



Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México



**Evaluación de una planta prototipo para
tratamiento aerobio de aguas residuales
industriales empleando un sistema de biodiscos.
Caso tipo: Vinazas de ingenio
azucarero/alcoholero**

Tesis que para obtener el título de:
Ingeniero Químico

Presenta el alumno:
Alejandro Zamudio Preciado

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, 1993



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

La industria azucarera es una de las cinco ramas más contaminantes de las cuencas acuíferas del país. Para la producción de azúcar y alcohol de caña se requiere del uso de cantidades muy considerables de agua que superan el millón de metros cúbicos por día. Las aguas residuales provienen del lavado de la caña, de la clarificación del jugo, de la limpieza de los evaporadores, calentadores y purgas de calderas, de los sistemas de enfriamiento, de los condensadores, de las tinas de fermentación, de los fondos de ellas, de las torres de destilación y, finalmente, de los servicios sanitarios. De todas ellas, las más contaminantes, por su carga orgánica (que está entre 60 y 150 mil mgDQO/L, casi mil veces mayor que la permitida por la normatividad), son las aguas residuales de los fondos de las torres de destilación, que se conocen con el nombre de vinazas. En años recientes, preocupados por los efectos nocivos que el medio ambiente podría provocar la descarga de estas aguas con una carga de contaminantes tan alta, varias instituciones de educación superior (entre ellas la Facultad de Química de la UNAM), han estado realizando trabajos de investigación encaminados a establecer el sistema de tratamiento más adecuado para este problema. La construcción y operación de una planta piloto de tratamiento de aguas en el ingenio azucarero "Alianza Popular" ha establecido una manera adecuada y eficaz de remover la mayor cantidad de contaminantes y disminuir las posibles consecuencias negativas que originaría una descarga continua de este tipo de contaminantes. En dicha planta se han instalado equipos que involucran los principales sistemas de tratamiento, aerobio y anaerobio.

Este trabajo tiene el propósito, tomando como base el sistema de tratamiento aerobio instalado en la planta piloto (sedimentador primario, reactor de biodiscos, sedimentador secundario y equipos accesorios), de presentar el dimensionamiento de estos equipos, capaces de manejar un flujo de 273 metros cúbicos/d de vinazas parcialmente tratadas anaerobiamente (20000 mgDQO/L), considerando además el aspecto técnico-económico del proyecto. Los resultados muestran en una primera aproximación que, gracias a la posible comercialización global de la biomasa producida en los biodiscos (como un complemento nutritivo no convencional para peces), se podría recuperar gradualmente la inversión estimada del proyecto, aunque no a un ritmo tan rápido como se daría en otro tipo de empresas; la tasa interna de retorno que se obtuvo para el pronóstico realizado entre los años de 1994 (arranque de la planta) y 1998, indican que es de un valor del 1% anual, pero aunado al "ahorro" y beneficio que tendría la empresa por concepto de derechos de descarga de agua, dado el hecho de que mientras más contaminante es una descarga, más se paga (se contempla un "ahorro" de \$ 375E6 M.N.). Así, se establece que es factible la construcción de una planta con las características enunciadas en este trabajo.

INDICE

		pág.
1.	INTRODUCCION	1
2.	PROBLEMATICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA MEXICO.	
	CASO TIPO: VINAZAS	6
	2.1 Aprovechamiento de efluentes	10
	2.2 Tratamiento biológico de vinazas	11
	2.3 Caracterización de la vinaza	14
3.	PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	18
4.	BIODISCOS (REACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS)	22
5.	CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROCESO	26
	5.1 Premisas de operación	26
	5.2 Cálculo del sedimentador primario	27
	5.3 Cálculo del sedimentador secundario	29
	5.4 Diseño del reactor de biodiscos	29
6.	ESTIMACION ECONOMICA DEL PROYECTO	33
	6.1 Descripción	33
	6.2 Costo de inversión de equipos	36
	6.2.1 Costo de inversión de los sedimentadores primario y secundario	36

6.2.2'	Reactor de biodiscos	39
6.3	Costos de producción	51
6.4	Costos de servicios auxiliares	56
6.5	Consideración económica estimativa de la biomasa y aguas tratadas producidas en el reactor biológico rotatorio	61
7.	ASPECTOS ECONOMICOS DEL PROYECTO	70
7.1	Balance contable	70
7.2	Estado de resultados o de pérdidas y ganancias	72
7.3	Premisas de operación	73
7.4	Resultados	78
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
	Apéndice 1: Diseño de tanques sedimentadores y, Predicciones de cotización	82
	Apéndice 2: Normatividad Intrainstitucional para la aplicación de descargas	
	BIBLIOGRAFIA	91

INTRODUCCION

El hombre desde que existe ha contribuido a la transformación y el deterioro de su "hábitat", en la medida que los grupos humanos se han desarrollado y que la vida en sociedad se ha hecho más complicada y los adelantos de la ciencia y de la técnica han dado lugar a un creciente desarrollo urbano e industrial. La acumulación de contaminantes involucra el peligro de daños irreversibles que, de no evitarse, seguramente alterarán el orden social y pondrán en peligro la supervivencia de la humanidad.

La economía y la crisis energética son puntos claves para la búsqueda de alternativas que lleven a encontrar soluciones para el control de la contaminación ambiental. Afortunadamente, la mayoría de los países del planeta responden con interés; se producen leyes, normas, programas que promueven recursos en esta significativa lucha y que no permiten treguas ni plazos. En los últimos años, se ha observado un claro aumento no sólo en los conocimientos, sino también en la concientización. Se han encontrado soluciones que sería más preciso denominar parciales, para enfrentar algunos problemas ambientales, para hacer una mejor gestión o manejo del medio ambiente, particularmente de aquellos ecosistemas más propios de los países en desarrollo y ausentes, en general, en el hemisferio norte, que es donde se ha desarrollado la

más importante tecnología. Sin embargo, el tercer mundo aún carece en muchos sentidos de la tecnología más apropiada para la explotación de los recursos naturales. No sólo existe el problema de la contaminación, sino también el agotamiento eventual de algunos recursos naturales renovables, justamente por la forma de su utilización y explotación que los convierte o amenaza convertirlos en no renovables.

Una de las industrias que más contaminantes desecha a las cuencas acuíferas del país es la azucarera.

Para la producción de azúcar y alcohol de caña se requiere la utilización de enormes cantidades de agua, que superan el millón de metros cúbicos por día (Zámano y col., 1991). En la fabricación de azúcar se desechan las aguas que provienen del lavado de caña, de la clarificación de jugo, de la limpieza de evaporadores, calentadores y purgas de caldera, de enfriamiento y de servicios sanitarios y en la fábrica de alcohol, las aguas de enfriamiento de condensadores y tinas de fermentadores y las vinazas o residuos de las torres de destilación.

De todas las anteriores, las que son más contaminantes son las vinazas, que provienen de la destilación del alcohol y que se producen en una proporción de doce a quince litros por cada litro de alcohol destilado.

Para disminuir este grave problema de contaminación que producen estos efluentes, en los últimos años, se ha buscado

establecer una biotecnología de tratamiento que permita cumplir con las normas técnicas ecológicas vigentes.

En 1986, se planteó en México un proyecto de investigación que contempla el tratamiento de los efluentes líquidos de un ingenio azucarero, empleando como caso tipo las aguas residuales generadas por las plantas productoras de alcohol, conocidas como vinazas, por medio de métodos aerobios y anaerobios (Durán y col., 1988, 1990, 1991, 1992).

Varias instituciones de educación superior e investigación han participado en este proyecto (entre ellas está la Facultad de Química de la UNAM, a través de su programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental), siendo financiado por Azúcar, S.A. (la empresa paraestatal a cargo de la distribución y comercialización del azúcar). Han venido trabajando durante los últimos cuatro años en la caracterización de las vinazas y en su tratamiento anaerobio para generar biogás como combustible secundario y aerobio para producir biomasa microbiana susceptible de ser utilizada para alimentos balanceados en animales.

Se construyó una planta piloto con capacidad para tratar cinco metros cúbicos por día de vinazas empleando datos experimentales obtenidos a escala de laboratorio contemplando los tratamientos anteriormente enunciados.

Los objetivos que se han alcanzado con la experimentación a nivel piloto son los siguientes:

- 1) Establecer el arreglo óptimo de tratamiento que permitiera depurar las aguas de desecho con un costo mínimo.
- 2) Estudio de la instrumentación real del arreglo que permitiera su construcción, arranque y operación con los medios disponibles.
- 3) Desarrollo de modelos cinéticos con pruebas a nivel de laboratorio que simulen el comportamiento de las biocomunidades que proliferan en cada uno de los sistemas de tratamiento que se desarrollaron.

Asimismo, con esta fase experimental a nivel piloto, se pretendía alcanzar:

- 1) La productividad de biomasa microbiana y su contenido de proteína para, posteriormente, usarla como complemento nutritivo en dietas de animales acuáticos.
- 2) La evaluación del biogás generado y su posible uso como combustible secundario y,
- 3) El posible uso de las aguas tratadas como aguas de riego en zonas agrícolas cercanas a los ingenios.

El propósito de este trabajo tiene la finalidad de establecer un análisis técnico-económico del desarrollo del escalamiento del sistema de postratamiento aerobio (y equipos accesorios) para observar la posibilidad de una virtual instalación de una planta de tratamiento de vinazas con base en los datos obtenidos y proporcionados por los equipos a nivel piloto. De ser necesario se tomarán datos de los equipos que presenten similitud con los

instalados en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria (costos, datos de operación, dimensiones de equipo, etc,) para el adecuado manejo de resultados.

2. PROBLEMATICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA MEXICO CASO TIPO : VINAZAS

El desarrollo de la industria azucarera en México ha atravesado momentos críticos que la han puesto en situaciones difíciles de expansión. Por ello, el gobierno federal, durante la década de los setenta, adquirió un gran número de los ingenios del sector privado en quiebra como una medida de emergencia para preservar y recuperar en la medida de lo posible la capacidad productiva de la industria y atender las necesidades del mercado interno. Las unidades adquiridas fueron de diferentes tamaños y niveles de eficiencia, algunas de ellas con equipos obsoletos y en pésimo estado.

La industria azucarera tuvo un repunte a partir de 1983. Entre 1987 y 1988 se tuvo una producción anual de azúcar de 3,590,097 toneladas. Debido a la crisis económica que ha tenido que enfrentar el país y cuyo máximo estado de severidad fue en 1988, se inició una política de desincorporación de empresas del gobierno federal y casi todos los ingenios, que ya funcionan con números negros, han sido revendidos al sector privado. Actualmente, sólo dos de los ingenios azucareros pertenecen todavía al gobierno federal (sector paraestatal).

La industria azucarera mexicana cuenta actualmente con 66 ingenios distribuidos en 15 estados. Los ingenios se localizan en cuatro regiones. Estas son:

Región occidente: Sinaloa, Jalisco, Nayarit, Michoacán y Colima.

Región oriente: Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí y Oaxaca.

Región centro: Morelos y Puebla.

Región sureste: Campeche, Chiapas y Quintana Roo.

Esta agroindustria enfrenta grandes retos tecnológicos. De ahí que se piense en diversificar los productos derivados del procesamiento de la caña de azúcar. Dentro de estos subproductos se encuentran las mieles incristalizables o finales que pueden ser utilizadas como una fuente energética de animales poligástricos o como sustrato para la elaboración de alcohol etílico y otros insumos biotecnológicos. Desde 1987, la producción de alcohol etílico ha sido de 115 millones de litros y se han generado 1500 millones de litros de vinazas (1.5 millones de metros cúbicos por año). Este es uno de los efluentes líquidos más contaminantes del proceso. Tiene una alta carga orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO) que va aproximadamente de 70,000 a 150,000 mg por litro que, comparada con los desagües domésticos (400 a 600 mg por litro), da una idea del impacto ambiental que causan.

En México el agua es uno de los recursos cuyo consumo se ha ido incrementando, contra la disponibilidad restringida, ya que actualmente se consume más agua de la que se recibe por precipitación pluvial. Adicionalmente, se atenta contra la pureza de los ríos y los depósitos subterráneos al arrojar residuos a ellos, que van deteriorando la calidad de esos recursos hídricos.

Por otro lado, la demanda del agua se multiplica con el desarrollo industrial, el crecimiento de los asentamientos humanos, los nuevos requerimientos de alimentos, etc, y cada una de estas necesidades crea formas de contaminación del agua al no restituirla a su estado original. Ya no se puede confiar a los fenómenos de autopurificación la restitución de las condiciones idóneas de calidad del recurso. La contaminación de las aguas plantea graves problemas, tanto por la insuficiencia de nuestros recursos de agua como por la degradación de las condiciones de vida de este medio natural fundamental, lo cual se traduce en profundas modificaciones de la flora y fauna acuáticas y en una serie de trastornos de diversa índole.

En la tabla 1 se presenta el cuadro con las principales cuencas hidrológicas que han recibido un fuerte impacto de contaminación. En ellas se encuentra el 54% de la carga orgánica del país, 59% de la población, 52% de la superficie bajo riego y 77% del valor bruto de la producción industrial.

Como se puede observar la industria azucarera es una de las principales industrias contaminantes de estas cuencas. Lo anterior constituye un grave problema que reclama que los ingenios vengán adoptando acciones tendientes a minimizar estos efectos negativos mediante el adecuado tratamiento de sus aguas residuales, que permitan su reutilización dentro del ingenio, dado que por otra parte el costo de uso y distribución de agua se irá incrementando en los próximos años.

TABLA 1 CUENCAS DE PRIMER ORDEN (ZAMANO, 1991)

CUENCA	CARGA ORGANICA APROXIMADAMENTE EN MILES DE TONELADAS DE DQO/AÑO	PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACION
PANUCO	335	Urbana; industrias químicas, de bebidas alcohólicas, papelera, azucarera, petroléa, alimentaria y textil.
LERMA	135	Urbana; industrias químicas, azucarera, bebidas alcohólicas, petroléa, productos lácteos y alimentaria.
BALSAS	92	Urbana; industria azucarera, química y textil.
RIG BLANCO	60	Urbana; industrias azucarera, papelera y de bebidas alcohólicas.
GUAYALEJO	60	Urbana e industria textil.
SAN JUAN	60	Urbana; industria química, papelera, de bebidas alcohólicas, petroléa, lácteos y alimentaria.
CULIACAN	49	Urbana e industria azucarera.
FUERTE	48	Urbana; industrias azucarera y pesquera.
COAHUYANA	26	Urbana; industrias azucarera y papelera.
NAZAS	16	Urbana; industria química y de bebidas alcohólicas.
CONCHOS	12	Urbana; industrias papelera, de la curtiduría y alimentaria; estanza de ganado.

2.1 Aprovechamiento de efluentes

La disposición y tratamiento de los subproductos contaminantes en los ingenios considera la reutilización de los mismos, ya que se tiene la gran ventaja de que, en su mayoría, son orgánicos y susceptibles de ser usados y/o transformados. Tal es el caso de la cachaza y vinaza.

A continuación se citan algunos ingenios, en donde se reutilizan los efluentes:

Ingenio Potrero.- Desde hace algunos años las aguas residuales, incluyendo cachaza y vinazas, se incorporan al sistema de riego de los terrenos aledaños al ingenio.

Ingenio San Miguelito.- Desde hace años se utiliza la cachaza como mejorador de suelos, manejándose en forma sólida y transportándola al campo en camiones de volteo. Los agricultores absorben el flete de la cachaza. Este ingenio utiliza las vinazas para riego.

Ingenio Tala.- Actualmente el ingenio desarrolla una investigación en coordinación con el Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar (IMPA), para utilizar las vinazas en riego.

Ingenio Tres Valles.- Recientemente se inició la operación de una planta tipo para la reutilización de las aguas residuales en riego. Otros ingenios vienen analizando la conveniencia de instalar plantas similares, como es el de Alvaro Obregón en Quintana Roo.

Ingenio Santa Clara.- Tiene operando a nivel planta piloto, una planta concentradora de vinazas para su utilización como alimento animal.

Ingenio Alianza Popular.- Tiene operando a nivel piloto una planta para la producción de biogás y la obtención de proteína microbiana. Un análisis económico preliminar indica que el sistema de tratamiento de las vinazas podría ser autofinanciable en la medida en que se hiciera uso de los subproductos generados durante este tratamiento.

2.2 Tratamiento biológico de las vinazas

Como anteriormente se indicó, en este proyecto se estudiaron tres sistemas anaerobios y uno aerobio a escala piloto. En la primera fase del proyecto se trabajó en forma independiente, con el objeto de evaluar su eficiencia depuradora. En la segunda fase se conectaron los reactores anaerobios en serie con el reactor aerobio.

La planta piloto de tratamiento biológico usada hasta el momento para vinaza se localiza en el Ingenio Alianza Popular, en Tambaca, municipio de Tamasopo, San Luis Potosí.

Los sistemas anaerobios son los siguientes:

- Un reactor de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB).
- Tres reactores de lecho empacado o filtros anaerobios, tanto de flujo ascendente como descendente.
- Un reactor anaerobio de lecho fluidificado (Ralef).

Los primeros dos reactores pertenecen al Instituto de Ingeniería de la UNAM y el tercer tipo de reactor al Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), Zacatenco.

Para el sistema aerobio:

-Un reactor biológico rotatorio (RBR) o reactor de discos biológicos.

-Un reactor aerobio de lecho fluidificado (Ralef).

Los anteriores equipos pertenecen a la Facultad de Química de la UNAM y el Cinvestav (Zacatenco), respectivamente.

Estos sistemas ya han sido usados en una primera etapa para estudiar la remoción de la materia orgánica presente en las vinazas, obteniéndose una remoción de aproximadamente el 70% de la materia orgánica, medida como demanda química de oxígeno (DQO) para los sistemas anaerobios y de un 40 a un 60% de materia orgánica medida como DQO para el sistema aerobio (Durán y col., 1988, 1990, 1991, 1992).

Por esto, en la segunda fase se verificó su efectividad al conectarse en serie los sistemas anaerobios con el RBR, con el fin de estudiar no sólo el tratamiento anaerobio y aerobio de las vinazas por separado sino con el objetivo específico de estudiar la posible generación de biogás y biomasa microbiana y su uso potencial para dar valor agregado al sistema de tratamiento.

El reactor biológico rotatorio (RBR) ya ha sido utilizado anteriormente para realizar estudios con aguas residuales

generadas por molinos de nixtamal y fábricas de harina de maíz nixtamalizado. Estas aguas, conocidas como nejayote han permitido obtener biomasa microbiana con un contenido de nitrógeno equivalente a un promedio de 20% de proteína en base seca que ha sido empleado como alimento de peces (Paredes y col., 1991).

En la figura 2.1 se presenta un diagrama esquemático de la planta piloto. La vinaza sale del sistema de destilación a una temperatura aproximada de 80°C y con un pH de 3 a 5 para ser llevada hacia la planta piloto por medio de camiones pipa. En ocasiones se neutraliza con cal para aumentar su pH a un valor de 6 a 6.5, aunque esto no es deseable si se quiere usar la biomasa generada como complemento alimenticio. Se llena un tanque de almacenamiento de 1.7 m³ y, a través de bombas centrífugas de 1/2 HP, se lleva la vinaza a un tanque sedimentador primario de 6 m³ que se encuentra a una altura de 5 m. Una vez que la vinaza se encuentra en el sedimentador, es llevada por gravedad mediante una red de tuberías hacia cada uno de los reactores anaerobios.

Durante este lapso, la temperatura de las vinazas ha disminuido hasta 35°C que es la temperatura a la que operan estos reactores. Los efluentes anaerobios pretratados se envían al reactor de biodiscos y al fluidificado aerobio para su tratamiento biológico final. Los gastos de alimentación se controlan mediante válvulas de globo. Los volúmenes de trabajo de cada uno de los sistemas anaerobios son de 5000 litros para el manto de lodos, de

300 litros para el lecho fluidificado y de 294 para cada uno de los de lecho empacado. El sistema aerobio de biodiscos tiene un volumen de trabajo de 3000 litros y el fluidificado de 25 litros. La vinaza, una vez tratada, se evacúa hacia el drenaje de la planta.

2.3 Caracterización de la vinaza

La composición de las vinazas varía dependiendo de la materia prima utilizada durante la fermentación así como la destilación. En el ingenio Alianza Popular, por ejemplo, la levadura muerta no es separada del mosto fermentado (ó vino) antes de enviarse a las torres de destilación, lo que aumenta la carga orgánica de las aguas residuales.

La materia orgánica fue medida como demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO), pH, temperatura, alcalinidad, turbiedad, sólidos totales, suspendidos y disueltos.

La caracterización de las vinazas usadas se presenta en la tabla 2. Para algunos lotes de las vinazas frescas, en la planta de alcohol se agregó cal para neutralizarlas pero para el caso de las vinazas almacenadas, éstas fueron mantenidas en sus condiciones originales de pH.

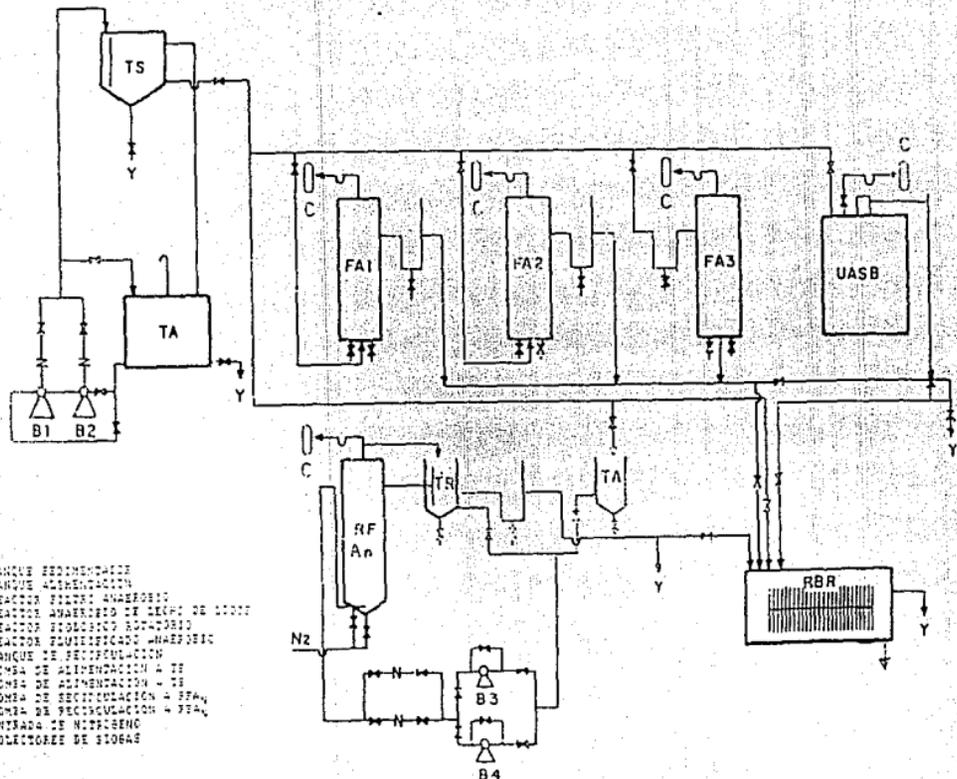


FIG. 1 PLANTA FILTRO DE TRATAMIENTO DE LW-243

TABLA 2. Análisis promedio de las vinazas (frescas y almacenadas)

Parámetro	VINAZAS	
	Frescas	Almacenadas
Temperatura, °C	25-35	25-30
pH	6.5-7.0	4.5-5.5
Alcalinidad, mg CaCO ₃ /litro	5800	9000
Turbiedad, NTU (unidades nefelométricas)	30000	30000
Sólidos totales, mg/litro	63000	47700
DBO ₅ , mg O ₂ /litro	31500*	27500+
DQO, mg O ₂ /litro	69000	64000
Nitrógeno Kjeldhal, mgN/litro	1600	1300
Nitrógeno amoniacal, mgN/litro	150	500
Sulfatos, mg/litro	3100	2800

*Dilución de 1/100

+Dilución de 1/50

Tomando como base la información anterior se procederá en este trabajo a realizar y determinar el escalamiento del sistema de tratamiento biológico establecido por el reactor de biodiscos, así como los equipos accesorios de tratamiento (sedimentador primario, sedimentador secundario, tuberías, sistema de bombeo, etc.), determinando posteriormente la factibilidad económica del proyecto para observar la viabilidad de la implantación de este proceso en un futuro cercano. Se considera como lugar inicial de emplazamiento de esta planta su ubicación en las cercanías del ingenio azucarero Alianza Popular, debido a que en este lugar se encuentra instalada, como se mencionó anteriormente, la planta piloto que ha permitido el estudio del tratamiento de las vinazas, facilitando en caso necesario datos y condiciones de operación para el equipo a escalar. El sistema de tratamiento anaerobio no se consideró en este trabajo debido a que el desarrollo de un posible escalamiento quedaría a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM, ya que dicha dependencia se encargó del desarrollo y adecuación de este tipo de equipos en la fase experimental y planta piloto, siendo ellos, por tanto, el equipo de trabajo más adecuado para realizar un estudio similar al de este trabajo. Además de los datos suministrados por resultados de la planta piloto, se tomaron y adecuaron cifras obtenidas de equipos similares que se encuentran en la Planta de tratamiento de aguas

Residuales de la UNAM ubicada en Ciudad Universitaria (México, D.F.).

3. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La remoción del material que contamina a una corriente líquida puede estar en fase sólida, como líquido inmisible ó disuelta en la fase líquida. Dependiendo de sus propiedades físicas se separa por gravedad, por flotación o por precipitación.

Las reacciones bioquímicas de "precipitación" se basan en la asimilación de esas sustancias biodegradables disueltas en el agua residual por microorganismos. Estos las usan como nutrimentos reproduciéndose y formando nuevos microorganismos. Dado que esos microorganismos o "biomasa microbiana" son lo suficientemente densos como para ser separados por sedimentación, esa asimilación funciona como "precipitación". Este es el mecanismo por el cual las corrientes de aguas naturales, como lagos y ríos, se autopurifican.

La purificación biológica se utiliza comúnmente para tratar aguas de desecho que contienen materia orgánica disuelta biodegradable. Las bacterias desdoblan los compuestos complejos en otros más sencillos y estables; los productos finales normales son dióxido de carbono, agua, nitratos y sulfatos.

Las aguas residuales que contienen solutos contaminantes biodegradables se ponen en contacto con una densa población de microorganismos apropiados durante un tiempo suficiente que permita a los microorganismos descomponer o eliminar los solutos contaminantes.

En el tratamiento biológico los organismos que contribuyen a la remoción del sustrato tienden a ser de autoselección por lo que no es necesario tomar estrictas precauciones de asepsia o control de poblaciones durante la operación.

Los microorganismos se pueden dividir en aquellos que necesitan oxígeno para la metabolización de la materia orgánica y los que no lo necesitan. Los que lo requieren se describen como aerobios y el oxígeno debe estar disponible en forma de oxígeno libre disuelto. A los organismos que sólo pueden crecer en presencia de oxígeno se les llama aerobios obligados. Los que crecen en ausencia total del oxígeno se les llama anaerobios obligados.

Algunos organismos son capaces de cambiar su metabolismo de manera que pueden crecer esté presente o no el oxígeno y se les llama facultativos.

El oxígeno libre disuelto es el reactivo limitante para los procesos aerobios y cuando los organismos aerobios utilizan los nutrimentos orgánicos, consumen al mismo tiempo el oxígeno disuelto. Si no se repone el oxígeno disuelto, el crecimiento

aerobio se detiene cuando se agota el oxígeno y sólo pueden continuar los procesos anaerobios que son más lentos (su rapidez de reacción es menor) y mal olientes (generan metano, amoníaco y ácido sulfhídrico).

La disponibilidad del oxígeno libre disuelto en el agua es, por lo tanto, el factor clave que limita la capacidad de autopurificación de una corriente de agua.

Algunos tipos de microorganismos son capaces de utilizar el oxígeno combinado en compuestos químicos disueltos como nitratos y nitritos cuando no está disponible el oxígeno libre disuelto, por lo que los procesos son aerobios-anóxicos o anaerobios-anóxicos.

Cuando la materia orgánica se pone en contacto con el llamado lodo biológico (comunidades microbianas depuradoras), la materia orgánica disuelta, medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), se remueve por varios mecanismos. Los sólidos suspendidos y muy finos se eliminan por medio de la adsorción y coagulación. Parte de la materia orgánica soluble se remueve inicialmente por medio de absorción y se almacena en la célula como reserva de alimento. La materia orgánica restante en disolución se remueve progresivamente durante el proceso de aeración, resultando en la síntesis de nuevos organismos y en la producción de bióxido de carbono y agua.

La facilidad de oxidación de la materia orgánica disminuye a medida que la complejidad de los compuestos aumenta.

Las partículas grandes se subdividen por medio de la hidrólisis antes de oxidarse. Las reacciones que representan la remoción de la DBO durante la biooxidación se pueden interpretar de la siguiente manera:

1. La remoción inicial de la materia orgánica al ponerse en contacto los desechos con un lodo biológicamente activo, que la almacena como reserva de alimento.

2. La remoción está en proporción directa al "crecimiento" del lodo biológico.

3. Oxidación de la materia celular biológica a través de respiración endógena.

Estas reacciones se ilustran con las siguientes ecuaciones:

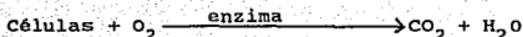
Oxidación de materia orgánica:



Síntesis de materia celular:



Oxidación de materia celular:



Los procesos aerobios son bioquímicamente eficientes y rápidos y generan productos secundarios que casi siempre son químicamente simples y están altamente oxidados, como el anhídrido carbónico y el agua. Los procesos anaerobios son bioquímicamente más lentos y dan origen a productos secundarios químicamente complejos y/o malolientes. Dirigiéndose al proceso aerobio que será estudiado en este trabajo, a continuación se describe brevemente su operación.

4. BIODISCOS (REACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS)

4.1 Descripción del proceso

Originalmente, este sistema consistía en una serie de discos de madera, con diámetros entre 1 y 3.5 m, montados sobre una flecha horizontal que giraba durante el movimiento. Cerca del 40 % del área superficial de los discos se encontraba sumergida en el agua de desecho. Actualmente, también se utilizan placas de plástico corrugado y otros materiales en vez de discos.

Quando el proceso inicia su operación, los microbios del agua de desecho se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área queda cubierta con una capa o

película microbiana.

En forma general, el sistema está constituido por un sedimentador primario, biodiscos y un sedimentador secundario (fig. 4.1).

Al girar los discos, la película biológica adherida a estos entra en contacto, alternadamente, con el agua de desecho que está en el tanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir el agua del tanque, los discos arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se lleva a cabo por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa al pasar por el aire ambiente. Los microorganismos utilizan el oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica. Cada vez que pasa por el agua de desecho, la biomasa absorbe materia orgánica que es utilizada como fuente de nutrientes. Los principales productos de la oxidación bioquímica son, como ya se dijo agua, bióxido de carbono y microorganismos que aumentan la población bacteriana. El exceso de microorganismos se desprende de los discos debido a las fuerzas cortantes originadas por la rotación de estos al pasar por la superficie del agua. Los microorganismos desprendidos se mantienen en suspensión en el líquido, salen del tanque con el agua tratada y se dirigen

hacia el sedimentador secundario , donde son separados de ésta.

Los discos o material plástico cumplen varios propósitos: son un soporte para las poblaciones microbianas, sirven como dispositivo de mezclado en el tanque y permiten la oxigenación del medio. A continuación se describe someramente cómo se dimensionan.

Sedimentador
primario

Clarificador
secundario

Influente

Efluente

A disposici3n
de lodos

FIG. 4.1 EL PROCESO DE BIODISCOS (AUTOTROL, 1978)

5. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROCESO

Con objeto de dimensionar la planta de tratamiento de vinazas se consideró la producción promedio anual del ingenio donde se instalaría la planta. Esta producción es estacional ya que la caña de azúcar se procesa generalmente de diciembre a mayo o junio y la producción de alcohol etílico a partir de las melazas generadas se realiza de mediados de enero a mediados de julio. Al período de operación se le conoce como "zafra" .

Por esta razón el flujo de diseño de la planta se hará considerando seis meses de operación, dejándose los reactores operando hasta esa fecha y dejando el período "interzafra" para mantenimiento.

A continuación se presentan las premisas tomadas para el dimensionamiento de la planta:

5.1 Premisas de operación:

- 1) Flujo de diseño: $273 \text{ m}^3/\text{d}$
- 2) Flujo de operación: $257 \text{ m}^3/\text{d}$
- 3) Factor de operación: 0.9

4) Lugar de ubicación de la planta: Ingenio Azucarero "Alianza Popular", en Tambaca, municipio de Tamasopo, San Luis Potosí.

Esta planta produce alrededor de 50 millones de litros de alcohol etílico por zafra ($46,260 \text{ m}^3/\text{año op.}$); se tiene el dato de que por cada litro de alcohol etílico destilado se obtienen 10 litros de fondos de destilación, llamadas vinazas. De esta forma

la cantidad de vinazas generadas por el ingenio es de 462,600 m³ vinazas/año op. El tiempo de operación a proponer es de 180 d/año originando un flujo de operación de vinazas hacia la planta de tratamiento de será de 257 m³/d y considerando un 5% de sobrediseño del flujo de operación para sobredimensionar los equipos a considerar se tiene un flujo de diseño de 273 m³/año.

5.2 Cálculo del sedimentador primario de aguas residuales (vinazas)

El propósito de la instalación de este equipo es la de regular y mantener un flujo constante de influente al reactor de biodiscos, para evitar fluctuaciones muy sensibles en la operación del reactor y/o la remoción de materia orgánica que no fué tratada por el reactor anaerobio del paso previo.

De acuerdo a búsqueda de información, es posible el diseño de este tipo de equipos usando nomogramas en donde son involucrados parámetros como gasto de alimentación, velocidad de sobreflujo, tiempo de retención, área, volumen del decantador, etc, entre otros (Castillo, 1963).

Conociendo el gasto de diseño (273 m³/d=75.83 L/s) y proponiendo un valor típico (recomendado en literatura) de tiempo de residencia del efluente en este tipo de equipo de 2.0 horas y un valor de velocidad de sobreflujo (m³/m²*d) para sedimentación primaria de 35.5. y relacionando los nomogramas (un ejemplo de uso se anexa en el apéndice 1) se obtienen los siguientes valores:

Area decantador= 200 m²

Volumen decantador= 450 m³

Profundidad= 2.2 m

Diámetro= 15.5 m

Gasto vertedero= 170 m³/d/m

Gasto= 75.83 L/s

La entrada de agua se realiza por medio de un cilindro con repartidores cuyo diámetro se calculó con la ecuación $D_w = 0.15 \cdot D$ (según JWPCF, 1988). Por tanto, $D_w = 0.15(15.2) = 2.28$ m; además, la altura de dicho cilindro es de un valor medio estadístico de 1.25 m (de igual forma, según JWPCF, 1988).

Vertedero de salida

$L=Q/V$

donde L= Longitud necesaria de vertedero (m)

Q= caudal a tratar (m³/d)

V= carga de salida por el vertedero
(m³/d/m)

$$L = \frac{278 \text{ m}^3/\text{d}}{170 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}} = 1.63 \text{ m}$$

Barredoras de fangos ó lodos ó sólidos sedimentables:

Siendo v_r la velocidad lineal de las barredoras de fondo en decantadores, puede tomarse como valor típico $v_r = 0.6$ m/min (Hernández, 1990).

5.3 Diseño del sedimentador secundario

Usando el mismo procedimiento que para el cálculo del sedimentador primario, cambiando el valor típico de residencia del efluente es de 1.5 horas y un valor de velocidad de sobreflujo para sedimentación secundaria de 40.5 y relacionando los nomogramas se obtienen los siguientes valores:

Area decantador= 190 m^2

Volumen decantador= 410 m^3

Profundidad= 2.5 m

Diámetro= 15.2 m

Gasto vertedero= $170 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$

Gasto= 75.83 L/s

Las demás dimensiones son idénticas a las del sedimentador primario.

5.4 Diseño del reactor de biodisco

Explicación básica del sistema

Los parámetros básicos para realizar el diseño del reactor de biodiscos son (González y col., 1989):

- 1) Número de etapas
- 2) Velocidad de rotación de los discos
- 3) Volumen del tanque
- 4) Area superficial

1) Número de etapas

La división del proceso en etapas origina en cada una de ellas el desarrollo de diferentes tipos de poblaciones microbianas; los organismos heterótrofos predominan en todas las etapas y en las últimas existe un alto porcentaje de bacterias nitrificantes. Con base en el contenido de amoníaco del agua, para tratar, el ingeniero de diseño debe decidir si el proceso funcionará con cuatro etapas (control riguroso de la nitrificación) o solo con tres (sin control riguroso del amoníaco en el efluente).

Generalmente se recomienda la operación del proceso con cuatros etapas pues, aunque no se requiera un control riguroso del contenido de amoníaco en el agua tratada ya que es un residuo carbonoso, la última etapa funciona como un eliminador de turbidez debido a la presencia de organismos depredadores (protozoarios, rotíferos, nemátodos) que se alimentan de las partículas (microorganismos o sustancias orgánicas) suspendidas en el agua de desecho.

2) Velocidad de rotación

Antonie (1976), recomienda emplear una velocidad periférica de 0.30 m/s porque con un valor mayor no se obtiene una diferencia significativa en la eliminación de contaminantes. Sin embargo, tal sugerencia está fundamentada en la experimentación con solamente tres velocidades periféricas diferentes: 0.18, 0.30 y 0.42 m/s. La

velocidad de 0.42 m/s no mejora la eliminación, pero esto no implica que el valor óptimo sea de 0.30 m/s . El diseñador puede considerar la velocidad de 0.30 m/s como una primera aproximación y, posteriormente, si las condiciones de operación lo permiten, utilizar una velocidad periférica menor, siempre y cuando ésta garantice condiciones aerobias en el proceso. Para el caso del nejayote, también esta velocidad periférica funcionó adecuadamente (Durán de Bazúa, 1981).

3) Volumen del tanque

Otra de las variables de diseño por especificar es el volumen del tanque sobre el cual van montados el biodisco. Dicho volumen está relacionado con el tiempo de residencia hidráulica y con el gasto. La mayoría de las investigaciones realizadas hasta la fecha consideran que el tiempo de residencia hidráulica tiene una influencia menor que la velocidad rotacional y el diseño per se del reactor, ya que la degradación de sustrato parece depender fundamentalmente del área superficial.

Se recomienda construir las instalaciones de biodiscos con una relación volumen/área de 4.9 a 6.9 L/m² a fin de que el proceso sea más eficiente.

4) Area superficial

El área superficial es el parámetro más importante para el diseño de un reactor de biodiscos.

Cabe destacar que el estudio experimental resulta imprescindible en el caso de desechos líquidos industriales y, particularmente para los casos de aguas de desecho de tipo no doméstico, ya que no existe información suficiente sobre cada uno de ellos para efectuar el diseño con un acercamiento empírico.

El procedimiento general se divide en 2 partes: la primera se refiere a la determinación experimental de los parámetros cinéticos y la segunda al cálculo del área superficial. El modelo cinético generalmente propuesto se basa en el de Stover y Kincannon (Pulido y col., 1988).

El dimensionamiento del reactor de biodiscos se realizará conjuntamente con el estudio económico de este equipo, debido a que el método de escalamiento empleado utiliza características simultáneas de tamaño y costo de equipo.

6. ESTIMACION ECONOMICA DEL PROYECTO

6.1 Descripción

En la elaboración y procedimiento de una planta química, ya sea de proceso o de servicios auxiliares, es necesario determinar previamente la estimación estricta o con cierto grado de incertidumbre preestablecido, el monto de la inversión fija, costos de producción, mantenimiento, reparaciones, mano de obra, costos administrativos, costos de servicios auxiliares, etc., que en combinación con términos contables originan el balance contable del proyecto, estado de pérdidas y ganancias y la bonanza del proyecto económico para, finalmente, determinar la tasa interna de retorno, en donde este aspecto establece la relación entre el capital social y la utilidad neta, que demuestra el ritmo de crecimiento que tiene una empresa con el paso del tiempo.

1) Inversiones de capital

Antes de que una planta industrial pueda ser puesta en operación, una larga suma de dinero debe ser suministrada para comprar e instalar la maquinaria y equipo necesarios. El terreno y las facilidades de servicios deben ser obtenidos y la planta puede ser completada con toda la tubería, controles y servicios. En adición, es necesario tener dinero disponible para el pago de los gastos involucrados en la operación inicial de la planta.

El capital necesario para suministrar la manufactura necesaria y facilidades a la planta es llamada la inversión fija

de capital, mientras que la cantidad necesaria para la operación de la planta es denominado capital de trabajo. La suma de la inversión fija y el capital de trabajo es conocido como la inversión fija total.

La porción de capital fijo puede ser subdividido adicionalmente en inversión de capital fijo para manufactura y para no manufactura.

2) Inversión de capital fijo

La inversión de capital fijo para manufactura representa el capital necesario para la instalación de equipo de proceso con todos los elementos auxiliares que son necesarios para completar la operación del proceso y son ejemplos típicos de costos incluidos en la inversión de capital fijo de manufactura.

El capital fijo requerido para la construcción y para todos los componentes que están relacionados directamente a la operación del proceso son ejemplos típicos de costos incluidos en la inversión de capital fijo de manufactura.

El capital fijo requerido para la construcción y para todos los componentes que no están relacionados directamente a la operación del proceso es designado como inversión de capital fijo de no-manufactura. Estos componentes de planta incluyen el terreno, edificios de proceso, administrativos y otras oficinas, almacenes, laboratorios, transportación, embarcaciones y facilidades de recibo de materia prima, utilidad y facilidad de

disposición de desechos, tiendas y otras partes permanentes de la planta. Los costos de construcción consisten de gastos de supervisión y oficina, gastos de ingeniería, costos misceláneos de construcción, honorarios de contratistas y contingencias.

3) Capital de trabajo

El capital de trabajo para una planta industrial consiste de la cantidad total de dinero invertido en: (a) materiales en bruto y provisiones transportadas en existencia, (b) productos terminados en existencia y productos semi-acabados en el proceso del inicio de la manufactura, (c) cobranza de cuentas, (d) efectivo retenido sobre la entrega para el pago mensual de desembolsos de operación, como son salarios, pagos y compra de material.

Con base en los conceptos anteriores se procede a continuación a estimar y calcular los elementos más representativos de las partes que integran tanto la inversión de capital fijo como el capital de trabajo para, posteriormente, realizar el análisis económico del conjunto de datos que conforman en conjunto y orden determinado el balance contable y el estado de pérdidas y ganancias (Aries & Newton, 1955).

6.2 Costo de inversión de equipos

6.2.1 Costo de inversión de los sedimentadores primario y secundario

6.2.1.1 Sedimentador primario

La inversión que se requeriría para la construcción de estos equipos es muy similar debido a que, aunque son de dimensiones diferentes, es posible considerar igualdad de inversión con un error de aproximadamente 15% del valor real, ya que el tipo de servicio que darán estos equipos es muy similar. La inversión puede ser calculada mediante el uso de gráficas, donde se relacionan los costos de componentes de construcción del equipo (en millones de dólares) vs. flujo de diseño (millones de galones/día); esta gráfica es mostrada en la figura 6.1 (proporcionada por la I.Q. Rosaura Guerra), en donde aparecen líneas rectas que involucran el costo desglosado de aspectos como costo de concreto, equipo, excavación, tubería, parámetros que se ven afectados por las dos variables anteriormente enunciadas. Las ecuaciones que describen las rectas son las siguientes:

a) Concreto: $C_1 = (5.85 \cdot 10^4) Q^{0.83}$

b) Equipo: $C_2 = (5.1 \cdot 10^4) Q^{0.6}$

c) Excavación: $C_3 = (5.72 \cdot 10^3) Q^{0.94}$

d) Tubería: $C_4 = (1.33 \cdot 10^4) Q^{0.66}$

donde Q es el flujo de diseño de los equipos (MGD).

Como afirmación adicional, dicha gráfica esta conformada para un tiempo de residencia de dos horas. Por tanto, utilizando las anteriores ecuaciones para determinar el valor de costo de inversión para cada equipo individual utilizando el flujo de diseño de $Q=273 \text{ m}^3/\text{día}=0.072 \text{ MGD}$ para calcular C_1 a C_4 y sumando dichos valores para obtener el valor de inversión aproximada de este equipo se obtendría el siguiente resultado:

$$C_1 = 6587.82$$

$$C_2 = 10518.88$$

$$C_3 = 482.26$$

$$C_4 = 2342.56$$

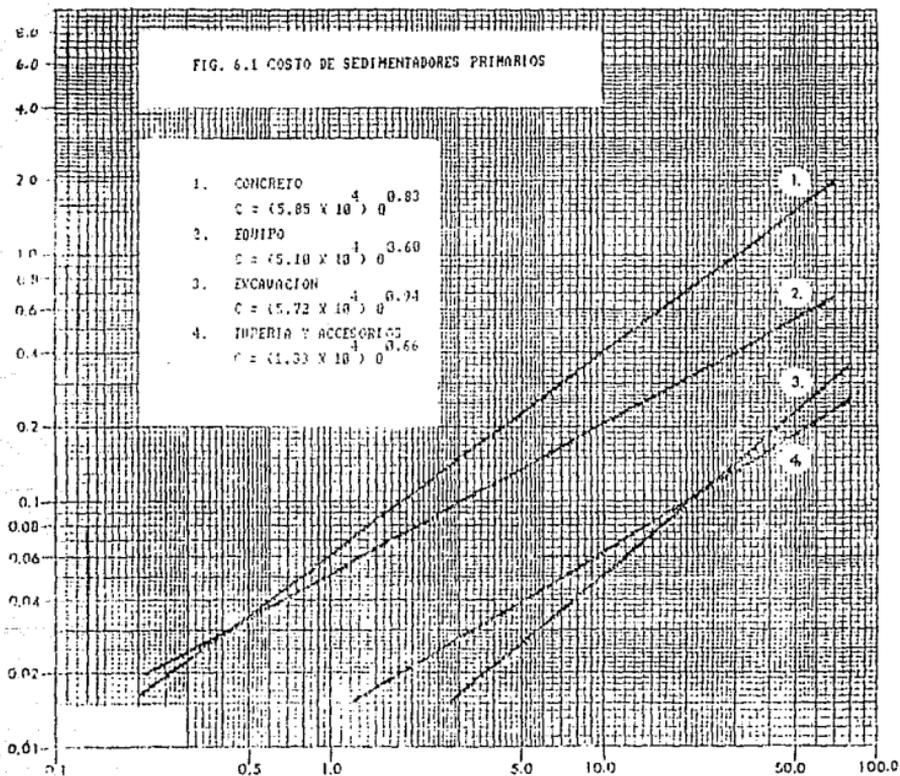
$$C_T = 19931.56 \text{ USD}$$

Para este cálculo es irrelevante el contenido de sólidos suspendidos. Sin embargo, cabe mencionar que, de los experimentos en la planta piloto se encontró una concentración inicial de sólidos suspendidos de 63 g/L y una final, después del sedimentador primario de 1.365 g/L (Zámano y col., 1991).

6.2.1.2 Sedimentador secundario

Como se mencionó anteriormente, para esta etapa de cálculo se considera que la inversión monetaria para el sedimentador secundario es posible calcularla empleando las ecuaciones que se

FIG. 6.1 COSTO DE SEDIMENTADORES PRIMARIOS



- 1. CONCRETO
 $C = (5.85 \times 10^4) Q^{0.83}$
- 2. EQUIPO
 $C = (5.10 \times 10^4) Q^{0.60}$
- 3. EXCAVACION
 $C = (5.72 \times 10^4) Q^{0.74}$
- 4. INTERES Y ACCESORIOS
 $C = (1.33 \times 10^4) Q^{0.66}$

FLUJO DE DISEÑO (MGD)

establecieron para el costo del equipo anterior, multiplicando dichos valores por un factor de corrección de 0.75 (debido a los tiempos de residencia diferentes); para este equipo se supone el mismo procedimiento de cálculo de inversión, dando como resultado un monto de \$14948.44 USD. De esta forma, la inversión total de estos 2 equipos es de \$34879.96 USD.

6.2.2 Reactor de biodiscos

Esta unidad del proceso de tratamiento se puede considerar como lo más importante y, por tanto, crítica, ya que un mal dimensionamiento o especificación del bio-reactor podría originar un mayor desembolso innecesario. Por tanto, se enuncian a continuación las siguientes premisas:

1) Se tiene a disposición las características y especificaciones de diseño de un bio-reactor patentado y construido por la empresa estadounidense Autrotol Corp. para su instalación en la "Planta de tratamiento de aguas residuales" en la Ciudad Universitaria de la UNAM en el año de 1982 (Ochoa, 1983). Este reactor sigue operando en condiciones normales hasta la fecha. A continuación se enuncian dichas especificaciones:

-Tanque: Material: Concreto

Dimensiones: Volumen total= 92.48 m³

Area= 43 m²

Ancho= 4.66 m

Profundidad= 2.15 m

Largo= 9.23 m

- Discos:

Material: Polietileno de alta densidad

Dimensiones:

Diámetro= 3.62 m

Longitud= 1.67 m

Separación entre discos= 0.3 m

Area superficial total= 8694 m²

4 etapas de tratamiento

1a. etapa= 4560 m² (443 discos)

etapas posteriores=4134 m² totales
(402 discos)

-Motor eléctrico:

Potencia= 5 HP

1150 rpm

3 fases

60 Hz

220 volts

-Flecha de transmisión:

Material: Acero A-36

-Tubería de salida del tanque: f= 6 in

-Gasto de diseño: 7.5 L/s para DBO de 150 mg/L y 200 mg/L de sólidos suspendidos en el influente.

-Gasto de operación: 10 L/s (90-95% de eficiencia de remoción, TRH=2.75 horas).

Conociendo que el flujo de diseño es de $273 \text{ m}^3/\text{d}$, surge una serie de cuestiones que pueden originarse en este momento; Cuál sería la combinación más adecuada de instalación de equipos para el tratamiento de las vinazas? Existen las opciones de instalar un equipo con un volumen total que cubra todo el flujo a manejar o adecuar un tren de reactores en paralelo que, en total, cubran el mismo flujo, solo que con dimensiones individuales menores al del primer reactor propuesto.

Para determinar adecuadamente la respuesta a las preguntas anteriores es necesario observar una combinación dimensión-precio de equipo para establecer qué opción es la más adecuada de acuerdo a los objetivos de uso y operación previstos en la adquisición del equipo o equipos de interés. Por otro lado, es importante definir la facilidad de construcción, ensamblaje y manejo del reactor de acuerdo con sus dimensiones.

Además, es necesario realizar en esta parte del trabajo una estimación de costos de equipo por escalamiento debido a que solo se cuenta con información económica de un tipo de reactor que puede no cumplir satisfactoriamente con los objetivos previstos. Esto es a menudo necesario para estimar el costo de una pieza de equipo cuando los datos de costos no son certeros para el tamaño de capacidad operacional involucrado. Buenos resultados pueden ser obtenidos por el uso de relaciones logarítmicas conocidas como "la regla del factor exponencial" (0.6), en la que si la nueva pieza de equipo es similar a otra con una capacidad distinta para la

cuál los datos de costo son confiables, los costos de esa nueva unidad con X veces la capacidad de la conocida serán de aproximadamente $(X)^{0.6}$ veces el costo de esa unidad conocida.

$$\text{Costo del equipo a} = \text{Costo del equipo b} \left\{ \frac{\text{capacidad equipo a}}{\text{capacidad equipo b}} \right\}^{0.6}$$

De acuerdo con lo anterior, se estima con la ecuación anterior el posible costo de las siguientes combinaciones de unidades-volumen de equipo:

- 1) Si se desea un solo equipo, éste tendrá un volumen de 273 m³
- 2) Si se desean 2 equipos, cada uno tendrá un volumen de 137 m³
- 3) Si se desean 3 equipos, cada uno tendrá un volumen de 91 m³, que es la capacidad del equipo Autrotol.
- 4) Todos los equipos tendrían un tiempo de residencia hidráulico de un día.

De esta forma, conociendo el precio de adquisición de la unidad Autrotol anteriormente enunciada, que fue de \$50,500.00 USD en el lapso Noviembre-Diciembre de 1980, se origina la siguiente tabla comparativa (Tabla 6.1):

TABLA 6.1. ESTIMACION DE COSTOS PARA REACTORES DE BIODISCOS

Volumen del biodisco (m ³)	# Unidades	Costo estimado por unidad (USD)	Costo Total (USD)
273	1	97625.69	97625.69
137	2	64486.90	128973.81
91	3	50500.00	151500.00

De esta forma se observa que el valor total más adecuado es el de la unidad de 273 m³, ya que se requeriría únicamente de una unidad en operación, además de observarse que sería más económica la operación y mantenimiento de una sola unidad que el mismo servicio para más unidades, aún con dimensiones menores. Además, una sola unidad establece con cierta confiabilidad la seguridad en el comportamiento de operación del reactor (remoción de materia orgánica principalmente) sobre un mayor número de unidades instaladas, pese a que se conectarían en paralelo, debido a que podrían presentarse problemas en el funcionamiento adecuado de alguna de las unidades lo que daría como resultado la perturbación de la operación de la unidad inmediata.

De igual forma, para determinar las características de las demás variables de diseño del reactor escalado con base en las características del reactor Autrotol, se procede a utilizar la ecuación de escalamiento, despejando la capacidad del equipo "a" y utilizando la relación de costos entre equipos, además de la variable conocida del equipo "b" , se obtiene la siguiente tabla de variables de diseño para el reactor a escalar (Tabla 6.2):

TABLA 6.2. DIMENSIONAMIENTO DE REACTORES DE BIODISCOS

Variable	Capacidad Equipo	
	Autrotol	Escalado
1) Tanque		
Volumen (m ³)	92.48	273
Area (m ²)	43	128.43
Ancho (m)	4.66	13.91
Largo (m)	9.23	27.56
Profundidad (m)	2.15	6.42
2) Discos		
Diámetro (m)	3.62	10.81
Area superficial (m ²)	8752	26140.87
4 etapas de tratamiento en ambos casos		
Area primera etapa (m ²)	4560	13520.85
Area etapas posteriores (m ²)	4134	12520.85
3) Motor eléctrico		
Potencia (HP)	5	15
RPM	1150	3435
Fases	3	3
Ciclos (Hz)	60	60
Voltaje (volts)	220	220

Naturalmente, debe mencionarse que no es sencillo manejar discos de más de 5 m de diámetro ni un tanque de 20 m de largo y mayores diámetros a 5 m. Un equipo de estas dimensiones resulta poco manejable pero si, a la luz de un estudio económico su costo es considerablemente menor que dos reactores conectados en paralelo, sería necesario asociar los costos de su manejo.

Una observación que debe hacerse con respecto a los datos anteriores, es que es necesario realizar una comprobación con datos de tratamiento de vinazas debido a que, como se mencionó anteriormente, el reactor Autrotol se utiliza para el tratamiento de aguas de tipo doméstico, lo que podría originar posibles fallas en la operación del reactor escalado, ya que el tipo de servicio implica una remoción de carga orgánica mayor (200-600 mg (DQO)/L contra aproximadamente 20000 mg (DQO)/L respectivamente) y, por tanto, condiciones de operación diferentes. Por tanto, utilizando datos obtenidos del tratamiento en planta piloto de las vinazas sería adecuado comprobar la certeza del escalamiento, pero como aproximación se puede considerar como válida.

Continuando con el aspecto económico, para actualizar la información del costo de adquisición del equipo a valor presente (recuérdese que se tiene un valor de adquisición, considerando que el equipo fue comprado en 1980), se utilizan los valores de los índices "Marshall & Swift Equipment Cost Index", reportados en la revista Chemical Engineering mensualmente. En ellos se encuentra

la variación de costos para diferentes rubros en la industria química (considerando como valor de 100 el del año de 1926). Considerando que el proyecto está englobado dentro del rubro de industria de proceso, de acuerdo a la clasificación de dicho índice y la relación siguiente :

$$\text{Costo Presente} = \text{Costo Original} \frac{\text{Valor del índice a tiempo presente}}{\text{Valor del índice al tiempo de costo original}}$$

se realizó la actualización del costo del equipo.

En tal forma, el valor reportado del índice en el mes de noviembre de 1980 era de 688, mientras que para septiembre de 1991 (última fecha del índice que se recopiló) tuvo un valor de 950.9. Por tanto, utilizando la relación anterior, el valor del reactor de biodiscos (si se hubiera concretado su adquisición en septiembre de 1991) sería de aproximadamente:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{Sep}'91} &= 97625.7 (950.9/688) \\ &= 97625.7 (1.38) \\ &= \$ 134930.63 \text{ USD} \end{aligned}$$

Para adecuar este valor a tiempo presente, es necesario observar y establecer el incremento de precios (inflación) que de la fecha anterior hasta el momento (agosto de 1992), se ha presentado en los E.U.A. Aproximadamente, se ha registrado una inflación de 4.5% y esto da:

$$\text{Costo}_{\text{Agosto}'92} = \$ 141002.50 \text{ USD}$$

La suma de los 3 equipos anteriores (sedimentador primario, secundario y reactor de biodiscos), representa el mayor porcentaje en cuanto a inversión de equipos e instalaciones principales. Dicho total hasta agosto de 1992 es de \$ 175882.46 USD.

Con base en las explicaciones dadas por Peters y Timmerhaus (1986), el costo de tuberías, instrumentación y bombas, cuando no se tienen con precisión sus características, dimensiones y especificaciones, es posible realizar una aproximación del valor de inversión como un porcentaje del monto anterior. Dicho porcentaje es aproximadamente el siguiente:

Instrumentación (incluida instalación) —————→ 2%

Tubería (incluida instalación) —————→ 4%

Bombas (incluidos motores) —————→ 1%

Por tanto, los valores correspondientes a dichos porcentajes son:

Instrumentación —————→ \$ 3517.64 USD

Tubería —————→ \$ 7035.29 USD

Bombas —————→ \$ 1758.82 USD

De esta forma, el nuevo sub-total es de \$ 188194.21 USD que en conjunto representa aproximadamente el 50% del total de la inversión fija del proyecto. El otro 50% está constituido por aspectos como:

- Instalación eléctrica
- Edificios (incluidos servicios)
- Servicios
- Terreno
- Ingeniería y supervisión
- Licencia de construcción
- Retribuciones del contratista
- Contingencias

Por tanto, el valor de la inversión fija es de \$ 376388.42 USD hasta el mes de agosto de 1992. Realizando la conversión de dólares americanos a pesos mexicanos, usando una paridad de \$3000 M.N. (estimación promedio para el intervalo julio-agosto de 1992) se tiene que dicho valor es:

$$\$ 1.204 * 10^9 \text{ M.N.}$$

Suponiendo que el término de construcción del proyecto sea de 15 meses aproximadamente a partir de la proposición de inicio del proyecto (octubre-noviembre 1992) hasta su conclusión, es decir, aproximadamente en el mes de diciembre de 1993 y considerando una estimación del aumento de precios en México (porcentaje de inflación) de aproximadamente un 10%, el valor de la inversión fija estimado sería de:

$$\text{Inversión Fija}_{\text{dic}'93} = \$ 1.3906 * 10^9 \text{ M.N.}$$

Otro tipo de desembolsos son aquellos que se consideran no repetitivos, intangibles, duraderos y que se les denominan gastos preoperativos y de arranque. Se considera que para el presente proyecto estos gastos representarían un 5% de la inversión fija y así se tiene que los gastos preoperativos son de un monto de \$ 60.222 * 10⁶ M.N.

Como se mencionó al principio del presente capítulo, la suma de los costo directos + costos indirectos originan el total de la inversión de capital del proyecto. Con todos los elementos anteriores, el total que se obtiene es de \$ 1.599 * 10⁹ M.N.

6.3 Costos de producción

Se propone que el arranque y operación adecuada inicie en la zafra de caña de azúcar de 1994. Por este aspecto, se establecieron predicciones del valor y fluctuación de varios aspectos, los cuales se reportan en el apéndice 1.

a) Mantenimiento y reparaciones. Según Peters y Timmerhaus (1986), este aspecto es una cantidad que varía entre el 1 al 10% del total de la inversión fija de equipo. En este caso, como consideración personal se tendrían los siguientes montos de mantenimiento para los años posteriores al inicio de la operación:

AÑO	MANTENIMIENTO (% de inversión fija)	MONTO ECONOMICO (M.N.)
1994	0.0	---
1995	0.25	$3.476 \cdot 10^6$
1996	0.5	$6.953 \cdot 10^6$
1997	0.75	$10.429 \cdot 10^6$
1998	1.0	$13.906 \cdot 10^6$

b) Mano de obra. Para la adecuada operación de la planta es necesario contar con el número óptimo requerido de personal para el correcto funcionamiento y operación de la planta de tratamiento. Para ello, se propone el siguiente personal:

- un gerente de planta
 - un laboratorista
 - un auxiliar de laboratorista
 - dos jefes de mantenimiento *
 - 6 operarios *
- * para 3 turnos de trabajo.

El desembolso que representaría el pago de sueldo, primas, tiempo extra, vacaciones, etc, de acuerdo a la propuesta de personal, para cada año sería el siguiente:

SUELDOS POR AÑO (M.N.)
(Millones de pesos)

	1994	1995	1996	1997	1998
TOTAL	158.85	166.85	171.35	175	176

c) Depreciación. Para calcular el monto de la depreciación es necesario establecer cuales son los bienes que entran dentro de esta consideración, además de la tasa de depreciación y el tiempo de aplicación en México. Los bienes que se toman en cuenta son los siguientes:

Bien	Tasa de depreciación	Tiempo de aplicación
Edificios	5% anual	20 años
Maquinaria, muebles y enseres	10% anual	10 años
Equipo de transporte	20% anual	5 años
Instalaciones	5% anual	20 años

De esta forma, es necesario establecer la inversión que representarán estos bienes dentro de la inversión fija y adecuar el porcentaje de la tasa de depreciación.

-Los edificios representan un 10-70% del costo de adquisición de equipo mientras que este aspecto es de un 15-40% de la inversión fija; para el costo de adquisición de maquinaria se establece el 23%, mientras que para edificios es un 10%.

Para todos los cálculos de depreciación se usó el método de la línea recta.

Inversión Fija = \$ 1,390,600,000.00 M.N.

Costo de adquisición de equipo = \$ 602,221,472.00 M.N.

Edificios = \$ 60,222,147.00 M.N.

-Depreciación de edificios

Fin del año	DEPRECIACION (pesos)	VALOR ACTUAL (pesos)
(1) 1994	3,011,107	57,211,039
(2) 1995	"	54,199,932
(3) 1996	"	51,188,825
(4) 1997	"	48,177,717
(5) 1998	"	45,166,610

-Depreciación de instalaciones. Representan un 30% aproximadamente de la adquisición de equipo.

Costo de instalaciones = \$ 180,666,441.00 M.N.

Fin de año	DEPRECIACION (pesos)	VALOR ACTUAL (pesos)
(1)	9,033,322	171,633,118
(2)	"	162,599,979
(3)	"	153,566,474
(4)	"	144,533,152
(5)	"	135,499,830

-Depreciación del equipo de transporte. Representan un 5% aproximadamente de la adquisición de equipo.

Costo del equipo de transporte = \$ 30,111,073.00 M.N.

Fin del año	DEPRECIACION (pesos)	VALOR ACTUAL (pesos)
(1)	6,022,214	24,088,858
(2)	"	18,066,643
(3)	"	12,044,428
(4)	"	6,022,214
(5)	"	0

-Maquinaria, muebles y enseres. El resto del valor de la adquisición del equipo = \$ 38,542,181.00 M.N.

Fin del año	DEPRECIACION (pesos)	VALOR ACTUAL (pesos)
(1)	38,542,181	346,879,629
(2)	"	308,337,448
(3)	"	231,253,086
(4)	"	192,710,905
(5)	"	154,168,724

d) Costos Administrativos

Según Peters y Timmerhaus (1986), este aspecto se puede establecer considerando que es aproximadamente el 15% de la suma de los costos de mano de obra, supervisión y mantenimiento. Por tanto, se tiene que:

AÑO	Suma de los 3 elementos (pesos)	Costos Administrativos (pesos)
(1)	158.85*10 ⁶	23.827*10 ⁶
(2)	173.56*10 ⁶	26.078*10 ⁶
(3)	185.56*10 ⁶	27.850*10 ⁶
(4)	196.022*10 ⁶	29.403*10 ⁶
(5)	204.036*10 ⁶	30.605*10 ⁶

6.4 Costos de servicios auxiliares

El monto principal de desembolso económico para este rubro es el pago de derechos de uso de servicios, como consumo de agua, electricidad, etc. Para el propósito de este trabajo, los dos aspectos anteriores son los que más erogación de dinero representarían a la empresa.

1) Agua. El consumo de agua (en general) que podría presentarse en la operación de la planta estaría relacionado con la dilución de las vinazas en una etapa substitutiva al paso de éstas por el sistema de tratamiento de aguas (tratamiento anaerobio y tratamiento aerobio). Esto es, para arrojarlas al río y que no creen problemas ambientales. Para diluir cada litro de vinazas con una concentración de 69000 mg O_2/L de DQO a una concentración de 3000 mg O_2/L de DQO (que es la concentración con la que saldrán al ser tratadas), se necesitan $23 \times 273 \times 10^3$ litros de agua/d. Por tanto, para obtener vinazas diluidas con una concentración de 3 gDQO/L se emplearían 6279 m^3/d de agua. Así, para el tiempo de operación anual de la planta se consumirían 1,130,220 $m^3/año$ de agua. De este total, se puede agregar un 1% para consumo de trabajadores (potable, sanitaria, etc.) y para usos diversos (riego, lavado de instalaciones y equipo, etc.) siendo el nuevo total de 1,141,522 m^3 de agua al año. De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, el costo del metro cúbico de agua para la planta de dilución sería de \$ 700.00 M.N.,

tomando en cuenta la división de zonas de disponibilidad mencionadas en la ley. Los ajustes del valor anterior serían del 1.9% anual y, de esta razón, el costo del m³ para los años de análisis serían los siguientes:

Año	\$/m ³
1994	740.60
1995	754.14
1996	768.64
1997	783.24
1998	798.12

Por tanto, el pago por el consumo de agua anual (considerando constante el volumen de agua usado en la planta) sería el siguiente:

Año	Pago por consumo de agua (pesos)
1994	845.411*10 ⁶
1995	860.867*10 ⁶
1996	877.419*10 ⁶
1997	894.085*10 ⁶
1998	911.071*10 ⁶

2) Energía eléctrica. El desembolso económico que representaría a la planta de dilución y/o tratamiento el consumo de energía eléctrica estaría fundamentalmente constituido por el aprovechamiento de electricidad y su conversión en energía mecánica (motores de bombas), el sistema de instrumentación de los equipos de proceso, su uso en general en oficinas, laboratorios, talleres, etc.

Los motores son equipos que consumen en gran forma electricidad, por lo que este rubro sería el de mayor porcentaje en la cuenta de consumo de electricidad. Por tanto, se enuncian las potencias estimadas de los motores y su conversión en kilowatts para posteriormente, con base en estimaciones de la tarifa de costo de kw-h a nivel industrial y la zona geográfica, se determina el subtotal a pagar anualmente (sin incluir IVA) para esta serie de equipos.

-Motores

1) Motor del reactor de biodiscos	15 HP
2) Motor del rotor del sedimentador secundario	10 HP
3) Motores del sistema de bombeo	10 HP
<hr/>	
TOTAL	35 HP = 26.1 kW

-Estimación del costo de kW-h.

Año	Costo del kW-h (pesos)
1994	300
1995	350
1996	400
1997	450
1998	500

Así, el costo por consumo eléctrico de los motores sería:

Año	Sub-total a pagar (pesos)
1994	$33.82 \cdot 10^6$
1995	$39.46 \cdot 10^6$
1996	$45.10 \cdot 10^6$
1997	$50.73 \cdot 10^6$
1998	$56.37 \cdot 10^6$

El resto del consumo de electricidad puede considerarse como el 15% del subtotal anterior, por lo que el total a pagar (incluyendo IVA) anualmente sería:

Año	Total a pagar (pesos)
1994	42.78*10 ⁶
1995	50.37*10 ⁶
1996	57.05*10 ⁶
1997	64.17*10 ⁶
1998	71.30*10 ⁶

En este rubro no se ha tomado en cuenta la posible cogeneración de energía por el concepto del biogás producido en el sistema anaerobio de tratamiento de vinazas ya que dicho sistema no está siendo evaluado en este trabajo. Sin embargo, es importante tomar en cuenta esta posibilidad para un estudio global posterior.

6.5 Consideración económica estimativa de la biomasa y aguas tratadas producidas en el reactor biológico rotatorio

De acuerdo a datos obtenidos en planta piloto acerca de la productividad del sistema, basado en el rendimiento de biomasa por unidad de masa de materia orgánica removida o metabolizada en el reactor de biodiscos (capacidad = 3 m^3), se consideró que esta remoción no dependía del tiempo (Castro-Villela y Villegas, 1988). De acuerdo con la tabla 2, donde se presenta el análisis promedio de las vinazas clarificadas y pretratadas anaerobiamente, antes y después del tratamiento en el reactor de biodiscos, se reporta una eficiencia de remoción de DQO del 86.4% (Olvera, 1992), produciendo 48 kg de biomasa por kg de DQO removida por día, de acuerdo a las condiciones de operación establecidas en la planta piloto. Como se mencionó en el capítulo 5, la cantidad propuesta de DQO que estará contenida en el influente al reactor de biodiscos será alrededor de 10 a 20,000 mgDQO/L. De esta forma los valores más altos para cada una de las etapas del sistema de tratamiento serían las siguientes:

Influente: 69,000 mgDQO/L

Efluente del reactor anaerobio (70% de eficiencia de remoción): 20,000 mgDQO/L

Efluente del reactor de biodiscos (86% de eficiencia de remoción): 2,800 mgDQO/L

El valor más alto de este intervalo (20,000 mgDQO/d) se usará para evaluar el estimado del régimen permanente en el equipo escalado y obtener una aproximación de la mayor cantidad de biomasa que se produciría para su comercialización. Por tanto, la cantidad de DQO removida/día para las condiciones de diseño sería:

$$\begin{aligned}
 \text{DQO removida/día} &= \frac{\text{DDQO} * \text{Volumen reactor}}{\text{tiempo de residencia hidráulico}} \\
 \text{DQO removida/día} &= \frac{(20 - 3.0 \text{ g O}_2/\text{L}) (273000 \text{ L})}{1 \text{ d}} = 4.641 * 10^6 \text{ g DQO/d} \\
 &= 4.641 \text{ T DQO/d}
 \end{aligned}$$

En el equipo piloto, cuando fue alimentado con vinazas crudas, la cantidad de biomasa generada en 400 cm² de área de disco promedio en los discos considerados fue de 30 g (base húmeda) en cuatro días, lo cual dio una productividad de 187.5 g de biomasa por metro cuadrado por día. Consecuentemente, el rendimiento del sistema para una área total de 454 m² (área del reactor piloto) fue de 1.78 kg de biomasa húmeda por kg de DQO (Castro-Villela y Villegas, 1988). Pero lo anterior está considerado para un influente con una concentración de 69000 mg O₂/L contra el valor propuesto de 20,000 mg O₂/L, lo que representa una remoción de materia orgánica biodegradable de aproximadamente 70%. Suponiendo que el remanente es consumido por los microorganismos en forma proporcional a la realizada anteriormente, la cantidad calculada de biomasa sería de

54.34 g de biomasa por metro cuadrado.

Consecuentemente, el rendimiento del sistema escalado sería:

$$Y = \frac{(54.34 \cdot 10^{-6} \text{ T biomasa/m}^2 \text{ d}) (26140 \text{ m})^2}{4.64 \text{ T DQO rem/día}} = 0.306 \frac{\text{T biomasa húm.}}{\text{T DQO rem}}$$

Este rendimiento resulta interesante con respecto a la cantidad de vinazas generadas en la destilería del ingenio Alianza Popular. Considerando el flujo de vinazas propuesto de diseño y observando inicialmente el tiempo de realización de la zafra (6 meses), se obtendría la siguiente cantidad de biomasa:

$$(0.306 \text{ T biomasa húm./T DQO}) (4.64 \text{ T DQO removida/d}) (180 \text{ d/año operación}) = 255.5 \text{ T biomasa húmeda/año}$$

que, con contenidos de humedad de 80 a 90% y de proteína del 20%, se obtendrían de este total de biomasa una cantidad de proteína seca no convencional aproximada de 45.99 T/año.

Si se considera que la proteína de soya es una fuente convencional de este nutrimento en los alimentos balanceados y que el precio en agosto de 1992 del grano fluctuaba alrededor de los \$ 6700 M.N., conteniendo 389 g de proteína por kilogramo de harina, el costo de la proteína de soya era de \$ 17223 M.N.

Tomando este dato para evaluar las ganancias brutas que se obtendrían de la venta de la biomasa durante el lapso enunciado, se tiene una cifra de \$ 792.085*10⁶ M.N.

A continuación, como información adicional y punto de comparación se procede a calcular el monto económico que el ingenio azucarero tendría que erogar, de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (S.A.R.H., 1991), y la comparación con el uso pago por consumo de agua que se utilizaría para diluir las vinazas crudas. Por tanto, a continuación se enuncia la norma técnica ecológica que controla las emisiones líquidas de la industria azucarera y, posteriormente, el cálculo del importe mensual del derecho por la descarga de agua residual de la industria, tomando como base la información del apéndice 2.

La norma técnica ecológica que controla las emisiones de la industria productora de azúcar de caña es la NTE-CCA-002/88 y marca como límite máximo de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el de 60 mg por litro como promedio diario y de 72 mg/L como promedio instantáneo. De esta forma, el valor de DQO límite máximo será alrededor de 100 mg/L como promedio diario para este tipo de industria; tomando este valor, se procede a continuación a calcular el importe mensual de derecho de descarga de agua.

1) Datos generales

-Localización de la descarga

Zona de Disponibilidad: 1

-Volumen de aguas residuales descargado mensualmente: $273 \text{ m}^3/\text{d} \times 30 \text{ d}$

$V = 8190 \text{ m}^3/\text{mes}$

-Concentración promedio de contaminantes en la descarga:

* Caso 1: Sin dilución ni tratamiento alguno

$DQO = 69000 \text{ mg/L}$

$SS_T = 63000 \text{ mg/L}$

* Caso 2: Con dilución y tratamiento correspondiente:

$DQO' = 3000 \text{ mg/L}$

$SS_T' = 1365 \text{ mg/L}$

d) Procedimiento de cálculo

1.- Concentraciones medias que exceden de las permisibles. Se estiman las concentraciones medias de DQO y de SS_T que exceden las permisibles, en mg/L.

Concentración de demanda química de oxígeno que excede la permisible:

$$A = DQO - DQO^*$$

$$A_1 = (69000 - 100) \text{ mg/L} = 68900 \text{ mg/L}$$

$$A_2 = (3000 - 100) \text{ mg/L} = 2900 \text{ mg/L}$$

Concentración de sólidos suspendidos totales que exceden lo permisible:

$$B = SS_T - SS_T^*$$

$$B_1 = (63000 - 30) \text{ mg/L} = 62970 \text{ mg/L}$$

$$B_2 = (1365 - 30) \text{ mg/L} = 1335 \text{ mg/L}$$

2.- Cálculo de la masa de contaminantes gravable de la descarga de agua residual.

El cálculo de la masa gravable de contaminantes que tiene la descarga mensual de aguas residuales, tanto de demanda química de oxígeno (DQO) como de sólidos suspendidos totales (SS_T) se efectúa en dos fases sucesivas:

Primera fase: se transforman de mg/L a kg/m^3 los valores de las concentraciones medidas que exceden a las permisibles, utilizando la siguiente conversión, un $\text{mg/L} = 0.001 \text{ kg/m}^3$.

La aplicación de tal equivalencia nos permite obtener las siguientes concentraciones en kg/m^3 .

DQO

$$A_1 = 68.9 \text{ kg/m}^3$$

$$A_2 = 2.9 \text{ kg/m}^3$$

SS_T

$$B_1 = 62.97 \text{ kg/m}^3$$

$$B_2 = 1.335 \text{ kg/m}^3$$

Segunda fase: Se calcula la masa de contaminantes gravables que tiene la descarga mensual de aguas residuales, por concepto de DQO y SS_T , multiplicando los valores de las concentraciones medidas en exceso de las permisibles en kg/m^3 por el volumen total de agua residual descargada en el mes.

-Masa de contaminantes gravables de demanda química de oxígeno (DQO) en kg

Caso 1: Dilución de contaminantes o pago a la CNA

$$A = A_1(V) = (68.9 \text{ kg/m}^3)(8190 \text{ m}^3/\text{mes}) = 564291 \text{ kgDQO/mes}$$

Caso 2: Pago de remanente después de tratamiento anaerobio/aerobio

$$A = A_2(V) = (2.9 \text{ kg/m}^3)(8190 \text{ m}^3) = 23751 \text{ kgDQO/mes}$$

-Masa de contaminantes gravables de sólidos suspendidos totales (SS_T) en kg

Caso 1

$$B = B_1(V) = (62.97 \text{ kg/m}^3)(8190 \text{ m}^3) = 515724 \text{ kg SS/mes}$$

Caso 2

$$B = B_2(V) = (1.335 \text{ kg/m}^3)(8190 \text{ m}^3) = 10933 \text{ kg SS/mes}$$

-Selección del valor de los parámetros a, b y c (Apéndice 2)

La selección de los valores de los parámetros a, b y c, se realiza con el auxilio del artículo 278.

Para el caso en cuestión, los valores de éstos parámetros son (véase tabla A):

$$a = \$ 400.00/\text{m}^3$$

$$b = \$ 260.00/\text{kg}$$

$$c = \$ 460.00/\text{kg}$$

-Cálculo del importe mensual

El cálculo del importe mensual del derecho por la descarga de agua residual de la industria, según el artículo 278 de la Ley

Federal de Derechos, es igual a la suma de los tres siguientes productos:

Sustituyendo en la ecuación (A), los valores obtenidos previamente, de a, b, c, A, B y V (en ambos casos), se obtiene el importe mensual del derecho de descarga residual, correspondiente al mes en curso:

$$I_1 = (400*8190)+(260*564291)+(460*515724) = \$ 387.2247*10^6 \text{ M.N./mes}$$

$$I_2 = (400*8190)+(260*23751)+(460*10933) = \$ 14.48044*10^6 \text{ M.N./mes}$$

Por tanto, como se mencionó anteriormente, se calcula la diferencia en el desembolso que haría el ingenio azucarero por concepto de descarga de aguas residuales, sin y con tratamiento que, como es visible, repercute indirectamente en forma positiva a la empresa, siendo un "ahorro" bastante significativo (un valor de $\$ 372.74426*10^6$ M.N.).

Además, comparando con el valor de pago por consumo de agua anual ($\$ 792*10^6$ M.N. aproximadamente), resulta un aspecto que podría originar un estudio más profundo, en el que en lugar de descargar las vinazas tratadas y diluidas a la descarga municipal, originando un monto anual de pago por este concepto de $\$ 173.76528*10^6$ M.N., esa misma agua recibiera un tratamiento más completo y se reutilizara (circuito cerrado) nuevamente en el tratamiento de las vinazas, o se ampliara su uso hacia la destilería del ingenio.

Además, pese a que en partes anteriores se había manifestado que el tiempo de operación para la planta de tratamiento sería de 6 meses (el mismo lapso de la etapa de producción de caña de azúcar y su aprovechamiento anteriormente enunciado), sería adecuado establecer la comparación y posible "ahorro" económico entre un tiempo de operación de 180 días y 330 días, considerando que en el primer caso se utilizarían vinazas provenientes del mismo tiempo de zafra, mientras que en el segundo caso se propondría que la planta empleara la mitad del gasto total para operar durante todo el año usando melazas almacenadas al término de la zafra en el ingenio y utilizando las vinazas generadas de la destilación de las melazas fermentadas.

Así, se obtiene que el valor correspondiente en ambos casos es el siguiente:

6 meses	\$ 318,251/m ³ de vinazas tratadas
11 meses	\$ 583,460/m ³ de vinazas tratadas

Como se observa, es menor la cantidad a desembolsar por concepto de derechos de descarga de vinazas tratadas, lo que establece que es más apropiado trabajar en forma paralela a la zafra de caña de azúcar, que, posteriormente usar vinazas generadas de melazas fermentadas de la planta alcoholera. Además, sería adecuado agregar las cantidades por concepto de los parámetros de operación adicionales (sueldos, mantenimiento, gastos administrativos, etc.) aumentarían en la misma proporción que el aumento en los días de operación, siendo muestra complementaria sobre la ventaja entre ambos tiempos de operación.

7 ASPECTOS ECONOMICOS DEL PROYECTO

En este capítulo se abordan los aspectos y conceptos que hasta el momento se han considerado en materia económica en capítulos anteriores, pero que se han calculado y establecido de una forma aislada. Es necesario agruparlos ordenadamente para obtener información adicional que permita establecer conclusiones acerca de la posible factibilidad económica del proyecto presentado.

Para establecer la factibilidad económica de un proyecto es necesario desarrollar una serie de cálculos y adecuaciones de tipo económico, englobados en diferentes tipos de reportes, de acuerdo a la información agrupada. Los más comúnmente usados en el seno de empresas e instituciones que realizan este tipo de trabajos son los siguientes:

a) Balance contable

b) Estado de resultados ó de pérdidas y ganancias

que a continuación se describen con cada uno de los conceptos que los integran.

7.1 Balance contable

Es aquel reporte que muestra en una fecha determinada los recursos que tiene una empresa y la fuente de la cual provienen dichos recursos. Está constituido por los siguientes conceptos:

a) Activo. Importe total de los valores efectivos, créditos y derechos que tiene una persona ó institución a su favor. Dicho

concepto se subdivide en dos partes: activo circulante y activo fijo.

En el activo circulante se agrupan todos los valores que son monetaria o tangiblemente aceptados su movimiento en un lapso de tiempo relativamente corto (compras, ventas, pagos, créditos, etc.) y cuya distribución está determinada en la siguiente forma:

- Caja y bancos
- Inversiones en valores
- Cuentas por cobrar
- Inventarios (tanto de materia prima como de producto terminado).

En el activo fijo es considerado el monto global que ha sido invertido por parte de la empresa en aquellos bienes que constituyen un aspecto físico dentro de instalaciones de su propiedad (terrenos, edificios, maquinaria, muebles, vehículos, etc), además de la depreciación de dichos bienes a través del tiempo.

b) Pasivo. Importe total de los débitos u obligaciones que contra sí tiene una persona o entidad y, asimismo, el coste o riesgo que contrapesa la utilidad o beneficio de un negocio, todo lo cual se considera como una disminución de su activo. Se incluyen las cuentas por pagar a proveedores, personal, fisco, créditos bancarios, etc.

c) Capital. Elemento o factor de la producción formado por la riqueza acumulada, que en unión del trabajo y de los agentes de producción se destina de nuevo a la anterior. Es la riqueza presente, destinada a la producción de riqueza futura. Lo constituyen el capital social (dinero o valores que respaldan la formación de una empresa legalmente reconocida), utilidades retenidas ó superávit (ganancias finales que llegan y son distribuidas entre los accionistas de la empresa), reserva legal (monto económico que debe tener una empresa para usarse en caso de situaciones económicas difíciles como pueden ser quiebra, accidente mayor, etc,) entre los más importantes.

Como enunciado adicional, es válido mencionar que la suma del total de pasivos más el total de capital deben originar el número total de activos de la empresa.

7.2 Estado de resultados ó de pérdidas y ganancias

Establece durante un período determinado las entradas y salidas en una empresa referido a los movimientos físicos y que puede ser simultáneo al movimiento de capital.

Para la elaboración de este estado de cuenta es necesaria la determinación de varios conceptos y su adecuación en cifras a los datos y cálculos anteriormente realizados. Estos conceptos son:

- a) Ventas. Es el producto facturado y entregado al comprador.
- b) Ventas netas. Valor de las ventas sin considerar impuestos (IVA), concesiones de precios y créditos.

c) Costo de lo vendido. Es el precio unitario de venta de un bien por el número de unidades vendidas

d) Utilidad bruta= Ventas netas-costo de lo vendido

e) Gastos administrativos y contables. Son desembolsos repetitivos que se asignan para la administración y contabilidad del proceso

f) Utilidad de operación= Utilidad bruta-gastos administrativos

g) Intereses. Monto económico a pagar por cuestión de préstamos (dinero, materia prima, etc,) realizado por personas o instituciones ajenas a la empresa (bancos, instituciones gubernamentales, etc.).

h) Utilidad gravable= Utilidad de operación-Intereses

i) Utilidad acumulada. Superávit de una empresa en una fecha determinada (se calcula en el balance contable)

j) Impuesto sobre la renta/Participación de los trabajadores sobre la utilidad (ISR/PTU). Pago fiscal sobre el monto de la utilidad gravable (35% aproximadamente de dicha utilidad)

k) Utilidad neta= Utilidad gravable+utilidad acumulada-(ISR/PTU)

7.3 Premisas de operación

Son propuestas o sugerencias del manejo y operación que podrían llevarse a cabo en la evolución tanto productiva como económica de una planta ó industria en fechas anteriores al arranque o cierta etapa de operación de la misma; en dichas propuestas se establece el manejo del consumo de materia prima, venta y crédito en producto terminado, manejo de dinero en bancos,

pago a proveedores, prestadores de servicios, créditos, etc, así como el aprovechamiento por parte de la empresa del superávit adquirido en un período de tiempo o acciones encaminadas a disminuir un déficit en un caso opuesto.

Para el presente trabajo se establecen las siguientes premisas (tomando como base ciertas recomendaciones establecidas en cursos de ingeniería económica):

- 1) Se instituye la creación de la "Planta de tratamiento de aguas" del ingenio azucarero "Alianza Popular" como una entidad autónoma y legalmente constituida con el establecimiento de un capital social de \$ $1.699 \cdot 10^9$ M.N., de los cuales \$ $1.599 \cdot 10^9$ M.N. son empleados para la adquisición del activo fijo de la empresa y el resto para una cuenta bancaria que respalde la adecuada operación de la planta al concluir la etapa de construcción de la misma, que inicia casi inmediatamente a la constitución de la planta.
- 2) Al inicio de la operación de la planta de tratamiento se tendría como propósito el de vender en su totalidad la biomasa producida en el reactor de biodiscos, buscando reducir a cero el inventario de la misma.
- 3) Se buscaría reducir al mínimo las cuentas por pagar totales, estableciendo, de ser posible, un tope de \$ $5 \cdot 10^6$ M.N al final del cierre de cada fecha del balance.
- 4) De ser posible no ser tramitado ningún tipo de crédito.

5) En ciertas fechas podría utilizarse (si así lo desearan los accionistas de la empresa) parte del superávit para ser transferido a la cuenta bancaria de la empresa.

Con base en todo lo anterior, se procede a reportar a continuación los datos finales en ambos reportes, considerando todos los aspectos enunciados a lo largo de todos los capítulos anteriores.

BALANCE CONTABLE

ELEMENTO	FECHA 1 DIC. 31-1993	FECHA 2 DIC. 31-1994	FECHA 3 DIC. 31-1995	FECHA 4 DIC. 31-1996	FECHA 5 DIC. 31-1997
1) ACTIVOS					
CAJA Y BANCOS	0.100	0.401	0.592	0.722	0.805
ACTIVO FIJO (ERUTO)	1.599	1.599	1.599	1.599	1.599
DEFRECIACION ACUMULADA	0	(0.056)	(0.113)	(0.169)	(0.224)
	-----	-----	-----	-----	-----
TOTAL	1.699	1.994	2.078	2.152	2.180
2) PASIVOS					
CUENTAS POR PAGAR (PASIVO CIRCULANTE)	0	0.005	0.005	0.005	0.005
ISR/PTU	0	0.084	0.131	0.157	0.167
	-----	-----	-----	-----	-----
TOTAL	0	0.089	0.136	0.162	0.172
3) CAPITAL					
CAPITAL SOCIAL	1.699	1.699	1.699	1.699	1.699
SUPERAVIT	0	0.156	0.243	0.291	0.309
	-----	-----	-----	-----	-----
CAPITAL CONTABLE	1.699	1.855	1.942	1.990	2.008
PASIVO+CAPITAL	1.699	1.944	2.078	2.152	2.18

NOTAS: 1) LAS CIFRAS ESTAN EXPRESADAS EN MILES DE MILLONES DE PESOS.

2) LAS CIFRAS ENTRE PARENTESIS SE RESTAN.

3) A PARTIR DE 1993 LAS CIFRAS DEBERAN EXPRESARSE EN NUEVOS PESOS.

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

ELEMENTO	PERIODO 0-1	PERIODO 1-2	PERIODO 2-3	PERIODO 3-4	PERIODO 4-5
VENTAS NETAS	0	1.452	1.452	1.452	1.452
COSTO DE LO VENDIDO	0	(0.850)	(0.860)	(0.878)	(0.895)
UTILIDAD BRUTA	0	0.602	0.592	0.574	0.557
GASTOS ADMINISTRATIVOS	0	(0.023)	(0.026)	(0.020)	(0.029)
UTILIDAD DE OPERACION	0	0.579	0.566	0.546	0.528
INTERESES					
UTILIDAD GRAVABLE	0	0.579	0.566	0.546	0.528
UTILIDAD ACUMULADA	0	0	0.156	0.243	0.291
ISR/PTU	0	(0.884)	(0.131)	(0.157)	(0.167)
UTILIDAD NETA	0	0.495	0.591	0.632	0.652

NOTAS: 1) LAS CIFRAS ESTAN EXPRESADAS EN MILES DE MILLONES DE PESOS.

2) LAS CIFRAS ENTRE PARENTESIS SE RESTAN.

3) A PARTIR DE 1993 LAS CIFRAS DEBERAN EXPRESARSE EN NUEVOS PESOS.

7.4 RESULTADOS

Para establecer si los valores anteriores tienen validez y que den alguna o algunas conclusiones acerca de la factibilidad o no del proyecto, es necesario determinar dos conceptos que comúnmente se utilizan como base para lograr determinar o establecer un criterio acerca de la bonanza del proyecto en su aspecto económico. Dichos aspectos son: rentabilidad aparente y tasa interna de retorno.

La rentabilidad aparente se define como el cociente entre la utilidad neta y el capital contable para un período de tiempo de operación de la planta. En Peters y Timmerhaus (1986), se establece como un intervalo adecuado de rentabilidad el valor de 0.2-5 para proyectos de la industria química. Por tanto, para el presente trabajo el valor de la rentabilidad aparente (las cifras que a continuación se utilizan se obtiene de la suma de los aspectos enunciados para los años de estudio) sería el siguiente:

$$\text{RENTABILIDAD APARENTE} = \frac{\$ 2.325 \cdot 10^9}{\$ 9.494 \cdot 10^9} = 0.244$$

Como se observa, este valor se encuentra dentro del intervalo anteriormente enunciado, dando un fundamento inicial para establecer la validez del proyecto.

La tasa interna de retorno es la relación entre el capital social y la utilidad neta; demuestra que ritmo de crecimiento tiene una empresa con el paso del tiempo. Dicha rentabilidad puede expresar la relación por año (período) o en una forma singular los flujos de dinero que se han tenido en el tiempo. Utilizando la ecuación:

$$S = P(1+i)^n$$

donde: S= valor de la utilidad neta en el periodo de análisis

P= capital social de la empresa

n= tiempo de análisis (años)

i= tasa interna de retorno

Así, se propone i y cuando $S=P$, se obtiene la rentabilidad o tasa interna de retorno. Se supone que la velocidad de cambio del dinero es uniforme para efectos particulares del trabajo.

Iterando el valor de i, se observa que la cifra adecuada para el presente trabajo es $i=0.01$ (con $n=5$), es decir, un 1% anual durante cada uno de los años de análisis. Este valor puede ser bajo, pero no se encontró alguna referencia que indique si este valor es adecuado; si se compara con el valor de la rentabilidad aparente, se podría indicar como primera conclusión que el proyecto no es válido ni factible económicamente, pero sería aventurado hacer dicha afirmación sin hacer un estudio más detallado, tomando como base lo expuesto hasta el momento y el complemento de otros conceptos.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en todo lo expuesto a lo largo del presente trabajo, se puede establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1) Se debe de confirmar con métodos de optimización la relación tamaño-costo de cada uno de los equipos involucrados.
- 2) Verificar cinéticamente el dimensionamiento del reactor de biodiscos.
- 3) De ser posible, recabar y elaborar la información topográfica del sitio de posible instalación de la planta para levantar un plano de arreglo y distribución de equipo (lay-out y plot-plan).
- 4) Calcular con mayor exactitud los equipos y aspectos considerados como un porcentaje de un monto dado.
- 5) De acuerdo al predimensionamiento realizado, buscar si comercialmente se fabrican dichos equipos o similares, tanto en el país como en el extranjero.
- 6) Realizar un estudio de mercado a fondo sobre la posible comercialización de la proteína no convencional obtenida del tratamiento de las vinazas.
- 7) Buscar un uso alternativo a las aguas tratadas, aparte del riego agrícola.
- 8) Los resultados de factibilidad económica indican a primera vista que el proyecto es viable, pero no contundente, por lo que se tendría que realizar un estudio con mayor profundidad.

9) Buscar implantar plantas de tratamiento de aguas en aquellas industrias que se consideren de alto riesgo para cuerpos acuíferos en el país.

APENDICE 1

Para facilitar el cálculo en el diseño de tanques, Eliassen ha propuesto los nomogramas I, II, III (Castillo, V., 1963). Estos nomogramas dan las relaciones envueltas en el diseño de tanques de sedimentación y permiten al diseñador hacer un cálculo rápido del tamaño del tanque para estudios económicos; la respuesta del nomograma no será absoluta, hay que cambiar ciertas dimensiones para ajustarse a los anchos y diámetros estándar de los fabricantes de equipo para estos tanques. Así con la ayuda de estos nomogramas el diseñador puede hacer cálculos rápidos del efecto de cambiar una de las dimensiones, tal como profundidad, ancho, longitud o diámetro; observando los cambios correspondientes en las otras dimensiones y llegar al diseño más económico.

Ejemplo de uso de los nomogramas.

Se tiene un gasto de $0.0875 \text{ m}^3/\text{s}$, y se desea diseñar un tanque circular de sedimentación con una velocidad de sobreflujo de $24.5 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$ y un tiempo de retención de 1.5 horas.

Del nomograma I.

Líneas 1,2,4

Area= 320 m^2

Líneas 2,3,5

Volumen= 450 m^3

Del nomograma II.

Líneas 1,2,3

Profundidad= 1.40 m

Diámetro= 20 m

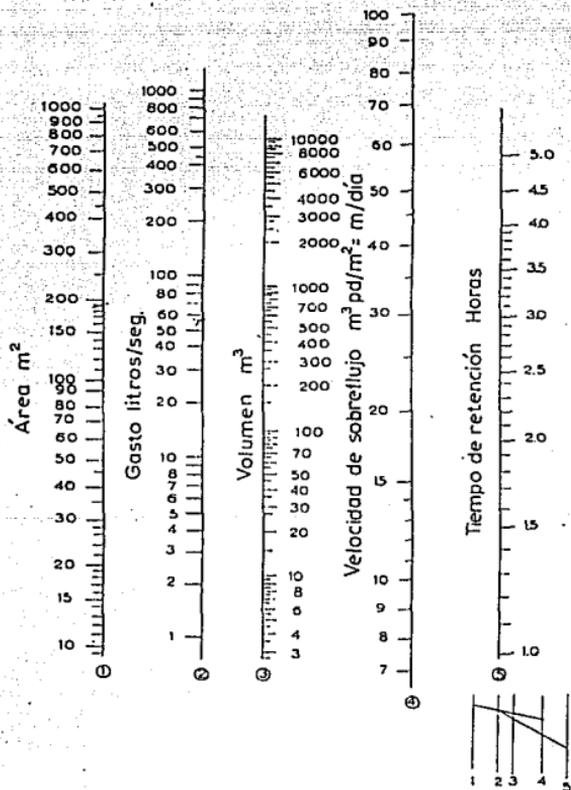
Del nomograma III.

Líneas 1,2,3

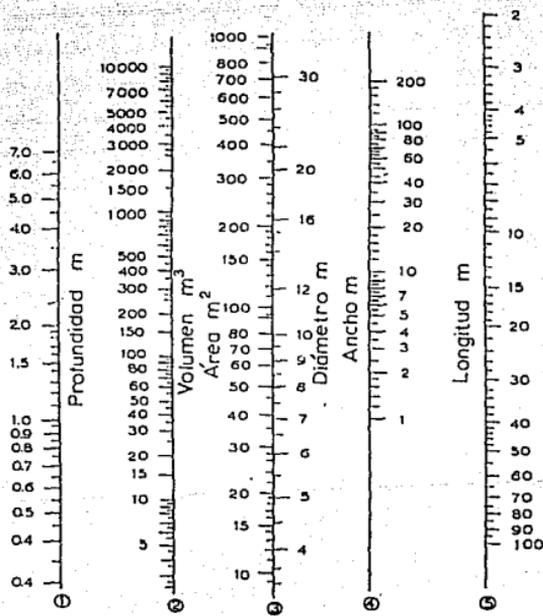
Gasto vertedero= $120 \text{ m}^3 \text{ d/m}$

Línea 4

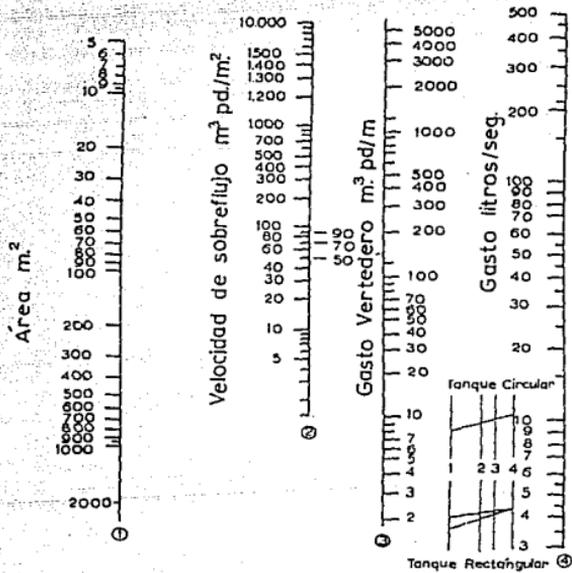
Gasto= $0.0875 \text{ m}^3/\text{s}$



Nomograma I. - Para diseño de tanques de sedimentación
 Para obtener velocidad de sobreflujo en $cm/seg.$ divídase entre 864



Nómograma II. Diseño de tanques de sedimentación



Nomograma III. Diseño de tanques de sedimentación

PREDICCIONES DE COTIZACION

AÑO	Cotización Dollar (\$/Dollar)	Costo del kW-h (\$/kW-h)
1994	3931.39	300
1995	4363.84	350
1996	4800.22	400
1997	5184.23	450
1998	5547.12	500
1999	5879.94	550

Nota: Se tomaron como base datos históricos recopilados de información proporcionada por el Banco de México (ANIQ, 1991).

APENDICE 2

Normatividad Intrainstitucional para la aplicación de descargas

a) Procedimiento de cálculo para la determinación del importe del derecho

La determinación del importe del derecho es responsabilidad del contribuyente. Sin embargo, la Subdirección General de Planeación y Finanzas podrá asistir al contribuyente en la determinación de este importe, de acuerdo con lo señalado a continuación, donde se especifica el procedimiento de cálculo de las diversas alternativas que contempla la Ley (arts. 278.279.280 y 281-IV-f).

El derecho de descargas contempla tres posibles alternativas para determinar el importe de este derecho federal. Dichas alternativas están en función de las siguientes variables:

- 1) Volumen total de agua residual descargada por los diferentes tipos de personas físicas o morales.
- 2) Grado de contaminación de las aguas residuales medido a través de las concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SS_T).
- 3) Zona de disponibilidad en donde se encuentre ubicada la descarga del contribuyente.
- 4) Tipo de contribuyente

b) Caso general

La primera alternativa, contenida en el derecho de descargas, es el caso general que puede presentarse para un usuario que

descargue un volumen mensual de agua residual mayor a 3000 m³.

En caso de no cumplirse los parámetros permisibles de DQO y SS_T, establecidos en las normas técnicas ecológicas, en las condiciones particulares de descarga ó los parámetros señalados por la fracción II del artículo 282, entonces, de acuerdo con lo establecido en el artículo 278, el derecho federal a pagar trimestralmente se determinará, para cada mes de ese trimestre, con la siguiente ecuación:

$$I = aV + bA + cB \quad (A)$$

donde:

I= Importe mensual del derecho

a= Cuota por m³ de agua residual descargada, en \$/m³, según la zona de disponibilidad

b= Cuota por kg de DQO, en \$/kg

c= Cuota por kg de SS_T, en \$/kg

A= Masa mensual gravable de contaminante correspondiente a la demanda química de oxígeno (DQO), en kg

B= Masa mensual gravable de contaminante correspondiente a los sólidos suspendidos totales (SS_T), en kg.

V= Volumen total de agua residual descargada en un mes, en m³.

El valor de los parámetros a, b y c, dependen de la zona de disponibilidad en donde se encuentre ubicada la descarga de aguas residuales. En el artículo 278 de la Ley Federal de Derechos, se encuentran los valores de éstos para las cuatro zonas de disponibilidad.

TABLA A
VALORES DE LOS PARAMETROS a, b y c POR ZONAS DE DISPONIBILIDAD

ZONAS	PARAMETROS		
	a (\$/m ³)	b (\$/Kg de DQO)	c (\$/kg de SS _T)
Zona 1	400	260	460
Zona 2	100	65	115
Zona 3	40	26	46
Zona 4	20	13	23

BIBLIOGRAFIA

Antoine, L. (1976). Fixed biological surfaces wastewater treatment. The Rotating biological contactor. Ed. CRC Press. Boca Raton, U.S.A.

Aries, R. y Newton, R. (1955). Chemical Engineering Cost Estimation. Mc Graw-Hill. U.S.A.

Asociación Nacional de Industrias Químicas. (1991). Anuario Estadístico de la Industria Química en México. México, D.F.

Autotrol (1978). Installation, operation and maintenance manual for Autotrol wastewater treatment system. Autotrol Corporation. Bio-Systems Division. Wisconsin, U.S.A.

Castillo, V. (1963). Diseño de Tanques Sedimentadores. Tesis de Maestría. Escuela de Ingeniería, ITESM. Monterrey, N.L., México.

Castro-Villela, J. y Villegas, R. (1988). Obtención de proteína microbiana empleando como sustrato vinazas de ingenios azucareros-alcoholeros. Tesis profesional. Facultad de Química, UASLP. San Luis Potosí, SLP, México.

Chemical Engineering Journal. (December 1981, December 1986, April 1992). Economic indicators.

Durán-de-Bazúa, C. (1983). Disertación doctoral, versión en español. Tratamiento de los efluentes en la industria del maíz en México. Pub. Fac. de Química, UNAM, México, D.F

Durán-de-Bazua, C., Medellín, P., Noyola, A., Poggi-Varaldo, H. y Zedillo, L. (1988). Caracterización de vinazas y su degradación en un sistema combinado de tres reactores anaerobios y un reactor aerobio de biodiscos. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 3(2):33-43.

Durán-de-Bazúa, C., González, S., Medellín, P., Noyola, A., Poggi-Varaldo, H. y Zedillo, L. (1990). Retos a la industria azucarera para la próxima década: Reaprovechamiento de las aguas residuales a través de su degradación biológica para obtener biogás y biomasa microbiana. *Memorias del XVI Congreso. Academia Nacional de Ingeniería, A.C. México, D.F.*

Durán-de-Bazúa, C., Noyola, A., Poggi-Varaldo, H. y Zedillo, L. (1991). Biodegradation of process industry wastewater. Case problem: Sugarcane industry. In *Biological degradation on wastes*. Ed. A.M. Martin. Ch. 17. Elsevier Appl.Sci. London, England.

Durán-de-Bazúa, C. (1992). Waste recycling in developing countries. The situation in Mexico. II International Forum on Resource Recovery from Waste. Imola, Italy.

González, S., Elías, J. (1989). Diseño de Biodiscos. Serie del Instituto de Ingeniería #520. Instituto de Ingeniería, U.N.A.M. México, D.F.

Hernández M., A. (1990). *Depuración de Aguas Residuales*. Ed. Paraninfo. 1a. Edición. Madrid, España.

J.W.P.C.F. (1988).

Ochoa, R. (1983). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de C.U. Tesis de Maestría. DEPIng. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. México, D.F.

Paredes, L., Pedroza, R., Calderón, H., Luna, V.M., Rosas, C., Sánchez, A., Durán-de-Bazúa, C. (1991). Uso de biomasa microbiana de sistemas de tratamiento de nejayote en dietas para carpa barrigona (*Cyprinus carpio*). Informe técnico de proyecto. NUT-039-UIA, NEJA-01-91-UNAM. Pub. UNAM, Facs. Química y Ciencias, UIA, Depto, Ciencias Nutrición. México, D.F.

Peters, M. y Timmerhaus, R. (1986). Plant Desing and Economics for Chemical Enginners. 3rd Edition. Mc Graw-Hill. Singapore.

Pulido, R., Escárcega, C. y Durán-de-Bazúa, C. (1987). Modelo cinético para reactores biológicos rotatorios usados en el tratamiento aerobio de efluentes líquidos de la industria del maíz. Technol. Ciencia, Ed. (IMIQ), 2(1):15-24.

Olvera, A. (1992). Evaluación fisicoquímica de la biomasa microbiana obtenida de un reactor aerobio de biodiscos. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, UASLP. Unidad Huastecas. Cd. Valles, SLP, México.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Nacional del Agua. (1991). Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. Ley de Contribución de Mejoras por Obras Publicas Federales de Infraestructura Hidráulica. México.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Nacional del Agua. (1991). Guía para la Determinación del Importe del Derecho por Descarga de Aguas Residuales Industriales. México.

Zámano, A., Zedillo, L., Durán-de-Bazúa, C. (1991). Tratamiento Biológico de Aguas Residuales de la Industria Alcohólica a partir de melazas de caña de azúcar. Informe Técnico de Trabajo VIN-01-90. Facultad de Química, U.N.A.M. México, D.F.