



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE
OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y
BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE
FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS, MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA
DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE
CARBÓN ACTIVADO**

Priscila Guadalupe Muñoz Monzón

**Asesorado por: Lic. Guillermo Antonio Álvarez Monzón,
Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera**

Guatemala, septiembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE
OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y
BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA
DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS, MEDIANTE UNA TORRE
EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES
GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PRISCILA GUADALUPE MUÑOZ MONZÓN

ASESORADO POR: LIC. GUILLERMO ANTONIO ÁLVAREZ MONZÓN
INGA. LORENA VICTORIA PINEDA CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS, MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVADO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 23 de marzo de 2009.

Priscila Guadalupe Muñoz Monzón

DEDICATORIA

Porque has sido mi fortaleza en los momentos más duros de mi vida, y me has permitido las alegrías más grandes siendo hoy una de ellas, esto es dedicado a ti Santísima Trinidad, y para ti señora, que ya quisiera poder tener un mínimo de tu humildad, obediencia y sencillez, gracias María, porque siempre has intercedido por mí, este triunfo es para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mis papás, Ricardo y Guadalupe, por madrugar y desvelarse conmigo, por esforzarse para poderme dar todo lo que he necesitado, porque son ciudadanos de bien que han trabajado incansablemente dándome el ejemplo que el éxito se logra de esta manera, y por el solo hecho de traerme a este mundo, muchas gracias.

Porque siempre tuvieron una palabra de aliento cada vez que sentí no poder más, y a pesar de la distancia me brindaron cariño, tía Ana y tía Esther, están en mi corazón.

Porque me dejaste los mejores recuerdos de mi niñez y sé que hoy estuvieras orgullosa de verme en este acto, gracias abuelita María, por tanto amor y alegría que me diste.

Porque no les ha quedado de otra que compartir su vida conmigo y hemos tenido los momentos más felices que opacan lo malo que pueda habernos sucedido, por las peleas y alegrías que nos quedan por vivir, gracias Alma,

Pedro, Pamela y Mossi, que sin sus apodos, rasguños y bromas mi camino hasta aquí hubiera sido de lo más aburrido.

Porque has sido el contrapeso en la balanza de mi vida para mantenerla equilibrada, eres mi isómero, siendo tan igual y tan diferente a la vez que te convierte en mi complemento, gracias Héctor, mi amor, porque cuando siento no poder, tú no dudas de mí y me alientas a lograrlo.

Porque con algunos he estado toda mi vida y estos años de estudio fueron agradables, divertidos e inigualables, en cada uno encuentro un valor por practicar día con día y son: Bea solidaridad, Guille perseverancia, Isaac valentía, Mario alegría, Marcela sencillez, David sinceridad, Claudia sensatez, William sabiduría y Eva paciencia, gracias, porque han estado en las buenas y en las malas.

A la empresa Bayer, S.A. división BayerCropScience, por abrirme las puertas para realizar mi trabajo de graduación y poner a mi disposición las instalaciones necesarias para su realización, en especial, a don Guillermo que me demostró que a pesar de tener una vida profesional con prosperidad, se puede conservar la humildad, sencillez y amor al prójimo, para lograr un trabajo exitoso.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de Ingeniería, gracias por ser mi segunda casa en estos años de estudio, por brindarme la educación necesaria, tanto para mi carrera como en todos los aspectos de mi vida, con orgullo diré que soy sancarlista.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE
OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y
BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE
FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS, MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA
DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE
CARBÓN ACTIVADO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 23 de marzo de 2009.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Priscila Guadalupe Muñoz Monzón', enclosed within a large, loopy oval shape.

Priscila Guadalupe Muñoz Monzón

Bayer



Guatemala, 3 de Julio de 2009.

Ingeniero Williams Guillermo Alvarez Mejía
Director de Esc. de Ingeniería Química
Universidad San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Alvarez:

Por este medio hago constar que yo he supervisado el trabajo de E.P.S. de la señorita Priscila Guadalupe Muñoz Monzón.

Apruebo el contenido el informe final de E.P.S. de la señorita Muñoz.

El título de dicho informe es: "Neutralización y Reducción de la Demanda Química de Oxígeno en Agua Residual durante las Etapas Química y Biológica de la Planta de Tratamiento de una Industria de Fabricación de Agroquímicos mediante una Torre Empacada de Un Solo Lecho Utilizando como Empaques Gránulos de Carbón Activado"

Atentamente,

Lic. Guillermo Alvarez

Guillermo Antonio Alvarez M.

QUÍMICO
Colegiado No. 1256

BAYER, S. A.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 15 de julio de 2009.
Ref.EPS.DOC.848.07.09.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Priscila Guadalupe Muñoz Monzón** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200312461**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVADO”**.

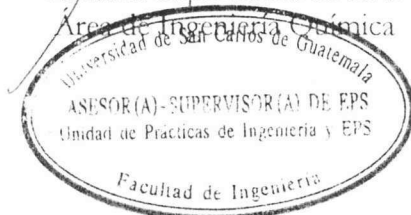
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
LVPC/ra



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 15 de julio de 2009.
Ref.EPS.D.389.07.09.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVADO"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Priscila Guadalupe Muñoz Monzón**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

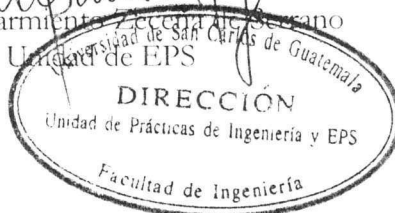
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecón de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 26 de Agosto de 2009
Ref. 458 EIQ..2009

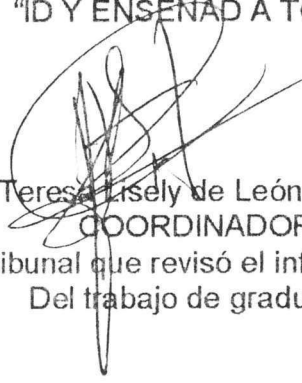
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta EPS-085-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **PRISCILA GUADALUPE MUÑOZ MONZÓN**, identificada con carné No. **2003-12461**, titulado: **"NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVADO"**, el cual ha sido asesorado por el Licenciado en Química Guillermo Álvarez, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Muñoz Monzón** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación


ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación de la estudiante **PRISCILA GUADALUPE MUÑOZ MONZÓN** titulado: **“NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS, MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVO”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, septiembre de 2009



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **NEUTRALIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUA RESIDUAL DURANTE LAS ETAPAS QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UNA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE AGROQUÍMICOS, MEDIANTE UNA TORRE EMPACADA DE UN SOLO LECHO UTILIZANDO COMO EMPAQUES GRÁNULOS DE CARBÓN ACTIVADO**, presentado por la estudiante universitaria Priscila Guadalupe Muñoz Monzón, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, septiembre de 2009

/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO.....	VIII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Agitación.....	1
1.1.1 Tanques agitados mecánicamente.....	1
1.1.2 Agitación mecánica de líquidos en una sola fase.....	2
1.1.2.1 Impulsores.....	2
1.2 Adsorción.....	6
1.3 Filtración.....	7
1.3.1 Filtración de líquidos por contacto.....	7
1.4 Lechos bacterianos.....	8
1.4.1 Bio-película.....	8
1.4.2 Depósito.....	8
1.4.3 Material de soporte.....	9
1.5 Agroquímicos.....	10
1.5.1 Definiciones de agroquímicos.....	10
1.5.2 División de agroquímicos.....	10
1.5.2.1 Plaguicidas.....	10

1.5.2.2 Fertilizantes.....	11
1.6 Carbón activado.....	11
1.6.1 Materiales de partida.....	11
1.6.2 Tipos de activación.....	13
1.6.2.1 Activación térmica.....	13
1.6.2.2 Activación química.....	15
1.6.3 Tipos de carbones activados.....	18
1.6.3.1 Carbón activado en polvo.....	19
1.6.3.2 Carbón activado granular.....	19
1.6.3.3 Carbón activado troceado.....	19
1.6.3.4 Carbón activado conformado.....	19
1.7 Tierra de diatomeas.....	20
1.8 Análisis de varianza.....	24
1.8.1 Análisis de varianza para el diseño de bloques aleatorizados.....	24
1.8.2 Análisis de varianza para el diseño completamente aleatorizado.....	27
1.8.2.1 Fundamentos del anova.....	28
2. METODOLOGÍA.....	31
2.1 Definición de variables.....	31
2.1.1 Demanda química de oxígeno.....	31
2.1.2 pH.....	31
2.2 Delimitación de campo de estudio.....	31
2.2.1 Operaciones unitarias.....	31
2.2.1.1 Agitación.....	31
2.2.1.2 Filtración.....	32
2.2.1.3 Lechos biológicos.....	32

2.2.2	Análisis físico-químicos.....	32
2.2.2.1	Medición de D.Q.O.....	32
2.2.2.2	Medición de pH.....	33
2.3	Recursos humanos disponibles.....	33
2.4	Recursos materiales disponibles.....	34
2.5	Recursos financieros disponibles.....	35
2.6	Técnicas cualitativas y cuantitativas.....	36
2.6.1	Técnicas cualitativas.....	36
2.6.2	Técnicas cuantitativas.....	36
3.	RESULTADOS	37
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES.....	45
	BIBLIOGRAFÍA	47
	APÉNDICE “A”	49
	APÉNDICE “B”	50
	APÉNDICE “C”	57
	ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Impulsores con proporciones típicas	2
2	Agitación del líquido en presencia de una interfaz gas-líquido con o sin mampara de pares	5
3	Diagrama de los diferentes procesos que pueden tener lugar en la activación térmica	15
4	Diagrama de la activación química	18
5	Tipos de carbón activado	20
6	Comportamiento de pH de los cuatro lotes durante las etapas	37
7	Comportamiento de D.Q.O. de los cuatro lotes durante las etapas	38
8	Gráfica de control del proceso para pH	52
9	Reactor	54
10	Filtro	55
11	Reactor	56
12	Planta de tratamiento	57
13	Diagrama de flujo de planta de tratamiento	58
14	Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos	60

15	Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos, continuación figura 14
----	---

61

TABLAS

I	Reacciones para activación de carbón	14
II	Tratamiento contra Bloques	25
III	Presupuesto de planta de tratamiento	35
IV	Datos originales de pH medidos en el tratamiento de agua residual en la planta	46
V	Datos originales de D.Q.O. medidos en el tratamiento de agua residual en la planta	47
VI	Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño Completamente Aleatorizado para datos de D.Q.O.	48
VII	Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño Completamente Aleatorizado para datos de pH	49
VIII	Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño de Bloques Aleatorios para datos de D.Q.O.	50
IX	Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño de Bloques Aleatorios para datos de pH	50
X	Datos de pH para gráficas de control	51
XI	Comparación de métodos de análisis estadísticos para D.Q.O.	53
XII	Comparación de métodos de análisis estadísticos para pH	53
XIII	Comparación de métodos de análisis estadísticos para pH	58

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ZnO	Óxido de zinc
H	Hidrógeno
S	Azufre
CO ₂	Dióxido de carbono
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
O ₂	Oxígeno
C	Carbono
ZnCl ₂	Cloruro de zinc
H ₂ O	Agua
KOH	Hidróxido de potasio
°C	Grados centígrados
h	Hora
%	Porcentaje
m O/L	Miligramos de oxígeno por litro
CAP	Carbón activado en polvo
CAG	Carbón activado granular
k	Número de tratamientos

b	Número de bloques
B_j	Variabilidad atribuida al bloque
ϵ_{ij}	Variabilidad no explicada
F	La prueba F de Fischer
D.Q.O.	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial de hidrógeno
f	La prueba F de Fischer
L	Litro

GLOSARIO

Anova	La palabra anova es una abreviatura del idioma inglés <i>Analysis of Variance</i> , y significa análisis de varianza, su equivalente castellano es Andeva.
Agroquímico	Denominación que reciben plaguicidas y fertilizantes químicos, sustancias líquidas, gaseosas o en polvo, usadas para proporcionar nutrientes, eliminar maleza, hongos y algunas algas, matar insectos, microorganismos, nematodos y gusanos de suelo, eliminar roedores, entre otros.
Bio-película	Es la capa de microorganismos que crecen adhiriéndose al material soporte.
Carbón activado	El carbón activado es un derivado del carbón que ha sido tratado de manera de convertirlo en un material extremadamente poroso, y por lo tanto, posee un área superficial muy alta que torna muy eficiente los fenómenos de adsorción o las reacciones químicas.

Celite	Las diatomeas son algas marinas microscópicas, de composición unicelular, de formas y tamaños variados, y con aproximadamente 5,000 especies. Todas ellas están compuestas por una pared celular transparente, con una capa externa translúcida de sílice semejante al cristal y una capa interna de pectina. Cuando la célula muere, todo el contenido orgánico se destruye, con excepción de su esqueleto (valvas o frústulas) de sílice, las cuales generalmente van a depositarse al fondo de las aguas, para formar al cabo de siglos grandes depósitos de algas fosilizadas conocidos como tierra de diatomeas (celite) o diatomitas, que es un material inerte no tóxico.
Coadyuvante	Ayudan a mejorar la efectividad o eficiencia de aplicación de herbicidas, insecticidas, funguicidas, fertilizantes foliares, hormonas, etc., reduciendo la tensión superficial, actuando como humectante, emulsionante, dispersante y adherente.
Floculante	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
D.Q.O.	La demanda química de oxígeno (D.Q.O.) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra

líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O₂/litro.

Lecho Bacteriano Es un sistema biológico aerobio de cultivo fijado a un medio soporte o relleno, por el cual el agua residual discurre transversalmente sin llegar a inundarlo y permitiendo que en los huecos del relleno haya el aire suficiente para la oxigenación de la bio-película desarrollada.

Gránulos Es la traducción de *pellet* que es una denominación genérica, no española, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. El término es utilizado para referirse a diferentes materiales.

RESUMEN

Se realizaron dos etapas: química y biológica, la primera consistió en introducir 2,700 litros de agua al agitador, se midió el pH y se realizó una neutralización y se mantuvo dentro del rango de pH de 6.5 a 7.5, se tuvo un valor de la D.Q.O. menor o igual a 2,000 mg O/L, se agregó carbón activado en polvo, se agregó floculante para atrapar los sólidos suspendidos, se agregó un coadyuvante para aumentar la capacidad de filtración del papel, llamado celite o tierra de diatomeas, se filtró el agua, el valor de la D.Q.O. al terminar esta etapa fue menor a 500 mg O/L.

La segunda etapa consistió en realizar la siembra de bacterias en una torre empacada; adentro contiene gránulos de carbón activado que fueron el medio en donde vivieron las bacterias, se utilizó lodos que se vertieron dentro de la torre empacada, se comenzó a circular el agua del primer lote, conjuntamente se circuló aire a contra-corriente del agua en la torre empacada por cuatro semanas. En la cuarta semana se disminuyó la D.Q.O. a un valor menor a 100 mg O/L.

Se realizó una comparación de análisis estadísticos para los resultados obtenidos, para ver el cumplimiento de los objetivos planteados.

OBJETIVOS

◆ General:

Neutralizar y reducir la D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno) en agua residual durante las etapas química y biológica de la planta de tratamiento de una industria de fabricación de agroquímicos, mediante una torre empacada de un solo lecho utilizando como empaques gránulos de carbón activado.

◆ Específicos:

1. Neutralizar y mantener el pH del agua residual dentro del rango de 6.5 a 7.5 durante las etapas química y biológica.
2. Reducir la D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno) al finalizar la etapa química a un valor menor o igual a 500 mg O/L.
3. Reducir la D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno) al finalizar la etapa biológica a un valor menor o igual a 100 mg O/L.

INTRODUCCIÓN

La empresa Bayer, S.A. está comprometida en ayudar en la reducción de la contaminación ambiental, es por eso que utiliza plantas de tratamiento en sus distintas sedes, para tratar el agua de limpieza de los equipos, ya que la cantidad de agua utilizada es grande, como no puede ser desechada se almacena en toneles y con el paso del tiempo se ha ido acumulando y resulta ser problema en la empresa.

En la planta de tratamiento se realizan dos etapas, química y biológica. La etapa química consiste en neutralizar el agua, agregar celite y carbón activado, se agita y se filtra, posteriormente se inicia la etapa biológica, la que consiste en una torre empacada que adentro contiene gránulos de carbón activado en los que se cultivan bacterias, que son las que realizan el trabajo de procesar la materia orgánica que contiene el agua residual. Durante todo el proceso se deben controlar estas variables: pH, se neutraliza y se debe mantener en el intervalo de 6.5 a 7.5; y la D.Q.O (Demanda Química de Oxígeno), ésta última debe presentar una disminución que sea menor o igual a 100 mg O/L a la salida de la torre empacada.

Finalmente, se realizó una comparación de métodos estadísticos con los resultados obtenidos de pH y D.Q.O. para confirmar el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua y determinar si el tratamiento realizado al agua residual es el indicado para cada lote.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agitación

1.1.1 Tanques agitados mecánicamente

La agitación mecánica de un líquido, efectuada por lo general mediante un aparato giratorio, es adecuada en especial para dispersar sólidos, líquidos o gases en líquidos, y se utiliza para muchas de las operaciones de transferencia de masa. Los agitadores pueden producir intensidades de turbulencia muy elevadas (u' / u promedio tan elevadas como 0.35 m), con rangos hasta 0.75 en la vecindad de un impulsor de agitación, en contraste con aproximadamente 0.04 para el flujo turbulento en tuberías; dichas intensidades no solo producen buenos coeficientes de transferencia de masa, sino que también son necesarios para obtener una dispersión efectiva de líquidos y gases. Velocidades elevadas para los líquidos, particularmente deseables cuando se tienen sólidos en suspensión, pueden obtenerse con facilidad.

Será útil establecer inicialmente las características de estos tanques, cuando se utilizan simplemente para agitar líquidos con una sola fase; cuando se emplean, por ejemplo, para mezclar. Posteriormente se considerarán por separado las aplicaciones a operaciones particulares de transferencia de masa.

1.1.2 Agitación mecánica de líquidos en una sola fase

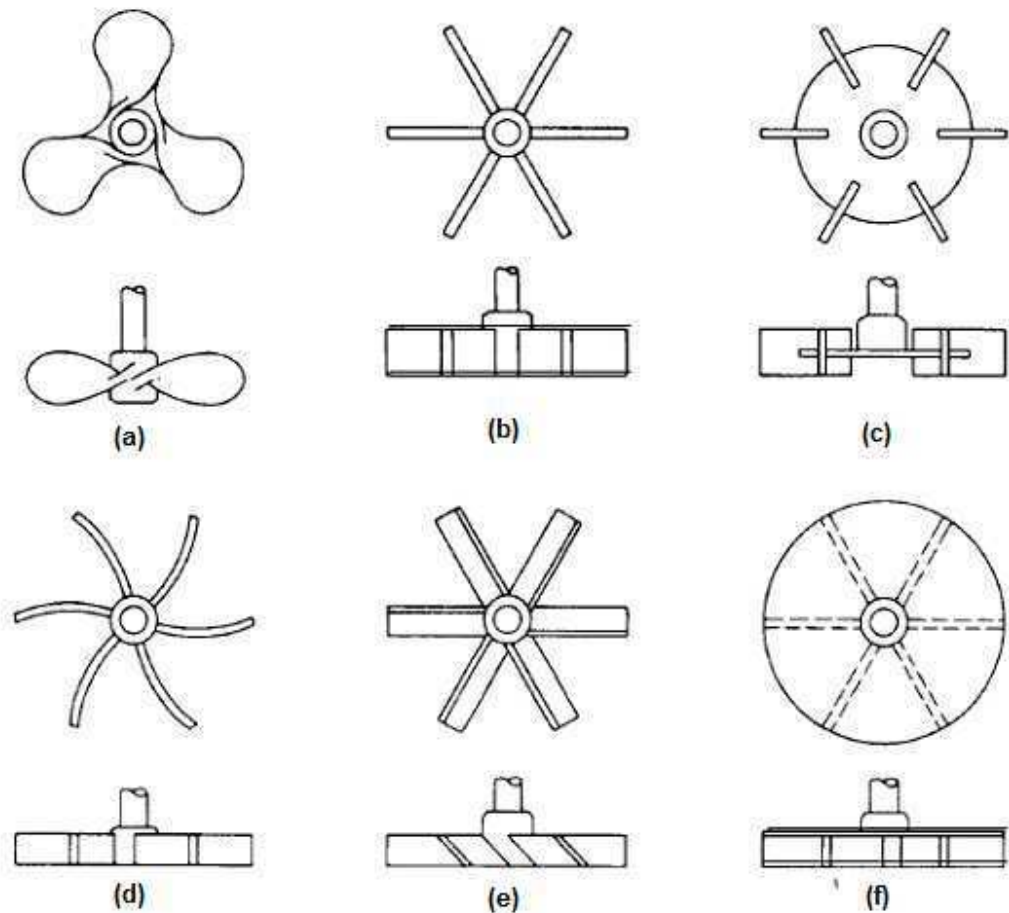
Los típicos tanques con agitación son cilindros verticales, circulares; los tanques rectangulares son poco usuales, aun cuando no son raros en algunas aplicaciones de extracción de líquidos. Los líquidos generalmente se mantienen a una profundidad de uno a dos diámetros del tanque.

1.1.2.1 Impulsores

Hay muchos diseños. El análisis, aquí, se va a limitar a los más populares, como se muestra en la figura No.1. Generalmente, están montados sobre un eje movido por un motor y arreglado en forma axial, como en la figura No.2. En particular, en los de menor tamaño, el impulsor y el eje pueden entrar en el tanque formando un ángulo con el eje del tanque, con la guía del motor unida al borde del tanque.

Característicamente los propulsores de tipo marino, figura No.1a, se operan a velocidad relativamente elevada, particularmente en líquidos con baja viscosidad; son especialmente útiles por su gran capacidad para la circulación del líquido. Generalmente, la relación entre el diámetro del impulsor y el diámetro del tanque, d_{JT} , se fija a 1:5 o menos. El flujo del líquido es axial y el propulsor está puesto de tal forma que produce un flujo descendente hacia el fondo del tanque.

Figura 1. Impulsores con proporciones típicas



Fuente: Robert E. Treybal

Operaciones de Transferencia de Masa

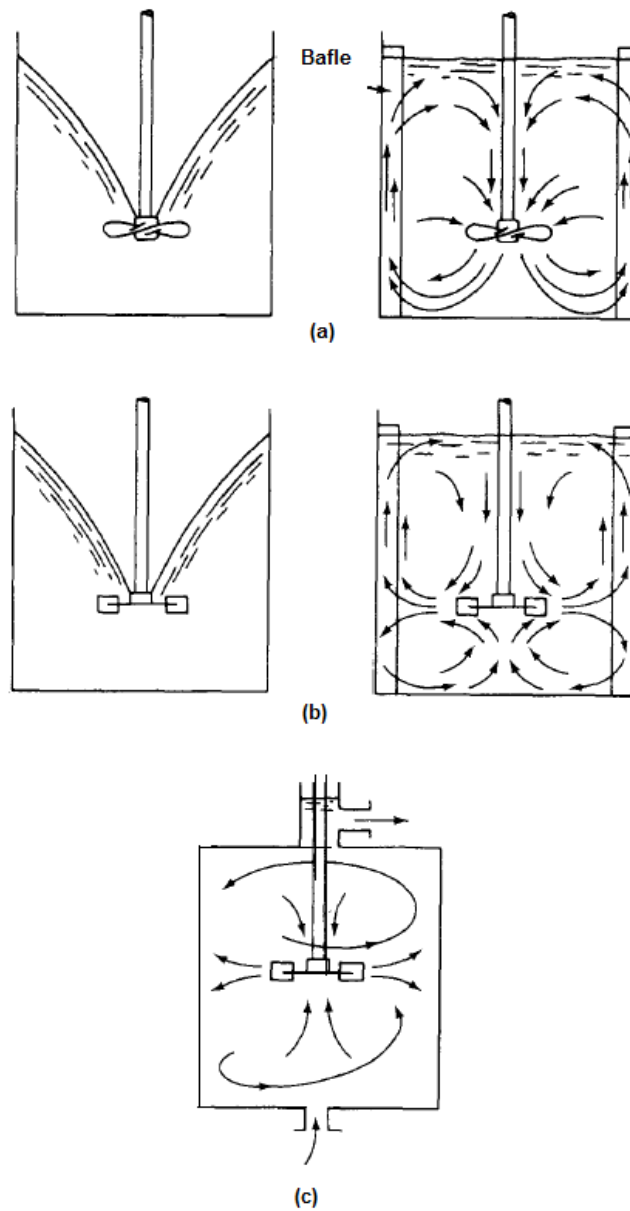
Pág. 166

Al describir el propulsor, el término “cabeceo” se refiere a la relación entre el diámetro del propulsor y la distancia que avanza por revolución un propulsor libre que opera sin deslizamiento. El término “cabeceo cuadrado”, que es el más común en el diseño de agitadores, significa un

cabeceo igual a la unidad. Los propulsores se utilizan con más frecuencia para las operaciones de mezclado de líquidos que para la transferencia de masa.

Las turbinas, especialmente el diseño de hojas planas de la figura No.1b y c, se utilizan a menudo para operaciones de transferencia de masa. El diseño de hoja curva, figura No.1d, es útil para la suspensión de pulpas frágiles, cristales y similares; la turbina de hoja sumergida, figura No.1e es útil para mezclar líquidos. El impulsor cubierto de la figura No.1f se usa poco en el contacto de gas-liquido. El flujo de liquido desde el impulsor es radial, excepto en el caso del diseño de hoja sumergida, en el cual es axial. Aunque la mejor relación dJT depende de la aplicación, es común el valor $1/3$. Frecuentemente las turbinas operan con velocidades periféricas del orden de 2.5-4.6 rn/s (450-850 ft/min), según el uso.

Figura 2. Agitación del líquido en presencia de una interfaz gas-líquido con o sin mamparas de pared



Fuente: Robert E. Treybal

Operaciones de Transferencia de Masa

Pág. 167

1.2 Adsorción

La adsorción es un proceso de separación en la que ciertos componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido adsorbente. Generalmente las pequeñas partículas de adsorbente se mantienen en un lecho fijo mientras que el fluido pasa continuamente a través del lecho hasta que el sólido está prácticamente saturado y no es posible alcanzar ya la separación deseada. Se desvía entonces el flujo hacia un segundo lecho hasta que el adsorbente saturado es sustituido o regenerado.

El intercambio de ion es otro proceso que generalmente se lleva a cabo en semi-continuo en un lecho fijo de forma similar. Así, agua que se desea ablandar o desionizar se hace pasar sobre un lecho de esferas de resina de intercambio de ion, situadas en una columna, hasta que la resina alcanza prácticamente la saturación. La separación de trazas de impurezas por reacción con sólidos puede también realizarse en lechos fijos, siendo un ejemplo bien conocido la separación del H₂S contenido en el gas de síntesis utilizando gránulos de ZnO. En todos estos procesos la eficacia depende del equilibrio sólido-fluido y de las velocidades de transferencia de materia. En este capítulo la atención se centra sobre la adsorción pero los métodos generales de análisis y diseño son aplicables a otros procesos de lecho fijo.

1.3 Filtración

En el caso de mezclas, las separaciones pueden ser totalmente mecánicas, como la filtración de un sólido a partir de una suspensión en un líquido, la clasificación de un sólido por tamaño de partícula mediante cribado o la separación de partículas en un sólido basándose en su densidad.

1.3.1 Filtración de líquidos por contacto

Las aplicaciones típicas del proceso incluyen:

- 1.3.1.1 La recuperación de solutos valiosos a partir de soluciones diluidas como, por *adsorción e intercambio iónico* por ejemplo, la adsorción en carbón de yodo a partir de salmueras, después de la liberación del elemento a partir de sus sales por oxidación, la recuperación de insulina a partir de soluciones diluidas.
- 1.3.1.2 La eliminación de contaminantes indeseables de una solución. Debido a la frecuente y en extremo favorable distribución en el equilibrio de soluto hacia el adsorbente, la adsorción se vuelve una herramienta poderosa para el último punto arriba mencionado; muchas de las aplicaciones industriales de técnicas por etapas caen dentro de esta categoría. Ejemplo típico es la adsorción de sustancias coloradas a partir de soluciones acuosas de

azúcar en carbón, con el fin de obtener un producto puro y facilitar la cristalización. En forma similar, algunas veces se utiliza carbón para adsorber sustancias olorosas del agua potable; la grasa se adsorbe mediante los líquidos de lavado en seco. Los colores de los aceites de petróleo y vegetales se aclaran mediante el tratamiento con arcillas.

1.4 Lechos bacterianos

El lecho bacteriano es un sistema biológico aerobio de cultivo fijado a un medio soporte o relleno, por el cual el agua residual discurre transversalmente sin llegar a inundarlo y permitiendo que en los huecos del relleno haya el aire suficiente para la oxigenación de la bio-película desarrollada.

1.4.1 Biopelícula

Es la capa de microorganismos que crecen adhiriéndose al material soporte.

1.4.2 Depósito

La función principal del depósito es la retención o contención del medio soporte para formar así el lecho. El lecho bacteriano debe funcionar aireado y no saturado de agua, por lo que las paredes del depósito no necesitarán resistir el empuje del agua, sino solamente el empuje del medio soporte recubierto de la bio-película

1.4.3 Material de soporte

Se puede emplear dos tipos de materiales como soportes de la bio-película:

- ◆ materiales naturales
- ◆ materiales de plástico

La gran característica de los materiales soportes es la porosidad del mismo para la creación de la bio-película.

Dentro de los materiales naturales pueden emplearse cantos rodados, escoria, coque metalúrgico y antracita. Los materiales de plástico se clasifican en dos grandes grupos: *ordenados y desordenados*.

El sistema de alimentación de agua a depurar al lecho bacteriano debe garantizar la distribución uniforme del caudal en toda la superficie del lecho, así como un caudal suficiente de percolación para llevarse las porciones de bio-película erosionadas o desprendidas.

La eficacia de los lechos biológicos puede incrementar volviendo a incrementar el agua a depurar. Consiste en hacer pasar a través del sistema parte del efluente ya depurado, mezclando este agua con el agua que todavía no está tratada y que alimenta el sistema, a fin de que se ponga en contacto con el lecho biológico más de una vez.

1.5 Agroquímicos

1.5.1 Definiciones de agroquímico

1.5.1.1 Denominación que reciben plaguicidas y fertilizantes químicos, sustancias líquidas, gaseosas o en polvo, usadas para proporcionar nutrientes, eliminar maleza, hongos y algunas algas, matar insectos, microorganismos, nematodos y gusanos de suelo, eliminar roedores, entre otros.

1.5.1.2 Producto químico de origen natural o sintético, con actividad biológica definida, empleado directamente para aumentar la productividad y/o la calidad de la producción agrícola.

1.5.2 División de agroquímicos

1.5.2.1 Plaguicidas

Es toda sustancia química de origen natural o sintético que se emplea para controlar una plaga. Entre los plaguicidas más importantes están: insecticidas, fungicidas, acaricidas, bactericidas, nematocidas, herbicidas, rodenticidas y moluscosidas.

1.5.2.2 Fertilizantes

Cualquier sustancia orgánica o inorgánica, natural o sintética que aporte a las plantas uno o varios elementos nutritivos indispensables para su desarrollo vegetativo normal. Los macroelementos son nitrógeno, fósforo y potasio, los microelementos son zinc, hierro, magnesio y calcio.

1.6 Carbón activado

El carbón activado, o carbón activo, es un material de carbón poroso. Un material carbonizado que se ha sometido, a reacción con gases oxidantes (como CO_2 o aire), o con vapor de agua; o bien a un tratamiento con adición de productos químicos como el H_3PO_4 , durante (o después) de un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Los carbones activados poseen una capacidad de adsorción elevada y se utilizan para la purificación de líquidos y gases. Mediante el control adecuado de los procesos de carbonización y activación se puede obtener una gran variedad de carbones activados que posean diferentes distribuciones de tamaño de poros.

1.6.1 Materiales de partida

Prácticamente cualquier material orgánico con proporciones relativamente altas de carbono es susceptible de ser transformado en

carbón activado. Los carbones activados obtenidos industrialmente pueden provenir de madera y residuos forestales u otros tipos de biomasa, turba, lignito y otros carbones minerales, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas. Existen, no obstante, algunas limitaciones. Así, desde un punto de vista estructural los carbones activados son carbones muy desordenados e isotropos. Por tanto, no serán adecuados para preparar carbones activados aquellos materiales carbonosos que pasen por un estado fluido o pseudo-fluido durante su carbonización; dado que durante la resolidificación de esta fase suelen formarse estructuras ordenadas en los carbones resultantes. No resultan adecuados, por tanto, los carbones coquizables, salvo que se eliminen sus propiedades coquizantes, mediante una oxidación previa, por ejemplo.

Del mismo modo, tampoco resultan adecuados los residuos termoplásticos. Los factores que hay que tener en cuenta para elegir un precursor adecuado son: buena disponibilidad y bajo coste, bajo contenido en materia mineral y que el carbón resultante posea unas buenas propiedades mecánicas y capacidad de adsorción. Los residuos de madera, las cáscaras de coco y frutos secos, así como las semillas de algunas frutas junto con los carbones minerales y el coque de petróleo, son los precursores más usados.

1.6.2 Tipos de activación

1.6.2.1 Activación térmica

Llamada también activación física, a pesar de que la activación se produce por la reacción (química) del agente activante (un oxidante como el aire, vapor de agua, CO₂, etc.) con el carbono del material que está siendo activado. Este tipo de activación consta de varias etapas. Así, a veces son necesarios ciertos pretratamientos como la molienda y el tamizado para obtener un tamaño adecuado del precursor. Si el precursor es un carbón coquizable será necesario entonces una etapa de oxidación para eliminar las propiedades coquizables. En otras ocasiones el material de partida es molido hasta formar un fino polvo, después compactado con algún aglomerante en forma de briquetas y luego vuelto a moler hasta obtener el tamaño deseado.

De esta forma se consigue una mejor difusión del agente activante y por tanto una mejor porosidad en el carbón activado resultante. Otra etapa previa a la activación propiamente dicha es la carbonización, en la cual el precursor es sometido a elevadas temperaturas (del orden de los 800 °C) en ausencia de aire, para eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que será el que se someta a la activación. Durante la desvolatilización, la salida de los gases y vapores del

precursor produce una porosidad “incipiente” en el carbonizado, la cual se desarrolla aun más durante la etapa de activación.

La activación propiamente dicha puede ser un proceso totalmente independiente de la carbonización o llevarse a cabo a continuación de ésta. Consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono del carbonizado que está siendo activado; de forma que se produzca un “quemado selectivo” que va horadado progresivamente al carbonizado, generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un carbón activado. Los agentes activantes que se suelen usar son: Oxígeno (raramente a escala industrial) aire, vapor de agua (el más usado) y CO₂. Estos agentes dan lugar a las siguientes reacciones químicas que eliminan átomos de carbono produciendo así la porosidad.

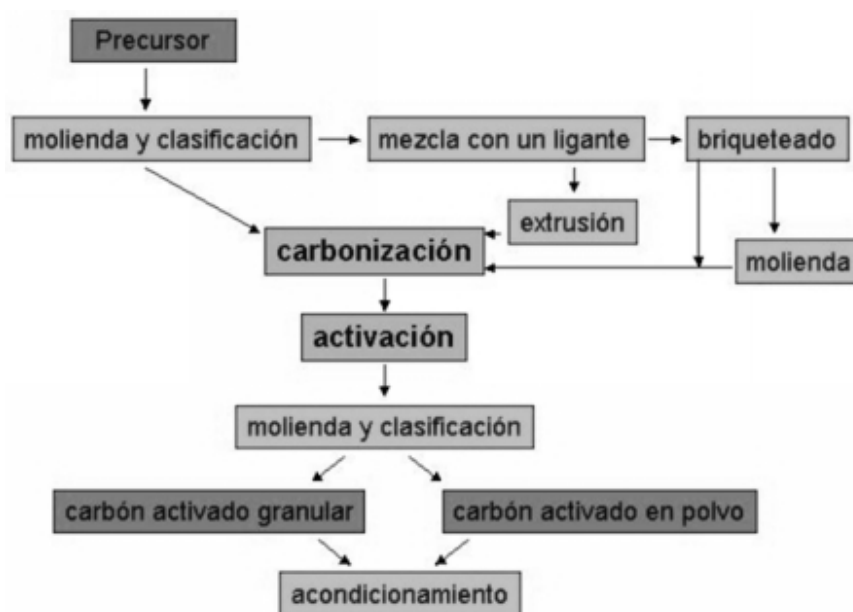
Tabla I. Reacciones para activación del carbón

$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$	$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}$
	$\text{C} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}$

Fuente: www.oviedo.es

Carbón Activado

Figura 3. Diagrama de los diferentes procesos que pueden tener lugar en la activación térmica



Fuente: www.oviedo.es
Carbón Activado

1.6.2.2 Activación química

Este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900 °C. No obstante, en este tipo de activación, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante. Existen numerosos compuestos que podrían ser usados como agentes activantes, sin embargo los más usados industrialmente

son el cloruro de zinc (ZnCl_2), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH).

La activación química con ZnCl_2 fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del ZnCl_2 . No obstante algunos países como China aun siguen usando este método para producir carbón activado.

La activación química con H_3PO_4 prácticamente ha desplazado al ZnCl_2 y los precursores usados en este tipo de activación son en su mayoría, como en el caso del ZnCl_2 , residuos forestales (madera, cáscara de coco, hueso de aceituna, etc.). La activación con H_3PO_4 implica las siguientes etapas:

- ◆ Molienda y clasificación del material de partida
- ◆ Mezcla del precursor con H_3PO_4 (reciclado y fresco)
- ◆ Tratamiento térmico en atmósfera inerte entre 100 y 200 °C, manteniendo la temperatura aproximadamente 1h,

seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta de 400 a 500 °C, manteniendo esta temperatura en torno a 1h.

- ♦ Lavado, secado y clasificación del carbón activado, y reciclado del H_3PO_4 . La proporción H_3PO_4 : precursor más empleada suele ser 1:5 (aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades), el rendimiento en carbón activado suele ser del 50%.

La activación química con KOH se desarrollo durante los años 70, para producir los denominados “*carbones superactivados*”, con superficies específicas del orden de los 3000 m²/g. A diferencia de los otros dos agentes activantes, los precursores preferibles par la activación con KOH son aquellos de bajo contenido en volátiles y alto contenido en carbono, como los carbones minerales de alto rango, carbonizados, coque de petróleo, etc. En esta activación el KOH se mezcla con el precursor, en una suspensión acuosa o mediante una simple mezcla física, en proporciones KOH: precursor entre 2:1 y 4:1.

Cuando la impregnación tiene lugar en medio acuoso, la activación se lleva a cabo en dos tratamientos térmicos consecutivos en atmósfera inerte. El primero a temperaturas bajas, pero superiores a los 200 °C (que se utiliza solo para evaporar el agua y dispersar el KOH) y el segundo entre 700 y 900 °C. En el caso de una mezcla física no es necesario llevar a cabo el primer tratamiento.

Figura 4. Diagrama de la activación química



Fuente: www.oviedo.es
Carbón Activado

1.6.3 Tipos de carbones activados

Los carbones activos pueden clasificarse atendiendo al tamaño de las partículas en:

1.6.3.1 Carbón activado en polvo (CAP)

Los CAP presentan tamaños menores de 100 μm , siendo los tamaños típicos entre 15 y 25 μm .

1.6.3.2 Carbón activado granular (CAG)

Los CAG presentan un tamaño medio de partícula entre 1 y 5 mm. Los CAG pueden dividirse en dos categorías:

1.6.3.3 Carbón activado troceado (o sin forma)

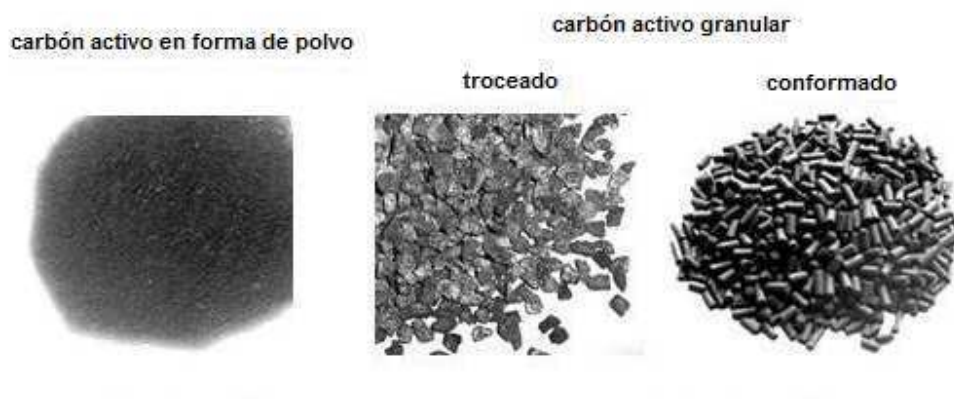
Los carbones activados troceados se obtienen por molienda, tamizado y clasificación de briquetas de carbón o de trozos más grandes.

1.6.3.4 Carbón activado conformado (o con una forma específica, cilindros, discos, etc.)

Los carbones conformados pueden obtenerse por peletización o por extrusión de carbón en polvo mezclado con distintos tipos de aglomerantes. Existen además otras formas de adsorbentes de carbón, como las fibras de carbón activadas,

las telas y los fieltros de carbón activado, las estructuras monolíticas, las membranas de carbón, etc.

Figura 5. Tipos de carbón activado



Fuente: www.oviedo.es

Carbón Activado

1.7 Tierra de diatomeas

Las diatomeas son algas marinas microscópicas, de composición unicelular, de formas y tamaños variados, y con aproximadamente 5.000 especies. Todas ellas están compuestas por una pared celular transparente, con una capa externa translúcida de sílice semejante al cristal y una capa interna de pectina. Cuando la célula muere todo el contenido orgánico se destruye, con excepción de su esqueleto (valvas o frústulas) de sílice, las cuales generalmente van a depositarse al fondo de las aguas, para formar al cabo de siglos grandes depósitos de algas fosilizadas conocidos como tierra de diatomeas o diatomitas que es un material inerte no tóxico.

Las diatomeas matan a los patógenos por acción estrictamente física, es decir se adhieren al cuerpo de los insectos produciendo deshidratación. Entre ellos podemos mencionar a los famosos ácaros y otras plagas tales como: pulgones, cochinillas, chinches, orugas, arañuelas y otros insectos en cultivos frutihortícolas. Se menciona además su uso en la eliminación de gorgojos y gusanos en los granos almacenados, evitando el deterioro y la pérdida del valor comercial de éstos. Las cualidades de la tierra de diatomeas son a la vez extrañas y variadas incluyendo: agente de purificación, filtrado, abrasivo, material aislante y a prueba de sonido. En los acuarios es posible utilizarla en recipientes de filtración especiales, para retener bacterias, protozoarios, y otros microorganismos e impurezas de cualquier tipo. La tierra de diatomeas es en sí misma un insecticida natural. Estas minúsculas algas (huecas y con carga eléctrica negativa) perforan los cuerpos queratinizados de los insectos, los cuales mueren por deshidratación. Algunos estudios revelan que para aumentar su eficiencia y lograr buenos resultados, se deben utilizar la diatomita diluida en agua al 1 %, es decir 1 parte de diatomeas y 99 de agua.

En los vegetales, la tierra de diatomeas cumple un doble propósito: curar y nutrir. Además de su efecto insecticida, las diatomeas aportan una gran riqueza en minerales y oligoelementos. Otra interesante aplicación de las diatomeas es para proteger granos y semillas, de hongos, virus y bacterias. En este caso se aplica en polvo sobre los granos a conservar, notándose en las semillas una mejor germinación posterior al momento de la siembra.

Las diatomeas son el medio más eficaz, inocuo y económico para combatir parásitos externos en animales domésticos. Se aplica directamente en polvo sobre el pelo del animal. También puede aplicarse en pisos, guardarropas, despensas y cualquier otro lugar que se desee proteger de insectos. A nivel de piojos, se les elimina eficazmente aplicando unos pocos gramos de diatomeas

en el champú o en agua. Se mezcla bien y se aplica sobre el cabello, dejando actuar entre 5 y 10 minutos.

Es importante mencionar que la única precaución en el uso de la tierra de diatomeas, es cuando se la maneja en seco o sea en polvo. En estos casos conviene evitar su inhalación a efectos de prevenir posibles efectos alérgicos que puede causar el ingreso de estas microscópicas partículas a través del aparato respiratorio.

En el campo de la nutrición animal, la tierra de diatomeas está encontrando una rápida aceptación. Sus beneficios han sido notables en alimentos para vacas lecheras, pollos, cerdos, caballos, novillos, ovejas y otros pequeños animales. Dentro del uso agronómico, la tierra de diatomeas trabaja también con los desechos animales. Espolvoreada sobre los montones de estiércol semanalmente, ayudan al control de moscas. Los ganaderos también pueden espolvorear el ganado en todo el cuerpo para detener la mosca pero evitando aplicar en la cara de los animales. La Organización Mundial de la Salud, ha advertido que en los últimos sesenta años, más de cuatrocientas especies de insectos se han inmunizado a los venenos químicos, que se fabrican cada vez más potentes. A la vez los seres humanos consumimos estos tóxicos, ya sea por vaporización en el aire de los mismos o por consumo de frutas, verduras o carnes.

La tierra de diatomeas no contiene venenos para el hombre ni animales domésticos, Elimina los insectos sin generar auto inmunidad y puede utilizarse sin límite de tiempo. En la cría de aves de corral, tanto en el cuidado sanitario de las aves, como en el mejoramiento de su hábitat, el uso de la tierra de diatomeas resulta ser un gran beneficio económico para los criadores. Mezclada con el alimento endurece la cáscara del huevo, también alimentación,

reduce mortandad de la población animal, erradica moscas, eliminando los ejemplares vivos y por impedimento ovación, elimina vapores amoniacales, lo que reduce malos olores, mejora el manejo del grano. La idea de usar tierra para eliminar insectos no es nueva ni moderna.

Los chinos usaban tierra de diatomea hace 4.000 años. El principio fue redescubierto en tiempos modernos por Francis S. Leise y Neil Clark en Arizona, USA. Hay varios tipos de tierra de diatomea. Posiblemente la diferencia básica radica entre la marina, y la originada en depósitos en agua dulce. Tiene una gran demanda en la industria de la bebida (como filtro) en la elaboración de cerveza, vinos, sidra, jugos de frutas en general, jarabes, tratamiento de agua, separación de sólidos ultramicroscópicos etc., brindando mayor claridad en el líquido filtrado. Además de lo anterior, tiene una gran variedad de aplicaciones en la industria de la pintura y del plástico, en donde la tierra de diatomeas es un eficiente reproductor de pigmentos y agentes mateantes

Dentro del panorama del mercado internacional, las reservas mundiales de diatomita se estiman en 800 millones de toneladas métricas, de las cuales 250 millones se encuentran en Estados Unidos de América y son equivalentes a alrededor de 400 veces la producción global actual. Estados Unidos de América es el principal productor y consumidor mundial de diatomita. En este país se localiza la empresa World Minerals, líder mundial en la oferta de tierra de diatomeas, cuya comercialización es a través de su subsidiaria Celite. Su depósito se localiza en Lompoc, California, con una producción anual estimada en 300 mil toneladas. Para comprender la magnitud del fenómeno, diremos que cubre una superficie de 30 kilómetros cuadrados por 800 metros de profundidad.

1.8 Análisis de varianza

1.8.1 Análisis de varianza para el diseño de bloques aleatorizados

Un diseño de bloques aleatorizado es un plan para reunir datos en el que cada uno de los k tratamientos se mide una vez en cada uno de los b bloques. El orden de los tratamientos dentro de los bloques es aleatorio.

En un artículo anterior se habló de la ventaja que presentan las pruebas pareadas para aumentar la eficiencia, al controlar parte de la variabilidad no atribuible al factor que estamos estudiando. Cuando se analizan más de dos niveles o grupos el concepto de prueba pareada se puede generalizar al análisis de la varianza. Aquí se denomina bloque a cada unidad de observación, y para un factor o tratamiento tenemos el siguiente diseño experimental

Tabla II. Tratamientos vrs. bloques

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	...	Tratamiento K
Bloque 1	Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{1K}
Bloque 2	Y_{21}	Y_{22}	...	Y_{2K}
...	...	...	...	...
Bloque n	Y_{n1}	Y_{n2}	...	Y_{nK}

Fuente: Richard L. Scheaffer

Probabilidad y Estadística para Ingeniería

Pág.453

En este diseño, de manera análoga a la expresada en la fórmula siguiente podemos descomponer la variabilidad individual según el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde aparece un nuevo término β_j que corresponde a la variabilidad atribuida al bloque, con lo que el término ε_{ij} correspondiente a la variabilidad no explicada disminuye, obteniéndose por tanto una prueba más eficiente. Los bloques o unidades de observación pueden ser cada paciente, un hospital, un grupo de pacientes con unas características específicas, etc. A veces también se habla de *análisis estratificado*, donde los conceptos bloque y estrato son equivalentes.

Aunque uno de los motivos fundamentales de la asignación aleatoria de los pacientes a cada grupo de tratamiento es precisamente evitar la presencia de sesgos en las características de los pacientes que puedan afectar a las diferencias de eficacia que se observen, sin embargo cuando se sabe que factores como la edad del paciente, la presencia de diabetes, antecedentes de tabaquismo, etc influyen en el resultado, puede ocurrir que finalmente por azar las proporciones de los diferentes niveles de estos factores no se repartan "equitativamente" entre los grupos de tratamiento, lo que conlleva a que los resultados queden bajo sospecha, incluso aunque después en el análisis se acuda a técnicas multivariantes para "ajustar" los resultados en función de los valores basales en los grupos, atribuyendo parte de la variación observada a esas diferencias, y corrigiendo o disminuyendo la diferencia encontrada atribuible al efecto del tratamiento. La utilización de técnicas de diseños aleatorizados en bloques y diseños factoriales nos permite anticiparnos a esa situación, por lo que han sido ampliamente empleadas no sólo en experimentación agrícola donde se originaron, sino también en farmacología y en la industria, y en mucha menor medida, por lo que se comentará más adelante, en la investigación médica clínica.

En este diseño aleatorizado por bloques disponemos de dos valores de F para contrastar: uno relativo a la influencia del tratamiento y otro para la influencia del bloque; aunque el contraste en el que seguramente estamos interesados es solo el primero, ya que de entrada se supone que el bloque sí que influye en la variable medida y precisamente por eso se ha acudido a este tipo de diseño.

1.8.2 Análisis de varianza para el diseño completamente aleatorizado

La prueba F de dos muestras se diseñó para comprobar la hipótesis de que dos promedios de población son iguales, en comparación con la alternativa de que son distintos. Recuérdese que, para emplear esa prueba, el experimento debe tener como resultado dos muestras aleatorias independientes, una de cada una de las poblaciones que se estudian.

Hay varias formas en las cuales puede diseñarse un experimento anova. Quizás el más común es el diseño completamente aleatorizado a una vía. El término proviene del hecho que varios sujetos o unidades experimentales se asignan aleatoriamente a diferentes niveles de un solo factor. Por ejemplo: varios empleados (unidades experimentales) pueden seleccionarse aleatoriamente para participar en diversos tipos (niveles diferentes) de un programa de capacitación (el factor).

El análisis de varianza se basa en una comparación de la cantidad de variación en cada uno de los tratamientos. Si de un tratamiento al otro la variación es significativamente alta, puede concluirse que los tratamientos tienen efectos diferentes en las poblaciones.

- ♦ Esta variación entre el número total de las 14 observaciones. Esto se llama variación total.

- ◆ Existe variación entre los diferentes tratamientos (muestras). Esto se llama variación entre muestras.
- ◆ Existe variación dentro de un tratamiento dado (muestra). Esto se denomina variación dentro de la muestra.

1.8.2.1 Fundamentos del anova

Para determinar si tratamientos diferentes tienen efectos diferentes en sus respectivas poblaciones, se hizo una comparación entre la variación dentro de las muestras y la variación entre muestras. La variación de los puntajes de una muestra dada puede ser productiva por una variedad de factores: la inhabilidad innata de los empleados en dicha muestra, la motivación personal, los esfuerzos individuales y la destreza, el factor suerte, y una gran cantidad de otras circunstancias aleatorias. El tratamiento en sí mismo no producirá ninguna variación en las observaciones dentro de alguna muestra, debido a que todas las observaciones en dicha muestra reciben el mismo tratamiento. Es un asunto diferente con la variación entre muestras. La variación en los puntajes entre muestras puede producirse por el mismo factor aleatorio que la variación dentro de una muestra, mas toda influencia adicional que puedan tener los tratamientos diferentes. Puede existir un efecto tratamiento entre muestras debido a que cada muestra es un tratamiento diferente.

Efecto del tratamiento: como las muestras diferentes tienen tratamientos distintos, la variación entre las muestras puede ser producida por los efectos de tratamientos diferentes. Si un efecto del tratamiento existe, puede detectarse comparando la variación entre las muestras y la variación dentro de las muestras. Si la variación entre las muestras es significativamente mayor que la variación dentro de las muestras, un fuerte efecto de tratamiento está presente. Esta diferencia entre la variación entre muestras y variación dentro de las muestras es precisamente lo que mide el análisis de varianza. El análisis de varianza es una relación de la variación entre muestras con la variación dentro de las muestras. Si los tratamientos diferentes tienen efectos diferentes, la variación entre muestras crecerá, haciendo que la razón aumente. Esta razón se basa en la razón F presentada en la sección anterior.

La razón F tal y como se utiliza en anova: La razón F es una razón de la variación entre muestras y la variación dentro de las muestras. De nuevo, la variación entre muestras puede ser producida en parte por tratamientos diferentes. La variación dentro de una muestra dada puede ser producida solo por factores aleatorios como la suerte, la destreza, y la motivación de los empleados. Dicha variación es independiente del tratamiento y es el resultado solo del error de muestreo aleatorizado dentro de la muestra.

La razón F: cuando las medias poblacionales son diferentes, el efecto del tratamiento está presente y las desviaciones entre las muestras serán grandes comparadas con la desviación del error dentro de una muestra.

Por tanto, el valor F aumentara, lo cual es una razón de la variación del tratamiento y de la variación del error.

2. METODOLOGÍA

2.1 Definición de variables

2.1.1 Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)

Es la cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible a ser oxidada ya que el método está sujeto a una cantidad menor de variaciones y es más rápido.

2.1.2 pH

El pH es un valor que se usa para indicar la acidez o alcalinidad de una sustancia. La escala de pH es una escala logarítmica de crecimiento exponencial. Oscila entre los valores de 0 (más ácido) y 14 (más básico), 7 es Neutro. El "factor pH" se define como el potencial de Hidrógeno calculado como el negativo del logaritmo de la actividad o concentración molar de los iones Hidrógeno (H^+ ó hidronio H_3O^+). $pH = -\log[H^+]$.

2.2 Delimitación de campo de estudio

2.2.1 Operaciones unitarias

2.2.1.1 Agitación

En la primera etapa, cuando se debe regular el pH, ya sea con una base o un ácido, posteriormente se agrega celite y carbón activado en polvo, todo debe ser mezclado y se hará en un agitador que contiene un agitador eléctrico.

2.2.1.2 Filtración

Se utiliza el filtro, este tiene 14 tamices, en cada uno capas de papel filtro que al momento de pasar el agua con celite formará una masa (cake), que retendrá las sales precipitadas y las partículas sólidas.

2.2.1.3 Lechos Biológicos

En la segunda etapa, existe un solo lecho dentro de la torre, quiere decir que no existen separaciones por platos, dentro contiene los gránulos de carbón activado colocados cuidadosamente para que no existan huecos, y son el medio donde estará la bio-película.

2.2.2 Análisis físico-químicos

2.2.2.1 Medición de D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno)

Se tomó 3 muestras de agua, la primera, el agua que entra al agitador antes de la etapa química, la segunda, después de la etapa química, y la tercera, a la salida de la torre, esta prueba se realizó en

el laboratorio de control de calidad de la empresa, en miligramos de Oxígeno por litro (mg O/L).

En la entrada al agitador el análisis de la D.Q.O. indica a los niveles a los que se encuentra el agua, después de la etapa química debe estar en el valor menor o igual a 500 mg O/L, el mismo al que debe estar en la entrada de la torre empacada, en la salida de la torre debe estar menor o igual a 100 mg O/L.

2.2.2.2 Medición de pH:

Se realizó 5 mediciones, la primera, del agua antes de la etapa química, la segunda, del agua después de la etapa química, la tercera, a la entrada de la torre empacada y la cuarta a la salida de la torre. Se captó 5 muestras a las que se le realizó las mediciones en el laboratorio de control de calidad de la empresa.

2.3 Recursos humanos disponibles

- ◆ Directora E.P.S.: Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
- ◆ Director EIQ: Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
- ◆ Asesor Docente: Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
- ◆ Asesor Técnico y Responsable del Estudiante: Lic. Guillermo Antonio Álvarez Monzón
- ◆ Estudiante Epesista: Priscila Guadalupe Muñoz Monzón

2.4 Recursos materiales disponibles

- ◆ Agitador con capacidad de 2,700 L.
- ◆ Filtro
- ◆ Dos depósitos de agua con capacidad de 4,100 L c/u
- ◆ Torre empacada con capacidad de 4 m³
- ◆ Dos bombas de diafragma de caudal máximo 11 L / min
- ◆ Una bomba de diafragma de caudal máximo 50 L / min
- ◆ Una bomba centrífuga de 200 hp de potencia
- ◆ Dos canecas (20 L c/u) de ácido clorhídrico grado industrial
- ◆ Un tonel (200 L) de soda cáustica al 80 %
- ◆ Cinco sacos (25 Kg c/u) de carbón activado en polvo
- ◆ Cinco sacos (30 Kg c/u) de tierra de diatomeas
- ◆ Un frasco de 1 Kg de floculante
- ◆ Dos cubeta de 5 L de capacidad c/u
- ◆ Agitador

2.5 Recursos financieros disponibles

Tabla III. Presupuesto de planta de tratamiento

COSTOS	Fijos		Variables				TOTAL (Q)
	Costo c/u	Sub –Total	Cantidad				
Construcción e Instalación de Planta		368,000.00	1 Caneca (20 L)	Sacos de 50 Kg.	Costo c/u	sub-total	
2 operarios	Q2,000.00	Q4,000.00		---	---		
Hidróxido de Sodio			1	----	---	Q1,375.00	
Ácido Clorhídrico			1	----	---	Q1,750.00	
Celite				5	Q56.00	Q280.00	
Carbón Activado en polvo				5	Q74.00	Q370.00	
Papel filtro			100 pliegos			Q64.00	
		372,000.00				Q3,839.00	375,839.00

Fuente: Bayer, S.A. 30/08/08

2.6 Técnicas cualitativas y cuantitativas

2.6.1 Técnicas cualitativas

♦ pH

Se realizan 5 mediciones, la primera, del agua antes de la etapa química, la segunda, del agua después de la etapa química, la tercera, a la entrada de la torre empacada y la cuarta a la salida de la torre. Se captan 5 muestras a las que se le realizó las mediciones en el laboratorio de control de calidad de la empresa.

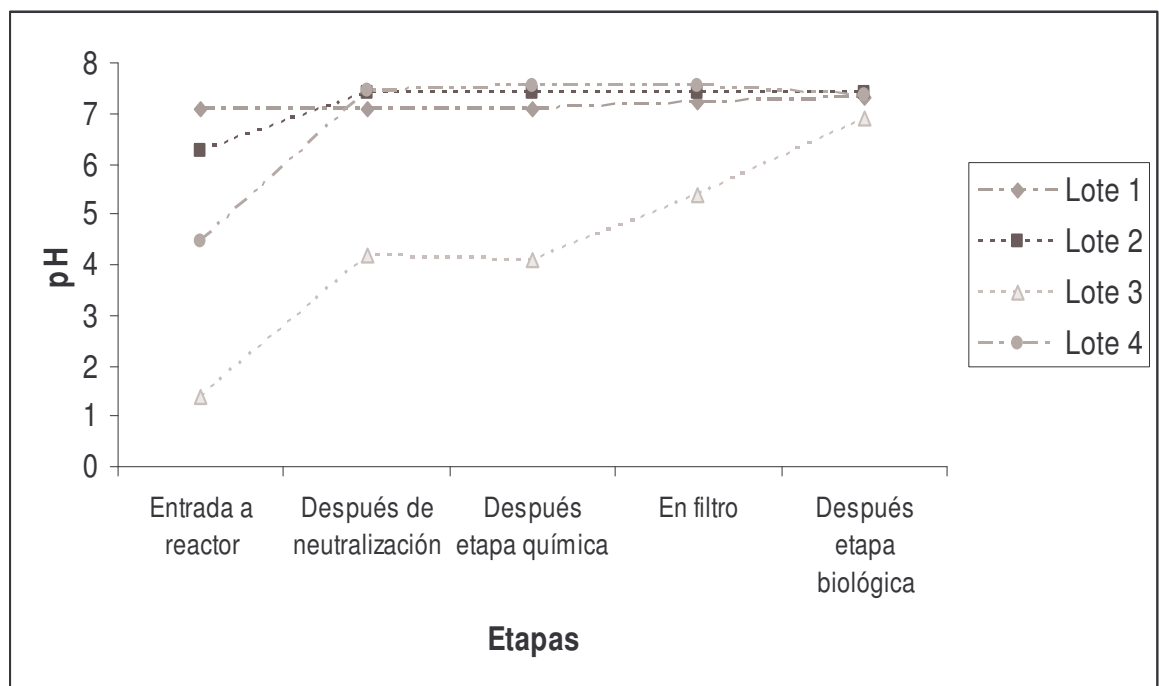
2.6.2 Técnicas cuantitativas

♦ Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)

Se realiza el análisis para determinar el grado de contaminación del agua residual, se realizó 3 pruebas para evaluar la disminución de contaminantes en el proceso.

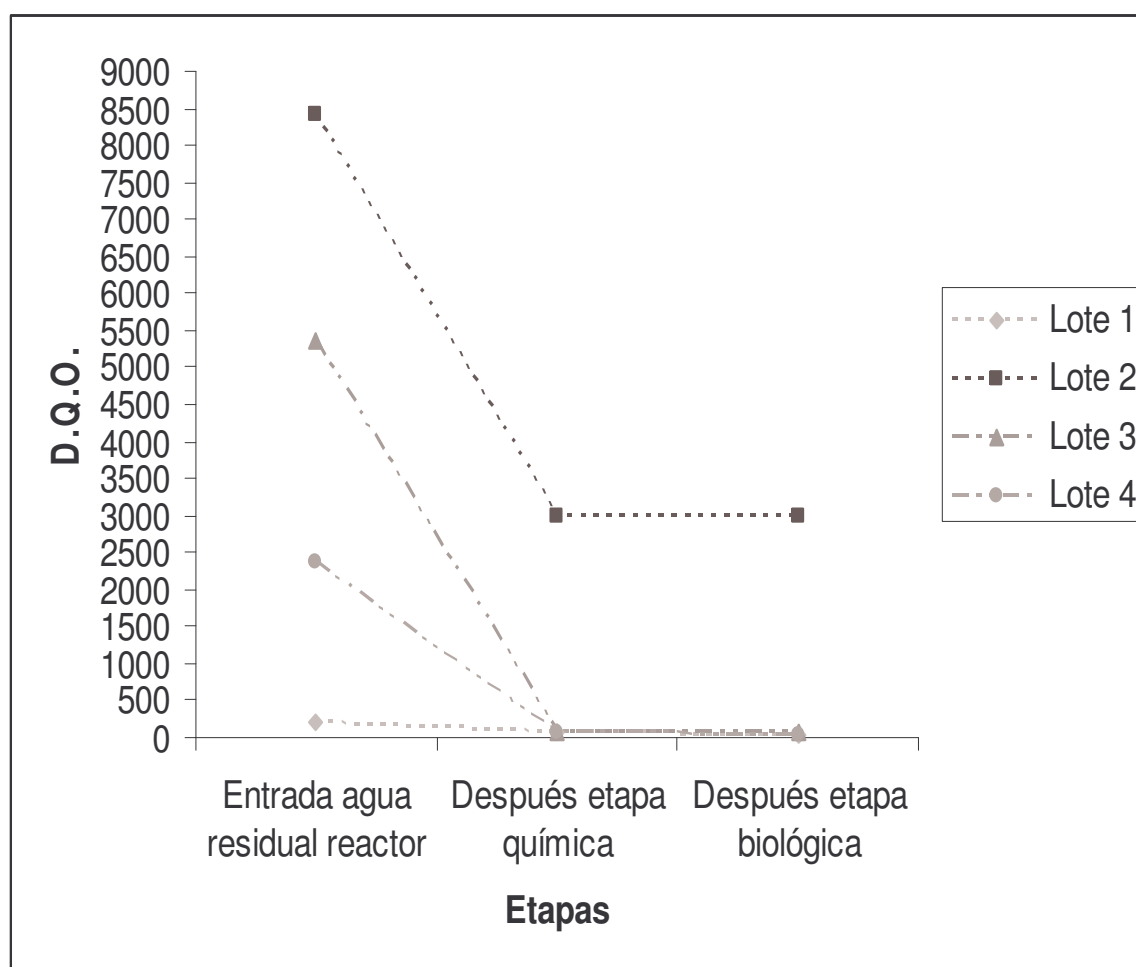
3. RESULTADOS

Figura 6. Comportamiento de pH de los cuatro lotes durante las etapas



Fuente: Tabla III Datos Originales de pH
Apéndice A

Figura 7. Comportamiento de D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno) de los cuatro lotes durante las etapas



Fuente: Tabla IV Datos Originales de D.Q.Q.
Apéndice A

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El primer objetivo específico es neutralizar el agua residual y mantener el pH dentro del rango de 6.5 a 7.5. En la figura 6 se encuentra indicado el comportamiento del pH en los 4 lotes durante las 5 etapas y se puede observar que se mantuvieron dentro del rango establecido la mayoría de los datos. Para comprobar este resultado se realizó 3 análisis estadísticos. El primero consistió en realizar un gráfico de control que indica si la realización del proceso estuvo controlado mientras se hizo, en este caso hubo un punto que salió del límite inferior, fue el tercer lote, indicando su valor que se encuentra fuera del rango establecido, la causa fue que no se logró su neutralización y no terminó el proceso de tratamiento, quedándose en la etapa química.

El segundo análisis estadístico realizado fue el análisis de varianza para el diseño completamente aleatorizado este se basa como se explicó en el marco teórico, página 27, en tener dos hipótesis, la primera es que todos los tratamientos sean iguales, y la segunda que al menos dos tratamientos sean distintos del total de observaciones. Al decir tratamiento para este caso se refiere al resultado de pH obtenidos de cada etapa en cada lote. En la tabla VI se presenta los resultados obtenidos de la prueba f de varianza, para la primer f indica que el intervalo de rechazo debe ser: f_1 de pH experimental mayor a f_1 de pH tabla, esto sucedió ya que 5.59 es mayor a 2.71, quiere decir que la primer hipótesis se rechaza, porque no hay evidencia significativa ya que cada etapa es diferente y se logró mantener el pH dentro del rango de 6.5 a 7.5 en las 5

etapas. Para la segunda f el intervalo de rechazo es el mismo, f_2 de pH experimental mayor a f_2 de pH tabla, esto sucedió ya que 17.80 es mayor a 8.87, quiere decir que no hay evidencia significativa de que la planta tratamiento no pueda realizar las etapas química y biológica sin mantener el pH dentro del rango de 6.5 a 7.5, entonces se rechaza la segunda hipótesis.

El tercer análisis estadístico realizado es el análisis de varianza para el diseño de bloques aleatorizados, éste análisis es similar al anterior, pero manipula los datos de forma diferente pero siempre llegando al mismo fin, las hipótesis son las mismas, y el resultado para la primer f es: 17.79 mayor a 3.49, se rechaza la primer hipótesis porque no hay evidencia significativa ya que cada etapa es diferente y se logró mantener el pH dentro del rango de 6.5 a 7.5 en las 5 etapas. Para la segunda f el intervalo de rechazo es: 20.89 mayor a 3.26, rechazando la segunda hipótesis y reafirmando el resultado del segundo análisis estadístico. Comparando los resultados de los análisis estadísticos anteriores para el pH se puede confiar entonces en los resultados obtenidos del tratamiento de agua.

El segundo y tercer objetivo específico se refiere a la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), al finalizar la etapa química a un valor menor o igual a 500 mg O/L y al finalizar la etapa biológica menor o igual a 100 mg O/L, se realizó para los resultados de ambos objetivos los análisis estadísticos de varianzas aplicados también al pH, tomando las mismas hipótesis el intervalo de rechazo de la primer f del Análisis de Varianza para el Diseño Completamente Aleatorizado es: 6.77 mayor a 3.49, se rechaza la primer hipótesis porque no hay evidencia significativa para que no se logrará la reducción de D.Q.O. a los diferentes valores indicados, es decir, que el

tratamiento realizado para cada etapa es efectivo. El intervalo de rechazo para la segunda f es: 14.88 mayor a 3.26, se rechaza la segunda hipótesis porque no existe evidencia significativa que la planta de tratamiento no pueda realizar las etapas química y biológica y reducir el D.Q.O. en cada lote de agua residual.

El intervalo de rechazo de la primer f del análisis de varianza para el diseño de bloques aleatorizados para el tercer objetivo es: 17.22 mayor a 4.76, al igual que el análisis estadístico anterior se rechaza la primera hipótesis porque no hay evidencia significativa que no se logrará la reducción de D.Q.O. a los diferentes valores indicados. El intervalo de rechazo para la segunda f es: 3.93 menor a 5.14, no se puede rechazar la segunda hipótesis, quiere decir que la planta de tratamiento en al menos un lote no ha podido reducir el D.Q.O. Al comparar los resultados de los análisis estadísticos anteriores para el D.Q.O. no se puede concluir que la planta de tratamiento logra cumplir el segundo y tercer objetivo, para la toda la cantidad de lotes que pueda tratar. Para ambos análisis estadísticos se utilizó un nivel de confianza de 95%.

CONCLUSIONES

1. Se neutralizó y se mantuvo el pH estable en el rango de 6.5 a 7.5 durante las etapas química y biológica para el número de lotes 1, 2 y 4.
2. Se disminuyó la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) para el número de lotes 1 y 4 al finalizar la etapa química y biológica.
3. Se disminuyó la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) para el lote No.3 al finalizar la etapa química a un valor 61.68 mg O/L menor a 500 mg O/L.
4. De acuerdo a la comparación de métodos de análisis de varianzas, se cumple con neutralizar y mantener el pH del agua residual dentro del rango de 6.5 a 7.5 durante las etapas química y biológica, para el número de lotes 1, 2, 4 y los siguientes que se traten.
5. De acuerdo a la comparación de métodos de análisis de varianzas, se cumple con la reducción de D.Q.O. para el número de lotes tratados, pero puede que la planta de tratamiento no pueda reducir la D.Q.O. en algún lote al azar, cuando el valor a la entrada sea mayor a 6,000 mg O/L.

RECOMENDACIONES

1. En complemento con el proyecto finalizado, se puede realizar un estudio de carácter microbiológico en donde se investigue qué tipo de bacterias procesan la materia orgánica.
2. Utilizar un papel para el filtro con más grosor, ya que el utilizado actualmente es muy delgado y su resistencia es poca.
3. El tratamiento de agua residual es efectivo para reducir D.Q.O. siempre que el valor de ésta sea menor a 6,000 mg O/L. Cuando se tengan valores mayores a 6,000 mg O/L deberá investigarse el pre-tratamiento más adecuado.
4. El tratamiento de agua residual es efectivo para neutralizar pH, siempre que el valor de éste sea mayor a 4. Cuando se tengan valores menores a 4, deberá investigarse el pre-tratamiento más adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Austin, George T. Manual de Procesos Químicos en la Industria. Tomo II. Editorial McGraw Hill. México 1988.
2. Cisneros Graña, Miguel Ángel. Presentación de Lechos Bacterianos. Bayer, S. A.
3. Cortés Lara, María del Carmen. ¿Qué son y para qué sirven las diatomeas? México 2005. [Consultado el 25 de julio de 2009]. Disponible en: <http://www.cuc.udg.mx/gaceta-CUC/gaceta-CUC/gaceta34/pagina8.pdf>
4. Curso de Agroquímicos. Uruguay. [Consultado el 20 de mayo de 2009]. Disponible en: <http://mail.fq.edu.uy/~planta/Cursos/agroquimicos.pdf>
5. Kotz, John C. y Treichel, Paul M. Química y Reactividad Química. Quinta edición. Editorial Thompson. México, 2003.
6. Manual de Lombricultura. Argentina. [Consultado el 8 de mayo de 2009]. Disponible en: <http://www.manualdelombricultura.com/glosario/pal/147.html>
7. McCabe, Warren L. y Smith, Julian C. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Cuarta edición. Editorial Reverté. España, 1972.

8. Scheaffer, Richard L. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Grupo Editorial Iberoamérica. México 1993.
9. Tipos de Carbón. España. [Consultado el 10 de agosto de 2009].
Disponible en:
<http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>
10. Treybal, Robert E. "Operaciones de Transferencia de Masa". Segunda edición. Editorial McGRAW-HILL. México, 1980.

APÉNDICE “A”

Tabla IV. Datos originales de pH medidos en el tratamiento de agua residual en la planta.

pH	No. de lotes			
	1	2	3	4
Entrada a agitador	7.1	6.25	1.38	4.47
Después de neutralización	7.1	7.41	4.2	7.43
Después etapa química	7.1	7.41	4.1	7.54
En filtro	7.2	7.4	5.4	7.55
Después etapa biológica	7.3	7.42	6.9	7.37

Fuente: Bayer, S.A.

Continuación

Tabla V. Datos originales de D.Q.O. medidos en el tratamiento de agua residual en la planta

D.Q.O.	No. de lotes			
	1	2	3	4
Entrada agua residual agitador	204.54	8408.4	5359.5	2,359.50
Después etapa química	56.096	2975.36	61.686	60.76
Después etapa biológica	17.248	2975.36	61.686	25.872

Fuente: Bayer, S.A.

APÉNDICE “B”

Tabla VI. Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño

Completamente Aleatorizado para datos de D.Q.O.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Etapas	3	2.18297E+07	7.27658E+06	6.77934E+00
Lotes	4	6.38893E+07	1.59723E+07	14.8808768
Desviaciones	12	1.28802E+07	1.07335E+06	
Total	19	9.85992E+07		

Fuente: Tabla IV datos originales de D.Q.O.
Apéndice A.

Continuación

Tabla VII. Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño

Completamente Aleatorizado para datos de pH

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Etapas	5	1.06591E+01	2.13182E+00	5.59940E+00
Lotes	4	2.71084E+01	6.77709E+00	17.8005846
Desviaciones	20	7.61446E+00	3.80723E-01	
Total	29	4.53819E+01		

Fuente: Tabla III datos originales de pH
Apéndice A.

Continuación

Tabla VIII. Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño de Bloques Aleatorios para datos de D.Q.O.

Fuente	Grados de libertad	SS	MS	Relación F
Lotes	3	52953535.1	26476767.6	17.2203368
Etapas	2	18141355.4	6047118.46	3.93301095
Errores	6	9225174.09	1537529.01	
Total	9	80320064.6		

Fuente: Tabla IV datos originales de D.Q.O.
Apéndice A.

Tabla IX. Realización de Método Análisis de Varianza para el Diseño de Bloques Aleatorios para datos de pH

Fuente	Grados de Libertad	SS	MS	Relación F
Lotes	3	-152.547105	-50.849035	17.7990282
Etapas	4	238.78148	59.69537	20.8955701
Errores	12	-34.28212	-2.85684333	
Total	15	51.952255		

Fuente: Tabla III datos originales de pH
Apéndice A.

Continuación

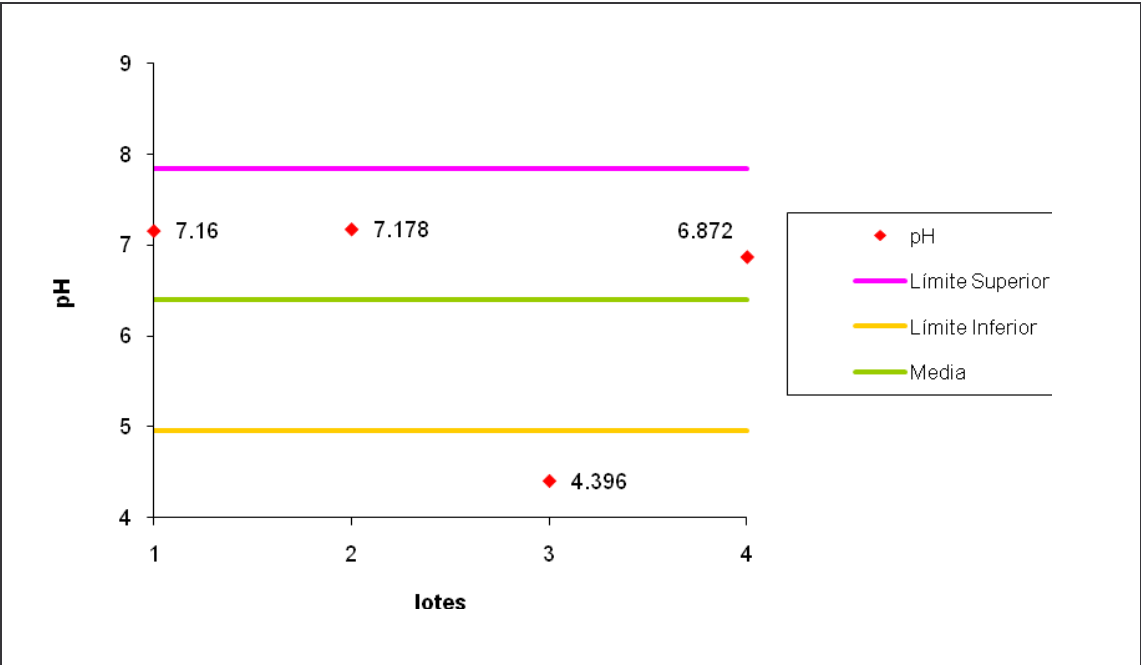
Tabla X. Datos de pH para gráficas de control

Lotes	pH entrada a agitador	pH después de neutralización	pH después etapa química	pH en filtro	pH después etapa biológica	Promedio	Rango
1	7.1	7.1	7.1	7.2	7.3	7.16	0.2
2	6.25	7.41	7.41	7.4	7.42	7.178	1.17
3	1.38	4.2	4.1	5.4	6.9	4.396	5.52
4	4.47	7.43	7.54	7.55	7.37	6.872	3.08
Totales						6.4015	2.4925

Fuente: Tabla III datos originales de pH
Apéndice A.

Continuación

Figura 8. Gráfica de control del proceso para pH



Fuente: Tabla IX Datos de pH para gráficas de control
Apéndice B.

Continuación

Tabla XI. Comparación de métodos de análisis estadísticos para D.Q.O.

	<i>f</i> de DQO experimental		<i>f</i> de DQO tabla	
	<i>f</i> ₁ (etapas)	<i>f</i> ₂ (lotes)	<i>f</i> ₁ (etapas)	<i>f</i> ₂ (lotes)
Diseño Completamente Aleatorizado	6.77930E+00	14.88088	3.49	3.26
Bloques Aleatorizados	17.2203368	3.93311	4.76	5.14

Fuente: Tablas V y VII Realización de método análisis de varianza
Apéndice A.

Tabla XII. Comparación de métodos de análisis estadísticos para pH

	<i>f</i> de pH experimental		<i>f</i> de pH tabla	
	<i>f</i> ₁ (etapas)	<i>f</i> ₂ (lotes)	<i>f</i> ₁ (etapas)	<i>f</i> ₂ (lotes)
Diseño Completamente Aleatorizado	5.5994	17.8005846	2.71	8.87
Bloques Aleatorizados	17.7990282	20.8955701	3.49	3.26

Fuente: Tablas VI y VIII Realización de método análisis de varianza
Apéndice A.

APÉNDICE “C”

Figura 9. Reactor



Fuente: Bayer, S.A.

Continuación

Figura 10. Filtro



Fuente: Bayer, S.A.

Continuación

Figura 11. Torre empacada



Fuente: Bayer, S.A.

Continuación

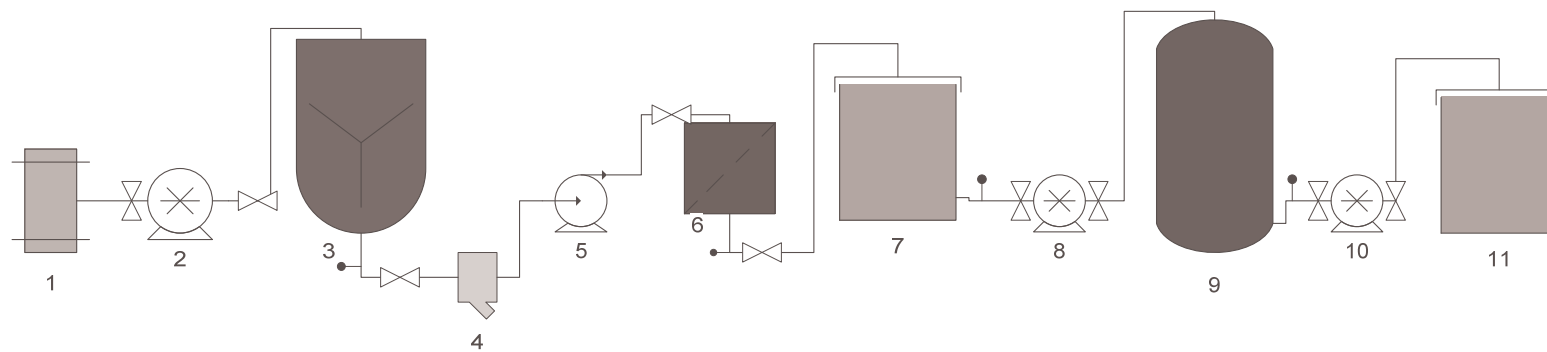
Figura 12. Planta de tratamiento



Fuente: Bayer, S.A.

Continuación

Figura 13. Diagrama de flujo de planta de tratamiento



Fuente: Bayer, S.A.

Continuación

Tabla XIII. Nombres de equipos en el Diagrama de Flujo

No. Equipo	Nombre
1	Tonel
2	Bomba de diafragma
3	Reactor
4	Filtro
5	Bomba centrífuga
6	Filtro <i>sparkler</i>
7	Depósito de agua
8	Bomba de diafragma
9	Torre empacada
10	Bomba de diafragma
11	Depósito de agua

Fuente: Bayer, S.A.

ANEXOS

Figura 14. Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos



MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
GUATEMALA, C.A.

		Fecha máxima de cumplimiento:				
		Dos de mayo de mil once	Dos de mayo de mil quince	Dos de mayo de mil veinte	Dos de mayo de mil veinticuatro	
		Etapas				
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	180	150	80	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁶	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Las personas que empleen colorantes no biodegradables en sus procesos productivos y que descarguen aguas residuales al alcantarillado público, deberán indicar en el estudio técnico los tratamientos utilizados para cumplir con los límites máximos permisibles de color en las etapas correspondientes, con el propósito de evitar su incorporación al cuerpo receptor.

Artículo 29. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deberán incluir en el Estudio Técnico a que se hace referencia en el artículo 5 del presente Reglamento, la determinación de la demanda química de oxígeno a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

Artículo 30. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PERSONAS NUEVAS QUE DESCARGUEN AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, a las personas nuevas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, se les requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el siguiente cuadro:

Fuente: Ministerio de ambiente y recursos naturales

Acuerdo gubernativo 236-2006, artículo 30

Figura15. Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos



MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
GUATEMALA, C.A.

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	200
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	40
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

La persona que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

Artículo 31. OPCIONES DE CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL AL ALCANTARILLADO PÚBLICO. Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que se encuentren autorizadas por la municipalidad para descargar aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, podrán cumplir los límites máximos permisibles de cualesquiera de las formas siguientes:

- Estableciendo sistemas de tratamiento propios.
- Pagando a la municipalidad o a las empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, una tasa correspondiente al servicio que se preste, siempre y cuando dichas municipalidades cuenten con sistema de tratamiento para aguas residuales en operación.

Se exceptúan de la opción de cumplimiento contenida en el inciso b) del presente artículo, las personas que descarguen aguas residuales con metales pesados cuyos límites máximos permisibles excedan de los valores establecidos en los artículos 28 y 30.

Artículo 32. EXENCIÓN DE PAGO POR SERVICIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Las personas que descarguen sus aguas residuales al alcantarillado público, cumpliendo con los límites máximos permisibles de la literal b) del artículo 24 del presente Reglamento, estarán exentas de todo pago por los servicios de tratamiento de aguas residuales brindado por las Municipalidades o las concesionarias.

Fuente: Fuente: Ministerio de ambiente y recursos naturales

Acuerdo gubernativo 236-2006, artículo 30

Continuación figura 14