y Suiza, referentes a vertidos al río, vertidos a estaciones depuradoras y vertidos al alcantarillado.

CAPITULO 111

3. TRIHALOMETANOS

3.1 ASPECTOS GENERALES

Precusores de Trihalometanos

Los precusores de trihalometanos en la superficie del agua constituyen una mezcla compleja de sustancia orgánicas naturales de indeterminada estructura molecular. Estos compuestos son parcialmente removidos durante el tratamiento del agua principalmente mediante los procesos de coagulación filtración, oxidación, intercambio iónico y adsorción.

Hasta el momento la adsorción con carbón activado granular es la mejor alternativa de tratamiento para las agua que contienen una gran cantidad de precusores de THMS.

Naturaleza de los Precusores de Trihalometanos

Las sustancias húmicas llamadas también precusores tienen una estructura compleja de grupos funcionales orgánicos donde principalmente se encuentran grupos ácidos; estos compuestos dan al agua una coloración oscura. Estos precusores aparecen en el agua natural debido a la descomposición de la materia vegetal que rodea a ríos y lagos se les encuentra también en suelos y sedimentos, tanto como en las aguas subterráneas y superficiales.

A estas sustancias Húmicas, se les ha dividido en tres grupos :

a) Acidos Húmicos

Solubles en soluciones básicas y precipitan en soluciones ácidas

b) *Acidos Fúlvicos*

Solubles en soluciones ácidas o básicas, es necesario mencionar que estos ácidos forman parte de la familia de los ácidos húmicos.

c) *Humina* Sustancia húmica similar a un polímero.

De estas sustancias los ácidos húmicos y fúlvicos son los que mas se encuentran en las aguas naturales.

El peso molecular de los ácidos húmicos son mas altos que los fúlvicos. El promedio de los pesos moleculares de los ácidos fúlvicos se halla alrededor de 1000, mientras que el rango de los ácidos húmicos esta entre 2,000 y 100,000.

Debido a la estructura compleja de los precursores orgánicos y a las diversas vías posibles de reacción química de la formación de los **THMS** en las aguas aun no esta definida, aunque existen varios mecanismos de reacción propuestos.

Los precursores de THMS pueden causar numerosos problemas en el tratamiento del agua siendo uno de los principales el aumento en la demanda de cloro; generación de olores y sabores característicos y formación de THMS de importancia toxicológica.

3.2 ACIDOS FÚLVICOS Y HÚMICOS

Los ácidos húmicos son definidos como la base soluble del humus, se distinguen de los fúlvicos por su solubilidad en ácido y base , mientras las huminas son la fracción no extractable del humus. Las sustancias húmicas, particularmente ácidos húmicos, imparten color al agua, a comienzos de 1970 eran considerados inofensivos.

Recientes investigaciones, se determina que las sustancias húmicas son componentes precursores en la formación de trihalometanos durante la clorinación.

El impacto a la salud de los trihalometanos en suministros de agua fue establecido en 1976 según estudios del Instituto Nacional del Cáncer demostrando que el cloroformo exhibe características cancerígenas.

En febrero de 1978 la EPA establece el límite de 100 ug / lt de THM combinado en suministros de agua potable.

Las partículas de ácidos Fúlvicos son varillas de aproximadamente 40 Å de largo y ocupan un volumen de 1600 Å³. Un número de modelos estructurales han sido propuestos para el humus pero la mejor descripción sugerida en forma simplificada se muestra en la figura, que es una masa amorfa con ciertos grupos funcionales sobresaliendo de esta superficie que reaccionan con el cloro para producir THMS.

Acidos Húmicos - Características

- Base soluble del humus, son solubles en ácidos y bases.
- Macromoléculas que presentan los siguientes grupos funcionales : Carboxil, Fenólicos, Hidroxil alifáticos.
- Son productos complejos de carbohidratos, descomposición de proteínas de sustancias y compuestos aromáticos.
- Macromoléculas de pesos comprendido entre 20,000 - 50,000, de composición elemental constituida (45 - 63 % de Carbono, 3 - 6 % Hidrogeno, 0.5 - 5 % Nitrógeno, 35 - 45 % Oxígeno).
- Presentan metales alcalinos ligados a las moléculas húmicas (Fe ⁺² < Cu ⁺² < Fe ⁺³ < Na ⁺ < K ⁺, etc.)
- La siguiente estructura propuesta por Christman y Ghassemi muestra la complejidad de la molécula de ácido húmico.



3.3 REMOCIÓN DE PRECURSORES DE TRIHALOMETANOS

El descubrimiento de la formación de THMS debido a la cloración en las aguas naturales que contienen sustancias orgánicas ha llevado a modificar el tratamiento del agua para consumo humano en los países desarrollados como una alternativa, esta tesis trata de encontrar una nueva forma de remoción de los precursores de THMS para disminuir la formación de estos compuestos.

Las principales alternativas para remover los precursores de THMS en grandes volúmenes de agua son:

- a) Utilización de Carbón Activado es la mejor técnica para remover estos compuestos. El carbón activado es empleado para remover THM después del tratamiento con cloro por desinfección y remover sustancias húmicas y otros posibles precursores orgánicos antes de la desinfección.
- b) Ajustes en la fase Coagulación - Floculación para aumentar la eficacia en la remoción, estos ajustes significan modificar la dosis y concentración de coagulantes, pH y gradiente de coagulación.

Efectos de la Coagulación - Floculación en la remoción de los Precursores de THMS

El proceso de Coagulación - Floculación que utiliza Sulfato de aluminio o Sulfato Ferroso, ha demostrado una eficiencia relativamente buena en la remoción de compuestos orgánicos.

La tabla 111- 1 muestra las características de los compuestos de origen natural comúnmente encontrados en las aguas. Estas características tienen influencia marcada sobre la coagulación-floculación, principalmente en lo que se refiere al peso molecular o peso equivalente.

TABLA 111- 1

CARACTERISTICA	Acido Fúlvico	Acido Hematomelanico	Acido Húmico
Ocurrencia	mas frecuente	intermedio	menos frecuente
Peso molecular	bajo (200-1000)	intermedio	alto (200000)
Peso equivalente	bajo	intermedio	alto
Densidad de carga	alto	intermedio	bajo
Difusión de luz	bajo	intermedio	alto

Los ácidos Fúlvicos poseen pesos moleculares muy bajos y son los mas frecuentes en las aguas naturales, necesitan dosis mucho mayores de coagulante que los ácidos húmicos. Es así que para obtener una remoción de 80 % de los ácidos Fúlvicos se requieren aproximadamente el doble de coagulante que los ácidos Húmicos.

Otro factor importante en la reducción de los precursores por coagulación - Floculación es el pH del agua, se ha demostrado que la mayor remoción de los ácidos Fúlvicos ocurre durante la Floculación a un pH entre 5 - 6 .

Babcok y Singer, experimentando con ácidos húmicos y fúlvicos extraídos del humus y trabajando con aparatos de prueba de Jarras llegaron a las siguientes conclusiones :

- La coagulación de los ácidos Húmicos y Fúlvicos con Alumina reduce el COT y la producción de cloroformo después de la cloración.
- La utilización de Coagulantes polielectrolitos contribuye considerablemente en la mejor sedimentabilidad de los flocs así como para la remoción de compuestos orgánicos.

3.4 TRIHALOMETANOS

Los compuestos de Trihalometanos se han encontrado en la mayoría de aguas cloradas, sobre todo durante los procesos de tratamiento como resultado de la cloración. La formación de estos compuestos depende de la concentración precursora, el tiempo de contacto, la dosis de cloro y el pH.

Las investigaciones toxicológicas sugieren que el cloroformo constituye un agente carcinogeno potencial para la salud.

En consecuencia, la concentración total de Trihalometanos se encuentra en fase de regulación en las aguas potables.

Como resultado de la formación de Trihalometanos en el agua potable se ha incrementado notablemente la importancia de la presencia de humus acuáticos en aguas naturales.

Se ha comprobado que la presencia de compuestos orgánicos halogenados es el resultado de la acción del cloro sobre aguas con color natural (humus) siendo especialmente el cloroformo el principal compuestos encontrado.

Naturaleza de los Trihalometanos

Los Trihalometanos (THMs), constituyen un grupo de compuestos orgánicos que como su nombre lo indica, se consideran derivados del metano (CH_4), en cuya estructura, tres de sus cuatro átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de cloro, bromo o iodo, Por ejemplo: tres átomos de hidrógeno pueden ser reemplazados por un solo halógeno como es el caso del cloroformo (triclorometano), o por sus diferentes elementos como sucede con el bromodiclorometano, como también por cada uno de los tres como se aprecia en el Yodobromoclorometano. Algunos nombres especiales: Cloroformo CHCl_3 , bromoformo CHBr_3 y Yodoformo CHI_3 .

Aunque para ser denominados se les considera como procedentes del metano, este gas nada tiene que ver con su formación real en las aguas que se desinfectan con cloro, pues en dicho medio ellos se originan a partir de los productos orgánicos mucho más complejos que el metano y que son de común ocurrencia en las aguas superficiales, tal es el caso de los ácidos húmicos y fúlvicos.

Cabe mencionar que todos los trihalometanos contienen en su molécula un solo átomo de carbono. En la tabla 111- 1 A (ver apéndice}, se muestran las fórmulas de los posibles THMs y sus correspondientes designaciones.

3.5 MECANISMO DE FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS

La formación de los Trihalometanos durante la desinfección del agua con cloro libre obedece a un complicado mecanismo por el cual las especies químicas que el halógeno forma con el agua reaccionan con los derivados del humus que en ese medio habitualmente contiene.

La ecuación química general que representa la producción de estos componentes se representa :

a) **En presencia de Cloro**

Cloro libre + Precursores → Trihalometanos + otros productos.



b) **En presencia de Bromuros**



Se ha trabajado mucho para tratar de esclarecer la complejidad y características de las sustancias húmicas y así dilucidar los detalles de su combinación con el cloro. Los ácidos húmicos se pueden describir como enormes masas amorfas de un heteropolimero condensado que lleva ciertos grupos funcionales los cuales sobresalen de su superficie y que serían los que en primer lugar reaccionarían con el cloro para producir trihalometanos.

La conclusión de estos estudios es que para la formación de los THMs en las aguas se requiere por lo menos la presencia de cloro libre y de los precursores orgánicos. Cualquiera de estos elementos que falte conduciría a su no formación.

Si se consideran dos moléculas, una orgánica y otra de cloro se pueden escribir dos ecuaciones, la primera describiría la velocidad de consumo de cloro y la tasa de reducción del precursor o inversamente la tasa de producción de THMs.

Si se asume que la reacción entre el cloro residual y el humus acuático es de primer orden, la velocidad de consumo de cloro será :

$$\frac{d [Cl_2]}{dt} = -k_1 * [Cl_2] * [COT] \dots\dots\dots(1)$$

Para resolver esta ecuación adecuadamente se asume que la reacción del cloro no reduce significativamente la concentración total del material húmico presente en el agua, lo que finalmente resultará :

$$\frac{\ln [Cl_2]}{[Cl_2]} = -k_1 * [COT] * t \dots\dots\dots(2)$$

Por experimentación se ha comprobado que la ecuación (2), representa el comportamiento de la disminución en la concentración de cloro para este tipo de reacciones lo que permite concluir que existe una reacción de primer orden con respecto al cloro residual.

Finalmente para reaccionar mediante una sola ecuación la presencia de trihalometano con la concentración de cloro activo y los precursores, se utiliza la siguiente ecuación :

$$\frac{d\text{THMs}}{dt} = \frac{-dC}{dt} = k_2 * [Cl_2] * [C]^m \dots \dots \dots (3)$$

Donde " m " es el orden de la reacción con respecto a la concentración y " C " es la concentración del precursor orgánico.

Este tipo de modelos como otros de la cinética permitirán una mejor formulación del diseño de plantas de tratamiento para minimizar la formación de THMs y una mejor predicción de la influencia de los parámetros ambientales sobre el funcionamiento de la planta.

3.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS TRIHALOMETANOS

Los Trihalometanos en estado puro son sustancias líquidas (Cloroformo, Bromoformo) y sólidos (Yodoformo) a temperatura ambiente (10 - 30° C), tanto incoloros como coloreados, de olor característico (unos agradables y otros repulsivos), poco solubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos.

Es conveniente hacer notar, que debido a las concentraciones tan pequeñas (microgramos/l) en que estas sustancias suelen aparecer en las aguas desinfectadas con cloro, su olor y sabor son imperceptibles.

Respecto a las características químicas de los trihalometanos puede decirse que son compuestos estables, no fácilmente oxidables y no directamente combustibles inflamables. No se le conoce reacción colorimétrica de suficiente sensibilidad como para detectarlos en pequeñas concentraciones, como ya se anotó es frecuente hallarlos en aguas cloradas, solamente la cromatografía de gas ha permitido detectarlos y medirlos.

Las propiedades señaladas de los trihalometanos nos indican que su eliminación de las aguas por aereación solamente es eficaz en el caso de los mas volatiles y que una vez formados durante la cloración son renuentes a su descomposición y resistentes a la oxidación aun por agentes tales como el ozono.

La ebullición del agua expulsa a los trihalometanos en ella contenida. Este es por lo tanto un medio de liberar de pequeños volúmenes de agua tales productos especialmente clorados.

Existen diferentes tipos de desinfectantes que presentan efectos bactericidas sobre la formación de trihalometanos y la reacción con las sustancias húmicas en el agua natural. La aplicación del cloro, como hipoclorito de sodio o cloro gaseoso causa la formación de trihalometanos, compuestos de comprobado efecto cancerígeno.

Desinfectantes químicos alternativos como el dióxido de cloro, ozono y peróxidos han sido investigados para evitar la formación de trihalometanos. El Ozono (O_3) y los peróxidos son efectivos en la inactivación de coliformes y buenos agentes en controlar la formación de trihalometanos removiendo máximos valores de carbón orgánico total (TOC). Para un 99 % de inactivación de coliformes se necesita la dosificación de 3 mg/L de cloro, en cambio se necesita 0.6 y 0.34 mg/L de ozono y peróxido respectivamente. Hay cuatro maneras de controlar la formación de trihalometanos en el agua potable :

- Reducir la concentración de los precursores es decir materia orgánica, involucrando procesos como coagulación química / filtración, ozonización y adsorción.
- Eliminar el cloro residual luego de un periodo de contacto suficiente para lograr la desinfección, agregando amoníaco al agua clorada formando cloraminas un desinfectante mas debil que el cloro residual.
- Utilizando carbón activado.

- Usar desinfectante alternativo como el dióxido de cloro, el ozono, o la radiación UV, aunque estos desinfectantes alternativos no producen trihalometanos, podrían producir otros subproductos indeseables.

3.7 CLORACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Aspectos Químicos en la Cloración de aguas residuales

La cloración de las aguas se considera como el método más efectivo y económicamente factible para la desinfección de las aguas residuales. Esta práctica ya se ha llevado a cabo en otros países con resultados positivos con relación a la desinfección.

Visto desde el aspecto bacteriológico, este proceso parece ideal. Sin embargo, las investigaciones indican que la cloración de las aguas residuales, aunque reduce el número total de bacterias, aumenta la proporción de bacterias resistentes a antibióticos, las cuales son potencialmente patógenas.

El cloro más allá de su actividad desinfectante, sufre un número de reacciones químicas que deben ser consideradas, ya que estas tienen entre sus productos compuestos organoclorados indeseables.

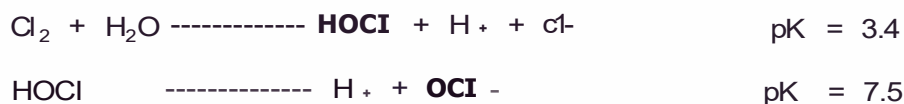
La introducción del cloro en el agua conduce a su hidrólisis :



El pH interviene muy directamente en los tipos de compuestos clorados subsistentes en el agua :

- pH < 4 Cl_2 disuelto.
- 4 < pH < 5.6 HOCl ácido hipocloroso no dissociado.
- 5.6 < pH < 10 HOCl y OCl^- -ácido hipocloroso no dissociado;
- 9 < pH OCl^- - ion hipocloroso;
 $\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$

Si utilizamos cloro gas (Cl₂) durante el proceso de cloración. Este cloro reacciona con el agua, produciendo ácido hipocloroso e ión hipoclorito de la siguiente forma :



Las cantidades relativas de las diferentes especies oxidadas del cloro son una función del pH, a 25° C y pH 7.5 , las actividades del HOCl y del OCl⁻ son iguales. Cabe anotar que debido a la deficiencia de electrones del cloro en ambas formas (el ácido hipocloroso y el ion hipoclorito) los hace agentes muy activos y por lo tanto muy buenos oxidantes. Los protones producidos en esta reacción son neutralizados por el bicarbonato según :



Para lograr la desinfección de las aguas se dosifica niveles conocidos de cloro activo, en cualquiera de sus diferentes formas, lo cual decrete luego de un periodo de contacto. Cabe mencionar que para producir el efecto desinfectante, el cloro dosificado solo debe ser consumido parcialmente.

Es decir, luego del periodo de contacto debe mantenerse un nivel adecuado de cloro residual. A esta variación, entre el nivel de cloro teórico alcanzado luego de la dosificación y el nivel de cloro residual, se denomina "**Demanda de Cloro**", y se debe a la gran variedad de reacciones entre el cloro activo y los compuestos presentes en el agua residual y también en algunas circunstancias a su propia descomposición.

Podríamos agrupar las reacciones del siguiente modo :

a) Reacciones provocadas por la radiación solar

Se producen debido a la acción de la radiación ultravioleta que provee de energía para que se produzca la reacción entre el cloro y el agua.



b) Reacciones del cloro activo con compuestos inorgánicos

Estas reacciones producen con compuestos inorgánicos reducidos, por ejem, Mn (II), Fe (II), NO₂⁻, S²⁻. En general estas reacciones de redox son rápidas, como por ejemplo en el caso del Fe²⁺



Las reacciones del cloro con S (II), NO₂⁻ siguen este mismo comportamiento, igual que el Mn (II) solo que en este ultimo ocurre solo a pH > 8.5. A pH altos también se formaran polisulfitos a partir de los sulfitos. Si hay NO₂⁻ en el efluente el cloro activo lo oxidara a nitratos.



e) Reacciones con el amonio y con el nitrógeno orgánico

Estas son diferentes a las que se producen con los compuestos inorgánicos y orgánicos.

El cloro activo cuando reacciona con el amonio genera los compuestos denominados cloraminas.

Cuadro 1. Productos de la Cloracion del Amonio

Nombre	Formula
Monocloramina	NH ₂ Cl
Dicloroamina	NHCl ₂
Tricloroamina	NCl ₃

y eventualmente a una variedad de productos libres de cloro que contienen nitrógeno.

Cuadro 2. Posibles productos de oxidación de Amonio por Cloro**Productos de Oxidación Relación de Cl₂ reducido/ N - NH₃ oxidado**

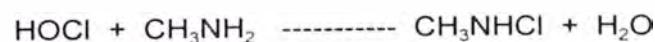
Nombre	Formula	Base Molar	Base peso
Hidracina	N ₂ H ₄	0.5	2.54
Hidroxilamina	NH ₂ OH	1	5.07
Nitrógeno	N ₂	1.5	7.61
Oxido Nitroso	N ₂ O	2	10.1
Oxido Nítrico	NO	2.5	12.7
Nitrito	NO ₂ ·	3	15.2
Tetraoxido de Nitrógeno	N ₂ O ₄	3.5	17.7
Nitrato	NO ₃ ·	4	20.3

Los mecanismos de reacción son complejos y los productos varían según, las condiciones de pH, concentración del Cl₂, nivel de amonio y tiempo de contacto.

Puede resumirse como un proceso por pasos :



Con compuestos de Nitrógeno orgánico el cloro reacciona facilmente dando productos tales como la metilamina.



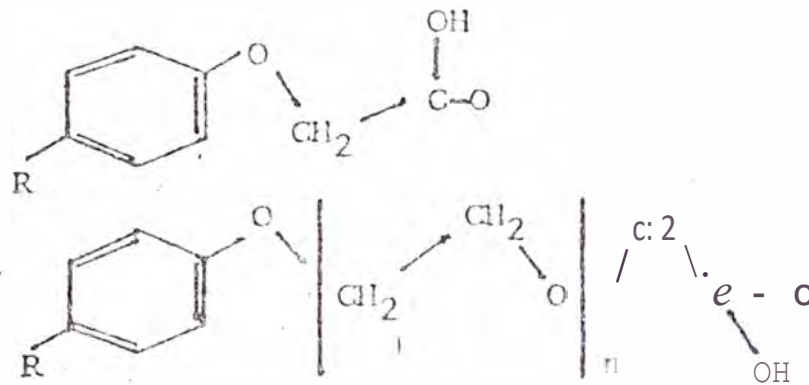
o de dicloro metilamina :



d) Reacciones producidas con compuestos orgánicos

Son las que consideramos de mayor interés en el proceso de desinfección de aguas residuales. Las aguas residuales tienen un alto contenido de materia orgánica. Esta tiene una enorme variedad de estructuras químicas de las cuales dependen del origen de la misma. Aun así, se espera la presencia de ciertos tipos de materia orgánica. Por ejemplo, se espera encontrar carbohidratos, ácidos grasos y proteínas, a diferentes niveles de biodegradación y otras materias de origen vegetal y animal; aceites y grasas, insecticidas, surfactantes y otros residuos sintéticos.

Estos compuestos orgánicos tienen estructuras alifáticas y aromáticas y contienen oxígeno y nitrógeno. Por ejemplo, los productos de la semibiodegradación de ciertos tipos de surfactantes, los ácidos alquilfenoxicarboxílicos los cuales tienen las siguientes estructuras químicas.



donde $R = C_9H_{19}$ o C_8H_{17}

En general, la estructura fenólica y los compuestos alifáticos no saturados son bastante comunes.

Por ejemplo, los derivados de la lignina, los ácidos húmicos, y los fúlvicos, los ácidos grasos no saturados, etc.

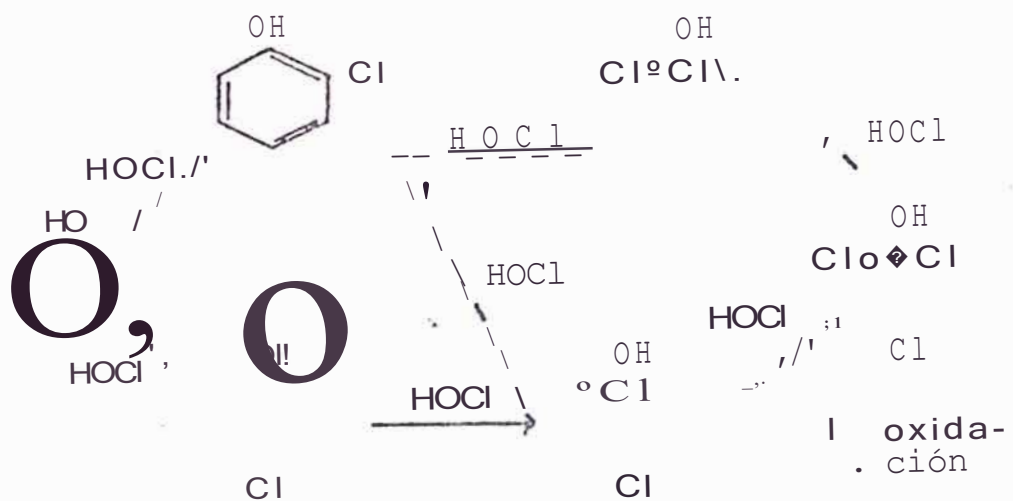
En el caso de compuestos orgánicos, los electrones más reactivos y por lo tanto los compuestos más fáciles de combinar serán aquellos que en su estructura tengan doble enlace. En la cloración de compuestos orgánicos se reconocen ciertos mecanismos típicos.

Por ejemplo:

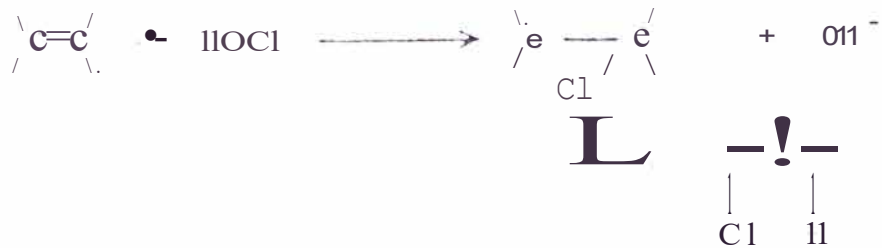
1) *Reacción con el anillo aromático, especialmente el fenólico.*



La cloración puede ser extensiva, es decir puede encontrarse la serie de fenoles clorados hasta el pentacloro fenol. La actividad de cada anillo depende del tipo de compuesto de origen, cabe anotar el fuerte olor que presentan estos compuestos. Es posible que con una cloración intensiva y a concentraciones más elevadas se produzcan compuestos orgánicos clorados de menor peso molecular como los **Trihalometanos**.

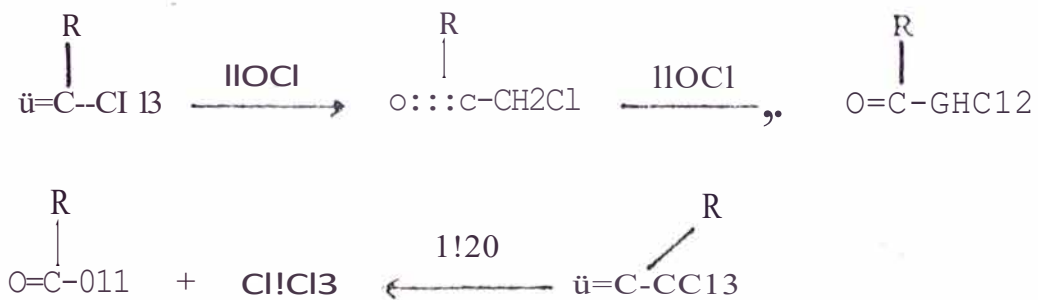


2) Adición a enlaces dobles



3) Formación de Trihalometanos

Se tipifica el mecanismo de la siguiente manera:



Según Norwood, estos no son los únicos mecanismos en la formación de compuestos organoclorados, ya que a menudo se encuentran compuestos que no resultarían de estos mecanismos. Norwood sugiere que aun falta mucha investigación para poder reconocer todos los procesos dentro de un sistema tan complejo como pueden ser las aguas naturales y residuales.

De igual modo aun cuando se han identificado compuestos derivados de la cloración, hay muchos otros que aun no se han podido ser determinados.

Según estudios realizados sobre adsorción de ácidos húmicos a través de carbón activado se obtienen resultados presentados en la tabla 11- 2, sobre la formación de cloroformo frente a la reacción del cloro con ciertos compuestos, donde se observa que el numero de micromoles de cloroformo producidos es relativo a los micromoles de carbón presente en los precursores.

TABLA 111- 2

Compuesto	CHCl₃ (μmoles/ l)	% de CHCl₃	<u>mol de precursor</u> mol de cloro
Acido Tánico	3.25	0.73	0.01
D - Glucosa	1.1	0.33	0.2
Acido Húmico	0.9	0.13	0.2
Acido Gálico	0.0267	0.0063	0.2
Acido Acético	0	0	0.2

3.8 RIESGOS DE PRODUCCIÓN DE TÓXICOS Y LA BIOCONCENTRACIÓN DE LOS MISMOS

Mas allá de las reacciones específicas se han realizado pruebas de cloración de aguas residuales municipales. Glaze cloro aguas residuales y posteriormente hicieron análisis de TOCL y de compuestos específicos por cromatografía de gas/ espectrometría de masa. Se encontró que el tratamiento de aguas residuales resulta en un aumento de TOCL.

En lo que se refiere a compuestos organoclorados se encontraron una gran variedad de estos. La gran mayoría son derivados de compuestos aromáticos, aunque se encontraron compuestos no aromáticos, según el cuadro 3.

Cuadro 3. Compuestos organoclorados de resultado de cloración de aguas residuales.

No Aromáticos	Aromáticos
Cloroformo	O - Diclorobenceno, p - Diclorobenceno
Dibromoclorometano	Cloroetilbenceno, Dicloroetilbenceno, Tricloroetilbenceno
Diclorobutano	Triclorocumeno, Diclorotolueno, Clorocumeno
3- Cloro-2metil - 1 - eno	N - metil - tricloroanilina, Triclorodimetoxibenceno
Clorociclohexano	Triclorometilestireno, Cloro - a - metilbencil alcohol
Tetracloroacetona	Triclorofenol, Tetraclorofenol,
Pentacloroacetona	Tetraclorodimetoxi benceno
Hexacloroacetona	Tricloroftalato, Tetracloroftalato, etc.

Una vez formados, los compuestos organoclorados pueden permanecer en solución o adherirse a las partículas suspendidas que se encuentran en el medio acuoso. Dentro del ecosistema marino, tienen posibilidad de permanecer suspendidas en el agua, ser bioconcentrados por organismos marinos y sedimentar. No se espera la sedimentación inmediata ya que las corrientes marinas tienden a ser suficientemente fuertes para que el transporte sea horizontal y no vertical.

El nivel de bioconcentración depende del compuesto y de la especie marina. La bioconcentración puede suceder por difusión del compuesto orgánico o por consumo de partículas, aquellos organismos con contenido más alto de grasa concentrarán más, ya que estos compuestos son lipofílicos.

Los compuestos alifáticos organoclorados tienden a bioacumular mucho, por ejemplo, el cloroformo tiene un factor de bioconcentración (FBC) de 6.

Por otro lado, los compuestos halogenados aromáticos tienden a bioconcentrarse más, el monoclorobenceno tiene un FBC de 250 y el triclorofenol de 1900.

Los compuestos organoclorados son típicamente tóxicos y a menudo son cancerígenos para el ser humano como para otros organismos.

CAPITULO IV

4. AGUAS RESIDUALES

4.1 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Composición de las aguas residuales

Aparte de sus propiedades físicas, todas las aguas naturales contienen componentes de sustancias activas e inactivas. El grado de contaminación de las aguas residuales se representa utilizando criterios como la DBO, la DQO, el contenido de nitrógeno amoniacal, el COT, y la OTO .

- **D80.-** Demanda bioquímica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en 20 días a una temperatura de 20 ° C.
- **DQO.-** Demanda química de oxígeno, esta representado por el oxígeno requerido para la oxidación química de los constituyentes orgánicos e inorgánicos.
- **COT.-** Carbón orgánico total, es una cantidad analíticamente exacta, se determina mediante la oxidación térmica de sustancias orgánicas a través de la combustión a elevada temperatura y la posterior medición de la cantidad de CO₂ formado.
- **OTO.-** Demanda total de oxígeno, representa la cantidad teórica de oxígeno requerida para oxidar todas las sustancias oxidables presentes en las aguas residuales.

Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales se clasifican de acuerdo a su origen y composición, cuando se diseñan los sistemas de disposición de aguas residuales, es decir la recolección y el tratamiento de las mismas, debe diferenciarse entre :

Aguas residuales domésticas

Proviene de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones, así como las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al mismo sistema de alcantarillado.

Aguas residuales comerciales

Proviene de locales comerciales, como mataderos, pequeñas industrias y otras instalaciones públicas y que suelen estar conectadas a un sistema de alcantarillado común.

Aguas residuales Industriales

Producidas por grandes plantas industriales.

Estos diferentes tipos de aguas residuales reciben en conjunto la denominación de aguas residuales municipales y están presentes en los sistemas de alcantarillado de las ciudades.

El propósito es dar una completa lista de referencias de la mayor parte de los vertidos industriales, en la que se define las características, origen y métodos de tratamiento de los vertidos industriales más importantes.

La tabla IV-1, ubicada en el apéndice, da un breve resumen de los vertidos más importantes, su origen, características y métodos normales de tratamiento.

4.2 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Lagunas de Estabilización - Definiciones

Laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple para embalsar agua, de poca profundidad (1- 4 m.) y con periodos de retención de magnitud considerable (de uno a cuarenta días). Cuando las lagunas residuales

son descargadas en una laguna de estabilización, se realiza en las mismas, en forma espontánea, un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico.

Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable. El parámetro que más se ha utilizado para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5).

Lagunas Facultativas

Cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (entre 50 - 350 $kg\ O_2/Ha/día$ a alturas moderadas y temperaturas $10 - 30^\circ$), el estrato superior de las lagunas se suele llenar de algas microscópicas (clorelas, euglenas, etc) que en presencia de luz solar producen grandes cantidades de oxígeno, haciendo que el agua llegue a estar sobresaturada de oxígeno disuelto (DO).

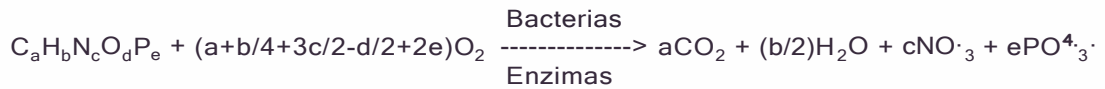
El estrato inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaeróbicas debido a que la penetración de la luz solar es muy limitada (5-15 cm).

La estabilización de la materia orgánica, se lleva a cabo a través de la acción de organismos aerobios debido al oxígeno disuelto en el agua.

Proceso aeróbico.

El proceso aeróbico se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en presencia de oxígeno, produciéndose compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno, que facilita la actividad de las bacterias aeróbicas. Nos encontramos pues ante un caso de simbiosis.

El proceso de desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales.



A su vez, las algas logran sintetizar materia orgánica que se incorpora a su propio protoplasma, como organismos autotróficos que son. Este proceso que se lleva a cabo en presencia de luz solar, recibe el nombre de fotosíntesis.

En el mismo se desprende oxígeno. (que es aprovechado por las bacterias aeróbicas para satisfacer la DBO) tal como se muestra en la reacción:



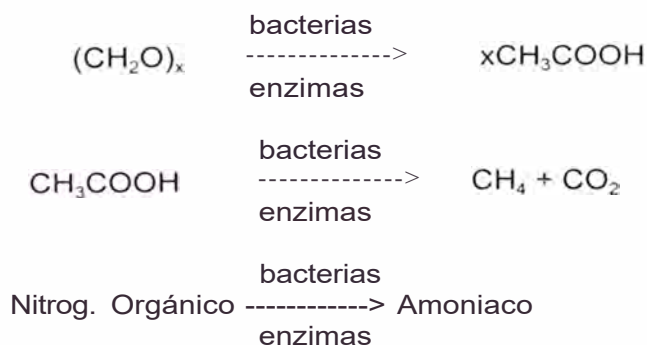
Ambas ecuaciones ilustran lo que sucede en el estrato aeróbico de una laguna facultativa. La materia orgánica muerta (putresible) es desdoblada en compuestos inorgánicos por las bacterias. Estos compuestos inorgánicos son aprovechados por las algas para sintetizar materia orgánica viva (no putresible).

En otras palabras, hay una reacción que produce el oxígeno que se consume y como resultado final, tenemos que la materia orgánica muerta es transformada en materia orgánica viva que pasa a formar parte del protoplasma de las algas.

Proceso Anaerobio

Las reacciones anaerobias son más lentas y los productos de las mismas originan malos olores.

Los mecanismos de la descomposición anaerobia son sumamente complejos y aun no están completamente aclarados.



En el proceso anaeróbico las bacterias suelen aprovechar parte de los nutrientes inorgánicos en la fabricación de su propio protoplasma celular, cosa que también suelen suceder en el proceso aerobico. Sin embargo, llama la atención el hecho de que en ambos casos el resultado final es una disminución notable de bacterias, lo cual ocurre como consecuencia del agotamiento de los nutrientes y de otros fenómenos aun no muy claramente comprendidos, en los que juegan un papel muy importante el periodo de retención, la temperatura, la luz solar (esta última principalmente en el caso de las lagunas facultativas y aeróbicas).

4.3 OPERACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

En este tipo de lagunas, la materia disuelta o suspendida proveniente de las aguas residuales será metabolizada por bacterias heterotróficas que consumen el oxígeno producido por las algas fotosintéticas cuya proliferación está directamente ligada con la temperatura y la radiación solar, las cuales a su vez captan el CO₂ liberado por las bacterias, en tanto que el lodo sedimenta en el fondo en donde se produce su digestión natural.

En las lagunas primarias, la carga orgánica debe estar estrictamente limitada dado que el oxígeno disuelto originado dentro de la laguna varía en forma horaria y dependiendo de la profundidad, concentrándose mayormente en la superficie. La carga máxima superficial a aplicar en las lagunas primarias no podrá superar aquella prevista en el proyecto. este valor deberá ser verificado por el operador semanalmente, a través de la medición de la DBO, el caudal hacia la laguna y de la superficie de ésta.

El objetivo principal de las lagunas secundarias será la remoción de patógenos para un efluente de la calidad compatible con su utilización. En segundo término, se completará la remoción de la materia orgánica que no pudo ser estabilizada en las lagunas primarias.

El tratamiento previsto, que consiste en remover principalmente la materia orgánica y los microorganismos patógenos coliformes y parásitos, se conseguirá con los períodos de retención previamente propuestos en el diseño. Durante el período de operación de las lagunas, se debe prever la verificación de dichos tiempos a través de pruebas de trazadores.

Debe efectuarse la limpieza periódica de las obras de llegada así como de los canales de entrada y salida de las lagunas, a fin de remover las películas biológicas formadas en las paredes.

En cuanto a la masa de agua de las lagunas, es fundamental que la superficie del líquido se mantenga libre de natas y de sólidos flotantes que no fueron removidos en el tratamiento preliminar debido a que reducen el área efectiva, evitando la libre influencia de la energía solar en las capas superficiales e interponiéndose también a la acción oxigenadora del viento.

Los sólidos flotantes podrán ser natas, grasas o aceites, papel, sólidos flotantes de menor tamaño, etc. estos materiales deben removerse utilizando una superficie de cuchara o paleta grande con malla metálica o nylon con un asa liviana, según lo especificado anteriormente, El material removido debe enterrarse de igual forma que los sólidos atrapados en la rejillas para evitar su contacto con insectos.

Por otro lado, algunas veces existe en las lagunas crecimiento excesivo de algas, muchas flotan en la superficie y forman una nata gruesa que perjudica el normal funcionamiento de la unidad por interferir en el paso de la luz solar. con el viento, esta nata es empujada a las orillas, emitiendo olores desagradables. Por tanto, deben ser removidas tan frecuentemente como sea necesario.

En otros casos, especialmente cuando la profundidad es baja y la temperatura del agua elevada, las capas de lodo pueden desprenderse del fondo y ascender a la superficie. Estas masas de residuos se acumulan generalmente en las esquinas y deben ser disgregadas para que sedimenten en el fondo o sino, es necesario extraerlas con la cuchara y depositarlas en lechos de secado. Si se optara por la dispersión ésta se puede llevar a cabo agitando con rastrillo o aplicando chorros de agua con manguera.

4.3.1 Observaciones de rutina

Existen tres puntos principales de control en las lagunas de estabilización, la laguna en sí , a la entrada y a la salida de ella. Los diversos análisis y mediciones realizados en cada uno de esos puntos serán utilizados para determinar cómo se está desarrollando el proceso de tratamiento, para prever las alteraciones operacionales que fuesen necesarias y para verificar la eficiencia del sistema.

En un sistema de una laguna, la única flexibilidad con que dispone el operador es el control de la profundidad de la lámina de agua. Cuando el sistema proyectado incluye múltiples lagunas en serie y/o en paralelo, el operador posee un mayor número de opciones para el control, tales como:

- Transferir el líquido de una laguna a otra para corregir un problema de deficiencia de oxígeno.
- Variar la profundidad de la lámina de agua para el control de la vegetación y de las lardas de mosquitos.
- Aislar una laguna que se torna anaerobia o permitir que haya una aclimatación de los microorganismos para asimilar una carga de residuos de tóxicos.
- Alterar el régimen de operación -en serie o en paralelo- para redistribuir las cargas orgánicas en las diferentes lagunas.

Se deberá contemplar su seguimiento diario, constituido por observaciones directas de cada unidad y el registro oportuno de cualquier situación que indique un funcionamiento fuera de lo normal, es decir, apariencia y color indeseado, desbalances en el pH, etc. estos factores pueden acusar desajustes en la situación biológica de la masa de agua en la laguna y ocasionar efectos ambientales adversos, según señala más adelante.

4.3.2 Coloración y apariencia de las lagunas

El análisis de este parámetro nos permite emitir algún juicio respecto al comportamiento de las lagunas, ya que nos indica en algunos casos la presencia de altas cargas orgánicas y de nutrientes o la presencia de diferentes tipos de microorganismos en las capas superficiales del agua. Las lagunas pueden presentarse así:

- a. *Color verde oscuro y parcialmente transparente:* indica buenas condiciones. es mayor en los afluentes secundarios que en los primarios.
- b. *Color café amarillento o muy claro:* Crecimiento excesivo de rotíferos o crustáceos, lo que induce a una disminución de algas, OD y pH además de la presencia de malos olores.
- c. *Color gris o café oscuro:* Es señal de laguna sobrecargada y/o períodos de retención muy cortos, con lo cual no se alcanza la estabilización de la materia orgánica. En este caso, es conveniente interrumpir la operación de la laguna hasta encontrar una solución que permita optimizar su operación, como por ejemplo aumentar el número de dispositivos de entradas y salidas, reducir el caudal para controlar la carga orgánica, etc.

- d. *Color verde-lechoso*: Proceso de autofloculación. Ocurre cuando el pH y la temperatura en la laguna se elevan a tal punto que se produce la precipitación de los hidróxidos de magnesio o de calcio, acarreado consigo las algas y otros microorganismos hacia el fondo.
- e. *Color azul verdoso*: Establecimiento de algas azul-verdosas, indeseadas en las lagunas de estabilización por ser productoras de antocianina que inhibe la fotosíntesis de las algas verdes y debido a que producen toxinas que podrían causar daños a zooplácton. Se detectan cuando el pH es menor de 6.5 y el oxígeno disuelto es menor de 1 mg/l. Para controlarlas, se aplica una solución de sulfato de cobre de 1.25 kg. por 1000 m³, si la alcalinidad es mayor a 50 mg/l.
- f. *Color rosado*: Se da generalmente en las lagunas primarias con sobrecarga orgánica cuyas aguas contienen altas concentraciones de azufre. En este caso, es conveniente suspender la alimentación de la laguna hasta restituirse en la masa de agua las condiciones para el crecimiento de las algas.

4.3.3 Transparencia

La evaluación de la apariencia y color debe ir acompañada de datos de transparencia. Este parámetro indica indirectamente la concentración de algas y por tanto, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. La penetración de la luz se medirá con el disco Secchi. Mientras mayor sea la carga aplicada a las lagunas, menor será la profundidad de transparencia. Por consiguiente, la penetración de la luz en las lagunas primarias será menor que la de una laguna secundaria. En términos generales, en una laguna primaria se espera que la lectura del disco Secchi fluctúe entre 5 y 10 cm, en tanto que en una laguna secundaria el valor oscilará entre 10 y 20 cm, uno de los registros rutinarios que se deben realizar en la planta es

el del tipo meteorológico, tanto a fin de prevenir reacciones adversas en las lagunas, como para interpretar los datos operacionales en algún proyecto de investigación a ser implementado. en dicha estación se requiere disponer por lo menos de equipos que midan la temperatura ambiental) media, máxima y mínima, evaporación humedad relativa, dirección y velocidad del viento.

4.3.4 Prevención de vectores

Se debe efectuar un control rutinario de la proliferación de vectores(zancudos, mosquitos, etc.) que se forman en los bordes de agua. Para removerlos se propone subir el nivel de agua en las lagunas por cortos períodos, dos días y volver al nivel inicial.

Al aumentarse el nivel, las larvas perecen por efecto de la inundación provocada por consiguiente, la oscilación periódica del nivel del agua en la laguna contribuye a mantener el control de los mosquitos. Este incremento de nivel se consigue colocando compuertas manuales en las cámaras y arquetas de salida de las lagunas. Por ningún motivo debe emplearse elementos químicos) plaguicidas o insecticidas que pueden causar efectos nocivos en la biomasa de las lagunas. Esta operación se hará cada vez que se requiera, pero por lo menos debe contemplarse la ejecución de esta labor una vez al mes en verano y cada dos meses en invierno.

Como media adicional de prevención, se debe mantener la laguna libre de natas y los taludes libres de malezas.

4.3.5 Prevención de olores

Durante el proceso biológico producido al interior de las lagunas, es posible que se presenten efectos ambientales desfavorables a causa de una falta de equilibrio de las condiciones que deben imperar en la laguna,

entre las bacterias y las algas. Uno de los efectos negativos más importantes es la proliferación de malos olores. Estos pueden ser producto de sobrecargas orgánicas o de una escasa población de algas por falta de nutrientes, formación de corrientes preferenciales provocando cortocircuitos, cargas violentas o cambio en el tipo de agua servida, como por ejemplo la presencia de una alta concentración de sulfatos, cloruros, sustancias tóxicas, etc.

De otros lados, usualmente es posible que como consecuencia de una mala operación y mantenimiento, los olores desagradables provengan de depósitos de lodo flotante y vegetación putrefacta en algunos casos.

El problema de malos olores se puede solucionar mediante la reducción de la carga orgánica a través de la disminución del caudal de entrada o agregando los nutrientes que faltan, los cuales pueden conocerse haciendo un análisis químico del agua. Los nitratos y fosfatos son los nutrientes principales que deben estar presentes en la laguna.

Los procedimientos para la prevención de malos olores son los siguientes:

- Si existe más de una laguna facultativa, la que presenta el problema debe retirarse de operación hasta su respectiva solución. En tanto, las restantes deben ponerse en operación con alimentación en paralelo.
- De contar con un número suficiente de aereadores superficiales, éstos podrían ser instalados temporalmente para mejorar la mezcla y la oxigenación.
- En el caso de existir una sola entrada, el flujo deberá ser distribuido a través de múltiples entradas, evitándose los problemas de cortocircuito o caminos preferenciales de flujo dentro de la laguna.
- El tratamiento con nitrato de sodio eliminará el olor con buenos resultados empleándose una dosis de 5-15% por kg. de DBO, ó 1,000

m³. El procedimiento se puede repetir en los días siguientes pero con tasas menores. Los efectos del nitrato de sodio llamado también "salitre" son los siguientes:

- Proporcionar oxígeno para que exista descomposición aerobia.
- Estimular el crecimiento de algas y otros organismos que proporcionen oxígeno adicional mediante fotosíntesis.
- Mantener en la laguna una reacción alcalina.

El tratamiento con cal permite controlar la acidez en una laguna. Las aguas residuales con altos contenidos de compuestos de azufre pueden causar efectos negativos en la biomasa algal del agua de las lagunas, como toxicidad y proliferación de condiciones de ambientes de pH ácidos por la reducción de los componentes oxigenados (sulfatos), además de la consiguiente producción de ácido sulfúrico. Para evitar esta situación, se debe mantener en la laguna un pH entre 7.5 y 9, agregando dosis adecuadas de cal. Así, se evita un incremento en la producción de sulfuros y por consiguiente en mal olor.

En lo que respecta a los vegetales acuáticos, es necesario cortarlos y retirarlos.

4.3.6 Declinación del pH

El crecimiento y el desenvolvimiento de diversos tipos de algas dependen del pH. Las algas verdes por ejemplo, necesitan un pH entre 8.0 y 8.4. El pH y el O_2 varían durante el día, predominando valores menores a la salida del sol y más elevados durante la tarde.

El declinamiento del pH, seguido de un descenso en el O_2 , provoca la muerte de las algas verdes. Muchas veces esto es causado por: sobrecarga orgánica, largos períodos con condiciones meteorológicas

adversas **y** presencia de animales como Daphnia que se alimentan de algas. Esta situación se corrige así:

- Desactivar temporalmente la laguna **y** permitir su restablecimiento.
- Verificar los posibles cortocircuitos.
- Instalar aereadores artificiales en caso de sobrecarga.
- Verificar posibles causas de toxicidad o mortandad de algas **y** corregirlas en la propia fuente.

4.4 Programa de medición de parámetros

En el establecimiento de los criterios de control de la calidad de los efluentes de cada proceso de tratamiento, se deben contemplar las determinaciones **y** evaluaciones de parámetros fisico-químicos **y** bacteriológicos, tanto del caudal afluente como de los efluentes tratados.

Para conseguir dichos objetivos, es necesario realizar el control de las siguientes mediciones:

- Demanda bioquímica **y** química de oxígeno total **y** soluble en el afluente **y** efluente.
- Niveles de sólidos totales **y** volátiles de entrada **y** salida, como medida de acumulación de sólidos biológicos **y** del desarrollo de biomasa de algas.
- Nivel de oxígeno (ocasionalmente).
- Niveles de coliformes fecales **y** parásitos.
- Observaciones visuales en la laguna, como coloración de las aguas

De este modo, se calculan algunos parámetros de control como:

- a) Carga orgánica superficial del proceso
- b) Eficiencias de remoción de materia orgánica **y** bacteriológica.
- c) Actividad fotosintética
- d) Producción de sólidos biológicos del proceso
- e) Requisitos de limpieza del proceso.

De estos parámetros, los considerados de mayor interés desde el punto de vista práctico para el operador son los siguientes:

1. **Oxígeno disuelto (obtenido por método de Winkler):** Es imprescindible fijar el oxígeno en terreno, inmediatamente después tomarse la muestra. De lo contrario, el resultado dependerá en gran medida del tiempo que transcurra entre la toma de la muestra y su fijación. En caso de contar con oxímetro (electrodo), se podrán medir a 20 cm debajo de la superficie líquida, por lo menos a las 07:00, 12:00 y 17:00 horas.

Además, es necesario realizar las siguientes determinaciones dos veces por semana, próximo a la entrada, en el medio, y próximo a la salida de la laguna, a una profundidad de 20 cm por debajo de la superficie líquida, 20 cm arriba del fondo y en el medio de la lámina líquida: oxígeno de respiración, oxígeno disuelto y oxígeno de fotosíntesis.

2. **Temperatura del agua :** Debe medirse directamente en las lagunas o en los conductos, En ningún caso se medirán en las botellas de muestreo ya que el agua rápidamente adquiere una temperatura de equilibrio entre su temperatura original y la del envase.
3. **pH :** Cuando se utiliza papel sensible (comparador), debe comprobarse permanentemente la calidad de éste para evitar una medición incorrecta de este importante parámetro.
4. **DBO :** Debe transcurrir el menor tiempo posible entre la toma de la muestra y el inicio del análisis, ya que la velocidad de consumo de oxígeno es máxima en los primeros minutos. Se recomienda un máximo de 6 horas con refrigeración.
5. **Color :** Indica el estado general de los microorganismos en las capas superficiales de la unidad. Se recomienda el "método colorimétrico" del "platino cobalto".

Debido a que el caudal afluyente a planta no será constante, se aconseja realizar por lo menos una vez al mes un muestro compuesto de 24 horas con extracción de muestras cada 2 o 4 horas, a fin de ratificar los valores de concentración adoptadas en la evaluación de las eficiencias de remoción de materia orgánica u bacteriológica. En el caso de las unidades de tratamiento.

Es suficiente tomar muestras puntuales, ya que en éstas las capacidades de almacenamiento absorben las variaciones horarias tanto de caudal como de concentración.

4.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARAPONGO

Generalidades - Ubicación

Desde inicios del presente siglo, los desagües de la ciudad de Lima, eran conducidos por colectores a través de la ciudad, para ser descargados sin tratamiento alguno al río Rimac o al mar.

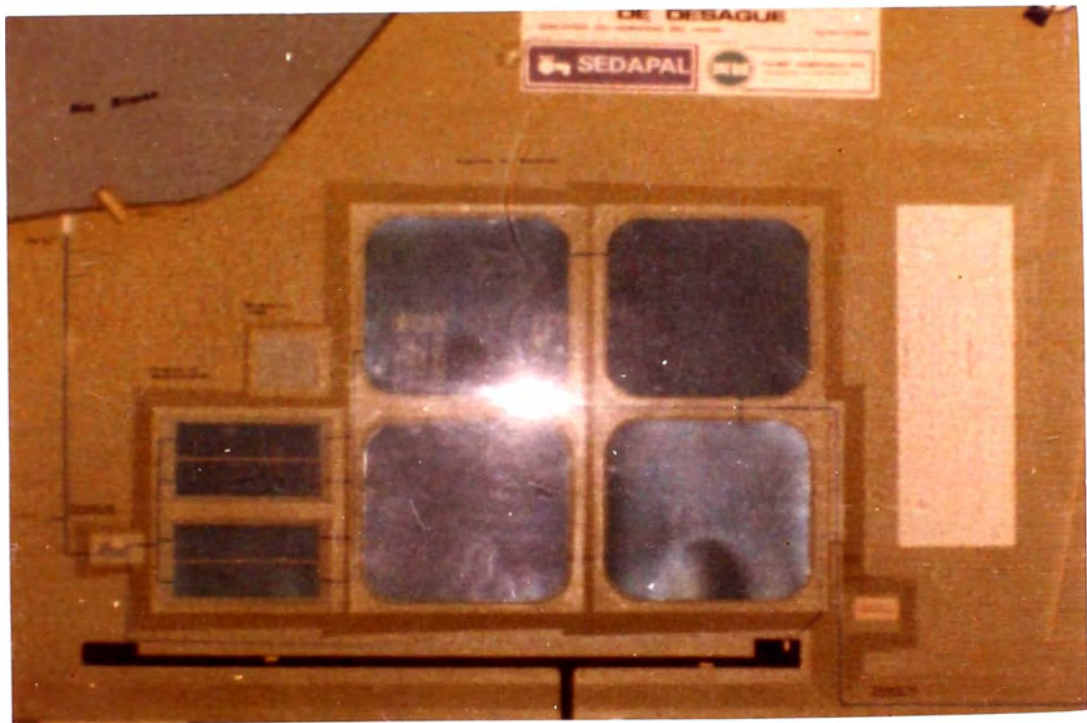
En 1960 se construyen las Lagunas de Oxidación de San Juan de Miraflores, con la finalidad de tratar los desagües domésticos del cono sur, para su posterior reuso en la reforestación de la zona. Con esta experiencia, en Lima y en diferentes puntos del país se construyen mas lagunas de Oxidación.

En 1988, inicia su operación la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo, diseñada, construida y donada por el gobierno de Japón.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Carapongo esta ubicada en el Km 17.5 de la carretera central, opera desde Junio de 1988 y recibe los desagües de las localidades de Chosica, Chaclacayo, Huaycan y Horacio Zevallos. La cobertura de servicio de alcantarillado en esta zona es del 75% correspondiente a una población de 102,900 habitantes y 1200 Has de área de drenaje.

El sistema de tipo lagunas aeradas facultativas fue diseñada para tratar un caudal de 140 lt/seg. una calidad del efluente de 30 mg/lt de O B O ₅ y 60 mg/lt de sólidos suspendidos. La sobrecarga hidráulica llegó en el mes de Diciembre de 1996 a 275 lt/seg y en Julio de 1997 a 315 lt/seg. a pesar del menor tiempo de retención, la calidad del desagüe tratado final fue de 27.8 mg/lt de O B O ₅ y 41.5 mg /lt de sólidos suspendidos.

La siguiente fotografía de la PTAR - Carapongo corresponde a la maqueta de ubicación de las lagunas ubicada en el laboratorio de Carapongo.



Composición - Sistema de tratamiento

Cuenta con las siguientes unidades:

- a) Rejas de 1.5 cm. de separación
- b) 1 Desarenador
- c) 1 Medidor de caudales Parshall

- d) 2 Lagunas Primarias de 80 x 80 y 2.5 mts. de profundidad
- e) 2 Lagunas Secundarias de 80 x 80 y 2.5 mts. de profundidad.
- f) 4 Sedimentadores de 70 x 20 y 2.5 mts. de profundidad.
- g) 1 Caseta de Cloración.

Las siguientes fotografías muestran los aereadores en actividad en las lagunas proporcionando el oxígeno correspondiente para degradar la materia orgánica.



Diagrama de proceso de tratamiento características

- 1) *Aguas Residuales.*- Son los desechos evacuados por el hombre; los cuales están compuestos por bacterias (coliformes fecales, salmonella, vibrio calera), parásitos (giardia, entamoeba, coli), protozoarios, etc. y materia orgánica biodegradable por estos.
- 2) *Canal de ingreso de los desagües.*- A través de tuberías de concreto, los desagües de las localidades de Chosica y Chaclacayo son llevados a la planta de tratamiento.

- 3) *Cámara de rejillas*.- Para remover materiales flotantes; como: latas, madera plásticos, etc., los cuales son enterrados en un Relleno Sanitario.
- 4) *Desarenadores*.- Donde se remueve la arena por gravedad.
- 5) *Medidor de caudales Parsha/1*.- Mide el ingreso de los desagües a la Planta de Tratamiento.
- 6) *Lagunas Primarias* .- Las estabilización de materia orgánica resulta de la combinación de la actividad metabólica de algas y bacterias; las cuales utilizan la materia orgánica para su crecimiento, a la vez que la transforman en compuestos mas simples como el CO₂, que sirven a las algas que con ayuda de aereadores y la luz solar realizan la fotosíntesis favoreciendo así la producción de oxígeno.
- 7) *Lagunas Secundarias*.- El proceso de estabilización sirve de complemento donde la actividad metabólica es similar a la de las Lagunas Primarias.
Luz - Algas (Fotosíntesis) - Oxígeno Disuelto - Bacterias (Respiración) - Sales minerales (CO₂) - Desagües (Materia orgánica) .
- 8) *Sedimentadores*.- Las algas, sólidos suspendidos y otros ; precipitan por acción de la gravedad.
- 9) *Caseta de Clorinación* .- Para la dosificación de cloro con la finalidad de destruir los gérmenes patógenos que no han sido removidos en los procesos anteriores.
- 10) *Canal de descarga de los desagües*.- Descarga el desagüe tratado al río Rimac; para su reuso en la planta de tratamiento de aguas de la Atarjea.

4.6 PROCESOS FISICOQUIMICOS

Introducción

En el área del control de la contaminación acuática estos esfuerzos han significado importantes logros en la concepción de los esquemas utilizables y en la proposición de nuevos procesos y de nuevos criterios para el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales. Es así como se considera hoy posible la utilización de *Procesos físico-químicos* como complemento a los tradicionales *Procesos biológicos* o aún como sustituto para el tratamiento de las aguas residuales.

Procesos físico-químicos (PFQ) - Generalidades

Históricamente los PFQ surgieron como una respuesta a la necesidad de dar un mayor tratamiento a los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que utilizaban Procesos Biológicos tales como los lodos activados o los filtros percoladores, para poder cumplir con normas más severas en cuanto a la calidad físico-química y bacteriológica de las descargas sobre los cuerpos de agua. En un sentido estricto se puede decir que aún hoy se considera que los PFQ son métodos de tratamiento que se utilizan para remover del agua a aquellas sustancias contaminantes que son de difícil remoción mediante los PB convencionales.

Entre estas sustancias contaminantes se suelen incluir aquellas denominadas como sustancias orgánicas refractarias o como compuestos orgánicos no-biodegradables, los cuales se reportan usualmente como DQO o COT, los compuestos nutrientes, o sea aquellas sustancias que contienen fósforo (P), y nitrógeno en sus distintas formas, los metales pesados, sales inorgánicas y en general todo el grupo de compuestos tóxicos de naturaleza orgánica.

Para lograr dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales crudas o a los efluentes de los sistemas de tratamiento biológico o secundario, es posible considerar un conjunto de operaciones y procesos, los cuales se denominan indistintamente como "procesos de tratamiento terciario", "procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales", o simplemente como PFQ. En la figura No. 1 se presentan algunos esquemas típicos de sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante PFQ.

En términos generales, la selección de la secuencia más aconsejable para dar un correcto tratamiento a las aguas residuales crudas o un tratamiento suplementario a los efluentes de un sistema de tratamiento mediante PB, se basa en la comparación entre la calidad físico-química de las aguas residuales crudas o de los efluentes, las normas sobre calidad de las descargas y las características y eficiencias en la remoción de los contaminantes de los PFQ, que se deseen considerar. Como es obvio, el factor de costos de construcción, operación y mantenimiento tiene que jugar un papel muy importante en la selección de la secuencia particular para los casos en consideración. En la tabla IV-1 (ver apéndice) se presenta alguna información sobre las características de los efluentes de algunas plantas de tratamiento secundarios para desechos líquidos municipales e industriales.

En la tabla IV-2 y tabla IV-3 (ver apéndice) se presenta información sobre algunos PFQ con la indicación de los contaminantes que son aptos de remover.

CAPITULO V

5. CARBON ACTIVADO PARA LA REMOCION DE COMPUESTOS ORGANICOS ESPECIFICOS

5.1 CARBON ACTIVADO - Generalidades

El carbón activado ha sido utilizado como proceso de tratamiento de distintos productos en el sector industrial durante muchísimos años. Su uso como proceso de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, es relativamente reciente. Gran parte de la tecnología conocida en la actualidad proviene de los usos industriales anteriores y de los resultados de las investigaciones y de los proyectos de demostración realizados en los últimos 15-20 años. El uso del carbón activado se ha convertido en una muy buena alternativa de tratamiento de las aguas residuales merced a los desarrollos tecnológicos logrados, y en especial gracias a los avances en el campo de los procesos y equipos para la regeneración del carbón "agotado", con lo cual se reducen considerablemente los costos de operación del sistema.

La utilización del carbón activado como proceso físico-químico para el tratamiento de desechos líquidos puede hacerse siguiendo uno de los enfoques hoy en boga: como proceso terciario o avanzado para dar un mayor pulimento a los efluentes de los sistemas secundarios o como uno de los procesos incluidos dentro del concepto de PFQ de tratamiento. En ambos esquemas se requiere que los afluentes a los filtros de carbón activado hayan recibido un cierto tratamiento preliminar que permita una buena operación del sistema. Existen distintos esquemas de los sistemas de tratamiento avanzado o de los PFQ de tratamiento, algunos de los cuales se presentan en las Figuras N° 1, 2 y 3 (Ver Anexo).

5.2 PROCESOS DE ADSORCIÓN - Adsorción

Las operaciones de adsorción explotan la capacidad especial de ciertos sólidos para hacer que las sustancias específicas de una solución se concentren en la superficie de la misma. De esta, forma pueden separarse los componentes de soluciones gaseosas ó líquidas.

En separaciones gaseosas la adsorción se usa para deshumidificar aire, eliminar olores e impurezas, recuperación de vapores valiosos, fraccionar mezclas de gases de hidrocarburos, etc. En separaciones de líquidos se usa para eliminación de humedad en gasolina, decoloración de productos de petróleo y azúcar, eliminación de color y sabor en el agua y fraccionamiento de hidrocarburos aromáticos y parafínicos.

Todas las operaciones son similares y consisten en poner en contacto la mezcla por separar con otra fase insoluble, el sólido adsorbente, y en que la distinta distribución de los componentes originales entre la fase adsorbida en la superficie sólida y el fluido permite que se lleve a cabo una separación. Además, la rigidez e inmovilidad de un lecho de partículas adsorbentes sólidas hace posible la útil aplicación de los métodos semicontinuos, que no son aplicables cuando se ponen en contacto dos fluidos.

Son procesos en los cuales se explota la capacidad de algunos sólidos para concentrar sustancias específicas sobre sus superficies, con lo cual facilitan la separación de tales sustancias contenidas en soluciones líquidas o gaseosas. Estos procesos son parte de un grupo mayor de operaciones conocidas con el nombre genérico de "Operaciones de Transferencia de Masa", las cuales presentan la característica general de efectuar un transporte de masa, a escala molecular, de una sustancia a través de otra. La gran mayoría de estas operaciones logran la separación de los componentes de una solución al poner la solución en contacto con otra fase insoluble que puede ser sólida, líquida o gaseosa. En el caso de los procesos de adsorción la fase insoluble es generalmente sólida.

5.2.1 Tipos de Adsorción

La adsorción es un proceso espontáneo que conlleva, por consiguiente, una reducción de la energía libre del sistema. La sustancia absorbida es retenida sobre la superficie del sólido mediante fuerzas físicas o químicas asociadas con la naturaleza de la superficie de la sustancia adsorbente.

Dependiendo de la naturaleza del enlace establecido entre las moléculas de las sustancias absorbidas y la superficie del adsorbente, existen dos tipos de adsorción, a saber, la física y la química.

Adsorción Física o adsorción de "Vander Waals": Fenómeno fácilmente reversible, es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y la sustancia absorbida. La sustancia absorbida no penetra dentro de la red cristalina ni se disuelve en ella, sino que permanece totalmente sobre la superficie. Sin embargo, si el sólido es muy poroso y contiene muchos pequeños capilares, la sustancia absorbida penetrará en estos intersticios; si es que la sustancia humedece al sólido. La presión de vapor en el equilibrio de una superficie líquida, cóncava y de radio de curvatura muy pequeño, es menor que la presión de una gran superficie plana; la extensión de la adsorción aumenta por consiguiente. Las operaciones industriales de adsorción, del tipo que se va a considerar, dependen de su reversibilidad para recuperar el adsorbente (que se vuelve a utilizar), para la recuperación de la sustancia absorbida, o para el fraccionamiento de mezclas. La adsorción física es un fenómeno fácilmente reversible como se puede constatar a partir de los calores generados, similares a los calores de solución.

Quemisorción o adsorción química activada: Es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia absorbida. La fuerza de la unión química puede variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos en sentido usual; pero la fuerza de adhesión

es generalmente mucho mayor que la observada en la adsorción física. El calor liberado durante la quimisorción es comúnmente grande, es parecido al calor de una reacción química. El proceso frecuentemente es irreversible; en la desorción, de ordinario, se descubre que la sustancia original ha sufrido un cambio químico.

5.2.2 EQUILIBRIOS DE ADSORCION

La mayoría de los datos experimentales con respecto a la adsorción representan mediciones de equilibrio. Cuando un adsorbente sólido se sumerge en un líquido puro, la evolución de calor, conocida como calor de humectación, es prueba de que ocurre la adsorción del líquido. No obstante, la inmersión no proporciona un método efectivo para medir la extensión de la adsorción.

Adsorción en soluciones acuosas diluidas

La adsorción tiene un comportamiento diferente, dependiendo de la concentración de los solutos que se espera adsorber sobre la superficie de la fase sólida. En un caso la adsorción se lleva a cabo en una solución binaria o compleja y es necesario considerar la adsorción de la fase solvente, además de la del soluto propiamente dicho.

En otro caso la adsorción ocurre en soluciones muy diluidas, como es el caso de las "soluciones" que realmente constituyen las aguas residuales, las cuales a pesar de ser soluciones muy complejas en las cuales existen muchos solutos disueltos a la misma vez, la mayoría de los solutos orgánicos están presentes en concentraciones muy bajas.

El tratamiento teórico dado al proceso de adsorción como método para la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales se limita pues al caso mencionado en último lugar en el párrafo anterior. Es necesario observar que la adsorción en soluciones acuosas diluidas también conlleva la adsorción del agua como solventes, como se puede evidenciar cuando se produce calor al mezclar carbón activado con agua destilada. La cantidad de solvente absorbida es tan pequeña que es despreciable para todos los propósitos prácticos.

La característica de operación de un sorbente sólido para tratar corrientes de líquidos o gases dependen de cuatro factores principales:

1. La capacidad final del adsorbente hacia el soluto, que puede utilizarse o no en forma plena en condiciones del proceso real.
2. El equilibrio de fase, que influye en la eficiencia con que se alcanza dicha capacidad y en muchos casos (adsorción, absorción, extracción) controla la capacidad real del adsorbente.
3. El comportamiento de la velocidad, así como el mecanismos que la regulan.
4. La configuración del proceso con sus consecuencias para el balance del material.

5.2.3 ISOTERMAS DE ADSORCION

Un método de estudio relativamente fácil es disponible acerca de la posibilidad de un tratamiento por tubos verticales con carbón activado granular para una aplicación singular eso es por la inspección de la decoloración o isoterma de adsorción. Una isoterma de fase líquida demuestra la distribución de la adsorción entre lo adsorbido y las fases de la solución y es una traza de la cantidad de impureza adsorbida, contra la cantidad de impureza que queda en la solución. En casos de aplicaciones de fases líquidas, podemos obtener generalmente trazas rectas usando la

ecuación empírica de Freundlich, que relaciona la cantidad de impurezas en la fase de la solución con la fase adsorbida por la siguiente expresión.

$$x/m = k \cdot c^{1/n}$$

donde:

x = cantidad de color adsorbido.

m = peso del carbón.

x/m = concentración en el estado adsorbido.

c = equilibrio de concentración en la solución después de la adsorción.

k, n = constantes.

aplicando logaritmos a ambos lados :

$$\log x/m = \log k + (1/n) \cdot \log c$$

que es una línea recta cuya inclinación es $1/n$ y cuyo interceptado es k en $c = 1$. Por lo tanto, si se traza x/m contra c en papel logarítmico, se debe obtener una línea recta. Esto ocurre en la mayoría de los sistemas encontrados, sobre todo, porque estamos interesados en quitar contaminantes de baja concentración o colorantes y la ecuación se aplica bien para soluciones diluidas.

5.2.3.1 Determinación de isotermas de adsorción

Los datos para trazar isotermas se obtienen por tratar volúmenes fijos del líquido a ensayar con una serie de pesos conocidos de carbón. La mezcla carbón - líquido se agita por un tiempo determinado a una temperatura constante. Después de remover el carbón por filtración, se determina el color residual u otro parámetro a evaluar de la solución. Si la impureza es incolora, la concentración residual se puede medir por un método analítico alternativo. Con estas medidas, todos los valores necesarios para trazar la isoterma pueden ser calculados.

Selección de condiciones experimentales

- **Temperatura.-** Si la solución por tratar tiene una viscosidad cerca de 6 centipoises o menos, los ensayos de isotermas pueden efectuarse al tiempo. Sin embargo, si el licor es mas viscoso, tal como el jarabe de azúcar, o si es sólido al tiempo, tal como la cera, es necesario aumentar la temperatura hasta obtener un liquido suficientemente fluido para asegurar un buen contacto con el carbón. En muchos casos se impondrán limites de temperatura por la estabilidad térmica del material que se ensaya o por practica de instalación ya existente.
- **Tiempo de contacto.-** Se recomienda un mínimo de 1 hora. Conviene hacer un experimento preliminar en el cual volúmenes fijos del licor para ensayo están en contacto con un peso fijo de carbón por periodos de 1, 2, 3, 4 horas. Si se traza el porcentaje de la eliminación de color como función del tiempo, se obtendrá una curva semejante a la figura. Se debe elegir un tiempo largo para asegurar la proximidad al equilibrio.
 - **Efecto del pH.-** El carbón activado podrá afectar el pH de un liquido con el cual hace contacto ya sea por la disolución de una parte de los constituyentes de la ceniza inorgánica o por la adsorción preferente de los ingredientes acidificadores o básicos de la solución. Cualquier efecto de esta clase será mas grande en la dosis de carbón mas grande.

El pH final de la solución podrá afectar el equilibrio de la adsorción y además al color de la solución. También, el pH de la solución ensayada puede afectar la eficiencia del carbón. La adsorción de las moléculas orgánicas es generalmente mas efectiva en el punto isoeléctrico.

- **Tamaño de la partícula de carbón.-** En una aplicación de fase líquida, el traslado de lo adsorbido de la solución en masa a la partícula de carbón debe proceder a través de cuando menos dos etapas:

1. El traslado de la molécula adsorbida del líquido suelto a la superficie de la partícula de carbón.
2. La migración de lo adsorbido de la superficie de carbón al sitio de adsorción dentro de la partícula.

Por experimentos cinéticos es sabido que el primer medio es más rápido que el segundo, y esto es el medio que determina la velocidad. La tasa de adsorción entonces variará con el diámetro de la partícula de carbón usada en el ensayo. Para eliminar esta variable, o por lo menos reducir al mínimo sus efectos se recomienda pulverizar el carbón granular para que el 95 % pase por un tamiz de malla 325 o realizar las pruebas con PAC.

- **Dosificación de carbón.-** En ensayos preliminares se recomienda usar dosis de 0.5, 1, 2, y de 5 gr por 100 ml de solución. Si la dosis de 5gr no es suficiente para obtener el grado de necesario para la eliminación de impurezas, se deberán probar dosis mayores. Por otra parte, si una de las dosis intermedia es suficiente para la purificación completa y satisfactoria, se deben obtener límites los más amplios posibles.

5.2.4 Determinación de la capacidad de adsorción

Para estudiar el proceso de adsorción generalmente se observa el comportamiento de una mezcla de la fase adsorbente y de la solución que contiene el soluto; un peso conocido del material adsorbente (carbón activado, por ejemplo), se pone en contacto con una solución de concentración conocida del soluto; debido a la atracción preferencial de las

zonas activas del adsorbente por el soluto en solución, la concentración de ésta disminuye a medida que pasa el tiempo.

Muy resumidamente se puede indicar que las anteriores observaciones concluyen en indicar que las variables de mayor consideración e importancia son la capacidad y afinidad del adsorbente por el soluto y la velocidad a la cual ocurre la adsorción.

Si se desprecian los cambios en el volumen de la adsorción, presentandolos como consecuencia de la adsorción muy limitada de la fase solvente entonces la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso del material adsorbente viene dada por la siguiente expresión :

$$X = V (C_0 - C_1)$$

donde:

X = Cantidad del soluto adsorbido por unidad de peso del adsorbente, en mg/g o moles/g.

V = Volumen de la solución por unidad de peso del adsorbente, en l/gr.

C₀, C₁ = Concentración del soluto en solución a tiempos t₀ y t₁, respectivamente, en mg/l o moles/l.

A partir de esta ecuación y con base en el estudio y análisis metódico de las observaciones arriba sugeridas es posible llegar a unas bases firmes para seleccionar los criterios de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el uso de la adsorción de los contaminantes sobre los sitios activos de la superficie del carbón activado. Para evaluar la efectividad de su uso como método de tratamiento de aguas residuales válido es necesario considerar dos aspectos centrales del proceso, como ya se indicó:

- La capacidad del carbón activado para absorber las sustancias contaminantes, lo cual se logra mediante el estudio del equilibrio de la adsorción.
- La velocidad a la cual ocurre el proceso de remoción de los contaminantes por adsorción sobre el carbón activado, para lo cual es preciso estudiar la cinética del proceso.

Por medio de la isoterma, es claro si se puede o no, obtener el grado deseado de pureza, con el carbón activado especial que se ensaya. Se puede obtener mas información con un estudio mas detallado.

524.1 Calculo de la capacidad de adsorción

Si se levanta una línea vertical desde el punto en la escala horizontal, que corresponde a la concentración influente (c_0) y el isoterma es extrapolado para intersectar esa línea, el valor x/m en el punto de intersección puede leerse en la escala vertical. Este valor, llamado $(x/m)_{c_0}$ representa la cantidad de impureza adsorbida por unidad de peso de carbón, cuando el carbón esta en el equilibrio con al concentración influente. Dado que este equilibrio debe alcanzarse eventualmente durante el tratamiento por tubos verticales, representa la capacidad esencial del carbón.

Del valor $(x/m)_{c_0}$ la capacidad, en termino de volumen del liquido tratado puede calcularse:

Para completa decoloración :

$$V_{eo} = ((x/m)_{c_0} / C_0) * V$$

donde:

V_{e0} = Volumen teórico del líquido decolorado por gramo de carbón.

$(x/m)_{c0}$ = Capacidad por gramo de carbón en la concentración del influente.

V = Volumen de líquido usado en el ensayo de isoterma.

c_0 = Concentración influente

Esta fórmula es aplicable solamente cuando se alcanza una completa decoloración. Cuando la decoloración no es completa o si se desea calcular el volumen de líquido decolorado a una concentración C_1 , se puede usar la siguiente fórmula:

$$V_{c0} = ((x/m)_{c0} / (c_0 - c_1)) * V$$

5.2.5 EVALUACION DE LABORATORIO DE CARBONES ACTIVADOS GRANULADOS PARA APLICACION DE FASES LIQUIDAS

Procedimiento

1. Pulverice una muestra representativa de carbón granular, de manera que el 95% pase por un tamiz de malla 325, séquese la muestra pulverizada al horno por 3 horas o use PAC.
2. Obtenga una muestra representativa del agua residual a ensayar, cualquier material flotante debe eliminarse por filtración.
3. Traslade pesos distintos de la muestra pulverizada, o PAC.

4. A un envase agregue 100 ml de la solución a tratar ,adicionando el peso de carbón a evaluar, agítese la mezcla por el tiempo de contacto elegido.
5. Después de haber transcurrido el tiempo de contacto elegido, fíltrese el contenido del frasco. Es preferible descartar las primeras y ultimas porciones del filtrado y guardar para el análisis, las porciones intermedias.
6. Determínese el color del filtrado, u otro parámetro para evaluar el % de remoción, la concentración residual puede determinarse por un procedimiento analítico alternativo.
7. Tabúlese los resultados, como se indica en la tabla. El color de la solución residual o concentración, c , se obtiene directamente del análisis del filtrado. La cantidad adsorbida en el carbón, x , se obtiene al sustraer, c_0 menos c (c_0 es la concentración que entra). Al dividir x por m , el peso del carbón usado en el ensayo, dará la cantidad adsorbida por unidad de peso de carbón.
8. En papel log - log colóquese c en el eje horizontal contra x/m en el eje vertical y trácese la mejor línea recta por los puntos como se observa en la figura.

5.2.6 CINETICA DE ADSORCION

La velocidad efectiva de adsorción se determina por medio de uno o mas pasos de difusión. El funcionamiento de equilibrio con grandes cantidades de partículas dependerá tanto del comportamiento local de la partícula como del tamaño y la disposición general del equipo.

El estudio del equilibrio que establece en un sistema liquido - sólido es importante para conocer la distribución del soluto entre las fases solvente y

adsorbente y en la determinación de la posibilidad y capacidad de la fase sólida para adsorber el soluto. Este estudio, aunque necesario, no arroja toda la información necesario para el diseño del sistema. Igualmente o aun mas importante es el estudio de la cinética del sistema, que consiste en la determinación de las velocidades a las cuales el sistema se aproxima y alcanza el equilibrio. Como quiera que esta velocidad del proceso de adsorción determina el tiempo necesario para que se establezca el equilibrio del sistema , o aquella condición en la cual ya no hay remoción adicional de contaminante, entonces dicha velocidad condiciona el tamaño y costo de los equipos.

La tasa a la cual el soluto es removido de la solución para ser adsorbido sobre la superficie de carbón activado depende de los coeficientes de transferencia de masa y del grado de alejamiento del equilibrio que presenta el sistema. Una vez que se alcanzan las condiciones de equilibrio entonces cesa la transferencia del soluto de la solución a la fase sólida.

El comportamiento cinético de una mezcla o sistema de aguas residuales y carbón activado depende de uno o varios mecanismos o factores que controlan la tasa de transferencia :

- **Resistencia externa.-** La primera resistencia que se tiene que vencer es aquella asociada a la transferencia del soluto de la fase líquida hasta la superficie del adsorbente mediante la difusión molecular y el cruce a través de la interfase líquido - sólida.
- **Difusión intraparticu/ar.-** La segunda resistencia es la que controla la transferencia del soluto desde la superficie externa del adsorbente hasta los sitios activos localizados en el interior de la partícula adsorbente. Esta transferencia se logra mediante la difusión del soluto a lo largo de los espacios porosos de al partícula de carbón, bien por

migración a lo largo de las paredes de los poros o mediante difusión molecular a lo largo del líquido contenido en los poros.

- **Adsorción en el sitio activo interior** .- El tercer paso en el proceso cinético es la adsorción del soluto en los sitios activos interiores de las partículas de carbón activado. Esta adsorción está caracterizada por la generación de calores de adsorción y por la altísima velocidad a la cual se produce la fijación del soluto sobre el sitio activo. Por esta razón, esta resistencia a la transferencia se considera despreciable frente a las otras.

Si el efecto de esta última resistencia se desprecia, como ya se indicó, entonces el comportamiento cinético del sistema está gobernado por uno o tres mecanismos a saber:

- La transferencia exterior
- La difusión intraparticular.
- Una combinación de las dos anteriores.

Estos factores de resistencia a la operación de transferencia de masa se suelen caracterizar por medio de sus respectivos coeficientes de transferencia de masa.

La velocidad efectiva de adsorción se determina por medio de uno o más pasos de difusión. Las ecuaciones siguientes se refieren a las condiciones locales dentro del equipo de contacto, tal como se aplican a las concentraciones promedio en la cercanía de una sola partícula de sorbente, las partículas de forma irregular se tratan como esferas.

5.3 TIPOS DE ADSORBENTES

Muchos sólidos, aún los más comunes, son capaces de absorber gases y vapores en pequeñas cantidades. Sin embargo, solo algunos pocos tienen suficiente especificidad y capacidad como para poder ser utilizados a escala industrial. Adicionalmente, los adsorbentes deben satisfacer algunas propiedades adicionales que restringen aún más las posibilidades de selección:

- Grandes áreas superficiales por unidad de peso.
- Resistencia y dureza alta.
- Facilidad de transporte en procesos industriales.

La importancia de dichas propiedades es obvia. Las grandes áreas de las superficies de contacto se requieren para lograr una mayor adsorción de solutos con pequeñas cantidades del material adsorbente. La resistencia y la dureza se requieren para que el material no se desgaste, ni disminuya en tamaño durante su manipuleo, o en la operación de las columnas en las cuales usualmente se empaquetan o durante las operaciones de limpieza y lavado. La facilidad de transporte se requiere para permitir su desplazamiento entre sitios de las plantas mediante pastas acuosas. En el caso del tratamiento de las aguas residuales se ha encontrado que el carbón activado cumple muy satisfactoriamente las condiciones exigidas para su uso.

5.3.1 Naturaleza de los adsorbentes

Los sólidos adsorbentes por lo general se utilizan en forma granular, deben poseer ciertas propiedades relativas a la ingeniería, según la aplicación que se les vaya a dar. Si se utilizan en un lecho fijo a través del cual va a fluir un líquido o un gas, no deben ofrecer una caída de presión de flujo muy grande ni deben ser arrastrados con facilidad por la corriente que fluyen. Deben tener consistencia para que no se fraccionen al ser

manejados o se rompan al soportar su propio peso en lechos de espesor requeridos. Deben fluir libremente, si se sacan o meten al recipiente que los contiene. Los principales adsorbentes de uso general son:

- 1) *TIERRAS FULLER*.- Son arcillas naturales principalmente silicatos de aluminio y magnesio. La arcilla se calienta y se seca durante esta operación desarrolla una estructura porosa, es molida y cernida. Las arcillas son útiles para decolorar, neutralizar y secar productos de petróleo como aceites lubricantes, kerosene, gasolinas aceites vegetales y animales etc., lavando y quemando la materia orgánica adsorbida sobre la arcilla, el adsorbente puede usarse muchas veces.
- 2) *ARCILLAS ACTIVADAS*.- Son bentonita u otras arcillas que no muestran poder de adsorción hasta que se activan con ácido sulfúrico o clorhídrico. Después de este tratamiento la arcilla se lava y se seca y se reduce a un polvo fino. Es muy útil para decolorar productos de petróleo; generalmente se descarta después de una sola aplicación.
- 3) *BAUXITA*.- Es cierta alumina hidratada natural que debe activarse mediante calentamiento a temperatura de 230 - 820 °C con el fin de elevar su poder de adsorción. Se utiliza para decolorar productos de petróleo y para sacar gases; se puede reactivar mediante calentamiento.
- 4) *ALUMINA*.- Es un óxido de aluminio hidratado, que se activa por calentamiento para eliminar la humedad. El producto poroso se puede conseguir como gránulos o polvos; se utiliza como desecante de gases y líquidos. Puede reactivarse para volver a ser utilizada.
- 5) *CARBON DE HUESO*.- Se obtiene mediante la destilación destructiva de huesos pulverizados y secos a temperaturas de 600 a 900 °C. Se utiliza en la refinación de azúcar, puede volverse a utilizar después del lavado y quemado.

- 6) *CARBONES DECOLORANTES*.- Se preparan de modos distintos.
- a) Materia vegetal con sustancias inorgánicas como cloruro de calcio, se carboniza y elimina por lixiviación la materia inorgánica.
 - b) Materia orgánica con sustancias porosas como piedra pómez; luego se emplea calentamiento y carbonatación para depositar la materia carbónica en todas las partículas porosas.
 - c) Se carboniza madera, aserrín y similares; luego se emplea activación con aire o vapor caliente.
 - d) La lignita y el carbón bituminoso también son materias primas.

Estos carbones tienen gran cantidad de aplicaciones como, decoloración de azúcar, sustancias químicas industriales, drogas, líquidos de limpieza en seco, purificación de agua, refinamiento de aceites vegetales y animales y para recuperación de oro y plata a partir de sus soluciones de cianuro.

- 7) *CARBON ADSORBENTE DE GASES*.- Se prepara por carbonatación de cascaras de coco, semillas de fruta, carbón, lignita y madera. Deber ser activado, lo cual equivale a un proceso parcial de oxidación mediante tratamiento con aire o vapor caliente. Puede ser en forma granular o de lentejas; se usa para recuperación de hidrocarburos de gasolina a partir de gas natural, recuperación de vapores de disolventes de mezclas gaseosas, en mascara de gas, fraccionamiento de gases de hidrocarburos. Para volverlo a utilizar es necesario la evaporación del gas adsorbido.
- 8) *CARBON ACTIVADO DE MALLA MOLECULAR*.- Es una forma preparada especialmente de poros controlados. Los poros pueden admitir hidrocarburos parafínicos, pero rechazan isoparafinas de diámetros moleculares grandes. El producto es útil para fraccionar compuestos acetilénicos, alcoholes, ácidos orgánicos, cetonas, aludidos y muchos otros.

9) *ADSORBENTES POLIMERICOS SINTETICOS*.- Son perlas esféricas porosas, cada una es un conjunto de microesferas. El material es sintético, fabricado de monómeros polimerizables de dos tipos principales.

a) Fabricados a partir de aromáticos insaturados como estireno y divinilbenceno, son útiles para la adsorción de orgánicos no polares a partir de soluciones acuosas.

b) Fabricados a partir de esterres acrílicos son adecuados para solutos mas polares. Se utilizan principalmente en el tratamiento de soluciones acuosas; se regeneran por lixiviación con alcoholes o cetonas de bajo peso molecular.

10) *S/UCA GEL*.- Es un producto muy duro, granular, muy poroso; se prepara a partir del gel precipitado por tratamiento ácido de una solución de silicato de sodio. Se utiliza para la deshidratación de aire y otros gases, en mascarar de gases y para fraccionamiento de hidrocarburos. Se puede volver a utilizar con evaporación de la materia adsorbida.

Mallas moleculares

Son cristales de zeolitas sintéticos, porosos, aluminosilicatos metálicos. Las "jaulas" de las celdas cristalinas pueden atrapar materia adsorbida; el diámetro de los pasadizos, controlados por la composición del cristal, regula el tamaño de las moléculas que pueden entrar o ser excluidas. Se utilizan para la deshidratación de gases y líquidos, la separación de mezclas de hidrocarburos gaseosos y líquidos y una gran variedad de procesos. Se regeneran por calentamiento o elución.

5.4 DESCRIPCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

¿Que es lo que hace al carbón activado un material tan versátil?

Es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para así comprender mejor como es que el carbón activado realiza su función. La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como "fuerzas de Van der Waals". Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor absorbente podrá ser.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados o más, por gramo de carbón.

Todos los átomos de carbono en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuesto que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en "multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es intern³. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 a 3000 veces este valor.

Carbón activado

El carbón activado es similar al grafito crudo, el material usado en los lápices. El carbón activado, el diamante, y el grafito son las pocas formas puras de carbón y contienen casi nada de nitrógeno, hidrogeno, halógenos, sulfuros, o hidrogeno.

Dentro la perspectiva química el carbón activado es una forma imperfecta de grafito. Esta estructura imperfecta resultante en un alto grado de porosidad y mas de un millón de tamaños de poros, provistos de intersticios y vacíos de dimensiones moleculares. Las fuerzas de adsorción presentes en el carbón activado se derivan de atracciones intermoleculares en los pequeños poros. La adsorción define la propiedad de ciertos materiales adsorbentes de fijar en su superficie a las moléculas (iones metálicos, moléculas orgánicas, etc.) de una manera mas o menos reversible (regeneración).

Los carbones activados desarrollan enormes superficies especificas (600 - 1200 m²/g), que son propias de una alta microporosidad. La experiencia demuestra que los carbones activados son adsorbentes de muy amplio espectro, la mayor parte de las moléculas orgánicas se fijan en la superficie pero las de mayor fijación son las poco polares y las de mayor peso molecular. Además de sus propiedades adsorbentes, los carbones activados por lo general actúan como soporte físico de las bacterias capaces de degradar una fracción de la fase adsorbida, de esta forma una parte del soporte es continuamente regenerada y permite liberar sitios para volver a fijar nuevas moléculas.

5.4.1 Manufactura del carbón

Prácticamente cualquier material con alto contenido de carbono es susceptible de activarse; sin embargo, las materias primas más frecuentemente utilizadas son:

- Madera
- Lignito
- Hulla bituminosa
- Cáscara de coco
- Bagazo de frutas
- Turba

El carbón activado puede ser elaborado de gran variedad de materiales. La predominante calificación de este material sea el % de carbón contenido, generalmente son usados trozos de carbón, madera, turba, cascara de coco, carbón vegetal, etc. El carbón con el que es producido el carbón activado es un componente orgánico formado de varias especie biológicas que existieron millones de años atrás, tenemos 4 tipos de carbón; lignito, sub-bituminoso, bituminoso y antracita. Bituminoso es el mas utilizado para producir carbón activado. Las cenizas asociadas con el carbón están en el rango de 5 -10 %. El uso de cáscaras de coco en la manufactura de carbón activado proporciona propiedades que le permite ser utilizado en recuperación de metales preciosos y en remover trazas de contaminantes orgánicos en aire o aplicaciones líquidas. El total de cenizas contenidas en los carbones de coco varia de 4 - 8 %, pero aproximadamente tres cuartos del total de las cenizas son solubles en agua. Las cascaras de coco dan un carbón denso y resistente apropiado para la adsorción de gases y la celulosa forma un carbón vegetal blando y voluminoso que sirve para la purificación de las aguas potables.

TABLA V-1
Propiedades típicas de Carbón activado producido de diferentes materiales

Propiedades	Bituminoso	Sub-bituminoso	Lignito
Numero de lodo	1000	1000	600
Numero de Melaza	235	230	300
Abrasión	80	75	60
Densidad (lb/pie ³)	26	25	23
Actividad Volumétrica	26000	25000	13800
% Cenizas	6.7	12.3	20.1
% Fósforo	< 0.05	1 - 5	< 0.05

Existen básicamente dos procesos a través de los cuales se puede lograr la activación:

1.-Proceso Físico.

Que consisten en carbonizar la materia prima y posteriormente oxidarla normalmente en presencia de vapor a una alta temperatura (900 a 1000 °C)

2.-Proceso Químico

Que consiste en mezclar la materia prima con algún químico, normalmente cloruro de zinc o ácido fosfórico, y carbonizar la mezcla a una temperatura de entre 400 a 500 °C.

Las características específicas de los distintos tipos de carbones activados dependen principalmente de: materia prima, el proceso de activación utilizado.

El proceso de convertir este material finalmente en un medio adsorbente puede ser dividido en procesos químicos y procesos de altas temperaturas, finalmente el producto puede ser granular, peletizado o en polvo.

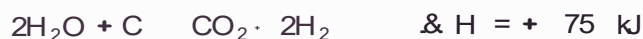
Muchos de los compuestos orgánicos volátiles de estos materiales son removidos durante la etapa de carbonización.

El proceso de activación consiste en una oxidación selectiva de parte de la estructura. Entre los gases de activación que pueden ser usados tenemos : aire, vapor de agua y dióxido de carbono. El vapor de agua y el dióxido son preferidos desde que las reacciones con oxígeno son violentas. Las temperaturas entre 800 °C y 1,000 °C aceleran las reacciones endotérmicas entre el material y el vapor de agua y el dióxido de carbono. Los gases oxidantes eliminan los hidrocarburos residuales y producen erosión en la superficie del carbón. Las propiedades del producto final son determinados para cada tipo de material. Generalmente se siguen las siguientes etapas :

- Preparación del material.
- Homogeneización del material previa molienda, tamizado para determinar el tamaño adecuado.
- Cocimiento en hornos especiales (oxidación + carbonización)
- Activación
- Tamizado,
- Selección final.

La etapa mas importante de la producción es el cocimiento en el horno y la activación.

Durante el cocimiento del horno los materiales son oxidados y carbonizados, esta etapa es altamente exotérmica y las temperaturas son controladas. La etapa de oxidación inicia a 150 ° C incrementando lentamente hasta 500 °C pasando a la etapa de carbonización.



El producto obtenido después del cocimiento en el horno esta virtualmente libre de volátiles, contiene pequeños poros listo para ser usado como adsorbente.

La creación de la superficie activa es hecha durante la etapa de activación. La estructura final permite que las moléculas de adsorbato puedan moverse entre las placas internas del carbono esto es logrado por la reacción del producto cocido con gases de oxidación, vapor de agua y dióxido de carbono son gases oxidantes. La reacción realizada es endotérmica, necesita alto calor a una temperatura de 800 °C a 1,000 °C. El balance de energía es mejorado por el quemado de los productos de reacción. Hidrogeno y monóxido de carbono en el horno. La combustión de los productos de reacción también regeneran los gases de oxidación (CO₂ y vapor de agua).



En otro procedimiento general se mezcla la materia carbonosa con compuestos químicos que desprenden gases oxidantes a la temperatura de activación. Son compuestos químicos apropiados para estos fines los siguientes : sulfato sódico, fosfato sódico, y dolomita. En un procedimiento típico se mezcla una parte de dolomita con una o varias partes de lignito pulverizado húmedo, después de secar y carbonizar la mezcla se calienta a 800 - 900 °C. A esta temperatura la dolomita desprende dióxido de carbono, que produce la oxidación selectiva de la superficie del carbón. Algunos compuestos químicos como la sosa caústica, el sulfuro de potasio y el tiocianato de potasio, calentados con carbón, ejercen una acción corrosiva que aumenta el poder adsorbente.

5.4.2 Regeneración del carbón activado

Durante la purificación del agua potable o remoción de contaminantes de agua residual impurezas removidas colectadas en los poros de las partículas del carbón activado se van acumulando reduciendo su efectividad. Estas impurezas pueden ser removidas por reactivación térmica.

La secuencia básica para la reactivación es la siguiente:

El carbón granular es bombeado en agua de los equipos de filtración adsorción al área de reactivación. Se elimina el agua del carbón y se alimenta al horno donde a temperaturas de 1500 - 1700 °F en atmósfera controlada se eliminan las impurezas adsorbidas siendo oxidadas y volatilizadas. El carbón reactivado en caliente es luego enfriado en agua y bombeado retornando a los equipos de filtración - adsorción. La pérdida promedio de carbón en la etapa de reactivación es del 5%, la vida promedio estimada es de 20 ciclos para lechos de carbón activado granular. Después de cada ciclo de reactivación nuevo carbón activado es adicionado para mantener el volumen del lecho.

La pérdida de carbón asociada con la reactivación es función de muchos factores, incluyendo el grado de reactivación y la atmósfera en el horno de reactivación. El grado de reactivación depende del tipo de adsorbato, del total de adsorbato (impureza) adherida al carbón, y del tipo de horno de reactivación. El siguiente diagrama ilustra los básicos componentes de una instalación de reactivación de carbón activado granular.

5.5 PROPIEDADES DEL CARBON ACTIVADO

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos. Los poros de un carbón activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño: microporos, poros medios, y macroporos.

Los microporos son poros con un radio de 20 \AA ó menos y son los que más área proporciona. Son útiles para absorber moléculas muy pequeñas, que generalmente se encuentran presentes en purificaciones de gases.

Los poros medios están en el rango de $20\text{-}500 \text{ \AA}$ y aunque su contribución al área total es menor que los microporos, su tamaño les permite absorber moléculas grandes que por lo general están presentes en purificaciones de líquidos.

Los macroporos casi no contribuyen al área total de un carbón pero su importancia radica en que actúan como vías de acceso a los poros, medios y microporos, afectando la velocidad de difusión de las impurezas en el carbón.

Desafortunadamente el área total y el tamaño de los poros no son fáciles de medir, y en consecuencia se suelen utilizar algunos indicadores como:

- Índice de Iodo.
- Índice de melaza.
- Índice de azul de metileno.
- Índice de tetracloruro de carbono.
- Índice de butano.

Estos índices nos dan una idea de que tan fácil se absorben las moléculas de distintos tamaños, por lo que podemos darnos una idea del tipo de poros que tiene un carbón.

Normalmente es difícil que un carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que tiene es una determinada distribución. Cuando la media se inclina hacia los

microporos se dice que el carbón es de "fase gaseosa"; en caso contrario, el carbón será para "fase líquida".

El carbón activado puede ser caracterizado por propiedades físicas y propiedades de actividad. Entre las **propiedades físicas** importantes tenemos área superficial, densidad, medida de tamaño, resistencia a la abrasión, y contenido de cenizas. La medida de tamaño (8x30, 12x40, 20x50, etc) establece el rango de tamaño de partículas, el tamaño efectivo con el que serán usados en el filtro.

El tamaño de la partícula es un importante parámetro para regular condiciones de operación como presión de filtro capacidades de filtración etc. La resistencia de abrasión se refiere a la capacidad del carbón a la degradación, y el nivel de cenizas esta referida a la pureza del carbón, es decir residuos inorgánicos dejados después de la ignición del material, residuos como sílica, alúmina, fierro, calcio y magnesio.

La caracterización de la actividad del carbón activado es otro indicador para evaluar la performance en la remoción de contaminantes. Estos test incluyen la adsorción de un adsorbato estándar de referencia. El yodo es el adsorbato estándar mas usado para medir la capacidad del carbón activado porque tiene tamaño molecular pequeño, el yodo define los pequeños volúmenes de microporos del carbón y refleja la capacidad para adsorber contaminantes de pesos moleculares pequeños, el numero de yodo es definido como los miligramos de yodo adsorbido por gramo de carbón ello es aproximado al área superficial interna. El numero de melaza es la medida del grado de decoloración de una solución estándar de melaza, los pigmentos de color son largos penetrando en macroporos. El numero de melaza define el volumen del macroporo capaz de adsorber moléculas largas de adsorbato.

Para la selección del carbón activado depende de las siguientes variables a considerar:

- Requerimiento de la calidad de agua a obtener (Remoción de Turbidez, orgánicos).
- Requerimientos físicos de la planta (Flujo requerido GPM/SQ.FT., Restricciones de la presión de topes, Tamaño del filtro).
- Propiedades Físicas del carbón activado (Distribución del tamaño de la partícula, Tamaño efectivo, Coeficiente de uniformidad, Densidad aparente, Resistencia a la abrasión, Dureza, Contenido de cenizas)

Las propiedades de Adsorción del carbón activado depende de :

- Volumen Total de poros/ Area superficial.
- Volumen Total de los poros de adsorción/ numero total de sitios
- Distribución del tamaño de poros.

Entre los parámetros usados para evaluar la propiedades del carbón activado tenemos la determinación del área superficial, Numero de yodo, Numero de Abrasión, Actividad del Tetracloruro de carbono, Numero del azul de Metileno, Adsorción del fenol, Humedad, Diámetro promedio de partícula, Tamaño efectivo, ceniza soluble en el agua, Granulometría, etc.

El valor comercial del carbón activado depende de dos propiedades físicas principales : área superficial y la estructura del poro)

5.6 APLICACIONES DE LOS CARBONES ACTIVADOS

La adsorción con carbón activado es un proceso unitario de gran significación donde se necesita la mas alta pureza del producto. En contraste con las practicas normales de purificación, tales como destilación, cristalización y extracción de solventes, la adsorción ofrece un medio mas efectivo para eliminar hasta los últimos vestigios de los contaminantes. Existen ciertos usos donde la adsorción, a pesar de ser efectiva resulta demasiado costosa debido al volumen de impurezas que deben eliminarse. En cambio la adsorción con carbón activado resulta usualmente económica donde los métodos normales se vuelven mas costosos.

Aplicaciones Principales

Tratamiento de agua, Tratamiento de agua residual, Decoloración química, Purificación farmacéutica, Decoloración de alimentos, Purificación de solventes, Recuperación de metales preciosos, Remoción de mercurio, Tratamiento de ácidos minerales, control de olores, Recuperación de solventes, Control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, Remoción de sulfuro de hidrogeno, Aplicaciones en respiradores, Filtro para agua de consumo domestico, Control de evaporación para automóviles, Filtro para cigarrillos, Purificación del gas de procesamiento, Catalizador, etc

Tratamiento de agua

La historia del uso del carbón activado se resume en los siguiente :

- 1930, Alemania (Declorinacion)
- 1955, Alemania (Remoción de Olor y Sabor)
- 1966, Estados Unidos, West Virginia (Remocion de Olor y Sabor)
- 1986, Estados Unidos , 29 % de las 600 utilidades reportadas usando PAC (carbón activado en polvo) y 135 plantas usando GAC (carbón activado granular).

Usado para incrementar los estándares de los contaminantes orgánicos e inorgánicos.

- Actualmente gran implementación en Japón, Australia, Canadá, etc

Según el tipo de carbón activado puede realizar un tratamiento ligero o profundo del agua, para un tratamiento ligero del agua [Remoción de Turbidez, Color, Componentes orgánicos disueltos responsables de olor y sabor, Carbón orgánico disuelto (DOC total, TOC) que reacciona con los productos de desinfección (clorinación), Contaminantes orgánicos sintéticos (pesticidas, DBP₅), Componentes orgánicos Biodegradables (AOC / BDOC), Declorinación.

Para un tratamiento profundo del agua [Remoción de Componentes orgánicos volátiles VOC₅, Solventes clorinados (Tricloroetileno TCE, Tetracloroetileno PCE, Dicloroetileno DCE, Tetracloruro de carbono, Benceno, otros), Químicos usados en la agricultura (Dibromocloropropano DBCP, Pesticidas), Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)].

Remoción de Trihalometanos

THMS, y los Halocarbonos son un grupo especial de los VOC₅.

Remoción de Cloraminas

La clorinación del agua puede resultar en la formación de cloraminas, estos existen en el agua en sus tres formas (Monocloramina a pH > 7, dicloramina a pH 4.4 - 7, Tricloramina a pH < 4.4). Debido al pH la monocloramina es la más común.

En aplicaciones en FASE LIQUIDA existen dos formas de utilizar el carbón activado:

- Usando carbón activado Pulverizado.
- Usando carbón activado Granular.

Ambos carbóns tienen características específicas que los hacen suaves y menos convulsivos para el medio ambiente. La solución de filtración de agua con el uso de carbón activo es una alternativa viable.

5.7 CARBÓN ACTIVADO PARA LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS ESPECÍFICOS

El uso de carbón activo para la remoción de compuestos orgánicos específicos en el agua de consumo humano es una alternativa viable.

Los tipos de purificación que se utilizan son: adsorción, oxidación, coagulación, floculación, precipitación, filtración, intercambio iónico, desinfección, etc. La adsorción es el proceso de retención de los contaminantes en la superficie del sólido adsorbente.

En Estados Unidos, el uso de carbón activo para la purificación de agua de consumo humano es una alternativa viable. El uso de carbón activo para la purificación de agua de consumo humano es una alternativa viable.

El proceso es un método de purificación que se utiliza para la purificación de agua de consumo humano. El proceso es un método de purificación que se utiliza para la purificación de agua de consumo humano.

El uso de carbón activo para la purificación de agua de consumo humano es una alternativa viable. El uso de carbón activo para la purificación de agua de consumo humano es una alternativa viable.

La alternativa al GAC es el PAC, que es el sistema de purificación de agua de consumo humano que se utiliza para la purificación de agua de consumo humano.

El carbón activado pulverizado es un método de purificación de agua de consumo humano que se utiliza para la purificación de agua de consumo humano. El carbón activado pulverizado es un método de purificación de agua de consumo humano que se utiliza para la purificación de agua de consumo humano.

Sus principales ventajas han sido la facilidad de aplicación y la posibilidad de modificar las dosis para ajustarse a los requisitos del tratamiento.

El advenimiento de las reglamentaciones propuestas para el control de contaminantes orgánicos, claramente sugiere el uso de carbón activado granulado (GAC) como la técnica de selección para el tratamiento. Procesos alternativos equivalentes requerían una variación de parte de la correspondiente entidad reglamentadora.

Esta alternativa podría ser GAC, pero también pudiera ser cualquiera de varios otros procesos de tratamiento, tales como carbón activado pulverizado (PAC), aireación, resinas sintéticas, filtración con medio biológico o coagulación mejorada. Entre estos, PAC es el más similar a GAC en sus propiedades específicas.

Aún con una efectividad equivalente, la economía podría favorecer el uso de PAC.

Por ejemplo, PAC tiene un precio por libra equivalente cerca de la mitad del de GAC, para material virgen, pero la posibilidad de efectuar la regeneración del GAC puede igualar este factor.

Los costos para el tratamiento con GAC han sido estimados desde un mínimo de 3 a 1000 galones para remoción de olores y sabores, hasta un máximo de 53 a 1000 galones para reducción del trihalometano (THM). El costo de PAC podría ser tan bajo como 3 c/1000 galones para una dosis de 5 mg/l, y tan alto como 22 c/1000 gals, cuando la dosis tenga que ser de 100 mg/l. Estas diferencias claramente sugieren que el uso de PAC debería ser considerado por la industria como una alternativa del GAC.

Aunque el PAC ha sido utilizado para la remoción de olor y sabor, lo mismo que para las emergencias de remoción de contaminantes en casos de vertimientos, no hay o es muy poca la información disponible sobre su empleo para la remoción del amplio espectro de compuestos orgánicos sintéticos.

CAPITULO VI

6. PARAMETROS DE ANALISIS

6.1 Parámetros Químicos

6.1.1 Carbón Orgánico Total (COT)

Parámetro que mide la concentración de materia orgánica en pequeñas concentraciones presentes en el agua. El ensayo se lleva a cabo inyectando un volumen conocido de muestra en un horno a alta temperatura, en presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido orgánico, que es medido en un detector infrarrojo.

La aereación y acidificación de la muestra antes del análisis elimina errores debido a la presencia de carbón inorgánico. El ensayo puede realizarse en muy poco tiempo, no obstante algunos compuestos orgánicos existentes pueden oxidarse y el valor medido de COT será ligeramente inferior a la cantidad real presente en la muestra.

Valores normales de COT en aguas residuales varían desde una concentración máxima de 300 mg/lit hasta 100 mg/lit.

Metodología de Determinación de COT

El equipo utilizado para la determinación es el Inyector automático modelo TOC - 500 SHIMATZU (equipo Digesa).

Procedimiento de Operación

- Abrir la llave de Nitrógeno (1 lb/pulg² de presión).
- Prender la llave de power y presionar Main y Furnace y esperar 15 min. hasta que la luz de enter empiece a parpadear.
- Ingresar los datos de fecha, tipo de análisis y % de error.
- Calibrar el equipo inyectando 40 o 50 μ l del standard alto y bajo para cada parámetro (**TC e IC**), con jeringa de 50 ml (el standard debe estar a temperatura ambiente). El standard alto para la determinación del TC es el biftalato de potasio con una concentración de 0.4 mg / ml de carbón (400 ppm c) y para el IC se usa como standard una mezcla de bicarbonato de sodio (0.7 mg) y carbonato de sodio (0.885 gr.) que tiene una concentración de 0.4 mg/lit de carbón (400 ppm c). En los dos casos se uso como standard baja agua bidestilada (0 ppm).
- Proceder a inyectar la muestra y leer los resultados presentados en el listado.

6.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es un ensayo de simulación que sirve para determinar la cantidad de oxígeno requerido por una población microbiana, bacterias , para la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente en la muestra analizada.

La demanda de oxígeno presente en las aguas negras y desechos industriales son debido a los siguientes tipos de materia.

1. Materia orgánica carbonosa :- Fuentes de nutrientes para los organismos aerobios.
2. Materia nitrogenada oxidable . - Derivados de nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico, son nutrientes de bacterias específicas.

3. Ciertos compuestos químicos reductores como hierro ferroso, sulfito y sulfuros que reaccionan con el oxígeno molecularmente disuelto.

En las aguas domésticas crudas la mayor parte de la demanda de oxígeno se debe a la materia del primer grupo.

En los efluentes de sistema de tratamiento biológico, parte de la demanda de oxígeno puede deberse a materia del segundo grupo.

Procedimiento para determinación de D.B.O

1. Preparación del agua de dilución

- Sean x lt de agua destilada
- Agregar 2x ml de : Sulfato de Magnesio, Alali Yoduro, Cloruro Férrico, soluc. amortiguadora.
- Se satura de oxígeno con burbujeador por 15 min.

2. Determinación de D. B. O.

- Determinar% de dilución según tabla de dilución.
- Preparar 4 frascos de D.B.O de 300 ml.
- Calibrar el equipo de medición de O.O.
- Medir O.O de cada frasco y se encuba a 25 °C durante 5 días.
- Se mide el O_5 y se determina D.B.O₅ según fórmula.

$$D.B.O_{mg/l} = \left[(OD_b - OD_i) \cdot \frac{100}{x} \right] - (OD_b - OD_i)$$

OD_b = Oxígeno disuelto del blanco

Tabla VI - 1 Dilución para D.B.O

Usando Mezcla en %		por pipeteo directo en botella de 300 ml	
Mezcla%	Rango de DBO	ml	Rango de DBO
0.01	20,000 - 70,000	0.02	30,000 - 105,000
0.02	10,000 - 25,000	0.05	12,000 - 42,000
0.05	4,000 - 14,000	0.10	6,000 - 21,000
0.10	2,000 - 7,000	0.20	3,000 - 10,500
0.20	1,000 - 3,500	0.50	1,200 - 4,200
0.50	400 - 1,400	1.00	600 - 2,100
1.00	200 - 700	2.00	300 - 1,050
2.00	100 - 350	5.00	120 - 420
5.00	40 - 140	10.00	60 - 210
10.0	20 - 70	20.00	30 - 105
20.0	10 - 35	50.00	12 - 42
50.0	4 - 14	100.00	6 - 21
100.0	0 - 7	300.00	0 - 7

- Cuando DBO de la muestra < 7 ppm no es necesario diluir.

6.1.3. Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)

Es un ensayo de laboratorio que mide el oxígeno equivalente a la fracción de la materia orgánica presente en la muestra que es susceptible a oxidación en medio ácido, incluye materia orgánica de origen vegetal como los ácidos húmicos y fúlvicos.

El requerimiento de oxígeno químico se utiliza como una medida de equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte.

Una de las limitaciones de la O.O.O es la dificultad de diferenciar entre materia orgánica biológicamente oxidable y materia biológicamente inerte; además no permite medir la velocidad de estabilización de la materia biológicamente oxidable en condiciones normales.

Método 1: Método de Reflujo Abierto

Principio

La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una

muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ no reducido que quede se determina con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalente de oxígeno.

Procedimiento para la determinación de D.Q.O

- Se toma X ml de muestra y se enrasa a 10 ml.
- Agregar 1 gr. de H_2SO_4 , 5 ml de Dicromato de Potasio.
- Adicionar con cuidado 5 ml de H_2SO_4 + Sulfato de Plata (enfriando la muestra en el caño).
- Colocar los frascos a reflujo por 2 hrs, después que empieza a hervir (añadir perlas de vidrio).
- Transcurrido el tiempo y enfriada la muestra adicionar indicador Ferroina (2-3 gotas).
- Se titula con Sulfato Amonico Ferroso ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$), cambia de amarillo a rojo, anotando los ml gastados.

NOTA

1. Los valores de X ml son :
 $X = 1$ ml; si tiene alta concentración de materia orgánica (alta O.O.O).
 $X = 5$ ml ; si tiene concentración intermedia.
 $X = 10$ ml ; si tiene baja concentración de materia orgánica.
2. Previamente se standardiza el Sulfato Amonico Ferroso.
3. La determinación se hace por duplicado, además de un blanco en el cual la muestra es 10 ml de agua destilada.
4. Se valora con la siguiente relación :

$$D.Q.O(mg/l) = \frac{(A - B) * 8000 * N}{mlmuestra}$$

Siendo:

A = ml de $Fe(NH_4)(SO_4)$ usado para titular el blanco.

B = ml de $Fe(NH_4)(SO_4)$ usado para titular la muestra.

N = Normalidad del Sulfato amónico ferroso.

Estandarización del Sulfato Amónico Ferroso para la determinación de D.Q.O

- Tomar 5 ml de Dicromato de Potasio.
- Adicionar 50 ml de agua destilada + 15 ml de H_2SO_4 conc.
- Agregar 2 a 3 gotas de Ferroína (verde a rojo vino).
- Titular con Sulfato Amónico Ferroso. (rojo vino a amarillo).

$$N_{Fe(NH_4)_2(SO_4)_2} = \frac{m_{K_2Cr_2O_7} * 0.25}{ml_{Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}}$$

Método 2 Método Digestión por Reactor Hach - Equipo Espectrofotómetro DR 2000

Procedimiento

1. Homogenizar 500 ml de muestra por 2 minutos en un equipo de agitación.
2. Prender el Reactor de DQO, precalentando a $150^\circ C$.
3. Escoger el vial de evaluación de DQO adecuado según el siguiente rango:

Muestra Concentración Rango (mg / lt)	Digestión DQO Reactivo Tipo de Vial
O- 150	Rango Menor
O- 1500	Rango Intermedio
O- 15000	Rango alto

4. Pipetear 2 ml. de muestra (0.2 ml para el rango O- 15000 mg / lt) y adicionar dentro del vial adecuado.
5. Tapar el vial, agitando para mezclar el contenido. Ubicar el vial en el reactor de DQO previamente calentado a 150° C .
6. Preparar un blanco, sustituyendo 2 ml de muestra por agua desmineralizada.
7. Calentar el vial por 2 horas.
8. Apagar el Reactor DQO, esperando hasta que el vial enfríe para realizar la medición según método colorimétrico. (Si aparece el color verde, en el vial después de la digestión nos indicara que hemos escogido el vial no adecuado.)
9. La determinación calorimétrica se determina en el Espectrofotómetro DR 2000, entrar al programa Demanda Química de Oxígeno (COD)
10. Rotar el dial de longitud de onda a 420 nm.
11. Presionar READ - ENTER, el display mostrara mg / l COD Low.
12. Limpiar la superficie del vial, ubicar el blanco en la celda del equipo.
13. Presionar ZERO, el display mostrara: 0mg / l COD Low.
14. Limpiar el vial de la muestra y ubicar en la celda del equipo.
15. Presionar READ - ENTER el display mostrara el resultado en mg / l de DQO.

6.1.4 Demanda de Cloro

La demanda de Cloro del agua es igual a la diferencia entre la cantidad de cloro añadido y la cantidad de cloro libre y/o combinado que queda al final de un periodo de contacto específico.

Este valor varía según la cantidad de cloro añadido, la temperatura, el pH, y el tiempo de contacto.

Es la parte de cloro añadido que reacciona con una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos perdiendo su poder desinfectante al producir cloruros, Acido Clorhídrico, Oxido de Nitrógeno y una serie de compuestos con o sin moléculas de cloro en su estructura.

Procedimiento para la determinación de Demanda de Cloro

- Colocar 200 ml de muestra en 4 vasos (c/u).
- Agregar dosificación de cloro (ver anexo) y mezclar.
- Dejar reposar en la oscuridad por un tiempo determinado (2 hr).
- Mezclar la muestra; tomar 25 ml y diluir a 50 ml.
- Agregar: 2 ml de DPD, 2 ml de buffer.
- Leer en UV / Visible.

Nota:

- Solución Buffer : Anhídrido Fosfato Disódico y Anhídrido Fosfato Dipotásico.
- DPD : **N, N** - Dietil - p - fenil - diamino.

Valoración de la solución de Cloro

- Solución standard de biocloro (10%).
- Diluir hasta una concentración de 10ppm en un volumen de 200 ml.
- Tomar 25 ml de muestra y diluir hasta 50 ml agitando.

- Agregar agitando : 1 gr. de KI, 2 mi de H₂SO₄ conc.
- Titular con Tiosulfato de Sodio 0.025 N hasta que cambie de color (amarillo a rojiso).
- Agregar 2 mi de almidón (coloración azul), y titular con Na₂SO₄ hasta incoloro.

NOTA:

Si no aparece la coloración azul se titula con solución de Yodo 0.028 N hasta la aparición del color azul y se contratitula con Tiosulfato de Sodio 0.025 N registrándose la diferencia como titulación B.

$$Cl_{mg/l} = \frac{mi_{N_{32}S_{2}O_3} * 0.025 * 35.5 * 1000}{ml_{muestra}}$$

6.2 Parámetros Físicos

6.2.1 Color - Principio

Las sustancias colorantes resultan del contacto del agua con desechos orgánicos tales como hojas, maderos, etc., en etapas variables de descomposición consiste de extractos vegetales de gran variedad : el ácido húmico, taninos y humatos, los cuales son producidos por la descomposición de la lignina.

El hierro algunas veces esta presente como humato férrico y produce un color de gran intensidad.

El color se determina por comparación visual de la muestra en concentraciones conocidas de soluciones coloreadas . La comparación

también puede hacerse con discos de vidrio de colores especiales que han sido previamente calibrados.

El **método platino - cobalto** para medir color se da como método estandarizado, la unidad de color corresponde a la producida por 1 mg / lt de platino en la formación de cloro platinato.

La relación de cobalto a platino puede variar para dar el matiz en casos especiales.

Para nuestra evaluación se ha utilizado el equipo DR - 2000 (Método Platino - Cobalto).

Definiciones

Color Real .-Color real o verdadero es el producido por las sustancias en solución únicamente. La expresión "Color" se debe considerar que define el concepto de verdadero color esto es el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad.

Color aparente .-El color aparente o total es el que incluye; además del color real , el que producen las sustancias que están en suspensión. El color aparente se determina de una muestra original, sin filtrarlo centrifugación.

Significado sanitario .-Las normas del Perú recomiendan que el color no debe exceder de 20 en la escala estándar.

Interferencias.- Aún una muy ligera turbiedad produce color aparente notablemente mas alto que el verdadero color y por ende, es necesario eliminar la turbiedad antes de que se determine el verdadero color por los procedimientos que se describen. El valor del color es extremadamente dependiente del pH e invariablemente aumenta cuando el pH del agua aumenta.

Equipo.- Espectrofotómetro DR - 2000 (Método Platino - Cobalto)

Reactivos.- Solución estándar de color.

Procedimiento

Método estándar Platino Cobalto

1. Instale el sistema de filtrado (filtro de membrana, Kitazato y sistema de vacío).
2. Filtrar 50 ml de agua desmineralizada.
3. Filtrar 50 ml de muestra (para color verdadero)
Nota: Para la determinación de color aparente no se filtra la muestra ni el agua desmineralizada.
4. Llenar la celda 25 ml de agua desmineralizada filtrada para nuestro blanco.
5. Prender el equipo espectrofotómetro DR - 2000, seleccionar el programa de color verdadero (120 READ / ENTER).
6. Ubicar la longitud de onda correspondiente para este programa (455 nm).
7. Presionar READ / ENTER, la pantalla mostrará UNITS PtCo COLOR.
8. Llenar la nueva celda con 25 ml de muestra de agua residual filtrada de Carapongo.
9. Ubicar el blanco (agua destilada filtrada) en la celda del equipo, cerrar con la tapa del equipo.
10. Presionar ZERO, la pantalla mostrará WAIT, luego O UNITS PtCo **COLOR.**
11. Ubicar la muestra a evaluar en la celda, cerrar con la tapa del equipo.
12. Presionar READ / ENTER, la pantalla mostrará WAIT luego aparecerá el resultado.

6.2.2 Turbidez

Principio

El término turbidez se aplica a aguas que contienen materia suspendida que interfiere con el paso de la luz a través del agua o en el cual se restringe la profundidad visual.

La turbidez puede ser causada por una amplia variedad de materiales suspendidos; que varían de tamaño desde coloides a gruesas dispersiones dependiendo del grado de agitación.

El desagüe doméstico puede añadir grandes cantidades de materia orgánica y algunos inorgánicos, que contribuyen a la turbiedad. Ciertos desechos industriales pueden añadir grandes cantidades de sustancias orgánicas y otras inorgánicas que producen también turbiedad.

El método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra, bajo condiciones definidas, por la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones.

El polímero formacina se usa como suspensión estándar, esta definido como 40 unidades nefelométricas de turbiedad (**NTU**)

Significado sanitario.- El reglamento de los requisitos oficiales que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables del ministerio de salud en su capítulo 4 artículo 4, indican que la turbidez no debe exceder de 10ppm en abastecimiento de agua potable.

Métodos de determinación

Los valores de turbidez pueden variar desde cero en agua pura, a varios miles en aguas de ríos de alta turbidez, por lo tanto no es recomendable para todas las muestras un solo método de determinación.

Método	Rango
Turbidímetro de bujía Jackson	100 - 1000 (tubo corto)
Turbidímetro de bujía Jackson	25 - 1000 (tubo largo)
Turbidímetro de bujía Jackson	arriba de 1000 (por dilución)
Equipo nefelométrico modelo HACH 2100 A	0- 100 UNT.

Reactivos

1. Agua excenta de turbiedad.
2. Suspensión estándar de turbiedad de 1, 10, 100 NTU para calibración.

Procedimiento

Se calibra el equipo nefelométrico modelo HACH 2100 A con las soluciones estándar de turbiedad.

Se coloca la muestra de análisis y se procede a la lectura.

Ejemplo de lectura; agua residual de PTAR - Carapongo.

Muestra sin filtrar 41.6 NTU.

Muestra filtrada 29.2 NTU.

6.2.3 Sólidos

1) *INTROOUCCION*

Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un **limite de 500 mg / l** de sólidos disueltos.

2) FUENTES DE ERROR

La temperatura a la que se seca el residuo incide en gran medida en los resultados, debido a que las pérdidas de peso derivadas de la volatilización de materia orgánica, el agua ocluida, el agua de cristalización y los gases a partir de la descomposición inducida por el calor, así como las ganancias producidas por la oxidación, dependen de la temperatura y el tiempo de calentamiento. Como resultado de la conversión de bicarbonato en carbonato, habrá una pérdida de CO_2 . La pérdida de material orgánico por volatilización será por lo general muy ligera cuando los residuos son secados a $103 - 105^\circ \text{C}$.

6.2.4 Sólidos totales

Se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los **sólidos suspendidos**, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los **sólidos disueltos** totales o porción que atraviesa el filtro.

Sólidos Fijos

Es la expresión aplicada al residuo de sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y una temperatura especificada.

La pérdida de peso por ignición se debe a los **sólidos volátiles**. Las determinaciones de sólidos fijados y volátiles no distinguen exactamente entre materias orgánica e inorgánica porque la pérdida de peso por ignición no se limita a material orgánico, sino que incluye también pérdida por descomposición o volatilización de algunas sales minerales.

Una optima caracterizaron de la materia orgánica puede llevarse a cabo mediante pruebas como la del Carbono orgánico total (**COT**), Demanda Bioquímica de oxígeno (**OB₅**) y Demanda Química de oxígeno (**DQO**).

1) *PRINCIPIO*

Se evapora una muestra correctamente mezclada en un cápsula de porcelana secado a peso constante en un horno a 103 - 105 °C , el aumento de peso sobre el del crisol vacío representa los sólidos totales.

2) *INTERFERENCIAS*

El agua fuertemente mineralizada con una concentración significativa de calcio, magnesio, cloruro y/o sulfato puede ser higroscópico y requerir un secado prolongado, una desecación adecuada y un pesado rápido. Elimínense las partículas gruesas flotantes o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos.

3) *INSTRUMENTAL*

- Cápsula de porcelana, 100 ml de capacidad.
- Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C .
- Desecador, provisto de un desecante.
- Horno de secado, para operaciones a 103 - 105 °C .
- Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0.1 mg .

4) *PROCEDIMIENTO.*

A Sólidos Totales (Muestra sin filtrar)

I Caliente la cápsula limpia a 103 - 105 °C durante 1 hora. Consérvese en el desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

11. Elijase un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2.5 y 200 mg. Tome 100 ml. de muestra y viértalos en la cápsula.

111. Se coloca la cápsula que contenga la muestra en una estufa mantenida a 103-105°C y se evapora la muestra a sequedad. Si se considera más conveniente, puede verificarse la evaporación en baño maría, pero el secado final debe practicarse en estufa; después de que se ha evaporado todo el líquido, se continúa el secado del residuo hasta peso constante. Si no hay limitación de tiempo, se deja secar el residuo durante la noche.

IV. Deje enfriar la cápsula en el desecador hasta obtener un peso constante y haciendo uso de la balanza pese el residuo.

5) *CALCULO*

$$\text{mg de sólidos totales / lt} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{vol. de muestra ml}}$$

A= peso de residuo seco + peso de cápsula mg

B= peso de cápsula, mg.

6.2.5 Sólidos totales suspendidos

1) *PRINCIPIO*

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido se seca a un peso constante a 103 - 105 ° C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

2) *INTERFERENCIAS*

Un residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, limitase el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg. Para las muestras ricas en sólidos disueltos, lavase meticulosamente el filtro para asegurar la eliminación del material disuelto. Los tiempos de filtración prolongados, consecuencia de la obturación del filtro, pueden originar resultados altos debido a una cantidad excesiva de sólidos capturados en el filtro obturado.

3) INSTRUMENTAL

Además de los enumerados anteriormente son necesarios :

- Discos de filtrado de fibra de vidrio.
- Aparato de filtrado - embudo de filtro.
- Matraz de succión.

4) PROCEDIMIENTO

I. Inserte el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase el vacío y lavase el disco con agua destilada, continúe succionando hasta eliminar todo vestigio de agua y retírese el agua de lavado.

11. Fíltrese un volumen medido de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lavase con agua destilada permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados.

111. Separe cuidadosamente el filtro del aparato y trasládalo a una plancha de aluminio, Séquese en horno a 103 - 105 ° C durante 1 hora , enfriase en un desecador para equilibrar la temperatura y pésese en la cápsula y continúe igual que en el procedimiento (A).

5) CALCULO

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión / lt} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{vol. de muestra ml}}$$

A = peso del filtro + residuo seco, mg

B = peso del filtro, mg.

62.6 Sólidos fijos y volátiles

1) PRINCIPIO

El residuo obtenido con los métodos explicados anteriormente, se incineran, a peso constante, a una temperatura de 550 +- 50 ° C. Los

sólidos remanentes representan los sólidos totales fijos, disueltos o en suspensión, mientras que la pérdida de peso por ignición representan los sólidos volátiles. La determinación es útil para el control de las operaciones en plantas de tratamiento de aguas residuales, porque ofrece un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del agua residual.

2) *INTERFERENCIAS*

Durante el proceso de secado pueden producirse errores negativos en los sólidos volátiles por pérdida de materia evaporable. La determinación de bajas concentraciones de sólidos volátiles en presencia de concentraciones elevadas de sólidos fijos puede estar sujeta a errores considerables.

3) *PROCEDIMIENTO*

1. Incinérse el residuo producido por el método anterior a peso constante en el horno a 600° C, por lo general la incineración solo precisa de 15 - 20 minutos.

11. Enfríe la cápsula o el disco de filtro al aire hasta que se haya disminuido el calor y transfíralo a un desecador para proceder a su enfriamiento final.

111. Pésese la cápsula o el disco tan pronto como se hayan enfriado para equilibrar la temperatura.

4) *CALCULO*

$$\text{mg de sólidos volátiles / lt} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{vol. de muestra ml}}$$

$$\text{mg de sólidos fijos / lt} = \frac{(B - C) * 1000}{\text{vol. de muestra ml}}$$

A = peso de residuo+ cápsula antes de incineración, mg

B = peso de residuo+ cápsula o filtro después de incineración, mg.

C = peso de cápsula o filtro, mg.

6.2.7 Sólidos Sedimentables

1) *PRINCIPIO*

Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l).

2) *INSTRUMENTAL*

La prueba volumétrica requiere solamente un cono Imhoff.

3) *PROCEDIMIENTO*

- Llénese un cono Imhoff hasta la marca 1-l con una muestra bien mezclada. Déjese sedimentar durante 45 minutos., removiendo continuamente suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación. Manténgase en reposo 15 minutos mas y regístrese el volumen de sólidos sedimentables del cono como milímetros por litro.

6.3 Parámetros Biológicos

6.3.1 Análisis bacteriológicos

Determinación de coliformes fecales y totales

Métodos de tubos múltiples (NMP) .-El grupo coliforme esta formado por muchos géneros de bacterias que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae.

La definición histórica de este grupo se basa en el método usado para su detección: fermentación de lactosa, por consiguiente cuando se usa esta técnica este grupo es definido como aerobio o anaerobio facultativo no formadores de esporas, bacilos que fermentan lactosa con presencia de gas y formación de ácido a las 48 horas de incubación a 35° C.

El test standard para el grupo coliforme es la técnica de fermentación en tubos múltiples a través de una fase presuntiva, confirmativa o test completo. Cuando esta técnica es aplicada, el resultado de la examinación de los tubos replicados y diluciones son reportados en términos de NMP de organismos presentes.

Este número es basado en cierta formula de probabilidad y estima la densidad de coliformes presentes en la muestra según la cantidad de tubos positivos en los múltiples diluciones. Se busca el NMP en una tabla.

La densidad de coliformes junto con la información obtenida por inspecciones de ingeniería o sanitarias, dan garantía en la efectividad del tratamiento del agua en la remoción de bacterias patógenas.

La técnica de tubos múltiples es usada en la PTAR - Carapongo debido a que es el mas adecuado para el tipo de agua residual, no siendo útil el método de membrana filtrante por la elevada concentración y cantidad de diluciones que se tendrían que preparar.

Diluciones. - Según la turbiedad de las muestras se han establecido diluciones según los diferentes puntos de muestreo, inclusive horas.

Agua de dilución

- * Agua destilada, para preparar reactivos y para las diluciones.
- * Solución Buffer de Fosfato. Disolver 34 gr. de Dihidrógeno Fosfato de Potasio (KH_2PO_4) en 500 ml de agua destilada, ajustar el PH a 7.2 +/- 0.5 con NaOH 1N, luego diluir a 1 lt. con agua destilada.
- * solución de sulfato de Magnesio, disolver 50 gr. de MgSO_4 .
- * H_2O en 1lt de agua destilada.

Preparación.- Después de haber calculado la cantidad de agua de dilución según el número de diluciones y muestras. En los balones para agua de dilución por cada litro se añade 1.25 ml de solución Buffer de fosfato y 5 ml de solución de sulfato de magnesio, se regula con NaOH 1 N a pH 7.2, luego se coloca tapones de algodón y gasa y se autoclavan a 121 °C, 15 atm, por 15 minutos.

Se reparte en frascos de dilución de 120 ml estériles; con una probeta estéril 90 ml del agua de dilución por cada frasco al lado del mechero. La muestra es agitada y con una pipeta estéril se vierte 10 ml a un frasco con agua de dilución, se agita este (10:1) y con otra pipeta se retira de este frasco 10 ml a otro, obteniéndose una segunda dilución (10:2) y así sucesivamente hasta obtener el número de diluciones estimada (utilizar una pipeta diferente para cada dilución).

Prueba Presuntiva.-

Medio de Cultivo

Caldo Lauryl sulfato; pesar 35.5 gr. y disolver en agua destilada, dispensar 10 ml en tubos de 18 x 150 mm, colocar en cada uno un vial de fermentación, tapar y autoclavar a 121 °C, 15 atm por 15'. El caldo después de la esterilización puede refrigerarse para observación para ser utilizado, incubarse a 35 °C una noche antes del uso.

Procedimiento

Inocular en series de 5 tubos por cada dilución, 1 ml de la dilución rotular indicando el lugar de muestreo, dilución y fecha para cada dilución es necesario también cambiar de pipeta. Luego de inocular agitar los tubos, incubar a 35 °C durante 24 horas, para la lectura inicial, aquellos que presentan gas en el vial de fermentación son considerados positivos y son usados para la prueba confirmativa, así como los que presenten turbiedad elevada, pero los negativos son incubados 24 horas mas, junto con los de turbiedad elevada.

Prueba confirmativa.-

Medio de cultivo para coliformes totales

Caldo lactosado verde brillante Bilis: pesar 40 gr. y disolver en 1 lt de agua destilada, dispensar volúmenes de 10 ml en tubos de 16 x 150 mm, colocar el vial de fermentación, tapar y autoclavar a 121 ° C, 15 atm por 15'.

Procedimiento

Inocular con el asa de siembra 2 asados en los tubos positivos de la prueba presuntiva y de los que presentan elevada turbiedad; indicando el lugar de muestreo, dilución y fecha, para cada inoculación es necesario quemar el asa de siembra. Luego de inocular agitar los tubos. Inocular a 35° C durante 24 horas, para la lectura aquellos que presentan gas en el vial de fermentación son considerados positivos para coliformes totales.

Medio de cultivo para Coliformes Fecales

Medio de Cultivo

Caldo A-1, pesar 31.5 gr., disolver en 1 lt. de agua destilada, dispensar volúmenes de 10 ml en tubos de 16 x 150 mm, con un vial de fermentación, tapar y autoclavar, 15 atm por 15', el medio se puede conservar en la oscuridad a temperatura ambiente.

Procedimiento

Inocular en serie de 5 tubos por cada dilución 1ml de la dilución rotular, indicando el lugar de muestreo, dilución y fecha, inoculando 4 diluciones, para cada dilución es necesario. También cambiar de pipeta, luego de inocular, agitar los tubos, inocular por 3 horas a 35° C y por 21 horas en el baño maría a 44.5° C para la lectura aquellos que presentan gas en el vial de fermentación son considerados positivos, los que no presenten gas son considerados negativos.

Interpretación de Resultados.-

Los valores de **NMP** mostrados en la siguiente tabla corresponden a muestras que no necesitan diluciones, por lo tanto los resultado se registran directamente de estos datos, si se usan diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , multiplican el valor de la tabla por 100 si es 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} por 1000 y así sucesivamente. Los resultados son expresados en NMP/100 ml. (Tabla VI -1 Ver Apendice).

6.4 METODOS ANALITICOS PARA COMPUESTOS ORGANICOS ESPECIFICOS

Separación de Compuestos Específicos

Los métodos para la separación de compuestos orgánicos del agua se aplican de acuerdo a la clasificación de los mismos.

Para la separación de compuestos orgánicos polares y no polares no volátiles entre ellos los ácidos fúlvicos pueden usarse el método de **Extracción por dilución**.

Algunos de los factores que influyen en la separación de los compuestos orgánicos del agua son la temperatura, presión, tiempo de equilibrio, intensidad iónica, pH, y Adsorción de partículas. Estos factores pueden ser optimizados y estandarizados para una técnica particular de separación mejorando la eficiencia de la extracción.

Identificación y Cuantificación de Compuestos Orgánicos

Los compuestos orgánicos en el agua después de ser separados deben ser identificados y cuantificados, con este fin se aprovechan la diferencia de sus propiedades fisicoquímicas, lo que por varios mecanismos permiten su diferenciación analítica, siendo dos de los métodos importantes la **cromatografía de gases y Cromatografía líquida**.

En la Cromatografía de gases es usual utilizar el detector de ionización de flama que es bastante sensitivo, no específico y universal para la detección de compuestos orgánicos. Sin embargo si se desea una detección mas detallada y especifica se debe utilizar un detector **Espectrometro de Masa** aunque su rango lineal cuantitativo es limitado.

Para los compuestos orgánicos no volátiles de alto peso molecular se utiliza Cromatografía Líquida, estos compuestos son tan grandes que contienen diferentes grupos orgánicos que interfieren en cualquier medición específica de

alguna de sus propiedades; sin embargo estas características pueden observarse con diferentes detectores: Espectrofotometro UV, Fluorescencia, absorción infrarroja, resonancia magnética nuclear, y fotoconductividad.

Otra forma de identificación menos específica pero no menos exacta es la cuantificación por espectrofotometría UVNis. que en muy pocos casos puede cuantificar un compuesto único dentro de una mezcla de productos , sin embargo es la metodología que se necesita para realizar una cuantificación relativa de grupos de compuestos no definidos (por ejemplo : ácidos fúlvicos y húmicos)

Otro método importante desarrollado últimamente es el uso de ensayos biológicos como un parámetro general de cuantificación de materia orgánica biodegradable, esto significa relacionar realmente los organismos vivos y la materia orgánica presente.

Medición de los Ácidos Fúlvicos y Húmicos

En nuestro medio no existe un método analítico directo para determinar los ácidos húmicos y fúlvicos en el agua , la extracción y separación son procedimientos tediosos y carecen de exactitud. Para medir los ácidos húmicos se utilizan una serie de métodos los cuales se van relacionando, determinando el % hasta obtener una aproximación cuantitativa de estos compuestos mediante la medición de parámetros genéricos. Entre estos métodos se encuentran DBO, DQO, COT y Espectrofotometría ultravioleta (UV).

Los límites de detección, sensibilidad, reproducibilidad y rapidez de análisis son considerados en la selección de la rutina de análisis de ácidos húmicos.

Análisis de los THMS

Se disponen de varias técnicas para la identificación y medición de THMS, dentro el rango de microgramos por litro.

La técnica mas conocida para su identificación es la de Purga y Atrape, la cual ha sido perfeccionada por la EPA. Otra técnica es la extracción por solvente que es considerablemente mas sencilla y fácilmente adaptable al muestreo automático, debido a su bajo costo. La técnica de extracción por solvente es la escogida en los análisis de rutina de los THMS, ambas técnicas requieren de la cromatografía de gas como etapa final de análisis y son de exactitud y precisión comparable.

La técnica de Purga y Atrape incluye remoción de THMS de la muestra mediante el uso de gas inerte como el Helio y la adsorción de aquellos en una resina. Esta es calentada y el gas se hace fluir dentro del cromatografo para la separación y cuantificación de los THMS. La técnica de extracción se realiza con solventes de bajo punto de ebullición como el tolueno o el hexano, posteriormente se inyecta el extracto en el cromatografo de gas para la separación y cuantificación de los THMS.

6.5 METODOS ANALITICOS PARA DETERMINAR TRIHALOMETANOS

6.5.1 Formación de Trihalometanos

6.5.1.1 Toma de Muestras

- Recójense las muestras en frascos de vidrio de 1 lt cerrados con tapones de rosca revestidos de TFE.
- Guárdese la muestra sin usar a 4 °C , para exactitud utilícnese solo muestras frescas.

6.5.1.2 Potencial de Formación de Trihalometanos (PFT)

Principio

Las muestras son tamponadas a pH 7.0 cloradas con un exceso de cloro libre y almacenadas a 25 °C durante 7 días para dejar que la reacción se aproxime a su finalización. La concentración de THM se determina utilizando extracción líquido - líquido.

Interferencias

- Los procedimientos para el Potencial de Formación de Trihalometanos (PFT), Potencial Básico de Formación de Trihalometano (PBFT), Potencial Final de Formación de Trihalometanos (PFFT) están pensados para muestras de agua previamente no cloradas. Si el agua estuvo expuesta a cloro libre antes de la recogida de la muestra, una fracción del material precursor puede haberse convertido en THM.
- Sustancias químicas volátiles, que incluyen los THMs y sustancias que requieren cloro.
- Especies Nitrogenadas y otros compuestos que pueden interferir en la determinación de la concentración de cloro residual libre. Añadir suficiente cloro libre para oxidar las sustancias que requieran cloro y dejar un residuo de cloro libre de al menos 1 mg/lit, preferible de 2-5 mg/lit.

Instrumental

- Incubador (Temp. 25 +/- 2°C durante el periodo de reacción).
- Frascos, vidrio con tapones de rosca revestidos con TFE para contenidos de 245 a 255 ml.
- Viales, vidrio, 25 ml con tapones de rosca revestidos de TFE.
- pH-metro

Reactivos

- Solución de Hipoclorito de Sodio (NaOCl al 5%)
- Tampón Fosfato.
- Solución de Sulfito de Sodio (empleado para decoloración; 0.1 mi destruirá unos 5 mg de cloro residual)
- Agua libre de compuestos orgánicos (agua destilada o desionizada a través de columnas de carbón activado granular)
- Acido Nítrico o Clorhídrico 1, 0.1 N
- Hidróxido de Sodio 1, 0.1N.
- Solución ADHB (ácido 3,5 - dihidroxibenzoico anhidro 0.078 gr en 2 lt de agua destilada)

Procedimiento Experimental

a) Determinación del Requerimiento de Cloro

- Tómense con la pipeta 5 mi de Solución de Dosificación de Cloro y llevar a un frasco de 250 mi, llénense completamente con agua libre de Cloro y ciérrase con un tampón de rosca revestido de TFE.
- Titúlense 100 mi con Tiosulfato de Sodio 0.025 N para determinar la concentración inicial de Cloro, que será aproximadamente 100 mg Cl₂ / lt.
- Llévase con la pipeta 5 mi de Tampón Fosfato y 5 mi de Solución de Dosificación de Cloro a un segundo frasco de 250 mi, llénese completamente con muestra y ciérrelo con tapón de rosca revestido de TFE.
- Almacénese en la oscuridad durante al menos 4 horas a 25° C .

- Después determínese el cloro residual. Calcúlese el requerimiento de Cloro como sigue :

$$CD = D_0 - R$$

donde:

CD = Requerimiento de Cloro, mg Cl₂ / lt.

R = Cloro residual de la muestra después de 4 horas de almacenamiento.

D₀ = Concentración de cloro dosificado.

b) Cloración de la muestra.

- Ajústese el pH a 7 utilizando HNO₃, HCL o NaOH y un pHmetro.
- Con una pipeta graduada, pásese el volumen adecuado de solución de dosificación de Cloro { (CD*5) / D₀ } + 0.1 a un frasco de 250 ml.
- Añádanse 5 ml de solución Tampón Fosfato y llénese completamente con muestra.
- Ciérrese inmediatamente con un tapón de rosca revestido con TFE y deje reposar en la oscuridad a 25 °C durante 7 días.
- Analícese un blanco de reactivo.

e) Análisis de la muestra

- Después de un periodo de reacción de 7 días , colóquese 0.1 ml de solución reductora de Sulfito en un vial de 25 ml y llénese suave y completamente con la muestra.
- Si no se van a analizar los THM inmediatamente redúzcase el pH a < 2 añadiendo 5 gotas de ácido concentrado.
- Ciérrese el vial y analice los THMs.
- Guárdese la muestra a 4 °C hasta que vaya a hacer el

análisis de THM, pero caliéntese a temperatura ambiente antes del análisis.

- Mídase el residuo de Cloro Libre de la muestra que queda en el frasco de 250 ml, ajústese el pH tal como se ha especificado antes de determinar el cloro libre. Si la muestra no contiene al menos 1 mg Cl_2 / lt deséchese y trátase el duplicado de la muestra original con una dosis de Cloro mas alta, o preferentemente utilice otra muestra nueva.

d) Cálculo

El PFT puede consignarse como un valor único, como microgramos por litro como CHCl_3 .

$$\text{PFT, ug / lt} = A + B + C + D$$

$$A = \text{ug CHCl}_3 / \text{lt}$$

$$B = \text{ug CHBrCl}_2 / \text{lt}$$

$$C = \text{ug CHBr}_2\text{Cl} / \text{lt}$$

$$D = \text{ug CHBr}_3 / \text{lt}$$

6.5.1.2.1 Potencial Básico de Formación del Trihalometano (PBTF).

Principio

Es idéntico al PFT excepto en que la muestra es tamponada a pH 9.2, simulando agua ablandada con cal o con pH alto de forma natural y acelerando la formación de THM.

Interferencias

Similar al PFT.

Instrumental

Similar al PFT.

Reactivos

Utilídense los reactivos especificados para PFT, sustituyendo la solución tampón de fosfato por borato.

Procedimiento

Sigue el procedimiento descrito al PFT pero ajustando el pH de la muestra a 9.2 +/- 0.2 después de la adición del tampón.

6.5.1.2.2 Potencial Final de Formación de Trihalometano (PFFT)**Principio**

Valora las concentraciones de THM mas altas que podrían producirse en condiciones extremas de un sistema de suministro de agua publico (dosis de cloro, temperatura, pH, y tiempo de contacto).

Interferencia

Similar a PFT.

Instrumental

Similar a PFT.

Reactivos

Se recomienda tampón Borato para obtener valores de pH superiores a 8, y tampón Fosfato para valores de pH por debajo de 8.

Procedimiento Experimental

El procedimiento es similar al del PFT, excepto en que se alteran el pH, la temperatura, el tiempo, y la dosificación de cloro para simular las condiciones del peor caso.

- Añádase 5 ml de solución tampón a 250 ml de muestra y ajústese el pH, utilizando ácido o base, hasta el valor más alto que se espera que aparezca en el sistema de agua.
- Emplear la mayor de las dosificaciones de cloro total más alta a la que puede esperarse de forma razonable que vaya estar expuesta.
- Elijase un tiempo de incubación igual al tiempo más largo que se espera que el agua permanezca en el sistema de distribución o 7 días.
- Elijase la temperatura igual a la mayor a la que se espera que este el agua en cualquier punto del sistema de distribución.
- Dosifíquense, incúbense y analícense las muestras como para PFT.

6.5.2 Método de extracción líquido - líquido con cromatografía de gases

Introducción

Este método únicamente es aplicable para determinar la presencia de 4 THM, esto es Cloroformo, Bromodicloretano, Dibromoclorometano, Bromoformo en aguas potables terminales, aguas potables durante etapas intermedias de tratamiento y aguas de fuentes naturales.

Principio

La muestra se extrae una vez que se hayan inyectado el disolvente y el extracto en el interior del cromatografo de gases provisto de un detector de captura de electrones linealizados para separación y análisis. El tiempo de análisis y extracción dura entre 10 y 50 minutos por muestra, en función de las distintas condiciones analíticas.

Para compensar posibles perdidas de extracción, se sacan y analizan los estándares añadidos al agua libre de sustancias orgánicas y las muestras.

Interferencias

- Impurezas contenidas en el disolvente de extracción. Analícense blancos de disolvente antes de utilizar una nueva botella de disolvente para extraer muestras. Deséchese el disolvente de extracción si se descubre en el un alto índice de compuestos de interferencia ($> 10 \mu\text{g} / \text{lt}$)
- La técnica de extracción liquido - liquido obtiene un amplio intervalo de destilación de compuestos orgánicos no polares y polares. Para analizar rápidamente los THMs con sensibilidades en el ámbito de pocos microgramos por litro utilice el detector de captura de electrones semiespecifico y las columnas cromatograficas con poder de resolución relativamente pobre, debido a estas concesiones la probabilidad de encontrar interferencias cromatograficas es alta.

Limite de detección

Para concentraciones de THMs comprendidos entre $< 0.5 - 200 \mu\text{g} / \text{l} >$.

Instrumental

- Vaso de Extracción
 - a) Muestras que **no formen emulsiones** utilizar ampollas de 14 ml con tapón revestido de TFE.
 - b) Muestras que **formen emulsiones** utilizar tubos centrifugos de 15 ml con tapón revestida. de TFE.

- Microjeringuillas, 10, 25 y 100 ul.
 - Jeringuillas, hipodérmicas de vidrio de 10 ml.
 - Válvula de jeringuilla.
 - Pipeta de transferencia de 2 ml.
 - Matraces volumétricos con tapones esmerilados de vidrio 10, 100 ml.
 - Cromatografo de Gases, de temperatura programable con detector de captura de electrones.
 - Columnas cromatograficas.
- c) De relleno de vidrio de 4 mm de Diámetro 2 m de longitud con 3 % de **SP - 1000**, que funciona a 50 °C con un flujo de 60 ml/ min.
- d) De relleno de vidrio de 2 mm de Diámetro 2m de longitud con 10 % de **Escualeno**, que funciona a 67 °C con un flujo de 25 ml/ min.
- e) De relleno de vidrio de 2 mm de Diámetro 3m de longitud con 6 % de **OV - 11/4**, que funciona a 45 °C durante 12 min, a continuación prográmese a 1 °C/min hasta 70 °C con un flujo de 25 ml/min. Manténgase hasta que se produzca la elución de los compuestos esperados.
- Recipiente de almacenamiento Standard : Botellas de tabique con tapón de silicona revestido de **TFE** de 15 ml.

Reactivos

- Disolvente de Extracción : Se recomienda Pentano; como alternativa utilícese Hexano, Metilciclohexano o 2,2,4 Trimetilpentano.
- Alcohol Metílico.
- Carbón Activado
- Estándares de Referencia : Bromoformo 96%, Bromodiclorometano 97%, Dibromoclorometano, Cloroformo 99%.
- Agua excenta de **THM**, libre de interferencias.
- Soluciones patrón de reserva :

Colóquense 9.8 ml de alcohol metílico en un matraz volumétrico .

- Manténgase el matraz sin tapar durante 10 min, hasta que se sequen las superficies humedecidas con alcohol.
- Pésese una cantidad cercana a 0.1 mg de alcohol metílico.
- Mediante una jeringuilla de 100 μ l añádase al matraz 2 o 3 gotas del patrón de referencia y vuélvase a pesar.

Dilúyase en el volumen, tápese y mézclese invirtiendo el matraz varias veces.

- Transfiérase la solución patrón a una botella de 15 ml con un tapón revestido de TFE.
- Calcúlese la concentración en μ g / μ l a partir de la ganancia neta en peso.

- Estándares de Calibrado

A partir de soluciones patrón de reserva, prepárese una mezcla de dilución secundaria de componentes múltiples en alcohol metílico de modo que una inyección de 20 μ l sobre agua exenta de THM genere un Standard de calibrado que produzca una respuesta próxima (\pm 25 %) a la de la muestra.

Constrúyase curvas de calibración para cada THM mediante el empleo de un mínimo de 3 concentraciones diferentes.

Procedimiento

- Retírense los pistones de dos jeringuillas de 10 ml y únase una válvula de jeringuilla a cada una de ellas.
- Abrase la botella de muestra (o patrón); si no se ha añadido ningún agente químico reductor a la muestra añádase justo antes del análisis.
- Viértase cuidadosamente la muestra en uno de los cilindros de la jeringuilla hasta que se desborde, repóngase el pistón y comprímase la muestra.
- Abrase la válvula de la jeringuilla y elimínese la cantidad residual de

aire mientras se ajusta el volumen de la muestra a 10 ml, ciérrase la válvula.

- Llénese una segunda jeringuilla de manera idéntica a la anterior y resérvese para análisis de replica.
- Absórbanse con una pipeta 2 ml de disolvente de extracción sobre un matraz de extracción limpio, inyéctese cuidadosamente el contenido de la jeringuilla en el matraz de extracción, ciérrase y agítase con fuerza durante 1 minuto.
- Déjese en reposo hasta la separación de fases (1 min.)
- Analícese la muestra mediante la inyección de 3 µl (técnica de inundación del disolvente) de la fase superior en el cromatografo de gases.

Cálculos

Localícese cada THM en el cromatograma de la muestra por comparación del tiempo de retención de los picos sospechosos con el tiempo de retención medio y la varianza calculada.

El tiempo de retención del pico sospechoso debe estar comprendido entre los limites establecidos por estas variables estadísticas para una identificación de columna única.

Calcúlese la concentración de cada trihalometano por comparación de la altura de los picos o el área de los mismos para las muestras de estos patrones del modo que se indica

$$\text{THM, } \mu\text{g / l} = \text{S} * \text{C} / \text{P}$$

S = altura o área del pico de la muestra.

P = altura o área del pico estándar que suministra una respuesta del detector comprendida en un + / - 25 % de la respuesta de la muestra.

C = concentración del estándar que proporciona una respuesta, P, µg / l

6.6 REMOCION DE PRECURSORES DE TRIHALOMETANOS POR COAGULACION

Las sustancias Húmicas son naturalmente organismos refractarios presentes en aguas superficiales, cuando se presentan durante la clorinación del agua, reaccionan con el cloro libre para formar los trihalometanos y otros productos. Cloroformo (CHCl_3) es el trihalometano comúnmente formado por estas reacciones y tiene propiedades carcinógenas. El máximo nivel para los Thms es de 0.1 mg/L regulado por la EPA.

La efectiva coagulación antes de la clorinación ayuda a controlar los niveles de trihalometanos en los suministros de agua potable.

El tipo de coagulante usado como la respectiva dosificación es factor importante en el mecanismo de remoción de los precursores, para estas determinaciones se utilizan test con el de jarras.

Prueba de Jarras

El propósito del test de jarras es seleccionar los reactivos químicos (polímeros e inorgánicos), con los que será mas eficiente el tratamiento del agua en los procesos de agua potable o residual para los siguientes fines : Remover sólidos suspendidos, color, separar líquidos orgánicos, remover disolventes, recuperar productos, etc.).

Para nuestra evaluación experimental la finalidad es comparar el método tradicional de remoción de trihalometanos empleado (coagulación : Sulfato de Aluminio - Polímero) con el empleo de carbón activado.

Variables del Test

1) Muestra

La muestra de agua a evaluar debe ser uniforme, turbidez, sólidos suspendidos, pH, color y temperatura cualquier cambio drástico de la muestra modificará los valores de la muestra original.

2) *Temperatura*

La temperatura puede tener un efecto significativo en la floculación, bajas temperaturas retardan la floculación.

3) *Orden de la adición del reactivo*

El reactivo de bajo peso molecular, floculante primario o coagulante inorgánico, se adiciona inicialmente, luego el de mayor peso molecular (generalmente son polímeros).

4) *Velocidad de mezcla*

Normalmente dos velocidades de mezcla son usadas en la prueba de jarras, las siguientes condiciones pueden ser usadas con algunas variaciones

a) Mezcla rápida , usualmente a 100 r.p.m. seguido de

b) Mezcla lenta, formación del floc usualmente de 15 - 30 r.p.m.

5) *Tiempo de mezcla*

La duración es variable, en general la mezcla rápida es periodo corto (1 - 5 minutos) y depende de la turbidez y temperatura de la muestra, baja turbidez y muestras frías generalmente requiere mas tiempo para dispersar los químicos. El periodo lento depende de las características de la muestra, generalmente se emplea (10- 30 minutos)

CAPITULO VI 1

El presente capítulo muestra datos estadísticos acumulados de los diferentes parámetros controlados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Carapongo.

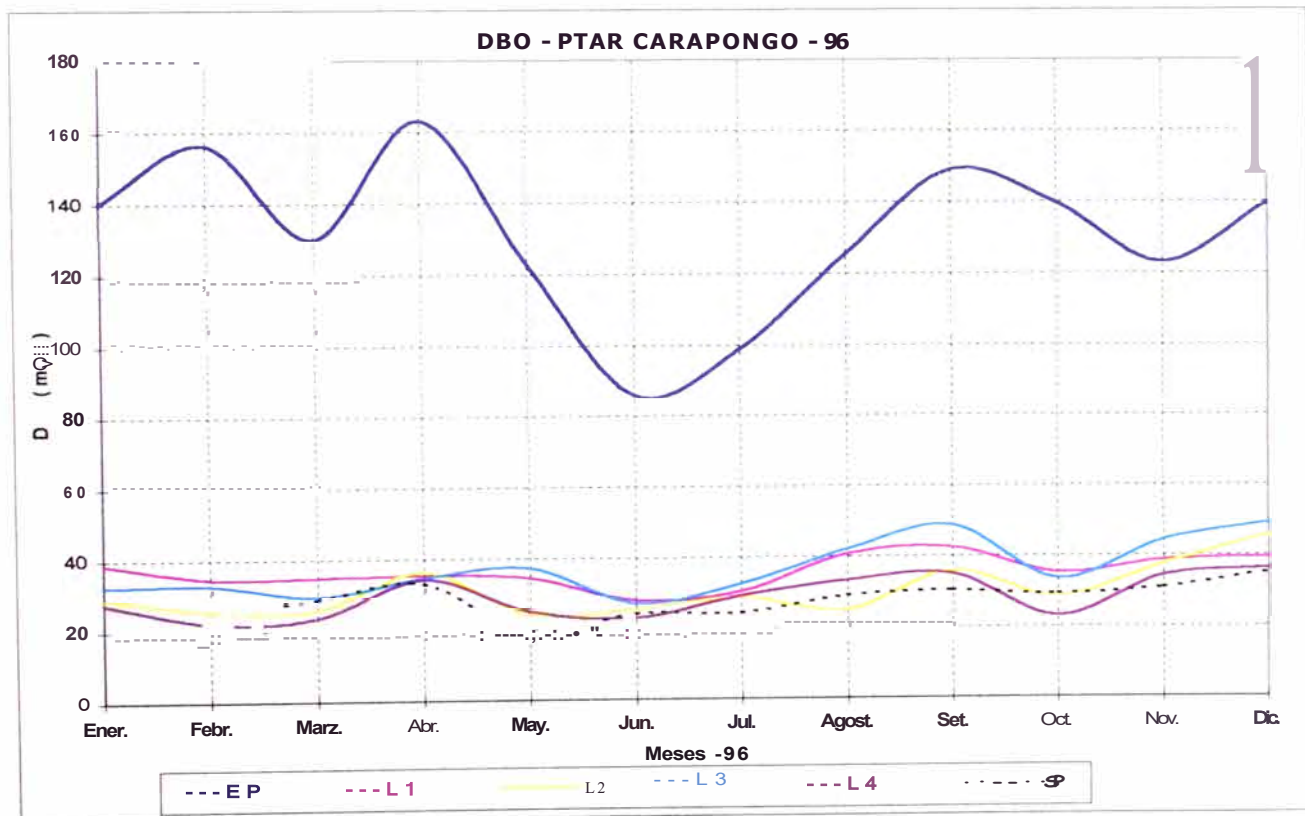
7.1 ESTADISTICA - DATOS HISTORICOS

7.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 7.1.1

MESES	ENTRADA PLANTA		BATERIA N° 1				BATERIA N° 2				SALIDA PLANTA	
	Total	Soluble	Laguna N° 1		Laguna N° 2		Laguna N° 3		Laguna N° 4		Total	Soluble
Enero	140.0	15.5	38.6	7.5	29.0	4.8	32.6	7.9	27.5	4.8	24.1	6.8
Febrero	156.1	22.0	34.6	9.2	25.6	6.5	32.9	11.1	22.1	7.4	29.0	5.7
Marzo	130.0	18.6	35.0	9.6	25.8	6.7	29.8	10.5	23.6	5.4	33.2	6.9
Abril	162.9	18.3	35.4	10.4	36.3	7.7	34.8	6.8	34.4	6.4	19.1	4.7
Mayo	122.9	11.5	34.5	6.9	24.1	5.5	37.3	7.2	25.1	6.5	24.4	4.7
Junio	86.0	11.3	28.1	9.7	25.6	7.9	27.3	12.5	23.1	8.1	24.4	4.7
Julio	98.9	13.8	30.4	8.1	28.6	6.3	32.5	8.2	29.1	5.6	29.1	8.2
Agosto	125.4	19.5	40.6	9.3	25.1	5.9	42.1	11.4	33.3	9.1	30.3	8.3
Setiembre	148.9	18.8	42.4	10.1	35.9	8.7	48.7	11.8	34.9	10	29.3	5.3
Octubre	139.6	20.2	35.2	10.7	28.6	6.5	33.6	8.5	23.1	6.9	31.0	8.5
Noviembre	123.1	19.5	38.6	8.7	37.5	8.0	44.3	9.1	34.4	8.4	35.2	6.8
Diciembre	139.6	26.1	39.4	9.7	45.8	11.9	49.1	9.7	36.3	6.3		

Unidad: mg/L

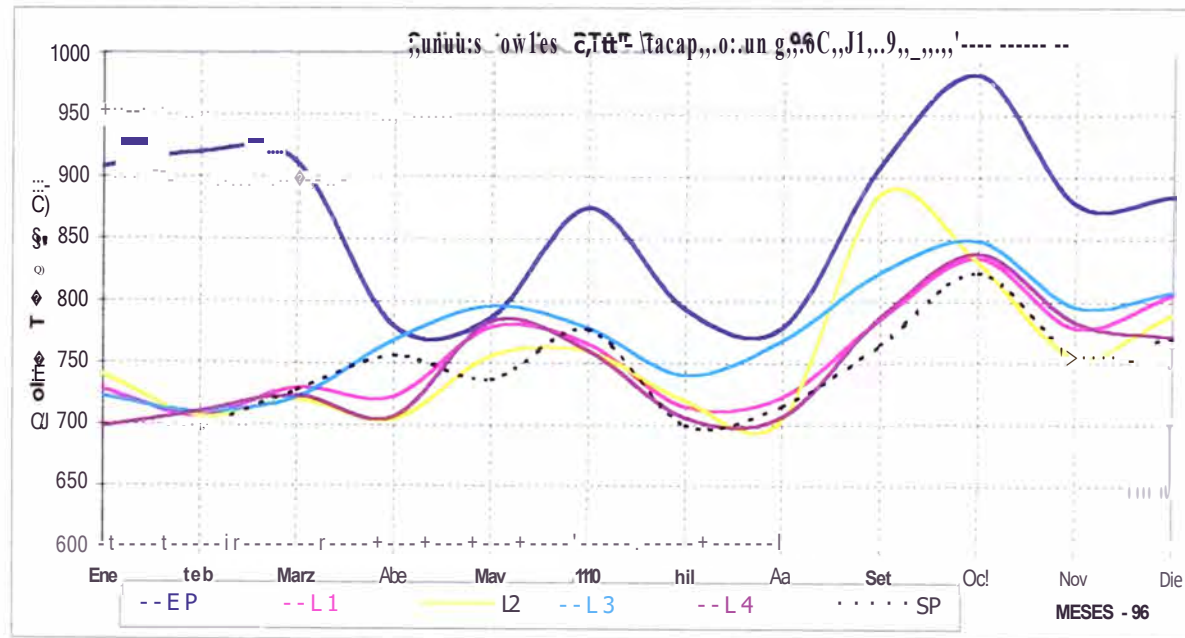


7.1.2 Sólidos totales

Tabla 7.1.2

MESES	ENTRADA PLANTA			BATERIA N° 1						BATERIA N° 2						SALIDA PLANTA		
	S.T.	S.T.F.	S.T.V	laguna N° 1			Laguna N° 2			Laguna N° 3			Laguna N° 4			S.T.	S.T.F.	S.T.V
				S.T.	S.T.F.	S.T.V	S.T.	S.T.F.	S.T.V	S.T.	S.T.F.	S.T.V	S.T.	S.T.F.	S.T.V			
Enero	908.0	640.0	268.0	728.0	558.0	170.0	740.0	566.0	164.0	722.0	570.0	152.0	698.0	560.0	138.0			
Febrero	920.0	662.0	258.0	706.0	574.0	132.0	706.0	582.0	124.0	710.0	548.0	162.0	710.0	566.0	144.0	696.0	566.0	130.0
Marzo	912.0	600.0	311.0	730.0	543.0	184.0	720.0	534.0	186.0	722.0	520.0	202.0	724.0	558.0	172.0	728.0	548.0	180.0
Abril	780.0	571.0	209.0	723.0	581.3	141.7	704.0	568.7	135.3	768.3	613.7	154.6	706.7	580.7	126.0	756.2	576.2	180.0
Mayo	786.7	600.0	186.7	778.7	601.3	177.3	755.7	595.0	160.7	796.3	600.5	195.8	783.7	612.0	171.7	736.7	544.0	192.7
Junio	875.0	653.3	222.3	765.3	580.3	185.0	759.3	581.3	178.0	778.3	587.3	191.0	760.0	582.7	177.3	777.3	570.7	206.7
Julio	793.5	613.7	179.3	715.0	617.3	97.7	720.0	600.0	120.0	740.3	608.7	131.6	706.0	600.0	106.0	700.3	601.7	98.6
Agosto	778.7	598.0	180.7	723.0	581.3	141.7	704.0	568.7	135.3	768.3	613.7	154.6	706.7	580.7	126.0	715.7	588.0	127.7
Setiembre	910.2	644.1	266.1	785.7	607.3	178.3	886.7	653.3	233.3	823.7	637.7	186.0	787.3	619.3	168.0	764.7	608.3	156.3
Octubre	982.4	730.9	251.5	835.3	657.3	178.0	832.0	657.3	174.7	849.3	662.7	186.7	838.7	650.7	188.0	823.7	644.7	179.0
Noviembre	879.0	632.2	247.1	778.7	601.3	177.3	755.7	595.0	160.7	796.3	600.5	195.8	783.7	612.0	171.7	759.2	604.5	154.7
Diciembre	885.3	640.0	245.3	806.0	622.2	183.8	789.7	629.3	160.3	808.0	629.0	179.0	771.7	624.3	147.3	770.8	605.7	165.2

Unidad: mg/L

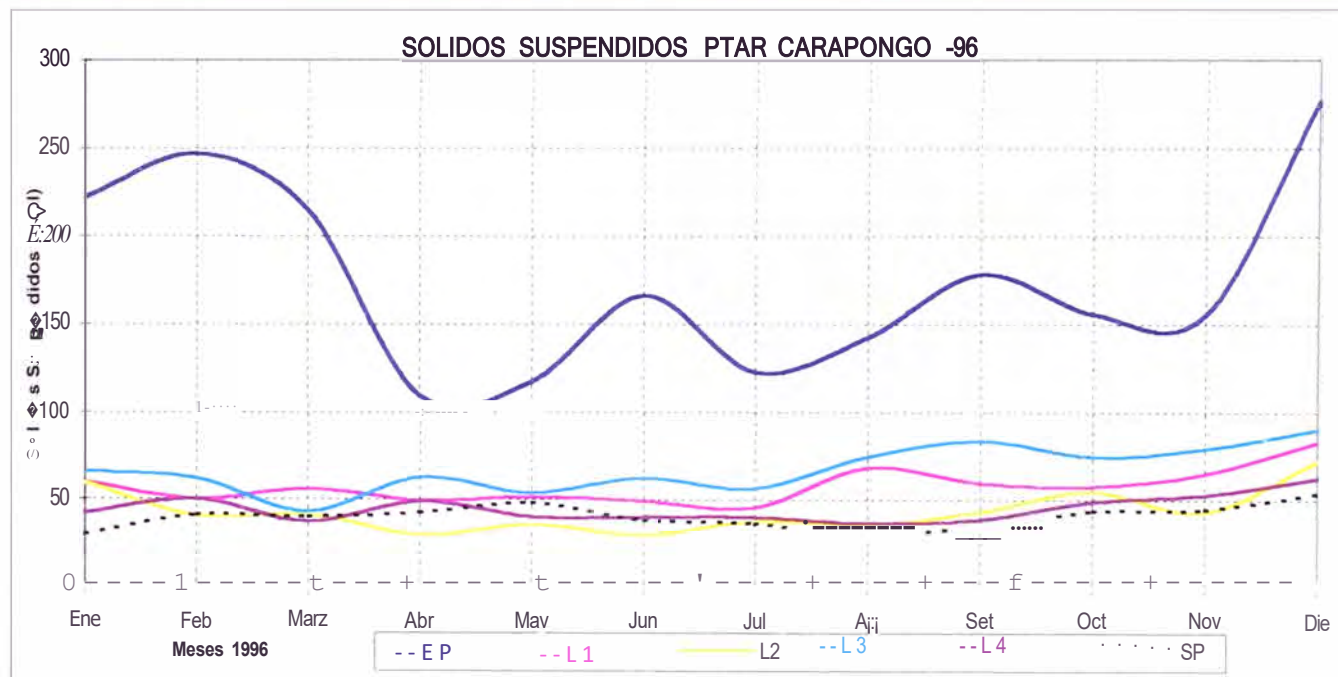


7.1.3 Sólidos suspendidos

Tabla 7.1.3

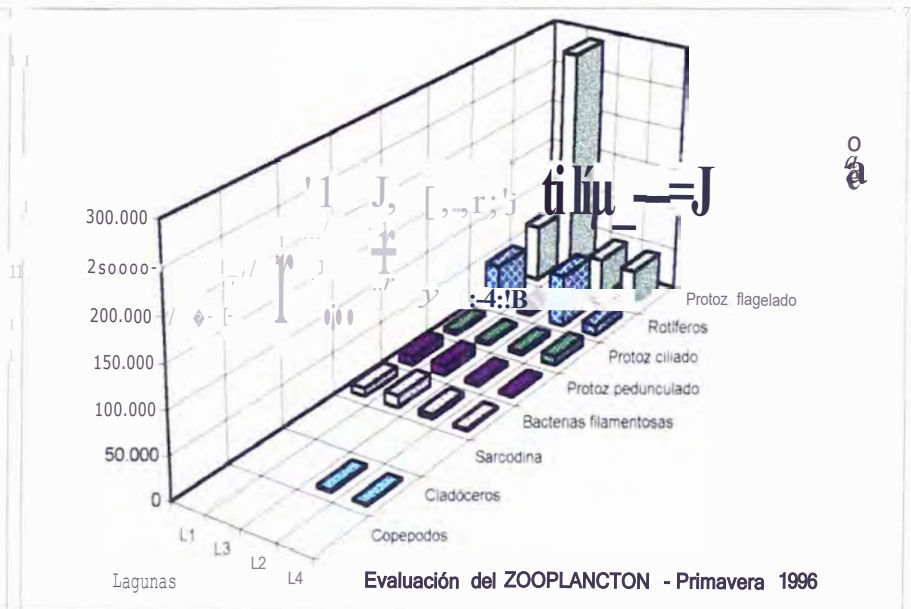
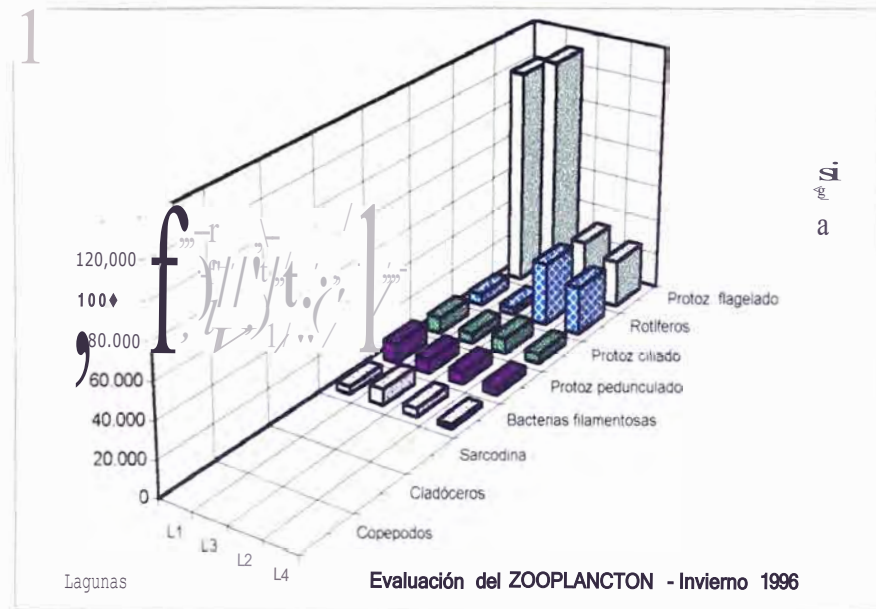
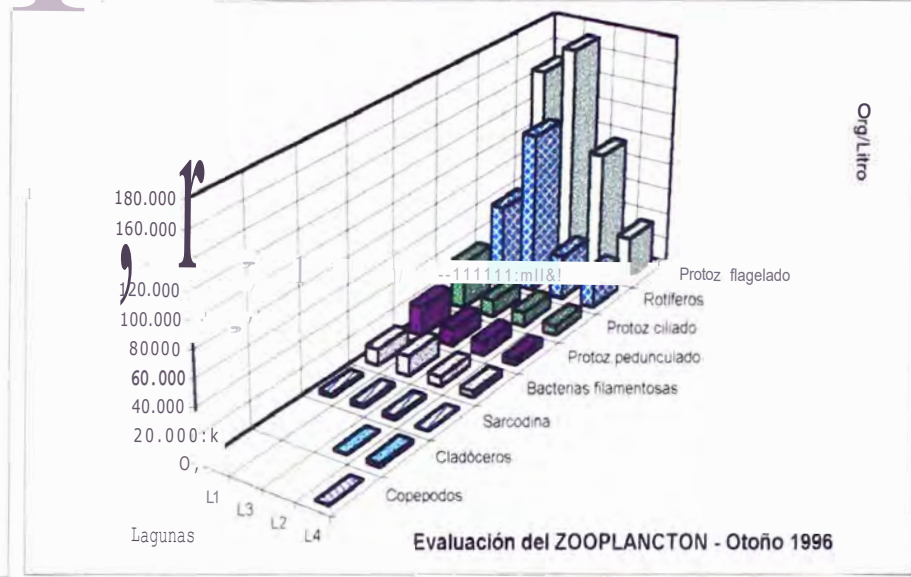
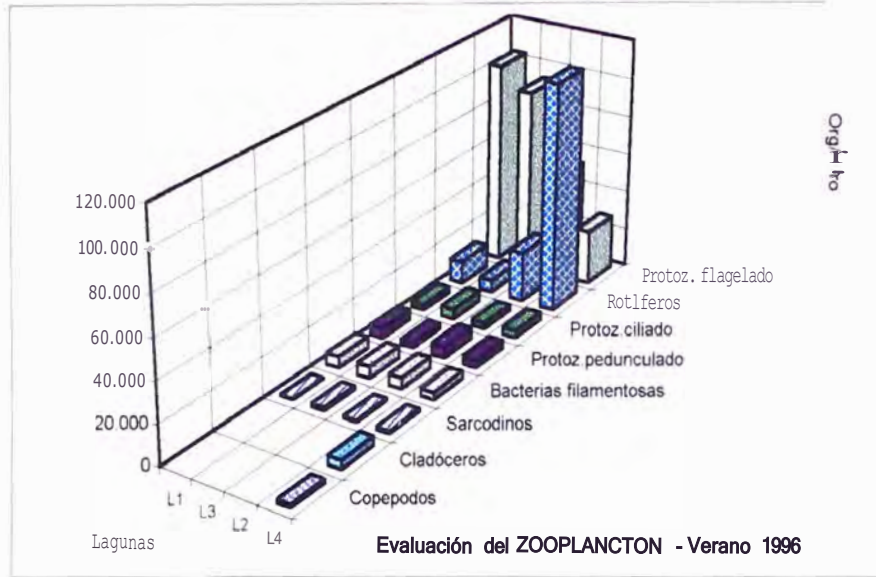
MESES	ENTRADA PLANTA			BATERIA N° 1						BATERIA N° 2						SALIDA PLANTA		
				Laguna N° 1			Laguna N° 2			Laguna N° 3			Laguna N° 4					
	S.S.	S.S.F.	S.T.V	S.S.	S.S.F.	S.T.V	S.S.	S.S.F.	S.T.V	S.S.	S.S.F.	S.T.V	S.S.	S.S.F.	S.T.V	S.S.	S.S.F.	S.T.V
Enero	222.0	66.0	155.0	59.6	10.8	48.8	59.3	7.3	52.0	66.0	18.5	47.5	42.0	3.5	38.5	29.9	4.0	25.9
Febrero	247.0	61.0	166.0	50.0	5.0	45.0	40.5	1.5	39.0	62.0	13.0	49.0	50.0	7.6	42.4	41.2	4.0	37.2
Marzo	215.0	58.0	167.0	56.0	6.0	50.0	41.2	2.0	39.2	43.2	5.6	37.6	37.2	3.2	34.0	40.2	2.0	38.9
Abril	109.8	30.8	79.0	49.5	16.0	33.5	29.9	3.6	26.3	62.5	17.4	57.3	49.0	2.2	46.8	42.9	6.3	36.6
Mayo	117.3	28.7	88.6	51.6	9.9	41.7	35.9	4.4	31.5	53.9	12.4	41.5	40.1	3.7	36.4	48.3	5.0	43.4
Junio	166.6	75.5	91.1	49.5	16.0	33.5	29.9	3.6	26.3	62.5	23.7	38.8	40.4	3.9	36.5	38.6	10.7	27.9
Julio	122.9	38.5	84.4	45.9	11.7	34.2	37.6	3.7	33.9	56.6	14.1	42.5	40.1	3.7	36.4	36.8	4.4	32.4
Agosto	142.6	39.7	102.9	68.5	16.7	51.7	35.9	4.4	31.5	74.8	21.3	53.5	37.1	4.5	32.6	29.9	4.0	25.9
Setiembre	178.7	40.1	138.6	59.6	13.0	46.5	43.1	4.9	38.1	83.7	22.7	61.0	38.9	3.3	35.6	35.4	3.8	31.6
Octubre	156.0	42.7	113.3	57.9	14.5	43.4	54.7	4.3	50.4	74.7	17.4	57.3	49.0	2.2	46.8	44.0	4.6	39.5
Noviembre	155.4	37.8	117.6	65.1	12.3	52.8	43.1	4.6	38.5	79.4	17.1	62.4	53.0	4.2	48.8	45.0	4.9	40.1
Diciembre	276.7	79.7	197.0	83.2	15.7	67.6	71.9	11.3	60.6	90.4	20.6	69.9	62.5	7.4	55.2	54.2	5.9	48.3

Unidad: mg/L



7.1.4 Resumen hidrobiológico
7.1.4.1 Evaluación de zooplacton

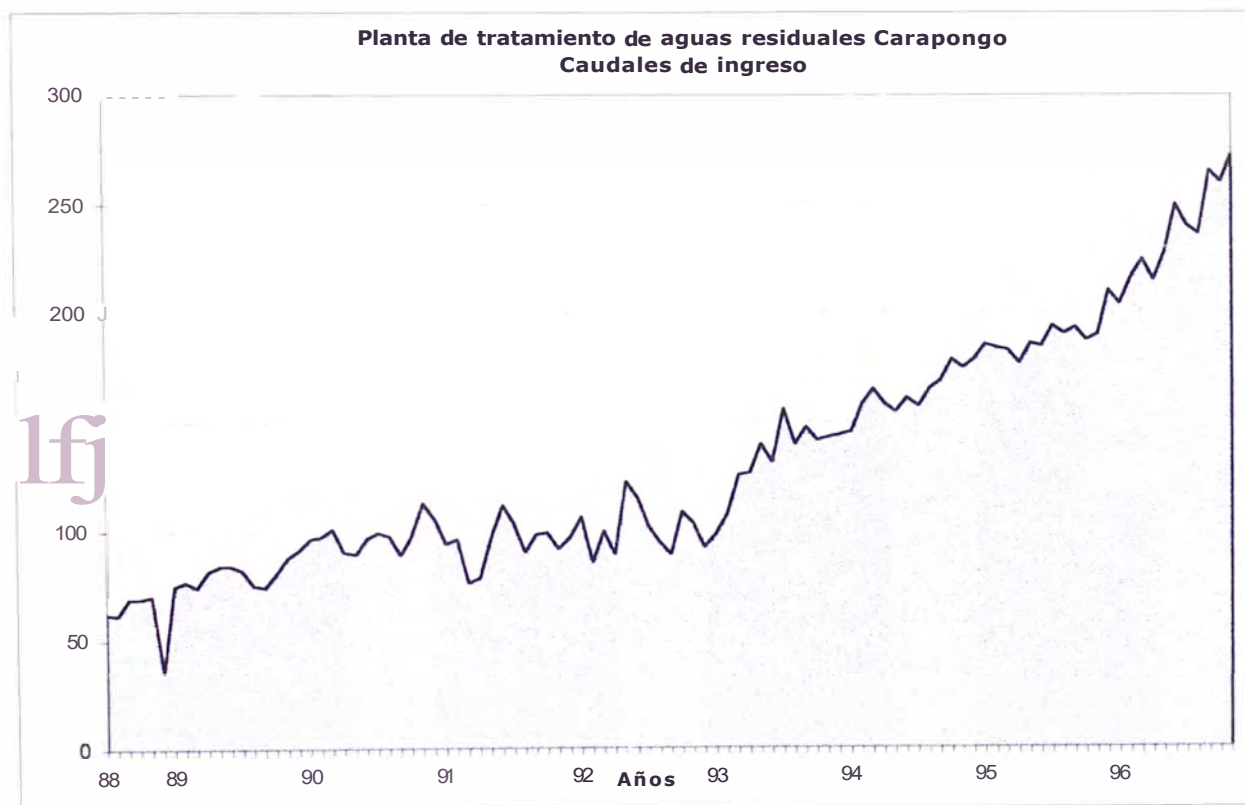
Tabla 7.4.1



7.1.5 Caudales de ingreso de aguas residuales a la PTAR Carapongo (litros/seg)

Tabla 7.1.5

Meses\Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Enero		74,70	96,50	94,20	106,50	98,80	145,60	185,50	204,07
Febrero		76,90	97,50	96,20	85,70	108,70	158,10	184,00	216,34
Marzo		74,30	101,10	76,30	99,90	125,60	161,80	182,80	224,52
Abril		81,60	90,50	78,50	89,30	126,60	158,50	176,80	214,86
Mayo		84,20	89,30	96,60	122,60	139,90	154,70	185,80	227,47
Junio	62,20	84,20	96,70	111,90	115,40	131,80	160,50	184,70	249,50
Julio	61,50	82,00	99,20	103,80	102,10	155,90	157,30	193,90	240,00
Agosto	68,90	75,40	97,80	90,40	94,90	139,90	165,20	190,50	235,90
Septiembre	68,90	74,40	89,20	98,60	89,30	147,60	168,90	193,10	265,00
Octubre	70,40	80,70	98,30	99,30	108,70	141,50	178,50	187,50	260,00
Noviembre	35,40	87,90	112,80	91,90	103,90	143,10	174,70	189,90	272,00
Diciembre	37,80	91,50	105,60	97,30	92,70	144,00	178,50	210,00	275,00
Promedio	57,87	80,65	97,88	94,58	100,92	133,62	163,53	188,71	240,39

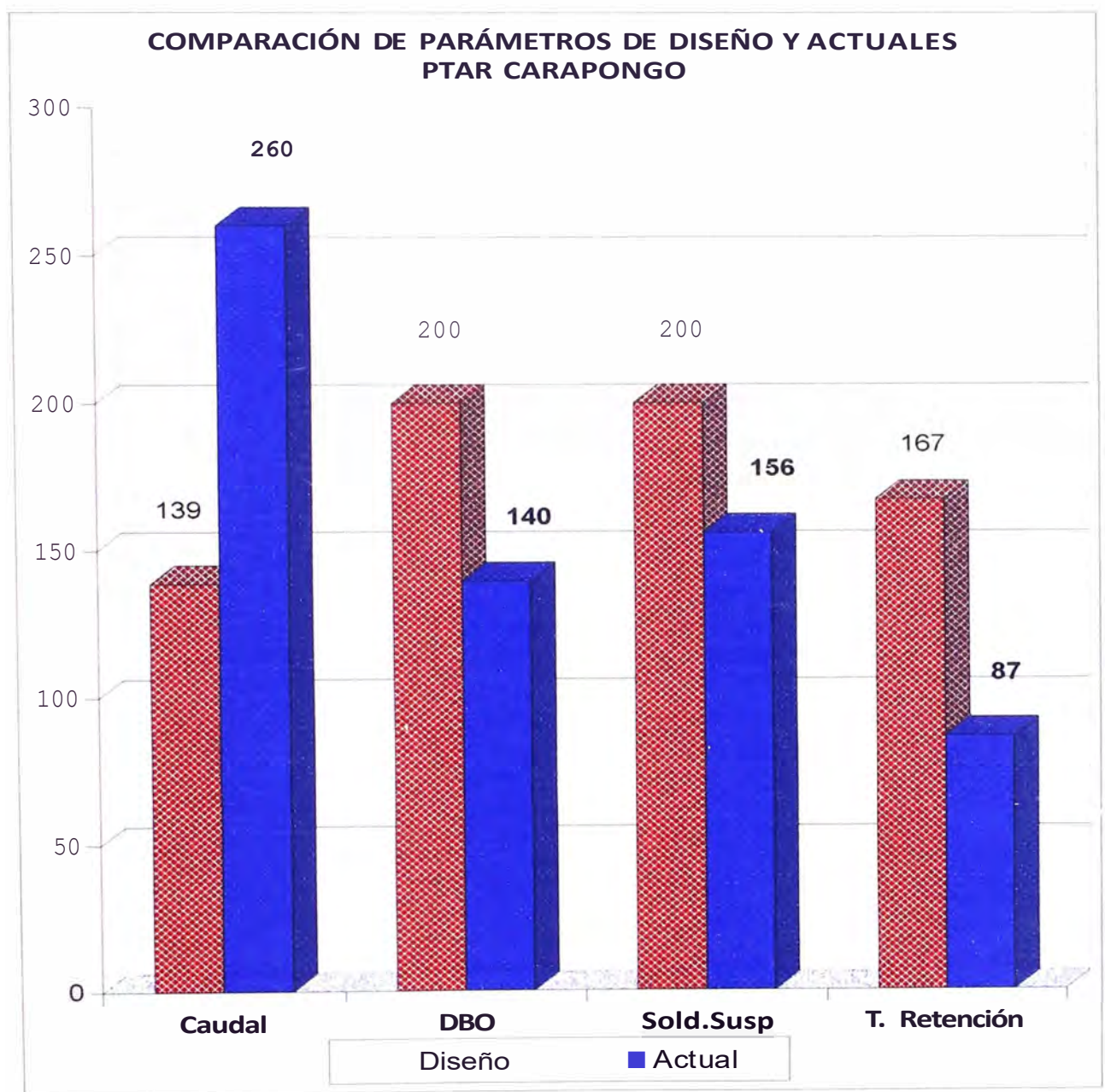


El caudal de diseño es de 140 lt/s. y en Julio de 1997 fue de 350 lt/s.

7.1.6 Resumen comparativo de parámetros de diseño

Tabla 7.1.6

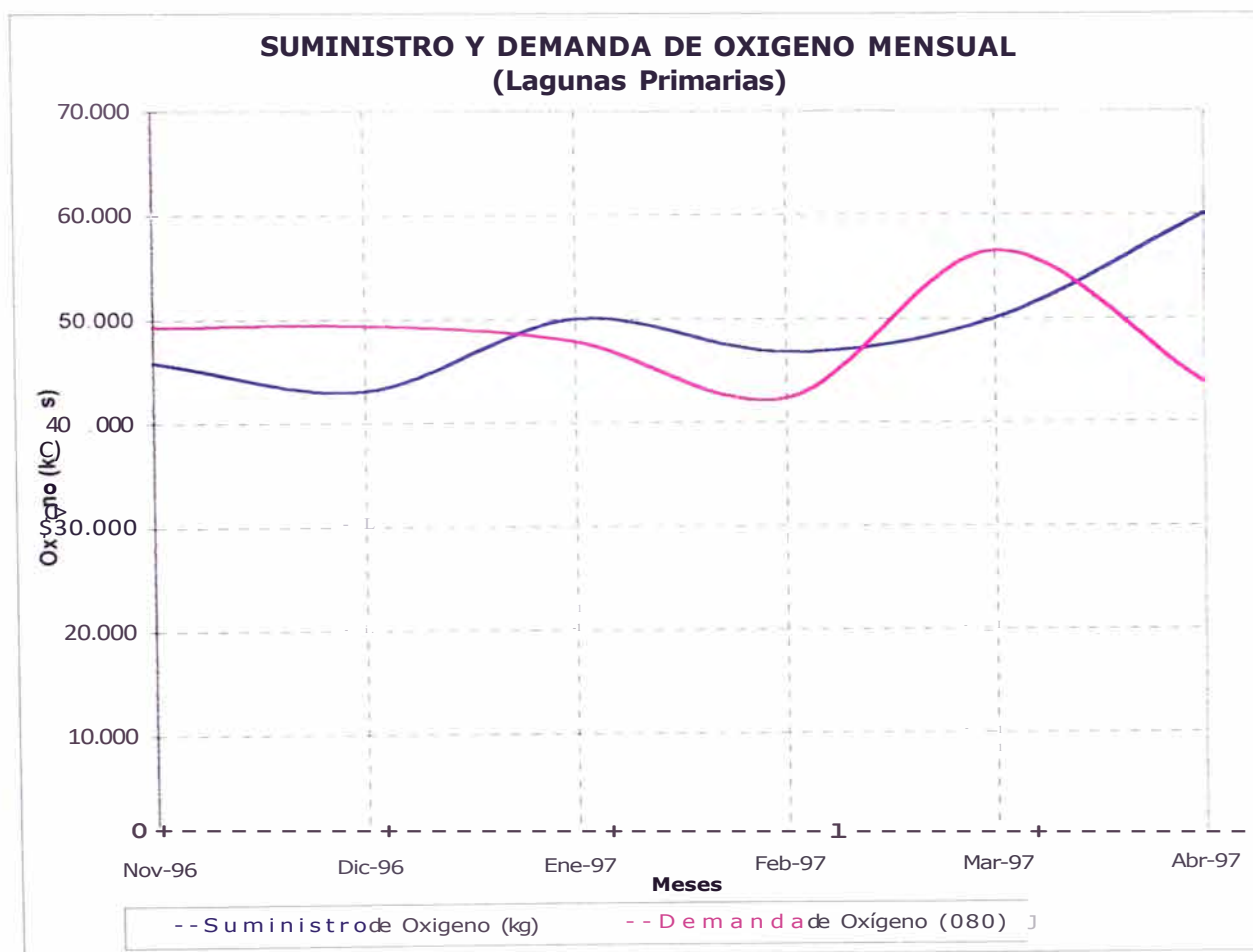
Parámetros	Caudal (l/s)	DBO (mgr/lit)	Sold.Susp (mgr/lit)	T. Retención (Horas)	COA (KgDBO/día)
Diseño	138,8	200,0	200,0	167,2	2.398,5
Actual	260,0	139,6	156,0	86,8	3.135,6



7.1.7 Balance entre suministro y demanda de oxígeno

Tabla 7.1.7

Mes	Suministro de O ₂ Lag. Primarias (Kg/día)	Oxígeno Suministrado (Kg /mes)	Demanda de O ₂ Lag. Primarias (Kg/día)	Demanda de Oxígeno (DBO) (Kg/mes)	Balance Suministro menos Demanda
Nov-96	1.530,32	45.909,60	1.643,26	49.297,80	-112,94
Dic-96	1.391,20	43.127,20	1.593,99	49.413,69	-202,79
Ene-97	1.613,79	50.027,49	1.544,85	47.890,35	68,94
Feb-97	1.613,79	46.799,91	1.461,14	42.373,06	152,65
Mar-97	1.613,79	50.027,49	1.823,21	56.519,51	-209,42
Abr-97	2.003,33	60.099,90	1.461,78	43.853,40	541,55



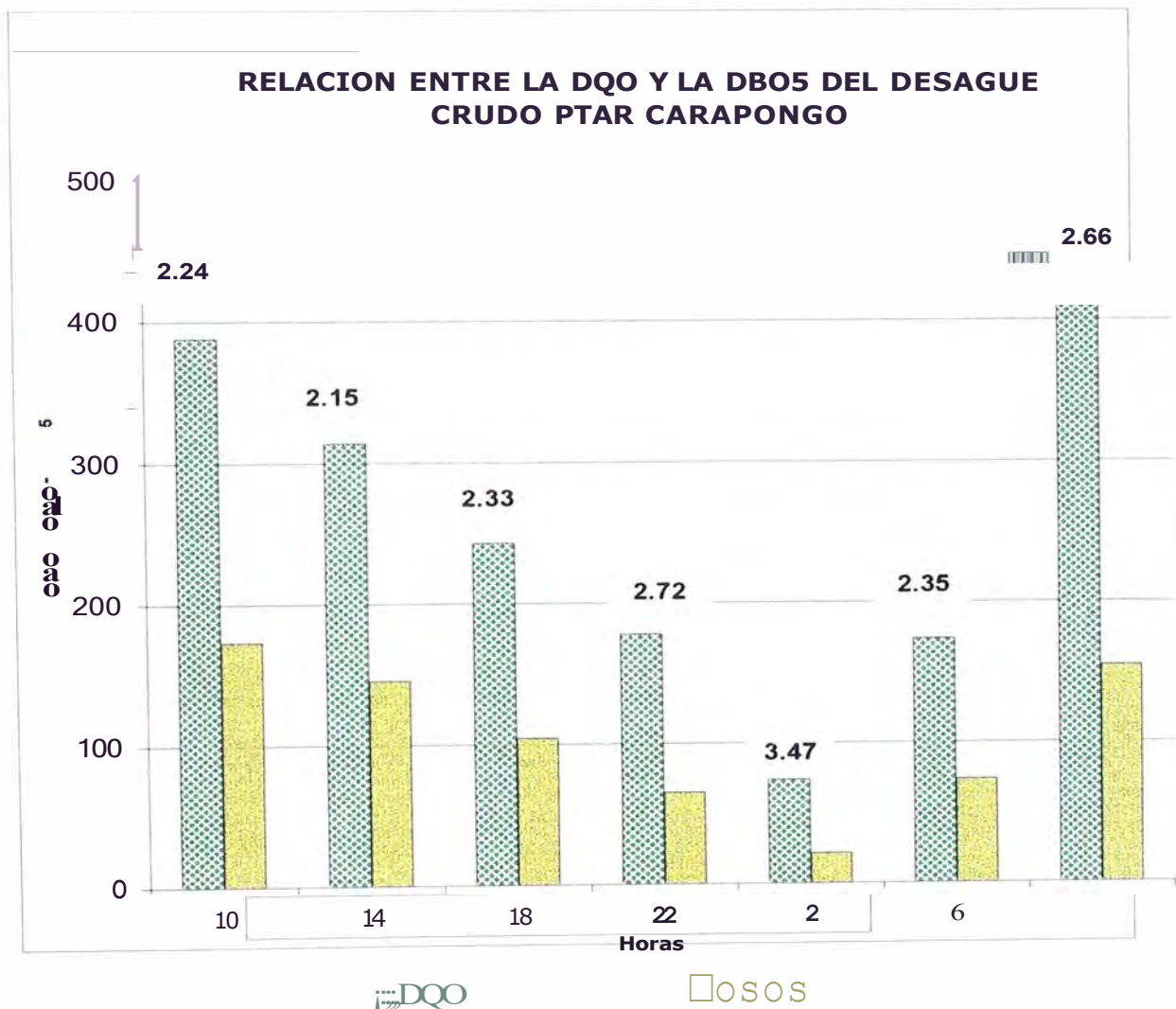
7.1.8 Relación entre la DQO y la DBO₅ del desague crudo

Fecha de Monitoreo:

jul-97

Tabla 7.1.8

HORA	DBO ₅	DQO	Relacion
10:00 AM	173,5	388	2,24
14:00 PM	145,8	314	2,15
18:00 PM	104,5	243	2,33
22:00 PM	65,4	178	2,72
02:00 AM	21,3	74	3,47
06:00 AM	74,0	174	2,35
08:00 AM	154,7	411	2,66



CAPITULO VIII

8 PRUEBAS EXPERIMENTALES

El objetivo de las pruebas experimentales a nivel de laboratorio es mostrar la remoción de contaminantes mediante la evaluación de determinados parámetros de análisis.

Para este propósito el presente capítulo se ha dividido en 5 fases

8.1 CARACTERIZACIÓN Y MONITOREO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CARAPONGO.

Las pruebas de monitoreo y caracterización se han realizado en julio de 1997. Los parámetros monitoreados son pH temperatura, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno, coliformes fecales, Carbón orgánico total, etc.

8.2 EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR COAGULACIÓN

La finalidad de esta fase de pruebas experimentales es mostrar la remoción de precursores de trihalometanos mediante la medición de parámetros indirectos como turbidez, absorbancia (254nm), formación de lodo, etc, como se sabe la efectiva coagulación antes de la clorinación ayuda a controlar los niveles de trihalometanos en los suministros de agua potable. El tipo de coagulante usado con la respectiva dosificación es factor importante en el mecanismo de remoción de los precursores, para estas determinaciones se utiliza el test de jarras.

La prueba de jarras fue hecha en la PTAR - Carapongo con efluentes finales del tratamiento y con agua sintética preparada de ácido húmico comercial además se usa Sulfato de Aluminio como coagulante y como coagulante-floculante polímero

catiónico Magnifloc 573C proporcionado por Mercantil S.A.

El coagulante-floculante Magnifloc 573C (polímero catiónico de bajo peso molecular) mejora la efectividad del alumbre en la coagulación de las sustancias húmicas.

TABLA VIII -1
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS

Parámetro	PTAR - Carapongo	Agua Sintética 5 mg / L de ácido Húmico
Turbidez (NTU)	38	1.3
AB (254nm) cm ⁻¹	0.403	0.15
pH	7.2	ajustado en la prueba
TOC (mg / l)	19.9	1.9

TABLA VIII -2
CARACTERÍSTICAS DEL POLÍMERO

Nombre Comercial	Apariencia	Gravedad Especifica	Viscosidad cps	pH	Peso molecular	Clasificación
Magnifloc 573C	Líquido ámbar	1.14 -1.18	175-350	5 - 7	aprox 10 ⁵	Amina Policuaternaria

TABLA VIII -3
FLOCULACIÓN Y TIEMPOS DE REPOSO

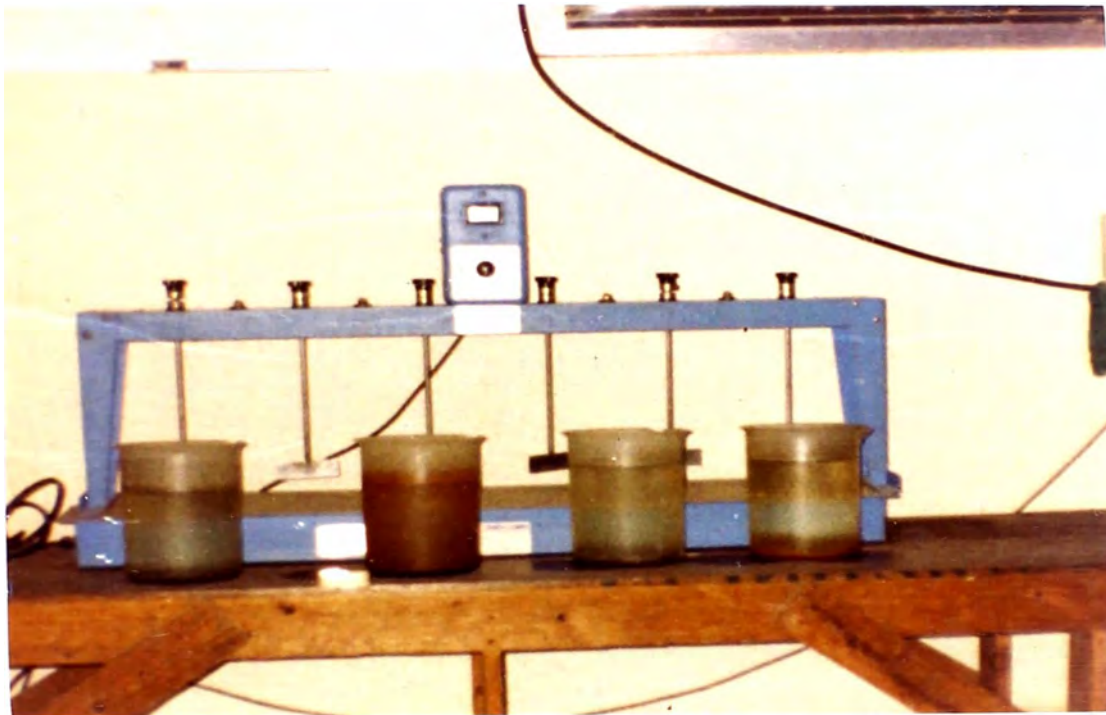
Coagulante	Floculación 20 rpm (minutos)	Reposo (minutos)
Alumbre	20	30
Alumbre + polímero pH 7.2	60	45
Alumbre + polímero pH 5.5	60	45

Reactivos - Materiales

- **Agua Sintética**, con ácido húmico, fue preparada con ácido húmico seco comercial proporcionado por Mercantil S.A. el cual fue disuelto en 0.01 N de hidróxido de sodio y guardado a 4 °C, se trabajo con 5 mg / l de ácido húmico.
- **Sulfato de Aluminio** [Al₂ (SO₄ h-16H₂O)] proporcionado por el laboratorio de PTAR - Carapongo usado como coagulante (stock de soluciones preparadas de 1 gr./l y 3 gr./l con dos días antes de su uso).

- **Equipo para prueba de jarras (JAIR TEST)**

Con 4 vasos de vidrio de 2 litros cada uno según muestra la fotografía.



Cono Imhof, el lodo de la prueba de jarras es transferido a estos conos por 1 hora de reposo midiendo la cantidad de lodo sedimentado.

Los resultados de estas pruebas se observan en las tablas 9.1 - 9.7 con sus respectivos gráficos.

83 EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES USANDO CARBÓN ACTIVADO EN POLVO

Para la evaluación se usa dos tipos de carbón activado : carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC)

El carbón activado marca Calgón fue proporcionado por Mercantil S.A.

El carbón activado en polvo nos permite evaluar parámetros como turbidez y color del efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales de Carapongo mediante prueba de jarras, determinando % de remoción para estos parámetros para determinadas dosificaciones de PCA (gr./ lt de efluente evaluado).

Además mediante el tratamiento de los resultados se determina la isoterma de adsorción para un día de tiempo de contacto determinando la capacidad de adsorción.

El carbón activado marca Calgón utilizado, es del tipo WPH, manufacturado de carbón bituminoso.

Especificaciones técnicas del PAC -tipo WPH .

Parámetro	Especificación
N ° de lodo (mg / g)	800 min.
Valor de Fenol (g / l)	3.5 max.
% Humedad	5 max
Densidad aparente (lb / pie ³)	46 max.

8.4 EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINATES USANDO FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

El carbón activado granular marca Calgón, utilizado es del tipo Filtrasorb 300, proporcionado por Mercantil S.A, presentando las siguientes características:

Especificaciones técnicas -Filtrasorb 300

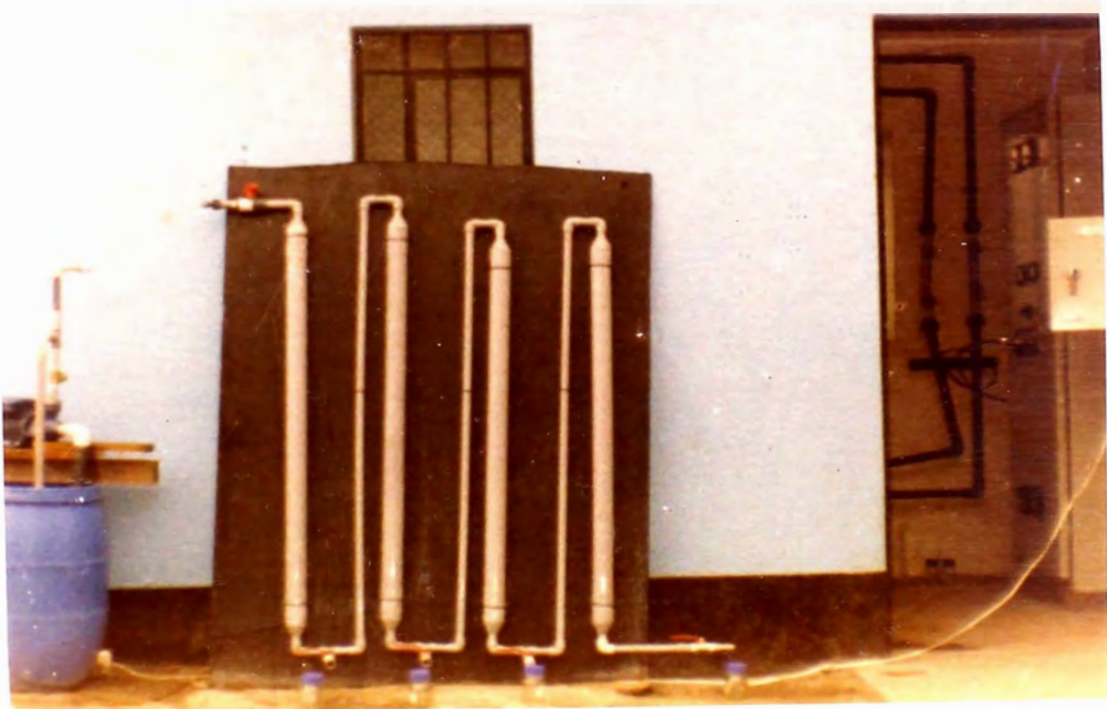
Parámetro	Especificaciones
N ° de lodo	900
N ° de Abrasión	75
% Humedad	2 %
Tamaño efectivo (mm)	0.8 - 0.9
% Cenizas solubles en agua	0.5 %
Granulometría (N ° 8 max)	15 %

El carbón activado granular es empacado en filtros para evaluar las condiciones de adsorción del Filtrasorb 300 y de remoción del efluente de PTAR - Carapongo.

Para estas pruebas se trabajo con la unidad piloto de filtros de carbón activado compuesta de:

- 1 4 Filtros de carbón activado**, fabricados de tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro con sus respectivas toberas rellenas de algodón para evitar la salida del carbón granular.
- 2 Tuberías de ½ pulgada de diámetro**, que sirven de conexión entre los diferentes dispositivos del equipo piloto.
- 3 Filtro de celulosa**, para un prefiltrado antes del ingreso del agua a la unidad de carbón activado debido al material en suspensión, algas presentes en el efluente de Carapongo.
- 4 Bomba centrífuga de ½ HP**, para impulsar el efluente a evaluar de un tanque acondicionado, debido a que en la evaluación se necesitan trabajar con flujos pequeños en el rango de (0.5 - 2 GPM / ft²), la bomba se acondicionó con otros dispositivos como válvulas, conexiones para llegar a estos flujos de trabajo.

La fotografía muestra a continuación la unidad piloto de filtros de carbón activado acondicionada para las pruebas.



Características de los filtros de carbón activado

Diámetro (pulg.)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso carbón por columna (gr.)	N ° Columnas	Peso Total Kg.
2.00	100	2,026.77	878.60	4	3.51

Los parámetros que se evalúan en estas pruebas son :

- 1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**, con flujos de alimentación a los filtros de 50, 100, 125 y 150 cm^3 / min . determinando el % de remoción en los filtros, según se muestra en las tablas 8.4.1 - 8.4.5.
- 2 Turbidez, Color y Absorvancia (254 nm)**, con flujo de prueba de 50 cm^3 / min ., determinando la remoción en los filtros, según se muestra en la tabla 8.4.7.
- 3 Carbón orgánico total**, según se muestra en la tabla 8.4.7.

8.5 EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE TRIHALOMETANOS POR FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

El efluente es tratado a través de los filtros a un flujo de alimentación de 50 cm^3 / min ., luego estas muestras de agua tratada son clorinadas con hipoclorito de sodio para determinadas dosis, provocando la formación de trihalometano con el precursor remanente de los respectivos filtros, según se muestra en las tablas 8.5.3 - 8.5.5.

Para la formación de trihalometano es importante la presencia de cloro residual, la determinación de los requerimientos de cloro residual se presentan en esta fase de pruebas.

Se presentan dos condiciones de formación de trihalometanos : potencial final de formación de trihalometanos (pH = 7) y potencial básico de formación de trihalometano (pH = 9.2).

8.1 CARACTERIZACION Y MONITOREO DE PTAR - CARAPONGO

8.1.1 VARIACION : Temperatura vs pH

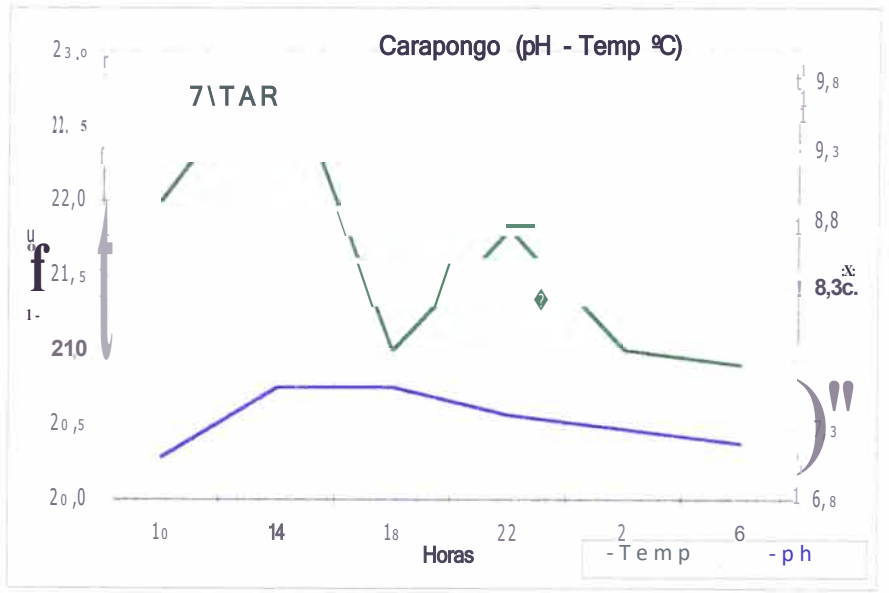
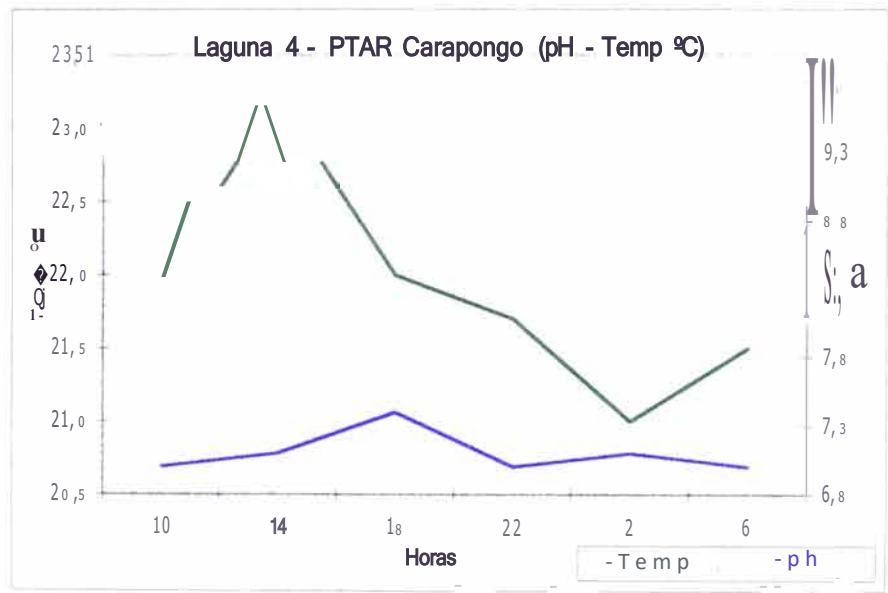
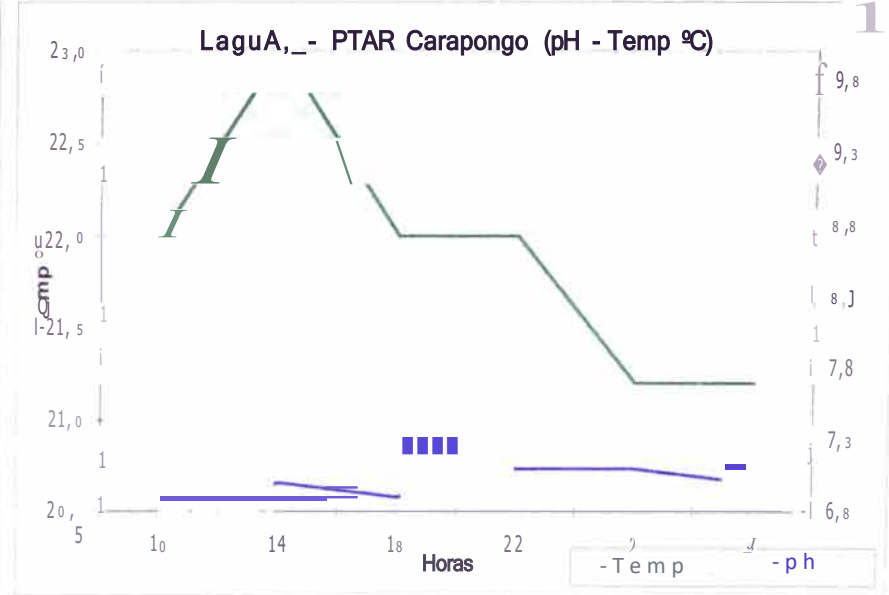
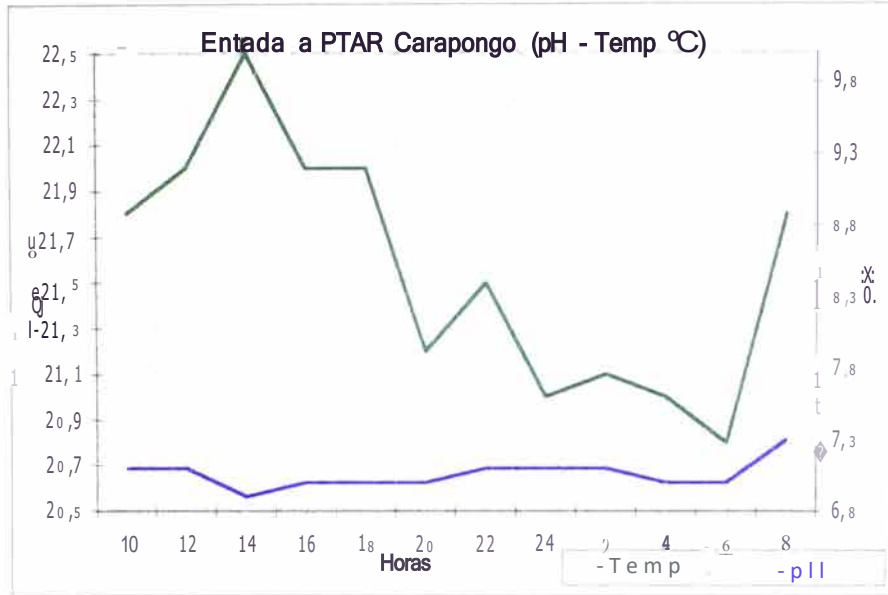
Fecha de monitoreo : Julio - 1997

Tabla 8.1.1

HORA	Lugar	Temp. °C	pH
10 Hrs	Entrada	21.8	7.1
	Laguna 1	22.0	6.8
	Laguna 2	21.5	7.1
	Laguna 3	22.0	6.9
	Laguna 4	22.0	7.0
	Salida planta	22.0	7.1
12Hrs	Entrada	22.0	7.1
14 Hrs	Entrada	22.5	6.9
	Laguna 1	23.0	7.0
	Laguna 3	23.2	7.1
	Salida planta	23.0	7.6
16 Hrs	Entrada	22.0	7.0
18 Hrs	Entrada	22.0	7.0
	Laguna 1	22.0	6.9
	Laguna 2	22.0	7.6
	Laguna 3	21.0	6.9
	Laguna 4	22.0	7.4
	Salida planta	21.0	7.6
20 Hrs	Entrada	21.2	7.0
22 Hrs	Entrada	21.5	7.1
	Laguna 1	22.0	7.1
	Laguna 3	21.7	7.0
	Salida planta	21.8	7.4
24 Hrs	Entrada		7.1
02 Hrs	Entrada	21.1	7.1
	Laguna 1	21.2	7.1
	Laguna 2	21.2	7.2
	Laguna 3	21.0	7.0
	Laguna 4	21.0	7.1
	Salida planta	21.0	7.3
04 Hrs	Entrada	21.0	7.0
06 Hrs	Entrada	20.8	7.0
08 Hrs	Entrada	21.8	7.3
	Laguna 1	21.2	7.0
	Laguna 3	21.5	7.0
	Salida planta	20.9	7.2

MONITOREO DE CARACTERIZACION - PTAR CARAPONGO (pH - Temp. °C)

Graficos 8.1.1



8.1.2 DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES Y SOLIDOS SUSPENDIDOS - PTAR CARAPONGO

Tabla 8.1.2

CALCULO SOLIDOS SUSPENDIDOS								
		Peso (g) Inicial	Vol (mi)	Peso (g) Final	Peso (g) Calcinado	SS	SSF	SSV
10 Hrs	Ent	0.1173	100	0.1455	0.1250	282.0	77.0	205.0
	L1	0.1157	150	0.1347	0.1205	126.7	32.0	94.7
	L2	0.1146	150	0.1271	0.1171	83.3	16.7	66.7
	L3	0.1162	150	0.1303	0.1203	94.0	27.3	66.7
	L4	0.1141	250	0.1291	0.1165	60.0	9.6	50.4
	SP	0.1146	250	0.1298	0.1173	60.8	10.8	50.0
14Hrs	Ent	0.1165	100	0.1350	0.1206	185.0	41.0	144.0
16 Hrs	L1	0.1154	160	0.1313	0.1192	99.4	23.8	75.6
	L3	0.1157	160	0.1315	0.1208	98.8	31.9	66.9
18 Hrs	Ent	0.1157	100	0.1300	0.1191	143.0	34.0	109.0
	L2	0.1163	220	0.1292	0.1190	58.6	12.3	46.4
	L4	0.1146	250	0.1225	0.1157	31.6	4.4	27.2
	SP	0.1148	220	0.1259	0.1170	50.5	10.0	40.5
22 Hrs	Ent	0.1152	100	0.1237	0.1166	85.0	14.0	71.0
	L1	0.1149	150	0.1300	0.1187	100.7	25.3	75.3
	L3	0.1138	160	0.1308	0.1194	106.3	35.0	71.3
02 Hrs	Ent	0.1180	150	0.1225	0.1183	30.0	2.0	28.0
	L2	0.1150	220	0.1303	0.1181	69.5	14.1	55.5
	L4	0.1147	230	0.1232	0.1163	37.0	7.0	30.0
	SP	0.1146	250	0.1243	0.1162	38.8	6.4	32.4
04 Hrs	L1	0.1159	150	0.1299	0.1195	93.3	24.0	69.3
	L3	0.1156	160	0.1278	0.1194	76.3	23.8	52.5
06 Hrs	EP	0.1177	150	0.1323	0.1204	97.3	18.0	79.3
08 Hrs	EP	0.1160	80	0.1333	0.1198	216.3	47.5	168.8

CALCULO SOLIDOS TOTALES								
		Peso (g) Inicial	Vol (mi)	Peso (g) Final	Peso (g) Calcinado	SS	SSF	SSV
10 Hrs	Ent	77.5887	100	77.6995	77.6576	1108.0	689.0	419.0
	L1	77.7022	100	77.7923	77.7682	901.0	660.0	241.0
	L2	78.0929	100	78.1790	78.1583	861.0	654.0	207.0
	L3	76.6072	100	76.6985	76.6745	913.0	673.0	240.0
	L4	77.7133	100	77.8004	77.7759	871.0	626.0	245.0
	SP	77.2320	100	77.3182	77.2953	862.0	633.0	229.0
14 Hrs	Ent	78.3888	100	78.4921	78.4544	1033.0	656.0	377.0
16 Hrs	L1	77.1995	100	77.2860	77.2640	865.0	645.0	220.0
	L3	78.3323	100	78.4196	78.3978	873.0	655.0	218.0
18 Hrs	Ent	78.0086	100	78.0976	78.0738	890.0	652.0	238.0
	L2	76.1834	100	76.2654	76.2461	820.0	627.0	193.0
	L4	77.3594	100	77.4400	77.4222	806.0	628.0	178.0
	SP	77.9975	100	78.0792	78.0604	817.0	629.0	188.0
22 Hrs	Ent	81.1979	100	81.2866	81.2594	887.0	615.0	272.0
	L1	72.7438	100	72.8361	72.8073	923.0	635.0	288.0
	L3	78.9710	100	79.0641	79.0390	931.0	680.0	251.0
02 Hrs	Ent	72.4571	100	72.5376	72.5157	805.0	586.0	219.0
	L2	79.8427	100	79.9276	79.9063	849.0	636.0	213.0
	L4	82.2786	100	82.3658	82.3434	872.0	648.0	224.0
	SP	76.5619	100	76.6440	76.6247	821.0	628.0	193.0
04 Hrs	L1	70.1594	100	70.2483	70.2207	889.0	613.0	276.0
	L3	70.4516	100	70.5373	70.5152	857.0	636.0	221.0
06 Hrs	EP	67.4972	100	67.5796	67.5551	824.0	579.0	245.0
08 Hrs	EP	47.3170	100	47.4277	47.3853	1107.0	683.0	424.0

8.1.3 SOLIDOS EN LA PTAR-CARAPONGO

Fecha de monitoreo : JUNIO 1997

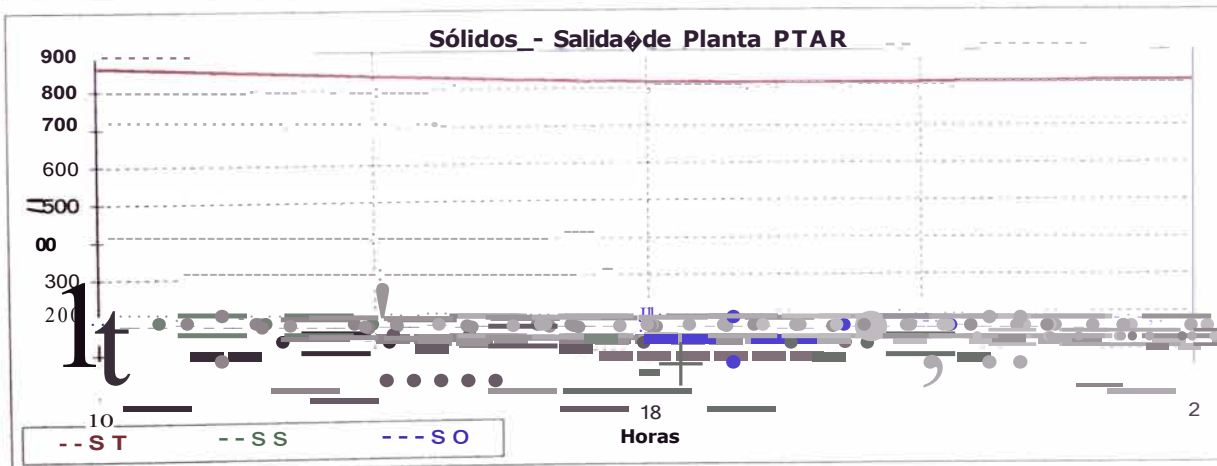
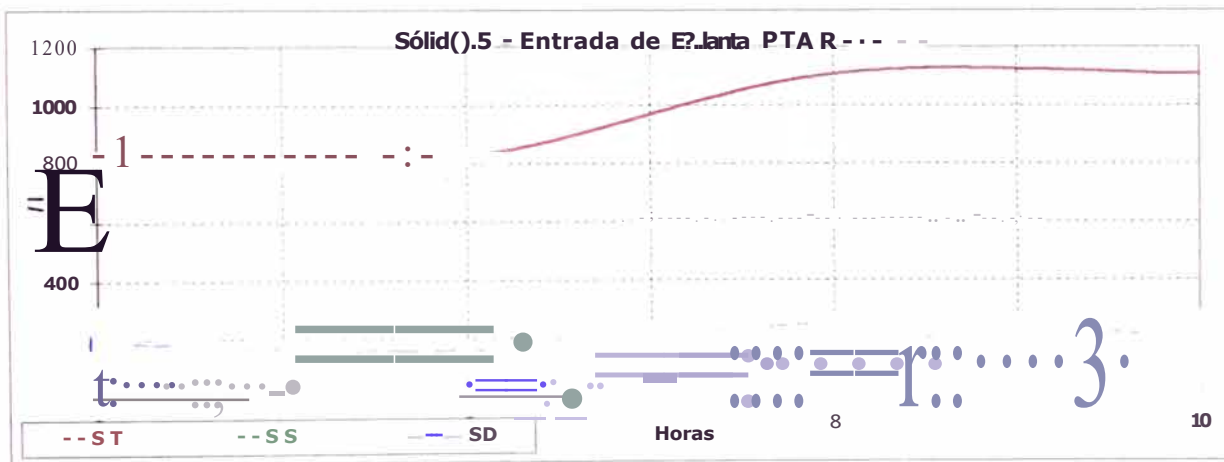
Tabla 8.1.3

ENTRADA A PLANTA

Hora	5T	5TF	5TV	5S	55F	55V	5D	5DF	5DV
10:00 am	1,108.0	689.0	419.0	282.0	77.0	205.0	826.0	612.0	214.0
2:00 pm	1,033.0	656.0	377.0	185.0	41.0	144.0	848.0	615.0	233.0
6:00 pm	890.0	652.0	238.0	143.0	34.0	109.0	747.0	618.0	129.0
10:00 pm	887.0	615.0	272.0	85.0	14.0	71.0	802.0	601.0	201.0
2:00 am	805.0	586.0	219.0	30.0	2.0	28.0	775.0	584.0	191.0
6:00 am	824.0	579.0	245.0	97.3	18.0	79.3	726.7	561.0	165.7
8:00 am	1,107.0	683.0	424.0	216.3	47.5	168.8	890.7	635.5	255.2
Promedio	993.6	651.6	342.0	177.3	41.6	135.7	816.3	610.1	206.2
Máximo	1,108.0	689.0	424.0	282.0	77.0	205.0	890.7	635.5	255.2
Mínimo	805.0	579.0	219.0	30.0	2.0	28.0	726.7	561.0	129.0

SALIDA DE PLANTA

Hora	5T	5TF	5TV	5S	55F	55V	5D	5DF	5DV
10:00 am	862.0	633.0	229.0	60.8	10.8	50.0	801.2	622.2	179.0
2:00 pm									
6:00 pm	817.0	629.0	188.0	50.5	10.0	40.5	766.5	619.0	147.5
10:00 pm									
2:00 am	821.0	628.0	193.0	38.8	6.4	32.4	782.2	621.6	160.6
6:00 am									
Promedio	833.3	630.0	203.3	50.0	9.1	41.0	783.3	620.9	162.4



8.1.4 MONITOREO DE ANALISIS DE DB05 - DQO

Tabla 8.1.4

Día: 25 / 06 / 97

Hora: 24 Horas

Factor 0.96

Vol. (ml) 700

HORA	Muestra		% Dilución	Volumen Muestra	Lectura Inicial	Lectura Final	DBOs	Observ. DQO	% Remoción
10:00	Entrada	T	2.0%	14	7.22	3.58	173.52	388	49.6%
		S	10.0%	70	6.84	4.39	23.07		64.2%
	Laguna 1	T	7.0%	49	6.77	1.76	68.03		26.0%
		S	20.0%	140	6.65	4.23	11.22		63.6%
	Laguna 2	T	10.0%	70	6.76	1.68	48.19		24.9%
		S	30.0%	210	6.61	3.35	10.05		50.7%
	Laguna 3	T	8.0%	56	6.92	3.10	45.28		44.8%
		S	20.0%	140	6.75	4.01	12.75		59.4%
	Laguna 4	T	12.0%	84	7.03	3.54	27.45		50.4%
		S	35.0%	245	6.57	3.02	9.35		46.0%
	Salida	T	12.0%	84	7.16	3.41	29.52		47.6%
S		35.0%	245	6.46	3.10	8.84		48.0%	
	BLANCO		100.0%	700	7.40	7.05	0.33		
14:00	Entrada	T	3.0%	21	7.14	2.55	146.15	314	35.7%
16:00	Laguna 1	T	7.0%	49	6.94	2.09	66.18		30.1%
		S	22.0%	154	7.03	4.69	10.16		66.7%
	Laguna 3	T	8.0%	56	6.93	2.88	48.36		41.6%
		S	22.0%	154	7.00	3.94	13.29		56.3%
18:00	Entrada	T	4.0%	28	7.17	2.78	104.84	243	38.8%
		S	14.0%	98	7.03	4.17	19.51		59.3%
	Laguna 2	T	10.0%	70	6.67	2.33	41.46		34.9%
		S	30.0%	210	6.75	3.20	11.30		47.4%
	Laguna 4	T	14.0%	98	7.15	3.64	23.95		50.9%
		S	35.0%	245	6.98	3.26	10.15		46.7%
Salida	T	12.0%	84	7.02	2.53	35.74		36.0%	
	S	30.0%	210	6.93	3.68	10.35		53.1%	
22:00	Entrada	T	5.0%	35	6.96	3.52	65.72	178	50.6%
		S							
	Laguna 1	T	6.0%	42	7.02	3.13	61.93		44.6%
		S	20.0%	140	7.00	4.82	10.41		68.9%
Laguna 3	T	8.0%	56	6.85	2.84	47.88		41.5%	
	S	22.0%	154	6.71	4.09	11.38		61.0%	
02:00	Entrada	T	10.0%	70	6.70	4.47	21.30	74	66.7%
		S							
	Laguna 2	T	8.0%	56	6.80	2.64	49.67		38.8%
		S	30.0%	210	6.12	2.59	11.24		42.3%
	Laguna 4	T	10.0%	70	6.82	4.94	17.96		72.4%
		S	32.0%	224	6.68	2.80	11.58		41.9%
Salida	T	12.0%	84	6.84	2.62	33.59		38.3%	
	S	35.0%	245	6.41	3.25	8.62		50.7%	
4:00	Laguna 1	T	6.0%	42	6.89	3.62	52.06		52.5%
		S	20.0%	140	6.87	5.05	8.69		73.5%
	Laguna 3	T	8.0%	56	7.02	3.31	44.30		47.2%
		S	22.0%	154	6.91	4.28	11.42		61.9%
6:00	Entrada	T	6.0%	42	6.87	2.22	74.03	174	32.3%
8:00	Entrada	T	2.0%	14	6.93	3.69	154.75	411	53.2%
		S	10.0%	70	7.12	3.25	36.97		45.6%

8.1.5 MONITOREO DB05, DQO, SOLIDOS SUSPENDIDOS

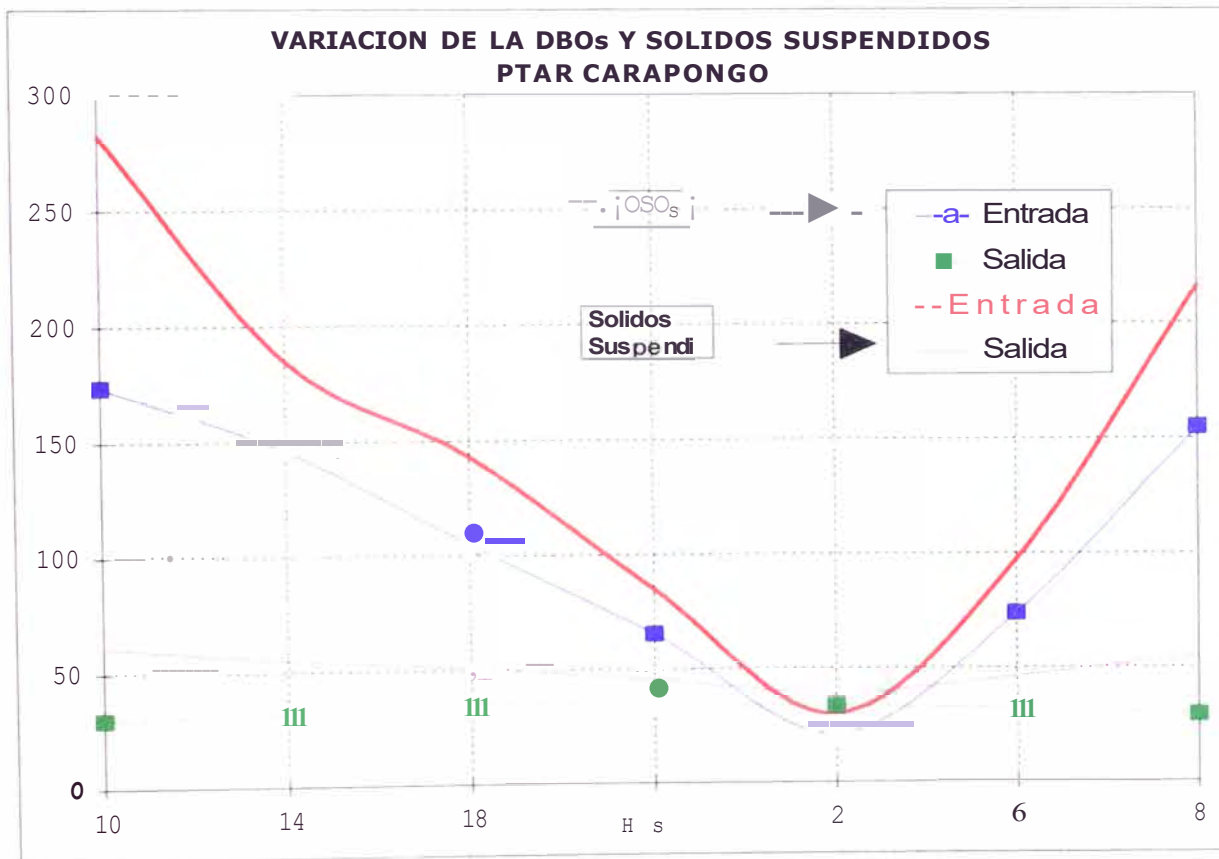
Tabla 8.1.5

Fecha: 25/06/97

HORA	OB05				QAO	SOLIDOS SUSP.		%Remoción	
	Entrada		Salida		Entrada	Entrada	Salida	OBO ₅	S.S
	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Total		Total	Total
10:00	173.5	23.1	29.5	8.8	388.0	282.0	60.8	83%	78%
14:00	145.8				314.0	185.0			
18:00	104.5	19.2	35.4	10.0	243.0	143.0	50.5	76%	65%
22:00	65.4				178.0	85.0			
2:00	21.3		33.5	8.6	74.0	45.0	38.8	68%	14%
6:00	74.0				174.0	97.3			
8:00	154.7	36.9			411.0	216.3			
Máximo	173.5	36.9	35.4	10.0	411.0	282.0	60.8		
Promedio	124.1	27.1	32.8	9.1	295.7	205.7	39.9	74%	81%
Mínimo	21.3	19.2	29.5	8.6	74.0	45.0	38.8		

DBO.T : Demanda Bioquímica de Oxígeno Total
S.S : Sólidos Suspendidos

DBO.S : Demanda Bioquímica de Oxígeno Soluble
DQO : Demanda Química de Oxígeno



8.1.6 ANALISIS DE COLIFORMES

Tabla 8.1.6

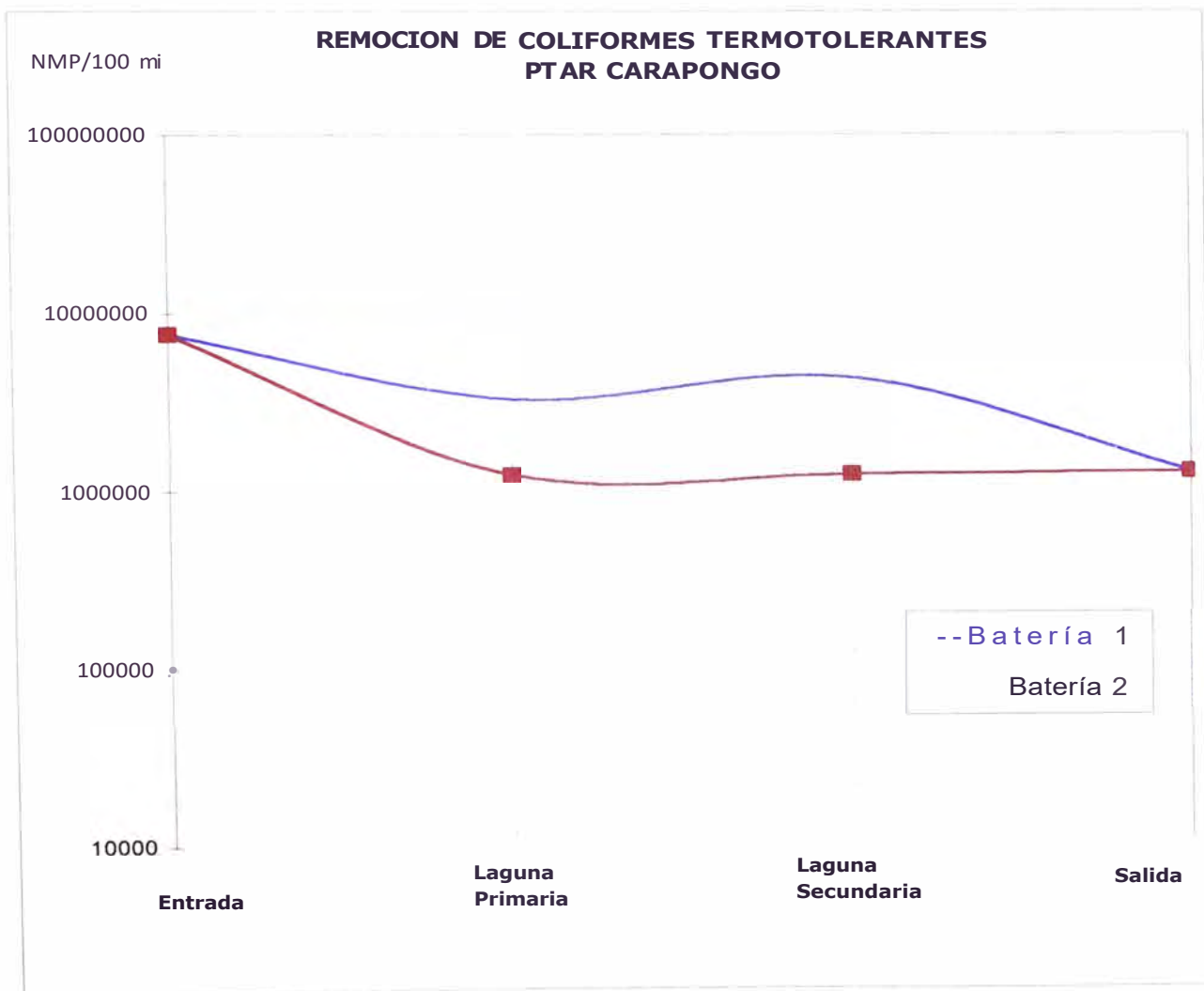
Fecha de evaluación : Julio 1997

HORA	MUESTRA	DILUCIONES	TUBOS(+)	NMP/100 mi
			Medio A-1	Coliformes Fecales
10:00 AM	Entrada Planta	-4	5	7.00E+06
		-5	2	
		-6	1	
		-7	0	
	Laguna 1	-3	5	3.00E+06
		-4	3	
		-5	1	
		-6	0	
	Laguna 2	-3	5	5.00E+06
		-4	5	
		-5	2	
		-6	0	
	Laguna 3	-3	5	3.00E+06
		-4	5	
		-5	1	
		-6	0	
	Laguna 4	-3	5	5.00E+06
		-4	5	
		-5	2	
		-6	0	
	Salida Planta	-3	5	1.20E+06
		-4	4	
		-5	3	
		-6	0	

8.1.7 COLIFORMES TERMOTOLERANTES - PTAR CARAPONGO

Tabla 8.1.7

Lagunas Etapas de tratamiento	1 y 2	3 y 4
	Bateria 1	Bateria 2
Entrada	7,6E+06	7,6E+06
Laguna Primaria	3,3E+06	1,2E+06
Laguna Secundaria	4,2E+06	1,2E+06
Salida	1,2E+06	1,2E+06
% Remoción Lagunas	44,53%	84,15%
% Remoción Total	83,65%	



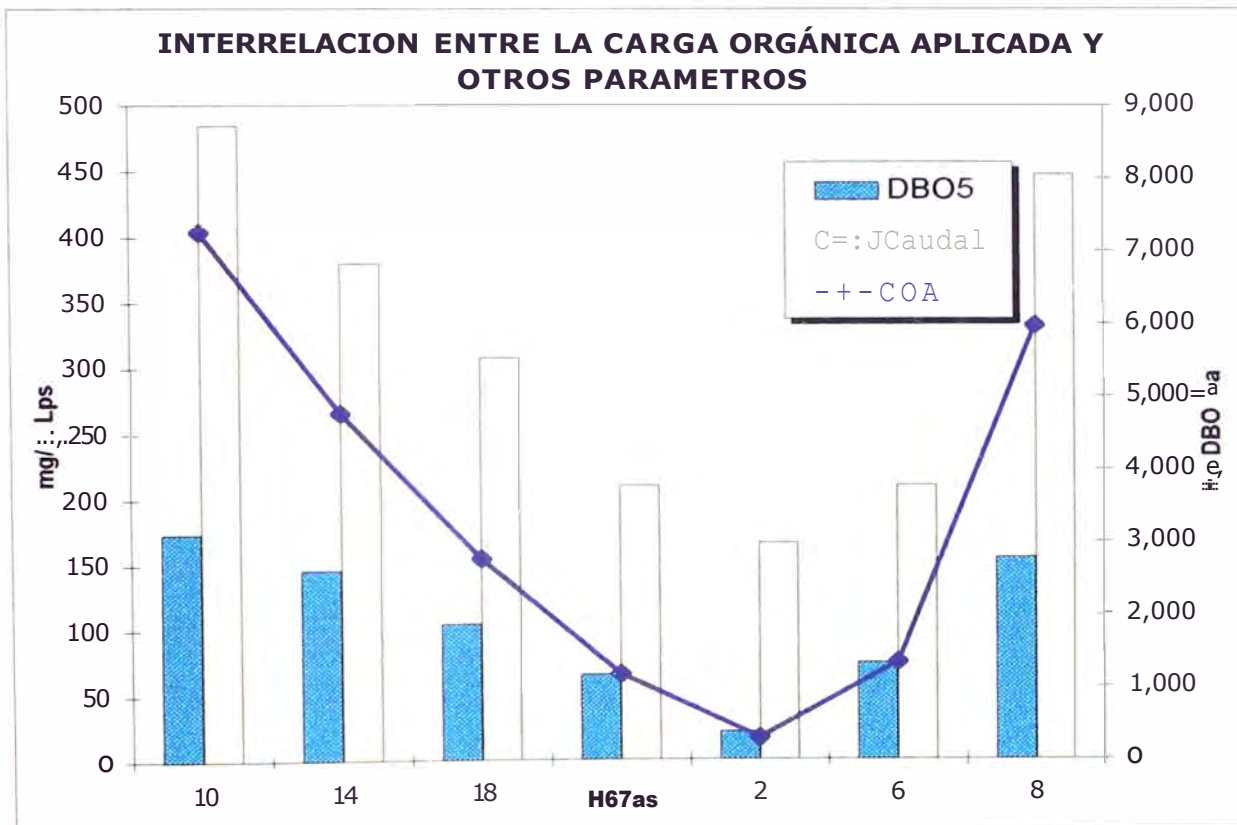
8.1.8 CARGA ORGÁNICA APLICADA PTAR CARAPONGO

Fecha de monitoreo: 25/06/97

Tabla 8.1.8

Fecha de monitoreo : Julio 1997

HORA	Q (Parshall) lps	DBO.T (Entrada) mg/L	Q x DBOs	e.o.A KgDBO/día
10:00	484.6	173.5	84,088.5	7,265.2
14:00	379.5	145.8	55,337.3	4,781.1
18:00	307.7	104.5	32,151.0	2,777.8
22:00	209.9	65.4	13,722.6	1,185.6
2:00	166.2	21.3	3,531.3	305.1
6:00	209.9	74.0	15,525.3	1,341.4
8:00	447.3	154.7	69,190.2	5,978.0
Suma	2,204.9		273,546.1	
Maximo	484.6	173.5		7,265.2
Promedio	315.0	124.1		3,376.3
Mínimo	166.2	21.3		305.1



DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno

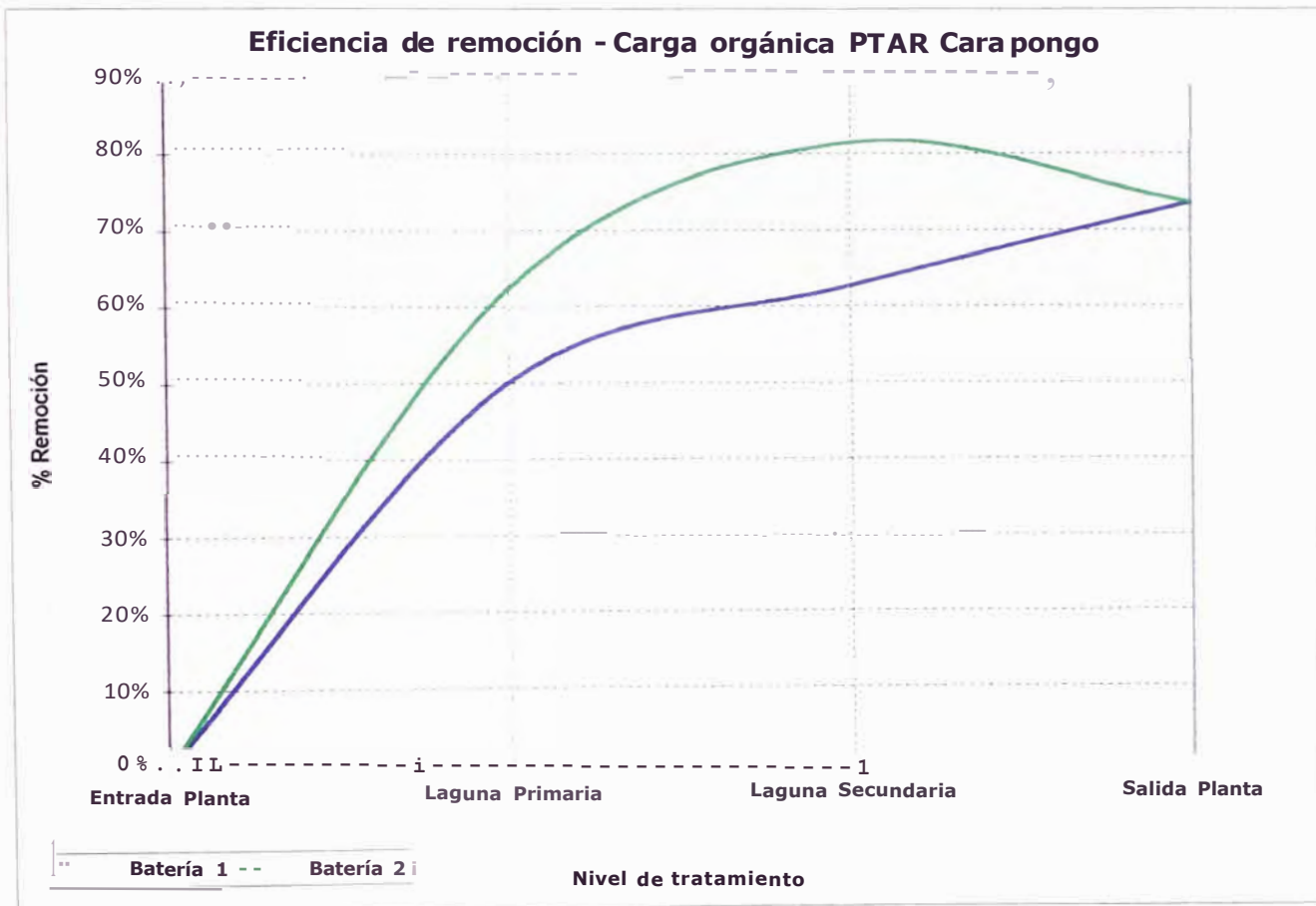
COA = Carga Orgánica Aplicada

8.1.9 EFICIENCIA DE REMOCION DE CARGA ORGANICA

Tabla 8.1.9

	Entrada Pta.	Laguna N° 1	Laguna N° 2	Laguna N° 3	Laguna N° 4	Salida Pta.
OB₅ -total	124.1	61.9	46.3	46.6	23.0	32.8
Sólidos suspendidos	177.3	105.0	70.5	93.9	42.9	50.0

Nivel de tratamiento	% Remoción	
	Bateria 1	Bateria 2
Entrada Planta	0	0
Laguna Primaria	50.12%	62.43%
Laguna Secundaria	62.69%	81.47%
Salida Planta	73.57%	73.57%



8.1.10 RESUMEN DE CARACTERIZACION DE PTAR CARAPONGO

Tabla 8.1.1 O

Fecha de monitoreo: Julio 1997

Parámetros		Unidad	Entrada Planta	Bateria N° 1		Bateria N° 2		Salida Planta	% Remoción
				Laguna N° 1 Primaria	Laguna N° 2 Secundaria	Laguna N° 3 Primaria	Laguna N° 4 Secundaria		
DBO₅ -Total	Máximo	mg/l	173.5	68.0	49.6	48.0	27.5	35.4	73.6%
	Promedio	mg/l	124.1	61.9	46.3	46.3	23.0	32.8	
	Mínimo	mg/l	21.3	52.0	41.1	44.3	17.9	29.5	
DBO₅ - Soluble	Máximo	mg/l	36.9	11.2	11.2	13.0	11.5	10.0	66.4%
	Promedio	mg/l	27.1	9.9	10.7	12.0	10.2	9.1	
	Mínimo	mg/l	19.2	8.6	10.1	11.0	9.4	8.6	
DQO -Total	Máximo	mg/l	411.0						
	Promedio	mg/l	295.7						
	Mínimo	mg/l	74.0						
CAUDAL	Promedio	lps	315.0					315.0	
Carga Orgánica Aplicada		KgDBO ₅ /día	3,376.3					891.3	73.6%
Sólidos Totales	Totales	mg/l	993.6	894.5	843.3	893.5	849.7	833.3	16.1%
	Fijos	mg / l	651.6	638.3	639.0	661.0	634.0	630.0	3.3%
	Volátiles	mg/l	342.0	256.3	204.3	232.5	215.7	203.3	40.6%
Sólidos Suspendidos	Totales	mg / l	177.3	105.0	70.5	93.9	42.9	50.0	71.8%
	Fijos	mg/l	41.6	26.3	14.4	29.5	7.0	9.1	78.1%
	Volátiles	mg / l	135.7	78.8	56.1	64.4	35.9	41.0	69.8%
Sólidos Disueltos	Totales	mg / l	800.3	789.5	772.9	799.7	806.8	783.3	2.1%
	Fijos	mg/l	626.1	612.0	624.6	631.5	627.0	620.9	0.8%
	Volátiles	mg / l	206.2	177.5	148.2	168.2	179.8	162.4	21.2%
Sólidos Sedimentables	Máximo	ml / l / h	5.5						
	Promedio	ml / l / h	3.2					0.1	96.9%
	Mínimo	ml / l / h	0.4						
Coliformes	Totales	mg/l							
	Fecales	mg/ l	7.6E+06	3.3E+06	4.2E+06	1.2E+06	1.2E+06	1.2E+06	84.2%
Hidrobiología	Fitoplancton	org / l		4.43E+03	5.32E+03	3.99E+03	1.05E+04	1.13E+04	
	Zooplancton	org / l		2.53E+04	8.42E+03	2.93E+04	1.19E+04	1.26E+04	
Temperatura	Máximo	°C	26.0	26.8	27.0	26.8	26.8	27.0	
	Promedio	°C	23.8	24.0	24.2	24.0	24.2	24.4	
	Mínimo	°C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
pH	Máximo	pH	7.4	7.1	7.2	7.2	7.4	7.4	
	Promedio	pH	7.0	6.9	7.1	6.9	7.3	7.2	
	Mínimo	pH	6.8	6.8	6.8	6.8	7.1	7.1	
Oxígeno Disuelto	Máximo	mg/l	6.0	1.3	12.4	2.0	11.5	7.0	
	Promedio	mg/l	3.60	0.20	0.90	0.20	1.60	5.20	
	Mínimo	mg/l	2.2	0.0	0.1	0.1	0.1	3.6	
Turbidez (*)	Máximo	NTU						29.2	
	Promedio	NTU						26.7	
	Mínimo	NTU						23.5	
Color(*)	Máximo	Pt-Co						245	
	Promedio	Pt-Co						226	
	Mínimo	Pt-Co						211	
Absorvancia (254 nm)	Máximo	cm ⁻¹						0.552	
	Promedio	cm ⁻¹						0.503	
	Mínimo	cm ⁻¹						0.394	
C.O.T	Promedio	mg/L						6.11	

(*) Corresponde a muestras filtradas.

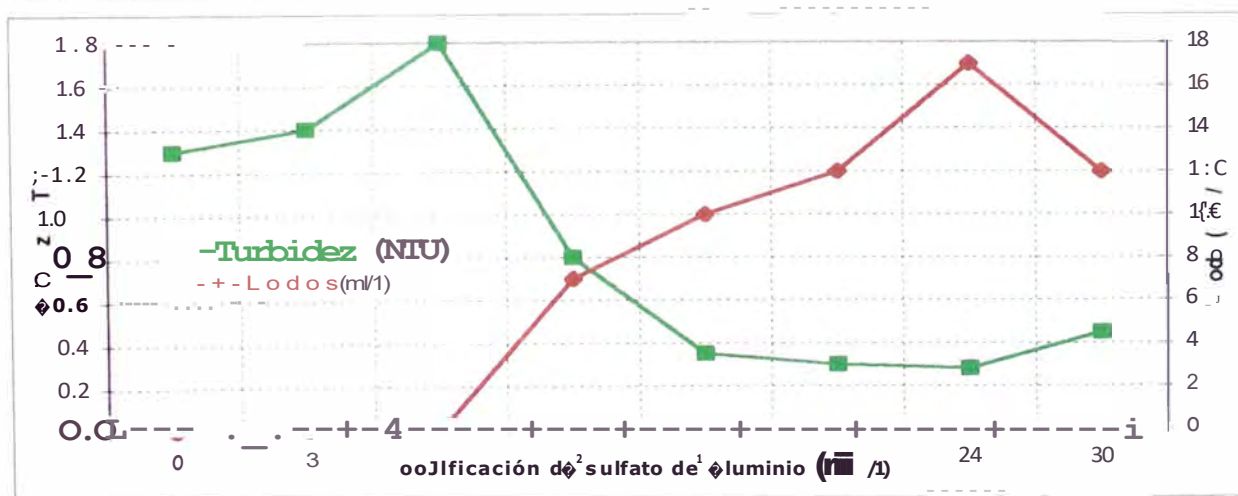
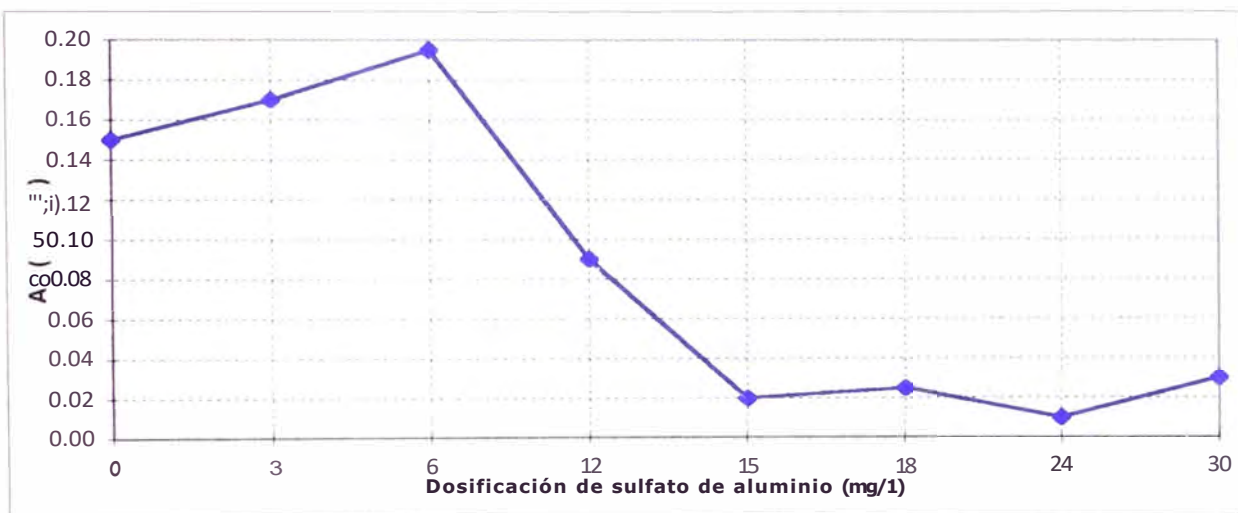
8.2 Evaluación de la remoción de contaminantes por coagulación prueba de jarras

8.2.1 AGUA SINTETICA: 5 mg /l de ácido húmico pH 7.2

Dosificación de Sulfato de Aluminio

Tabla 8.2.1

Dosificación mg/ L	AB cm^{-1}	Turbidez NTU	Formación Lodo ml/L
0	0.150	1.30	0
3	0.170	1.40	0
6	0.195	1.80	0
12	0.090	0.80	7
15	0.020	0.35	10
18	0.025	0.30	12
24	0.010	0.28	17
30	0.030	0.45	12

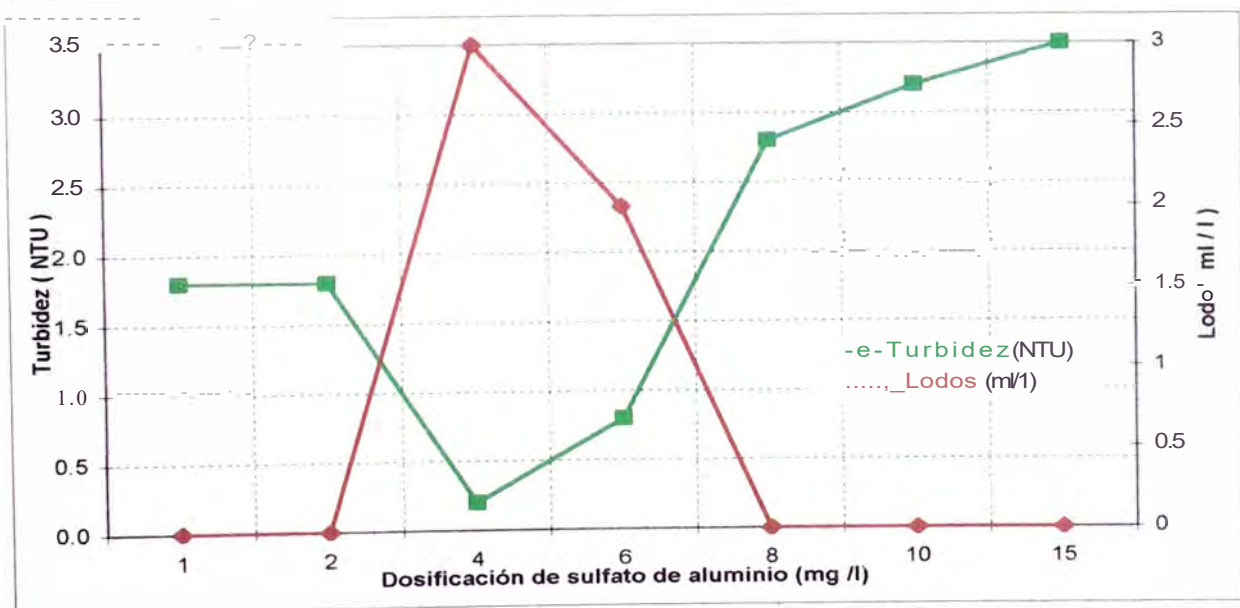
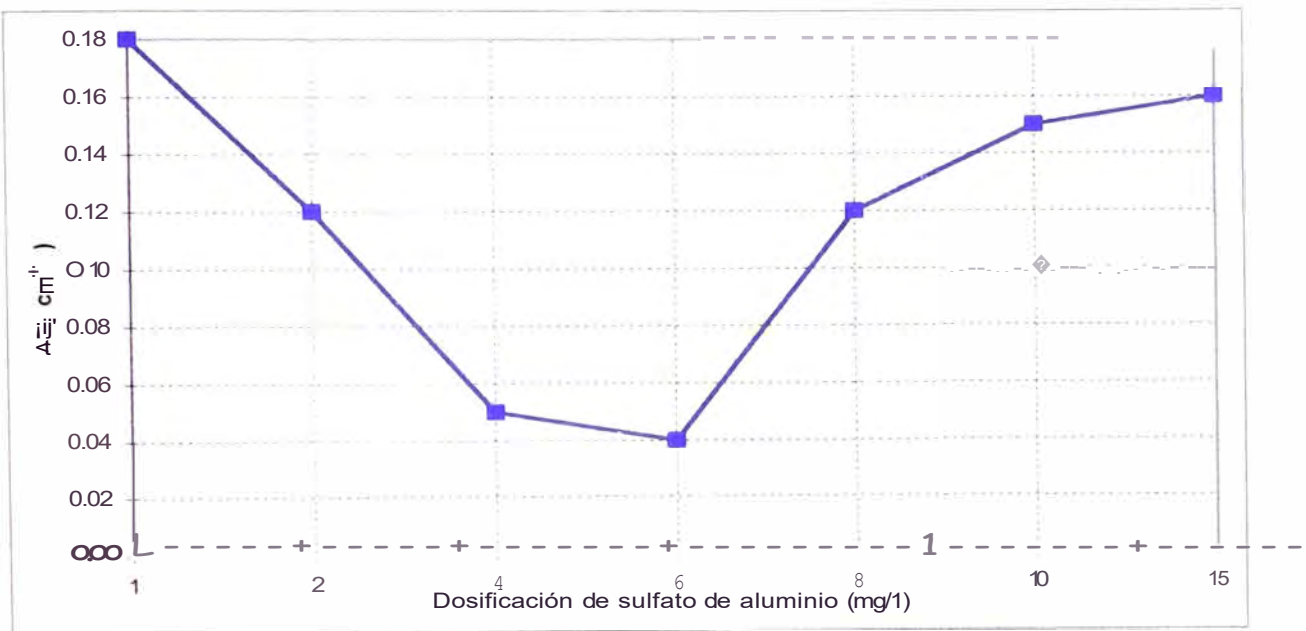


8.2.2 AGUA SINTETICA : 5 mg /L de ácido húmico pH 5.5

Dosificación de Sulfato de aluminio

Tabla 8.2.2

Dosificación mg/ L	AB cm^{-1}	Turbidez NTU	Formación Lodo ml/L
1	0.18	1.8	0
2	0.12	1.8	0
4	0.05	0.2	3
6	0.04	0.8	2
8	0.12	2.8	0
10	0.15	3.2	0
15	0.16	3.5	0

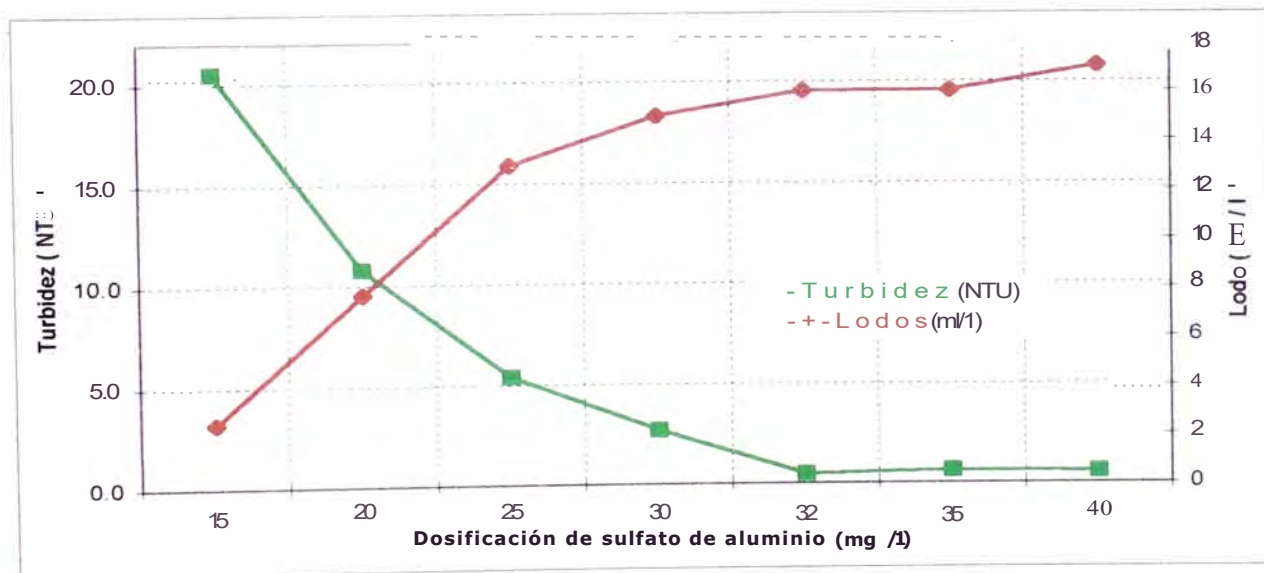
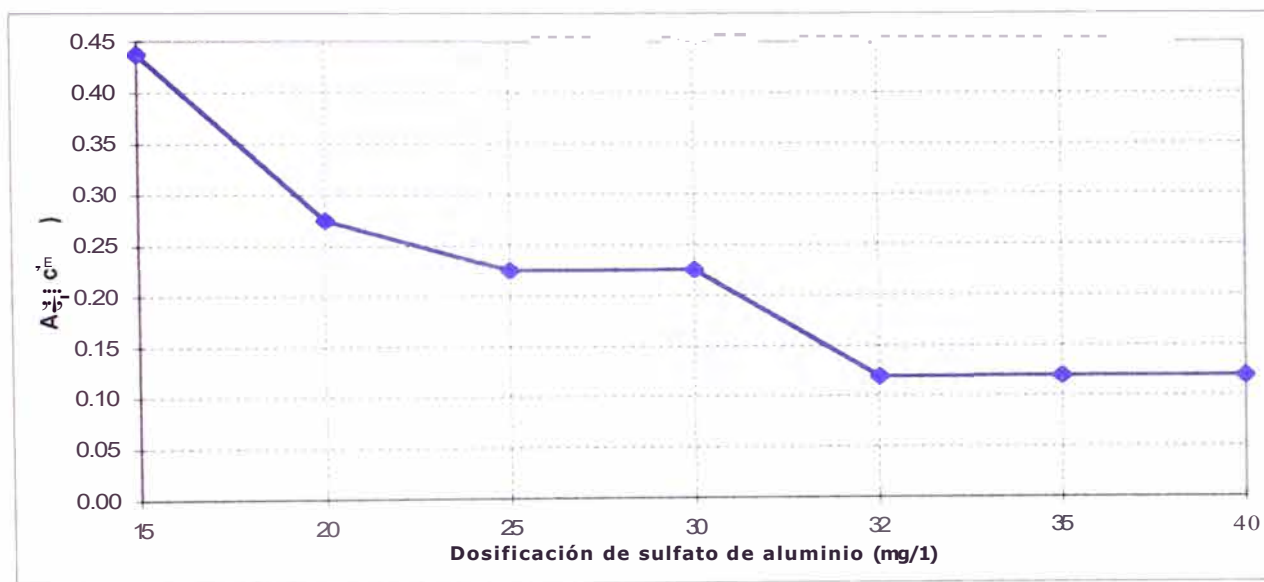


8.2.3 AGUA PTAR CARAPONGO: pH 5.5

Dosificación de Sulfato de aluminio

Tabla 8.2.3

Dosificación mg/L	AB cm^{-1}	Turbidez NTU	Formación Lodo ml/L
15	0.44	20.52	2.6
20	0.28	10.80	7.8
25	0.23	5.40	13
30	0.23	2.70	15
32	0.12	0.45	16
35	0.12	0.62	16
40	0.12	0.58	17

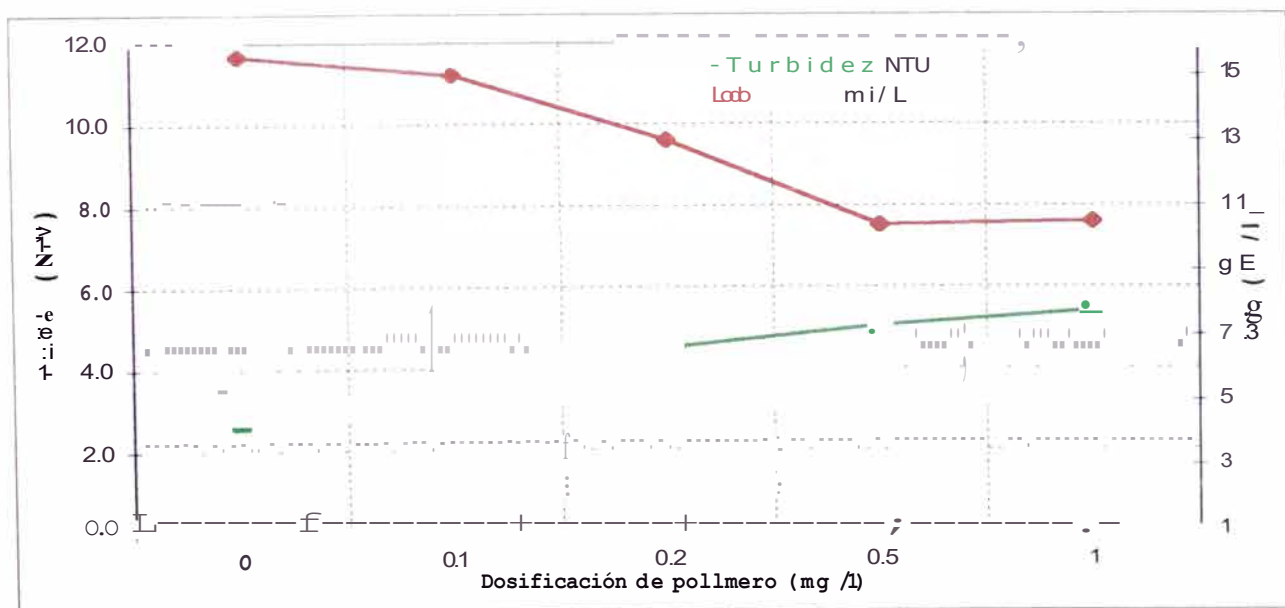
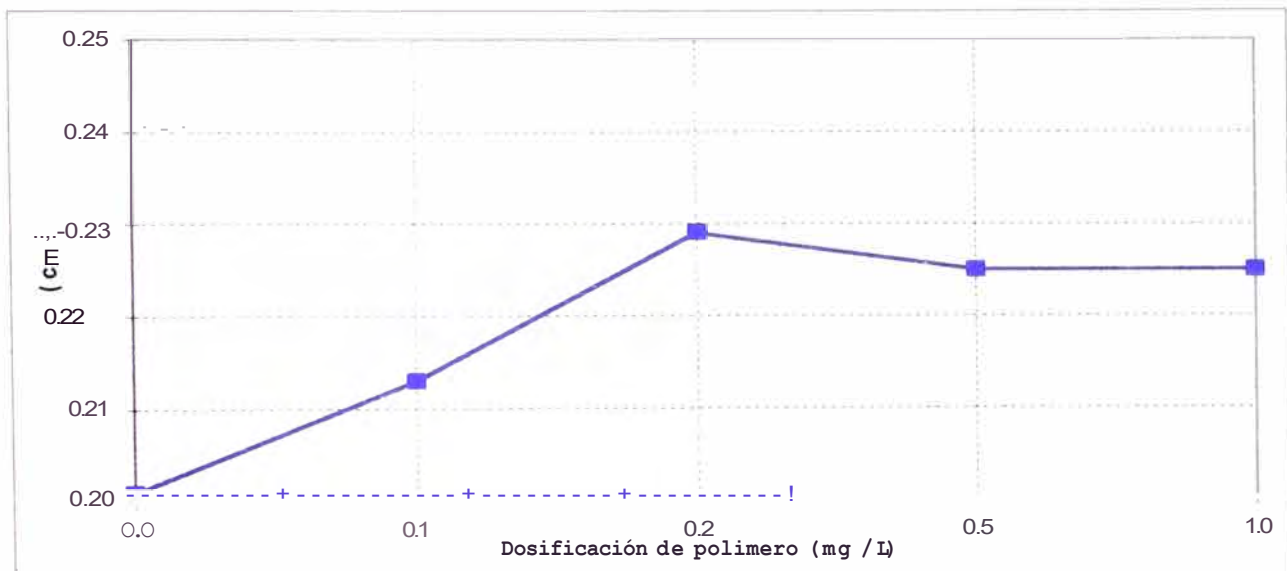


8.2.4 AGUA PTAR CARAPONGO : pH 5.5

Dosificación 30 mg /L de Sulfato de aluminio

Tabla 8.2.4

D. Polimero mg /L	AB cm ⁻¹	Turbidez NTU	Formación Lodo ml/L
0.0	0.201	2.70	15.6
0.1	0.213	3.24	15.0
0.2	0.229	4.50	13.0
0.5	0.225	5.04	10.4
1.0	0.225	5.40	10.5

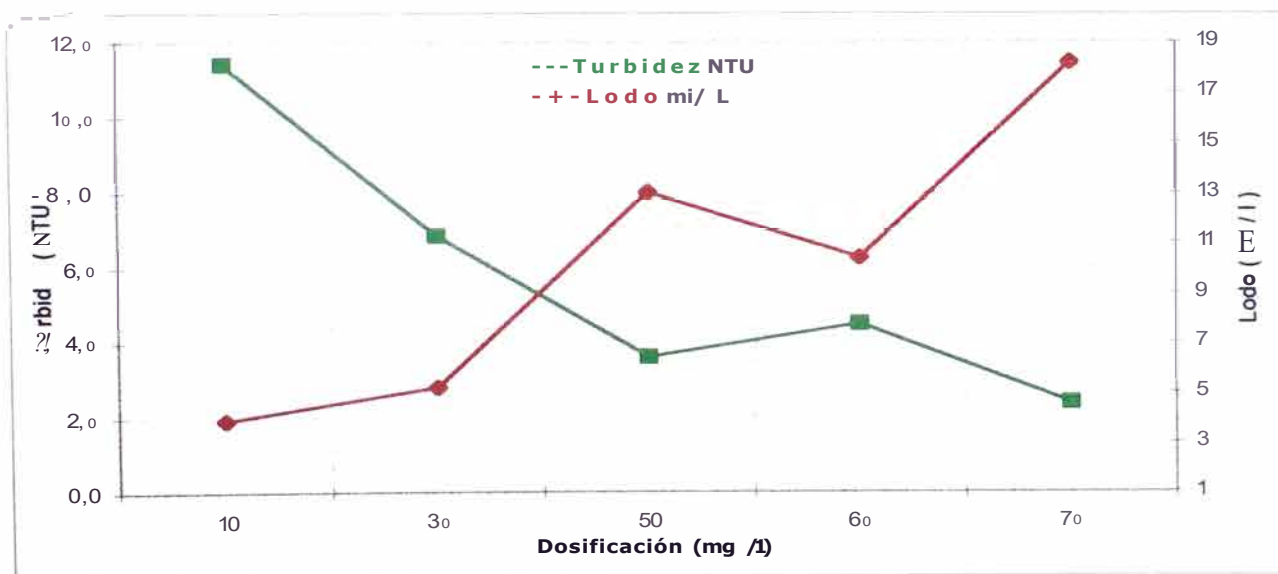
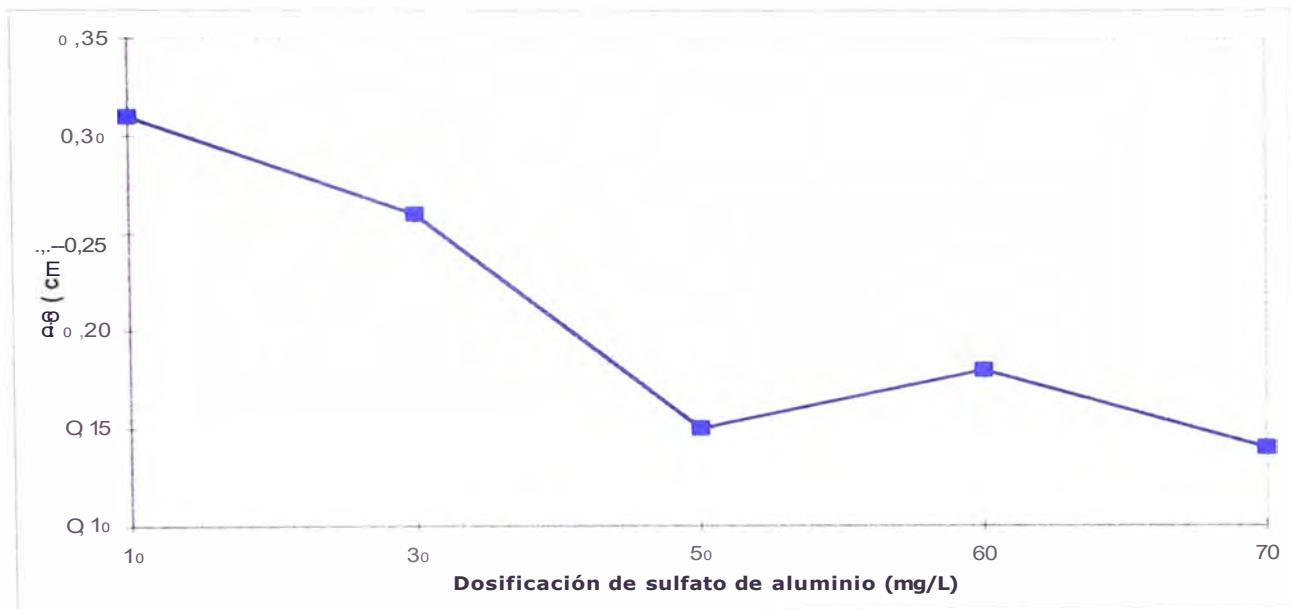


8.2.5 AGUA PTAR CARAPONGO : pH 7.2

Dosificación de sulfato de aluminio

Tabla 8.2.5

Dosificación mg /L	AB cm ⁻¹	Turbidez NTU	Formación Lodo ml/L
10	0,31	11,4	3,9
30	0,26	6,84	5,2
50	0,15	3,6	13,0
60	0,18	4,5	10,4
70	0,14	2,4	18,2

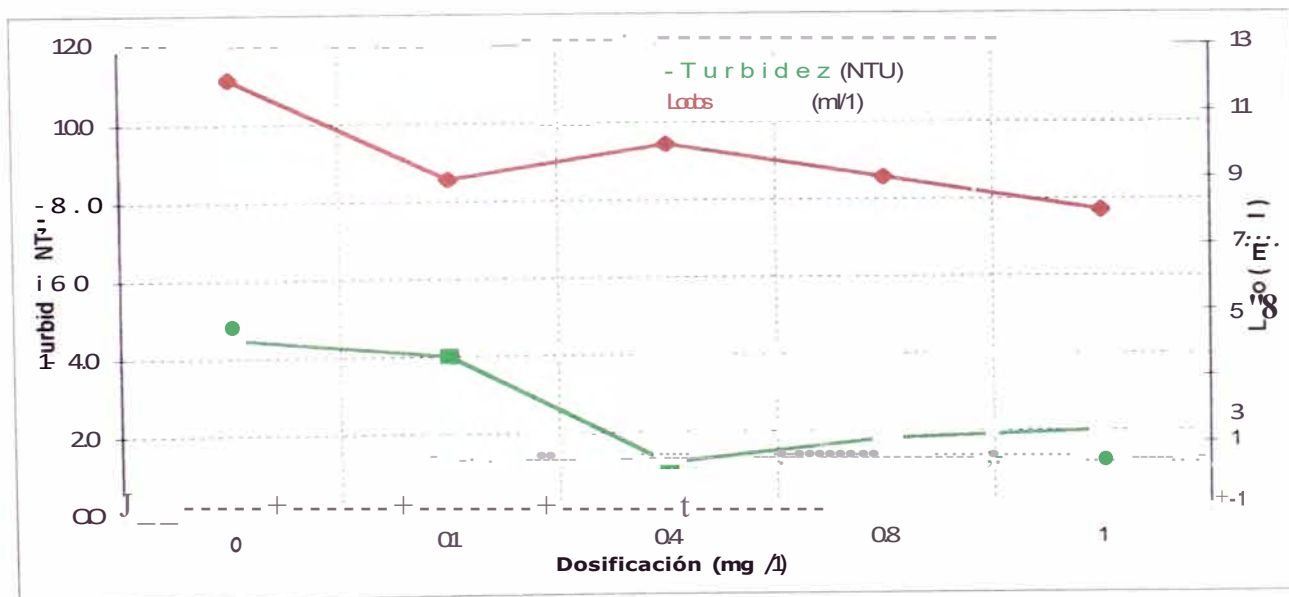
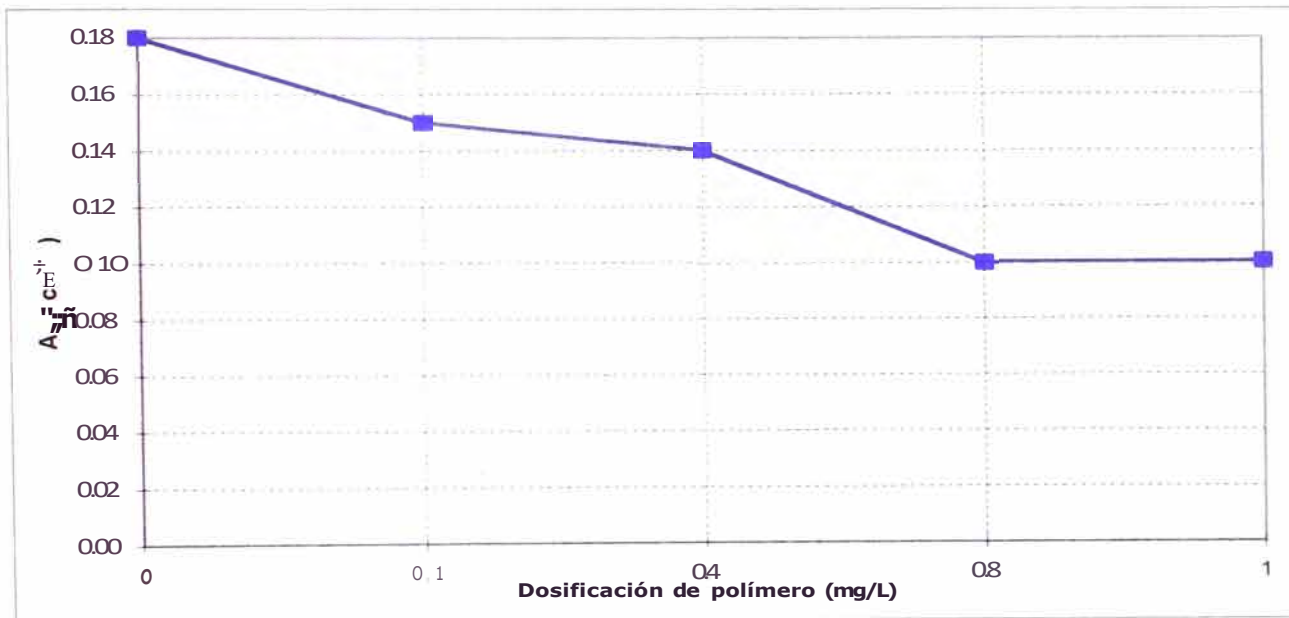


8.2.6 AGUA PTAR CARAPONGO: pH 7.2

Dosificación 65 mg /L de Sulfato de aluminio

Tabla 8.2.6

D. Polimero mg/L	AB cm ⁻¹	Turbidez NTU	Formación Lodo ml/L
0	0.18	4.5	12
0.1	0.15	4	9
0.4	0.14	1.2	10
0.8	0.1	1.8	9
1	0.1	2	8



8.2.7 Resultados de prueba de coagulación

Prueba de Jarras

Tabla 8.2.7

AGUA SINTETICA {Acido Humico}

Experimento	Coagulante	Dosif. Optima mg/L	Turbidez		% Remocion	AB cm ⁻¹		% Remocion	Lodo (mi/ L)
			Inicial	Final		Inicial	Final		
Acido humico (5 mg / L) pH = 7.2	Sulfato de A (	15	1.3	0.35	73.0%	0.15	0.02	86.7%	10
Acido humico (5 mg / L) pH = 5.5	Sulfato de A (	5	1.3	0.2	84.6%	0.15	0.045	70.0%	3

AGUA PTAR CARAPONGO

Experimento	Coagulante	Dosif. Optima mg/L	Turbidez		% Remocion	AB cm ⁻¹		% Remocion	Lodo (mi/ L)
			Inicial	Final		Inicial	Final		
PTAR Carapongo pH = 7.2	Sulfato de Al ⁺	65	38	3.5	90.0%	0.403	0.16	63.0%	14
	Sulfato de A (polímero	65 0.4	38	0.12	97.0%	0.403	0.14	67.4%	10
PTAR Carapongo pH = 5.5	Sulfato de A (	30	38	0.45	98.0%	0.403	0.12	70.0%	16
	Sulfato de A (polímero	30 0.05	38	4.2	89.0%	0.403	0.17	57.8%	15

8.3 Evaluacion de la remocion de contaminates usando carbon activado en polvo

8.3.1 Efluente final de PTAR Carapongo con PAC - Prueba de Jarras

Condiciones de Operación

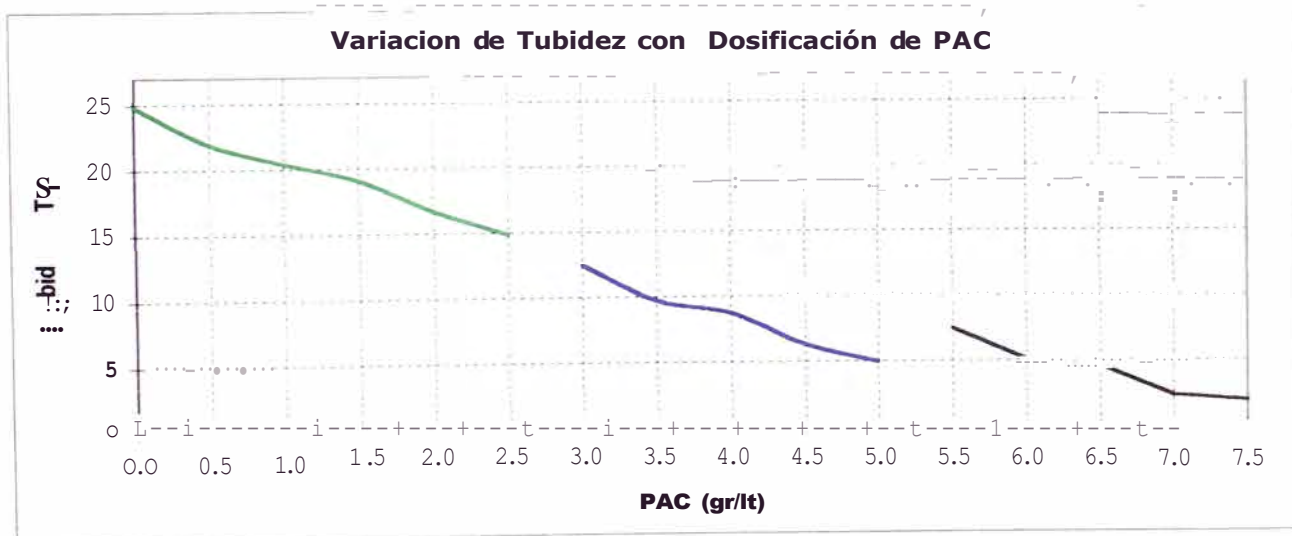
ETAPA	Tiempo	RPM
Rapida	1 - 2 min	100
Lenta	15 min	40
Reposo	15 min.	0

Muestras previamente filtradas para la lectura debido al carbon en suspension.

Tiempo de contacto = 1 hora

Tabla 8.3.1

Fecha	Hora	# Frasco	PAC (gr/lit)	Turbidez (NTU)	Color (Und. Pt-Co)
15-Abr	9:00 AM	0	0.0	24.80	
		1	0.5	21.90	
		2	1.0	20.40	
		3	1.5	19.10	
		4	2.0	16.70	
	1:40 PM	5	2.5	14.90	
		0	0.0	23.60	
		1	3.0	12.50	
		2	3.5	9.70	
		3	4.0	8.75	
17-Abr	10:00 AM	4	4.5	6.29	
		5	5.0	4.98	
		0	0.0	26.70	226
		1	5.5	7.50	79
		2	6.0	5.10	44
		3	6.5	4.60	40
4	7.0	2.30	27		
5	7.5	1.90	8		



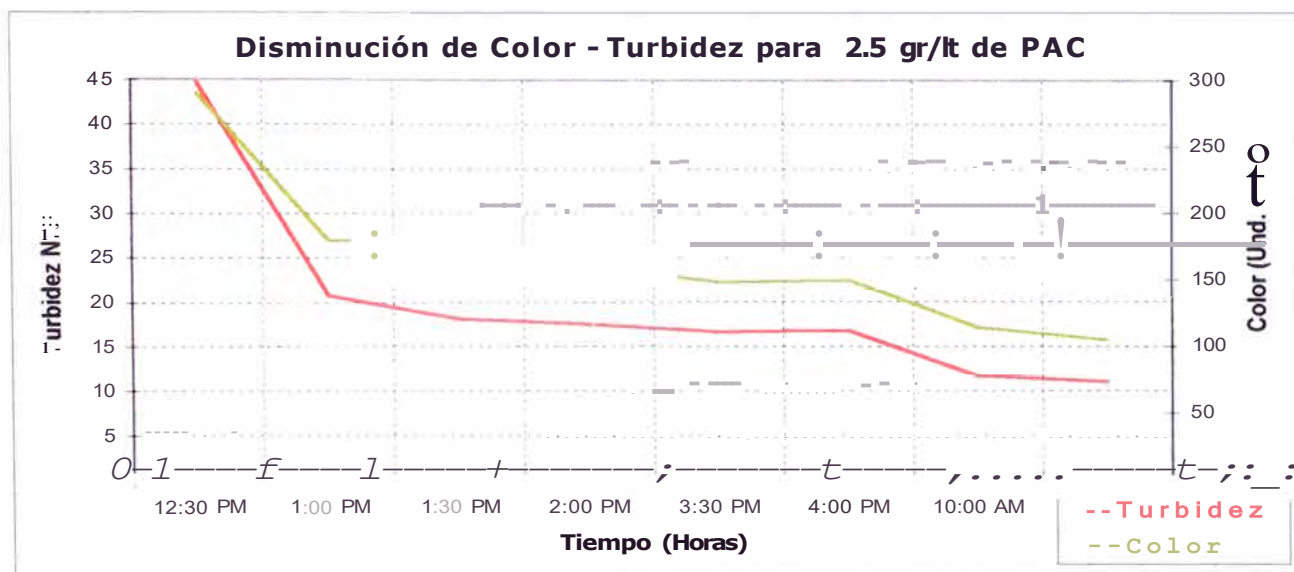
8.3.2 VARIACION DE COLOR TURBIDEZ CON DOSIFICACION DE PAC

Muestra efluente final de PTAR Carapongo

Día 18 Abril 1997

Tabla 8.3.2.1

Hora	PAC (gr/lt)	Turbidez (NTU)		Color (Und. Pt-Co)	
		Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
12:30 PM	0.0	44.7	26.0	226	290
1:00 PM	2.5	20.8			180
1:30 PM		18.1			177
2:00 PM		17.5			161
3:30 PM		16.6			148
4:00 PM		16.8			150
10:00 AM		11.7			114
11:30AM		11.0			105

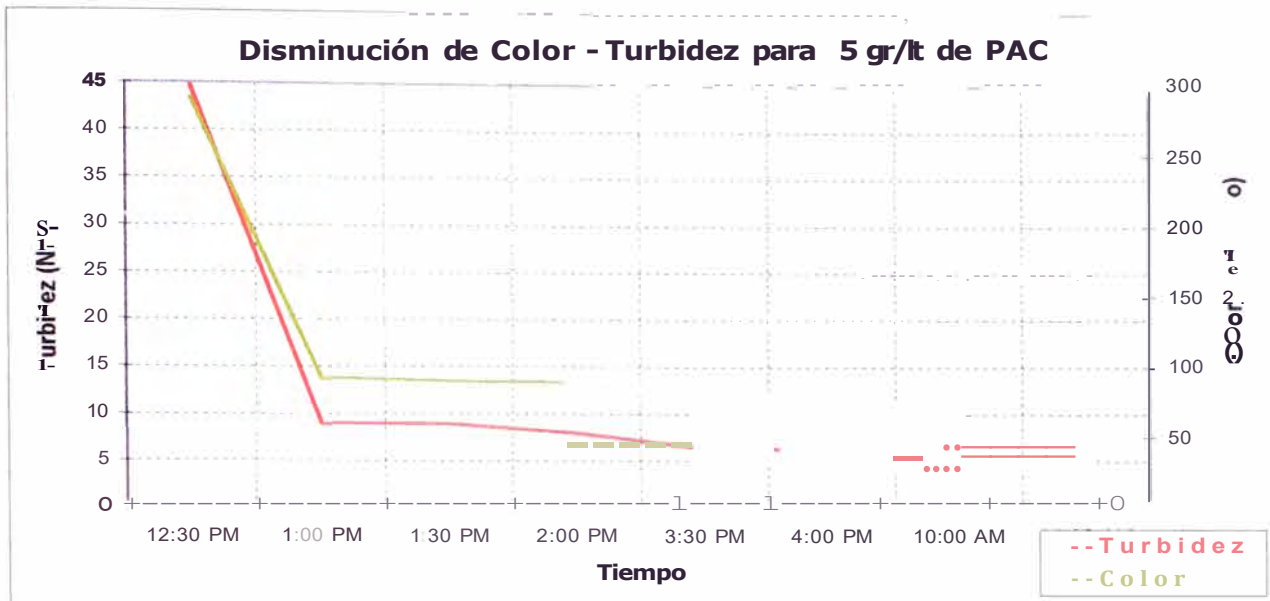


Muestra efluente final de PTAR Carapongo

Día 18 Abril 1997

Tabla 8.3.2.2

Hora	PAC (gr/lt)	Turbidez (NTU)		Color (Und. Pt-Co)	
		Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
12:30 PM	0.0	44.7	26.0	226	290
1:00 PM	5.0	9.0			92
1:30 PM		8.9			90
2:00 PM		8.0			89
3:30 PM		6.3			78
4:00 PM		6.2			74
10:00 AM		4.3			34
11:30 AM		4.2			34

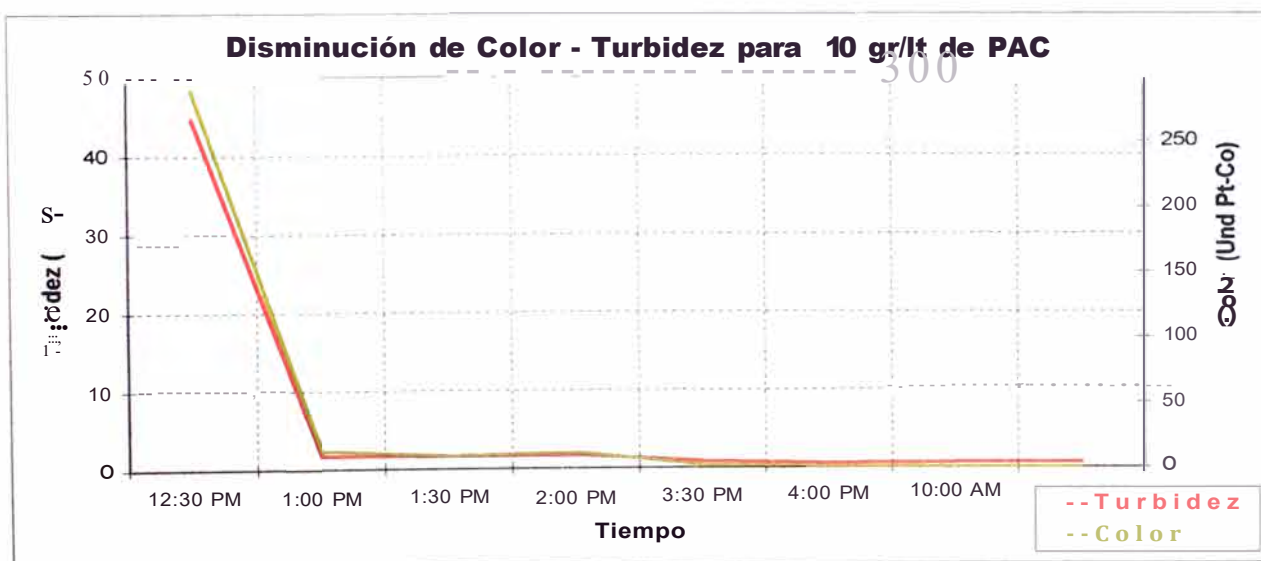


Muestra efluente final de PTAR Carapongo

Día 18 Abril 1997

Tabla 8.3.2.3

Hora	PAC (gr/lit)	Turbidez (NTU)		Color (Und. Pt-Co)	
		Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
12:30 PM	0.0	44.7	26.0	226	290
1:00 PM	10.0	1.8			14
1:30 PM		1.6			10
2:00 PM		1.7			12
3:30 PM		0.8			2
4:00 PM		0.5			1
10:00 AM		0.7			0
11:30 AM		0.6			0



8.3.3 VARIACION DE COLOR TURBIDEZ CON DOSIFICACION DE PAC

Prueba de Jarras

Día 23 Abril 1997

Hora 9:10 AM

Condiciones Iniciales							
Hora	Temperatura (°C)	pH	O ₂ Disuelto (mg / lt)	Turbidez		Color	
				Sin filtrar	Filtrado	Aparente	Verdadero
9:10 AM	25.2	7.40	4.70	41.60	29.20	330	250

Muestras filtradas para facilitar la lectura de color y turbidez en los equipos, debido al PAC en suspensión.

Tabla 8.3.3.1 (2.25 gr de PAC lit)

Hora	PAC (gr/lt)	Turbidez (NTU)		Color (Und. Pt-Co)	
		Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
9:10 AM	0	41.60	29.20	250	330
11:30 AM	2.25		20.00	173	
12:30 AM			15.20	128	
1:30 PM			13.90	120	
2:30 PM			13.20	119	
3:30 PM			11.90	114	
4:30 PM			11.40	108	
8:00 AM			5.53	49	

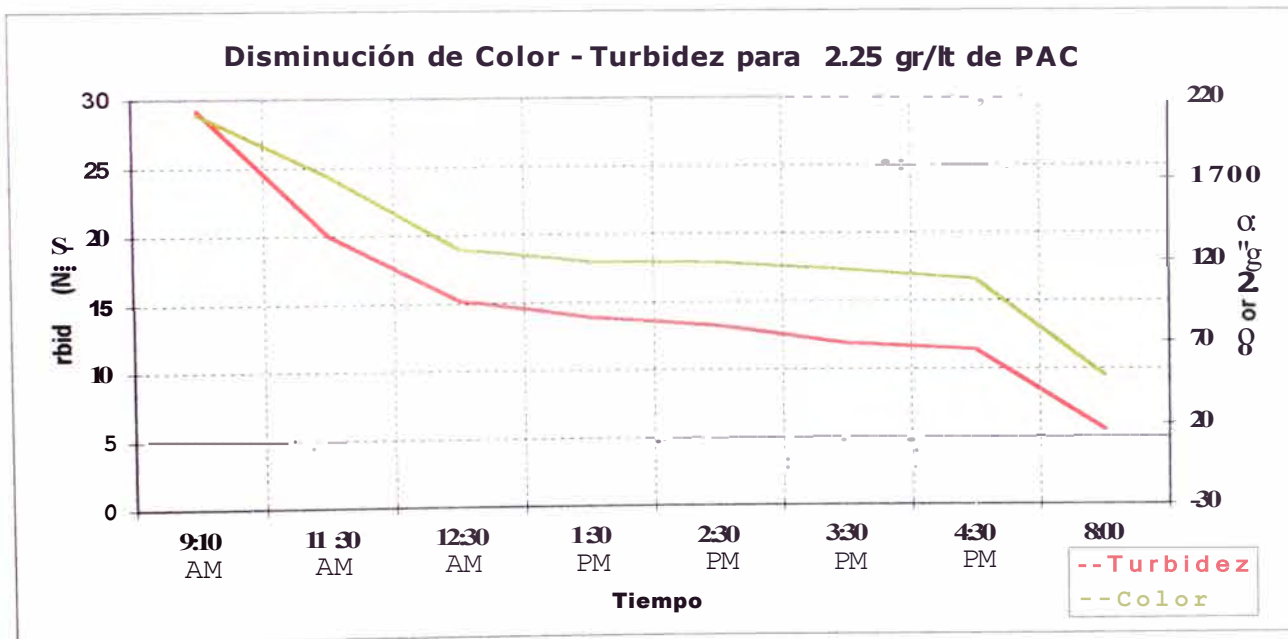


Tabla 8.3.3.2 (2.75 gr de PAC lit)

Hora	PAC (gr/lit)	Turbidez (NTU)		Color (Und. Pt-Co)	
		Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
9:10 AM	0	41.60	29.20	250	330
11:30 AM	2.75		19.30	143	
12:30 AM			14.60	126	
1:30 PM			12.70	112	
2:30 PM			11.50	106	
3:30 PM			11.10	98	
4:30 PM			10.80	94	
8:00 AM			5.00	46	

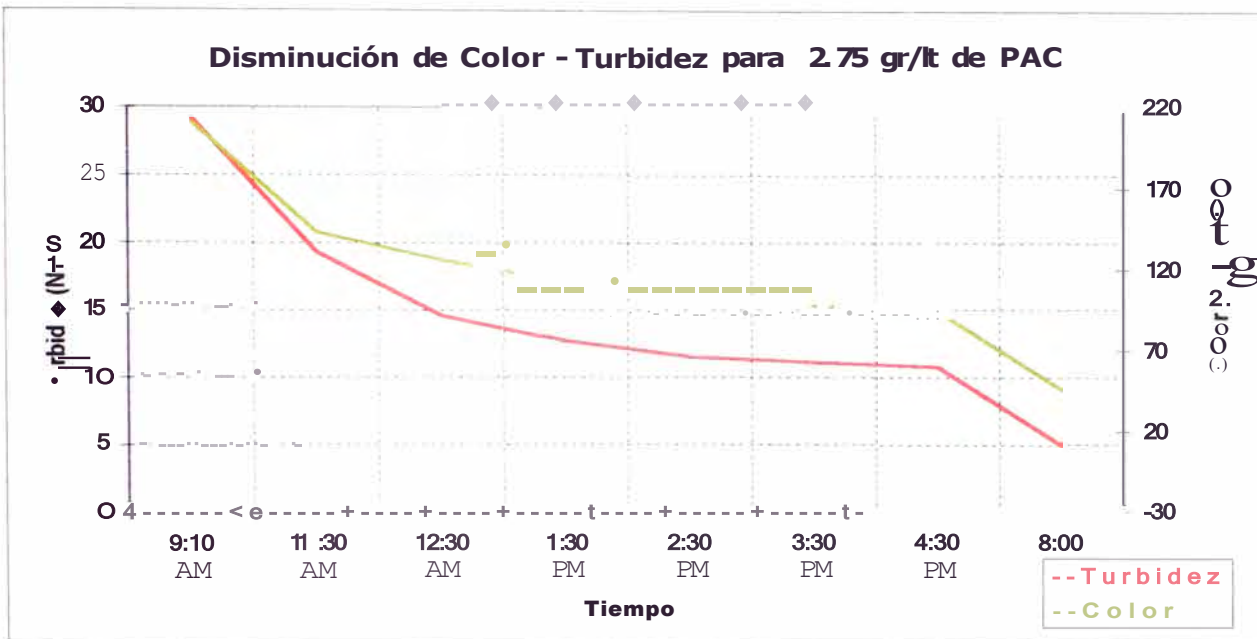


Tabla 8.3.3.3 (3 gr de PAC /lit)

Hora	PAC (gr/lit)	Turbidez (NTU)		Color (Und. Pt-Co)	
		Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
9:10 AM	0	41.60	29.20	250	330
11:30 AM	3		16.40	130	
12:30 AM			13.20	111	
1:30 PM			12.10	104	
2:30 PM			10.50	94	
3:30 PM			10.00	93	
4:30 PM			9.50	86	
8:00 AM			4.62	41	

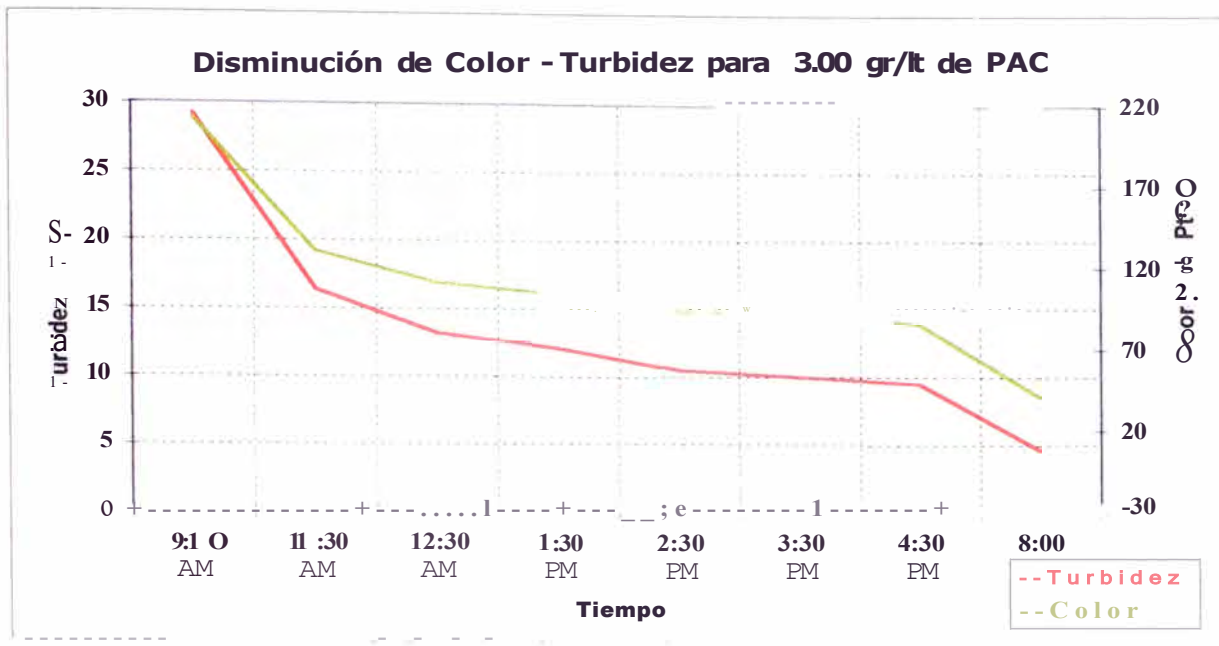
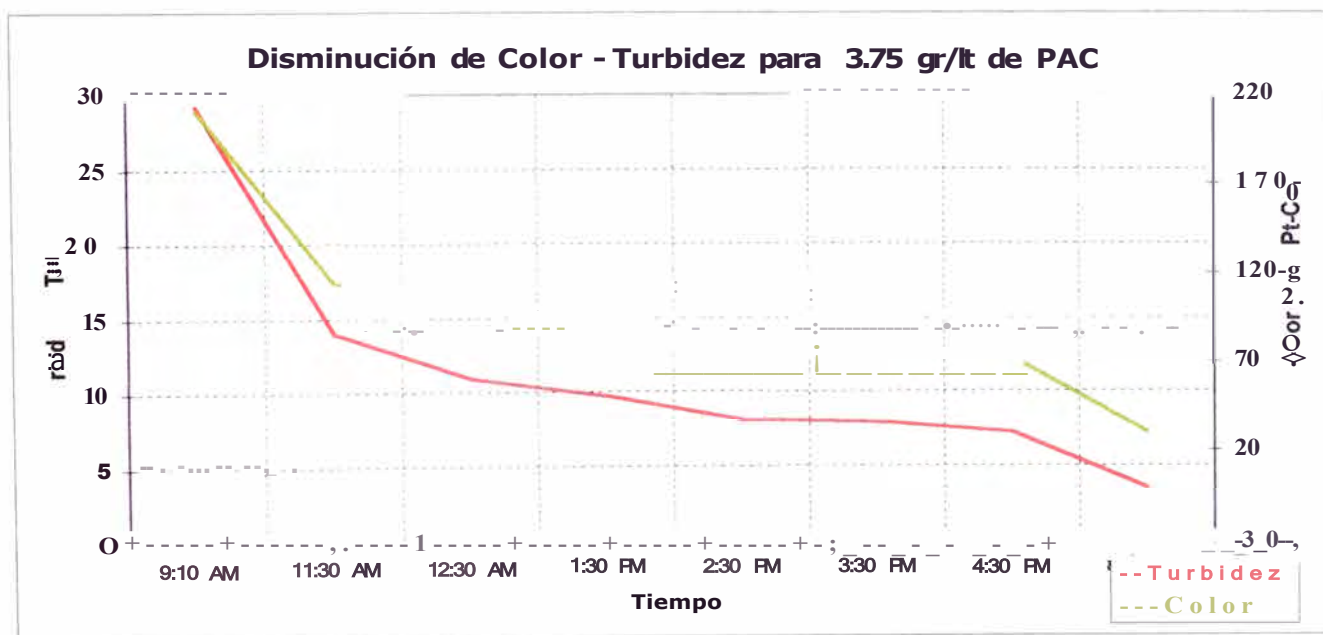


Tabla 8.3.3.4 (3 gr de PAC /lit)

Hora	(gr/lit)	Sin filtrar	Filtrada	Verdadero	Aparente
9:10 AM	0	41.60	29.20	250	330
11:30 AM	3.75		14.00	115	
12:30 AM			10.90	103	
1:30 PM			9.70	91	
2:30 PM			8.10	77	
3:30 PM			7.90	74	
4:30 PM			7.20	72	
8:00 AM			3.49	30	

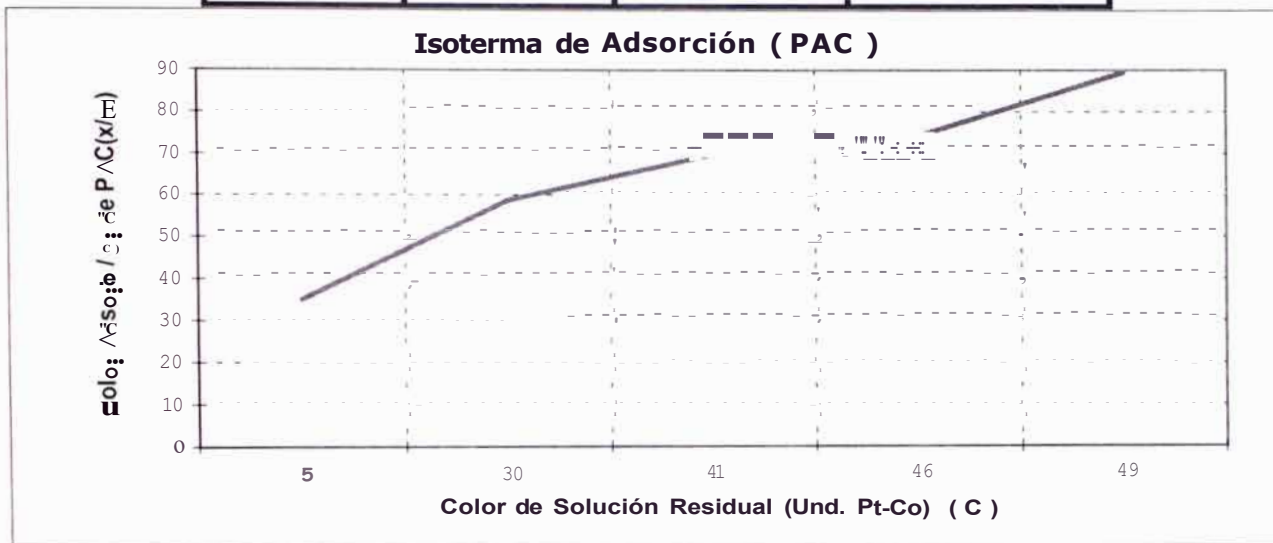


8.3.4 ISOTERMA DE ADSORCION

Tratamiento de los resultados de la isoterma
1 día de tiempo de contacto

Tabla 8.3.4

m gr PAC / lt	e Color Residual	x Color Adsorbido	x/ m Color Ads/ gr PAC
0.00	250	-	
2.25	49	201	89.33
2.75	46	204	74.18
3.00	41	209	69.67
3.75	30	220	58.67
7.00	5	245	35.00



Ecuacion de Freundlich

$$\log (x/m) = 0.69115 + 0.77306 \cdot \log C$$

Capacidad de Adsorción

Si se levanta una línea vertical desde el punto en la escala horizontal, que corresponde a la concentración influente C_0 , y el isoterma es extrapolado para intersectar esa línea, el valor x/m en el punto de intersección puede leerse de la escala vertical.

Este valor llamado $(x/m)_{C_0}$ representa la cantidad de impureza adsorbida por por unidad de peso de carbón, cuando el carbón está en equilibrio con la concentración influente. Este equilibrio debe alcanzarse durante el tratamiento con tubos verticales, representa a la capacidad esencial del carbón.

Volumen teorico del liquido decolorado por gr de carbon (V_{C_0})

$$V_{C_0} = (x/m)_{C_0} \cdot V / C_0$$

Donde:

V = Volumen del liquido usado en el ensayo.

C_0	$\log C_0$	$\log \{x/m\}$	$\{X/m\}_{C_0}$	V_{C_0} (lUgr de PAC)
250	2.398	2.412	257.99	1.03

Para la decoloracion completa de 1 lt de Solucion.

0.969	grs. PAC
-------	----------

8.4 Evaluación de la remoción de contaminantes por filtros de carbon activado granular

Características

Peso Carbon = Vol*Dap*0.85

Dap (gr/ce) = 0.51

Diámetro		Altura cm.	Volumen cm ³	Peso GAC*colum. gr	Nro. Colum	Peso Total kg
pulg.	cm.					
2.00	5.08	100.00	2,026.77	878.60	4.00	3.51

Area Sección(ft²) = 0.02182

Rango de Flow Rates GPM/ft² (0.5 -2.0)
para columnas de 2 pulg.

Flow Rates GPM/ft ²	GPM	CC/MIN
0.50	0.0109	41.29
1.00	0.0218	82.58
1.50	0.0327	123.87
2.00	0.0436	165.16

CC/MIN	Flow Rates GPM/ft ²
50	0.606
100	1.211
125	1.514
150	1.817

8.4.1 ANALISIS DE DBO₅ - PTAR CARAPONGO

Remoción de DBO₅ flujo 50 ce/ min.

Lugar PTAR-Carapongo
Día 26 / 06 / 1997
Hora 10:00 am

Factor = 0.92
Vol. (mi) 700

Tabla 8.4.1

Flujo(cc/min) = 50		N°	%	Volumen	Lectura	Lectura	DBO ₅	%
Muestra		Frasco	Diluc.	Muestra (mi)	Inicial	Final		Deplc
Salida P	T	250	8.0%	56	8.51	5.70	31.84	66.98%
	S	252	30.0%	210	8.25	6.80	4.38	82.42%
Filtro 1	T	255	15.0%	105	7.21	5.28	11.63	73.28%
Filtro 2	T	256	18.0%	126	7.31	5.85	7.33	80.08%
Filtro 3	T	258	20.0%	140	7.38	6.96	1.90	94.31 %
Filtro 4	T	259	35.0%	245	7.09	6.92	0.44	97.60%

8.4.2 REMOCION DE DBO₅ (FLUJO 100 CC / MIN)

Tabla 8.4.2

Flujo (cc/min) = 100		N° Frasco	¾ Diluc.	Vol (cc) Muestra	Lectura Inicial	Lectura Final	0BO ₅	¾ Deplc
Salida P	T	250	8.0%	56	8.51	5.70	31.84	67.0%
	S	252	30.0%	210	8.25	6.80	4.38	82.4%
Filtro 1	T	258	15.0%	105	7.45	5.28	13.11	70.9%
Filtro 2	T	260	18.0%	126	7.11	5.29	9.16	74.4%
Filtro 3	T	262	20.0%	140	7.47	6.90	2.58	92.4%
Filtro 4	T	266	35.0%	245	7.22	6.92	0.78	95.8%

8.4.3 REMOCION DE DBO₅ (FLUJO 125 CC / MIN)

Tabla 8.4.3

Flujo (cc/min) = 125		N° Frasco	¾ Diluc.	Vol (cc) Muestra	Lectura Inicial	Lectura Final	0BO ₅	¾ Deplc
Salida P	T	250	8.0%	56	8.51	5.70	31.84	67.0%
	S	252	30.0%	210	8.25	6.80	4.38	82.4%
Filtro 1	T	280	15.0%	105	7.58	5.34	13.56	70.4%
Filtro 2	T	284	18.0%	126	7.09	5.27	9.18	74.3%
Filtro 3	T	286	20.0%	140	7.44	6.85	2.67	92.1%
Filtro 4	T	290	35.0%	245	7.21	6.92	0.76	95.9%

8.4.4 REMOCION DE DBO₅ (FLUJO 150 CC / MIN)

Tabla 8.4.4

Flujo (cc/min) = 150		N° Frasco	¾ Diluc.	Volumen Muestra	Lectura Inicial	Lectura Final	0BO ₅	¾ Deplc
Salida P	T	250	8.0%	56	8.51	5.70	31.84	67.0%
	S	252	30.0%	210	8.25	6.80	4.38	82.4%
Filtro 1	T	294	15.0%	105	7.60	5.34	13.65	70.3%
Filtro 2	T	296	18.0%	126	7.12	5.27	0.00	74.1%
Filtro 3	T	297	20.0%	140	7.49	6.85	2.88	91.5%
Filtro 4	T	298	35.0%	245	7.22	6.91	0.81	95.7%

8.4.5 RESULTADOS: Prueba con Filtros de Carbon Activado

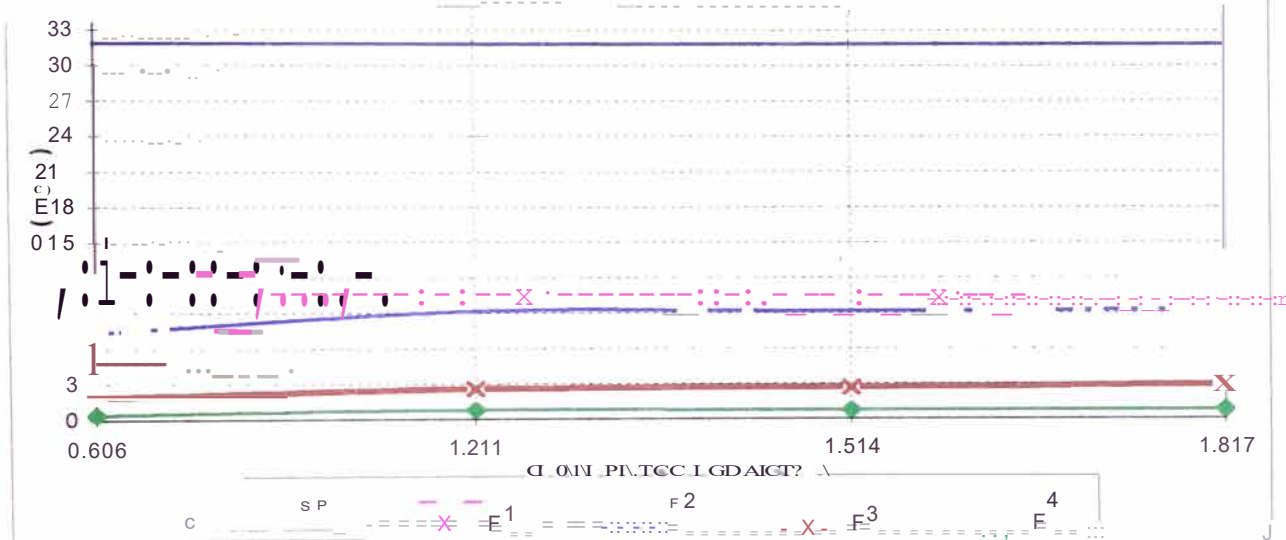
Variable : Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Tabla 8.4.5

Flujos Prueba cc/min	Flow Rates GPM/ft ²	SALIDA PLANTA		BATERIA DE FILTROS			
		Total	Soluble	Filtro N° 1	Filtro N° 2	Filtro N° 3	Filtro N° 4
				Total	Total	Total	Total
50	0.606	31.8	4.4	11.64	7.32	1.89	0.43
100	1.211	31.8	4.4	13.11	9.16	2.58	0.78
125	1.514	31.8	4.4	13.56	9.18	2.67	0.76
150	1.817	31.8	4.4	13.65	9.30	2.88	0.81

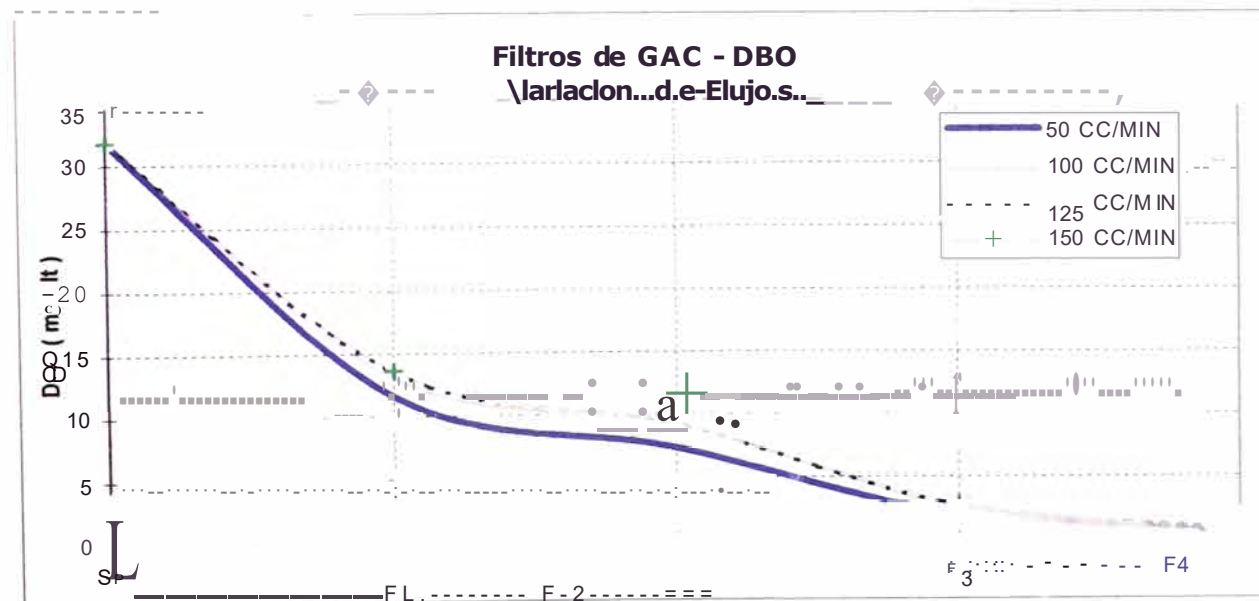
Unidad: mg/L

FILTROS DE GAC DBO - PTAR CARAPONGO



Filtros de GAC - DBO

(Influencia de la velocidad de flujo)



8.4.6 RESULTADOS: Prueba con filtros de carbón activado

Variables : Turbidez, Color, Absorvancia (AB 254 nm) y COT

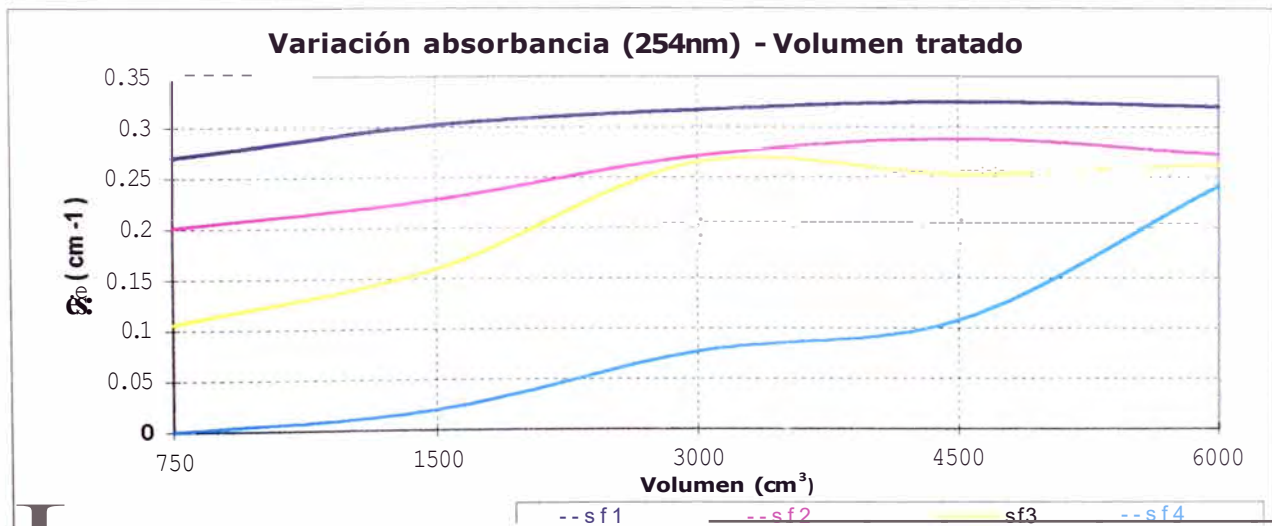
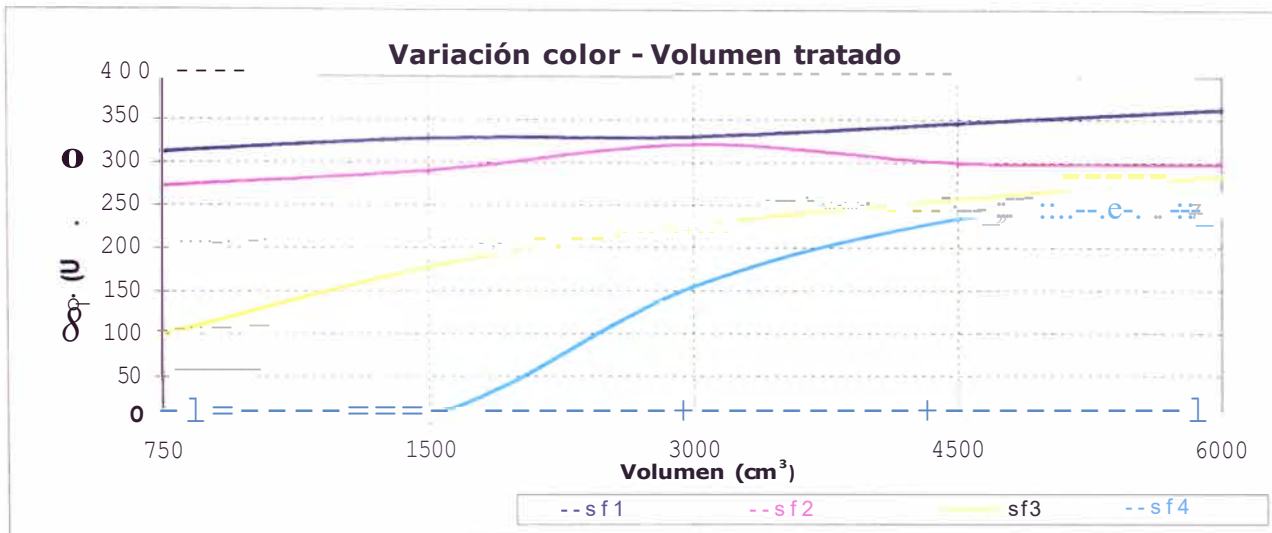
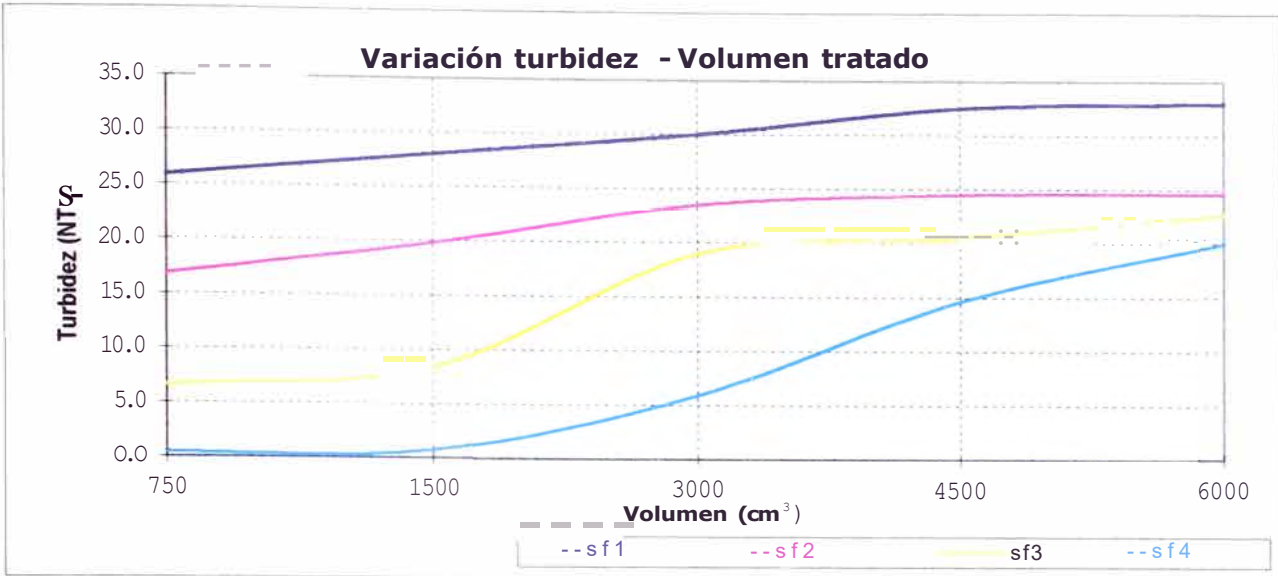
Condiciones Operación:

Flujo prueba (cm³/min) = 50.0
 GPM/ft² = 1.211

Tabla 8.4.6

Salida de planta	Cond. inicial	Variable de medición			
		Turbidez (NTU)	Color (und. Pt-Co)	AB (cm ⁻¹)	C.O.T (mg / L)
	Tiempo salida	53.9	490	0.503	12.30
Filtro N° 1	15 min	25.9	312	0.270	8.50
	30 min	28.0	322	0.302	
	60 min	30.0	330	0.317	
	90 min	32.5	346	0.325	
	120 min	33.0	362	0.330	
Filtro N° 2	15 min	16.8	272	0.201	5.10
	30 min	19.8	290	0.228	
	60 min	23.5	321	0.271	
	90 min	24.5	300	0.288	
	120 min	24.6	298	0.273	
Filtro N° 3	15 min	6.6	101	0.106	3.50
	30 min	8.4	178	0.160	
	60 min	19.0	227	0.265	
	90 min	20.6	257	0.253	
	120 min	22.7	285	0.263	
Filtro N° 4	15 min	0.4	4	0.000	0.78
	30 min	0.7	5	0.020	
	60 min	5.9	155	0.077	
	90 min	14.6	234	0.108	
	120 min	20.0	264	0.242	

Curvas de ruptura: Turbidez - Color - Absorvancia

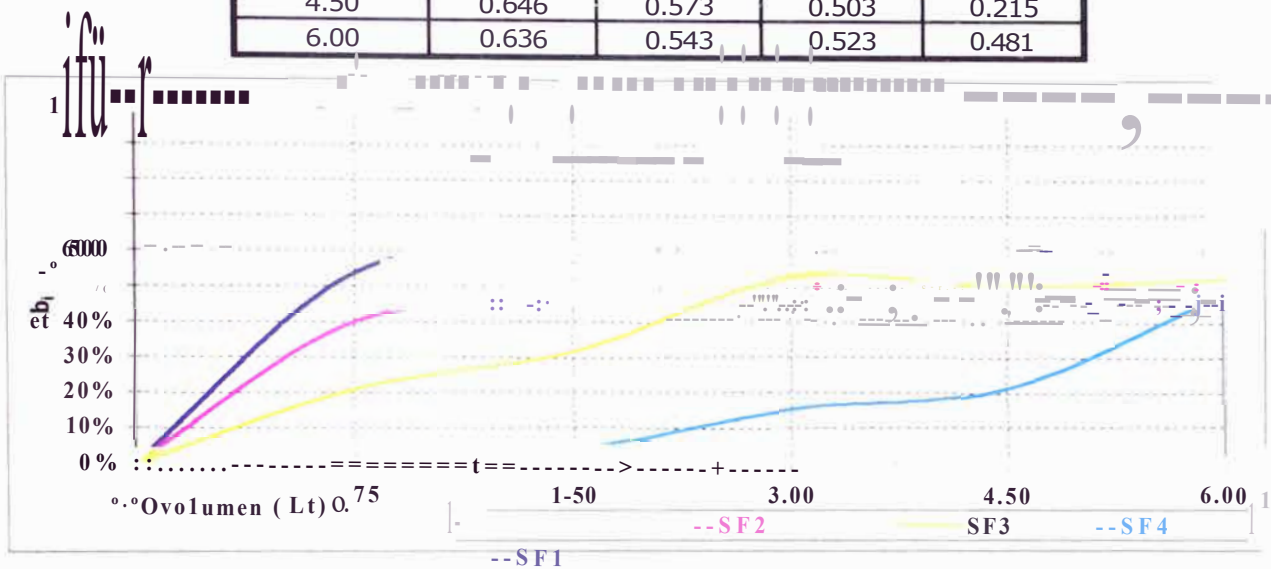


8.4.7 Curva de ruptura: Absorvancia (254 nm)

Tabla 8.4.7

$Ab_0 =$ Absorvancia inicial = $0.503 \text{ cm} \cdot \text{l}^{-1}$

Volumen (lt)	Ab_t / Ab_0			
	SF1	SF2	SF3	SF4
0.00	0	0	0	0
0.75	0.537	0.400	0.211	0.000
1.50	0.600	0.453	0.318	0.040
3.00	0.630	0.539	0.527	0.153
4.50	0.646	0.573	0.503	0.215
6.00	0.636	0.543	0.523	0.481

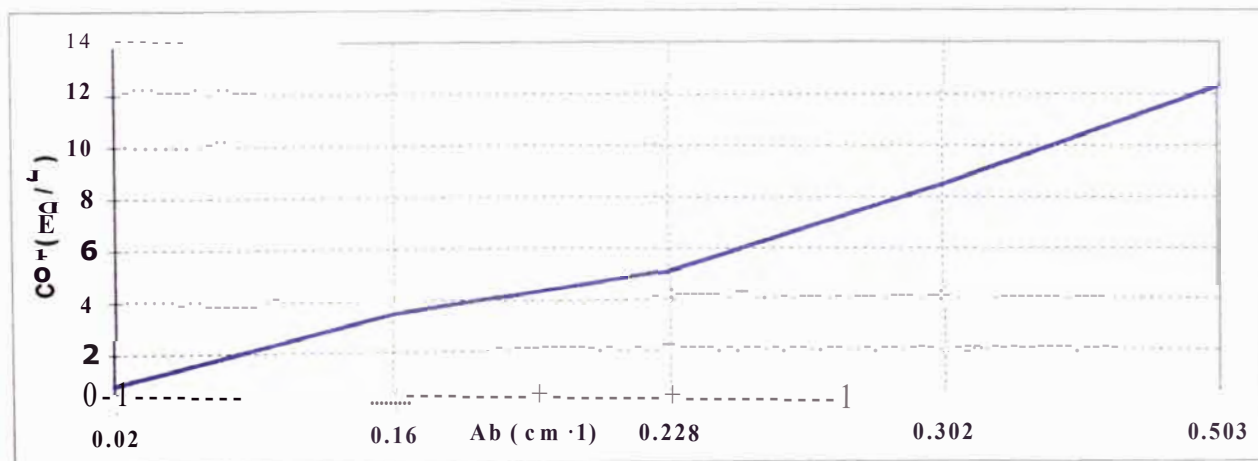


8.4.8 Correlacion entre Ab (254 nm) y COT (mg / L)

$t = 30$ min. de salida de filtros.

Tabla 8.4.8

Absorb. ($\text{cm} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.02	0.16	0.228	0.302	0.503
COT (mg /L)	0.78	3.5	5.1	8.5	12.3

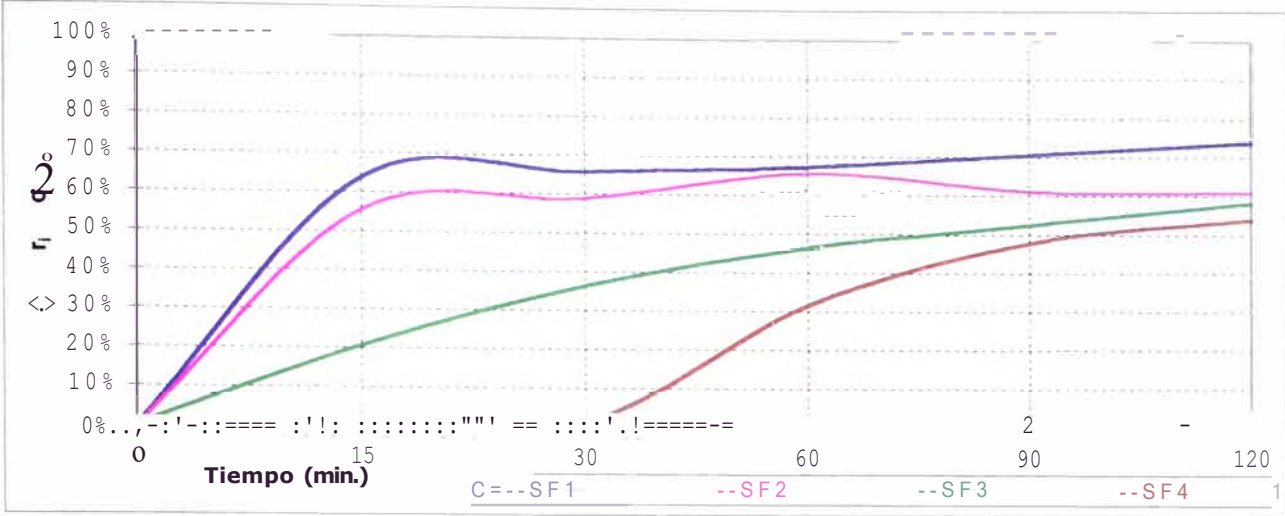


La correlación entre absorvancia y carbon orgánico total del efluente a la salida de las columnas a los 30 minutos presenta una linealidad aproximada.

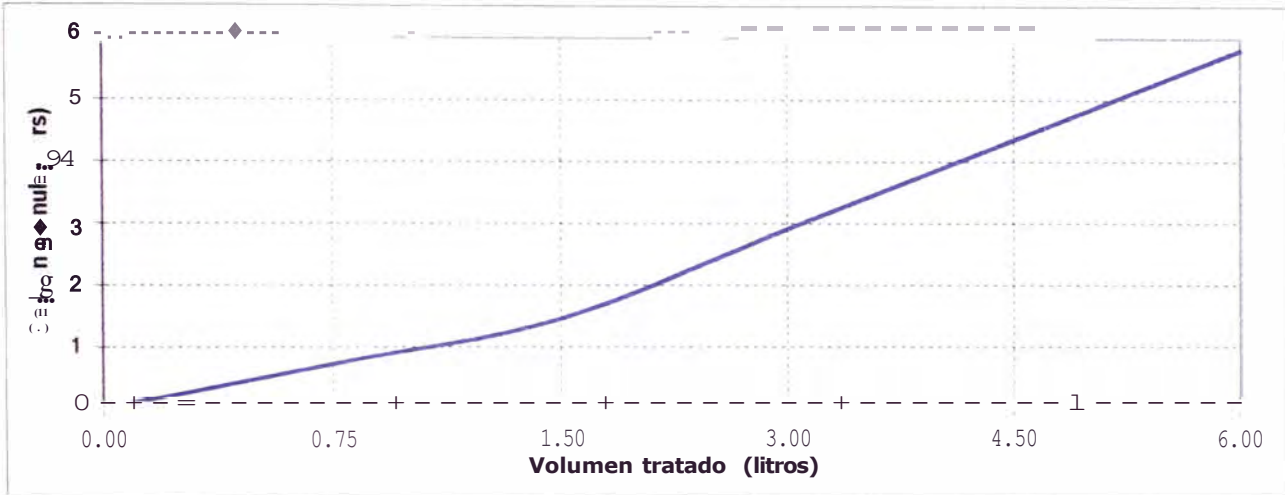
$$r = 0.9794$$

$$\text{C.O.T.} = 0.138 + 24.79 \cdot \text{AB}$$

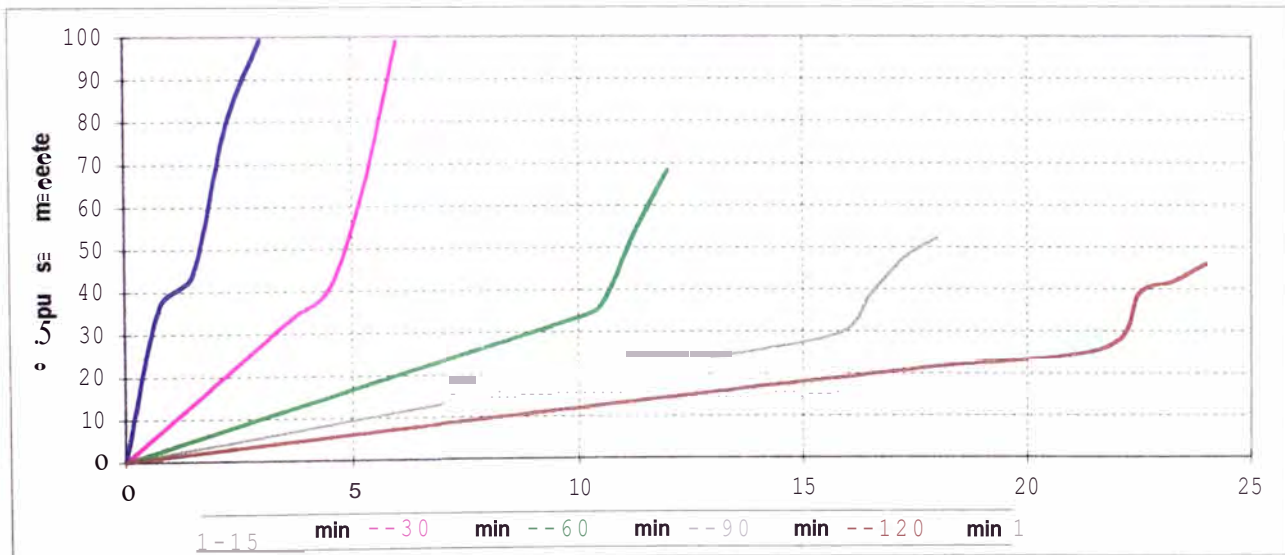
Remoción de Color



Consumo de GAC



Curva de ruptura de adsorción de color



8.5 Evaluación de la remoción de Trihalometanos por filtros de carbon activado

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas experimentales correspondiente a la remoción de trihalometanos por filtros de carbon activado.

Según el método de formación de Trihalometanos descrito en el capítulo V 1, la determinación del requerimiento de Cloro es un parámetro importante, mostrándose a continuación.

8.5.1 Requerimiento de Cloro

Solucion Hipoclorito A

Muestra ml Soluc. A	Gast. ml Tiosulf. 01 N	Cl ₂	
		mg/ml	ppm
1	12.3	43.6035	43603.5

Solucion Dosificadora B 250 ml

Solución A ml	Agua Destil. ml	Cl ₂	
		mg/ml	ppm
28.67	221.33	5	5000

Requerimiento de Cloro solución C

Solución B ml	Agua Destil. ml	Muestra C ml	Gasto ml Tiosulf. 0.025N	Cl ₂	
				mg/ml	ppm
5	245	100	11.7	0.104	103.69

Tabla 8.5.1

Determinación del Requerimiento de Cloro en el efluente de PTAR - Carapongo

Capacidad de Frasco 250 ml

Contenido	Gasto inic. ml	Cl ₂ inicial		Gasto Final ml	Cl ₂ Final 4 hor.		Requer. Cloro	
		mg/ml	ppm		mg/ml	ppm	CD ppm	
5 soluc.B-245 Agua dest.	11.7	0.104	104	10.8	0.096	95.7	7.98	55.39
5 soluc.B-245 Efluent. final	10.8	0.096	96	3.65	0.032	32.35	63.37	

Según métodos normalizados en determinación de compuestos orgánicos (Capítulo 6) para un periodo de 7 días el volumen adecuado de solución Dosificadora de Cloro esta dado por la siguiente relación :

$$\text{ml requ.} = [\text{CD} \cdot 5 / \text{D}_0] + 0.1 = \mathbf{2.77}$$

donde : CD = requerimiento de cloro, mg Cl₂ / lt

D₀ = concentración de cloro dosificado mg Cl₂ / !t.

8.5.2 Requerimiento de cloro solución C

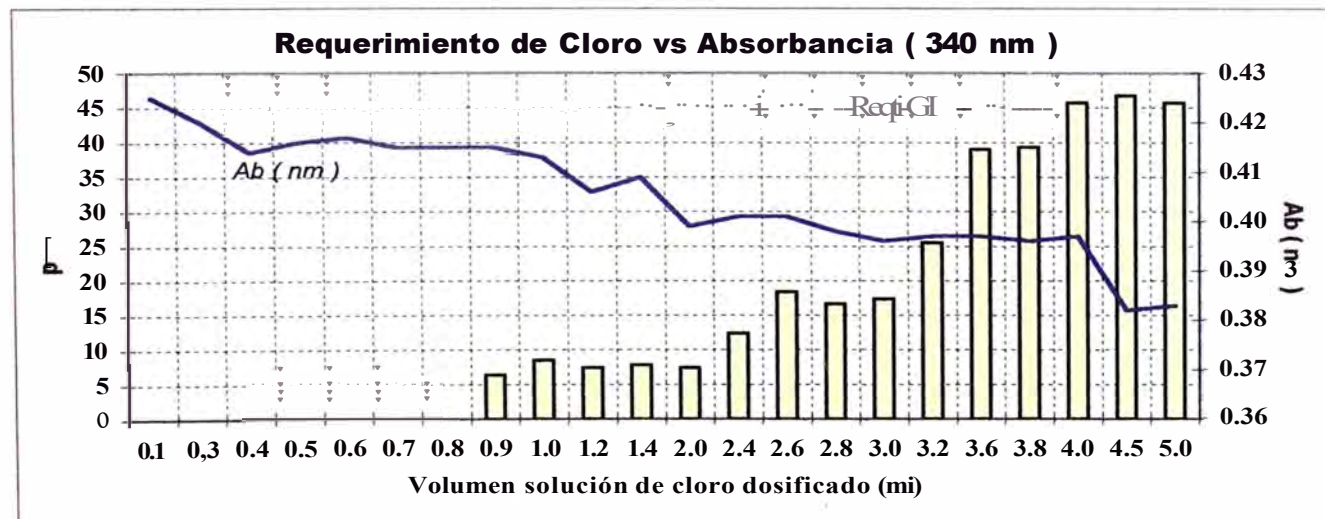
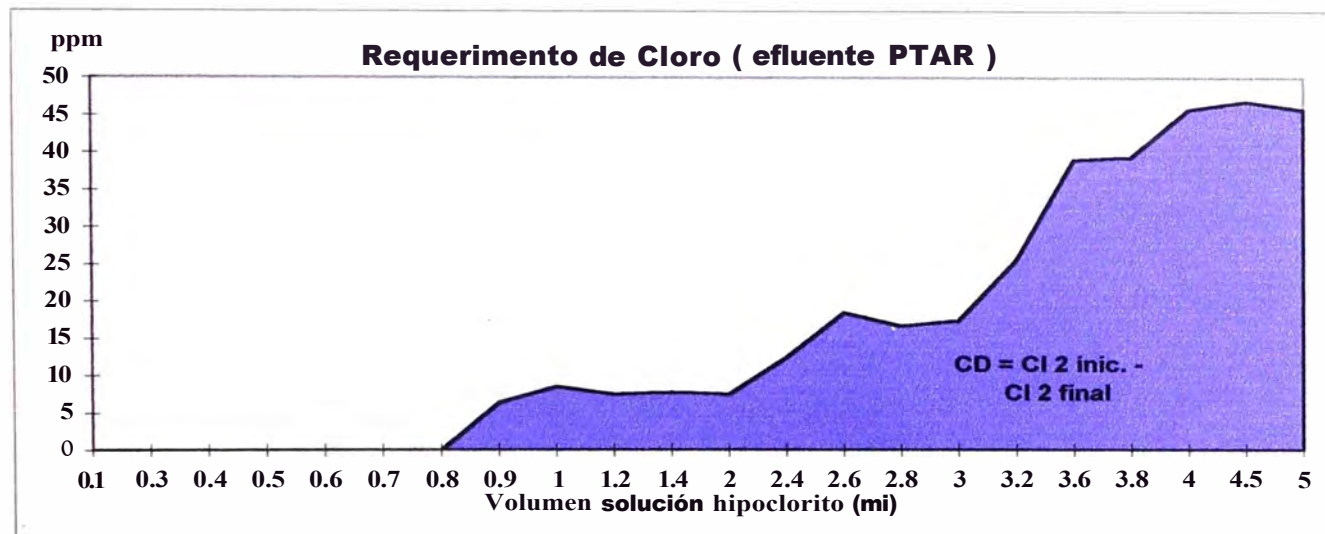
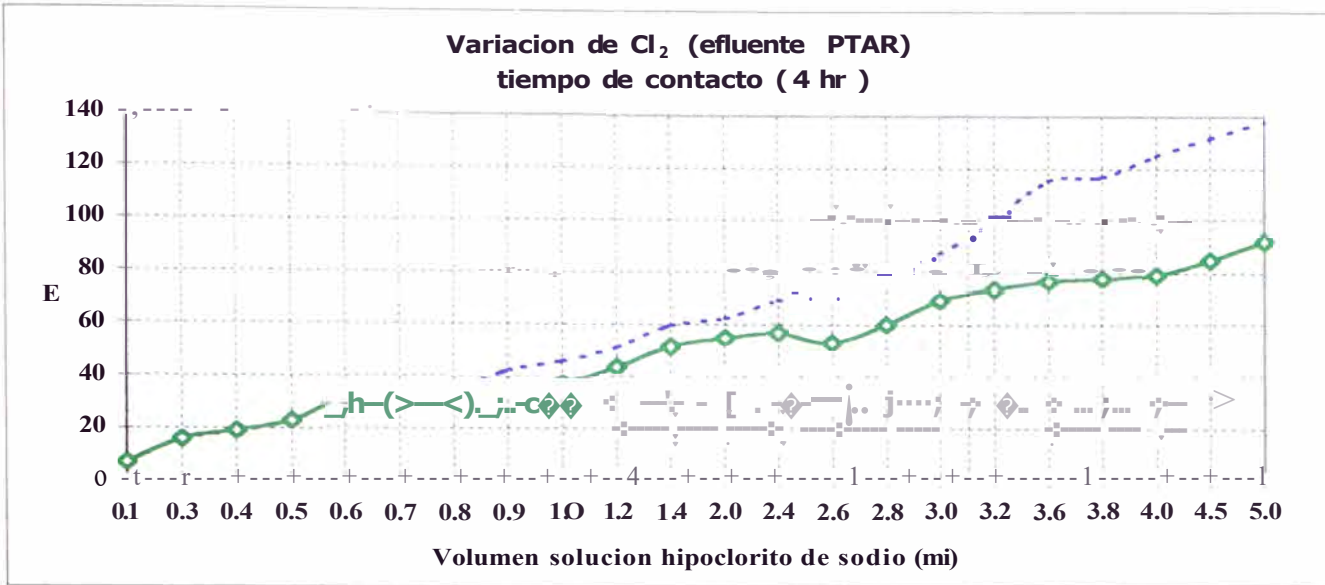
v muestra 250 ml

Solución B ml	Agua Destilada ml	Muestra C ml	Gasto ml Tiosulf. 0.025N	Cl ₂	
				(mg/ml)	ppm
2.5	247.5	25	2.95	0.105	104.58

Tabla 8.5.2

Solución B ml	Gasto inicial ml	Cl ₂ inicial		Gasto final ml	Cl ₂ final 4 horas		Requerimiento Cloro CD ppm	AB 340 NM
		(mg/ml)	ppm		(mg/ml)	ppm		
0.1	0.19	0.00674	6.7355	0.2	0.00709	7.0900	-0.3545	0.425
0.3	0.45	0.01595	15.9525	0.45	0.01595	15.9525	0.0000	0.42
0.4	0.53	0.01879	18.7885	0.54	0.01914	19.1430	-0.3545	0.414
0.5	0.64	0.02269	22.6880	0.65	0.02304	23.0425	-0.3545	0.416
0.6	0.89	0.03155	31.5505	0.9	0.03191	31.9050	-0.3545	0.417
0.7	0.92	0.03261	32.6140	0.93	0.03297	32.9685	-0.3545	0.415
0.8	0.96	0.03403	34.0320	0.96	0.03403	34.0320	0.0000	0.415
0.9	1.2	0.04254	42.5400	1.02	0.03616	36.1590	6.3810	0.415
1	1.3	0.04609	46.0850	1.06	0.03758	37.5770	8.5080	0.413
1.2	1.45	0.05140	51.4025	1.24	0.04396	43.9580	7.4445	0.406
1.4	1.68	0.05956	59.5560	1.46	0.05176	51.7570	7.7990	0.409
2	1.76	0.06239	62.3920	1.55	0.05495	54.9475	7.4445	0.399
2.4	1.95	0.06913	69.1275	1.6	0.05672	56.7200	12.4075	0.401
2.6	2.02	0.07161	71.6090	1.5	0.05318	53.1750	18.4340	0.401
2.8	2.17	0.07693	76.9265	1.7	0.06027	60.2650	16.6615	0.398
3	2.45	0.08685	86.8525	1.96	0.06948	69.4820	17.3705	0.396
3.2	2.8	0.09926	99.2600	2.08	0.07374	73.7360	25.5240	0.397
3.6	3.26	0.11557	115.5670	2.16	0.07657	76.5720	38.9950	0.397
3.8	3.3	0.11699	116.9850	2.19	0.07764	77.6355	39.3495	0.396
4	3.53	0.12514	125.1385	2.24	0.07941	79.4080	45.7305	0.397
4.5	3.72	0.13187	131.8740	2.4	0.08508	85.0800	46.7940	0.382
5	3.89	0.13790	137.9005	2.6	0.09217	92.1700	45.7305	0.383

GRAFICOS DEMANDA DE CLORO



8.5.3 DETERMINACION DE TRIHALOMETANOS

AGUAS RESIDUALES DE PTAR - CARAPONGO

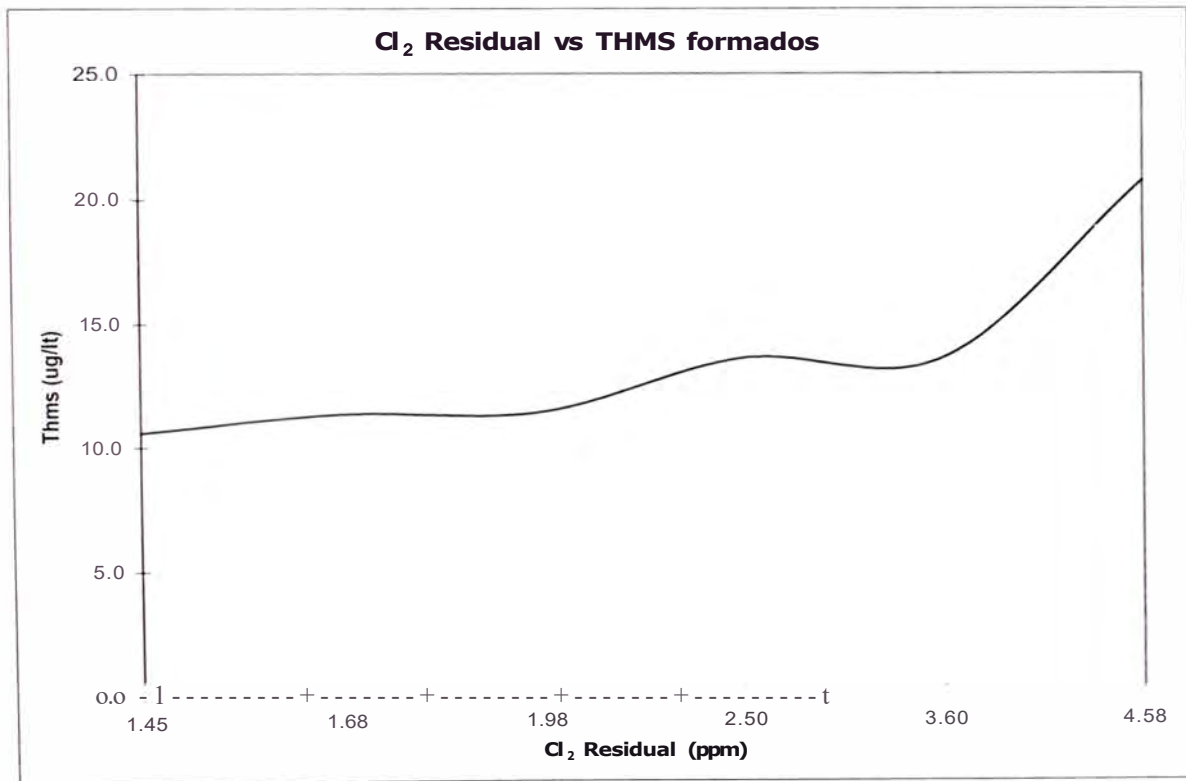
Condiciones de formación de THMS

pH = 9.2
 Temp. (° C) = 25
 Tiemp. reacc. = 168 hrs (7 días)
 Flujo (ce/ min) = 50

Potencial básico de formación de THMS

Tabla 8.5.3

Muestra	Dosis Cloro ppm	Cloroformo (CHCl ₃) (ug / L)	DicloroBromo Metano (CHBrCl ₂) (ug / L)	CloroDibromo Metano (CHBr ₂ Cl) (ug / L)	Bromoformo (CHBr ₃) (ug / L)	Cl ₂ Resid. ppm	THM Totales (ug / L)
227	100	17.58	2.67	0.43	0.00	4.58	20.68
225	95	11.14	2.03	0.35	0.00	3.60	13.52
240	90	7.84	0.40	4.74	0.53	2.50	13.51
228	85	9.80	1.25	0.30	0.00	1.98	11.35
218	80	8.52	2.27	0.44	0.05	1.68	11.28
261	70	8.30	1.04	1.24	0.00	1.45	10.58



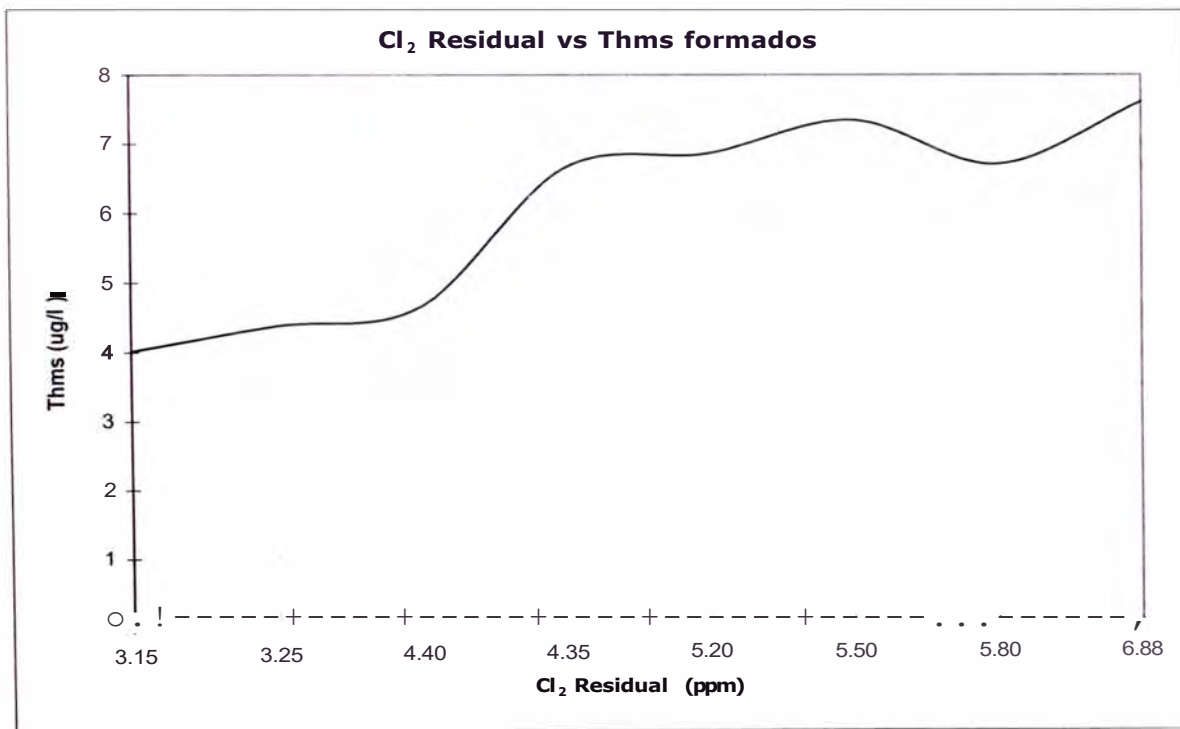
8.5.4 POTENCIAL DE FORMACION DE THMS

Condiciones de formación de THMS

pH = 7.0
 Temperatura (°C), 25
 Tiempo reacción 168 hrs (7 días)
 Flujo (ce/ min) = 50

Tabla 8.5.4

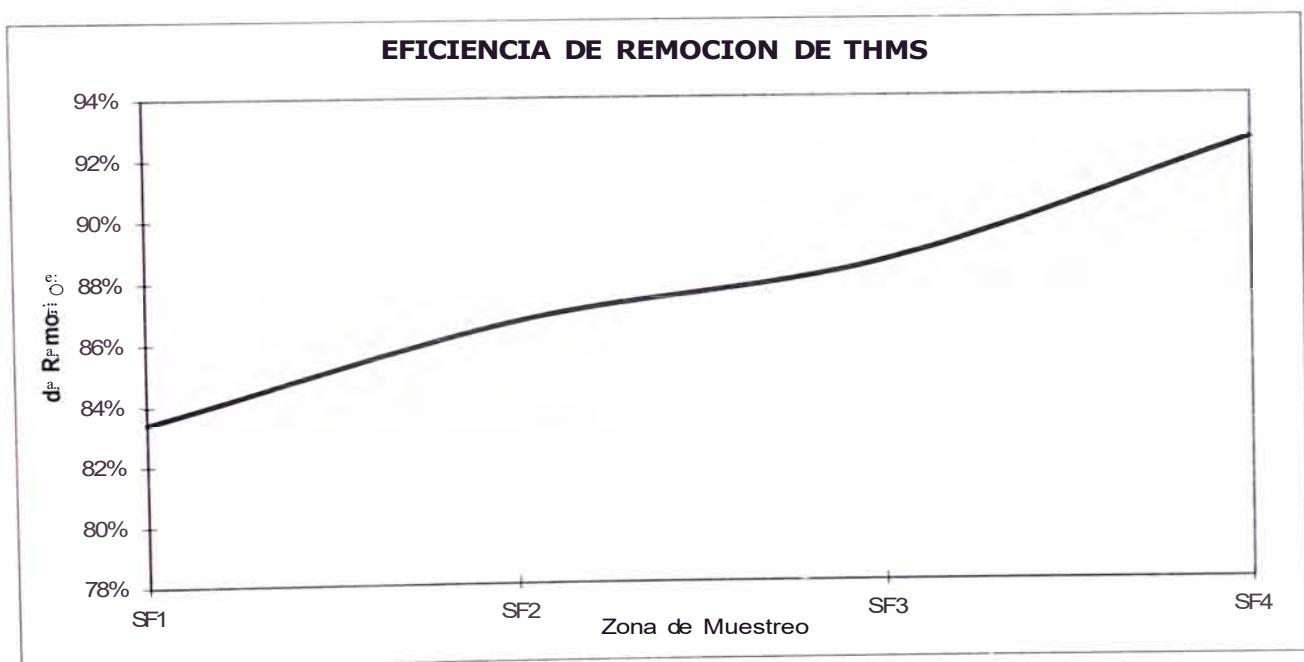
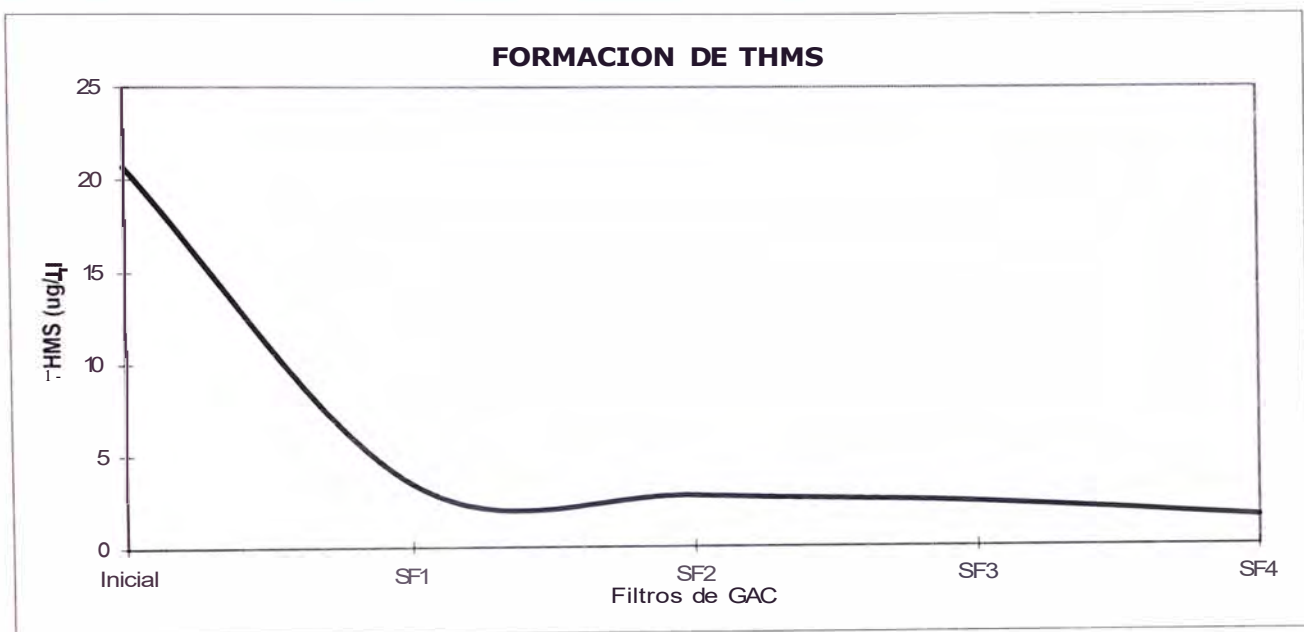
Muestra	Dosis Cloro ppm	Cloroformo (CHCl ₃) (ug / L)	DicloroBromo Metano (CHBrCl ₂) (ug / L)	CloroDibromo Metano (CHBr ₂ Cl) (ug / L)	Bromoformo (CHBr ₃) (ug / L)	Cl ₂ Resid. ppm	THM Totales (ug / L)
263	100	6.56	0.72	0.13	0.19	6.88	7.6
242	95	3.44	0.21	3.33	0.36	5.50	7.34
265	90	5.77	0.78	0.11	0.19	5.20	6.85
266	85	3.78	0.22	2.36	0.33	5.80	6.69
231	80	3.89	0.16	2.59	0.00	4.35	6.64
262	70	3.62	0.37	0.03	0.62	4.40	4.64
253	60	3.71	0.46	0.14	0.06	3.25	4.37
264	50	3.30	0.49	0.12	0.10	3.15	4.01



8.5.5 FORMACION DE THMS USANDO FILTROS DE CARBON ACTIVADO

Tabla 8.5.5

Muestra	Dosis Cloro ppm	Cloroformo (CHCl ₃) (ug / L)	DicloroBromo Metano (CHBrCl ₂) (ug / L)	CloroDibromo Metano (CHBr ₂ Cl) (ug / L)	Bromoformo (CHBr ₃) (ug / L)	THM Totales (ug / L)
217 SF1	100	2.29	0.09	0.89	0.16	3.43
250 SF2	95	2.11	0.32	0.33	0.00	2.76
251 SF3	90	2.22	0.06	0.02	0.07	2.37
252 SF4	85	1.48	0.01	0.06	0.00	1.55



CAPITULO IX

9. COSTOS A NIVEL DE LABORATORIO

Durante la última década se le ha dado importancia a la presencia de compuestos orgánicos en el agua, particularmente los de origen sintético, debido a sus posibles implicancias en la salud.

Dentro los compuestos orgánicos, las sustancias húmicas que son causantes del color, han sido durante un largo tiempo un problema para la industria de abastecimiento de agua.

Desde el punto de vista sanitario este problema puede resolverse mediante una marcada reducción del material orgánico residual previo al proceso de desinfección.

El tratamiento con carbón activado es un proceso alternativo que remueve a los precursores de trihalometanos y alcanza niveles permisibles de 0.1 mg / lt de Thms en el agua potable.

Por lo expuesto anteriormente este estudio tiene como objetivo la evaluación experimental de la remoción de trihalometanos por medio de carbón activado. Debido a que el presente trabajo es una investigación a nivel de laboratorio se presentan los costos reales de estudio.

9.1 COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para la evaluación de los costos a nivel laboratorio se han considerado los siguientes puntos, los cuales influyen directamente en el costo de tratamiento por carbones activados ya sea granular o en polvo.

9.1.1 Costo del producto químico

Descripción Reactivo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (US\$/Unidad)	Costo (US\$)
Acido humico comercial	gr	0.0050	50.00	0.00
Carbon activado en polvo	kg	0.0900	2.00	0.18
Carbon activado granular	kg	3.5100	3.50	12.29
Sulfato de aluminio	gr	0.6360	0.25	0.00
Magnifloc 573C	gr	0.0018	5.50	0.00
DPD (cloro residual - pastillas)	pastilla	25.0000	0.35	8.75
Costo total de producto químico (US\$)				21.22

9.1.2 Costo del acondicionamiento y equipos.

El acondicionamiento esta referida a la implementación de las columnas de carbón activado para la evaluación experimental de la remoción de THMS.

El costo de equipos como : Inyector automatico (TOC), Espectrofotometro (uv / vis), Cromatografo de gases, Equipo de jarras y Muffa. Se consideran al valor en dolares referido al alquiler por un día de trabajo.

Descripción	Cantidad	Costo unitario (US\$)	Costo total (US\$)
Acondicionamiento de filtros			
Bomba ½ HP	1	80.0	80.0
Tubería (d = 2" , L = 100 cm)	4	3.0	12.0
Toberas para filtros	8	5.0	40.0
Tubería (d = 0.5" , L = 100 cm)	5	1.5	7.5
Llaves de bronce 0.5"	5	4.5	22.5
Pre-filtro de celulosa	1	25.0	25.0
Inyector automático (TOC)		10	10.0
Espectrofotómetro (uv / vis)		15	15.0
Cromatografo de gases		15	15.0
Muffa (solidos totales y suspend)		8.5	8.5
Equipo de Jair test		15	15
Costo total de acondicionamiento y equipos			250.50

9.1.3 Costo de los análisis fisicoquímicos.

Descripción	# de análisis	Costo unitario (US\$ / análisis)	Costo total (US\$)
Demanda de cloro	14	2.5	35.0
OB ₅	68	5.2	353.6
DQO	7	6.5	45.5
COT	5	15.0	75.0
THMS	18	10.0	180.0
Coliformes fecales	24	9.5	228.0
Costo de análisis fisicoquímicos			917.10

9.1.4 Costo de mano de obra

Descripción	Horas empleadas	Costo unitario (US\$ / hora)	Costo total (US\$)
Tecnico de laboratorio (2)	8	2.5	20.0
Operario (1)	8	2.0	16.0
Costo de mano de obra			36.0

9.1.5 Resumen general de costos

Descripción	Costo Total (US\$)
Producto Químico	21.22
Acondicionamiento y materiales	250.50
Análisis Fisicoquímicos	917.10
Mano de Obra	36.00
Sub - Total	1,224.82
Imprevistos (2 %)	24.50
Total de la evaluación	1,249.32

9.2 COSTO REFERENCIAL DEL TRATAMIENTO EN(\$/ m³ de agua)

Para la elaboración del costo de tratamiento en \$ / m³ de agua por medio de carbón activado se ha considerado solamente el costo del medio adsorbente (GAC).

De los resultados de la isoterma de adsorción se tiene que para la decoloración completa de 1 litro de agua residual se necesita 0.969 gramos de carbón activado.

Descripción	Unidad	<u>kg. carbón</u> <u>m³ de aaua</u>	Costo unitario (US\$ / kg)	Costo Total (US\$ / m ³)
Carbón activado granular	kg	0.969	3.5	3.392

CAPITULO X

10. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

De los datos estadísticos acumulados se hacen las siguientes observaciones :

1. El % de remoción de $0B O_5$ por el sistema de lagunas de estabilización en Carapongo es entre 75 - 80 %, presentando los valores mas altos de $0B O_5$ total (35.2 mg/l), durante los meses de verano.
2. El % de remoción de sólidos totales en Carapongo es entre 5 - 15 % y de sólidos suspendidos entre 78 - 85 %, el valor promedio de sólidos totales a la salida de la planta es de 750 mg/l y el de sólidos suspendidos de 40 mg/l., según se muestra en las tablas 7.1 2 y 7.1 3
3. Respecto al fitoplanctón, las algas flageladas y algas verdes son las de mayor presencia, las cuales son indicadores biológicos de que el tratamiento esta bien encaminado.
4. Respecto al zooplancton, los rotiferos y protozoarios flagelados son los de mayor presencia, lo cual indica que las lagunas poseen buena capacidad de tratamiento biológico.
5. El incremento del caudal de ingreso de aguas residuales a la PTAR - Carapongo, se observa notablemente y en julio de 1997 se reportó valores de 350 lps, este incremento desfavorece el tratamiento, disminuyendo los tiempos de residencia en las lagunas, lo que conlleva al aumento de dosificación de oxígeno por los aereadores para llegar a los valores límites de parámetros de tratamiento a la salida de planta.

6. Ante el incremento de la carga orgánica aplicada lo que se refleja en el $D80_5$, el aumento de la demanda de oxígeno conlleva a un aumento del suministro de oxígeno por los aereadores para compensar este incremento según se observa en la tabla 7.1.7, donde se muestra el balance entre el suministro y demanda de oxígeno del tratamiento.
7. La relación entre DBO_5 y DQO en el influente (desagüe crudo) de PTAR - Carapongo, nos indica la calidad de este, frente a las contaminaciones industriales en el desagüe, esta relación se ve incrementada ($DQO / D80_5 > 2.5$) como se visualiza en la tabla 7.1.8 donde en el lapso de 10:00 p.m. a 2:00 a.m. se reportan valores comprendidos entre 2.7 y 3.5 según el monitoreo del 26/07/97.

De los resultados obtenidos de la Caracterización y monitoreo de las aguas residuales de PTAR - Carapongo se hacen las siguientes observaciones :

8. La temperatura del agua residual en la PTAR - Carapongo a lo largo de su tratamiento es muy variable presentando los picos de 23 °C y 20.6 °C en determinadas horas del día.
9. El pH varía de 6.8 - 7.6, presentando un ligero incremento en horas de la tarde (14 - 18 horas) a salida de la planta según se observa en el monitoreo en la fecha indicada (tabla 8.1.1)
10. Según el monitoreo realizado para visualizar la variación de los sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos en la planta observamos que los sólidos totales presentan valores promedios de 993.6 - 833.3, los sólidos suspendidos valores de 177.3 - 50 y los sólidos disueltos valores de 816.3 - 783.3 tanto a la entrada como a la salida de planta respectivamente, según se observa en la tabla 8.1.3.

11. Respecto a la determinación OBO_5 - DQO, el porcentaje de dilución de la muestra a evaluar es un factor importante, para muestras de agua residual de valores de DBOs altos el porcentaje de dilución es pequeño. Según la tabla 8.1.4 se presentan los valores de OBO_5 (173.52 - 29.52) tanto a la entrada como a la salida de planta respectivamente, el valor de DQO evaluado a la entrada de la planta varía 74 - 388 a lo largo del día según el monitoreo del 25/06/97.
12. Graficando OBO_5 - Sólidos suspendidos tanto entrada como salida de planta, se observa, que estos parámetros presentan una variación proporcional, por lo cual conociendo la relación entre ambos parámetros se puede conocer indirectamente el valor aproximado de OBO_5 ; según se observa en la tabla 8.1.5.
13. Respecto al análisis de coliformes, observamos un % de remoción de 82 % por parte de las lagunas, a pesar que el valor de coliformes del efluente tratado es de 12×10^6 NMP/100 ml, valor relativamente alto manteniéndose sin variación frente al tratamiento por filtros de carbón activado.
14. La eficiencia de remoción de la carga orgánica por parte de las lagunas es de 73.6 % aproximadamente del efluente tratado según se visualiza en la tabla 8.1.9.
15. La tabla 8.1.10 muestra el resumen de la caracterización del efluente de PTAR Carapongo resultando los valores de los siguientes parámetros a la salida de la planta como son: Turbidez = 26.7 NTU, Color = 226 Und. Pt-Co, Absorbancia (254 nm) = 0.503 cm^{-1} , COT = 12.3 mg / l y OBO_5 Total = 32.8 mg/l

De los resultados de las pruebas referidas a la prueba de jarras usando sulfato de aluminio como coagulante y Magnifloc 573C coagulante-floculante se tienen las siguientes observaciones y conclusiones

16. Debido a que el análisis de ácidos Húmicos - Fúlvicos requiere de métodos complicados basados en extracción por medio de resinas especiales, no se realizaron estas evaluaciones pero a manera de comparación se prepara agua

sintética (5 mg / lt de ácido húmico) a partir de ácido húmico comercial, donde los valores de turbidez, Absorbancia (254 nm), TOC son bajos comparados con los de PTAR - Carapongo indicando indirectamente que el valor de ácido húmico en PTAR - Carapongo es mayor de 5 mg / lt.

17. El % de remoción por coagulación de la muestra de agua de PTAR - Carapongo, utilizando sulfato de aluminio, de las variables turbidez, AB (cm^{-1}), a pH 5.5 es 98%, ligeramente mayor que a pH 7.2 que es 90% . Comprobando que la mejor performance de coagulación por el sulfato de aluminio se realiza a pH entre 5 - 6. Según se muestra en la tabla 8.2.7.
18. El % de remoción por coagulación de la muestra de agua sintética de 5 mg / lt de ácido húmico del parámetro de turbidez a pH 5.5 es 84.6% con una dosificación óptima de 5 mg/l de sulfato de aluminio, ligeramente mayor que a pH 7.2 que es 73% con una dosificación de 15 mg/l.
19. Formación de lodos (ml / lt) : A pH 7.2 (10 ml / l) presenta mayor formación de lodos que a pH 5.5 (3 ml / l) en la muestra de agua sintética. Para el agua de PTAR-Carapongo, no hay mucha diferencia en la formación de lodos para ambas condiciones de pH.

Los resultados referidos a la prueba de jarras con carbón activado en polvo se tienen las siguientes observaciones y conclusiones :

20. Según la tabla 8.3.1 referida a la prueba de jarras con el aumento de dosificación de carbón activado en polvo evaluando la turbidez de la muestra previa filtración se observa que a dosificación comprendida entre 0.5-3.0 gr./lit, la suspensión de las partículas es predominante, además con dosificación de 7.5 gr./ lt a tiempo de contacto de 1 hora la turbidez final es 1.9 NTU de un valor inicial de 26.7 NTU.
21. Las tablas 8.3.2.1 a 8.3.2.3 muestran la disminución de turbidez y color aparente de la muestra de PTAR - Carapongo sin filtrar con el aumento del tiempo de contacto y la dosificación de PAC observando que después de 24 horas de

contacto Y para 10 gr. / lt de PAC la turbidez disminuye de 44.7 a 0.6 NTU y el color aparente disminuye de 290 a 0 Und. Pt.-Co. Se observa además que para $t = 30$ min. la adsorción de turbidez como el color es considerable, casi 70 % de la remoción total, manteniendo este valor con ligeras disminuciones para los siguientes tiempos de contacto, no siendo muy significativo los cambios en los valores para mayores tiempos de contacto en adsorción con PAC.

22. Debido a la turbidez y al material en suspensión de la muestra de agua de Carapongo las siguientes mediciones mostradas en las tablas 8.3.3.1 al 8.3.3.4 se realizan previa filtración ya que este material en suspensión produce la saturación del carbón activado en polvo según los resultados anteriores.

23. La tabla 8.3.4 muestra el tratamiento de datos después de 1 día de tiempo de contacto al evaluar el color residual y color adsorbido, graficando la isoterma de adsorción, determinando la capacidad de adsorción donde para la decoloración completa de 1 lt de efluente de Carapongo previa filtración por el material en suspensión se necesita 0.969 gr de carbón activado en polvo.

Las pruebas referidas a la evaluación de los filtros de carbón activado granular se tienen las siguientes observaciones y conclusiones:

24. El diámetro de los filtros de carbón activado granular para las pruebas es de 2 pulgadas, por lo cual nos corresponde trabajar en el rango de flujos de 0.5 - 2 GPM / ft², se este fin se tuvo que acondicionar una bomba de ½ HP para trabajar con flujos bajos.

25. De la tabla 8.4.2, los resultados obtenidos para un flujo de alimentación de 50 cc/min la DBO₅ es removida de 31.84 mg/l a 0.44 mg/l a la salida del cuarto filtro, lo que corresponde al 97.6 % de remoción, con carbón activado granular.

26. A la salida del filtro# 4, los flujos evaluados para la remoción de DBO₅ aumenta al disminuir los flujos de prueba respectivamente, así tendremos que para el flujo de 150 cc/min resulta 95.7% de remoción y para el flujo de 50 cc/min resulta 97.6% de remoción.

27. Según el gráfico 12.5, OB_5 vs flujos (GPM / ft²), se observa que a la salida del filtro # 4 se presenta mayor remoción de OB_5 desde 31.8 mg/l hasta 0.43 mg/l para un flujo de 0.606 gpm / ft².

28. Según la tabla 8.4.7 se observa que COT disminuye de 12.3 mg/l a 0.78 mg/l a la salida del filtro # 4, por un tiempo de 30 min. de contacto y un flujo de operación de 50 cc/min.

29. La correlación entre Ab (254 nm) y TOC (mg / lt) es ligeramente lineal con $r = 0.9794$, presentando la siguiente relación:

$$COT = 0.138 + 24.79 \cdot AB$$

30. De la evaluación de los datos de remoción de color por filtros de carbón activado granular se observa que para un tiempo de 15 min. el porcentaje de impureza remanente aumenta rápidamente, comparando con un tiempo de 120 min. tendremos que para un volumen acumulado de 20 litros tendremos un porcentaje remanente de 25%. Según se muestra en el gráfico de la tabla 8.4.8.

Los resultados de las pruebas referidas a la formación y remoción de trihalometanos se tienen las siguientes observaciones y conclusiones :

31. Después de un tiempo de contacto de 4 horas entre la muestra de PTAR - Carapongo y la dosificación de 100 ppm de Cl_2 como hipoclorito de sodio se tiene que el requerimiento de cloro es de 63.37 ppm de Cl_2 como hipoclorito de sodio. Según se muestra en la tabla 8.5.2.

32. Para la formación de trihalometanos después de un periodo de 7 días de incubación se necesita 2.77 ml de solución dosificadora de hipoclorito de sodio (5 mg / lt Cl_2), con la finalidad de mantener cloro residual después de un tiempo de contacto según el método para la formación de trihalometanos.

33. Según la tabla 8.5.3 se observan los resultados de la formación de trihalometanos correspondientes a un pH = 9.2, observando que para una dosis de cloro de 100 ppm de Cl₂ se forman 20.68 ug / lt de Trihalometanos totales, siendo el cloroformo el de mayor presencia, con 17.58 ug/lt
34. La tabla 8.5.4 presenta valores bajos de formación de trihalometanos a pH = 7.0, observando que para una dosis de 100 ppm de Cl₂ se forman 7.6 ug / lt de trihalometanos. De ambas tablas se concluye que para condiciones alcalinas se favorece la formación de trihalometanos.
35. Respecto a la remoción de formadores de trihalometanos observamos en la tabla 8.5.5 que para las siguientes condiciones : pH = 9.2, tiempo de reacción = 7 días, flujo de ingreso a los filtros de carbón activado granular = 50 ce / min, se forma 1.55 ug / lt de trihalometanos a la salida del cuarto filtro desde un valor inicial de 20.68 ug / lt. lo que corresponde a un % de remoción de 92.5%.
36. La eficiencia de remoción de formadores de trihalometanos a la salida del primer filtro es de 82.5% y a la salida del cuarto filtro es de 92.5%.
38. Referente a la evaluación económica de las pruebas a nivel laboratorio, según se muestra en el capítulo XIV, se observa que el costo de análisis fisicoquímicos representa el 75.6 % del costo total de pruebas.
39. El costo referencial para el tratamiento de las aguas residuales de carapongo es de \$ 3.39 por m³, costo relativamente alto debido a la presencia apreciable de material en suspensión como algas, y materia orgánica que satura rápidamente el carbón activado disminuyendo el tiempo de uso del medio adsorbente aumentando el costo de tratamiento.

CAPITULO XI

BIBLIOGRAFIA

1. Cepis

Manual de disposición de aguas residuales. Editorial Institut Fresenius GmbH, Alemania, 1991, 1ra. Edición.

2. Robert H. Perry - Cecil H. Chilton

Biblioteca del ingeniero químico, Editorial Mc Graw-Hill, España, 1986, 5ta Edición, Capítulo 16

3. Robert E. Treybal

Operaciones de transferencia de masa, Editorial Mc Graw-Hill, México, 1988, 2da Edición, Capítulo 11.

4. Enrique Jimeno Blasco

Análisis de agua y desagüe, Facultad de ingeniería ambiental, UNI, 1988 - 1ra Edición, Capítulo 5, 17, 19, 21,22.

5. Nalco

Manual del agua su tratamiento y aplicaciones, Editorial Mc Graw-Hill, México, 1979, 1ra Edición, Capítulo 17, 40.

6. Calgon Carbon Corporation

Bulletin Applications "The laboratory evaluation of granular activated carbons for liquid phase applications", Copyright 1993.

7. R.E Hubel - Journal AWWA
Removing Trihalometane precursors by Coagulation; July 1987
8. Cheng Nan Yang - Water Supply
Formation of VOCs during chlorination of drinking water; 1995, Vol. 13, pp 119 - 129.
9. Samor Muttamara - Water Supply
The formation of trihalomethane from chemical disinfectants and humic substances in drinking water, 1995, Vol. 13, pp 105 - 117.
10. APHA, AWWA, WPCF,
Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1985, 15th edition,
Washington D.C.
11. Unitec,
Curso " Procesos tecnológicos para el tratamiento de efluentes industriales ", 1996,
UNI, Lima.
12. Environmental Protection Agency (EPA)
Process Design Manual for carbon adsorption, October 1980, pp 5 - 23.
13. Edward Singley, Environmental Science,
"El uso del carbón activado pulverizado para la remoción de compuestos orgánicos
específicos ", pp 41 - 58.
14. EPA - Project Summary
Removal of trihalomethane precursors by direct filtration and conventional treatment,
May 1984, pp 1 - 7

15. Cytec Industries Inc.

Water clarification jar test procedure, abril 1995, pp 1 - 15

16. Walter J. Weber

Activated carbon adsorption - volumen 1, pp. 317 -335

17. Chemical Engineering progress

Activated carbon process, noviembre 1971, vol 67 número 11, pp 41-44

18. Chemical Engineering

Treating industrial wastewater with activated carbon, junio 1977, pp 2-7

19. Chemical Engineering

Selecting and specifying activated carbon adsorption systems, octubre 1976, pp 2-7

20. Degremont

Manual técnico del agua, 4ta edición, Bilbao España, Tratamiento de efluentes industriales, pp 807 - 815.

21 .America Water Works Association

Water Quality an Treatment, McGraw - Hill, Nueva York, 1971

22. Kemmer F,

Manual del agua, Mc Graw - Hill 1982, cap 11, pp 356 - 364.

23. Branco S.

Estudio de la polución de aguas continentales, OEA, 1984.

24 Rodriguez J.

Lagunas de Estabilización, Rev. Ing. Química, Vol. 12, Enero 1995

25 Technical Document

Measurement of activated carbon performance in the treatment of liquids, Ceca S.A.

26 Technical Document

The use of powder activated carbon in the chemical industries., Ceca S.A.

27 Jacques A. Conchon - Seminario

Tratamiento Biológico y Físico - químico de aguas residuales industriales, 31 marzo-
1 abril 1998.

28 Manual of practice

Hazardous Waste treatment process, Editora WEF, 1994 USA.

29 Journal of WPCF

Water Pollution control , anuales octubre 1994.

30 Cavalcanti

Manual de tratamiento de aguas residuales industriales, Edit Cetesb, Brasil

APENDICE

TABLA 11-1 COMPONENTES INSOLUBLES	
CLASE 1	Sólidos Flotantes Sedimentables Suspendidos.
CLASE 2	Organismos microbianos Algas Bacterias Hongos Virus

TABLA 11-2 MATERIALES SOLUBLES	
CLASE 1	<i>Componentes Primarios - generalmente en más de 5 mg/l.</i>
	Bicarbonato Magnesio Sodio
	Calcio Materia orgánica Sulfato
	Cloruro Sílice Sólidos disueltos totales
CLASE 2	<i>Componentes Secundarios - generalmente en más de 0.1 mg/l.</i>
	Amoniaco Hierro Potasio
	Borato Nitrato Estroncio
	Fluoruro
CLASE 3	<i>Componentes terciarios - generalmente en más de 0.01 mg/l.</i>
	Aluminio Cobre Fosfato
	Arsénico Plomo Zinc.
	Bario Litio
	Bromuro Manganeso
CLASE 4	<i>Componentes a nivel de trazos - generalmente en menos de 0.01 mg/l.</i>
	Antimonio Cobalto Estaño
	Cadmio Mercurio Titanio
	Cromo Níquel
CLASE 5	<i>Componentes Transitorios</i>
	-Acidez - alcalinidad.
	-Ciclos biológicos.
	* Componentes ciclo carbono (orgánicos)
	* Componentes ciclo nitrógeno (aminoácidos).
	* Componentes ciclo azufre (orgánicos)
	- Reactivos
	* Materiales oxidantes (del ambiente natural, residuos de tratamiento)
* Materiales reductores (del ambiente natural).	
- Radionucleados	

TABLA 11-3 : PERFIL GENERAL DE LAS AGUAS CRUDAS DE DESECHO POR TIPO DE INDUSTRIA

Contaminantes	INDUSTRIA									
	Aluminio	Automotriz	Química	Coque	Alimentos	Minería	Papel	Petróleo	Acero	Textil
Sólidos suspendidos	M	M	C	M	M	M	M	C	M	C
Salinidad	C	C	C	M	V	M	C	C	C	C
Variaciones del pH	C	M	M	M	V	M	M	C	C	C
Aceite de grasa	C	M	M	M	V	V	1	M	M	C
Sólidos sedimentables	M	M	C	M	M	M	M	C	M	C
DBO ₅	V	M	M	M	M	C	M	M	V	M
D00	V	M	M	M	M	1	M	M	V	M
Calor	C	1	V	C	C	V	C	C	M	M
Color	V	1	V	C	C	V	M	1	1	M
Olor	1	1	C	C	C	1	C	C	y	C
Metales pesados	C	C	V	1	1	M	V	V	M	1
Cianuros	1	V	V	M	1	V	1	C	V	1
Tiocianatos	1	1	V	M	1	1	1	C	V	1
Cromatos	C	C	C	1	1	1	1	C	V	V
Fosfatos	1	C	V	1	V	1	1	C	V	V
Fluoruros	C	1	V	V	1	V	V	V	1	V
Amoníaco	C	1	V	M	V	V	1	V	V	1
Productos orgánicos	1	M	M	M	M	1	V	C	V	1
Fenólicos	1	1	V	M	1	1	M	M	V	M
Plaguicidas, biocidas.	y	1	V	1	1	1	V	C	V	1
Agentes activos de superficie	V	M	V	1	C	1	C	C	1	1
						V	V	C	1	C

M = factor mayor
 C = contribuye al problema
 Y = insignificante
 V = varía en la industria, puede contribuir

TABLA 11- 4
MATERIA ORGÁNICA EN EL AGUA, PRUEBAS NO ESPECIFICAS

Prueba	Descripción
DBO₅	Demanda biológica de oxígeno.- Mide la capacidad de las bacterias comunes para digerir la materia orgánica, generalmente en un periodo de incubación de 5 días a 20 °C, analizando la disminución de oxígeno. Esta mide la materia orgánica biodegradable. Expresada como O ₂ .
ECC	Extracto de carbón-cloroforno.- Las sustancias orgánicas se adsorben sobre un cartucho de carbón activado y se extraen del carbón con cloroforno este extracto se pesa o se analiza.
ECA	Extracto de carbón-alcohol.- Las sustancias orgánicas adsorbidas sobre un cartucho de carbón activado se extraen del carbón con alcohol etílico (Esta se lleva a cabo después de la extracción con cloroforno en la misma columna).
DQO	Demanda química de oxígeno.- Mide la capacidad de una solución de ácido crómico caliente de oxidar a la materia orgánica biodegradable como la que no lo es (refractaria), expresada como O ₂ .
COLOR	Color.- Esta es una medida aproximada del tanino, lignina y otros materiales del humus en las aguas superficiales y algunas de desecho, como el desecho de las despulpadoras. Reportadas en unidades APHA, relacionadas con el estándar de platino.
DIOD	Demanda inmediata de oxígeno disuelto.- Mide la presencia de materiales fuertemente reductores en las aguas de desecho, los cuales tiene un efecto inmediato al reducir el nivel de oxígeno de las corrientes. Se determina midiendo la reducción del oxígeno 15 minutos después de la dilución de una muestra con agua saturada con oxígeno. Expresada como O ₂ .
PDQ	Pérdida durante el quemado.- En esta determinación, la muestra de agua se evapora inicialmente a sequedad y se pesa. Entonces, los sólidos se calientan al rojo vivo y se vuelven a pesar. La diferencia entre los dos pesos es la pérdida durante el quemado. La operación de quemado, quema toda la materia orgánica, pero también afecta a la composición mineral, como cuando los carbonatos se descomponen hasta óxidos, de forma que la pérdida no es únicamente orgánica.
O₂ Consumido	Oxígeno consumido con permanganato.- Mide la susceptibilidad de la materia orgánica en una muestra a la oxidación con KMnO ₄ . No es un oxidante tan fuerte como el ácido crómico. Es anterior a la prueba de la DQO y aún resulta una prueba de control útil. Descrita como O ₂ .
Extracción con disolventes	Pueden extraerse.- Mide la materia orgánica que puede extraerse directamente del agua, utilizando generalmente hexano, aunque también se utilizan el CCl ₄ y el CHCl ₃ .
COT	Carbon orgánico total.- Mide el CO ₂ producido por los organismos cuando una muestra de agua se atomiza en una cámara de combustión. El equivalente de CO ₂ a la alcalinidad puede eliminarse inicialmente, o puede restarse este equivalente del CO ₂ total para determinar el carbono orgánico descrito como C.

TABLA 11-5

MATERIA ORGÁNICA EN EL AGUA

RELACIONES TEÓRICAS ENTRE VARIOS DE LOS INDICADORES

1 Carbono orgánico total (COT), como carbono (C)			
(a)	Si está presente como un carbohidrato, $(CH_2O)_n$ COT		
(b)	Si está presente como biomasa COT x 2.8 = materia orgánica.		
2 Demanda química de oxígeno (DQO) como Q_2			
(a)	Si está presente como un carbohidrato, $(CH_2O)_n$ DQO = 2.67 x COT, como O_2 .		
(b)	Si está presente como biomasa DQO = 3.6 x COT, como O_2 .		
(c)	Si está presente como hidrocarburo. $(CH_2)_n$ DQO = 3.4 x COT, como O_2 .		
3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)_n, como O			
(a) Si está presente como carbohidrato o biomasa, la DBO es $(0.7 - 0.8) \times DQO$.			
(b) Otros materiales orgánicos presentan relaciones más bajas entre DBO y DQO de la siguiente forma:			
Compuesto	DBO	DQO	Relación n
Alcohol etílico	1.00 - 1.50	2.10	0.50 - 0.70
Ácido butírico	0.90	1.80	0.50
Acetaldehído	1.30	1.80	0.70
Acetona	0.50 - 1.00	2.20	0.30 - 0.50
Eter etílico	0.03	2.60	0.01
Etanol amina	0.1 O	2.10	0.05
Gasolina	0.08	3.50	0.02
Benceno	0.00	3.10	0.00
4 Nitrógeno orgánico total, como N			
(a) Si está presente en la biomasa. $N \times 16 =$ materia orgánica.			

(*) Esta relación es una medida aproximada de la capacidad de las bacterias de digerir la materia orgánica presente (biodegradabilidad). -AWWA - 1971.

TABLA 116

POSIBILIDADES DE DIFERENTES CADENAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES URBANOS

	Mes mg/l	DBO mg/l	DQO	N(NTK)	p	SALI- NIDAD	PODER DE RETENCIÓN	
							Huevos de parásitos	Bacterias
1 = Decantación orimaria	130-170	150- 200	260- 340	-15%	- 15%	-	eficaz	escaso o nulo
2 = 1 + floculación aúimica oolieletrólitos	50-70	110- 160	200- 250	-20%	- 20%	-	total	escaso
3 = 1 + depuración biológica	> 15	> 12	> 50	-90% (con nitrific.)	- 35%	-	eficaz	escaso
4 = 3 + filtración a través de arena	> 1	> 8	> 40	-95% (con nitrif.)	- 40%	-	total	escaso
5 = 3 + cloración	> 15	> 10	> 45	-90% (con nitrif.)	- 35%	-	eficaz	importante a casi total
6 = 3 + aer.laguna - cloración	> 15	> 8	> 40	-90% (con nitrif.)	- 35%	-	total	casi total
total	> 10	> 10	> 40	-90% (con nitrif.)	- 90%	-	total	escaso
8 = 3 + precipitación química (Fe ²⁺) (Al ³⁺)	> 15	> 10	> 40	-90% (con nitrif.)	- 90%	-	total	importante
9 = 3+ desnitrificación biológica	> 15	> 8	> 50	-95%	- 30%	-	eficaz	escaso
10 = 4 + carbón activo	> 11	> 10	> 10	-90% (con nitrif.)	- 40%	-	total	importante
11 = 1 + precipitación Ca ²⁺ + "stripping" + recarbonatación + filtrac.arena	40-60	100- 150	200- 250	-75%	- 90%	-	total	casi total
12 = 3 + precp.química + filtr.arena + carbón activo + cloración	~ 1	~ 1	~ 10	-95%	- 95%	-	total	total
13 = 11 + desminerali- zación.	~ 1	~ 1		-99%	- 99%	<100% (camb. iones) <90% (ósmosis inversa)	total	Total

TABLA 11-12**Ley General de Aguas -Límites**

PARAMETROS	CLASE					
	1	11	111	IV	V	VI
Coliformes totales (NMP/100 ml)	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000
D.B.O. (mg/l)	5	5	15	10	10	10
O.O. (mg/l)	3	3	3	3	5	4
Selenio (mg/m ³)	10	10	50		5	10
Mercurio (mg/m ³)	2	2	10		0.1	0.2
P.C.B. (mg/m ³)	1	1	1+		2	2
Esteres Estalatos (mg/m ³)	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3
Cadmio (mg/m ³)	10	10	50		0.2	4
Cromo (mg/m ³)	50	50	1,000		50	50
Níquel (mg/m ³)	2	2	1+		2	*
Cobre (mg/m ³)	1,000	1,000	500		10	
Plomo (mg/m ³)	50	50	100		10	30
Zinc (mg/m ³)	5,000	5,000	25,000		20	**
Cianuros (mg/m ³)	200	200	1+		5	5
Fenoles (mg/m ³)	0.5	0.5	1+		1	100
Sulfuros (mg/m ³)	1	1	1+		2	2
Arsénico (mg/m ³)	100	100	200		10	50
Nitratos (mg/m ³)	10	10	100		N.A.	N.A.
Mat. Extractable en hexano (mg/l)	1.5	1.5	0.5	0.2		
Sust. Activas azul de metileno (mg/l)	0.5	0.5	1.0	0.5		
Carbón activo por alcohol (mg/l)	1.5	1.5	5.0	5.0		
Carbón activo por cloroformo (mg/l)	0.3	0.3	1.0	1.0		

CLASES:

1. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección

11 Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento

111 Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales

IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares)

V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos

VI. Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial

Notas:

* Pruebas de 96 horas LC50 (dosis letal para provocar 50% de muertes) multiplicada por 0.1

** Pruebas de 96 horas multiplicada por 0.2

N.A. Valor no aplicable.

TABLA 11-13

TABLA COMPARATIVA DE NORMAS DE VERTIDO EN ALGUNOS PAÍSES

Propiedades físicas y constituyentes químicos (mg/l)	ALEMANIA (R.F.A.)			Hacia estación depur.	BELGICA			Vertidos al alcantar	FRANCIA		GRAN BRETAÑA				Vertidos al alcantar.	Vertidos a cauces	Vertidos al alcantar. antes estación depuradora
	Vertidos a cauces				Vertidos a río				Vertidos según niveles de tratam.	Indust. de tratam. de superf.	Ejemplos de vertidos a río						
	A	B	C		1	2	3				1	2	3	4			
Temperatura en °C	20	20-28	28	35	30	30	-	45	30		26	32	25		30-43	30	60
pH	6-9	5-10	5-10	6.5-9.5	6.5-8.5	-	-	6.5-9.5	5.5-8.5		6-9	5-9	5-9	7-8.5	6-10	6.5-8.5	6.5-9
Materias en suspensión mg/l	20				100		1000	20-100			30	30		500	20	20	
D805 (media en 24 h)	25				15	30	50		20-40		20				20	20	
DQO (media en 2 h)	80					500			80-150						10	10	
Oxidabilidad al KMnO ₄ N (Kjeldahl)	18	18-40	40						7-80		10						10
Fluoruros (en F-)						10			15			10		10		10	10
Cloruros (en Cl-)	150	150-350	350						0			1				0.1	1
Sulfuros (en S:)																	
Sulfatos (en So ⁻)				400		2000						1200	1200		1200		300
Cianuros (en CN ⁻)						0,5			0,1-1	0	0			2-10	0,1	0,5	
Arsénico (As)									0						0,1	0,1	
Bario (Ba)									3						5		
Cadmio (Cd)															0,1	0,1	
Cromo (Cr ³⁺)			1						0,05-0,1	0,5				0,3	2	2	
(Cr ⁶⁺)										4				2	0,1	0,5	
Hierro (Fe)	0,5	0,5-15	,5			2								10-20	2	20	
Manganeso (Mn)	0,25	0,25-0,5	0,5			1									2		
Mercurio (Hg)								0							0,01	0,01	
Níquel (Ni)				5							0,01				2	2	
Plomo (Pb)									0,1		0,1				0,5	0,5	
cobre (Cu)			3			1									0,5	1	
Cinc (Zn)			5			5			15						2	2	
Cd + Cr + Cu + Ni + Zn + Fe														500	20		
Aceites y grasas	0	trazas	trazas	20-100	100			500			4	4	50	50			
Hidrocarburos			0,1	100	5-15					5-20	5-20	1		0,01	10	20	
Fenoles	0,005	0,005-0,1							0,5-1	0,5-1	0,5-1				0,05	1-5	
disolventes orgánicos									0	0	0	0					
cloro activo (mq Cl/l)												1	1		0,05	0,5-3	

122

TABLA 111- 1 A
FÓRMULAS ESTRUCTURALES Y NOMBRES DE LOS TRIHALOMETANOS

Fórmula	Nombre
1. $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Cl} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$	Triclorometano (Cloroformo CHCl_3)
2. $\begin{array}{c} \text{Br} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Cl} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$	Bromodiclorometano (CHBrCl_2)
3. $\begin{array}{c} \text{Br} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Cl} \\ | \\ \text{Br} \end{array}$	Dibromoclorometano (CHBr_2Cl)
4. $\begin{array}{c} \text{Br} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Br} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$	Tribromometano (Bromoformo CHBr_3)
5. $\begin{array}{c} \text{I} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Cl} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$	Dicloroyodometano (CHCl_2I)
6. $\begin{array}{c} \text{I} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Cl} \\ | \\ \text{Br} \end{array}$	Bromocloroyodometano (CHClBrI)
7. $\begin{array}{c} \text{I} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{I} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$	Clorodiyodometano (CHClI_2)
8. $\begin{array}{c} \text{I} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Br} \\ | \\ \text{Br} \end{array}$	Dibromoyodometano (CHBr_2I)
9. $\begin{array}{c} \text{I} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{Br} \\ | \\ \text{I} \end{array}$	Bromodiyodometano (CHBrI_2)
10. $\begin{array}{c} \text{I} \\ | \\ \text{H} - \text{C} - \text{I} \\ | \\ \text{I} \end{array}$	Triyodometano (Yodoformo CHI_3)

TABLA IV-1: RELACION DE VERTIDOS INDUSTRIALES: SU ORIGEN, CARACTERISTICAS Y TRATAMIENTO

Industrias que producen vertidos	Origen de los vertidos más importantes	Características más importantes	Tratamientos principales y métodos de eliminación.
Industrias de bienes de consumo			
Textiles	Preparado de fibras: eliminación del apresto en el material base.	Muy alcalinas, coloreados, DBO y temperaturas altas, sólidos en suspensión altos.	Neutralización, precipitación química, tratamientos biológicos, aireación y/o filtración en filtros bacterianos.
Curtiembres	Pelado, remojado, eliminación de cal y lavado de las pieles.	Sólidos totales altos, dureza, sales, sulfuros, cromo, pH, calcio precipitado, DBO.	Igualación, sedimentación, tratamiento biológico.
Lavanderías	Lavado de tejidos.	Alta turbidez, alcalinidad, sólidos orgánicos.	Tamizado, precipitación química, flotación y adsorción.
Industrias de producción de alimentos			
Alimentos enlatados.	Preparación, elección, extracción del jugo y tratamiento de los frutos y vegetales.	Gran contenido de sólidos en suspensión, materia orgánica disuelta y coloidal.	Tamizado, lagunado, absorción por el suelo o riego por aspersión.
Productos de leche.	Dilución de la leche, leche concentrada, mantequilla y suero.	Alto contenido en materia orgánica/disuelta, principalmente proteínas, grasas y lactosas.	Tratamiento biológico, aireación, filtros bacterianos, lodos activados.
Bebidas fermentadas y destiladas.	Maceración y prensado de grano, residuo de la destilación del alcohol, condensado de la evaporación de restos.	Gran contenido en sólidos orgánicos disueltos que contienen nitrógeno y almidones fermentados o subproductos.	Recuperación, concentración por centrifugación y evaporación, filtros bacterianos, utilización, como piensos, digestión de los residuos.

Productos de la carne y pollos.	Corrales; sacrificio de animales; aprovechamiento de huesos y grasas; residuos de los condensados; grasa y agua de lavado; desperdicio de los pollos.	Gran contenido de materia orgánica disuelta y en suspensión, sangre, otras proteínas y grasas.	Tamizado, precipitación y/o filtración, filtros bacterianos.
Estabulamiento de animales	Excrementos de animales.	Gran contenido en materia orgánica disuelta y DBO.	Disposición en el terreno y lagunas anaerobicas.
Azúcar de Remolacha	Aguas de transporte tamizado y extracción; drenajes de los lodos cálcicos; condensado del evaporador; jugo y azúcar extraída.	Gran contenido de materia orgánica disuelta y en suspensión, contiene azúcar y proteínas.	Reutilización de vertidos, coagulación y lagunado.
Productos Farmacéuticos	Micelios, filtros agotados y agua de lavado.	Alto contenido en materia orgánica disuelta y en suspensión incluyen vitaminas.	Evaporación y Secado ; alimentos.
Levaduras	Residuos de filtración de levaduras.	Alto contenido en sólidos (principalmente orgánicos) y DBO.	Digestión Anaerobica, filtración etc, lechos bacterianos.
Productos Acidos	Agua con calcio: salmuera, alumbre y ácido turmérico, siroes, semillas y trozos de pepinos.	PH variable, sólidos en suspensión altos, color y materia orgánica.	Buena limpieza, tamizado.
Café	Descarrillado y fermentación del grano de café.	Alto DBO y sólidos en suspensión.	Tamizado, precipitación y filtros bacterianos.
Pesca	Desechos de la centrífuga; pesca prensada; evaporación y otras aguas de lavado.	Muy alto DBO, sólidos totales orgánicos y olor.	Evaporación de todos los vertidos; la materia restante vertido al mar.

Arroz	Remojo, cocido y lavado del arroz.	Alto DBO, sólidos totales y en suspensión (almidón)	Coagulación por calcio - digestión.
Bebidas suaves	Lavado de botellas; limpieza del suelo y equipo; drenaje de los tanques de almacenamiento de siropes.	Alto pH, sólidos en suspensión y DBO.	Neutralizado, tamizado, mas descarga a un colector municipal.
Hornos de Cocción	Lavado y engrasado de depósitos; lavado de suelos.	DBO alto, grasas lavado de suelo azúcares, harina, detergentes.	Tratable por oxidación biológica.
Producción de agua	Lavado de filtros; lodos con calcio y carbonatos; salmueras; lodos con sulfatos.	Sólidos minerales y en suspensión.	Descarga directa a los cursos de agua indirectamente a través de lagunas.

Industrias de Materiales

Pasta de papel y papel.	Cocción, refinado, lavado de fibras, tamizado de la pulpa de papel,	pH alto o bajo, color, gran contenido en sólidos en suspensión coloidales y disueltos, cargas inorgánicas.	Precipitación, lagunas, tratamiento biológico, aireación, recuperación, de subproductos.
Productos fotográficos.	Soluciones gastadas del revelador y fijadores.	Alcalinos, contiene diferentes agentes orgánicos e inorgánicos reductores.	Recuperación de plata, descarga de residuos en un colector municipal.
Aceros.	Coquización, lavado de los gases de la chimenea y limpieza del acero.	pH bajo, ácidos, cianídrico, fenal, minerales, coque calcio, álcalis, aceites, cascarilla y finos sólidos en suspensión.	Neutralización, recuperación y reutilización, coagulación química.
Vertidos de tratamiento superficiales.	Eliminación de óxidos, limpieza y tratamientos de metales.	Acido, metales, tóxicos, pequeños volumen, principalmente materia mineral.	Cloración alcalina de cianuros; reducción y precipitación de cromo; calcio, precipitación de otros metales.

Fundiciones.	Eliminación por separación hidráulica de la arena utilizada.	Gran contenido en sólidos en suspensión, principalmente arena; algunas arcilla y carbón.	Tamizado selectivo, secado de la arena reutilizable.
Campos de petróleo y refineras.	Lodos de perforación, sales, aceites y algunos gases naturales; lodos ácidos y diferentes aceites de la refinería.	Gran contenido en sales disueltas del terreno; DBO alto, olor, fenoles y compuestos sulfúricos de la refinería.	Desviación, recuperación, inyección de sales, acidificación y quemado de los lodos alcalinos.
Utilización de fuel-oil.	Derrames de rellenar los depósitos de fuel-oil, aceites de cárter.	Gran contenido en aceites disueltos y emulsionados.	Prevención de pérdidas y goteos, flotación.
Gomas.	Lavado de látex, goma coagulada, impurezas extraídas de la goma bruta.	DBO alto y olor, gran contenido en sólidos en suspensión, pH variable, gran contenido en cloruros.	Aireación, coloración, sulfonación, tratamiento biológico.
Espejos.	Pulimento y limpieza de vidrios.	Color rojo, sólidos en suspensión alcalinos que no precipitan.	Precipitación de cloruro cálcico.
Almacenes navales.	Lavado de maderas, restos de solución, recuperación de solventes y agua de recuperación de aceites.	Acidos, DBO alto.	Recuperación de subproductos, igualización, recirculación y reutilización, filtros bacterianos.
Fabricación de colas.	Lavado de cal, lavados ácidos, extracto de proteínas no especificadas.	DQO, DBO y pH altos; cromo, ácidos minerales fuertes, periódicamente.	Tratable por un sistema biológico aeróbico, flotación, precipitación química.
Tratamiento de madera.	Condensado de vapor.	Alto en DQO, DBO, sólidos, fenoles.	Coagulación química; lagunas de oxidación y otros tratamientos aeróbicos biológicos.
Fabricación de bujías.	Derrames de ceras, condensados de ácidos esteáricos.	Acidos grasos orgánicos.	Digestión anaerobia.

Fabricación materiales contrachapados.	Lavado de colas.	DBO alto, pH, fenoles, toxicidad, potencial.	Lagunas de precipitación, incineración.
Productos Químicos			
Acidos	Agua de lavado diluida; varios ácidos diluidos.	pH bajo, bajo contenido orgánico.	Neutralización, combustión cuando hay materia orgánica presente.
Detergentes.	Lavado y purificado de jabones y detergentes.	Alto en DBO y en jabones saponificados.	Flotación y desnatado, precipitación con Cl_2 Ca.
Almidón	Condensados del evaporador o lodos si no se reutilizan o recuperan, sirope de lavado final, agua del proceso de embotellado.	Alto DBO y materia orgánica disuelta; principalmente almidón y materiales similares.	Igualación, filtración, biológica, digestión anaerobia.
Explosivos	Lavado de TNT y algodón pólvora para purificación, lavado y decapado de cartuchos.	TNT, color, ácido, contiene ácidos orgánicos, alcohol del algodón, metales, ácido, aceites y jabones.	Flotación, precipitación química, tratamiento biológico, aireación, cloración de TNT, neutralización, adsorción.
Pesticidas.	Productos de lavado y purificación como el 2,4-D y DDT.	Materia con alto contenido orgánico estructuras bascénicas, tóxicas para las bacterias y peces, ácidos.	Dilución, almacenamiento, adsorción en carbón activo, cloración alcalina.
Fosfatos y fósforo.	Lavado, tamizado, rocas flotantes, condensados de la planta de reducción de fosfatos.	Arcillas, lodos y líquidos resinosos. bajo en pH, sólidos en suspensión, fósforo, silices y cloruros.	Lagunas, clarificación mecánica, coagulación y precipitación de los residuos refinados.
Formaldehído.	Residuos por la fabricación de resinas sintéticas y de teñido de fibras sintéticas.	Normalmente alto DBO y CH_2OH , tóxicos a las bacterias en grandes concentraciones.	Filtros bacterianos, adsorción en carbón activo.

Plásticos y resinas.	Operaciones unitarias de la preparación de polímeros, utilización, derrames y lavado de maquinaria.	Acidos, materia cáustica, materia orgánica disuelta como fenoles; etc.	Descarga a un colector municipal, reutilización, descarga controlada.
Energía			
Producción de vapor.	Agua de refrigeración, purgas de evaporación, drenaje de la zona del carbón.	Alta temperatura gran volumen, sólidos altos inorgánico y disueltos.	Enfriamiento por aireación, almacenamiento de cenizas, neutralización de residuos ácidos en exceso.
Preparación del carbón.	Limpieza y clasificación del carbón, lavado de estratos de sulfuros con agua.	Gran contenido en sólidos en suspensión, principalmente carbón bajo pH, alto, SO_4H_2 y SO , Fe.	Precipitación, flotación de espumas, control de drenajes y sellado de minas.
Materiales de centrales nucleares radiactivas	Preparación de minerales; lavado de ropas contaminadas; residuos del laboratorio de investigación; obtención de combustibles; agua de enfriamiento de la planta de energía.	Los elementos radioactivos pueden ser ácidos y muy fuertes .	Concentración y almacenamiento, o dilución y dispersión.

Figura No.1 ESQUEMAS TIPOLOGICOS DEL TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS FISICO-QUIMICOS

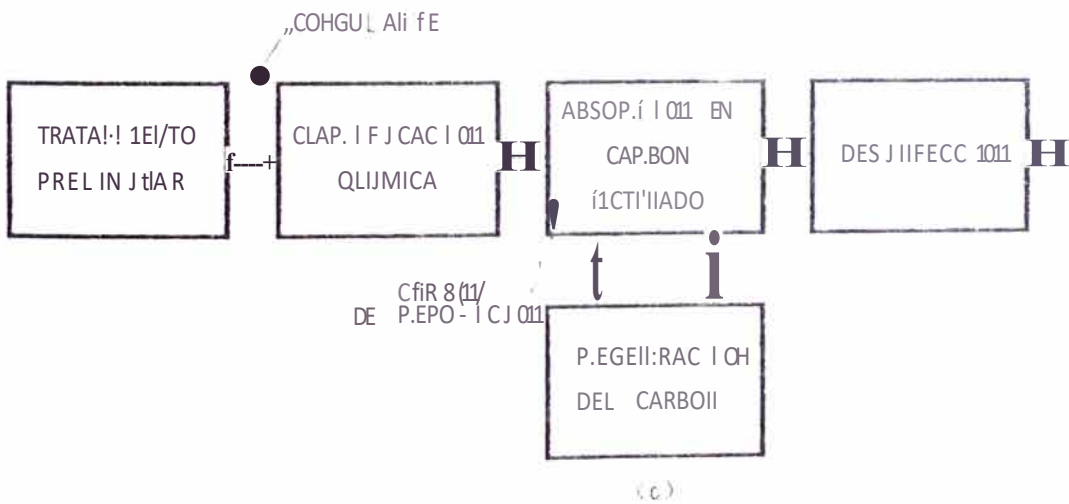
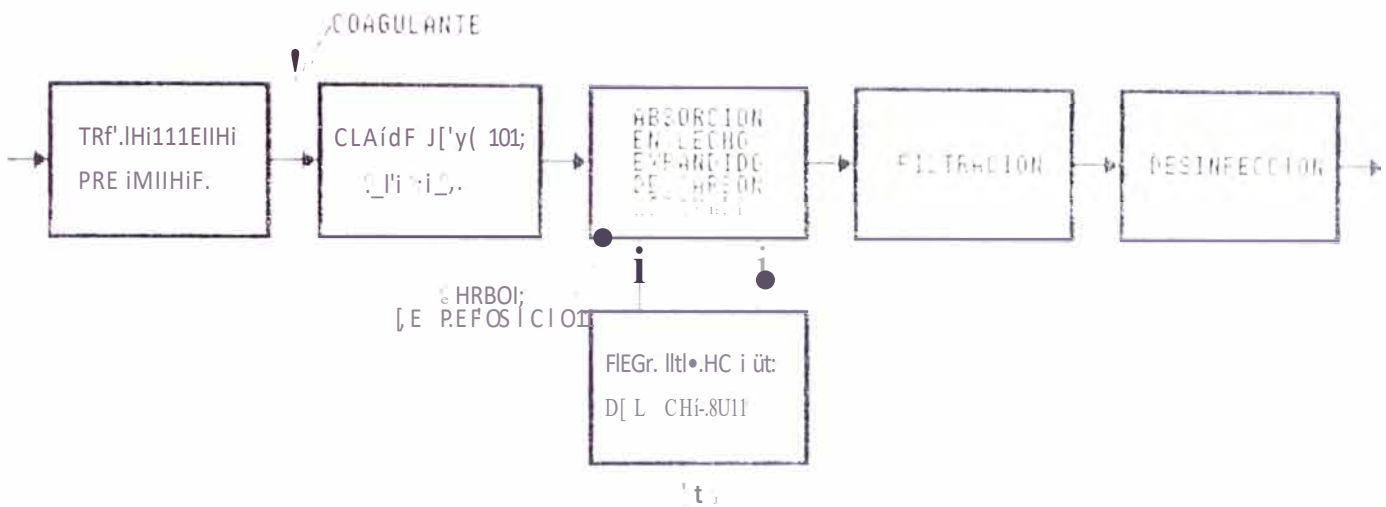
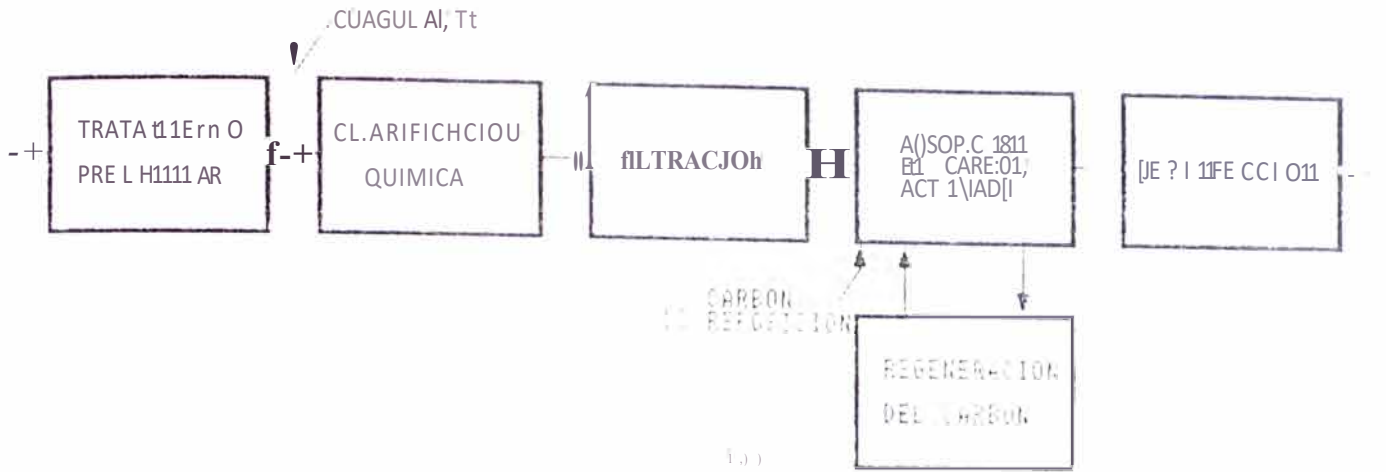


Figura No. 3

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO FÍSICO - QUÍMICO

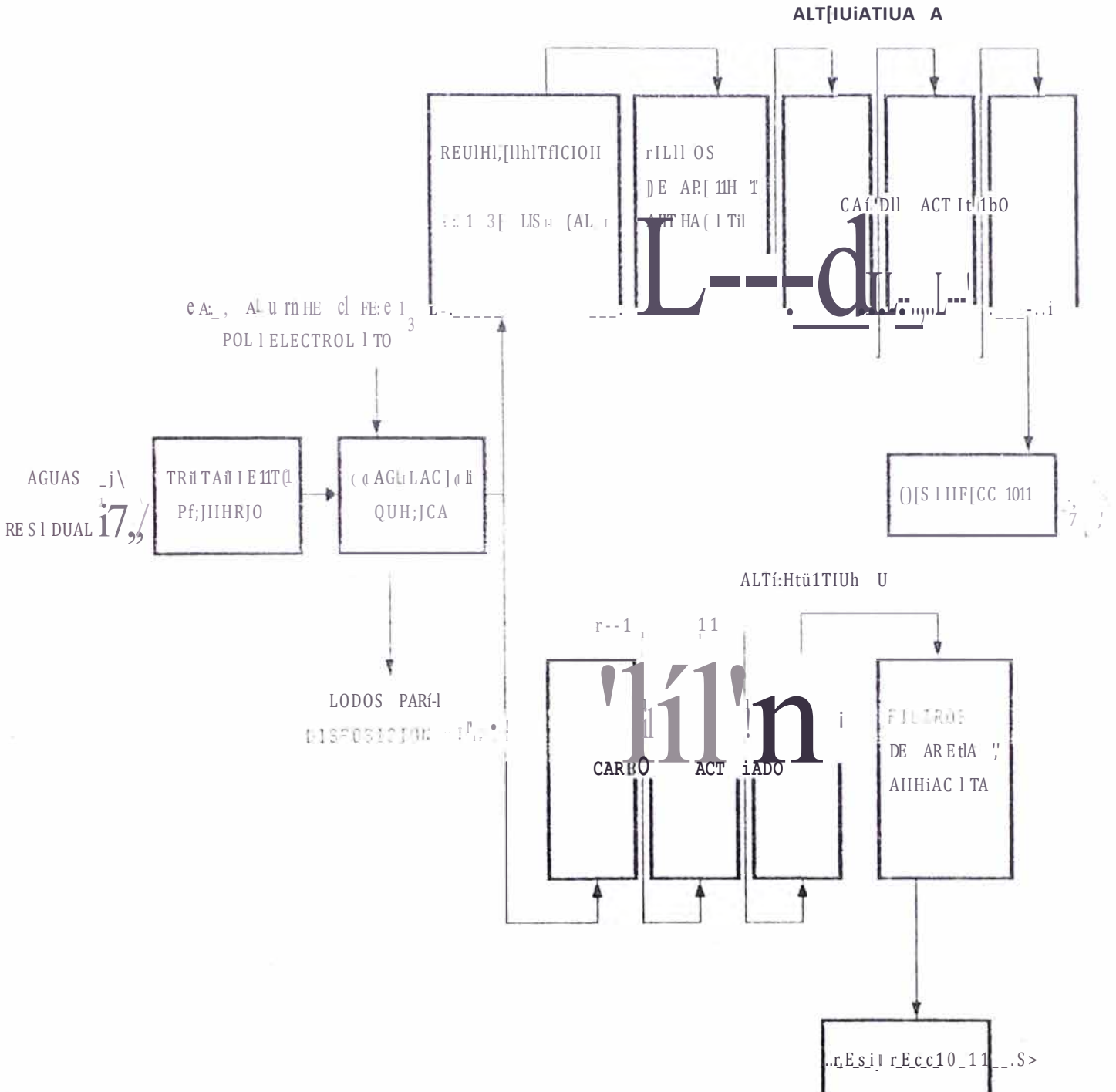


TABLA IV-2 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE ALGUNOS EFLUENTES DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

Parámetro (mg/l)	Stevenage G.B.	Amarillo, Tx.	Refinería (a)	Refinería (b)	Petroquímica (b)
Sólidos Totales	728	557	2900	3000	-
Sólidos Suspendidos	15	11	14	17	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	-	-	10	0	-
0BO ₅	9	10	2	4	11
DQO	63	-	99	112	132
Fosfatos, como P	9.6	9.0	-	-	-
Nitrógeno, como N	43.9	22.3	-	-	-
Cloruros	69	83	-	1640	-
pH	7.6	7.7	6.8	6.6	7.9

a) Lodos Activados

b) Aereación Extendida

TABLA IV-3: PROCESO FISICO QUIMICO PARA LA REMOCION DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

Proceso	Principales Contaminantes Removidos	Remociones Adicionales
Filtración en lechos de arena, antracita, tierra diatomácea o mixtos.	Sólidos Suspendidos	Remoción de B0O, BQO y PO ₄ suspendidos.
Filtración mixta más coagulación.	Sólidos suspendidos, fosfatos, color y turbiedad.	DBO, 0QO y sólidos coloidales.
Coagulación.	Color, turbiedad y PO ₄	DBO y 0QO.
Aereación	NH ₃	Requiere pH alto.
Nitrificación y Desnitrificación.	Nitrógeno.	Reduce la BDO _u .
Adsorción en Carbón Activado	0QO y COT. THMS, VOC, 0BO ₅	Reduce color y sólidos suspendidos.
Intercambio Iónico.	PO ₄ Nitrógeno y Sólidos Disueltos.	Resinas específicas para cada contaminante.
Osmosis Inversa.	Compuestos Orgánicos e Inorgánicos.	Requiere pretratamiento para evitar daños en la membrana. Los residuos a disposición final especial.
Electrodialisis.	Sales inorgánicas.	Idem al anterior.

TABLA VI-2

MPN INDICE Y 95% DE LIMITE DE CONFIABILIDAD PARA VARIAS COMBINACIONES DE RESULTADOS POSITIVOS CUANDO SE USA CINCO TUBOS POR DILUCION (10 ML, 10 ML, 01 ML)

Combinación de Positivos	MPN Index/ 100 mi.	95% Limite de Confiabilidad		Combinación de Positivos	MPN Index/ 100 mi.	95% Limite de Confiabilidad	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo
0-0-0	< 2	-	-	4-2-0	22	9.0	56
0-0-1	2	1.0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1.0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1.0	13	4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
				5-0-0	23	9.0	86
1-0-0	2	1.0	11	5-0-1	30	10	110
1-0-1	4	1.0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-0	4	1.0	15	5-1-0	30	10	120
1-1-1	6	2.0	18	5-1-1	50	20	150
1-2-0	6	2.0	18	5-1-2	60	30	180
				5-2-0	50	20	170
2-0-0	4	1.0	17	5-2-1	70	30	210
2-0-1	7	2.0	20	5-2-2	90	40	250
2-1-0	7	2.0	21	5-3-0	80	30	250
2-1-1	9	3.0	24	5-3-1	110	40	300
2-2-0	9	3.0	25	5-3-2	140	60	360
2-3-0	12	5.0	29				
				5-3-3	170	80	410
3-0-0	8	3.0	24	5-4-0	130	50	390
3-0-1	11	4.0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-0	11	4.0	29	5-4-2	220	100	580
3-1-1	14	6.0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-0	14	6.0	35	5-4-4	350	160	820
3-2-1	17	7.0	40				
				5-5-0	240	100	940
4-0-0	13	5.0	38	5-5-1	300	100	1300
4-0-1	17	7.0	45	5-5-2	500	200	2000
4-1-0	17	7.0	46	5-5-3	900	300	2900
4-1-1	21	9.0	55	5-5-4	1600	600	5300
4-1-2	26	12	63	5-5-5	³ 1600	-	-



APLICACION

Los FILTRADOR F300 y F400 se emplean para la eliminación, en general, de los compuestos orgánicos del agua.

- El producto incluye:
- Contaminantes orgánicos
 - Pesticidas
 - Micro-contaminantes
 - Ácidos húmicos

CARACTERISTICAS Y VENTAJAS

Los filtros TRJ\SORB F300 y F400 ofrecen al usuario lo mejor en rendimiento, área y ventajas:

Características

- Superficie interna muy elevada
- Amplia gama de tamaños de purn
- Son reactivables
- Exactitud en el proceso de fabricación

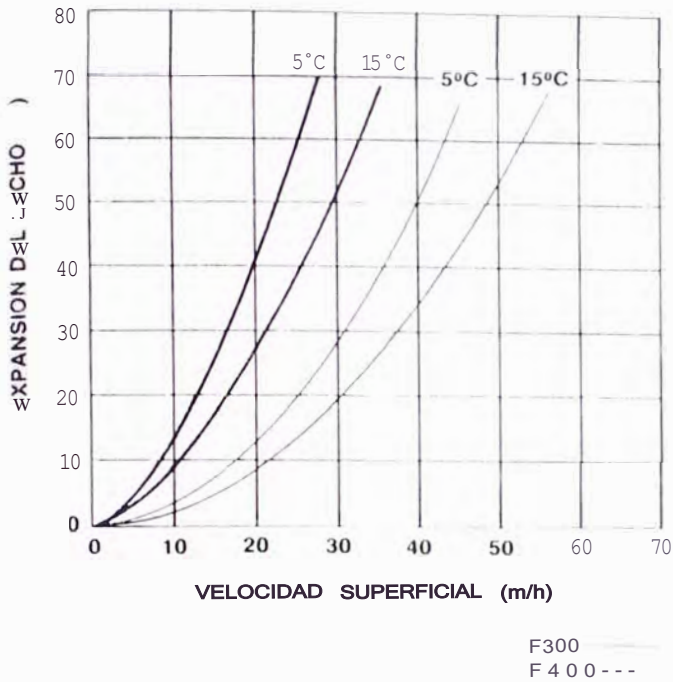
Ventajas para el usuario

- Vida útil larga y largo tiempo de vida
- Los contaminantes orgánicos son eliminados del agua
- F300 y F400 son utilizados y reactivados en el ciclo de plantas de agua en todo el mundo
- Los FILTRADOR se fabrican de calidad, grado de calidad constante, asegurando el mantenimiento de una calidad constante

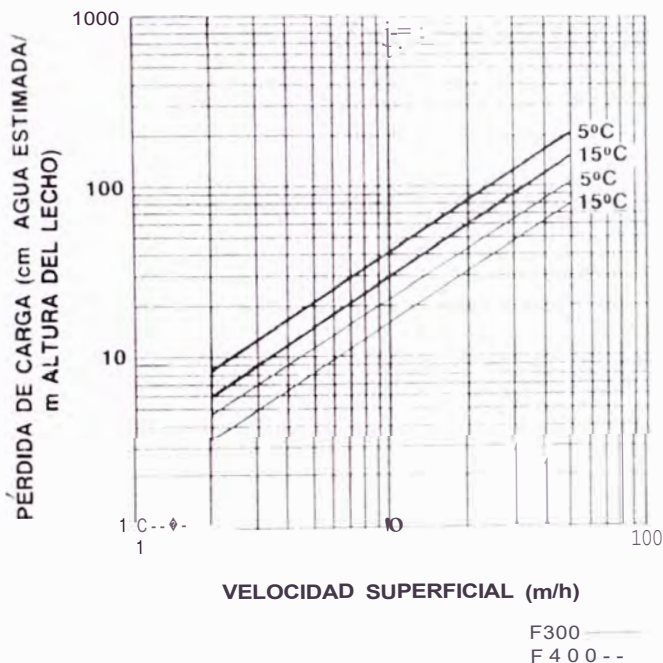
ESPECIFICACIONES

	F300	F400
Indice de yodo, mínimo	100	1000
Tipo de Malla, Serie Je Tamices U.S.		
> 8 malla (2,36 mm), % máximo	15	8
> 12 malla (1,70 mm), % máximo	4	4
< 30 malla (600 micras), % máximo	0.8	0.8
< 40 micras (425 um), % máximo	7	7
Tamaño efectivo, mm	2	2
Indice de abrasión, máximo		
Humedad en el empaquetado, % máximo		

Expansión del lecho del carbón activado, lavado a contracorriente y clasificado



2 Pérdida de carga del caudal descendente a través de un lecho lavado a contracorriente y clasificado



INFORMACION DE DISEÑO

Se sugieren los siguientes parámetros de diseño para el F 100 y el F400:

- Altura del lecho de carbón.....75 cm. mínimo
- Velocidad superficial..... 5-20 l/h
- Umbral de carga..... un 20% de la altura del lecho
- Perdida de carga..... ver gráfico 1, 2

REACTIVACION

Los carbones Filtrasorb han sido fabricados especialmente para su reactivación térmica, con el fin de ser reutilizados. Los usuarios pueden instalar sus propios sistemas de reactivación o activar su carbón en uno de los centros de activación de Calgon Carbon.

EMBALAJE

- Los FILTRASORB están disponibles en:
 - Sacos de polietileno de 4 pliegos, 25 kgs. peso neto
 - Sacos tk 400-500 kgs.

PRECAUCION

El carbón activado húmedo tiende a retirar el oxígeno del aire. El bajo nivel de oxígeno en recintos cerrados o parcialmente cerrados puede alcanzar niveles peligrosos. Si un trabajador va a entrar a un recinto que contiene carbón, se deben seguir los procedimientos apropiados de muestra y de trabajo para espacios potencialmente bajos de oxígeno, incluyendo todos los requisitos federales y estatales correspondientes.

N.B.: Calgon Carbon se reserva el derecho de cambiar los precios de productos de plástico, aluminio, etc.

Para mayores informes sírvase comunicarse con Calgon Carbon Corporation, P.O. Box 717 Pittsburgh, PA 15230-0717 Teléfono: (412) 787-6700 Telex: 671-1837CC Fax: (412) 787-4523



TYPE WPH POWDERED ACTIVATED CARBON FOR WATER TREATMENT

PRODUCT BULLETIN

description and typical applications

Calgon Carbon Type WPH is a high quality, powdered activated carbon specifically designed for the treatment of potable water. It is manufactured from selected grades of bituminous coal under rigidly controlled conditions by high temperature activation. Type WPH provides the user with a large surface area, high pore volume, minimum moisture content powdered activated carbon.

Type WPH is ideally suited for the removal of taste and odor causing constituents such as Cosmin and Methyl Iso Borneol, as well as herbicides and pesticides such as Alachlor, Atrazine and Simazine, and other soluble organic chemical compounds. It can also be used in industrial wastewater and process applications to remove color causing constituents and refractory organic chemicals.

specifications and typical properties

Parameter	Specification	Typical Value
Iodine No. (mg/g)	800 min	850
AWWA Modified Phenol Value (g/l)	3.5 max	2.2-2.8
Moisture, As Packed (%)	5.0 max	2.0
Apparent Density (lbs/cu ft)	46 max	40
Sieve Analysis		
Through 100 Mesh	99 mill	99
200 Mesh	98 min	97
325 Mesh	90 mill	95

Type WPH meets or exceeds all A.W.W.A. standards per specification II-600-78.

packaging

Type WPH is available in bulk truck/bulk rail car or 50 Kraft bags, 50 pounds net weight on 11011-reusable pallets.

For additional information or technical assistance, contact
 the ROII Carbon Corporation, P.O. Box 717,
 Millshurg, PA 15230-0717. Telephone: (412) 787-6700



e11110N e11110N am>on11110N

Magnifloc® 5730C

Floccul11t

type: Liquid, cationic

MAGNIFLOC 5730C flocculant is a liquid, cationic product used for water treatment. It is highly effective in treating turbid water and is easy to use. It is available in various grades and is suitable for use in a wide range of applications.

TYPICAL PROPERTIES

Appearance	Clear, colorless liquid
Specific gravity @ 25°C (77°F)	1.01
Viscosity @ 25°C (77°F)	100 cP
pH	7.0
Stability	Stable in water
Storage temperature	5°C to 30°C (41°F to 86°F)
Shelf life	12 months
Net weight	25 kg (55 lbs)

Environmental Properties

Biodegradable	Yes
Non-toxic	Yes
Non-flammable	Yes
Non-oxidizing	Yes

EPA Status

MAGNIFLOC 5730C is registered with the EPA under the Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA). It is classified as a general use pesticide and is approved for use in a wide range of applications.

ADVANTAGES

- Highly effective in treating turbid water
- Easy to use and mix
- Stable in water
- Non-toxic and non-flammable
- Non-oxidizing
- Long shelf life
- Available in various grades
- Suitable for use in a wide range of applications

PRINCIPAL USES

MAGNIFLOC 5730C is used for the treatment of turbid water in a wide range of applications, including municipal water treatment, industrial water treatment, and wastewater treatment. It is highly effective in removing suspended solids and turbidity from water.

Treatment Level

- 1.0 mg/L
- 1.0 mg/L
- 1.0 mg/L

lication

;N!FLOC 573C flucculc1nt slould lje 111(,t;1c< to 11c
IT usln9 a corrolon-,e::,lsla11), po;1lv<1 d1;pk1<t111t1
p alid diluled 100 1 w1tl c1t; H1 w<1t 1 i H1<1 to 1Jt' lJ
0 110 process streorn re::,l l1;11h .ir,' oll.i111L,d by
s111 l1;1 J st1e1111 ,11d p1d-11u111j 11u1 1111,1tt11ct!
,1pd 111x11u 1)(:yond 111! c1d111u11 1>111

11h and Safety Information

;N!f-1 O C :.)/'1, lloc:culc111l w1::; r1> 11,,rt. lJy 111K'11<11
y s111 co111dcl 111 d1111d le,,l,, llw, i11u,t1<1 w1.,
1e1 1111e111r1j 1D1 1111-1111u lu 111111111 ,,t1Uj1d', 111
d 111S1 111i>e1ld, 11j11 1j

eye 111k'1, 11 resulted wlt1rl M/\C:1 111 <1(: !>./1(w,1.,
id Oll lél1J111S

1110111, CH18S1)1•" 1119 IVdlL:litll ,,il,"j \11,t '111:1
1)é11 1 111(>8 11f01, , H1

Handling and Storage

:;luré\jt: 111 Jc1;,, :;c1111es1 :;ti;d. p1c1-11t; u, L;J)W y 1111, 1
V(,;;t1: 1 UC1111111L:l(lcc) !1o 11U1 11>1 i_11111t\11d1, :;C>jj1h'
tl1 11111 11 i,;ci tl1 :;t,Hch)! 8)'.,\t11il:i

';i,t11, 1 111 !,,; lt1j, 11/ 111;11,d 1/\11 L.1)j1, 111, c11111J,1 ti,
<1 ,v,d,1

11 11\ (il')111 1J1 '1>:11: 11t>, 11111 lit:(;/,;:, dt11111J •,1q1,,>1d
H •k-H,1j<', t 11,1; Ut: 11c1s1vd <111 11,1ti c1111 <11j>11, 11 1,
111,1 t 1111Uk 11U\y

Shipping

f11\ (il'11111, t; '1/.1(; fillu1rl 111 l, :;111p1j, 1 111 ,i q,11, 111
(->00 11t;1) 111H1 (1111 1j 11! :;,lt:d d11111; , 1e111 kcd, 11kl.< 11
1e1 i tl1 11,ftH11,11,11 1111, tk11Vt;1 y, L• 11.11.1 1f•H1
1'1,111, 1111 1 11, 11t',\;1 11,11V; (11 ic1e,; (111, <1

Important Notice

e Informat1011 and sté1ter rlu 1s 1111111 ,11e 1d11 >,k111, 1j .
able 1jut are not to lle col10;tlrt,, 1 i j , \1c111111y <1
lres 11dtD11 for w1 11d 1,ve 1j01111; k-Jcd 1t: 1j J 1j 11t Y
ers :;llou< 1111dt1r télkO :;uf11uu 11v1f f1t, 11111 c1111 tt' ,1' 1j 111
terr 111c 11 1e :;u1tdl ,rlrty lor 1i k1r 11wr 1j Jd1 tru 1d1 1H' 1 , ;
dny 11nor111c1tt01 ur pl oduc.,b rdc11, L11 11 111gr 1 111 J
I\RIANTY Qf=f-1ri'J[SS FO11 \ j' A !{1 ('tJ1 \11 1'1J111'U ;t
MADE. Noll 11nu 11e1 l:11) 15 tu 1Jt; 1c1u11 d1; 1)111 111,;1,11 1
Jucer nent or lecor11 111ndc1t1H1 to pr H,11n: 111y jic1t,1r itcd
,ention w1d,out a licer lse

 **CYANAMID**

\111k1 11;111 C,111<1 lid Cú11 1jé11 11
1,du li 1d1 11Q 1U1.b 1111k1,
W1 111 11e1111 j C1e1111c11'
V1j111e, fu•3Jerst:y 07470

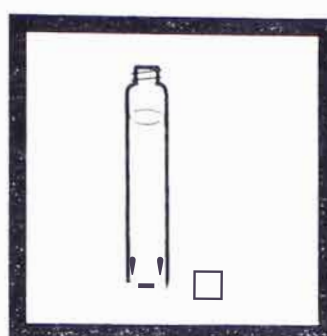
DIOXYGEN DEMAND, CHEMICAL

Method 8000

For water, wastewater and seawater

(Factor Digestion Method*; USEPA approved for reporting wastewater analysis**
(0-150 and 0-1500 ranges))

DIGESTION



1. Homogenize 500 mL of sample for 2 minutes in blender.

2. Turn on the COD Reactor. Preheat to 150 °C. Place the plastic shield in front of the reactor.

3. Remove the cap of a COD Digestion Reagent Vial for the appropriate range:

4. Hold the vial at a 45-degree angle. Pipet 2.00 mL (0.2 mL for the 0 to 15,000 mg/L range) of sample into the vial.

Note: For 15,000 mg/L range: Homogenize 100 mL of sample. Dilute the homogenized sample to a 250-mL beaker and stir with a magnetic stirrer.

Caution: Ensure safety devices are in place to prevent all hazards from splashing should reagent leaking occur.

Sample Concentration Range (mg/L)	COD Digestion Reagent Vial Type
0 to 150	Low Range
0 to 1,500	High Range
0 to 15,000	High Range Plus

Note: For 15,000 mg/L range: Pipet only 0.20 mL of sample. Dilute 2.00 mL using a TenSere Pipet. For greater accuracy a minimum of three replicates should be analyzed and the results averaged.

Note: Blending ensures distribution of solids and improves accuracy and reproducibility.

Note: If samples cannot be analyzed immediately, see Sampling and Storage following these procedures.

Use the cap tool provided to loosen the High Range Plus vials caps.

Note: The reagent mixture is light-sensitive. Keep unused vials in the opaque shipping container, in a refrigerator if possible. The amount of light striking the vials during the test will not affect results.

Note: Spilled reagent will affect test accuracy and is hazardous to skin and other materials. Do not run tests with vials which have been spilled. If contact occurs, wash with running water.

Caution: Some of the chemicals and apparatus used in this procedure may be hazardous to the health and safety of the user if inappropriately handled or accidentally misused. Please read all warnings and the safety section of this manual.

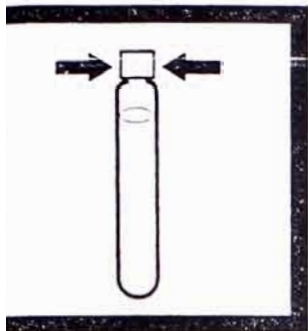
Appropriate eye protection and clothing should be used for adequate user protection. If contact occurs, flush the affected area with running water. Follow instructions carefully.

Note: For proof of accuracy: Use COD standard solutions (preparation given in the Accuracy Check) in place of the sample.

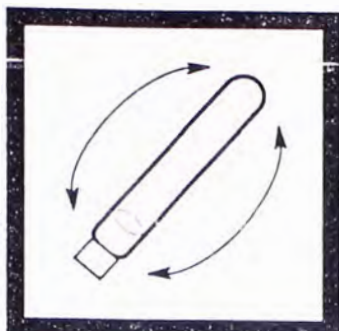
*Jirka, A.M.; Caner, M.J. *Analytical Chemistry*, 1975, 47(8), 1397

**Federal Register, April 21, 1980, 45(78), 26811-26812

OXYGEN DEMAND, CHEMICAL, continued

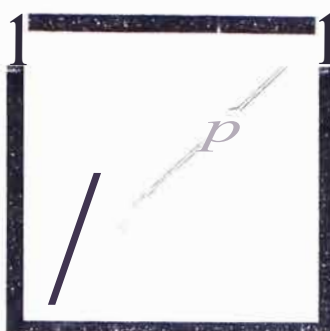


5. Replace the vial cap tightly. Use the cap tool provided, if necessary. Rinse the COD vial with demineralized water and wipe the vial clean with a paper towel.



6. Hold the vial by the cap and invert several times to mix the contents. Place the vial in the preheated COD Reactor.

Note: The vial will become very hot during heating.



7. Prepare a blank by repeating Steps 3 to 6, substituting 2.00 mL (0.2 mg/L for the 0 to 15,000 mg/L range) demineralized water for the sample.

Note: Be sure the pipette is well rinsed, or use a clean pipette.

Note: One blank must be run with each set of samples. All tests (samples and blank) should be run with the same lot of vials. The 0.1 mL marker appears on the container label.

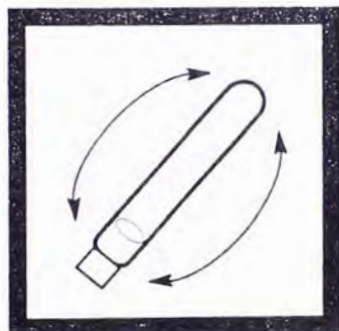


8. Heat the vials for 2 hours.

Note: Any vials that are not completely digested in less than 11.0 hours. If desired, measure the concentration while still in the 15 minute intervals after the reaction remains unchanged. At this point, the sample is completely digested. Cool the vials to room temperature for titration.

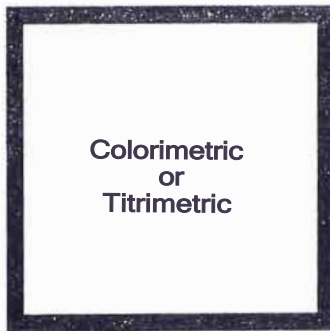


9. Turn the reactor off. Wait about 20 minutes for the vials to cool to 120 °C or less.



10. Invert each vial several times while still warm. Place the vials into a rack. Wait until the vials have cooled to room temperature.

Note: If a pure green color appears in the reacted sample, the reagent capacity may have been exceeded. Measure the COD and, if necessary, repeat the test with a diluted sample.



11. Use one of the following analytical techniques to determine the sample concentration:

- Colorimetric determination, 0 to 150 mg/L COD
- Colorimetric determination, 0 to 1,500 mg/L COD
- Colorimetric determination, 0 to 15,000 mg/L COD
- Buret titration

DOXYGEN DEMAND, CHEMICAL, continued

COLORIMETRIC DETERMINATION, 0 to 150 mg/L COD



1. Enter the stored program number for chemical oxygen demand (COD), low range.

Press: 4 3 0 READ/ENTER

The display will show:
DIAL nm TO 420

Note: DR/2000s with software versions 3.0 and greater will display "P" and the program number.

Note: Instruments with software versions 3.0 and greater will also display "DIAL nm TO" message if the wavelength is already set correctly. The display will show the message in Step 3. Proceed with Step 4.



2. Rotate the wavelength dial until the small display shows:

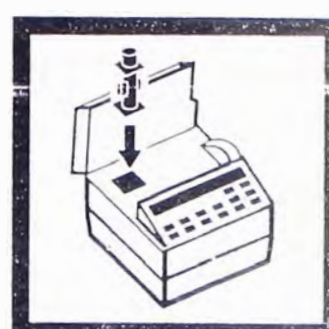
420 nm

Note: Approach the wavelength setting from the higher to lower values.



3. Press: READ/ENTER

The display will show:
mg/l COD L



4. Place the COD Vial Adapter into the cell holder with the mark to the right.



5. Clean the outside of the blank with a towel.

Note: Wiping with a damp towel, followed by a dry one will remove fingerprints or other marks.



6. Place the blank into the adapter with the Hach logo facing the front of the instrument. Place the cover on the adapter.

Note: The blank is stable when stored in the dark; see Blanks for Colorimetric Determination following these procedures.



7. Press: ZERO

The display will show:
WAIT

then:

0. mg/l COD L



8. Clean the outside of the sample vial with a towel.



9. Place the sample vial into the adapter with the Hach logo facing the front of the instrument. Place the cover on the adapter.



10. Press: **READ/ENTER**

The display will show:
WAIT
then the result in mg/L COD will be displayed.

Note: In the constant mode press the READ/ENTER keys, as required. WAIT will appear. When the display stabilizes, read the result.

Note: For more accurate results with samples near 150 mg/L COD, repeat the analysis with a diluted sample.

COLOR, TRUE AND APPARENT (0 to 500 units) For water, wastewater and seawater

Platinum-Cobalt Standard Method*



1. Assemble the filtering apparatus (membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator).

Note: To rest for apparent color. Do not filter: omit Steps 1 to 3.

Note: If sample cannot be analyzed immediately, see Sampling and Storage below.



2. Rinse the filter by pouring about 50 mL of demineralized water through the filter. Discard the rinse water.



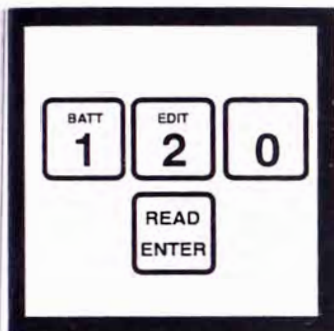
3. Pour another 50 mL of demineralized water through the filter.



4. Fill a sample cell (the blank) with 25 mL of filtered demineralized water. Discard the excess.

Note: For apparent color use unfiltered demineralized water.

Note: The Pour-Thru Cell can be used with this procedure.



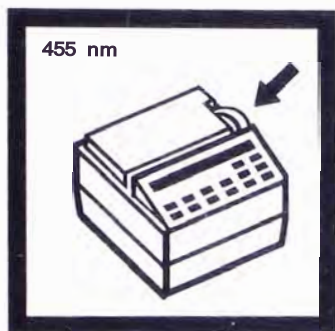
5. Enter the stored program number for true color.

Press: 1 2 0 READ/ENTER

The display will show:
DIAL nm TO 455

Note: DR/2000s with software versions 3.0 and greater will display "P" and the program number.

Note: Instruments with software versions 3.0 and greater will not display "DIAL nm TO" message if the wavelength is already set correctly. The display will show the message in Step 7. Proceed with Step 8.



6. Rotate the wavelength dial until the small display shows:
455 nm



7. Press: **READ/ENTER**
The display will show:
UNITS PtCo COLOR



8. Pour about 50 mL of sample through the filter.

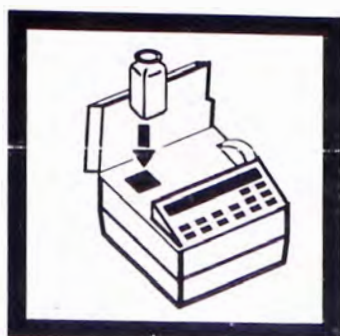
*Adapted from *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

COLOR, TRUE AND APPARENT, continued



9. Fill a second sample cell (the prepared sample) with 25 mL of filtered sample.

Note: For proof of accuracy, use a 250-unit platinum-cobalt color standard solution (preparation given in the Accuracy Check) in place of the filtered sample.



10. Place the blank into the cell holder. Close the light shield.



11. Press: **ZERO**

The display will show:
WAIT

then:
0 UNITS PtCo COLOR



12. Place the prepared sample into the cell holder. Close the light shield.

Press: **READ/ENTER**

The display will show:
WAIT
and then the result in platinum-cobalt units will be displayed.

Note: In the constant-on mode, pressing READ/ENTER is not required. WAIT will be apparent. When the display stabilizes, read the results.

SAMPLING AND STORAGE

Collect samples in clean plastic or glass bottles. Most reliable results are obtained when samples are analyzed as soon as possible after the collection. If prompt analysis is impossible, fill bottles completely and cap tightly. Avoid excessive agitation or prolonged contact with air. Sample can be stored for 24 hours by cooling to 4 °C (39 °F). Warm to room temperature before running the test.

ACCURACY CHECK

Standard Solution Method

A 500 platinum-cobalt units color standard solution is available under Optional Reagents for checking test accuracy. A 250 platinum-cobalt units standard can be made by pipetting 50.0 mL of the 500 platinum-cobalt units standard into a 100-mL volumetric flask and diluting to volume with demineralized water.

SUMMARY OF METHOD

Color may be expressed as "apparent" or "true" color. True apparent color includes that from dissolved materials plus that from suspended matter. By filtering or centrifuging out the suspended materials, the true color can be determined. The procedure describes true color analysis. If apparent color is desired, it can be determined by measuring an unfiltered water sample. The stored program is used for both forms of color. The stored program is calibrated in color units based on the APHA-recommended standard of 1 color unit being equal to 1 mg/L platinum as chloroplatinate ion.

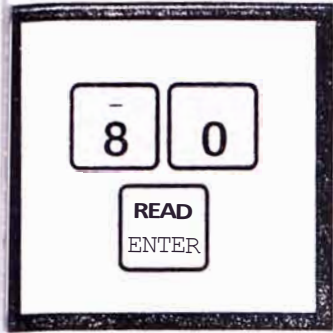
CHLORINE, FREE (0 to 2.00 mg/L)

Method 8021

For water, wastewater and seawater

1) PD Method* (Powder Pillows or AccuVac Ampuls), USEPA accepted for reporting wastewater and drinking water analysis**

USING POWDER PILLOWS



1. Enter the stored program number for free and total chlorine (Cl₂)-powder pillows.

2. Rotate the wavelength dial until the small display shows:

530 nm

3. Press: **READ/ENTER**

The display will show:
mg/l Cl₂

4. Fill a sample cell with 25 mL of sample (the blank). Place it into the cell holder.

Press: **8 0 READ/ENTER**

The display will show:
DIAL nm TO 530

Note: DR/2000s with software versions 3.0 and greater will display "P" and the program number.

Note: Instruments with software versions 3.0 and greater will not display "DIAL nm TO" message if the wavelength is already set correctly. The display will show the message in Step 3. Proceed with Step 4.

Note: Samples must be analyzed immediately and cannot be preserved for later analysis.

*Adapted from Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

**Procedure is equivalent to USEPA method 330.5 for wastewater and Standard Method 4500-Cl₂G for drinking water.

CHLORINE, FREE, continued



5. Press: **ZERO**

The display will show:

WAIT

then:

0.00 mg/l Cl₂



6. Fill another cell with 25 mL of sample.

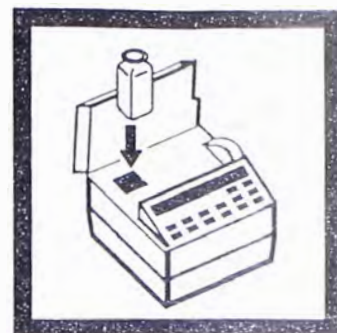


7. Add the contents of one DPD Free Chlorine Powder Pillow to the sample cell (the prepared sample). Stopper the sample cell and shake for 20 seconds. Remove stopper.

Note: A pink color will develop if free chlorine is present.

Note: Accuracy is not affected by undissolved powder.

Note: Shaking the cell dissipates bubbles which may form in samples containing dissolved gases.



8. Immediately (within one minute of reagent addition) place the prepared sample into the cell holder. Close the light shield.

Note: The Pour-Thru Cell can be used with this procedure. It is rinsed shortly after each analysis with demineralized water.

Note: Do not push SHIFT TIMER. Proceed immediately to Step 9.



9. Press: **READ/ENTER**

The display will show:

WAIT

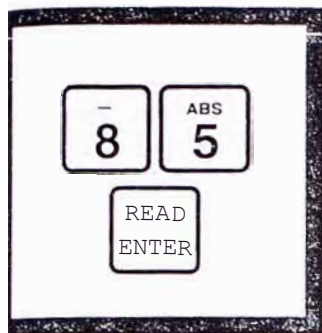
then the result in mg/L chlorine (Cl₂) will be displayed.

Note: If the sample temporarily turns yellow after reagent addition, or shows OVER-RANGE, dilute a fresh sample and repeat the test. A slight loss of chlorine may occur because of the dilution. Multiply the result by the appropriate dilution factor (see Sample Dilution Techniques in Section D).

Note: In the constant-on mode, pressing READ/ENTER is not required. WAIT will not appear. When the display stabilizes, read the result.

:HLORINE, FREE, continuect

USING ACCUVAC AMPULS



1. Enter the stored program number for free total chlorine (Cl₂)-AccuVac ampuls.

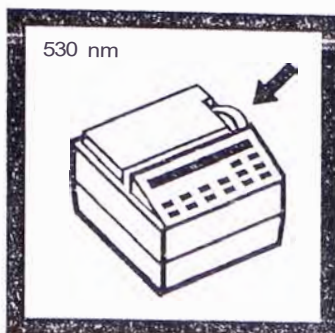
Press: 8 5 READ/ENTER

The display will show:
DIAL nm to 530

Note: DRF-000s with software versions 3.0 and greater will display "P" and the program number.

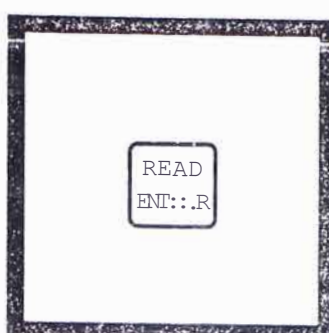
Note: Instruments with software versions 3.0 and greater will display "DIAL nm TO" message if the wavelength is already set correctly. The display will show the message in Step 3. Proceed with Step 4.

Note: Samples must be analyzed immediately and cannot be preserved for later analysis.



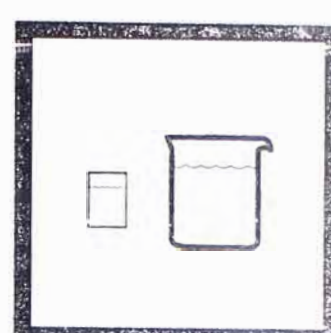
2. Rotate the wavelength dial until the small display shows:

530 nm

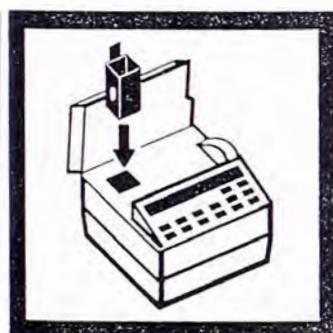


3. Press: **READ/ENTER**

The display will show:
mg/l Cl₂ AV

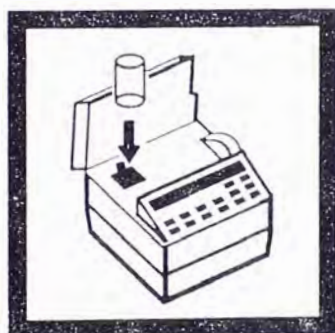


4. Fill a zeroing vial (i.e., blank) with at least 10 mL of sample. Collect at least 10 mL of sample in a 50-mL beaker.



5. Place the AccuVac Vial Adapter into the cell holder of the instrument.

Note: Place the grip tab at the rear of the cell holder.



6. Place the blank into the cell holder. Close the light shield.



7. Press: **ZERO**

The display will show:
WAIT

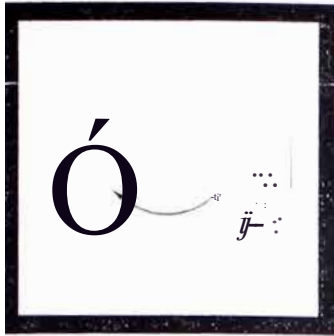
then:
0.00 mg/l Cl₂ AV



8. Fill a DPD Free Chlorine Reagent AccuVac Ampul with sample.

Note: Keep the tip immersed while the ampulls complete.

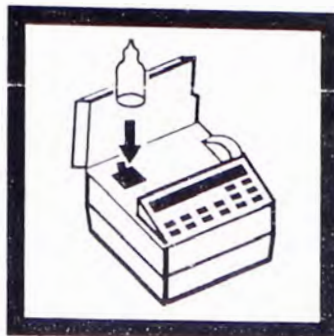
CHLORINE, FREE, continuect



9. Quickly invert the ampul several times to mix. Wipe off any liquid or fingerprints.

Note: A pink color will form if free chlorine is present.

Note: Accuracy is not affected by undissolved powder.



10. Immediately (within one minute of sample addition) place the AccuVac ampul into the cell holder. Close the light shield.

Note: Do not press SHIFT TIMER. Proceed immediately to Step 11.



11. Press READ/ENTER

The display will show:

WAIT

then the result in mg/L Cl₂ will be displayed. - -

Note: If the sample temporarily turns yellow after sample addition, or shows OVER-RANGE, allow a fresh sample and repeat the test. A slight loss of chlorine may occur due to the dilution. Multiply the result by the appropriate dilution factor (see Sample Dilution Techniques in Section 1).

Note: In the continuous mode, pressing READ/ENTER is not required. WAIT will not appear. When the display switches, read the result.

ACCURACY CHECK

Standard Additions Method

- a) Snap the top off a Chlorine Voluette Ampule Standard Solution.
- b) Use the TenSette Pipet to add 0.1, 0.2 and 0.3 mL of standard to three 25-mL samples. Swirl gently to mix. (For AccuVac ampuls, use 50-mL beakers.)
- c) Analyze each sample as described above. Each 0.1 mL of standard will cause an incremental increase in chlorine, the exact value of which depends on the concentration in the Voluette. Check the certificate enclosed with the Voluettes for this value.
- d) If these increases do not occur, see *Standard Additions* in Section 1 for more information.

PRECISION

In a single laboratory, using a standard solution of 1.00 mg/L chlorine and two representative lots of reagents with the DR/2000, a single operator obtained standard deviations of ± 0.012 mg/L chlorine.

In a single laboratory, using a standard solution of 1.10 mg/L chlorine and two representative lots of AccuVac ampuls with the DR/2000, a single operator obtained a standard deviation of ± 0.009 mg/L chlorine.

CHLORINE, FREE, continued

INTERFERENCES

Samples containing more than 250 mg/L alkalinity or 150 mg/L acidity as CaCO₃ may not develop the full amount of color, or it may instantly fade. Neutralize these samples to a pH of 6 to 7 with 1 N sulfuric acid, or 1 N sodium hydroxide. Determine the amount required on a separate 25-mL sample; then add the same amount to the sample to be tested.

Samples containing monochloramine will cause a gradual drift to higher chlorine readings. When read within one minute of reagent addition, 3.0 mg/L monochloramine will cause an increase of less than 0.1 mg/L in the free chlorine reading.

Bromine, iodine, ozone and oxidized forms of manganese and chromium also may react and show as chlorine. To compensate for the effects of manganese (Mn²⁺) or chromium (Cr⁶⁺), adjust pH to 6 to 7 as described above, then add 3 drops of potassium iodide,

30 g/L, to 25 mL of sample, mix and wait 1 minute. Add 3 drops of sodium arsenite, 5 g/L, and mix. Analyze this sample as described above. (If chromite is present, allow exactly the same reaction period with the DPD for both analyses.) Subtract the result of the test from the original analysis to obtain the accurate chlorine result.

DPD Free Chlorine Reagent Powder Pillows and AccuVac Ampuls contain a buffer formulation which will withstand high (at least 1000 mg/L) levels of hardness without interference.

SUMMARY OF METHOD

Chlorine in the sample as hypochlorous acid or hypochlorite ion (free chlorine or free available chlorine) immediately reacts with DPD (N,N'-diethyl-p-phenylenediamine) indicator to form a red color which is proportional to the chlorine concentration.

REQUIRED REAGENTS (Using Powder Pillows)

Description	Quantity Required Per Test	Unit	Cat. No.
DPD Free Chlorine Reagent Powder Pillows, 25 mL	1 pillow	100/pkg	14070-gq

REQUIRED REAGENTS (Using AccuVac Ampuls)

DPD Free Chlorine Reagent AccuVac Ampuls	1 ampul	25/pkg	14070-gq
--	---------	--------	----------

REQUIRED APPARATUS (Using Powder Pillows)

Clippers, for opening powder pillows	1	each	968-00
Stopper, rubber, No 2	1	12/pkg	2118-02

REQUIRED APPARATUS (Using AccuVac Ampuls)

Adapter, AccuVac vial	1	each	1-3784-10
Beaker, 50 mL	1	each	100-1-1
Vial, Zeroing	1	each	21228-00

OPTIONAL REAGENTS

Chlorine Standard Solution, Voluette ampule, 50-75 mg/L, 10 mL	16/pkg	14268-10
Potassium Iodide Solution, 30 g/L	100 mL* MDB	343-32
Sodium Arsenite, 5 g/L	100 mL* MDB	1047-11
Sodium Hydroxide Standard Solution, 1.000 N	100 mL* MDB	1045-32
Sulfuric Acid Standard Solution, 1.010 N	100 mL* MDB	1270-32
Water, demineralized	4 L	272-56

CHLORINE, FREE, continued

OPTIONAL APPARATUS

AccuVac Snapper Kit	each	24052-DO
Ampule Breaker Kit	each	2190-31
Cylinder, graduated, 25 mL, poly	each	1081-H
Graph Paper, linear	100/pkg	22313-00
pH Meter, Hach One	each	43800-00
Pipet, Tensette, 0.1 to 10 mL	each	19700-01
Pipet Tips, for 19700-01 TenSette Pipet	50/pkg	21856-00
Pour-Thru Cell Assembly Kit	each	15215-00

For additional ordering information, see final section.
In the U.S.A. call 800-227-4224 to place an order.

*Contact Hach for larger sizes.