



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y DE
FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE UNA EMPRESA QUE PRODUCE MASAS Y HARINAS
DE MAÍZ NIXTAMALIZADO**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A
MAURICIO ROBERTO HERNÁNDEZ MORALES**



MÉXICO, D. F.



2005.

**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA**

M352025



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

Jurado asignado:

Presidente **Dra. Ma. Del Carmen Durán Domínguez**
Vocal **Ing. Rodolfo Torres Barrera**
Secretario **Dr. Alfonso Durán Moreno**
1er. Suplente **M. en C. Marisela Bernal González**
2º. Suplente **Ing. José Antonio Ortiz Ramírez**

Desarrollado en la Facultad de Química, Edificio E, Laboratorio 301.



Dra. Ma. Del Carmen Durán Domínguez
Asesora del tema



Ing. José Antonio Ortiz Ramírez
Supervisor técnico



Mauricio Roberto Hernández Morales
Sustentante

Esta tesis y todo lo que representa para mí, está dedicada a todas aquellas personas que en algún momento de mi vida me han entregado su apoyo, ayuda, tiempo y cariño.

DIOS: Gracias por permitirme concluir esta gran prueba.

MAMI: Estoy eternamente agradecido contigo por haberme encaminado y cuidado de esta manera y además, por haberme enseñado los secretos de ser una persona íntegra.

PAPI: Tu apoyo lo he sentido siempre, gracias por estar ahí en todo momento.

TANIA: Tu compañía es algo que valoro mas de lo que te imaginas y sin tu apoyo este trabajo no sería el mismo, gracias hermana!!!

ABUELITA JULIA: Eres mi 2ª mamá, sin tu apoyo y cuidados esta labor no se hubiera concretado, este logro te pertenece a ti también.

ABUE ROBERTO: Sabes que eres mi ejemplo, mil gracias por tus enseñanzas.

DRA. CARMEN DURÁN: Aprendí con usted algo más que Ingeniería; me llevo conmigo el valor del respeto y la integridad para ser un mejor humano cada día.

ING. JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ: En clase quedó muy claro el quehacer del ingeniero químico; pero en mi vida, usted me mostró el valor de la humildad y la gratitud, gracias amigo.

Quiero agradecer también a las siguientes personas, pues forman parte importante dentro de mi desarrollo personal y gracias a ellas logré concluir esta faceta:

TÍA LULÚ, TÍO MIGUEL, RENY, MICKEY, LEO, ABUE MARTHA, IRAK, ABUE JULIO, MARY, MARTHA, TONY, LUCERO, FANNY, GABY, EMANUEL, STEPHANI, ANA, LIZBETH, ELBA, GILDA, ISRAEL, FERNANDO, PAOLA, JACQUELINE, LUPITA, RAMÓN.

Un agradecimiento especial a todos los profesores de la facultad de química por transmitir un poco de su experiencia y por su sensibilidad para capacitar y hacer de sus estudiantes unos excelentes profesionistas.

Mauricio Roberto Hernández Morales

Ciudad Universitaria, Distrito Federal, Otoño del 2005.



Índice

Resumen _____	1
Capítulo 1. Problemática _____	3
1.1 Introducción _____	3
1.2 Justificación _____	6
1.3 Metas y objetivos _____	7
1.4 Alcance _____	8
Capítulo 2. Administración del proyecto _____	11
2.1 Lista de actividades _____	11
2.2 Diagrama de Gantt _____	12
Capítulo 3. Estudio técnico _____	14
3.1 Bases de diseño _____	14
3.2 Características de la materia prima y capacidad de proceso _____	17
3.3 Normatividad aplicable _____	20
3.4 Aspectos geográficos y estadísticos _____	27
3.5 Evaluación de técnicas disponibles _____	32
3.6 Selección del proceso _____	42
Capítulo 4. Diagrama de flujo de proceso _____	45
4.1 Descripción del proceso _____	45
4.2 Dimensionamiento de equipos _____	48
4.2.1 Cribado _____	48
4.2.2 Sedimentador primario _____	48
4.2.3 Reactor biológico empacado (biofiltro) _____	51
4.2.4 Biodiscos _____	53
4.2.5 Tanque sedimentador secundario _____	55
4.2.6 Tanque de acumulación de residuos sólidos _____	56
4.3 Lista de equipos _____	56
Diagrama de flujo de proceso _____	58
Capítulo 5. Valor agregado en el proceso seleccionado _____	59
5.1 Producción de alimentos balanceados _____	59
5.2 Producción de biogás _____	61
5.3 Recuperación posible de materia y energía _____	63
Capítulo 6. Filosofía de operación y Diagrama de tubería e instrumentación preliminar _____	66
6.1 Filosofía de operación _____	66
Diagrama de tubería e instrumentación _____	68
Simbología de diagramas _____	69



Capítulo 7. Especificación y arreglo preliminar de equipos	70
7.1 Especificación de equipos	70
7.1.1 Rejillas de cribado	70
7.1.2 Sedimentador primario	70
7.1.3 Reactor biológico empacado (biofiltro anaerobio)	71
7.1.4 Reactor biológico de biodiscos	72
7.1.5 Sedimentador secundario	72
7.1.6 Tanque de acumulación de residuos sólidos	72
7.2 Arreglo de equipos	72
Sedimentador primario (esquema)	73
Reactor biológico empacado (biofiltro anaerobio) (esquema)	74
Reactor biológico de biodiscos (esquema)	75
Arreglo de equipos (esquema)	76
Capítulo 8. Evaluación económica preliminar del proyecto	77
8.1 Producción de hojuelas proteínicas	77
8.2 Producción de biogás	78
8.3 Evaluación de inversión inicial preliminar	79
8.4 Estado financiero anualizado	81
8.5 Alternativas de evaluación económica de proyectos	84
8.5.1 Tasa interna de rendimiento (TIR)	84
8.5.2 Valor presente neto (VPN)	84
Capítulo 9. Seguridad en la planta	86
Capítulo 10. Conclusiones	93
Anexo 1. Etapas de la metanogénesis	95
Listado de tablas y figuras	97
Nomenclatura	99
Bibliografía	102



Evaluación técnico-económica de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa que produce masas y harinas de maíz nixtamalizado

Mauricio Roberto Hernández Morales
Tesis profesional. Ingeniería Química

RESUMEN

Ante la necesidad de mejorar la calidad de vida y el medio ambiente, se planteó el desarrollo de una sistema de tratamiento de aguas residuales que permita a una empresa que procesa 10 T d^{-1} de maíz, evitar la emisión de aguas residuales contaminantes y así abatir las costosas multas que esto genera. Las aguas residuales de los procesos de nixtamalización, tienen residuos del propio maíz, así como restos de la cal usada durante la cocción, tanto en forma suspendida como disuelta. Esta materia orgánica e inorgánica representa una elevada carga contaminante desde el punto de vista ambiental ($1400 \text{ mg DBO}_5 \text{ L}^{-1}$, $5000 \text{ mg COD L}^{-1}$). Además, la temperatura y pH son altos (de 40 a 70°C y de 12 a 14 , respectivamente) y también se encuentran fuera de los límites establecidos por la normatividad mexicana vigente. Para degradar esta materia disuelta y abatir la contaminación generada, se usará un proceso anaerobio complementado por un proceso aerobio, que como cualquier proceso químico biológico generarán residuos, los cuales, pueden ser aprovechados de manera útil. Este proceso genera una emisión aproximada de $100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de biogás (aproximadamente dos tercios de metano y un tercio de dióxido de carbono) y un aproximado de 45 kg de hojuelas proteínicas por día. Se ha demostrado que estos sistemas (anaerobio-aerobio) son idóneos para convertir la materia orgánica e inorgánica disuelta en los efluentes de la nixtamalización del maíz, en biomasa fácilmente sedimentable con un alto contenido proteínico. Una ventaja importante es que el agua tratada es de tal calidad que puede emplearse como agua de riego (zonas jardinadas en áreas urbanas o de cultivos en áreas suburbanas o rurales) sin crear problemas de contaminación, o bien, como agua para el lavado de pisos, equipos u otros servicios. En esta tesis se desarrolló el diseño y dimensionamiento preliminar de una planta de



tratamiento de aguas residuales con capacidad para tratar $55\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ con calidad de descarga a red urbana de acuerdo con la ley de derechos en materia de aguas ($<20 \text{mg DBO}_5 \text{L}^{-1}$). Se desarrolló también un estudio económico preliminar para verificar la factibilidad del proceso, entre los aspectos representativos de este estudio se cuenta con información como el costo estimado de la planta, que en este caso es de \$5.9 millones de pesos. El costo de operación es de \$469 mil pesos/año. La característica más atractiva de este proyecto, desde el punto de vista económico, es que la recuperación por la posible venta de biomasa y de biogás sería aproximadamente de \$62 millones de pesos/año, siendo esta aportación muy superior al costo total de la planta. Para evaluar si el proceso propuesto es rentable y factible, se analizó con dos herramientas de evaluación de proyectos; la tasa interna de rendimiento que en este caso revela un valor de 614.7%, y el valor presente neto que correspondiente a \$85 millones de pesos, en un plazo de 5 años y con una tasa de recuperación mínima atractiva de 20%. Cabe señalar, que este proyecto es un estudio preliminar real, que de querer ser llevado a cabo, tendría que desarrollarse la ingeniería de detalle del proceso completo.



Capítulo 1. Problemática

1.1 Introducción

Ante la necesidad de mejorar la calidad de vida y el medio ambiente, se ha decidido referir el presente proyecto al desarrollo de una planta de tratamiento de aguas residuales que permita a una empresa evitar la emisión de agua contaminante y así minimizar las costosas multas que esto genera, ahorrar agua y reducir consumos energéticos.

Se ha visto que en el país, la cultura del cuidado del medio ambiente está en crecimiento, pues los habitantes son más conscientes del impacto ambiental que tiene la contaminación en cualquier sentido en el ámbito ecológico.

Es importante señalar que esta aportación es una propuesta para el tratamiento de aguas residuales de una industria específica, la del proceso del maíz; la cual genera contaminación del entorno que, de no ser tratada, repercute primeramente en una importante aportación de sustancias agresivas al ambiente y, en segundo lugar, un costo adicional para la empresa que los genera.

En México existen dos tipos de establecimientos que procesan maíz para consumo humano directo, los molinos de nixtamal y las fábricas de harina de maíz nixtamalizado. Los primeros manejan de 500 a 2000 kg/d y las segundas de 200 a 600 T/d. Las aguas usadas, residuales o efluentes tienen residuos del propio maíz, así como restos de la cal usada durante la cocción, tanto en forma suspendida como disuelta (1). Esta materia orgánica e inorgánica representa una elevada carga contaminante desde el punto de vista ambiental. Además, la temperatura y pH de salida son altos (de 40 a 70°C y de 12 a 14, respectivamente), en particular en las fábricas de harina de maíz nixtamalizado. En éstas, además, se emplean considerables cantidades de agua (de 500 a 1500 m³/d) que cuando se arrojan al drenaje o directamente a los acuíferos y al suelo crean problemas de deterioro ambiental (1-6).

Durante los últimos veinte años se han realizado en México investigaciones tendientes a reaprovechar las aguas residuales de la industria del maíz. La meta ha sido no solamente recircular el agua usada en el proceso con objeto de ahorrar insumos o enviarla al drenaje descontaminada, sino, de ser posible, obtener subproductos útiles,



tales como proteína microbiana, si se usa un tratamiento aerobio, o biogás, si se usa un anaerobio (1-6).

Para los sistemas aerobios que empleaban lodos activados y sistemas continuos de película fija (reactores empacados en serie y reactores de discos rotatorios) se ha demostrado que los reactores de película fija y, en especial los de discos, eran los equipos idóneos para convertir la materia orgánica e inorgánica disuelta en los efluentes de la nixtamalización del maíz, conocidos como nejayote (del náhuatl nextli, cenizas de cal, áyoh, caldo o cosa aguada y atl, agua), en biomasa fácilmente sedimentable con un alto contenido proteico y que el agua tratada podía recircularse al proceso, después de potabilizarla o arrojarse al drenaje o al ambiente (acuíferos y/o suelo) sin crear problemas de contaminación (1-6).

La biomasa obtenida del proceso aerobio representa, tanto por su contenido de proteína como por la composición de aminoácidos de esa proteína, una opción para los cereales usados en las dietas de animales mono y poligástricos, así como para la acuicultura. Desde el punto de vista económico, la tasa de retorno de estos sistemas aerobios se sitúa en el intervalo para los procesos químicos industrialmente rentables.

Durante la nixtamalización se pierde, aproximadamente, un 5% en peso en base seca de maíz (en algunas variedades, las de importación sobre todo, la pérdida puede incrementarse hasta 30% debido a las características físicas de los granos). Aproximadamente el 3% se encuentra suspendido y el 2% restante en forma disuelta. La materia suspendida puede separarse fácil y económicamente por sedimentación y la disuelta debe ser "precipitada" para separar los sólidos también por sedimentación. La manera más sencilla de hacer esta reacción de precipitación es transformando ese material soluble en biomasa microbiana por métodos aerobios. Con el reaprovechamiento de los efluentes generados por 20 toneladas de maíz nixtamalizado se obtendría la proteína equivalente a una tonelada de maíz o sorgo. De acuerdo con este balance teórico, con los subproductos obtenidos de la reutilización de los efluentes de la industria del maíz podría satisfacerse aproximadamente el 5% de la demanda total de la industria de alimentos balanceados(1-6).

Otra consideración importante sería el beneficio económico y social de recircular



las aguas tratadas, ya sea a la propia industria del maíz o a cualquier otro uso, como puede ser el mantenimiento de equipos, lavado de pisos o, en el mejor de los casos, la posibilidad de implementar un sistema de riego de pastizales, pues el agua estará en condiciones de ser reutilizada.

A continuación se presenta un esquema (Fig.1-1) que describe, de forma generalizada, el proceso de nixtamalización y por consecuencia, la generación de agua residual o nejayote.

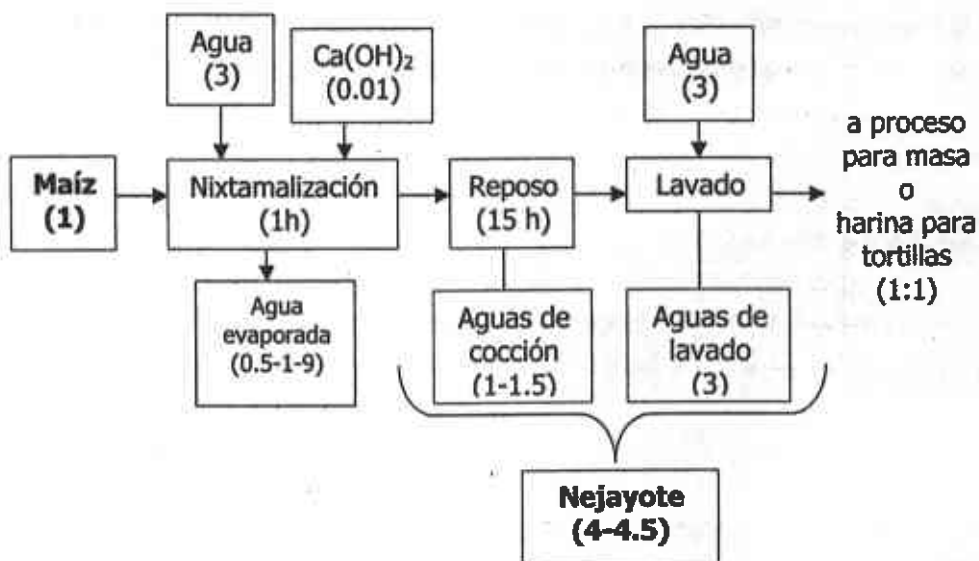


Fig. 1-1 Proceso tradicional de nixtamalización y generación de aguas residuales (los números en paréntesis indican las proporciones en masa por unidad de maíz procesada)

De acuerdo con la Fig. 1-1, la cantidad de agua residual es considerable y por ello es imperativo buscar la viabilidad técnico-económica de su tratamiento y reutilización. Su composición, de acuerdo con la literatura, es problemática (Tabla 1.1).

Tabla 1-1. Composición del nejayote (5)

Característica,(mg/L)	Maíz blanco	Maíz amarillo
Sólidos en suspensión totales , SST	2,420	3,850
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días, DBO ₅	1,540	3,000
Demanda química de oxígeno, disuelto, DQO _d	7,792	10,858
Carbono orgánico disuelto, COD	3,550	4,950
Nitrógeno orgánico, NO	99	166
pH	11.7-12.4	11.6-12.4
Temperatura(°C)	74	74

1.2 Justificación

Ante la necesidad de evitar al máximo la contaminación de aguas, en una planta de producción de harina de maíz, se ha decidido desarrollar este proyecto, cuyo objetivo principal es diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales, en la cual la corriente acuosa de descarga cumpla con las condiciones establecidas por las normas oficiales vigentes de la SEMARNAP en cuestión del uso de agua y de descarga de la misma.

Este proyecto es importante por varias razones. Entre ellas destacan las referentes a la contaminación del agua, un problema que existe y que afecta a todos, pues es un recurso no renovable que con el paso del tiempo será más difícil de obtener de manera natural. Así mismo, dado que subsisten las tecnologías tradicionales de procesamiento del maíz a pesar de haberse desarrollado una tecnología más limpia(7), es importante ofrecer opciones técnico-económicamente viables para optimizar el uso interno del



recurso, así como disminuir el impacto ambiental en la zona donde esté instalada la planta de procesamiento de maíz.

Es muy importante para una empresa, tanto la mejora del proceso, la calidad del producto y el nivel de competitividad respecto a otras de giros similares y es esta misma competencia la que obliga a las empresas a buscar un elemento extra, que diferencie a su empresa de las demás. Por eso la implementación de sistemas capaces de minimizar el impacto ambiental de los efluentes acuosos a sus alrededores y disminuir los costos por consumo de agua, ya que una vez depurada, puede ser reutilizada para los distintos usos de servicio en planta y, lo más importante, generar en el consumidor o cliente, una imagen de la empresa más interesada no solo en sus ventas sino también en el medio ambiente, que hará la diferencia de una empresa a otra.

Se realizará una investigación bibliográfica sobre las propiedades fisicoquímicas del agua de descarga del proceso para así proponer un sistema de tratamiento adecuado para la posible utilización de dicha agua en el proceso de la planta o en otras actividades.

La planta a diseñar será un proyecto que considere las variaciones fisicoquímicas y biológicas del efluente de salida del proceso, ya que las condiciones del agua no serán las mismas durante todo el año, puesto que éstas pueden verse afectadas por el clima si no hay segregación de efluentes y agua pluvial y variaciones propias del proceso (variedades de maíz, específicamente).

1.3 Metas y objetivos

Las metas de este proyecto son las de ayudar a la conservación del medio ambiente a través del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, con la cual pueda disminuirse el impacto ambiental causado por la descarga del efluente del proceso de nixtamalización y como consecuencia, que se reduzcan las multas aplicables por la descarga indebida de agua al drenaje de la comunidad, además de su posible reutilización.



Dentro de los objetivos del proyecto se plantea el de realizar un diseño económicamente factible, que sea el de menor costo posible, pero sobre todo que sea eficiente para el tratamiento del efluente de proceso. Para ello, se evaluarán conceptos económicos fundamentales relacionados directamente con el proyecto y se tratará de incluir todos los valores agregados que puedan rescatarse del proceso, es decir, se tomará en cuenta para la elección del diseño, no sólo el sistema que cumpla con las especificaciones exigidas por la ley sino, además, se implementará aquella técnica que reditúe un considerable beneficio económico al proceso.

Otro objetivo será el realizar un diseño que ocupe el menor espacio disponible y cuya distribución sea adecuada para ahorrar y aprovechar al máximo la energía disponible.

Se procurará que el sistema a elegir contemple el reaprovechamiento de los productos secundarios de las reacciones efectuadas y que, además, aquellos que no sean aprovechables, puedan reducirse al máximo, proponiendo un tratamiento de estabilización de los desechos.

1.4 Alcance

El proyecto plantea un tren de tratamiento de aguas residuales para un molino de nixtamalización, que debe ser económicamente atractivo ya que, desafortunadamente, en México no existe la cultura y preocupación por la conservación del medio ambiente y de los recursos tanto renovables como no renovables si estos no son económicamente atractivos. El estudio económico y de factibilidad para que el cliente considere el proyecto como una inversión y no como un gasto, analizará la posible inversión que la industria realice proponiendo beneficios económicos que este tratamiento aportará, en el que se tomará en cuenta por supuesto, la ayuda que el proceso de aguas residuales dará al medio ambiente.

La información que manejará el proyecto será real, ya que la información requerida será facilitada por el molino de nixtamalización en estudio.



Este proyecto contempla solamente el desarrollo de las bases de diseño, del diagramas de flujo de proceso, de tuberías e instrumentación y de la propuesta de arreglo de equipo así como el estudio económico para obtener un diseño cuyo resultado redunde en un efluente de agua final que cumpla con las características normativas vigentes para descarga. Se darán las bases para el desarrollo del proyecto y su posible construcción en un futuro.

Cabe remarcar que este proyecto sólo contempla los aspectos relacionados con la ingeniería conceptual y básica; que corresponde a otro estudio más profundo el desarrollo de la ingeniería del detalle. En este estudio no se propone tratamiento alguno para los residuos, solo se presenta la propuesta para reaprovecharlos.

Para el diseño de la planta se tomarán exclusivamente los datos de los parámetros informados por el laboratorio de análisis, pues no se cuenta con más información al respecto. Los aspectos contemplados en esta investigación son los siguientes:

Ingeniería de proyectos y administración

Esta parte debe darle al cliente la información, las bases y los motivos necesarios para la realización del proyecto, como por ejemplo: por qué la compañía debe de realizar este proyecto, cuáles son las bases del mismo y cuál o cuáles son los pasos críticos.

Proceso

Se elaborará el Diagrama de flujo de proceso, en su edición preliminar, incluyendo el balance de materia de las corrientes importantes, se informan las especificaciones y requerimientos de cada equipo; si es necesario trabajar con un sobre-diseño; sus efectos por la consideración de los cambios, tanto de máximo flujo como de mínimo flujo; los materiales de construcción para cada uno de los equipos; requerimientos especiales para válvulas o tuberías y tipo de reacción que se llevará a cabo en cada uno de los equipos de proceso.

Instrumentación

Aquí se toma en cuenta si existe tecnología nueva aplicable al tipo de proceso con



relación a la instrumentación del proceso.

Seguridad

Se deben señalar las medidas de seguridad que deben existir en el proceso. Un muy buen método para analizar los posibles riesgos en la planta es el método conocido por sus siglas en Inglés como "Hazop", de operaciones peligrosas; este método consiste en analizar las consecuencias provocadas por los cambios en las variables que maneja cada uno de los equipos. En otras palabras, se aplica el ¿Qué pasa si...? Con esto pueden diseñarse los equipos tomando en cuenta estas alteraciones, además de saber cuáles son los riesgos y las medidas preventivas que se deben considerar e implementar.

Ambiental

La parte ambiental es muy importante dentro del proyecto, ya que en la actualidad el desarrollo sostenible es un factor de peso dentro de todo proyecto a realizar. Aquí se dará información respecto a: si habrá generación de corrientes de desechos y en caso de poder tratarse, qué tipo de tratamiento se debe dar, así como permisos, normas y todo lo relacionado para la construcción de la planta sin dañar el medio ambiente.



Capítulo 2. Administración del proyecto

En esta sección se muestra la forma como se administró el proyecto, así como el plan a seguir para el desarrollo a tiempo del proyecto. Para ello se tomaron en cuenta las herramientas aprendidas en la asignatura de ingeniería de Proyectos (10), dentro de las cuales se encuentran el Diagrama de Gantt, con la lista de actividades a realizar y la ruta crítica a seguir. Para tal efecto se recurrió al programa Microsoft Project 2000*, en el cual se esquematiza temporalmente el desarrollo del proyecto, desde la conceptualización hasta el término del arreglo de este informe.

2.1 Lista de actividades

En este apartado se muestran las actividades necesarias a realizar y su representación temporal, así como el porcentaje del total de tiempo a emplear en cada actividad.

Lista de actividades

Activity	Theoretical time	Real Time
<i>Proyecto de Planta de tratamiento de aguas residuales</i>	113 days	132 days
Planeación	5 days	6 days
Recolección de información	15 days	12 days
Elaboración de bases de diseño	2 days	3 days
Consulta de normatividad aplicable	2 days	4 days
Búsqueda de aspectos complementarios	3 days	2 days
Evaluación de técnicas disponibles	10 days	14 days
Selección de proceso	3 days	3 days
Elaboración de DFP	9 days	11 days
Evaluación de residuos	1 day	2 days
Elaboración de DTI	15 days	13 days
Arreglo de equipo	3 days	9 days
Evaluación económica	10 days	4 days
Seguridad en la planta	2 days	1 day
Revisión	25 days	30 days
Conclusiones	3 days	5 days
Arreglo de informe de tesis	10 days	15 days

*Nota: El programa empleado da la Información en inglés.



Capítulo 2. Administración del proyecto

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Name
0	Proyecto de Planta de Tratamiento	113 days	Mon 07/03/05	Fri 11/03/05		
1	Planificación	5 days	Mon 07/03/05	Fri 11/03/05		
2	Recopilación de información	15 days	Tue 13/03/05	Mon 04/04/05	1P5+1 day	
3	Elaboración de bases de datos	2 days	Tue 15/04/05	Wed 01/04/05	2P5-3 days	
4	Consulta de normatividad aplicable	2 days	Tue 15/04/05	Wed 01/04/05	2P5-3 days, 1P5+1 day	
5	Búsqueda de espacios complementarios	3 days	Thu 07/04/05	Mon 11/04/05	4P5-3 days, 3P5-3 days, 3P5+1 day	
6	Evaluación de técnicas disponibles	10 days	Thu 07/04/05	Wed 20/04/05	2P5-3 days, 3P5+1 day, 4P5+2 days	
7	Selección de proceso	3 days	Thu 21/04/05	Mon 25/04/05	6P5+4 days	
8	Elaboración de DPR	9 days	Tue 26/04/05	Mon 05/05/05	7	
9	Evaluación de	1 day	Mon 05/05/05	Mon 05/05/05	8P5+2 days	
10	Elaboración de OTI	15 days	Mon 05/05/05	Fri 27/05/05	3P5-3 days, 3P5+1 day, 2P5+2 days	
11	Arreglo de equipo	3 days	Mon 30/05/05	Wed 01/06/05	10P5+2 days	
12	Evaluación económica	10 days	Thu 02/06/05	Wed 15/06/05	11P5+1 day, 8P5+3 days, 9P5+1 day	
13	Seguridad en la planta	2 days	Thu 15/06/05	Fri 17/06/05	12P5+1 day	
14	Revisión	25 days	Mon 20/06/05	Fri 23/07/05	13P5+1 day	
15	Construcción	3 days	Mon 23/07/05	Wed 27/07/05	14P5+5 days	
16	Arreglo de informe de tesis	10 days	Thu 28/07/05	Wed 19/08/05	15P5+2 days	



Task: **Progreso**

Progress:

Baseline:

Milestone:

Baseline Milestone:

Summary:

Roll Up Task:

Roll Up Global Task:

Roll Up Milestone:

Baseline Summary:

Roll Up Baseline:

Roll Up Baseline Milestone:

Roll Up Progress:

Split:

Baseline Split:

Baseline Table:

Project Summary:

Group By Summary:

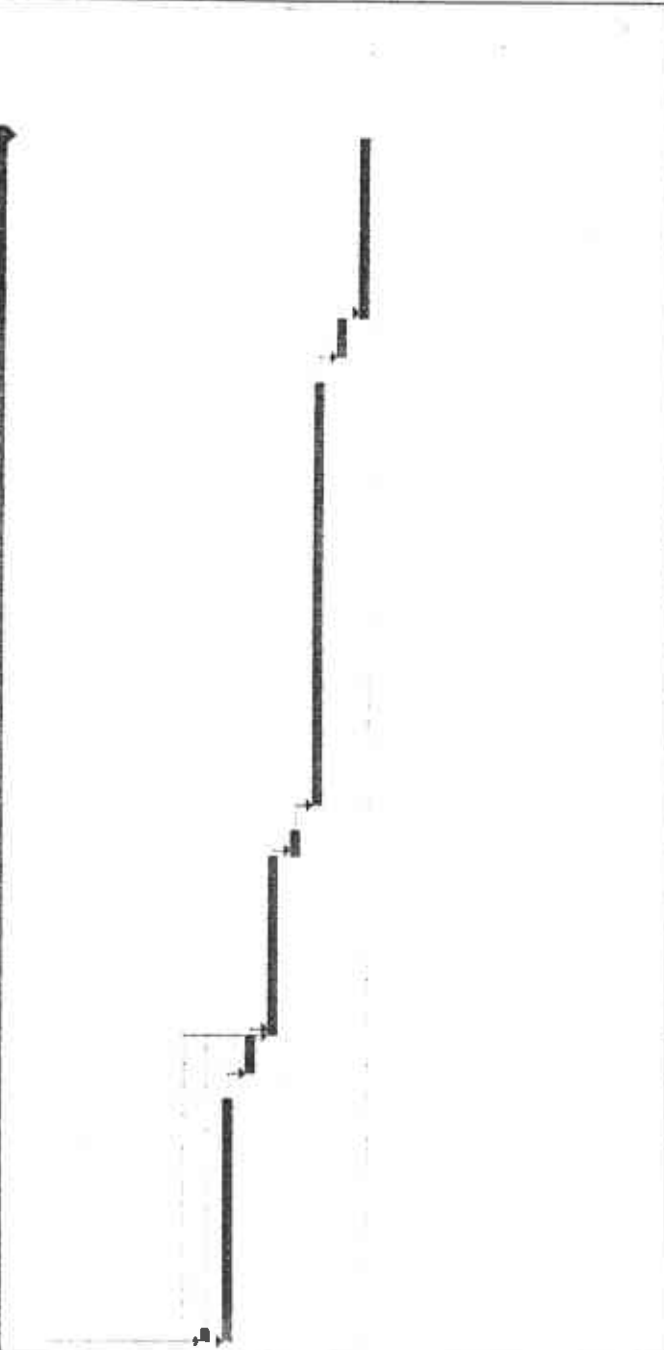
Date: Wed 21/05/05
 Start: Mon 07/03/05, Finish: Wed 10/08/05
 Duration: 113 days



Capítulo 2. Administración del proyecto

Mauricio Roberto Hernández Morales

\$ 08/05	\$ 15/05	\$ 22/05	\$ 29/05	\$ 05/06	\$ 12/06	\$ 19/06	\$ 26/06	\$ 03/07	\$ 10/07	\$ 17/07	\$ 24/07	\$ 31/07	\$ 07/08	\$ 14/08
Week 10	Week 11	Week 12	Week 13	Week 14	Week 15	Week 16	Week 17	Week 18	Week 19	Week 20	Week 21	Week 22	Week 23	Week 24



Task

- Progress
- Baseline
- Milestone
- Baseline Milestone
- Summary

Roll Up Task

- Roll Up Critical Task
- Roll Up Milestone
- Baseline Summary
- Roll Up Baseline
- Roll Up Baseline Milestone

Roll Up Progress

- Split
- Baseline Split
- External Tasks
- Project Summary
- Group By Summary

Date: Wed 21/09/05.
 Start: Mon 07/03/05--Finish: Wed 10/06/05
 Duration: 113 days

Capítulo 3. Estudio técnico

3.1 Bases de diseño

Cuestionario para la elaboración de las bases de diseño

Nombre de la planta: Molinos Azteca de Chalco

Localización: Teotihuacán, Estado de México

No contrato: 001-TAR/03/2005

1. Generalidades

1.1 Función de la planta

Se requiere que la planta cuente con una descarga de sus aguas residuales con calidad de reutilización, que pueda emplearse como agua de riego o como agua de uso en un proceso secundario, mantenimiento o limpieza.

1.2 Tipo de proceso

Se propone por parte del cliente la necesidad de una planta económicamente costeable, con capacidad de ampliación en el futuro al tratamiento de hasta 45m³/día. El cliente requiere una alternativa con reactores biológicos, lo más sencilla posible.

2. Capacidad, rendimiento y flexibilidad

2.1 Capacidad y rendimiento

Se requiere una planta que sea capaz de tratar un efluente de 45m³/día, con las características anexas, hasta y una calidad de reutilización.(20mg DBO₅/L, pH=5-10, T=40°C)

a) Diseño

El cliente requiere una planta pequeña, eficiente y que el arreglo de equipo, permita su fácil acceso para mantenimiento. Se requiere el uso de tecnología que no sea costosa y que sea lo más práctica posible, con eficiencias de 90-95%, en la remoción de contaminantes. De acuerdo con la experiencia de la Dra. Durán se decidió establecer la capacidad de diseño en 55 m³/día.

b) Normal

Tratamiento biológico sencillo para efluente de 45m³/día, con eficiencia de 90% de remoción de contaminantes medidos como DQO y SST.



2.2 Flexibilidad:

La planta deberá de seguir operando bajo las siguientes condiciones anormales:

- a) Falla de electricidad, SÍ NO

Observaciones:

La compañía no planea emplear una fuente alternativa de electricidad.

2.3 ¿Se requieren aumentos de capacidad en futuras ampliaciones?

Sí, para tratar un máximo de 55m³/día con las mismas características del diseño inicial.

2. Especificaciones de las alimentaciones de proceso

Listar las alimentaciones de la planta indicando para cada una de ellas su composición, impurezas y flujo.

2.1 Alimentaciones a la planta

Condiciones de las alimentaciones en límite de batería:

ALIMENTACION	EDO. FÍSICO	PRESIÓN MAN.	TEMPERATURA (°C)	FORMA DE RECIBO
45 m ³ /día	Líquido con sólidos en suspensión	600 mmHg	60-70	Tubería

3. Condiciones de los productos en los límites de batería

PRODUCTO	EDO. FÍSICO	PRESIÓN MAN.	TEMPERATURA (°C)	FORMA DE RECIBO
Agua	Líquido	600 mmHg	20	Tubería
Sólidos de maíz y biomasa	Pasta	600mmHg	20	Banda

4. Eliminación de desechos

4.1 Normas y requerimientos respecto a la pureza de los productos

- a) Agua: NOM-003-ECOL-1997 (agua para riego) (8)
 b) Productos sólidos: Se hará un tratamiento de extrusión de los residuos sólidos, para dejarlos en forma de hojuelas para su transporte y utilización.



4.2 Sistemas preferidos de eliminación de desechos

Se desea emplear un filtro prensa para comprimir lo más posible los residuos sólidos de los equipos y eliminar el excedente de agua.

5. Servicios auxiliares**6.1 Alimentación de energía eléctrica**

Fuente (s) de suministro

Línea general de suministro de electricidad bifásica, trifásica.

Interrupciones: Sí

Frecuencia 15-20 veces / año

Duración máxima: 30min Promedio: 10min

Causas: Mantenimiento de la planta, abastecimiento global de la zona debido a fallas del sistema de alimentación por la Comisión Federal de Electricidad de México CFE.

Tensión: 127, 240, 440 v

Numero de fases: Bifásica, trifásica.

Frecuencia : 60Hz

6. Sistemas de seguridad

6.1 Sistemas contra incendio. Sí

Normas o criterios de diseño para:

Red contra incendio: FDA

Equipo móvil y portátil: FDA

7. Condiciones climatológicas**7.1 Temperatura**

Temperaturas: En invierno 16°C, primavera 25°C, verano 27°C, otoño 18°C

Máxima extrema: 33°C

Mínima extrema: 8°C

Máxima promedio: 25°C

Mínima promedio: 18°C

7.2 Atmósfera

Presión atmosférica local: 600 mmHg

Atmósfera corrosiva Sí No



3.2 Características de la materia prima y capacidad de proceso

Se encontró que la empresa MOLINOS AZTECA DE CHALCO S.A. DE C.V., tenía en sus documentos de regulación un estudio de las características del agua residual de su proceso, realizado el 13 de agosto de 2004. El estudio fue realizado por **Tecnología Ambiental Integral S.A. de C.V. con clave de proyecto PY-TAI-150804 A. R.**

El muestreo fue llevado a cabo como lo estipula la NOM-001-SEMARNAT-1996 (11); en particular, se tomaron 6 muestras instantáneas para formar una muestra compuesta para la descarga. Durante este muestreo se determinaron además pH, temperatura y medición del gasto volumétrico.

En este caso se pretende proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual permita el "reúso" del agua residual en el proceso como agua auxiliar para el lavado de Instalaciones externas, riego y otros usos, donde el agua no tenga contacto directo con el proceso de la harina, sólo como agua de uso auxiliar, no de proceso.

En la Tabla 3-1, se presentan los datos obtenidos de esa muestra. Se anexan, además, las características que deben cumplir los parámetros, cuando el agua residual será de carácter de "reúso" en el servicio público.

Tabla 3-1. Comparación de muestra analizada con Normas Oficiales Mexicanas S.L. Sin límite fijado por SEMARNAT; NPM, número más probable

Parámetro	Unidad	Muestra	NOM-001-SEMARNAT-1996 (11)	NOM-003-ECOL-1997 (8)
pH	—	7.26	5 – 10	5 – 10
Temperatura	°C	19.7	40	40
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2050	No aplica	20
Materia flotante	mg/L	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables	mg/L	<0.2	No aplica	No aplica
Carbono Orgánico Disuelto	mg/L	5000	ausente	ausente
Arsénico total	mg/L	0.0048	0.4	0.4



Cadmio total	mg/L	<0.02	0.1	0.1
Cobre total	mg/L	<0.03	6.0	6.0
Cromo total	mg/L	<0.07	1.0	1.0
Mercurio total	mg/L	<0.0010	0.01	0.01
Níquel total	mg/L	<0.06	4.0	4.0
Plomo total	mg/L	<0.09	10	10
Zinc total	mg/L	<0.109	20.0	20.0
Fósforo total	mg/L	2.4	No aplica	No aplica
Nitrógeno Kjeldhal	mg/L	225	No aplica	No aplica
Cianuros	mg/L	<0.005	3.0	3.0
DBO ₅	mg/L	140	No aplica	20
Grasas y aceites muestra 1	mg/L	<8	25	15
Grasas y aceites muestra 2	mg/L	<8	25	15
Grasas y aceites muestra 3	mg/L	<8	25	15
Grasas y aceites muestra 4	mg/L	<8	25	15
Grasas y aceites muestra 5	mg/L	<8	25	15
Grasas y aceites muestra 6	mg/L	<8	25	15
Grasas y aceites muestra promedio	mg/L	<8	25	15
Huevos de helminto	(huevo/L)	0	1	1
Coliformes fecales muestra 1	(NMP/100mL)	2800	2000	240
Coliformes fecales muestra 2	(NMP/100mL)	24000	2000	240
Coliformes fecales muestra 3	(NMP/100mL)	4300	2000	240
Coliformes fecales muestra 4	(NMP/100mL)	9300	2000	240
Coliformes fecales muestra 5	(NMP/100mL)	2100	2000	240
Coliformes fecales muestra 6	(NMP/100mL)	9300	2000	240
Coliformes fecales media geométrica	(NMP/100mL)	8633	2000	240
Coliformes totales muestra 1	(NMP/100mL)	2800	S.L.	S.L.

Coliformes totales muestra 2	(NMP/100mL)	46000	S.L.	S.L.
Coliformes totales muestra 3	(NMP/100mL)	7500	S.L.	S.L.
Coliformes totales muestra 4	(NMP/100mL)	15000	S.L.	S.L.
Coliformes totales muestra 5	(NMP/100mL)	2800	S.L.	S.L.
Coliformes totales muestra 6	(NMP/100mL)	12000	S.L.	S.L.
Coliformes totales media geométrica	(NMP/100mL)	14350	S.L.	S.L.

La tabla anterior muestra una comparación de los parámetros medidos, con respecto a los establecidos con las Normas Oficiales Mexicanas. La columna sombreada es la de los resultados obtenidos en el análisis del laboratorio. Hay algunos puntos importantes de mencionar sobre la información de esta tabla, especialmente a la luz de datos informados en la literatura. Esta muestra compuesta presenta algunas incongruencias, por ejemplo, aparece un contenido de material disuelto medido como DBO₅ de solamente 140mg/L, mientras que su contenido de Carbono orgánico disuelto es de 5000mg/L. En este tipo de agua residual, la DBO₅ es bastante menor pero aquí parece haber una diferencia de un orden de magnitud (ver Tabla 1-1, donde la DBO₅ fluctúa entre 1500 y 3000 mg/L, dependiendo el tipo de maíz versus el COD que fluctúa entre 3550 y 4950 mg/L).

Otra parte que da pie a una reflexión es la presencia de coliformes fecales y totales, lo que indica que está habiendo mezcla de aguas sanitarias con las de proceso. Esto es totalmente indeseable en cualquier empresa que maneje alimentos, ya que los residuos de alimentos son un caldo de cultivo para especies patógenas presentes en la materia fecal y orina humana. Será importante recomendar a la empresa en estudio que los servicios sanitarios estén totalmente segregados de los colectores de nejayote y aguas de lavado de equipos.

El flujo mínimo, promedio y máximo se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3-2. Flujos mínimos, promedio y máximos del punto muestreado

Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
0.5025	0.5111	0.5194	L/s
43,416	44,159	44,876	L/Día



3.3 Normatividad aplicable

En el desarrollo del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, la competencia no está definida, pues es un proyecto de iniciativa propia, con los gerentes de la empresa, con fines exclusivamente académicos.

Aplicando el concepto de regulación, se encontró que en México, en el ámbito del tratamiento de aguas residuales, están estipuladas Normas Oficiales Mexicanas que designan las obligaciones a las que una empresa está obligada a cumplir por la descarga y uso de agua(11). A continuación se presentará de manera sistemática y resumida, la competencia y aplicación que se deben cumplir como objetivo legal, dentro del desarrollo del proyecto; que incluye, el manejo y disposición de aguas residuales, así como sus características.

Primeramente, se tiene en cuenta que la producción de harina, requiere de cierta calidad en los parámetros del agua, pues como objetivo final es el consumo humano, en este sentido la SSA, ha publicado en el diario oficial de la federación, la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"**(12), en ésta se estipula las características mínimas en términos de calidad que el agua debe poseer para ser utilizada para consumo humano.

En el ámbito biológico deberá ser:

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 mL
	2 UFC/100 mL
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 mL
	Cero UFC/100 mL

Límites permisibles de características físicas y organolépticas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.



Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Límites permisibles de características químicas

Los límites se expresan en mg/L, excepto cuando se indique otra unidad.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50



pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/L: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

La observancia de estas condiciones es de carácter obligatorio y de no cumplirse existen repercusiones legales y, lo más importante, en los organismos humanos sometidos al uso de este agua.

Una vez establecidos los procesos para el tratamiento de aguas residuales es necesario acatar otra norma, en materia de descarga, la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y**



BIENES NACIONALES (11), en este sentido el objetivo fundamental de este proyecto, es propiamente lograr que a través de este tratamiento, el cliente cumpla con lo establecido en dicha norma. Las características que competen a este proyecto son las siguientes.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

3.23 Riego no restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

3.24 Riego restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

3.28 Uso en riego agrícola

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

4. Especificaciones

4.1 La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994.



En el caso de la descarga a sistemas de alcantarillado, se deben cumplir con los puntos estipulados en la **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL (9)**. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado. Los aspectos relevantes de esta norma son los siguientes:

4. Especificaciones

4.1 Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 1. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

4.2 Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

4.3 El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.



TABLA 1. Límites Máximos permisibles.

Parámetros (mg/L)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mL/L)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

4.4 El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C.

4.8 No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

4.9 La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

- a) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
- b) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado, presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.



Si el cliente lo cree necesario, esta agua de tratamiento, puede ser reutilizable, siempre y cuando cumpla con la **Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público(8)**. Las características deberán ser:

4. Especificaciones

4.1 Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

TABLA 1. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

TIPO DE REÚSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/ 100 mL	Huevos de helminto (h/L)	Grasas y aceites mg/L	DBO5 mg/L	SST mg/L
CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
CONTACTO INDIRECTO OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

En el ámbito de tratamiento previo de materia prima para los procesos de nixtamalización y procesamiento de harina de maíz, se encontró que la siguiente norma también es aplicable. **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-187-SSA1/SCFI-2002, PRODUCTOS Y SERVICIOS. MASA, TORTILLAS, TOSTADAS Y HARINAS PREPARADAS PARA SU ELABORACIÓN Y ESTABLECIMIENTOS DONDE SE PROCESAN. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. INFORMACIÓN COMERCIAL. MÉTODOS DE PRUEBA(13)**.

Se recomienda el tratamiento o modificación del agua para que cumpla con el nivel máximo de contaminantes. Una vez recabada la información de las características del efluente, es posible proponer un tren de tratamiento, evaluando las necesidades del cliente, las alternativas existentes, la normatividad y el aporte económico que se pudiera generar.



Estas normas forman parte fundamental en las bases de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, en el ámbito legal, pues regulan la manera en cómo debe ser diseñado el proceso obedeciendo a la normatividad existente. Estos son aspectos que en el desarrollo del proyecto se cumplirán al pie de la letra.

3.4 Aspectos geográficos y estadísticos

La localización geográfica de la planta es el municipio de Teotihuacán, Estado de México. Sus coordenadas geográficas son: Latitud este 101°, Longitud Norte 19° (Figura 3-1).

Zonas hidrológicas.

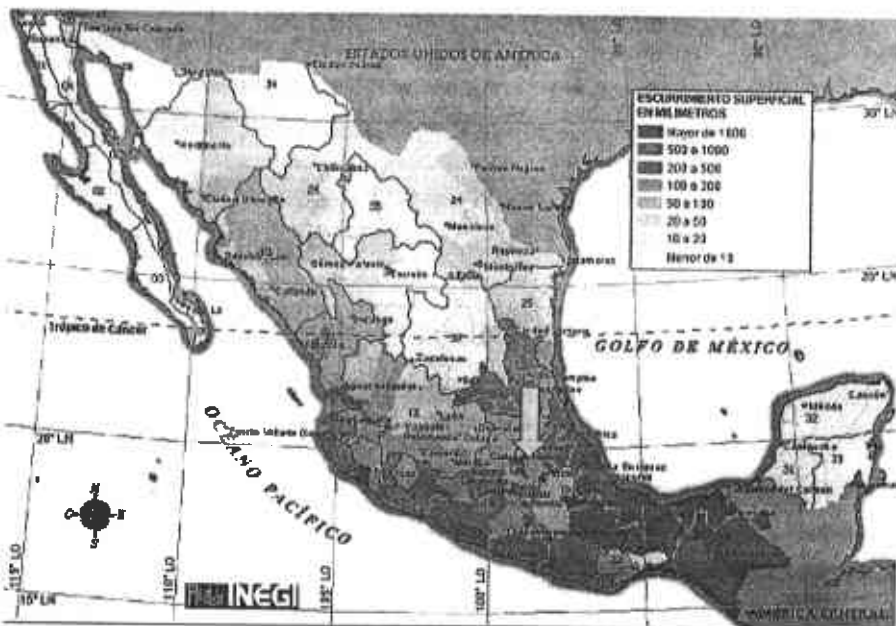


Fig. 3-1. Situación hidrológica de la República Mexicana y escurrimientos superficiales. INEGI 2004(14)

En esta figura, se muestran los escurrimientos superficiales. La ubicación de la planta en cuestión está marcada con una flecha.

Se observa que es una región donde el escurrimiento es entre 100 y 200 mm. Éste es un lugar con poca precipitación pluvial. Esto sirve como dato extra, pues la captación de lluvia, puede o no ser empleada también para el sistema de tratamiento de agua residual y el dimensionamiento en otras circunstancias puede incluir este abastecimiento externo al sistema a desarrollar.

Principales ríos.



Fig. 3-2. Situación hidrológica de la República Mexicana y principales Ríos. INEGI 2004 (14)

En la Fig. 3-2 se presentan los ríos representativos y de mayor importancia en la República, así como la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales. Como se observa, la posible descarga del agua podría hacerse en un río de bajo caudal, con el inconveniente de que tendría que ser bombeado el cuerpo de agua residual, con lo cual se ratifica la posibilidad de desarrollar una planta, que permita el "reúso" del agua, o bien

el acondicionamiento de ésta para evitar sanciones de acuerdo a la normatividad anteriormente citada.

En la Tabla 3-3 se listan las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales y capacidad instalada por algunos estados, de acuerdo con información de la SEMARNAT y CNA.

Tabla 3-3. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (varios años). México, D.F. (15)

Entidad federativa	Plantas de tratamiento							
	Municipal				Industrial			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
Estados Unidos Mexicanos	1 000	1 018	1 132	1 242	1 374	1 479	1 485	1 527
D.F.	18	18	21	28	6	1	1	3
México	43	45	45	59	72	110	110	127
Puebla	22	22	25	32	106	106	106	106
Querétaro	45	45	47	52	84	84	90	90
Veracruz	76	77	77	91	104	151	151	158
%México/Nal.	4.3	4.4	3.9	4.7	5.2	7.4	7.4	8.3

Este cuadro permite visualizar el interés, tanto del estado como de la iniciativa privada para implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales. En el ámbito municipal, se manejan pocas unidades instaladas, aun cuando en el estado de México, se encuentran concentradas una gran cantidad de industrias y zonas urbanas y el crecimiento es casi nulo.

La capacidad instalada a nivel nacional en plantas de tratamiento de aguas residuales, según la SEMARNAT y CNA(15), se muestra en la Tabla 3-4.



Tabla 3-4. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (varios años). México, D.F. (15)

Entidad	Capacidad instalada (Litros por segundo)							
	Municipal				Industrial			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
federativa								
Estados Unidos Mexicanos	67	75	80	85	26	41	41	34
	547.4	952.7	624.0	042.6	914.9	537.0	900.1	305.0
D.F.	5 632.5	5 632.5	6 278.0	7 032.0	193.2	23.0	23.0	31.0
México	6 408.7	6 658.8	6 600.0	6 821.5	541.4	446.0	446.0	1 299.0
Puebla	899.5	899.5	912.0	922.0	960.2	960.0	1 323.7	1 324.0
Quintana Roo	1 480.0	1 480.0	1 579.0	1 536.0	10.5	11.0	10.5	11.0
Veracruz	3 552.0	3 954.0	3 997.0	4 173.8	7 840.2	20 990.0	20 990.0	12 808.0
%México/Nal.	9.4	8.7	8.1	8.0	2.0	1.0	1.0	3.7

En este cuadro puede apreciarse que la capacidad municipal instalada, es más representativa que la del sector industrial, debido a las enormes cantidades de agua a tratar, mientras que en la rama industrial, apenas se llega al 3.7% de la capacidad instalada nacional.

La descarga de aguas residuales y materia orgánica generada por tipo de industria, para 2002, según SEMARNAT y CNA, se muestra en la Tabla 3-5 (15). Es importante resaltar este aspecto, pues el rubro alimenticio, el cual compete a esta investigación, tiene una presencia mínima, pero representativa en la descarga de aguas residuales y de igual manera, es un rubro que aporta el 3.06% de la materia orgánica generada, que no es tan significativa con respecto al ramo petrolero, pero sí es considerable.

Tabla 3-5. Estadísticas del Agua en México, 2004. México, D.F. (15)

Industrias	Descarga de aguas residuales industriales (Metros cúbicos por segundo)	Materia orgánica generada (Miles de toneladas por año)
Acuacultura	67.6	7
Azucarera	45.9	1 750
Petrolera	11.4	1 186
Servicios	10.3	183
Química	6.9	406
Celulosa y papel	5.5	108
Agropecuaria	3.2	1 063
Alimentaria	3.0	193
Cerveza y malta	1.6	272
Minera	0.8	56
Textilera	0.7	14
Destilería y vitivinicultura	0.4	230
Beneficio de café	0.3	32
Curtiduría	0.1	9
Otros giros a	12.9	795

3.5 Evaluación de técnicas disponibles

A continuación se presentan los parámetros representativos a controlar, así como los tratamientos disponibles. Cabe señalar que el cliente busca una alternativa sencilla, de preferencia un tratamiento biológico. Se dará seguimiento pues, a estas alternativas.

Composición y parámetros más representativos a controlar

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos:

- ✓ (DBO₅) Sólidos disueltos
- ✓ (DQO) Sólidos disueltos
- ✓ pH
- ✓ Los sólidos en suspensión, SST

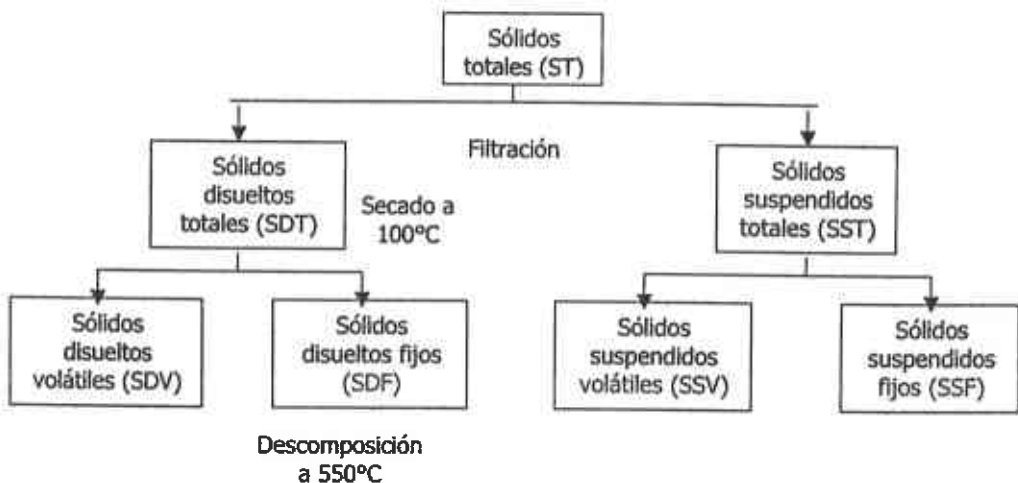
DBO (demanda biológica de oxígeno): Es la cantidad de oxígeno requerida por los organismos aeróbios para descomponer la materia orgánica disuelta o en suspensión. La concentración de materia orgánica se mide con los análisis de DBO₅ y DQO. La DBO₅ es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C, en 5 días(1).

La demanda química de oxígeno o de un compuesto químico DQO, es la cantidad para oxidar la materia orgánica (por medio de un agente oxidante como el dicromato de potasio) y convertirla en dióxido de carbono y agua(1). El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅ porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no bioquímicamente. La DBO₅ suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos(1).



El pH mide la acidez de una muestra de aguas residuales.

Los sólidos suspendidos se dividen a su vez en sedimentables y no sedimentables, dependiendo del número de miligramos de sólidos que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral. Un diagrama sencillo muestra esta clasificación:



Depuración de aguas residuales

Los procesos empleados en las plantas depuradoras municipales suelen clasificarse como:

- Tratamiento Primario
- Tratamiento Secundario
- Tratamiento Terciario.

Para ejemplificar esta subdivisión, se presenta un esquema, el cual contiene a grandes rasgos, la fenomenología que ocurre en el proceso. Cabe señalar que este ejemplo se toman en cuenta, exclusivamente los procesos a emplear en este proyecto, se aclara que no es la única manera de obtener un agua con grado de alta pureza, pero para fines de este estudio, resulta suficiente.



La Fig. 3-3 muestra de manera esquemática esta subdivisión.

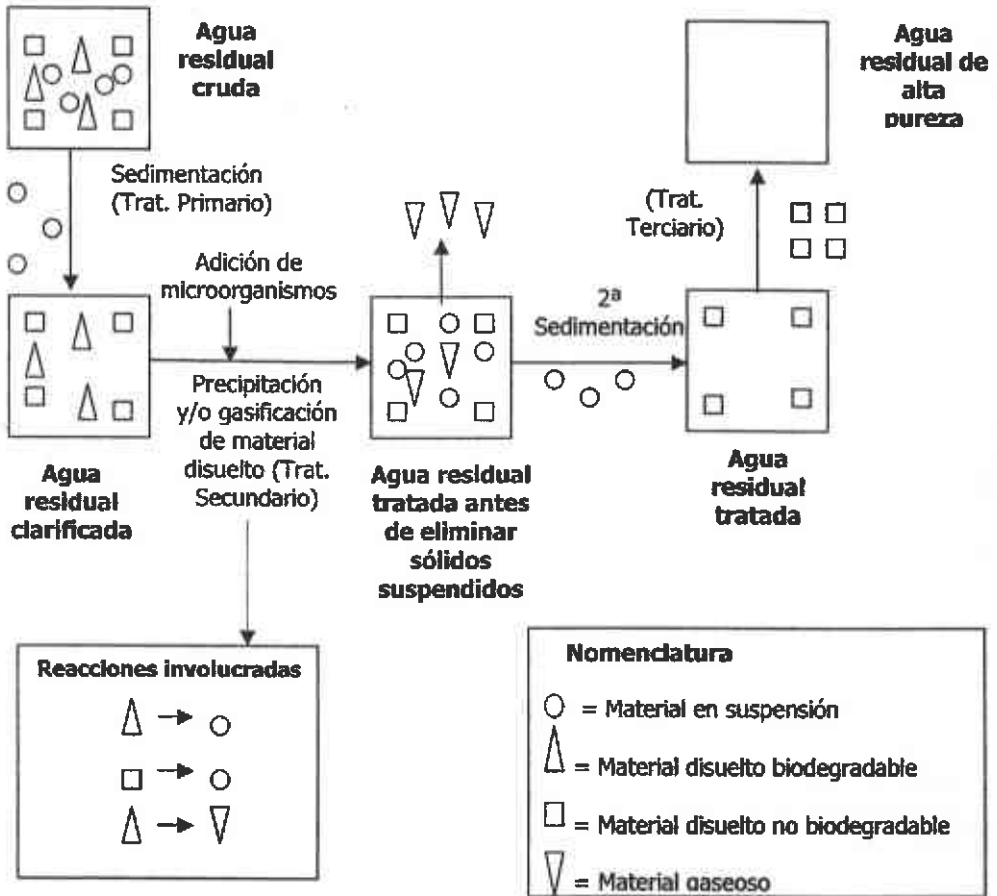


Figura 3-3. Tratamiento de aguas residuales químico y/o biológico(1)

Tratamiento primario: Las aguas residuales que entran en una planta depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Este tratamiento también puede ser llamado pre-tratamiento, los procesos regularmente pueden ser los siguientes:

- ✓ Aliviadero de agua en exceso
- ✓ Desbaste



- ✓ Tamizado
- ✓ Desarenado
- ✓ Desengrasado

El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación(16).

✓ **Cribado**

En esta sección el agua pasa a través de una serie de trampas con orificios, suficientemente grandes para permitir el paso del agua residual pero permitiendo retener los sólidos grandes contenidos en el efluente. El objetivo de estos sistemas es evitar el paso de grandes sólidos que pudieran entorpecer o hasta dañar a los equipos subsecuentes en un tratamiento. Fundamentalmente se emplean para eludir posteriores depósitos, evitar obstrucciones en canales, tuberías, etc., y para interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores(16).

✓ **Sedimentación**

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales(17).

Esta operación se emplea para la eliminación de arenas, para la materia en suspensión presente en los flóculos biológicos formados en los sistemas biológicos como en los procesos de lodos activados, tanques de decantación primaria, de los flóculos químicos cuando se emplea la coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesadores de lodos.

En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango o lodo cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo.

En función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas, se pueden producir cuatro tipos de sedimentación: discreta o separada, floculenta, retardada (también llamada zonal), y por compresión.



La tasa de sedimentación del material suspendido de tamaño de partícula muy pequeño se incrementa en algunas plantas de tratamiento incorporando procesos químicos llamados coagulación y floculación mediante la adición de sustancias químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión. Naturalmente, el volumen global de sólidos residuales se incrementa al adicionar sustancias químicas y encarece el proceso global de tratamiento. La tabla 3-6 describe estos tipos de sedimentación.

Tabla 3-6. Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual

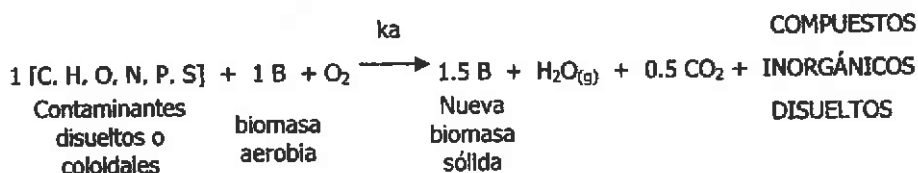
Fenómeno de sedimentación	Descripción	Aplicación / situaciones en que se presenta
De partículas "discretas" o separadas	Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas	Eliminación de las arenas del agua residual
Floculenta	Se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se agregan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad	Eliminación de una fracción de los sólidos en suspensión del agua residual bruta en los tanques de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los flóculos químicos de los



		tanques de sedimentación
Retardada, también llamada zonal	Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. Se desarrolla una interfase sólido-líquido en la parte superior de la masa que sedimenta	Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria empleados en las instalaciones de tratamiento biológico
Compresión	Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura y la sedimentación sólo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura	Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de lodo o fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamiento de fangos

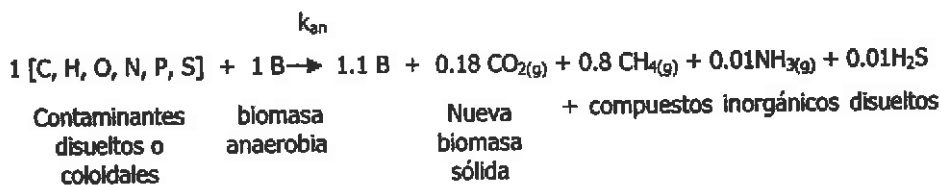
Tratamiento secundario: Una vez eliminados los sólidos en suspensión por métodos físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua mediante su precipitación y separación posterior(16). Por lo general, los procesos microbianos empleados son aerobios, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario

supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aerobias convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos (células que tienen una densidad ligeramente mayor que el agua y que sedimentan). La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor. De manera global puede decirse que las reacciones que ocurren son:



Por lo anterior, es necesario estabilizar el exceso de biomasa "sólida" que se forma (el CO₂ y el H₂O en fase gaseosa se pueden ir a la atmósfera). Debe separarse, de ser posible por sedimentación, del líquido y deshidratarse para que sea más sencillo su manejo.

Si se usan microorganismos anaerobios, la reacción que ocurre es la siguiente:



En este caso el biogás no debe enviarse a la atmósfera sin tratamiento. Éste debe "lavarse" para eliminar el H₂S y el NH₃ y quemarse para aprovechar el poder calorífico del CH₄. Esto hace que este proceso sea mejor desde el punto de vista energético que el aerobio ya que no requiere de oxígeno y puede generar energía de la combustión del metano. Sin embargo, su constante de rapidez de reacción es mucho más baja que la de la reacción aerobia (k_a > k_{an}). Por ello, es que normalmente se busca combinar ambos procesos(1).



Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario aerobio, incluyendo los reactores de biopelícula (como filtros empacados, reactores de biodiscos, etc.) y los reactores perfectamente mezclados (como los lodos activados, las lagunas, etc.). Para los sistemas anaerobios se tienen reactores similares y solamente se elimina la adición de oxígeno.

Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga (Figura 3-3).

Los procesos de cultivo en suspensión o sistemas perfectamente mezclados son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido.

Los sistemas de Biopelícula son aquellos sistemas se basan en la remoción de contaminantes de las aguas residuales por medio de biocomunidades que se fijan sobre una superficie inerte, a diferencia de los cultivos en suspensión que se encuentran libremente suspendidos en las aguas a tratar. La forma natural de la que se deriva este sistema son los bioecosistemas que proliferan sobre los guijarros que se encuentran formando el lecho de los ríos. Debido a la corriente se tiene una buena oxigenación del sistema que permite que estos microorganismos sean totalmente aerobios y, simultáneamente, esta misma corriente ejerce un esfuerzo cortante sobre la superficie activa, conocida como biopelícula, manteniéndola de un espesor relativamente constante.

Aunque la mayor parte de los microorganismos que forman la biopelícula son aerobios, los que se encuentran inmediatamente después del soporte (y, por tanto, más alejados de la película de aire) son anaerobios. Estos, al recibir los metabolitos provenientes de las aguas residuales los convierten a biogás, cuyas burbujas afloran a la superficie de la biopelícula y de la película de líquido haciendo que parte de los microorganismos que encuentran en su camino se desprendan de la biopelícula y coadyuvando (junto con los esfuerzos cortantes provocados por el flujo de la película líquida) a mantener un grosor específico de esta biopelícula activa. Esta biomasa desprendida de la biopelícula es colectada en el sedimentador secundario que se



encuentra después del reactor biológico y tiene la enorme ventaja sobre los microorganismos floculados que, debido a su tamaño, siempre sedimenta fácilmente(18).

El tratamiento anaerobio es un proceso natural que ocurre cuando compuestos biodegradables, son expuestos a la acción biológica en ausencia de oxígeno molecular, siendo convertidos en CO₂, CH₄, H₂S y NH₃, estos sistemas son empleados por industrias procesadoras de alimentos, papel, entre otras. Estos tratamientos son considerado como ahorradores y productores de energía (30).

En la Tabla 3-7 se muestran las ventajas y desventajas del empleo de este tipo de tratamientos (30).

Tabla 3-7. Principales ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Baja producción de sólidos biológicos de desecho. • Pueden ser aplicadas altas cargas orgánicas. • Producción de energía en forma de metano. • Bajo requerimiento de nutrimentos. • No requiere aireación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las bacterias anaerobias, particularmente las metanogénicas, son muy sensibles a la inhibición por varios compuestos (CHCl₃, CCl₄, CN⁻ y metales pesados), por temperatura, pH, etc. • El arranque del proceso es lento si no se cuenta con inóculo. • Demanda frecuentemente un postratamiento.

La descomposición anaerobla de la materia orgánica involucra procesos metabólicos que son desde el punto de vista bacteriano, menos eficientes que el metabolismo aerobio. Los microorganismos anaerobios fermentativos liberan materia orgánica rica en energía ya que esta se encuentra en los enlaces de los compuestos orgánicos producidos y en este caso en el metano, entonces los microorganismos anaerobios solo aprovechan para síntesis celular y funciones vitales una pequeña fracción (10%) de la energía contenida en el sustrato.

Ver Anexo 1 (Etapas de la metanogénesis)



La aplicación en plantas de tratamiento de aguas residuales construidas por el hombre se encuentra ejemplificada en los reactores empacados, conocidos como biofiltros (filtros percoladores) y en los sistemas rotatorios, llamados genéricamente biodiscos. En el primer caso, el soporte inerte se encuentra estático y las aguas residuales fluyen a través de dicho soporte. Naturalmente, con objeto de facilitar la transferencia de masa del oxígeno y la materia orgánica hacia la biopelícula y de los productos metabólicos, sobre todo el dióxido de carbono, hacia el agua y el aire se busca tener un medio de soporte que dé la mayor área superficial posible. Estos biofiltros funcionan como columnas empacadas en las que fluyen a contracorriente el agua a tratar y el aire que provee el oxígeno (que puede fluir hacia arriba por convección natural o forzada). Hay efluentes industriales que no pueden ser tratados en estos sistemas con rellenos plásticos ya que algunos de ellos contienen sustancias que reaccionan con el relleno y crean problemas de toxicidad a los bioecosistemas que se usan para depurarlos.

El otro tipo de sistemas se basa en el movimiento simultáneo del material inerte y de las aguas residuales. Esto evita la necesidad de introducir el aire por convección ya que el movimiento del material de soporte permite airear y mantener el sistema perfectamente mezclado. Generalmente, el material de soporte se encuentra en forma de discos o cilindros con gran área superficial que giran sobre una flecha y que se encuentran parcialmente sumergidos en las aguas a tratar para que se combine el contacto de la biopelícula con el agua residual y el aire ambiente.

El tratamiento terciario suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis Inversa y la electro-diálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes.



Si se pretende la reutilización del agua residual tratada, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. A esta última operación se le conoce como desinfección.

3.6 Selección del Proceso

Se realizó un estudio completo probando sistemas de biomasa en suspensión y de biopelícula, tanto aerobios como anaerobios y los resultados de todos ellos indicaron que un sistema combinado anaerobio-aerobio de reactores de biopelícula eran los idóneos para eliminar la materia disuelta en el nejayote de las fábricas de harina de maíz nixtamalizado, una combinación de sistemas **anaerobio-aerobio** resulta eficaz para tratar las aguas que, una vez depuradas, podrían recircularse a la planta sin crear problemas de incrustación en tuberías, accesorios y equipos por la presencia de material disuelto(19).

Si el material suspendido y disuelto en el nejayote pudiera reaprovecharse como alimento animal a un costo menor que el de los cereales usados para este propósito se tendrían dos avances importantes: Se daría un valor agregado a los subproductos del tratamiento de estas aguas usando otros cereales como el sorgo para alimentación humana directa. Con el tratamiento aerobio de la materia orgánica e inorgánica disuelta puede producirse una biomasa microbiana sedimentable con hasta 40% de proteína en base seca, la cual podría mezclarse con el material separado al inicio del tratamiento biológico y con los otros residuos sólidos (granos rotos, etc.) que se separan en las cribas de limpieza de maíz al inicio del proceso de nixtamalización para hacer alimentos balanceados. Si para degradar esa materia disuelta se usara un proceso anaerobio y se desarrollara un balance teórico similar, el rendimiento de biogás producido sería de 1 m³ (aproximadamente dos tercios de metano y un tercio de dióxido de carbono) y 70 litros de biomasa microbiana a partir de 1 m³ de efluentes con una carga orgánica similar a los desagües domésticos.

La Figura 3-4 representa de manera esquemática el proceso propuesto, la cual se considera como un esquema preliminar del diagrama de flujo de proceso. Esta representación pretende esquematizar el proceso de manera global, de tal manera que



funcione como base para el posterior desarrollo de la Ingeniería básica, a través del diagrama de tubería e instrumentación y del diagrama de arreglo de equipo.

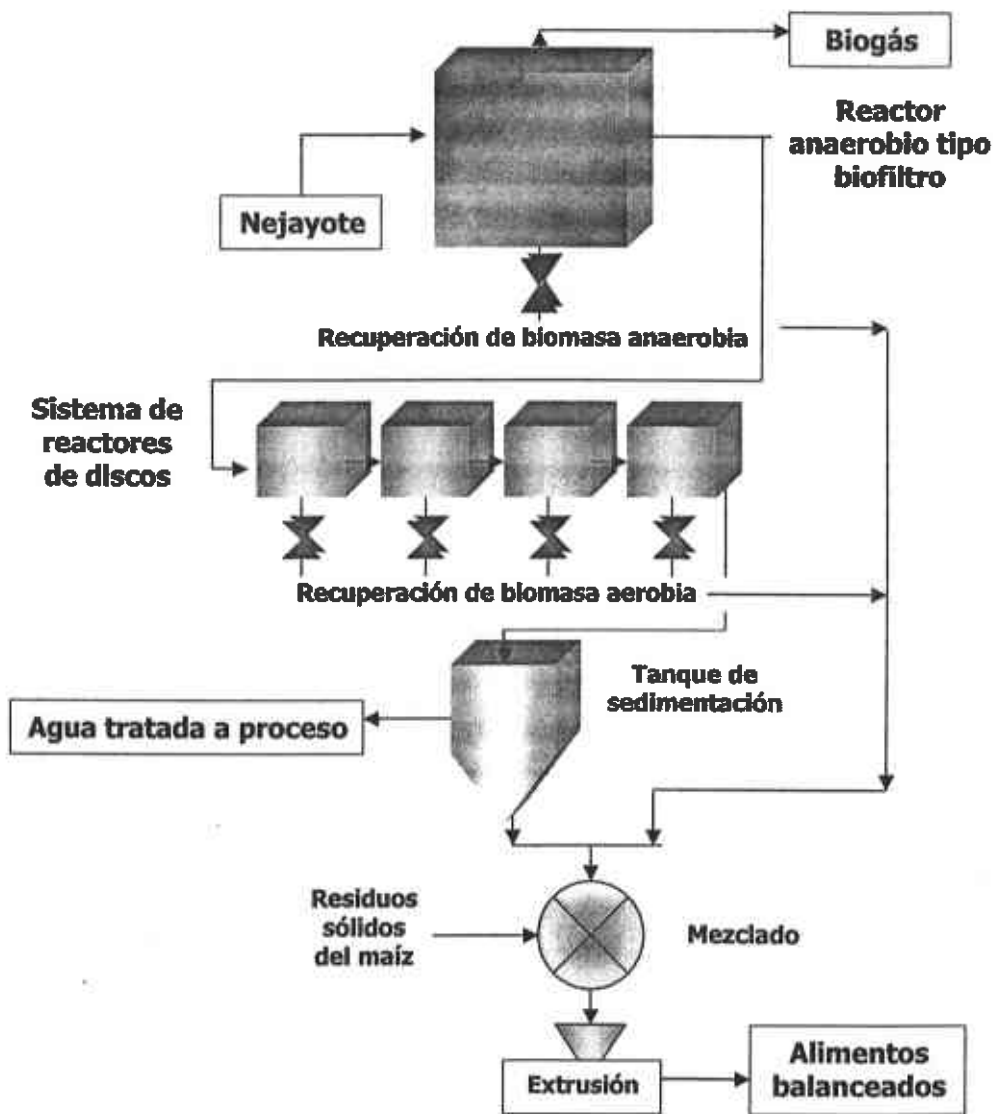


Figura 3-4. Esquema representativo del proceso seleccionado anaerobio-aerobio para fábricas de harina de maíz nixtamalizado

NOTA: Los resultados del análisis realizado por el laboratorio serán los empleados para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, debido a que sólo se cuenta con esta información de la caracterización del agua y no se tienen más datos, ni estadísticos, ni históricos, serán estos considerados como los de diseño. Se tiene la información de la literatura, pero como los tipos de maíz son diferentes es difícil extrapolar la información de la literatura. Dados los puntos señalados arriba se tomará una DBO_5 de 1400mg/L (no de 140 como aparece en la Tabla 3-1), ya que muy probablemente sea un error de mecanografía.



Capítulo 4. Diagrama de flujo de proceso

4.1 Descripción de proceso

Este documento presenta el proceso, así como la descripción detallada de los caudales y operaciones empleadas.

Esta planta de tratamiento está diseñada para una carga de 55 m³/día y estará ubicada en los MOLINOS AZTECA DE CHALCO S.A. DE C. V. Planta Teotihuacán. Estado de México.

Cribado (C-01, C-02)

En esta sección el caudal de nejayote proveniente del proceso es sometido a un proceso de cribado, a través de rejillas de 0.5mm y una rejilla secundaria de la misma medida, dispuestas a 0.5m de distancia entre sí. Se recomienda remover los residuos acumulados cada cambio de turno o bien, cuando sea necesario para evitar taponamiento. Siempre quedará una rejilla en uso, para evitar detener el proceso.

Tanque de sedimentación (S-01)

Este equipo permitirá la remoción de los sólidos sedimentables, además servirá como cuerpo receptor durante todo un día de trabajo. De acuerdo con los criterios de este diseño, el tiempo de retención en este equipo será de 24h, con este tiempo se garantiza la sedimentación de materia suspendida de aproximadamente 0.01mm de diámetro de partícula (5). El volumen del tanque será de 55m³. En este dispositivo, se instalará una salida de lodos, que se purgará preferentemente cada 24 h. En este dispositivo será instalada una salida a una altura de 1m, para liberar el agua clarificada y ser enviada al siguiente equipo.

Reactor anaerobio Biofiltro (R-01)

El efluente previamente tratado ingresa a la torre empacada o biofiltro, completamente cerrada, la cual en su interior contendrá anillos Pall, que permiten un mayor contacto entre los microorganismos y el agua. El proceso requiere que el agua ingrese a más de 30°C. A la entrada a la torre empacada, la cantidad de alimento es máxima, con lo cual



los primeros microorganismos degradan la materia orgánica produciendo gran cantidad de gas y abatiendo el pH del efluente de manera drástica de 13 hasta 8, la producción y enriquecimiento de metano y bióxido de carbono es más abundante conforme se acerca a la salida del reactor. Puede haber una salida de 70 a 93% de CH_4 y 15 a 30% de CO_2 . Este sistema es eficaz en el tratamiento de altas cargas orgánicas; además, produce una cantidad mínima de biomasa por unidad de sustrato y el requerimiento de nitrógeno y fósforo es mínimo.

En este proceso se producirá una cantidad de metano importante, debido a que los microorganismos producen esta especie química al oxidar las moléculas de carbono orgánico disuelto en el efluente.

Puede usarse también un reactor de lecho de lodos en vez del reactor empacado, con lo que se ahorraría el costo del empaque, aunque debe pagarse la adquisición del inóculo de lodos anaerobios.

Reactor aerobio de Bioliscos (R-02)

Este sistema tiene un soporte inerte al que se adhieren los microorganismos y se transforma la materia disuelta en nuevos microorganismos. Es un sistema que contiene 4 reactores con 25 discos cada una, en la que los microorganismos, de distinta naturaleza degradarán la materia orgánica y habrá una disminución de la materia biodegradable restante después del tratamiento anaerobio.

El nivel de alta energía resultante mantiene todos los microorganismos dispersos en el agua, además de los que forman la biopelícula.

Cuando la tasa de crecimiento de bacteria y protozoarios comienza a declinar, se inicia la formación de flóculos. Las bacterias son incapaces de tomar energía del alimento en el efluente y comienzan a metabolizar las reservas de alimento en sus propias células. Mientras que el nivel de energía cae, la tasa de formación de flóculos aumenta rápidamente. Al alcanzar cierto equilibrio, los flóculos formados sedimentan. La tasa de remoción orgánica es más rápida en la fase de crecimiento, mientras que la formación de flóculos es mejor en la fase de pseudo equilibrio.



Tanque de sedimentación o clarificación secundaria (S-02)

En este equipo se pretende retirar la materia residual de los procesos previos de oxidación/reducción y degradación de materia orgánica. Se han formado flóculos que deben ser separados. Este tanque tendrá un volumen de 5m^3 . La extracción de los lodos de este equipo se juntarán con los de la salida del biofiltro para su recuperación. Esta remoción deberá realizarse cada 12h.

Al término de esta fase, el agua está lista para ser utilizada para los fines que al cliente le convengan como puede ser riego. Para su "reúso" en proceso, uso sanitario, etc., es necesario un proceso terciario de tratamiento.

Sección de recuperación de materia.

A la salida del biofiltro, por la sección inferior, se obtendrá un lodo con biomasa, la cual será confinada en un tanque de acumulación de residuos (T-01), donde se adicionarán la biomasa proveniente del sedimentador secundario (S-02) y los residuos sólidos de maíz del proceso del sedimentador primario, para obtener un alimento balanceado, en forma de hojuelas.

Hasta este punto se encuentra el límite de batería del proceso, aunque cabe considerar la importancia del diseño del sistema de recuperación de materia, tanto de los sólidos como del biogás.

Filtro prensa/Extrusor

Este dispositivo, filtro prensa, empleará la mezcla de biomasa (lodos resultantes) y sólidos de maíz para lograr comprimirlos y así obtener una pasta de alimento balanceado, que podrá ser proporcionada a diversas especies animales, como un alimento alternativo o complementario. Si se desea, puede extruirse posteriormente para formar hojuelas de baja humedad que tengan una vida de anaquel más larga.

Los líquidos provenientes del filtro prensa y el lavador de gases se retoran al sistema secundario para su tratamiento.



4.2 Dimensionamiento de equipos

Cálculo secuencial de cada componente de la planta de tratamiento de aguas residuales

El sistema estará diseñado para tratar 55 m³/día, aunque en realidad se tratarán 45 m³/día; pues en las bases de diseño, así lo estipuló el cliente.

4.2.1 Cribado

En esta sección, dado que los residuos de maíz de la nixtamalización no son de un tamaño mayor a 0.5cm, se propone colocar al inicio del proceso una malla cuyo orificio, sea de 0.5cm y una segunda malla de las mismas dimensiones, con la finalidad de que cuando se dé mantenimiento a esta sección, el sistema siempre cuente con la sección de cribado.

4.2.2 Sedimentador primario

Por cada 1m³/d de nejayote, se necesitan 900cm² (0.09 m²) de área de sedimentador (r), la superficie mínima necesaria (6),(SMN) es:

$$SMN := \frac{0.09 \frac{m^2}{day} \cdot 55 \frac{m^3}{day}}{1 \frac{m^3}{day}} \quad SMN := 4.95 \frac{m^2}{day}$$

El tiempo de retención propuesto (tr1) es de 24h, pues servirá como tanque colector del nejayote producido en el proceso en un día de actividades.

El volumen del sedimentador primario (V1), de acuerdo con el tiempo de retención propuesto, es:

$$tr1 := 24hr \quad V1 := tr1 \cdot Q \quad Q := 55 \frac{m^3}{day}$$

$$V1 := 55 \frac{m^3}{day}$$



Se propone que el sedimentador tenga un espejo de agua cuadrangular cuyo fondo sea cónico para colectar los lodos en esta sección. El cálculo es el siguiente.

Para saber el área de espejo de agua, solo se despeja de la ecuación de volumen, uno de los lados. Considerando que la relación L/h es 1.5.

$$A1 := L^2 \quad h1 := 1.5A1$$

$$V1 := A1 \cdot h1 \quad V1 := 55m^3$$

$$L := \sqrt[3]{\frac{V1}{1.5}} \quad L = 3.322 \text{ m}$$

El área (A1) es entonces:

$$A1 := 11.036m^2$$

La altura (h1) es:

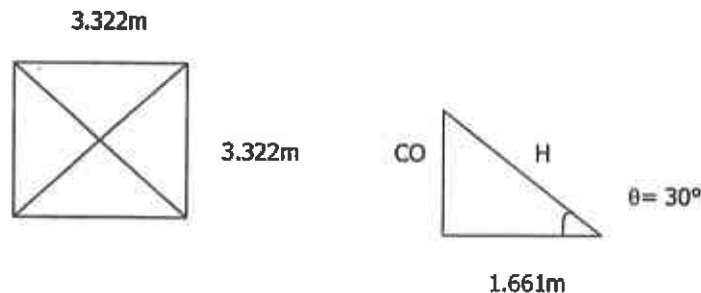
$$h1 := 4.98m \quad \text{Considerada como } 5m$$

Es necesario conocer la carga hidráulica del sedimentador (CH1).

$$CH1 := \frac{Q}{A1} \quad CH1 := 4.984 \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$$

Como el sedimentador tendrá forma cónica al fondo, si se tiene que la inclinación de cada lado del "cono" es de 40° con respecto a la horizontal, el cual, puede realizarse el cálculo de la siguiente manera:

Partiendo cualquiera de los triángulos del fondo rectangular, para formar un triángulo rectángulo y aplicando el Teorema de Pitágoras se puede conocer cada triángulo que formará el fondo del sedimentador primario:



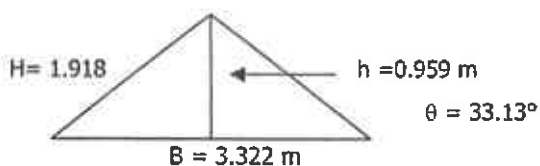
$$\tan\theta := \frac{CO}{CA}$$

$$CO := Ca(\tan\theta)$$

$$1.661(\tan 30) = 0.959 \quad CO := 0.959\text{m}$$

$$H := \sqrt{1.661^2 + 0.959^2} \quad H := 1.918\text{m}$$

El significado de la hipotenusa (H), es la altura que tendrá cada triángulo inclinado que forma el cono del sedimentador. Entonces las dimensiones de cada triángulo "inclinado" serán:



Cabe señalar que este equipo cuenta con un sistema de dren, el cual está favorecido por la forma cónica del fondo, ya que permitirá una mayor concentración de sólidos sedimentables en esta región y así mismo, realizar la extracción de dichos sólidos sin alterar de manera notable la estabilidad del sistema.

Los rendimientos para este sistema son remoción de 35 % en SST y de 30% en $DBO_5(16)$. Se supone que el lodo saliente tiene un 30% de agua.

4.2.3 Reactor biológico empacado (Biofiltro)

La ecuación de diseño es la siguiente para una reacción de 2º orden:

$$St := Si \cdot \frac{1}{1 + K \cdot \frac{D^m}{Chb^n}}$$

K = Constante de reacción Chb = Flujo volumétrico (MGal/acre.día)

Hb = Altura del lecho (ft) m y n = ctes. empíricas

St = Concentración de sustrato a la salida (mgDBO5/L)

Si = Concentración de sustrato a la entrada (mgDBO5/L)

En este caso se encontró para el caso de la industria de nixtamalización el valor de la constante de reacción biológica (K= 4.11)

$$K := 4.11 \quad Si := 1400 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{L}} \quad m := 0.67 \quad n := 0.5$$

$$St := 350 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{L}} \quad \text{Para el tren de tratamiento completo anaerobio-aerobio puede considerarse de 75 a 80\% de eficiencia.}$$

Según la tabla 3-1 de la NOM-003-ECOL-1997 (8), el valor de la descarga deberá ser de 30 mgDBO5/L, pero este valor se alcanzará con el proceso aerobio complementario

Se propone una altura de lecho de 8ft

$$hb := 8ft \quad hb := 2.44m$$

Despejando de la ecuación de diseño para encontrar la carga hidráulica (Chb)

$$Chb := \left[D^m \left[\left(\frac{K}{\frac{St}{Si}} - 1 \right) \right]^2 \right] \quad Chb := 30.45 \frac{\text{Mgal}}{\text{acre} \cdot \text{day}} \quad Chb := 1.1866 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Para obtener el área de flujo del reactor anaerobio (ARA), se toma el flujo de diseño de 55m³/día, así como la carga hidráulica del equipo obtenida (Chb).

$$ARA := \frac{1 \frac{\text{day}}{24\text{h}} \cdot 55 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}}{1.1866 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}} \quad ARA := 1.931 \text{m}^2$$

Una vez obtenida el área de flujo, puede determinarse el diámetro del equipo



$$dB := \sqrt{\frac{4 \cdot ARA}{\pi}} \quad dB = 1.568 \text{ m}$$

Como empaque para este equipo se emplearán anillos Pall, los cuales tienen las siguientes características (27):

Los anillos Pall, son una variación de los anillos raschig, ofrecen mayor área de contacto entre las sustancias, además de aportar menor pérdida de presión. Son indicados cuando se necesita mayor frenado que las ofrecidas por los anillos raschig.

Para efectuar una reacción adecuada, se necesita una superficie que permita adherencia para los microorganismos, por tal motivo se recomiendan los anillos de polipropileno, además de ser mas accesibles económicamente.

Las siguientes características son extraídas de la Tabla 18-5 de Perry, Manual del ingeniero químico (27).

Tabla 18-5 Características de los empaques para torres tipo vaciado.

Tipo de empaque	Diám. nominal (mm)	Diám. externo (mm)	Núm. Aprox. de elementos por m ³	Peso aprox. Por m ³ (kg)	Área superf. Aprox. (m ² /m ³)	% espacios vacíos
Anillo Pall, plástico (polipropileno)	16	16	214,000	116	340	87
	25	25	50,100	88	205	90
	38	38	13,600	76	130	91
	50	50	6,360	72	100	92
	90	90	1,170	68	85	92

Dadas las condiciones, se elegirán los anillos de 38 mm, pues resultan los adecuados, no son tan pesados, no se requieren tantos elementos y permiten una inundación suficiente para que los microorganismos puedan tener contacto con el agua.

La remoción en este equipo es de 80% en DBO₅, DQO y COD; mientras que para SST es de 30%.



4.2.4 Biodiscos

Para el cálculo de las dimensiones de este equipo, se recurrió a las siguientes ecuaciones (18):

Ecuación de la conservación del sustrato

$$Q \cdot S = Q \cdot S_o - R_c \cdot A$$

Q = Caudal a tratar en el proyecto (m³/d)

S_o = Concentración del sustrato en la entrada (mgDBO₅/L)

S = Concentración del sustrato en la salida (mgDBO₅/L)

R_c = Sustrato específico consumido (g/d m²)

AR_d = Área necesaria para reacción en biodiscos (m²)

Ecuación del sustrato específico de MONOD

$$R_c := \frac{19.4 S}{15.1 + S}$$

Combinando estas dos ecuaciones, es posible encontrar el área necesaria para que se lleven a cabo las reacciones aerobias (AR_d).

$$AR_d := \frac{Q(S_o - S)}{R_c} \quad AR_d := \frac{55 \frac{m^3}{day} \cdot (350 - 30) \frac{mgDBO_5}{L}}{\frac{19.4 \cdot 30}{15.1 + 30} \frac{g}{m^2 day}}$$

$$AR_d := 1363.85 \text{ m}^2$$

Se recomiendan que los sistemas de biodiscos sean divididos en 4 reactores para permitir un buen tiempo de residencia que sea suficiente a cada etapa y hacer más eficiente el proceso de tratamiento aerobio. Entonces el área por bloque (Abb) será:

$$Abb := \frac{AR_d}{4} \quad Abb = 340.962 \text{ m}^2 \text{ Por bloque}$$

Cada bloque contendrá 25 discos, los cuales tienen 2 superficies de contacto cada uno, entonces se tendrán 50 superficies de contacto por cada bloque y el área de cada disco (A_d) es.

$$A_d := \frac{Abb}{50} \quad A_d = 6.819 \text{ m}^2 \text{ Por cada cara de disco}$$

El diámetro de cada disco será

$$D_d := \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}} \quad D_d = 2.947 \text{ m}$$

Se recomienda también que cada disco esté separado al menos 3.5 cm, y los discos tienen un espesor aproximado de 1.5 cm.



Las dimensiones de cada bloque son:

El ancho de cada bloque (A_b)

$$A_b = 25 \text{ discos} \times 1.5 \text{ cm/disco} + 20 \text{ cm libres} + 25 \text{ espacios} \times 3.5 \text{ cm/espacio}$$

$$A_b = 145 \text{ cm} = 150 \text{ cm}$$

La longitud del bloque es (L_b)

$$L_b = 300 \text{ cm de diámetro de discos} + 20 \text{ cm libres}$$

$$L_b = 320 \text{ cm}$$

El volumen húmedo de cada bloque debe ser aproximadamente 40% del área de cada disco sumergido.

El nivel de agua en cada bloque (nA_b) es aproximadamente 40% del diámetro de cada disco:

$$300 \text{ cm} \times 0.4 = 120 \text{ cm Sumersión de cada disco}$$

Se dejarán 10 cm de fondo para evitar roce en el giro de los discos con la base del reactor.

$$120 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 130 \text{ cm de profundidad}$$

Las dimensiones de cada reactor son:

La altura (h_b) es:

$$h_b = 140 \text{ cm}$$

La longitud (L_b) es:

$$L_b = 320 \text{ cm}$$

El ancho (A_b) es:

$$A_b = 150 \text{ cm}$$

Según la literatura (17) se requiere una velocidad rotacional de 2 RPM para abastecer al equipo con suficiente oxígeno. Esta necesidad estará proporcionada por un equipo de rotación que aporte de 2 a 4 kW.

Se recomienda que el tiempo de residencia hidráulico (TRH) en este equipo sea de 30 minutos por cada reactor, dando como total 2 horas por todo el reactor aerobio.



Volumen de agua por cada reactor:

Cada disco tiene un volumen sumergido (Vds)

$$Vds := 0.0253 \text{ m}^3$$

El volumen de agua en cada reactor (Vb) es:

$$Vb := 130\text{cm} \times 320\text{cm} \times 150\text{cm} - Vds \quad Vb = 6.215 \text{ m}^3$$

El volumen total de agua en el equipo (Vtb) es:

$$Vtb := Vb \cdot 4 \quad Vtb = 24.859 \text{ m}^3$$

Los rendimientos en este equipo es de 75 % para COD, DQO y DBO₅ y 90% de SST.

4.2.5 Tanque sedimentador secundario.

$$Vc := \frac{Vci \cdot SS}{SS + 0.034 \cdot (SSI)}$$

SS = concentración de sólidos en suspensión admitidos a la salida del sedimentador

$$SS := 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

SSI = Concentración de sólidos en suspensión a la entrada al sedimentador

$$SSI := 30 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$Vc := 1.807 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Vci = velocidad sedimentación a caudal punta

$$Vci := 1.9 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

Para encontrar el área de espejo del sedimentador (Ass) se emplea la siguiente ecuación:

$$Ass := \frac{Q}{Vc} \quad Ass := 1.268 \text{ m}^2$$

Este equipo estará incluido en los límites del reactor de biodiscos, cuyo lado conocido mide 3.2m y es necesario conocer el lado complementario (Lss) es:

$$Lss := \frac{Ass}{3.2 \text{ m}} \quad Lss = 0.396 \text{ m}$$

La altura del tanque (hc) estará dada por la pared externa del reactor de biodiscos la cual mide 1.4m, por lo tanto la altura del sedimentador secundario (hc) es 1.40m

El tiempo de residencia será

$$trc := \frac{Vc}{Q} \quad trc := 0.79\text{h}$$



4.2.6 Tanque de acumulación de residuos sólidos

Se producirán aproximadamente 55kg/día de residuos sólidos, como lodos, los cuales tienen una densidad variable, por ello se considerará el uso de un recipiente de 200L, con la consideración de que esta materia contenida deberá ser removida cada día y enviada al filtro prensa para deshidratarse.

El volumen del tanque se ha fijado en $200L=0.2m^3$

$$V_{TARS} := 0.2m^3$$

$$V_{TARS} := A_{TARS} h_{TARS}$$

Se considerada el diseño de un tanque cilíndrico en el cu.
 $h=1.5d$

Despejando el diámetro de la combinación de las ecuaciones anteriores.

$$d_{TARS} := \sqrt[3]{\frac{V_{TARS} \cdot 4}{\pi \cdot 1.5}} \quad d_{TARS} = 0.554m$$

$$h_{TARS} := 1.5d_{TARS} \quad h_{TARS} = 0.831m$$

4.3 Lista de equipos

Para este tratamiento de aguas residuales se requieren por lo menos los siguientes equipos:

Clave	Descripción
C-01, C-02	Rejillas de cribado
S-01	Sdimentador primario
R-01	Reactor anaerobio empacado
R-02	Reactor aerobio de biodiscos
S-02	Sedimentador secundario



T-01	Tanque de acumulación de residuos sólidos
B-01, B-02, B-03, B-06	Bomba centrífuga
B-04, B-05	Bomba reciprocante

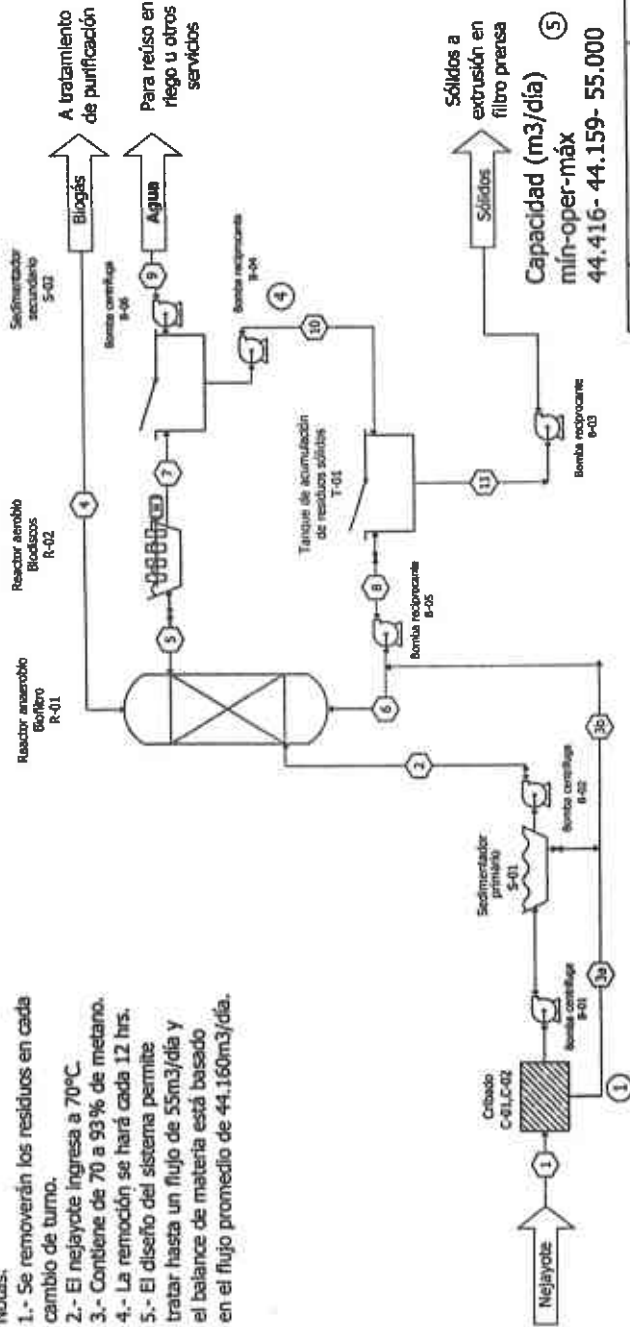
Se aclara que este es listado de equipos que comprende el alcance de este proyecto, no cuenta los equipos adicionales de purificación de biogás ni el filtro prensa para la extrusión de residuos sólidos, ni la tubería e instrumentación de estos.

A continuación se presenta el Diagrama de flujo de proceso (Figura 4-1) con el respectivo balance de materia.




Notas:

- 1.- Se removerán los residuos en cada cambio de turno.
- 2.- El nejayote ingresa a 70°C.
- 3.- Contiene de 70 a 93% de metano.
- 4.- La remoción se hará cada 12 hrs.
- 5.- El diseño del sistema permite tratar hasta un flujo de 55m³/día y el balance de materia está basado en el flujo promedio de 44.160m³/día.



Sólidos a extrusión en filtro prensa (5)
 Capacidad (m³/día) mín-oper-máx
 44.416- 44.159- 55.000


 Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Química

Evaluación técnico-económica de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa que produce nixtamal y harina de maíz refinado.

Diagrama de Flujo de Proceso
 Figura 4-1

Autor: M.R.H.M. Fecha: 09/09/05
 Revisó: J.A.O.R. Fecha: 12/09/05
 Escala: 1:100
 Proyecto: D.F.P.-1
 Revisión: A

(3) BALANCE DE MATERIA

COMPONENTE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
Agua (kg/día)	44100	44090	0	9.69	0	44077	12.59	44077	22.28	44076	0.99	23.27
COD (kg/día)	225	225	0	0	0	45	0	11.25	0	11.25	0	0
DBOs (kg/día)	63	44.1	0	18.9	0	8.82	0	2.21	18.90	0.9	0	18.90
SST (kg/día)	92.25	59.96	5.50	32.28	0	41.97	17.99	4.20	50.28	0.9	3.30	53.57
DQO (kg/día)	324	324	0	0	0	64.8	0	9.72	0	5.35	0	0
Biogás (m ³ /día)	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0

Capítulo 5. Valor agregado en el proceso seleccionado

5.1 Producción de alimentos balanceados

En México, los alimentos básicos son el maíz y el frijol. Su producción aunque ha ido decreciendo debido al cultivo de otros granos, como el sorgo, tiene aún una gran presencia en la producción global de alimentos.

Una fuente de alimentos para animales, mono y poligástricos podría ser la proteína microbiana obtenida del tratamiento biológico de residuos agrícolas o industriales no tóxicos.

El procesamiento del maíz para consumo humano se realiza siguiendo el proceso milenario de lixiviación alcalina, conocida como nixtamalización. Este proceso consume grandes cantidades de agua, tiempo y energía. En la industria actual por poner un ejemplo, donde se procesan 1 T/día se generan de 3 a 5 m³ diarios de aguas residuales y en una planta de 600T/día de maíz, los efluentes descargados son de 1500 a 2000m³/día.

Debido a la presencia de cal en el proceso, el pH de las aguas residuales es de 12 a 14, con una temperatura de 40 a 70°C, conteniendo material en suspensión SS (cascarilla del maíz y granos rotos) y una proporción alta de material disuelto proveniente de la hidrólisis alcalina de los componentes del maíz(1).

Si el material suspendido y disuelto en el *nejayote* pudiera reaprovecharse como alimento animal a un costo menor que el de los cereales usados para este propósito se tendrían dos avances importantes: se daría un valor agregado a los subproductos del tratamiento de estas aguas y el sorgo se usaría exclusivamente para alimentación humana directa. Con el tratamiento aerobio de la materia orgánica e inorgánica disuelta puede producirse una biomasa microbiana sedimentable con hasta 40% de proteína en base seca, la cual podría mezclarse con el material separado al inicio del tratamiento biológico y con los otros residuos sólidos (pajas, granos rotos, etc.) que se separan en las cribas de limpieza de maíz al inicio del proceso de nixtamalización para hacer alimentos balanceados.



Durante la nixtamalización se pierde, aproximadamente, un 5% en peso en base seca de maíz (en algunas variedades, las de importación sobre todo, la pérdida puede incrementarse hasta 30% debido a las características físicas de los granos). Aproximadamente el 3% se encuentra suspendido y el 2% restante en forma disuelta. La materia suspendida puede separarse fácil y económicamente por sedimentación. La manera más sencilla de hacer esto es transformando ese material soluble en biomasa microbiana por métodos aerobios.

A continuación se presentan los valores considerados en este estudio para el proceso de 10 toneladas de maíz nixtamalizado.

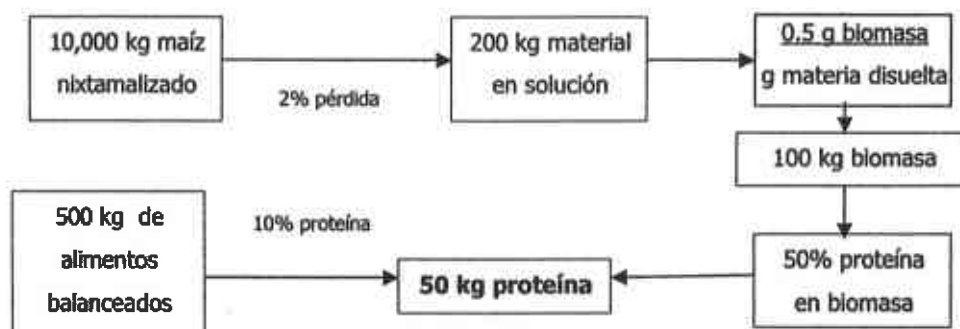


Figura 5-1. Diagrama de bloques del reaprovechamiento de los residuos de la nixtamalización del maíz

$$\begin{aligned}
 & \frac{0.5 \text{ mg biomasa (b.s.)} \times 5000 \text{ mg materia disuelta} \times 45 \text{ m}^3 \text{ efluentes}}{\text{mg materia disuelta} \quad \text{litro} \quad \text{d}} \times \\
 & \times \frac{1000 \text{ litro}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg biomasa}}{10^6 \text{ mg biomasa}} = 11.25 \text{ kg biomasa (b.s.)} = 5.62 \text{ kg proteína}
 \end{aligned}$$

El proceso por sí mismo, ofrece un beneficio extra, pues de la materia que es considerada como desecho, puede completarse la preparación de un alimento con alto contenido proteínico para animales.

Para degradar la materia disuelta en el agua a tratar, se usará un proceso

anaerobio y se desarrollara un balance teórico similar, en donde el rendimiento de biogás producido sería de 1m^3 (aproximadamente dos tercios de metano y un tercio de dióxido de carbono) y 70 litros de biomasa microbiana a partir de 1m^3 de efluentes con una carga orgánica similar a los desagües domésticos. Si el gas se comprimió a 350 bar y el CO_2 se lavara para enriquecer el gas hasta 95% de metano, se obtendrían 8000 kcal/m^3 . Esta fuente secundaria de energía sería importante para el propio proceso y para las áreas rurales, donde la energía es escasa y cara, ya que la carga orgánica de las aguas de las fábricas de harina es de 20 a 100 veces mayor que la de los desagües domésticos, dependiendo de los ahorros de agua que siga la fábrica.

Este diseño tomó en cuenta las etapas de separación primaria (material suspendido) y secundaria (reacciones biológicas anaerobia-aerobia del material soluble e insoluble fácilmente sedimentable y biogás rico en metano) de los efluentes de la industrialización del maíz.

5.2 Producción de biogás

La composición inicial tiende a modificar la generación de metano por la presencia selectiva de bacterias metanogénicas en los reactores (Ver Anexo 1). Esto significaría que, para una generación de $45\text{ m}^3/\text{día}$ de *nejayote* con una carga orgánica de $6.5\text{ m}^3/\text{día}$ en los efluentes, la producción de gases sería de $190\text{ m}^3/\text{día}$ y se tendrían 110 m^3 de gas en condiciones estándar de presión y temperatura, de los cuales al menos el 60% sería metano.

La eficiencia de remoción se ve favorecida ya que los valores de pH al interior de los reactores proveen la proliferación de bacterias metanogénicas en la parte superior del reactor.

La estrategia seguida de integrar un sistema anaerobio-aerobio, para que este último sea el responsable de metabolizar todo el material coloidal presente y transformarlo en biomasa fácilmente sedimentable, permite la fácil obtención tanto del biogás como de lodo en la parte inferior de la torre.



A continuación se presenta una forma de evaluar la cantidad de metano producido en el reactor anaerobio o biofiltro, cuya repercusión económica es favorable al sistema de tratamiento de aguas residuales sugerido (Ver capítulo 6. Evaluación económica del proyecto).

Producción promedio de metano en el biofiltro



La DQO del metano es 64g O₂/16g CH₄ ó 4g/g, el metabolismo completo de 1kg DQO producirá 0.25kg CH₄, el número de moles producido será 250g/16g=15.6mol y si la presión es 1 atm, el volumen del gas es 22.4L.

$$V_{\text{met}} := 15.6 \text{ mol} \cdot 22.4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

$$V_{\text{met}} = 0.349 \text{ m}^3$$

Para saber la cantidad de metano producido al día (Q_{met}) se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{met}} := Q_1 \cdot (\text{Ste} - \text{Sis}) \cdot M \cdot f \quad Q_{\text{met}} = \text{cantidad de metano/día (m}^3 \text{ CH}_4/\text{day)}$$

$$f = \text{Vol CH}_4/\text{kgDQO} \quad f := 0.35 \frac{\text{m}^3}{\text{kgDQO}}$$

$$M = \text{\% DQO removido en el proceso anaerobio con eficiencia de 75\%} \quad M := 0.75$$

$$\text{Ste} = \text{Total de DQO a la entrada del biofiltro (kg/m}^3\text{)} \quad \text{Ste} := 7.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad Q_{\text{met}} := 85.54 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$$

$$\text{Sis} = \text{Total de DQO a la salida del biofiltro (kg/m}^3\text{)} \quad \text{Sis} := 1.975 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_1 = \text{Volumen a tratar en el proceso} \quad Q_1 := 55 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$$



El proceso en el biofiltro generará aproximadamente 85 m³/día de una corriente de metano.

Acompañado del metano, viene también CO₂, que en este caso se produce de acuerdo a experimentos previos, 70%CH₄ y 30%CO₂, siendo esta proporción variable, pues se ha encontrado que el porcentaje de metano puede llegar hasta el 93 % en la composición de la corriente de biogás.(5),(20)

$$Q_{met} = 85.54 \frac{m^3}{day} \quad \%met := 85 \quad \%CO_2 := 15$$

$$Q_{CO_2} := Q_{met} \frac{\%CO_2}{\%met} \quad Q_{CO_2} = 15.095 \frac{m^3}{day}$$

Entonces la corriente total de gas será

$$Q_{totg} := Q_{met} + Q_{CO_2} \quad Q_{totg} = 100.635 \frac{m^3}{day}$$

5.3 Recuperación posible de materia y energía

En la figura 5-2 se presenta el diagrama de bloques del proceso completo, tanto de producción de masa para tortillas como del reaprovechamiento de los residuos del proceso.

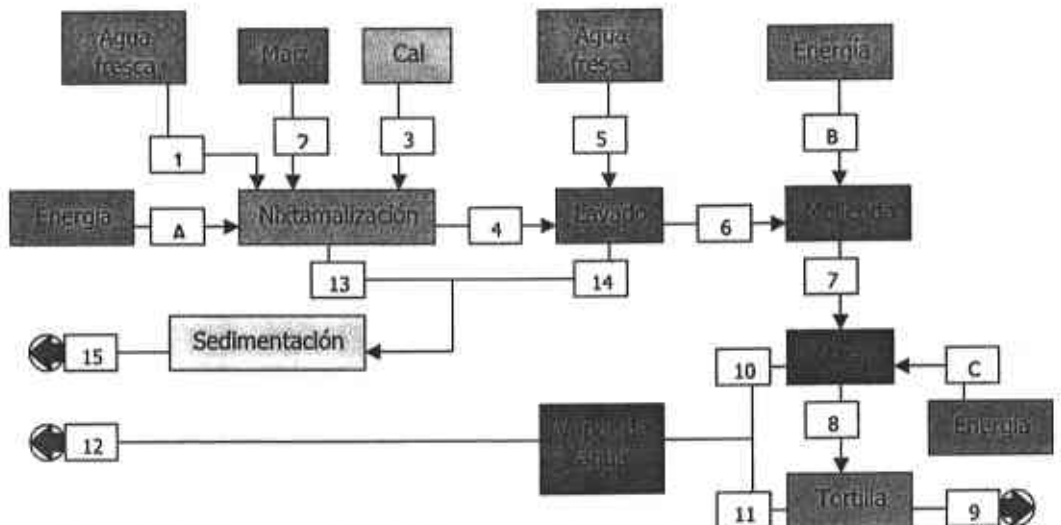
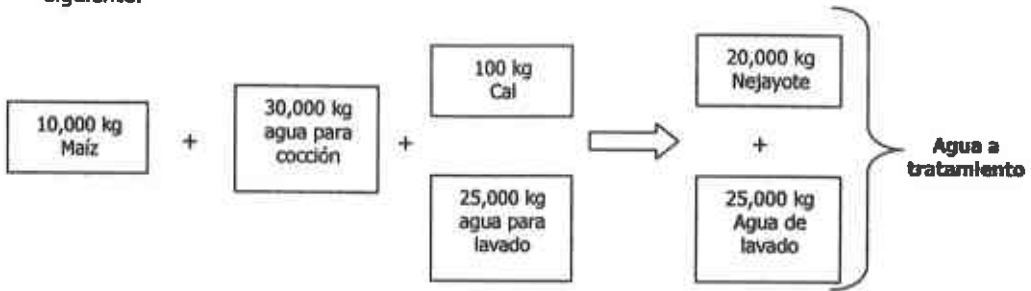


Figura 5-2. Diagrama de flujo de proceso de la nixtamalización



Para realizar el balance de materia, se considera que la adición de materias primas es la siguiente:



De acuerdo a la literatura (1-6), ésta es la proporción de materias primas empleadas en el proceso de la nixtamalización. Dichas cantidades pueden variar en función del tipo y cantidad de maíz a procesar y de la dureza del agua a emplear.

A continuación se presenta el balance de materia de dicho proceso. Las unidades son en todos los casos son kilogramos de materia.

Tabla 5-1. Balance de materia del proceso de nixtamalización.

	1	2	3	4	5	6	7
H ₂ O	30,000	----	---	10,000	25,000	10,000	10,000
Maíz	----	10,000	---	10,000	---	10,000	10,000
Nejayote	----	----	----	---	---	---	---
Cal	----	----	100	---	---	---	---

	8	9	10	11	12	13	14	15
H ₂ O	5,000	10,000	5,000	5,000	10,000	20,000	25,000	45,000
Maíz	10,000	---	---	---	---	---	---	---
Nejayote	---	----	---	---	---	----	----	---
Cal	----	---	---	---	---	----	----	---

En la Figura 5-3 se presenta el diagrama de bloques del proceso completo, tanto de producción de masa para tortillas como del reaprovechamiento de los residuos del proceso para la entrega del proyecto al usuario.

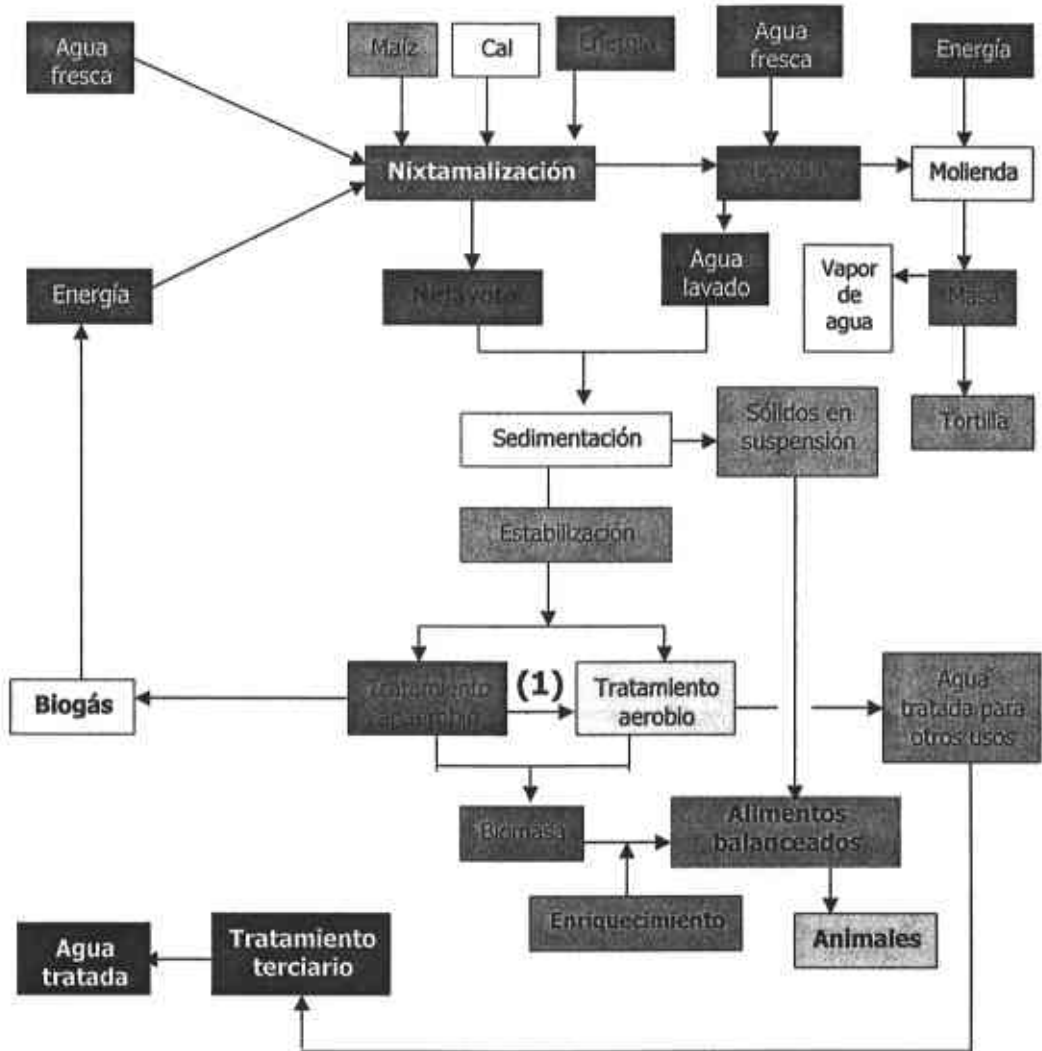


Figura 5-3. Proceso de nixtamalización del maíz y reaprovechamiento de sus subproductos. (En el punto (1) se "ligan" los sistemas anaerobio-aerobio)

Capítulo 6. Filosofía de operación y Diagrama de tubería e instrumentación preliminar

6.1 Filosofía de operación

Con ayuda del DTI, (Figura 6-1) a continuación se hará una descripción detallada del proceso, incluyendo la información de la instrumentación.

1. El agua de proceso es introducida al sistema, a través de una tubería de 6.35cm (2 ½"), en la cual se localizará un medidor de flujo (FT-01), regulando el abastecimiento al filtro de rejillas. El sistema cuenta con instrumento medidor de presión diferencial (DPIT-01). Además, cuenta con sistema de bifurcación ("bypass"), para realizar mantenimiento y no detener el proceso. Además, serán eliminados los residuos de manera manual cada cambio de turno y serán integrados a los lodos del Sedimentador primario (S-01).
2. El sistema continúa con un sistema de control de flujo (FV-02), proveniente del control de nivel (LT-03) instalado en el tanque de sedimentación para evitar derrames. El flujo es controlado por una válvula de compuerta. El fluido es alimentado a un bomba centrífuga (B-01). A la salida hay una válvula "check" y una de compuerta, seguidas de equipos de medición de temperatura (AT-03 y PI-03). A la salida de la bomba, la tubería se vuelve de 5.08cm (2").
3. Se ingresa al tanque de sedimentación primaria (S-01), el cual cuenta con sistema de medición de nivel (LT-03). El agua será alimentada a una bomba centrífuga (B-02), controlada por la válvula "check" y una de compuerta, seguido de un manómetro (PI-04) y un potenciómetro (PH-04). La tubería en esta sección es de 6.35cm (2 ½"). La salida del lodo del sedimentador primario (S-01) se efectúa por el fondo de éste y es regulada por la válvula de compuerta de 1.905cm (¾").
4. El agua a tratar ingresa al biofiltro (R-01), el cual cuenta con un sistema de seguimiento monitorio de nivel de líquido (LG-04), (LAH-04, LAL-04) y un actuador (LI-04) que son los encargados de controlar el abastecimiento de la bomba centrífuga (B-02). Por la parte superior cuenta con un medidor de temperatura y presión (PIT-04) encargado de mandar señal al sistema de desfogue de metano

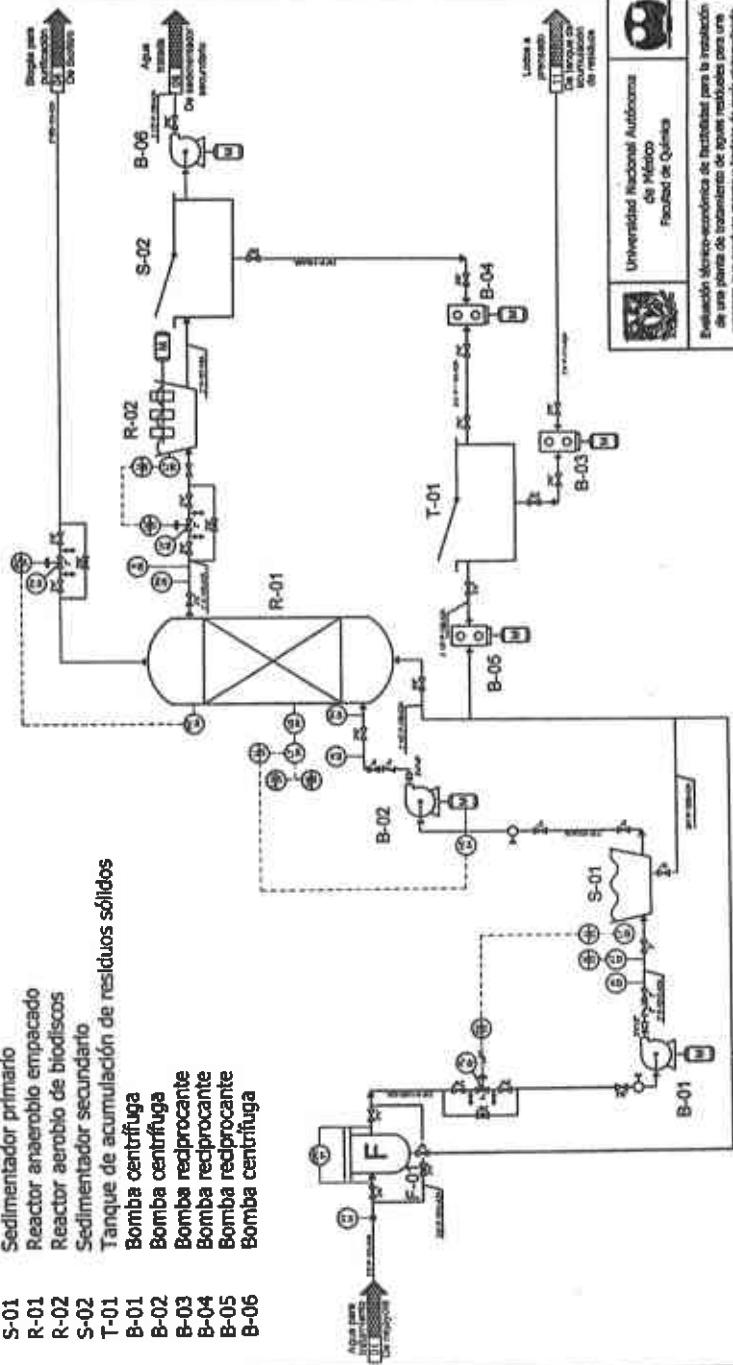


- (PV-04) y (PIC-04) en el biofiltro, a través de una tubería de 6.35cm (2 ½") a la salida de biogás (04).
5. La salida del agua tratada estará controlada por una válvula de compuerta y será analizada por un potenciómetro (PH-05) y un termómetro (TI-05). De inmediato se encuentra un sistema controlador de flujo (LIC-05), proveniente del reactor aerobio de biodiscos (R-02), que tiene un medidor de nivel (LT-05) y está acondicionado con un motor reductor para hacer girar los discos. La parte posterior del reactor de biodiscos está acondicionada con un tanque sedimentador secundario (S-02), donde se concluye el tratamiento secundario del agua (09) bombeando ésta con una bomba centrífuga (B-06) a la salida en el límite de batería y es controlada por una válvula de compuerta de 6.35cm (2 ½") llegando al límite de batería.
 6. La purga de lodos proveniente del sedimentador secundario (S-02) es extraída por una válvula de compuerta y es conducida hasta la bomba recíproca (B-04), pues son lodos, y el flujo es controlado por válvulas de compuerta hasta su ingreso al tanque de acumulación de residuos sólidos (T-01), al cual también llegan los lodos provenientes de las rejillas de cribado (F), el sedimentador primario (S-01) y de la purga del biofiltro (R-01). La purga de este tanque se realiza con ayuda de válvulas de compuerta que se hará cada día y se alimentará a través de una bomba recíproca (B-03), para ser enviados al límite de batería para su tratamiento.



Lista de equipo:

- F-01 Filtro de cribado
- S-01 Sedimentador primario
- R-01 Reactor anaerobio empacado
- R-02 Reactor aerobio de biodiscos
- S-02 Sedimentador secundario
- T-01 Tanque de acumulación de residuos sólidos
- B-01 Bomba centrífuga
- B-02 Bomba centrífuga
- B-03 Bomba recíprocante
- B-04 Bomba recíprocante
- B-05 Bomba recíprocante
- B-06 Bomba centrífuga



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química

Evaluación Micro-económica de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa que produce masas y harina de maíz elaborando

Diagrama de Tuberías e Instrumentación
Figura 6-1

Mauricio Roberto Hernández Morales

Diseño: M.A.H.M	Revisó: J.A.O.R.	Aprobó: M.C.D.D.
Fecha: 10/10/05	Fecha: 13/10/05	Fecha: 15/10/05
Estado: SIN	Clase: D.T.I.-1	Revisión: B
Asociación: m.		

SIMBOLOGIA EQUIPO



FILTRO DE CRIBADO



SEDIMENTADOR PRIMARIO



MOTOR



BOMBA



REACTOR BIOLÓGICO ESPERMEADO (BIOFILTRO)



REACTOR AEROBIO DE BIODISCOS



TANQUE DE ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS



BOMBA REFRIGERANTE



REJILLA DE FILTRADO

VÁLVULAS

PAZ
DAM

VALVULA DE CIERRE

DAZ
DAM

VALVULA DE GLOBO

DAZ
DAM

VALVULA DE GLOBO

PAZ
DAM

VALVULA DE AGUJA

PAZ
DAM

VALVULA CHECK

PAZ
DAM

VALVULA DE MARIPOSA

PAZ
DAM

VALVULA DE PUNSA O VENTIL

LÍNEAS

SERVICIO



LÍNEA DE ENTRADA O SALIDA AL LIMITE DE BATERIA

T-A-12-12-A

ESPECIFICACIÓN DE LÍNEA

INSTRUMENTACIÓN

SÍMBOLOS GENERALES



INSTRUMENTO O INDICADOR EN CAMPO



INSTRUMENTO O INDICADOR EN CAMPO



INSTRUMENTO O INDICADOR EN TABLERO LOCAL



INSTRUMENTO INSTALADO EN CAMPO CON FUNCIÓN DUAL



INSTRUMENTO INSTALADO EN TABLERO PRINCIPAL CON FUNCIÓN DUAL



ELEMENTO DE FLUJO, TEMPERATURA, PRESIÓN...



VALVULA DE ALARME, RELAY, SEGURIDAD DE DOS VÍAS



EMERGENCIA



BANDA DE CRISTALO

	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química	
Evaluación técnico-económica de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa que produce masas y fibras de mármol reciclado.		
Simbología de Diagramas Figura 6-13		
Humberto Roberto Hernández Morales		
División: M.R.H.M.	Nombre: J.A.O.R.	Aprobó: H.C.D.D.
Fecha: 10/10/05	Fecha: 13/10/05	Fecha: 15/10/05
Escala: SIN	Colección: S.E.P.-01	Hoja: B
Actualización en: m		

Capítulo 7. Especificación y arreglo preliminar de equipos

7.1 Especificación de equipos

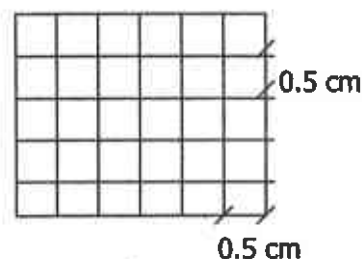
7.1.1. Rejillas de cribado

Este dispositivo deberá tener las siguientes características:

Estará dividida en 2 mallas, ambas de 0.5 cm de orificio, las cuales, estarán colocadas a la salida del efluente del nejayote y tendrán 0.5m de separación entre ellas.

Estos dispositivos se recomiendan de acero inoxidable para mantener su durabilidad ya que el pH del agua a tratar es de 12 unidades. Los residuos colectados se enviarán al tanque alimentador del filtro prensa para su reutilización en los alimentos balanceados. Dichos residuos se recomienda que sean removidos cada 8 h, o antes si es necesario. El mantenimiento no interrumpirá al proceso, pues mientras se retira una rejilla, la otra sigue en operación.

Rejillas



7.1.2. Sedimentador primario (Figura 7-1)

Este equipo será de las siguientes dimensiones: 3.4m de diámetro y 5.0m de altura con fondo de "cono cuadrangular". Es deseable que sea de acero inoxidable para garantizar su durabilidad ya que si es de acero al carbón deberá estar recubierto con "primer" y 2 capas de pintura acrílica convencional para evitar el desgaste lo que implica que deberá dársele mantenimiento periódico y eventualmente, cambiarse. En Alemania hay equipo inoxidable que tiene mas de 100 años en operación sin problemas de mantenimiento ni



los costos asociados. Estará acondicionado, además, con una salida de purga de lodos en el fondo del equipo, los cuales se recomiendan remover cada 24h, para evitar acumulaciones innecesarias. Dicha purga estará ubicada a 0.1m de altura del fondo del tanque con una válvula para drenar los residuos. El tiempo máximo de residencia en este equipo será de 24 horas.

7.1.3. Reactor biológico empacado (Biofiltro anaerobio) (Figura 7-2)

Este equipo, es de especial cuidado, pues se debe mantener el flujo constante, debido a que los microorganismos contenidos en la película biológica del biofiltro, deben tener siempre alimento y evitar que las variaciones de pH sean hacia el lado ácido, por tiempo prolongado de almacenamiento, pues podría interactuar con su metabolismo y causarles la muerte. Se recomienda $\text{pH} > 7$. Lo más usual es 10-14, que es como sale del proceso de nixtamalización.

En este equipo están contenidos como empaque anillos Pall de 3.8 cm de diámetro nominal y deberán estar distribuidos aleatoriamente.

La entrada del influente está calculada para que el reactor opere como flujo ascendente, por lo que se hará por la parte inferior de la columna.

Se recuperará el agua tratada por la parte superior de la cama de anillos empleados, a 2.44m de altura, con respecto a la horizontal del tanque y se acondicionará una sección para obtener el biogás paralelamente por encima de dicha cama del empaque, que tenga 30% del volumen total y en la parte superior, se colocará una campana extractora por donde el biogás será drenado del equipo. Dentro de dicha campana se colocarán mamparas para separar y descargar el biogás del reactor, cuyo ángulo será de 45° con respecto a la horizontal, separados al menos por 20 cm(30).

Se instalarán puntos de muestreo en la columna para su posterior análisis y seguimiento de la operación.

El tiempo de residencia hidráulica en este equipo es 24h.

El material de este equipo preferentemente será acero inoxidable.



7.1.4. Reactor biológico de biodiscos (Figura 7-3)

Este equipo consta de 4 reactores, los cuales están compuestos de 25 discos cada uno. Los reactores están acomodados uno tras otro, con el fin de solo emplear un solo motoreductor, que haga girar a todos los discos del sistema. Dicho motorreductor, estará colocado al frente del sistema en un soporte elevado.

Las paredes que delimitan cada reactor contienen una compuerta para controlar el paso del agua a tratar, dichas compuertas estarán colocadas diametralmente opuestas, con el fin de que el agua tenga un mejor tratamiento y se controle así el abastecimiento a cada reactor y se evite que al agua "salte" un reactor sin ser tratada por este.

En este equipo el tiempo de retención será de 2h.

7.1.5. Sedimentador secundario (Clarificador) (Figura 7-3)

Este equipo permite sedimentar los residuos sólidos(biomasa) del tratamiento aerobio, debido a que la velocidad ascensional calculada es pequeña ($1.807\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$), se colocará en la parte anterior del reactor de biodiscos. El tiempo de retención es 0.79h

7.1.6. Tanque de acumulación de residuos sólidos

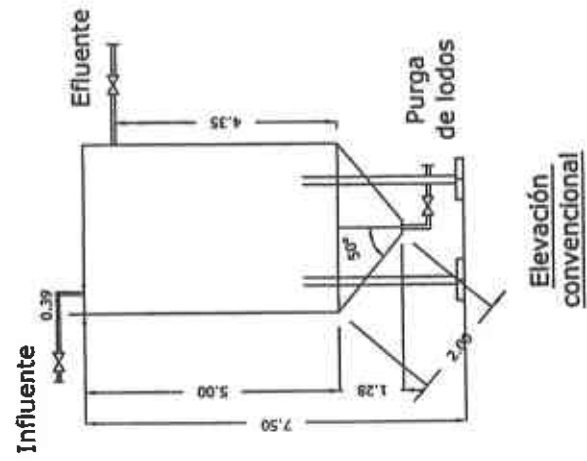
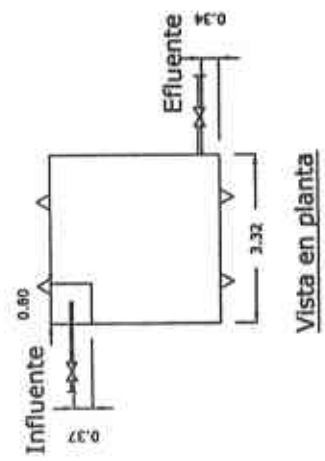
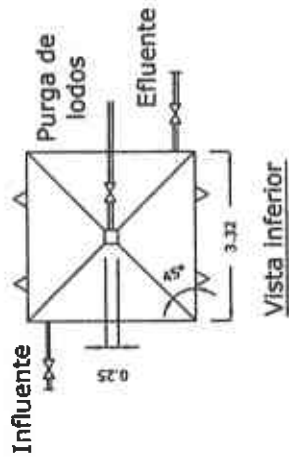
En este equipo se confinará toda la materia sólida recuperada del sedimentador primario, del biofiltro y del sedimentador secundario. La carga esperada de acuerdo al balance de materia es de 53kg de lodo húmedo y se considerará para su diseño una extensión del 20% en el volumen por posibles variaciones en la producción.

7.2 Arreglo de equipos

En la Figura 7-4 se presenta el arreglo de equipo preliminar de los equipos mas importantes para la depuración de las aguas residuales de la empresa en estudio.

Se propone un arreglo capaz de emplear la cantidad mínima de energía, así como el menor espacio posible.



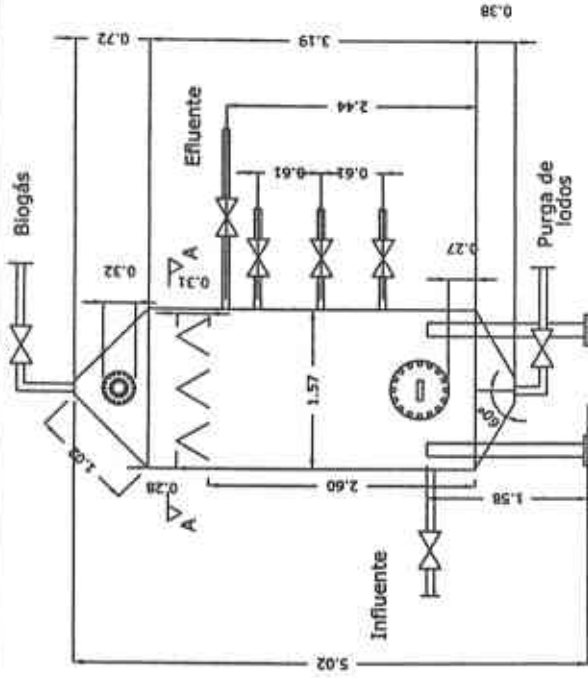


Especificaciones:
 Carga hidráulica: $4.98 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dih}$
 Tiempo de residencia hidráulica: 24h

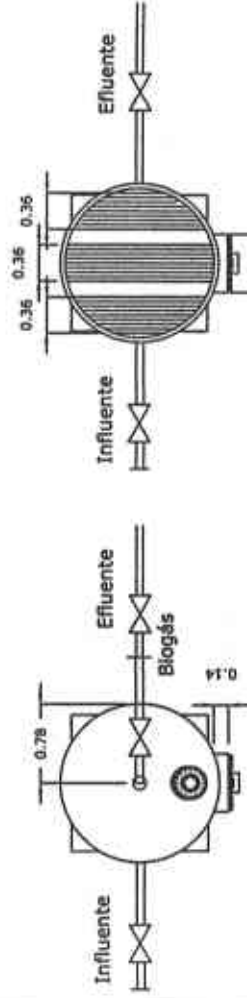
Rendimientos (remoción):
 SST: 30%
 DBO5: 30%

Materiales propuestos:
 Cuero e interiores: Acero inoxidable 304
 Soportes: Acero al carbón

	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química	
Evaluación técnica-económica de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa que produce masas y hebras de nailon rearmado.		
Sedimentador primario (S-01)		
Figura 7-1		
Riesmido Roberto Hernández Morales		
Diseño: M.R.H.M.	Revisó: J.A.O.R.	Aprobó: M.C.D.O.
Fecha: 09/10/05	Fecha: 13/10/05	Fecha: 15/10/05
Escala: SIN	Clase: E.E.-01	Revisión: B
Acotación en: m		



Elevación convencional



Vista en planta

Vista en corte A-A

Especificaciones:

Carga hidráulica: $1.1866 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dh}$

Área de flujo: 1.913 m^2

Tiempo de residencia hidráulica: 24h

Empaque:

Anillo Pall

Diámetro: 38mm

Elementos en m^3 : 13,600

% espacios vacíos: 91

Rendimientos (remoción):

DOO: 80%

DBO5: 80%

COT: 80%

SST: 30%

Requerimientos:

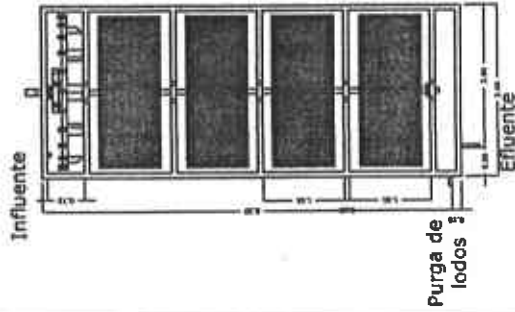
pH > 10

Materiales propuestos:

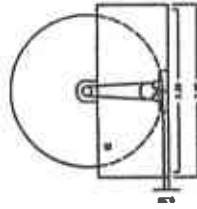
Cuerpo e internos: Acero inoxidable 304

Soportes: Acero al carbón

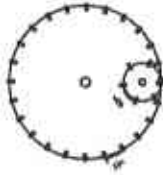
	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química	
Estación docente-estudiantes de Ingeniería para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa que produce masas y harinas de maíz instantaneado		
Reactor anaerobio biofiltro (R-01)		
Figura 7-2		
Maestría Roberto Hernández Morales		
Docente: M.B.H.M	Asesor: J.A.O.R.	Aprobó: M.C.D.D.
Fecha: 09/03/05	Fecha: 12/03/05	Fecha: 15/09/05
Escala: 1:50	Charge: E.E.-03	Revisión:
Aprobación en: m		A



Vista en planta



Elevación convencional



Especificación de sistema de rotación

Especificaciones:
 Carga hidráulica: $1.1866\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$
 Área de contacto: 1353.85m^2
 Tiempo de residencia hidráulica: 2h

Requerimientos:
 Velocidad rotacional: 2 RPM
 Potencia: 2 a 4kW

Materiales propuestos:
 Cuerpo e Internos: Acero inoxidable 304
 Soportes: Acero al carbón
 Discos: Polietileno

Rendimientos (remoción):
 DQO: 75%
 DBO5: 75%
 COT: 75%
 SST: 90%



Universidad Nacional Autónoma
 de México
 Facultad de Química

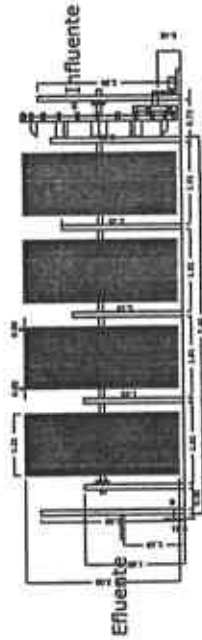


Evaluación técnico-económica de factibilidad para la instalación
 de una planta de tratamiento de aguas residuales para una
 empresa que produce masas y harinas de maíz refinadas:

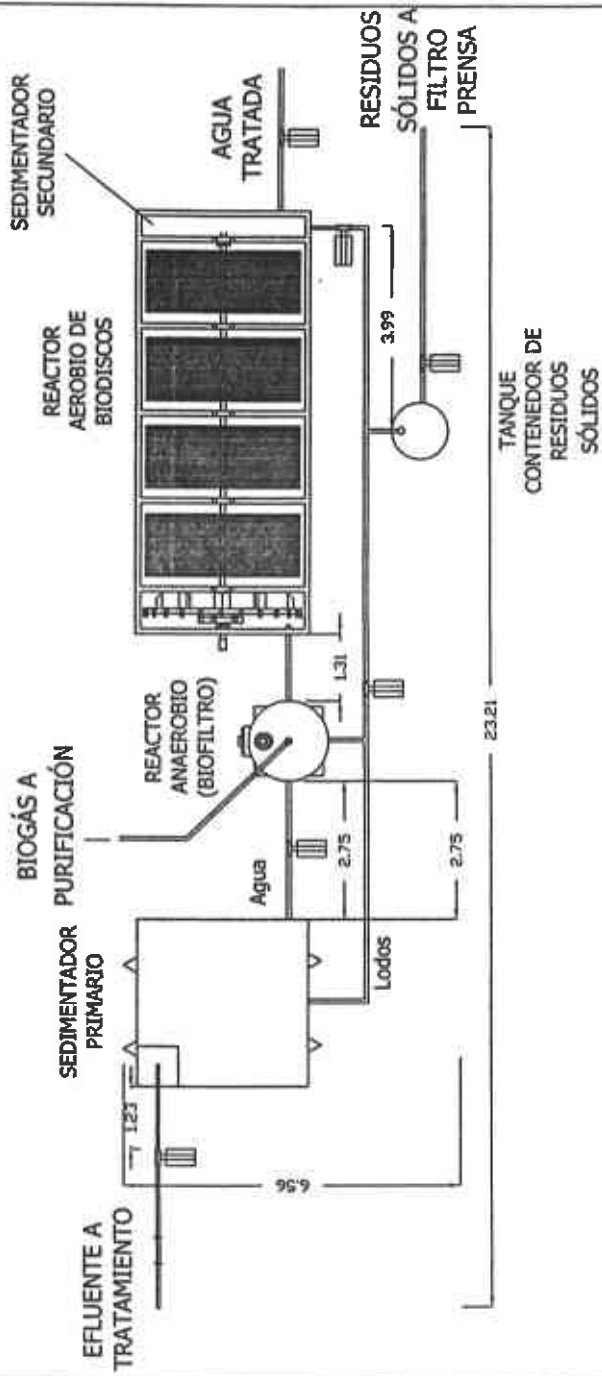
Reactor de Rotadores (R-02)
 Figura 7-3

Maestría Roberto Hernández Morales

Dirige: M.J.H.M	Revisó: J.A.O.R.	Aprobó: M.C.D.D.
Fecha: 09/09/05	Fecha: 12/09/05	Fecha: 12/09/05
Escala: 1:100	Carga: E.E.-02	Revisión: A
Aprobación en: m		



Vista lateral



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química



Estación México: estación de tratamiento para la recolección de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa que produce resaca y herbage de maíz elaborados.

Diagrama de Arreglo de Equipo
Figura 7-4

Mauricio Roberto Hernández Morales

Dirigido: M.R.H.M.	Revisado: J.A.O.R.	Aprobado: M.C.D.D.
Fecha: 09/09/05	Fecha: 12/09/05	Fecha: 19/09/05
Escala: 1:100	Cuadro: P.A.E.-1	Revisión: A
Asociación en: m		

Capítulo 8. Evaluación económica preliminar del proyecto

Se efectuará una evaluación preliminar para determinar si el proyecto es atractivo desde el punto de vista económico, integrando, por una parte, la aportación de las hojuelas proteínicas generadas, las cuales, como se ha mencionado antes, pueden ser empleadas como complemento alimenticio para animales, y por otro lado la aportación del biogás producido en el biofiltro, el cual puede ser confinado y empleado en otro proceso. Se presenta además, un análisis de inversión inicial, así como un estado financiero anualizado preliminar y los resultados de la evaluación del proyecto a través de indicadores como la tasa interna de rendimiento y el valor presente neto de la inversión.

8.1 Producción de hojuelas proteínicas

La cantidad de biomasa en base seca por cantidad de carbono orgánico disuelto(Y):

$$Y := \frac{0.5 \text{ mgBiomasa(bs)}}{\text{mgCOD}}$$

El contenido de proteína en la biomasa es (Pb):

$$Pb := \frac{0.4 \text{ mgProteína}}{\text{mgBiomasa(bs)}}$$

El precio de la proteína (Pp):

$$Pp := \frac{6.46 \text{ USD}}{1 \text{ bushelSoya}} \cdot \frac{1 \text{ bushelSoya}}{3.47 \text{ kgSoya}} \cdot \frac{1 \text{ kgSoya}}{\text{kgProteína}} \cdot \frac{10.7 \text{ pesos}}{1 \text{ USD}} \quad Pp := 19.92 \frac{\text{pesos}}{\text{kgProteína}}$$

Este precio de la proteína (Pp), servirá como base para el cálculo económico, ya que la soya tiene una composición proteínica equivalente a la del residuo proteínico del proceso.

Producción de hojuelas proteínicas (Php):

$$Php := 45 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \cdot 0.005 \frac{\text{kgCOD}}{\text{L}} \cdot 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \cdot \frac{0.5 \text{ kgBiomasa(bs)}}{\text{kgCOD}} \cdot \frac{0.4 \text{ kgProteína}}{\text{kgBiomasa(bs)}} \cdot 300 \frac{\text{day}}{\text{yr}}$$

$$Php := 13500 \frac{\text{kgProteína}}{\text{yr}}$$

Se considera que la proteína tiene 10% de humedad, en su forma comercial, por lo que su aportación al proyecto de manera anual (Gp) es:

$$Gp := 13500 \frac{\text{kgProteína}}{\text{yr}} \cdot 1.10 \cdot 19.92 \frac{\text{pesos}}{\text{kgProteína}} \quad Gp := 295812 \frac{\text{pesos}}{\text{yr}}$$



La aportación económica por parte de la producción de hojuelas proteínicas con 10% de humedad es \$295,812 por año.

Cabe señalar que para el molino de nixtamal que procesa 10 toneladas de maíz por día y genera 45m³ /día de nejayote, con una carga orgánica, medida como carbono orgánico disuelto de 5000 mg COD/L se tendrían, considerando los valores de Agosto de 2005, así como la consideración de un año de trabajo de 300 días.

Nota: Para este estudio, no se consideran los gastos de operación para la preparación de estas hojuelas, solo se proporciona la ganancia equivalente al vender esa cantidad de hojuelas (14,850kg/año).

8.2 Producción de biogás

$$Q_{\text{met}} := 85.54 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$$

Considerando el precio actual del metano (Pmet), como el de la mitad del precio del gas natural, se tiene que la aportación económica del metano al proceso (Gm) es:

$$P_{\text{met}} := 2400 \frac{\text{pesos}}{\text{m}^3}$$

$$G_m := 85.54 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \cdot 2400 \frac{\text{pesos}}{\text{m}^3} \cdot 300 \frac{\text{day}}{\text{yr}} \qquad G_m := 61588800 \frac{\text{pesos}}{\text{yr}}$$

El metano por sí mismo aporta \$61,588,800/año, cantidad satisfactoria siempre y cuando la confinación, purificación y uso sean los adecuados.

Nota: En este estudio, no se consideran los gastos, para el acondicionamiento del proceso de purificación, confinación y mantenimiento de la corriente de metano obtenida e el biofiltro.

La aportación por los residuos secundarios del proceso (Gt) es la suma de estos.

$$G_t := 295812 \frac{\text{pesos}}{\text{yr}} + 61588800 \frac{\text{pesos}}{\text{yr}} \qquad G_t := 61884612 \frac{\text{pesos}}{\text{yr}}$$

La generación de estos residuos puede generar hasta \$61,884,612/año.



8.3 Evaluación de inversión inicial preliminar

Al no contar en este estudio con el desarrollo de la Ingeniería del detalle, es difícil de evaluar el precio final de la planta de tratamiento de aguas residuales ya que no se conoce con precisión el valor comercial de los equipos, por lo tanto, la alternativa sugerida para conocer estos valores se realizará con la ayuda de una cotización real de otra planta de tratamiento de aguas residuales cuyo proceso es parecido al desarrollado en este estudio y se aplicará la "Ley de los 6 décimos" aprendida en el curso de Ingeniería de proyectos (10).

Las información de la cotización auxiliar empleada es la siguiente:

Fecha de emisión: 10 de mayo de 1999.

Empresa encargada: LAWSCO S.A. de C.V.

Referencia: LAM 990147, proyecto 300.

Capacidad del sistema: 378m³/día

Precio: \$ 449,937 USD

La ley de los 6 décimos tiene la expresión siguiente:

$$\text{Precio}_2 := \text{Precio}_1 \left(\frac{\text{Capacidad}_1}{\text{Capacidad}_2} \right)^{0.6} \quad \text{Precio}_2 := 449937 \text{ USD} \left(\frac{55 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}}{378 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}} \right)^{0.6}$$

$$\text{Precio}_2 := 141538 \text{ USD}$$

Para complementar el cálculo, hay que convertir este precio en actual, para ello, se recurre a los índices económicos contenidos en la revista Chemical Engineering (32) y se realiza el ajuste de la siguiente manera:

$$\text{Precio}_{\text{actual}} := \text{Precio}_2 \cdot \frac{\text{Índice}_{2004}}{\text{Índice}_{1999}} \quad \text{Precio}_{\text{actual}} := 141538 \text{ USD} \cdot \left(\frac{459.7}{389.9} \right)$$

$$\text{Precio}_{\text{actual}} := 166876 \text{ USD}$$

NOTA: Se emplea el índice económico de Septiembre de 2004, pues es el último reportado en el acervo hemerográfico consultado de la revista Chemical Engineering y el de 1999 se conoce el de mayo de ese año, tiempo de emisión de la cotización auxiliar.



Es necesario conocer el valor en moneda nacional, para ello se empleará un tipo de cambio promedio de 10.5\$/USD.

Precio actual M.N.= \$1,752,198

Efectuando el estudio económico a partir del modelo propuesto en la bibliografía (28), el procedimiento es el siguiente:

Para evaluar el capital total invertido (T) se toman el capital de trabajo (CT) y los costos fijos (CF);

$$T=CT+CF$$

Los costos fijos son la suma de los costos directos(CD), indirectos(CI), de planeación e ingeniería (CP) y los de contingencias (C):

$$CF=CD+CI+CP+C$$

Para el cálculo de los costos directos e indirectos, cuando no se tienen datos reales se toman porcentajes de acuerdo al tipo de equipo y materiales empleados, se recurrió a la metodología propuesta en la bibliografía (28), en función del costo total del equipo.

	% Costo total del equipo	Aportación \$
Costos directos (CD):		
Planta costos de envío y montaje(a)	100	1,752,198
Instrumentación y control instalados(b)	39	683,357
Tubería y accesorios, instalados(c)	13	227,786
Instalaciones eléctricas(d)	10	175,220
Edificios*(e)	29	0
Terrenos y otros servicios*(f)	16	0
Sistemas de mantenimiento**(g)	40-55	52,566
Costos directos	a+b+c+d+e+f+g	2,891,127
Costos indirectos (CI)		



Supervisión(h)	32	560,703
Construcción(i)	34	595,747
Costos indirectos	h+i	1,156,451
Ingeniería (CP)	(15% de CD y CI)	607,137
Contingencias (C)	(10% de CD y CI)	404,758
Costos fijos (CF)	CD+CI+CP+C	5,059,472
Capital de trabajo (CT)	(15% de T)	892,848
Capital total invertido (T)	CF+CT	5,952,320

Los elementos que tienen asteriscos(*) son considerados como no aplicables a este proyecto, pues se considera que son elementos ya existentes en la planta. En el caso de dos asteriscos(**) el valor empleado no será de 40% pues se considera muy elevado, para una planta que será instalado como nueva, se considerará de 5%.

NOTA: Para conocer el comportamiento del proyecto a través del tiempo, es necesario conocer los costos fijos por cada año, en este sentido, se hará una estimación preeliminar, porque cabe señalar que para el alcance de este proyecto, solo se llega hasta el desarrollo de ingeniería básica y conceptual, sin profundizar en la ingeniería del detalle, la cual es la que pondrá valores concretos al estudio económico, pero puede hacerse una estimación cercana.

8.4 Estado financiero anualizado

Aspectos considerados en la operación de la planta:

- La planta operará 300 días al año, en el cual se requiere del apoyo de 3 obreros, encargados de la operación de la planta, mantenimiento, limpieza, etc.
- Se requieren los servicios de un ingeniero químico para supervisar la operación de la planta; un químico, para toma de muestras de agua y pruebas de laboratorio,



así como un equipo sencillo de muestreo; material de papelería general; un equipo de cómputo.

- El energético empleado es la electricidad para el sistema de bombeo de agua y lodos. Se considerará que el suministro de agua no tiene costo, pues provendrá de la planta de proceso de nixtamalización.
- La depreciación será considerada como de 10% anual, por un total de 10 años de vida útil, aunque si los equipos de esta planta se construyen en acero inoxidable, la durabilidad será de 50 años.
- Se considera una tasa de interés de 12% anual por concepto de préstamo para adquisición de planta.

Costos fijos:

Obreros

$$3 \text{ obreros } 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 2200 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{■ } 79200 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Ingeniero

$$1 \text{ ingeniero } 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 10000 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{■ } 120000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Químico

$$1 \text{ químico } 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 9000 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{■ } 108000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Contratamientos y mantenimiento

Se considera 3% de la inversión inicial (10)

$$5952320 \cdot 0.03 = \text{■ } 178570 \text{ pesos}$$

Depreciación

Se considera 10% del valor de la planta.

$$1752198 \text{ pesos} \cdot 0.10 = \text{■ } 175219 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Energía eléctrica

$$12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 10000 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{■ } 80000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$



Otros gastos

Fletes de materia a venta

$$1 \frac{\text{flete}}{\text{mes}} \cdot 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 2500 \frac{\text{pesos}}{\text{flete}} = \text{\$} 30000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Material de toma de muestras

$$12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 5000 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{\$} 60000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Material de oficina

$$12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 1500 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{\$} 18000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Equipo de computo e internet

$$30000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Telefono

$$12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \cdot 1500 \frac{\text{pesos}}{\text{mes}} = \text{\$} 18000 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Estado financiero al año 2, como ejemplo.

Concepto	Año 2
Ventas	\$61,884,612.00
Costo de lo vendido	\$427,770.00
Utilidad bruta	\$61,456,842.00

Gastos de ventas	\$66,000.00
Gastos administrativos generales	\$228,000.00
Gastos de depreciación	\$175,219.00
Gastos de operación total	\$469,219.00

Utilidades de operación	\$60,987,623.00
--------------------------------	------------------------

ISR	\$18,296,286.90
PTU	\$6,098,762.30
Utilidades netas después de impuestos	
Flujo de efectivo anual neto	\$36,592,573.80



8.5 Alternativas de evaluación económica de proyectos

Para la prueba de factibilidad del proyecto, existen diversas alternativas para evaluar los proyectos de inversión, para este estudio, se tomarán los métodos de tasa interna de rendimiento y valor presente neto.

8.5.1 Tasa Interna de rendimiento (TIR)

La tasa de retorno sobre inversión es el método más celebrado para comparar alternativas de inversión. Bajo cualquier denominación, este concepto proporciona una cifra de porcentaje que indica la ganancia relativa lograda con diferentes empleos del capital, o bien la tasa de interés con la cual el valor presente de los flujos de efectivo en un proyecto es igual a cero (29).

Se puede decir que cada vez que el valor de rescate sea igual a la inversión y los flujos de efectivo netos de cada período sean constantes, la tasa interna de retorno (TIR) no depende de la vida de la propuesta y se obtiene por medio de la siguiente ecuación(31):

$$TIR := \frac{\text{Flujo de efectivo anual neto}}{\text{Inversión inicial}} \quad TIR := \frac{36592573.8 \text{ pesos}}{5952320 \text{ pesos}} \cdot 100 \quad TIR := 614.7\%$$

Este valor indica rentabilidad. La tasa real porcentual es de 614.7%. Es importante destacar que la aportación de los productos secundarios (metano y hojuelas proteínicas) son por mucho, una alternativa factible que le dan al proceso un valor agregado importante.

8.5.2 Valor presente neto (VPN)

Otro aspecto económico importante es el valor presente neto (VPN), pues los proyectos públicos de gran escala, se evalúan por el método del valor presente, o por una de sus variantes llamadas análisis beneficio-costos, en el cual el valor presente de los beneficios se divide entre el valor presente de los costos, para obtener una medida de aceptabilidad. El cálculo otorga una *valuación* sobre los ingresos netos que se esperan. Los estudios de valuación revelan típicamente la cantidad que podría pagarse hoy para recibir una tasa de retorno determinada por los ingresos futuros que se esperan como



consecuencia de la propiedad de bienes (29), dicho de otra manera también consiste en determinar la equivalencia en el tiempo con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado (31).

A continuación se presenta una evaluación comparativa con un costo de oportunidad, o tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA) (i) de 20% y un plazo de N=5 años, el cálculo es el siguiente:

$$VPN := \sum_1 \frac{\text{Flujo neto de efectivo en el período } \cdot t}{(1 + i)^N} + \text{Inversión inicial}$$

$$VPN := \sum_1 \frac{36592573.8 \text{ pesos}}{(1 + 0.2)^5} - 5952320 \text{ pesos} \quad VPN := 85834993 \text{ pesos}$$

Los ingresos netos esperados con este proyecto, a reserva de un cambio súbito de la tasa de Interés, sin olvidar que los costos de operación pueden variar, ya que el mantenimiento de la planta puede aumentar sustancialmente con el paso del tiempo, el **valor presente neto de esta Inversión es de \$85,834,993 en un plazo de 5 años. Con lo cual se concluye que el proyecto es factible de realizar.**

Nota: Algunos autores utilizan como valor de i el costo de capital (ponderado a las diferentes fuentes de financiamiento que utilice la empresa), en lugar de TREMA, pero existen algunas desventajas, como la dificultad de evaluarla y actualizarla y puede conducir a tomar malas decisiones puesto que al utilizar el costo de capital, proyectos con valores positivos, cercanos a cero serían aceptados. Las ventajas de emplear la TREMA son que es muy fácil su establecimiento, en ella pueden considerarse factores como el riesgo de inversión, la disponibilidad de dinero en la empresa y la tasa de inflación prevaleciente en la economía nacional (31).



Capítulo 9. Seguridad en la planta

La seguridad debe tener una alta consideración en el diseño de plantas. La poca atención al aspecto de la seguridad puede ser la causante de inmensas pérdidas tanto humanas como materiales, en algunos casos, en proporciones incalculables. Por consiguiente se debe tener en mente el aspecto de la seguridad y diseñar todas las instalaciones con base en los principios que permitan una alta confiabilidad en la operación de todos los equipos (22).

Riesgos en plantas de proceso

Una evaluación de riesgo para una planta de proceso ocasionado por fuego, explosión y otros peligros requiere un estudio detenido de muchos factores; entre otros, el sitio, estructura, distribución de la planta, materiales, procesos, manejo de materiales, entrenamientos de operadores, equipos y programas de prevención. Es necesario obtener información sobre los aspectos de la operación de la planta que contribuyan a situaciones peligrosas con el fin de llevar una buena apreciación de los problemas involucrados y de los métodos confiables de operación.

Los peligros que deben considerarse en el diseño de cualquier planta de proceso son de tres tipos: inflamables y explosivos, higiénicos y mecánicos.

La mayor parte de las plantas de proceso son peligrosas ya que en su funcionamiento están presentes una serie de productos químicos los cuales en un porcentaje son inflamables y explosivos. En este caso se recomienda que la planta esté resguardada preferentemente de la radiación solar, pero no en un sitio completamente cerrado, pues hay producción de CH_4 , sustancia fácilmente flamable y explosiva, por lo que se aconseja tener suficiente ventilación, en el caso de tratarse de un espacio cerrado.

Un entrenamiento en toxicología industrial es recomendado para todo el personal, que tenga que ver con el manejo de los residuos sólidos de los tratamientos y el gas producido por estos, a fin de que se familiarice con los riesgos inherentes al proceso de la planta. Es importante que las instalaciones sanitarias se conecten en forma independiente y que sus efluentes se viertan a un sistema "ad-hoc" para evitar la proliferación de patógenos y su dispersión por la planta.



Un cuidadoso diseño, combinado con un sistema de prevención de accidentes puede producir excelentes resultados de seguridad. Las consideraciones de seguridad generalmente requeridas serán observadas en aspectos como tales como proceso, mecánica, instrumentación eléctrica, civil, tubería y calentamiento, ventilación y aire acondicionado.

Factores de peligro en la planta de proceso

Los principales factores de peligrosidad en las plantas de proceso pueden resumirse así:

1. Problemas de localización de la planta

Este hecho ocasiona, desde la exposición permanente a calamidades naturales tales como terremotos, tormentas, inundaciones, y hasta una pobre localización con respecto al apropiado suministro de agua y otros servicios. La planta deberá estar ubicada en un área suficientemente ventilada, con acceso fácil y seguro. Una localización deficiente de la planta también puede originar riesgos frente a peligros serios causados por plantas vecinas o por ubicación remota del sistema público de bomberos. Así mismo, es la causante de que exista un deficiente tráfico para equipos de emergencia y precarias facilidades para disposición de desperdicios.

Sitio de la planta

La evaluación del sitio de la planta es un factor de importancia para determinar peligros potenciales. Es conveniente pensar, al escoger dicho sitio, en las posibles expansiones que puedan presentarse en el futuro o en la factible construcción de otras plantas cercanas.

Si el sitio en mención ha sido escogido con base en el aspecto económico solamente, no será raro encontrar posteriormente peligros por una peligrosa topografía, un inadecuado drenaje y disposición de desperdicios, deficientes facilidades de transporte, clima insalubre y pobres protecciones contra incendio.

Topografía y clima

Se deben considerar la topografía y los fenómenos meteorológicos. Una planta de proceso o similar deberá estar situada en un nivel justo que elimine el riesgo de que fluidos inflamables fluyan hacia abajo y envuelvan otros equipos y edificaciones. Una zona con pequeña pendiente es apropiada para propósitos de drenajes y facilita la etapa



de construcción de la planta. Por otra parte, un sitio en forma de terrazas puede utilizarse para instalaciones de equipo buscado que los gases inflamables se alejen de las fuentes de ignición. Es conveniente que el patio de tanques no sea construido en áreas expuestas a frecuentes inundaciones.

Deben considerarse, así mismo, la dirección de los vientos dominantes para tratar de alejar los gases tóxicos e inflamables de las zonas en donde puedan ocasionar daños al personal o ser los responsables de la producción de fuego o explosiones.

Las características del suelo son otro punto que debe ser considerado. Terrenos que presenten altos asentamientos y altas vibraciones pueden ocasionar daños en los equipos y originar costosas reparaciones. Es aconsejable un sitio firme localizado por encima de la "tabla" de agua (nivel freático). Así mismo, en muchos casos se debe recurrir a la adecuación del área para colocar los equipos en una zona plana y mejorar las condiciones de los drenajes.

Las condiciones locales del clima en el sitio de la planta deben considerarse para determinar la factibilidad de que puedan realizarse determinados tipos de procesos, generalmente al aire libre. Es preciso analizar la temperatura, la precipitación pluvial, la humedad, la velocidad y dirección del viento, principalmente.

Es conveniente conocer si el sitio presenta posibilidades de inversiones térmicas, es decir, aquellos fenómenos en los que la atmósfera inferior permanece estancada y los humos y vapores tóxicos quedan estacionados sobre la superficie de la tierra, creando graves problemas de salubridad y de seguridad. Por lo general, sitios que presenten esta situación no deben aceptarse para la construcción de una planta de proceso.

Otros fenómenos naturales tales como temblores, terremotos o inundaciones pueden conducir al cambio del sitio para la construcción de una planta. La frecuencia de huracanes o vientos muy fuertes, ocasiona un diseño de las estructuras y de los equipos de acuerdo con la intensidad y velocidad de los vientos, teniendo en cuenta además, que las presiones de diseño se deben incrementar a medida que aumenta la altura de la estructura.

Este proyecto no contempla en su alcance la localización formal de los equipos. Para ello se tendrían que hacer estudios de mecánica de suelos, vientos dominantes y



gobernantes, los cuales no se contemplan en este estudio, pero que son indispensables para la construcción de la obra civil.

2. Inadecuada distribución de la planta y de espacios

Este punto hace relación, tanto al congestionamiento de áreas de proceso y almacenamiento, como a la falta de un aislamiento confiable en equipos y estructuras que faciliten la realización de operaciones peligrosas que puedan presentar riesgos.

Igualmente, la carencia de facilidades para la salida de emergencia de personal y un espacio insuficiente para mantenimiento o reejecución de operaciones críticas, han sido causantes de un alto número de accidentes y pérdidas humanas. En la misma forma, la presencia de fuentes de ignición demasiado cercanas a zonas de peligro o áreas críticas de la planta expuesta a peligros potenciales, son una de las consecuencias de la inadecuada distribución de la planta, lo cual ha ocasionado fatales resultados. Se recomienda evitar las igniciones, cercanas al biofiltro, pues en él se produce metano.

3. Estructura e instalaciones en desacuerdo con el uso requerido

Los aspectos que se tratan en este punto pueden producirse bien sea por un desvío de los requerimientos de los códigos y normas con relación a las edificaciones, a los equipos, a las facilidades eléctricas, a los drenajes, etc., o por carencia de soportes estructurales contra incendio en donde fuesen requeridos.

4. Inadecuada evaluación de materiales

Éste es un aspecto común que ha sido causa de desastres, ya que una insuficiente evaluación de las características de todos los materiales, especialmente en cuanto a su resistencia al fuego e influencia nociva contra la salud, puede producir incendios o envenenamiento del personal. Para los propósitos de este proyecto sólo se consideran equipos en acero inoxidable, los componentes del tratamiento no resultan de una exigencia de materiales más específicos, ya que el tratamiento es de agua residual altamente alcalina.

5. Fallas operacionales

Aunque en todos los proyectos debe contemplarse la elaboración de manuales de operación de la planta, no dejan de surgir inconvenientes por la falta de unas detalladas descripciones y de procedimiento para las operaciones de todas las secciones y unidades



de la misma, o por la carencia de una supervisión ágil y oportuna. No obstante el avance tecnológico que se ha presentado en los últimos años, siguen apareciendo Inconvenientes por la aplicación de métodos inapropiados para apagados normales, apagados de emergencia y puestas en marcha, lo mismo que por la ausencia de controles de emergencia. Adicionalmente, los peligros ocasionados por la pobre inspección o por la falta de repuestos continúan causando estragos. En el caso de este proyecto, no se puntualiza nada respecto a este punto.

6. Fallas de equipos

Las fallas de equipo representan el porcentaje más alto dentro de los factores de peligrosidad de una planta. Estos peligros pueden originarse en el diseño de los mismos equipos, en las fallas por corrosión, erosión o fatiga del material o por defectos marcados de fabricación. Igualmente, existe un alto número de circunstancias que pueden dar lugar a fallas en los equipos, entre las cuales destacan las siguientes:

- a) Controles defectuosos;
- b) Operaciones de proceso por encima de las limitaciones de diseño;
- c) Planeación deficiente sobre prevención de accidentes;
- d) Pobre programa de mantenimiento;
- e) Falla de instrumentación para el control de las fallas;
- f) Inadecuada revisión de los criterios de construcción y de las especificaciones de los materiales.

Se recomienda realizar una ingeniería de detalle minuciosa para el buen aprovechamiento del proceso elegido. Este proyecto no contempla este aspecto.

7. Temperatura

La temperatura es un factor de importancia para controlar en reacciones de proceso, en todo tipo de plantas industriales. Es regla general que un incremento en la temperatura ocasionará un aumento en la capacidad de la reacción. Algunos de los factores de peligrosidad, atribuibles directamente a una incontrolada temperatura, son:

1. Incremento en la presión.
2. Aumento en la capacidad de reacción.
3. Cambio en las condiciones de equilibrio.



4. Incremento en la tasa de corrosión.
5. Inestabilidad de productos.
6. Destrucción de productos.

8. Presión

La presión es también un elemento que requiere un importante análisis.

Algunos de los factores atribuibles a una sobrepresión son:

1. Posibles fallas en los equipos.
2. Incremento de la tasa de reacción.
3. Aumento de los problemas de corrosión.
4. Dificultad en mantener sellos en equipo a presión.
5. Incremento en la temperatura.

Para controlar lo expuesto deben suministrarse los suficientes y adecuados controles de presión en la planta y mantenerse en continuo control, con espesores suficientes y con sistemas de alivio incorporados que pueden absorber una sobrepresión en un momento dado. En este proyecto no se llegaron a dimensionar los equipos de acuerdo con los códigos de seguridad. Se deben realizar los cálculos de códigos como el ASME, ANSI y otros, en el ámbito de diseño de tanques a presión.

Cualquiera de los dos factores antes anotados puede causar grandes problemas. Por esta razón, el diseño de la planta debe contar con suficientes controles e instrumentación para asegurar un proceso dentro de determinados y apropiados límites.

Debe recordarse que el registro de seguridad de una planta depende de la distribución de sus diversas unidades y de la localización de los equipos dentro de ellas. Los principales requerimientos de la implantación de plantas de procesos, desde el punto de vista de seguridad, pueden ser los siguientes:

1. Los elementos independientes, incluyendo unidades de proceso y áreas de almacenamiento, deberán ser lo suficientemente espaciados, así que el fuego o una explosión en un elemento tenga un mínimo de efecto en las unidades vecinas.
2. Un sistema de bloque rectangular o en manzanas, como en las ciudades, es recomendado para plantas de proceso, así como el diseño de vías entre unidades de la



planta, tanques de almacenamiento y edificaciones. Es aconsejable evitar calles cerradas que impidan el acceso de cualquier parte de la planta por dos vías diferentes.

3. Es conveniente diseñar el sistema de agua para suministrar una adecuada protección contra el fuego en todas las zonas de la planta. En plantas pequeñas, un ramal grande cerrado de líneas de tubería, puede recorrer la totalidad de la planta con conexiones cruzadas que pasen por entre las unidades que deben ser protegidas. En plantas grandes el sistema de agua puede consistir en un cierto número de ramales, cada uno alrededor de un grupo de bloques o unidades, tantos como sea deseado. Los detalles de tubería, suministro de agua, bombas, tanques, válvulas, hidrantes y equipo auxiliar deberán seguir estándares aceptables de ingeniería.

4. Los elementos críticos e importantes de la planta, es decir, las unidades de proceso, las plantas de potencia o cuartos de control, pueden diseñarse con el máximo de protección a través de una especial localización con espacio extra y una construcción resistente a la explosión o con adecuadas barricadas.

5. Los servicios tales como vapor, gas, electricidad y agua, deberán protegerse debidamente para que puedan ser siempre utilizados aún en casos de emergencia.



Capítulo 10. Conclusiones

La preocupación por el cuidado en el medio ambiente es una tarea conjunta, no solo de las instituciones gubernamentales, ni de los profesionistas exclusivamente; la protección del ecosistema es una actividad complementaria dentro de la formación de cada individuo y es obligación de todos preservarlo, mostramos interesados en la mejora de éste y contribuir en la medida de lo posible a evitar su deterioro.

Este proyecto tiene particularmente dos características especiales, una de ellas, es que la aplicación de la ingeniería propuesta, permitirá una descarga del efluente con calidad suficiente para no ser agresiva con el ambiente y así evitar las costosas multas que esto generaría y por otro lado, el tren de tratamiento propuesto tiene la ventaja práctica de generar residuos que pueden ser utilizables desde el punto de vista ingenieril y que aportarán un atractivo valor agregado al proceso.

Las aguas residuales de la industria que procesa maíz pueden ser tratadas de manera exitosa usando sistemas biológicos, tanto aerobios como anaerobios pues son estos los sistemas más eficaces para tratar el tipo de contaminantes que se encuentran disueltos en el nejayote. Esto se debe a su diseño compacto y su facilidad de operación.

El uso de sistemas combinados anaerobios-aerobios proveen al proceso de una alta eficiencia, ya que el sistema anaerobio reduciría considerablemente la carga orgánica sin consumo energético y creando un material energético, el metano, y el aerobio "puliría" los efluentes tratados, eliminando el material poco sedimentable, convirtiéndolo en biomasa con índices de sedimentación dentro de los límites aceptables y que además, pueden ser convertidos en complementos alimenticios de alto contenido proteínico.

El proceso propuesto tiene las ventajas de ser un sistema sencillo, que ocupa poco espacio y muy eficiente para la degradación de la materia contaminante de la industria del proceso de harinas de maíz y que no emplea una gran cantidad de energía para su funcionamiento.

El tratamiento biológico de las aguas residuales de la industria del maíz, usando el enfoque de la biotecnología, ofrece alternativas viables para países en vías de desarrollo como México y que pueden ayudar a fortalecer el compromiso del cuidado del ambiente. Los puntos importantes de este enfoque serían:



1. La posibilidad de usar racionalmente los recursos naturales, de los cuales el agua, es el más valioso.
2. La propagación de una mentalidad ecologista que pueda detener la tendencia a la destrucción del entorno y el equilibrio ecológico.
3. El desarrollo de tecnologías apropiadas que tiendan a generar incentivos para reutilizar los subproductos obtenidos, y cuyo valor comercial, de hecho, permita hacer del sistema de tratamiento, un proceso económicamente viable.



Bibliografía:

1. Durán, Ma. del Carmen. **Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso.** Facultad de Química. UNAM. Quinta edición. México 1994.
2. Bazúa, Carmen Durán de y Guerra, Rosaura. **Los centros de investigación superior y el desarrollo de agroindustrias.** Dos problemas tipo. Parte II. Tecnología alimentaria. México. 15(6): 4-16. 1980.
3. Durán de Bazúa, M.C. **Proteínas unicelulares y su producción a partir de desechos agropecuarios.** Memoria del Seminario de Actualización de Calidad INIA-SARH. 14 páginas. Chapingo, México. 1977.
4. Durán de Bazúa, M.C. **Uso de las aguas residuales de nixtamalización en la producción de proteína unicelular.** En "Informe global de actividades: Laboratorios de Tecnología de Alimentos (Maíz y sorgo)." Pub. INIA-SARH. 124 páginas. Chapingo. México. 1978.
5. Durán de Bazúa, M.C. **Tratamiento biológico de aguas residuales de nixtamalización de la industria del maíz.** Versión en español de la disertación doctoral. Pub. Facultad de Química. UNAM. 236 páginas. México, D.F. 1982.
6. Durán de Bazúa, M.C., Escárcega, C y Pulido, R. **Modelo cinético para un reactor biológico rotatorio usado en el tratamiento aerobio de efluentes.** Pub. Facultad de Química. UNAM. 194 páginas. México, D.F. 1986.
7. Durán de Bazúa, M.C. **Una nueva tecnología para la extrusión alcalina del maíz y sorgo.** Proyecto Multinacional de Tecnología de Alimentos. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico, Monografía tecnológica N°2. 71 páginas. Organización de Estados Americanos. Eón Editores. México, D.F. 1988.
8. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES



- TRATADAS QUE SE REHÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.
9. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REHÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.
 10. **Apuntes del curso de Ingeniería de proyectos.** Ing. José Antonio Ortiz Ramírez.
 11. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.
 12. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN"
 13. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-187-SSA1/SCFI-2002, PRODUCTOS Y SERVICIOS. MASA, TORTILLAS, TOSTADAS Y HARINAS PREPARADAS PARA SU ELABORACIÓN Y ESTABLECIMIENTOS DONDE SE PROCESAN. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. INFORMACIÓN COMERCIAL. MÉTODOS DE PRUEBA.
 14. Situación hidrológica de la República Mexicana. INEGI. México, D.F. 2004
 15. SEMARNAT. CNA. Estadísticas del Agua en México, 2004. México, D.F., 2004.
 16. Hernández, Aurelio. **Depuración de aguas residuales.** Colección Señor N°9. 2ª Ed. España. 1992.
 17. Droste, Ronald. **Theory and Practice of Water and Wastewater treatment.** John Wiley & sons, Inc. USA. 1997.
 18. Metcalf & Eddy, Inc. **Wastewater Engineering, treatment, Disposal and Reuse.** McGraw-Hill Publishing Company. USA. 1991.
 19. Durán de Bazúa, Carmen. **Reaprovechamiento de efluentes de la industria del maíz.** Informe final de proyecto ISBN 986-36-1644-5. Pub. UNAM-PNUMA



- (ENEP-Kenya). Impresora Azteca. México, D.F. 1987.
20. Civit, E., Durán de Bazúa, C., González, S., Hartmann, L. **Anaerobic treatment of maize processing wastewater(nejeyote) in a packed bed reactor cascade.** Environ. Technol. Letters, 5(2):89-96. 1984.
 21. Seoanez, Mariano. **Aguas residuales Urbanas. tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento.** Ediciones Mundi-Prensa. España. 1999.
 22. Winkler, Michael. **Tratamiento Biológico de aguas de desecho.** Limusa Editores. México. 1996.
 23. Eckenfelder, W.W. **Biological Waste Treatment.** Pergamon Press. UK. 1961.
 24. Gray, N.F. **Biology of Wastewater Treatment.** Oxford University Press. USA. 1989.
 25. Maskew, Gordon. **Purificación e aguas y tratamiento de aguas residuales.** Editorial Limusa. México. 1976.
 26. Harding, Jeffrey S. **A Crash Course in Project engineering.** Chemical Engineering, July. 1995.
 27. Varios autores. **Perry Manual del Ingeniero Químico.** Editorial Mc. Graw Hill, 6ª edición. México. 1993.
 28. Peters, M. S. Y K.D. Timmerhaus. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers.** McGraw-Hill Intl. Book Co. 3a Ed. Tokio, Japon. 1981.
 29. Riggs, James. **Ingeniería económica.** Representaciones y servicios de ingeniería, S.A. México. 1983.
 30. Castro, Alejandra; Pliego, Yolana; Durán de Bazúa, Carmen. **Tratamiento anaerobio de lodos de purga de una planta de lodos activados.** Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen 4 Serie Química Ambiental del Agua. México. 1997.
 31. Coss, Raúl. **Análisis y evaluación de proyectos de inversión.** Limusa-Noriega



Editores. México. 1992.

32. Chemical Engineering. **Economic indicators**, December 2004.



Anexo 1. Etapas de la metanogénesis

El principio básico del tratamiento anaerobio consiste en la transformación de la materia orgánica disuelta en un gas: el biogás, que contiene principalmente metano y dióxido de carbono, entre otros.

El fenómeno de degradación se lleva a cabo en tres grandes etapas:

1. Hidrólisis y fermentación de macromoléculas
2. Acetogénesis
3. Metanogénesis

1. Hidrólisis y fermentación de macromoléculas

En esta etapa los polímeros naturales como la celulosa, peptina, proteínas, etc. Son transformados por hidrólisis y fermentación en ácidos carboxílicos, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de esta etapa pueden ser anaerobias facultativas o estrictas y pertenecer a diferentes grupos. Entre ellas están *Acetovibrio cellulolytidus*, *Clostridium thermocellum*, *Clostridium populetti*, *Clostridium cellulolyticum*, etc.

En esta etapa, sino se controla bien el reactor puede haber una desestabilización del proceso entero, dado que en el caso de una sobrecarga, la hidrólisis de la materia orgánica provoca una sobreproducción de ácidos que va a acidificar exageradamente el medio y bajar el pH hasta niveles inhibitorios. Además de la producción de hidrógeno que inhibe la metanogénesis.

2. Homoacetogénesis

Durante la acetogénesis los productos de fermentación producidos son convertidos en acetatos, hidrógeno y dióxido de carbono por un grupo de bacterias denominadas "bacterias acetogénicas productoras obligadas de hidrógeno" u OHPA en inglés (obligate hydrogen producing acetogen). La particularidad de estas es que son inhibitoras por el



hidrógeno que producen y es necesario que este no se acumule en el medio. Por ello las bacterias OHPA tienen una estrecha relación con bacterias que remueven el hidrógeno, llamada hidrogenofílicas, que por lo general son metanogénicas.

Algunas bacterias OHPA son las siguientes: *Syntrophomonas wolfei*, *Syntrophobacter wolini*, *Syntrophomonas sapovarans*, *Syntrophospora bryantii*, *Syntrophus buswelli*. Estas bacterias tienen tiempos de generación muy largos, lo que vuelve al aislamiento de éstas muy difícil.

3. Metanogénesis

Esta es la última etapa de degradación y es llevada a cabo por el grupo de bacterias metanogénicas. Estas bacterias son anaerobias estrictas y es necesario tener potenciales oxidoreducción inferiores a -330mV para que pueda empezar la reacción, por lo tanto deben ser manipuladas en condiciones anaerobias perfectas.

Las bacterias metanogénicas acetoclásticas, producen metano a partir del grupo metil de acetato. Esta reacción es muy importante dado que 73% del metano producido por los digestores proviene del acetato. En este grupo de bacterias pueden utilizar metanol, metilaminas y el hidrógeno. Estas bacterias pueden dividirse en dos géneros: Las del género *Methanosarcina* son sedosarcinas que tienen una baja afinidad para el acetato y pueden ser inhibidoras por el hidrógeno. Las especies más representativas son: *Methanosarcina barkeri*, *Methanosarcina mazei*, *Methanosarcina thermophila*.

El segundo grupo son las bacterias del género *Methanosaeta*. Las cuales no utilizan hidrógeno, así como metanol y metilaminas. No son inhibidoras por el hidrógeno. Dado que existe gran afinidad para el acetato, en los digestores se prefiere tener lodos con alto contenido de este grupo de bacterias.



Listado de tablas y figuras

Elemento	Descripción	Pág.
Tabla 1-1.	Composición del nejayote	6
Tabla 3-1.	Comparación de muestra analizada con Normas Oficiales Mexicanas	17
Tabla 3-2.	Flujos mínimos, promedio y máximos del punto muestreado	19
Tabla 3-3.	Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (varios años)	29
Tabla 3-4.	Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (varios años)	30
Tabla 3-5.	Estadísticas del Agua en México, 2004. México, D.F.	31
Tabla 3-6.	Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual	36
Tabla 3-7.	Principales ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio	40
Tabla 5-1.	Balance de materia del proceso de nixtamalización	64

Elemento	Descripción	Pág.
Figura 1-1.	Proceso tradicional de nixtamalización y generación de aguas residuales (los números en paréntesis indican las proporciones en masa por unidad de maíz procesada)	5
Figura 3-1.	Situación hidrológica de la República Mexicana y escurrimientos superficiales	27
Figura 3-2.	Situación hidrológica de la República Mexicana y principales Ríos	28
Figura 3-3.	Tratamiento de aguas residuales químico y/o biológico	34
Figura 3-4.	Esquema representativo del proceso seleccionado anaerobio-aerobio para fábricas de harina de maíz nixtamalizado	43
Figura 4-1.	Diagrama de flujo de proceso	58
Figura 5-1.	Diagrama de bloques del reaprovechamiento de los residuos de la nixtamalización del maíz	60
Figura 5-2.	Diagrama general del proceso de nixtamalización	63
Figura 5-3.	Proceso de nixtamalización del maíz y reaprovechamiento de sus subproductos	65
Figura 6-1.	Diagrama de tubería e instrumentación	68



Figura 6-1a.	Simbología de diagramas	69
Figura 7-1.	Sedimentador primario	73
Figura 7-2.	Reactor anaerobio biofiltro	74
Figura 7-3.	Reactor de biodiscos	75
Figura 7-4.	Arreglo de equipo	76



Nomenclatura

A1	Área del sedimentador primario
Ab	Ancho de cada reactor en los biodiscos
Acd	Área de cada cara de disco
ARA	Área de flujo del reactor anaerobio (Biofiltro)
Ard	Área necesaria para reacción en biodiscos
Ass	Área del espejo del sedimentador secundario SAAM Sustancias activas al azul de metileno.
A _{TRRS}	Área del tanque de recuperación de residuos sólidos
C	Contingencias
CA	Cateto adyacente
CD	Costos directos
CF	Costos fijos
CH1	Carga hidráulica del sedimentador primario
CHb	Carga hidráulica en el biofiltro
CI	Costos indirectos
CO	Cateto opuesto
CP	Costos de planeación e ingeniería
CT	Capital de trabajo
dB	Diámetro del biofiltro
Dd	Diámetro de cada disco
d _{TRRS}	Diámetro del tanque de recuperación de residuos sólidos
Gm	Aportación económica anual por concepto de metano producido
Gp	Aportación económica anual por concepto de hojuelas proteínicas



GT	Aportación económica total por parte de los residuos secundarios del proceso de tratamiento de aguas residuales
H	Hipotenusa
h1	Altura del sedimentador primario
Hazop	Hazardous operations, operaciones peligrosas en inglés, nombre dado a una metodología para evaluar riesgos en la industria química
Hb	Altura del biofiltro
hb	Altura de cada reactor de biodiscos
hc	Altura del tanque sedimentador secundario
h_{TRRS}	Altura del tanque de recuperación de residuos sólidos
i	Costo de oportunidad o interés
ISR	Impuesto sobre la renta
K	Constante de velocidad de reacción en biofiltro piloto
Lb	Longitud de cada reactor en los biodiscos
Lss	Lado complementario del sedimentador secundario
N	Plazo en años para la evaluación del Valor presente neto
NAb	Nivel de agua de cada reactor en los biodiscos
Pb	Contenido de proteína en la biomasa obtenida en el proceso
Php	Producción de hojuelas proteínicas anuales obtenida a partir del proceso
Pmet	Precio del metano como gas natural
Pp	Precio de la proteína actualizado
PTU	Participación a los trabajadores por utilidades
Q	Volumen de agua a tratar
Rc	Sustrato específico consumido en el proceso aerobio
S	Concentración del sustrato en la entrada del tratamiento aerobio



Si	Concentración de sustrato a la entrada del biofiltro
SMN	Superficie mínima necesaria.
So	Concentración del sustrato en la salida del tratamiento aerobio
SS	Concentración de sólidos suspendidos a la salida del sedimentador
Ssi	Concentración de sólidos suspendidos a la entrada del sedimentador
St	Concentración de sustrato a la salida del biofiltro
T	Capital total invertido en el proceso
TIR	Tasa interna de retorno
tr1	Tiempo de retención en el sedimentador primario
TREMA	Tasa de rendimiento mínima atractiva
TRH	Tiempo de residencia hidráulica
UTN	Unidades de turbiedad nefelométrica
V1	Volumen del sedimentador primario
Vb	Volumen de agua en cada reactor en biodiscos
Vcl	Velocidad de sedimentación a caudal punta
Vds	Volumen de disco sumergido en cada reactor en biodiscos
Vtb	Volumen total de agua en biodiscos
V _{TRRS}	Volumen del tanque de recuperación de residuos sólidos
Vc	Velocidad ascensional en el sedimentador secundario
VPN	Valor presente neto
Y	Cantidad de biomasa en base seca obtenida del proceso completo de tratamiento

