

**CARRERA DE POSGRADO DE ESPECIALIZACION EN
INGENIERIA SANITARIA**

TRABAJO FINAL

Recuperación de Metano en el
Tratamiento de Aguas Residuales
de una Planta de Biocombustibles

25/04/2022



Adriana Malatini

Directores
Ana María Ingallinella
Jorge Duran



Contenido

1.1-Introducción	7
1.2-Objetivos	8
1.2.1- Objetivo General	8
1.2.2-Objetivos Especificos	8
1.3-Actividades	8
1.4-Alcance	9
1.5- Localización de la Industria	9
1.5.1-Ubicación General	9
1.5.2-Área de Influencia del Proyecto	9
2.1-Descripción del proceso	12
2.1.1-Recepción y limpieza.	13
2.1.2-Molienda Seca	13
2.1.3-Licuefacción y Sacarificación	14
2.1.4-Fermentación	15
2.1.5-Destilación	17
2.1.6- Deshidratación o Anhidración	18
2.1.7-Almacenamiento del etanol anhidro	18
2.1.8- Decantación y Evaporación	18
2.2- Consumo de agua durante el proceso industrial	19
2.2.1-Aguas de lavado	19
2.2.2- Aguas de proceso	19
2.2.3-Aguas de enfriamiento	19
2.2.4-Agua total incorporada	20
3.1-Efluentes Industriales	22
3.2.1-Generacion y Tratamiento de los Efluentes del Proceso Productivo	22
3.2.2-Generacion y Tratamiento de los Efluentes de las Actividades de Servicio	25
3.2.3-Generacion y Tratamiento de los Efluentes Cloacales	25
3.2-Cuerpo Receptor	25
4.1-Características del Proceso Anaeróbico	28
4.2 -Diferencias entre los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos	29
4.3-Fundamentos de la Fermentación Anaeróbica	30
4.3.1- Etapas de la fermentación metanogénica	30



4.3.2-Estabilidad del proceso anaeróbico	32
4.4- Factores Ambientales	32
4.4.1-Temperatura	33
4.4.2-pH y alcalinidad	33
4.4.3- Sustancias Toxicas	34
4.4.4- Nutrientes	34
4.5-Aplicabilidad del Proceso Anaeróbico	35
4.5.1-Concentración de materia orgánica	35
4.5.2-Temperatura	35
4.5.3-Alcalinidad	35
4.5.4-Potencial de generación de metano	35
4.6-Tipos de procesos anaeróbicos de tratamiento de efluentes	36
5.1-Estado Actual	44
5.2-Propuesta	44
5.2.1-Parámetros de Descarga	48
5.2.2-Características del Efluente	49
5.2.3-Características constructivas	51
5.2.4-Detalle de Funcionamiento	52
5.2.5-Criterios de Dimensionamiento	52
5.2.6-Dimensiones del reactor anaeróbico	53
5.2.7-Eficiencia de la etapa anaeróbica	54
5.2.8-Generación de lodo	55
5.2. 8- Dimensionamiento de la pileta de extracción de lodos.	56
5.2.8-Recirculación	57
5.2.9- Generación de Energía Renovable (Biogás - Metano Biológico)	57
5.2.10- Balance de Masa	58
5.2.11-Conversion del gas en Energía Eléctrica	58
5.2.12-Calculo de la laguna facultativa	59
5.2.13-Cálculo de la laguna aeróbica	61
5.3-Conclusiones	63
Referencias Bibliograficas	64
Bibliografía General	64
Anexo 1: Visita a plantas de tratamiento de efluentes	67



1-Planta de Tratamiento de Efluentes de Molinos Semino	67
2-Planta de Tratamiento de Efluentes Solamb	72
Anexo 2: Protocolo de muestreo	84



CAPITULO 1: GENERALIDADES



1.1-INTRODUCCIÓN

La humanidad conoce los alcoholes desde tiempos muy remotos, la práctica de su elaboración tenía aplicaciones médicas y la producción de bebidas espirituosas. La palabra alcohol proviene del árabe “al kohol” que significa “el espíritu”.

Los alcoholes son compuestos orgánicos de fórmula R-OH, donde R es cualquier grupo alquilo y –OH el grupo funcional “oxhidrilo” u “hidroxilo”. Por ejemplo, el alcohol etílico, CH₃CH₂-OH. Los alcoholes se obtienen industrialmente en grandes cantidades a través de 3 métodos:

El primero por hidratación de alquenos en medio ácido; el segundo mediante el proceso oxo donde el alquenos reacciona con CO e H₂ y el último método y el más conocido el de fermentación de carbohidratos.

Entre los alcoholes más comunes se tiene al metanol (alcohol metílico), etanol (alcohol etílico) y los llamados alcoholes superiores (propanol, butanol, etc.). Hoy en día, los alcoholes de origen biológico (fermentación) son llamados también utilizando el término “Bio” por delante, por ejemplo, biometanol, bioetanol.

El bioetanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa (caña de azúcar, remolacha, sorgo, maíz), almidón (grano de cereal), hemicelulosa y celulosa (biomasa lignocelulósica). El alcohol etílico, de fórmula C₂H₅OH, es un líquido transparente e incoloro, con sabor a quemado y un olor característico. Es el alcohol que se encuentra en bebidas como la cerveza, el vino y el brandy.

El etanol o bioetanol así mismo puede utilizarse como combustible para automóviles sin mezclar o mezclado con gasolina en cantidades variables. Las mezclas más conocidas son E5, E10, E15, E85 que contienen 5%, 10%, 15% y 85% de etanol respectivamente.

El bioetanol mezclado con la gasolina produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina, pero con una importante reducción de las emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión

La aplicación como combustible en transportes exige que el alcohol sea anhidro con una pureza mínima de 99,3%.

Los aspectos económicos también tienen relevancia, debido al pronóstico del agotamiento del petróleo, y también de los elevados precios del barril y su inestabilidad.

Otro aspecto importante es el aspecto medioambiental, ya que el cambio climático con el calentamiento global es atribuido especialmente a la combustión de estos combustibles fósiles y sus derivados que emiten gran cantidad de gases de efecto invernadero.

Para equilibrar este problema, cada vez más agudo debido al crecimiento de la población mundial y de las actividades industriales, las autoridades han fomentado el uso de derivados de la biomasa, conforme se describe en el Protocolo de Kyoto que tiene como objetivo la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Tomando en cuenta todas esas premisas, es necesario buscar alternativas para disminuir la dependencia de los derivados del petróleo, alternativa especialmente atractiva cuando se habla del bioetanol, que implica ciclo cerrado de carbono y conlleva gran beneficio social, ya que genera desarrollo rural.



La mezcla de combustibles fósiles con combustibles de Biomasa es un hecho ya consolidado, de fácil implementación, de posibilidad inmediata, con beneficios incuestionables para todo el planeta. (Álvarez, et al, 2008)

Los combustibles de biomasa que surgen de la actividad agropecuaria se pueden convertir en distintas formas de energía. Durante la digestión anaeróbica de la biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas, se genera el biogás, el cual está constituido principalmente por metano (CH₄). y dióxido de carbono (CO₂).

Este biogás puede ser usado como combustible y /o electricidad. De esta forma, la digestión anaeróbica, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia contaminante, estabilizándola (bioabonos) y al mismo tiempo, producir energía gaseosa (biogás). La biotecnología anaeróbica contribuye a cumplir tres necesidades básicas: a) Mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación) generación de energías renovables para actividades domésticas; y c) suministrar materiales estabilizados (bioabono) como un biofertilizante para los cultivos. Por lo tanto, la biotecnología anaeróbica juega un importante papel en el control de la contaminación y para la obtención de valiosos recursos: energía y productos con valor agregado. (Moreno; 2011)

El trabajo planteado propone captar el biogás generado en la digestión anaeróbica del efluente líquido generado en una planta de biocombustibles (Etanol).

Las plantas de producción de bioetanol, generan un efluente líquido que surge del proceso de obtención del alcohol, de las actividades de servicio y de las instalaciones sanitarias (cloacales); y, presentan como principales parámetros indicadores de contaminación, la demanda biológica de oxígeno (DBO) y pH.

1.2-OBJETIVOS

1.2.1- Objetivo General

Este trabajo tiene como objetivo general proponer una alternativa al sistema actual de tratamiento de efluentes de la Planta de Bioetanol a partir del Maíz de la firma Promaiz S.A., que permita recuperar el gas generado a partir de un proceso anaeróbico

1.2.2-Objetivos Específicos

- Recopilar información bibliográfica sobre el proceso de producción de bioetanol y las características de los efluentes generados.
- Evaluar la posibilidad de incorporar una etapa de tratamiento anaeróbico con el objetivo de recuperar el gas que se genera con ese tipo de tratamiento.
- Contribuir con una combinación energética más limpia debido al reemplazo parcial de combustibles fósiles por biocombustibles alternativos para la generación de calor en la industria.

1.3-ACTIVIDADES

En coincidencia con los objetivos planteados las actividades del proyecto consistieron en el estudio de factibilidad para la incorporación en la planta de tratamiento, de una etapa que permita



la recuperación de metano, antes de las lagunas facultativas que se encuentran en operación en la actualidad, a fin de reducir de manera significativa el contenido orgánico de las aguas residuales y capturar el biogás generado destinado a sustituir parcialmente el gas natural que se consume en la fábrica.

1.4-ALCANCE

Durante el desarrollo del trabajo se estudiaron las alternativas de tratamiento anaeróbico a incorporar en la planta existente.No se estudió la utilización del gas generado

1.5- LOCALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA

1.5.1-Ubicación General

La planta industrial ubicada en la localidad de Alejandro Roca, Departamento Juárez Celman, pertenece a la cuenca del Río Cuarto. En Alejandro Roca, la planta se ubica en el extremo Sur Este de su ejido municipal.

1.5.2-Área de Influencia del Proyecto

El área de influencia del proyecto desde el punto de vista de los efluentes líquidos que genera se establece a priori, a los fines del estudio del tratamiento y disposición final del líquido residual, como la parte de la cuenca del Río Cuarto desde la localidad de Alejandro Roca, donde se ubica la planta de Etanol, hasta la localidad de La Carlota.

El área de influencia se considera formada a partir de la conectividad que el recurso hídrico genera entre localidades próximas al río Cuarto y hacia aguas debajo de la ubicación del proyecto. Es decir que, el área de influencia del proyecto se extiende más allá de las instalaciones físicas del mismo, si se tienen en cuenta los efectos del vertido del efluente tratado, en la calidad del río Cuarto.

Ver figura1 y 2

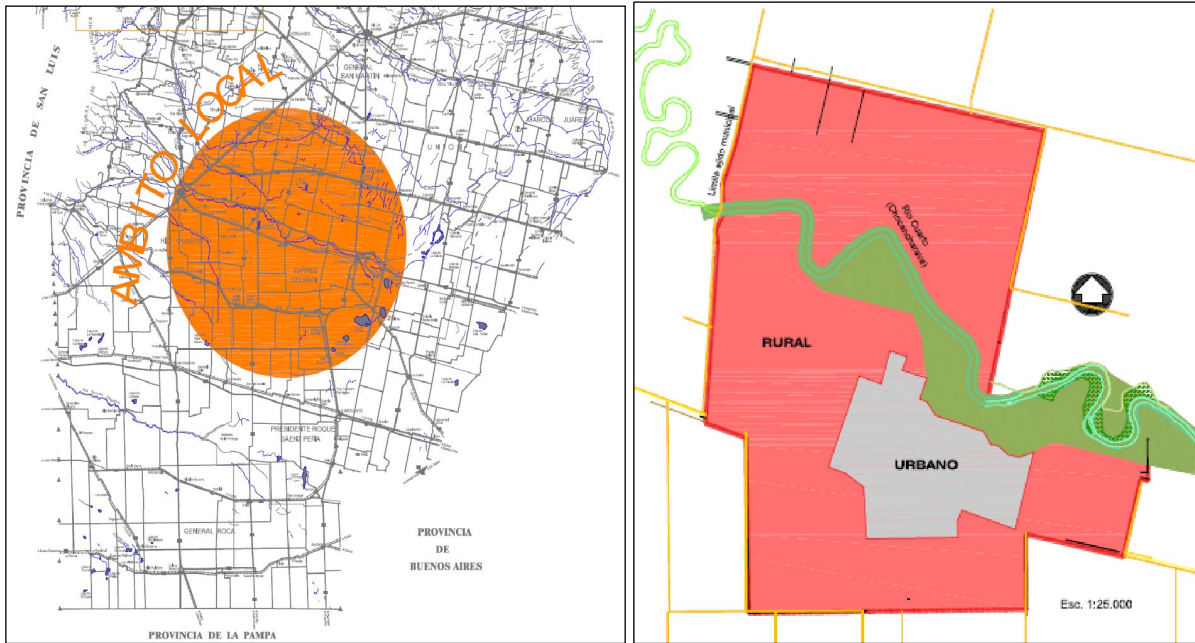


Figura 1: Ámbitos local y regional de emplazamiento

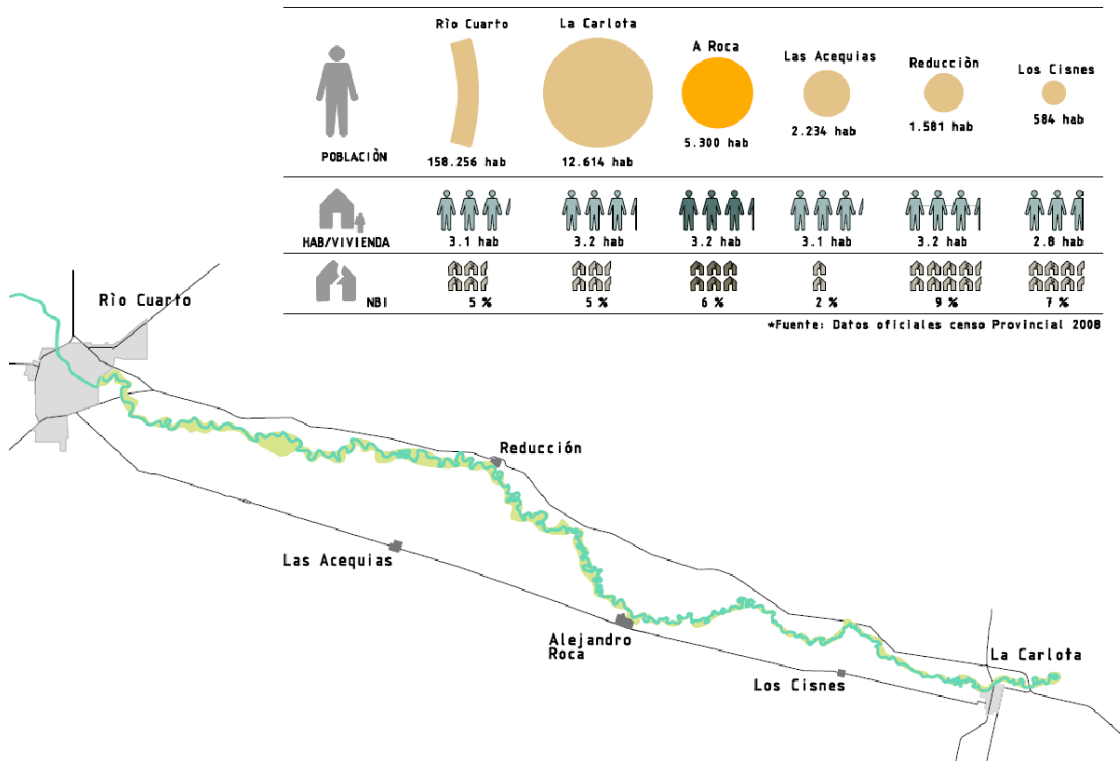


Figura 2: Poblaciones de Alejandro Roca, y las localidades próximas



CAPITULO 2: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL

2.1-DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de producción de bioetanol a partir de maíz se lleva a cabo según el diagrama de flujo que esquematiza en fig. 3

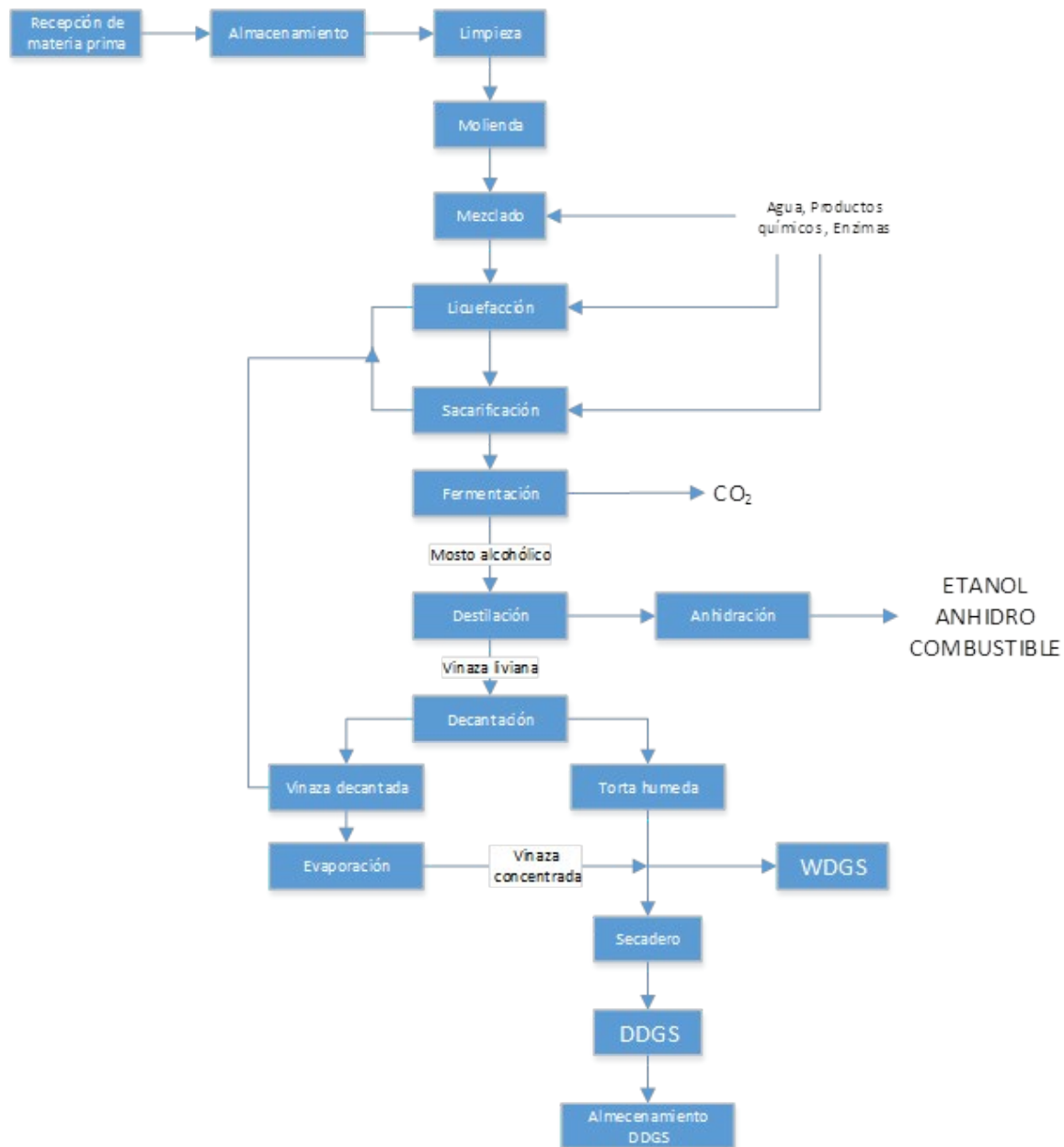


Figura 3: Diagrama de Flujo del Proceso

Fuente: MONTOYA R., M. I.; QUINTERO S., J. A.; SÁNCHEZ T., O. J.; CARDONA A., C. A.-2008



2.1.1-Recepción y limpieza.

La planta de procesamiento de la firma Promaíz produce bioetanol, por fermentación de maíz, tanto para su mezcla directa con naftas como para materia prima utilizada en la producción de ETBE, (etil-terbutil éter), el cual es utilizado como aditivo en distinto tipo de combustibles y se está imponiendo sobre otros aditivos por ser sus emisiones de hidrocarburos menos tóxicas, además que se puede obtener a partir de recursos renovables en lugar del petróleo, como el MTBE, (metil-terbutil éter).

Dicha planta produce 420000 litros de bioetanol/día También se obtienen distintos productos derivados como el WDGS / DDGS utilizados para alimentos de aves y vacunos. Torta húmeda de maíz de destilería con solubles (WDGS) y torta seca de maíz de destilería con solubles (DDGS) . La planta posee la capacidad de procesar de manera continua 1000 toneladas de maíz por día. La materia prima se recibe y se analiza para clasificarlo según normativa vigente; desde el punto de vista de producción, el contenido de humedad y porcentaje de almidón son datos que luego se utilizan para el cálculo del rendimiento de transformación.

El porcentaje de humedad del grano no debe exceder el 14.5 % y el porcentaje de almidón esperado debe ser $\geq 70\%$.

Si cumple con los controles estándar de calidad se envían los granos a un sistema de limpieza y posterior almacenamiento.

La limpieza se realiza a través de extractores de polvos, zarandas, cernidores, ciclones, etc. con la finalidad de remover impurezas y material particulado, una vez concluido este proceso, la materia prima es almacenada en silos.

Estos silos disponen de aireación forzada, teniendo así la posibilidad de disminuir la temperatura del grano y reducir su humedad dependiendo de las condiciones ambientales y el tiempo de aireación.

La etapa de pre limpieza genera grandes cantidades de polvo que tiene un alto riesgo de ser explosivos; por tal motivo los mismos son capturados por extractores con filtro manga que disminuyen dicho riesgo.

2.1.2-Molienda Seca

La materia prima es transportada desde los silos de almacenamiento hasta el silo diario que alimenta la molienda.

El transporte se realiza mediante una cinta transportadora.

Del silo diario, el maíz es llevado a través de transportadores de cadena (redlers) hasta los elevadores de cangilones (Noria), los cuales depositan el material dentro de una tolva pulmón de los molinos, pasando luego por los dosificadores con imanes de retención de partículas metálicas. El grano se muele primeramente en dos molinos de rodillos, con la finalidad de romper el grano y reducir su tamaño hasta la granulometría deseada.

Una granulometría gruesa podría suponer una disminución de producción de entorno al 7-10%.(Alvarez,et al 2010)

El material resultante es enviado al tamiz vibratorio o criba. Si cumple con el diámetro de partícula establecido se lo almacena en un silo de almacenaje de maíz molido. El silo cuenta con una



descarga vibratoria que facilita y regula la salida de la materia prima evitando así el estancamiento en la salida.

Si la granulometría no está dentro de las especificaciones, el producto que sale del tamiz, es desviado a un molino de martillos. Este molino trabaja por impacto, vuelve a moler y lo envía nuevamente al tamiz para incorporarlo al sistema.

Posteriormente la harina de maíz es transportada por un tornillo sinfin a la balanza dosificando así el material que se enviará al “mixer” de licuefacción a través de una cinta transportadora.

En esta etapa el grano de maíz queda fragmentado en sus componentes principales (gránulos de almidón, proteínas, germen, fibra y celulosa).

La unidad de molienda cuenta con dos sistemas de extracción de polvos; uno de ellos que aspira los polvos en el sistema de transporte donde el maíz se encuentra entero y otro en donde se encuentra molido, este último es re-insertado al proceso ya que puede arrastrar almidón.

La extracción de polvos es un paso muy importante debido a los riesgos de explosión que estos presentan.(Asencio Rivero ,2008)

2.1.3-Licuefacción y Sacarificación

La harina de maíz proveniente de la molienda es enviada al mezclador (“mixer”), donde se adiciona agua de proceso, agua de condensados (recuperados), reguladores de pH (agua amoniacal), enzimas (alfa-amilasa) y vinaza de recuperación que se genera a la salida de la decantación.

La mezcla pasa al tanque de licuefacción “Slurry” donde se calienta por inyección de vapor para permitir la licuefacción y un pH comprendido entre 5.5 – 6.0, el agregado de agua amoniacal además de aumentar el pH aporta una fuente de nitrógeno que sirve como nutriente para las levaduras en la etapa de fermentación. El líquido que sale de este tanque se denomina mosto.

El mosto luego se hace pasar por el “Jet Cooker”, equipo que cuenta con una reducción de sección y un dispositivo que se interpone a la corriente de mosto. De esta manera el mosto aumenta su velocidad y el gránulo de almidón al chocar contra el dispositivo se rompe permitiendo así que las cadenas de almidón (Figura 4) queden totalmente disponibles para la acción de la alfa-amilasa.(Asencio Rivero,2008)

Conversión del almidón

Esta enzima actuará desdoblado las cadenas de almidón en cadenas de azúcares solubles más pequeñas denominadas genéricamente dextrinas

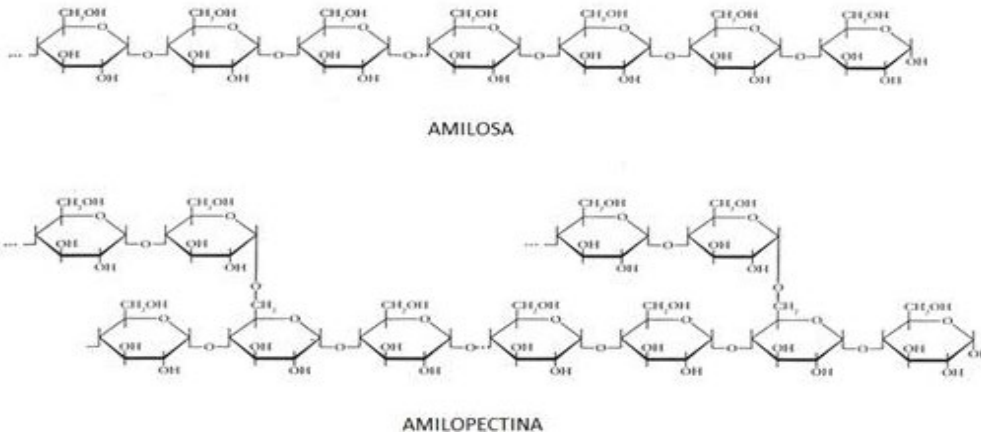


Figura 4: La molécula de almidón está compuesta por amilosa (lineal) y amilopeptina (ramificada).

Una fracción recircula al tanque “Slurry” y la otra avanza a la siguiente etapa.

El mosto es enviado al tanque “Mash cook”. De aquí se envía hacia el tanque flash de licuefacción donde se extraen los vapores aplicando vacío para disminuir la temperatura.

Después, el mosto es enviado a los tanques de post-licuefacción manteniendo las mismas condiciones de pH y temperatura de la licuefacción.

A continuación, se envía al tanque Flash de sacarificación para la extracción de vapores donde se enfría y se ajusta el pH con una solución al 10 % de ácido sulfúrico y fosfórico; el aporte de ácido fosfórico sirve como fuente de fósforo para las levaduras en la etapa de fermentación.

El agua de condensado que proviene de los dos tanques flash es descargada en el tanque de agua de condensación; para luego ser re-utilizada en el proceso.

En el tanque Flash de sacarificación se adiciona la primera dosis de enzima glucoamilasa.

Luego el mosto es enfriado, usando intercambiadores de placa.

Previo ingreso al “Pre fermenter” se le inyecta la segunda dosis de glucoamilasa, la cual romperá las cadenas de azúcares (dextrinas) convirtiéndolas en unidades de glucosa (azúcares simples), dando comienzo así a la etapa de sacarificación.

Los azúcares fermentables por las levaduras son los de cadenas cortas tales como moléculas individuales de glucosa (DP1), maltosa (DP2) y maltotriosa (DP3); azúcares de mayores unidades no son fermentables.

En esta etapa además de controlar el pH, temperaturas y tiempos de retención; una medida de eficiencia de las enzimas es controlar el %DE (Dextrosa Equivalente). (Asensio Rivero,2008)

2.1.4-Fermentación

Simultáneamente al ingreso del mosto al “pre fermenter”, se lleva a cabo la activación de la levadura en el tanque de activación o crema de levaduras, donde la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en polvo se hidrata agitando lentamente. Esta acción debería repetirse cada 4 meses aprox.



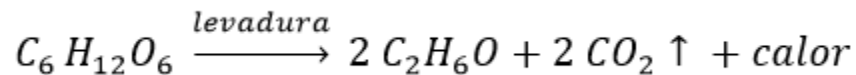
El “pre fermenter” con el mosto ya cargado, se inocula con la levadura activada. En esta etapa se inyecta aire filtrado y estéril con el objetivo de multiplicar la levadura y producir biomasa.

Se adiciona aquí la fuente de nitrógeno en forma de urea líquida.

En el tanque de fermentación 1 continúa la aireación para producción de biomasa, y asegurar así una cantidad óptima que nos permita obtener la máxima conversión de azúcares a alcohol en la próxima etapa de fermentación.

Tanto el “pre fermenter”, como los fermentadores del 1 al 6 cuentan con recirculación externa (pasando por un intercambiador de placas) para mantener la temperatura estable, por el hecho que tanto la multiplicación de la levadura como la fermentación de los azúcares libera calor.

A partir del tanque fermentador 2 y hasta la cuba pulmón o tanque “Beer well”, se corta la aireación dando inicio al proceso fermentativo, que convertirá los azúcares simples en etanol, dióxido de carbono y calor como lo muestra la siguiente reacción:



El uso de antibióticos en este proceso es inaceptable, dado que sus residuos quedarán en el co-producto destinado al consumo animal; por esa razón la asepsia en el sistema se mantendrá aplicando una rutina de limpieza CIP. «Cleaning in Place» (en español, limpieza en el lugar) es un método para limpiar equipos de producción y tuberías. Los equipos se limpian sin desmontar mediante un procedimiento en circuito o paso, haciendo recircular la solución de limpieza a través de los componentes de la línea de proceso, como tuberías, intercambiadores de calor, bombas, válvulas, etc. Con el sistema de limpieza CIP, podemos prevenir muchos inconvenientes derivados del ensuciamiento, que suele provocar bajas en rendimiento de los equipos, potencial contaminación microbiológica y enormes inconvenientes para una limpieza posterior. La planta CIP puede contener uno o más tanques y puede ser manual o bien automática. Esta última permite además monitorear, controlar y registrar según su configuración las variables críticas del proceso de limpieza, lo que permite ajustar y optimizar todos los parámetros de limpieza en todo momento. Las principales ventajas de este sistema de limpieza son la reducción de la cantidad de efluentes, la reducción del consumo de soluciones de limpieza, la reutilización de recursos: agua, solución de limpieza y tener resultados repetibles. (www.edelflex.com.es)

A medida que el mosto va pasando por los tanques de fermentación el porcentaje de alcohol aumenta y la cantidad de levadura presente disminuye al igual que los azúcares.

Como la sacarificación se lleva a cabo simultáneamente con la fermentación, las levaduras transforman la glucosa en alcohol a una velocidad más rápida de la que las enzimas producen glucosa de los azúcares superiores restantes (dextrinas).

En el fermentador 6 se espera tener una graduación alcohólica de 12° - 14° GL (Gay Lussac - %v/v). El mosto denominado en esta etapa “vinaza liviana” se envía desde el fermentador 6 a la cuba pulmón o tanque “Beer Well”.



El dióxido de carbono (CO_2), extraído de todos los fermentadores, es lavado en los “Scrubber” para recuperar el alcohol residual. El CO_2 limpio se ventea a la atmósfera, en tanto que el agua de lavado que recuperó parte del alcohol atrapado en el CO_2 es enviado al tanque “Beer Well”. En un futuro se piensa recuperar el CO_2 para emplearlo en la carbonatación de bebidas previa rectificación, compresión y envasado.

Al final del proceso de fermentación, los azúcares residuales no deben superar el 1% (sumatoria de los azúcares fermentables por las levaduras son los de cadenas cortas tales como moléculas individuales de glucosa (DP1), maltosa (DP2) y maltotriosa (DP3); azúcares de mayores unidades no son fermentables), dado que esto se traducirá en un menor rendimiento en etanol. (Asensio Rivero, 2008)

2.1.5-Destilación

El proceso de destilación consiste en la separación del etanol de los sólidos y el agua presentes en la vinaza liviana que viene del tanque “Beer Well”. Esto se lleva a cabo en tres columnas de destilación.

Columna de Procesamiento del Mosto (Columna Mostera):

La función de esta columna es separar el alcohol (hidratado) de la mezcla de otros productos que viene desde los fermentadores (vinaza liviana).

Por la parte superior de la columna mostera ingresa la vinaza liviana, y por la parte inferior asciende el vapor a contracorriente. A lo largo de la columna las presiones y temperaturas experimentan variaciones lo que hace efectivo el proceso de separación.

El azeótropo formado por el etanol y el agua sale como una corriente gaseosa por el tope de la columna, los cuales son conducidos hacia el fondo de la columna de rectificación

Por el fondo de la columna “mostera”, sale la mezcla fermentada prácticamente libre de alcohol, que es conducida hacia la sección de decantación. La columna “mostera” tiene varios platos tóricos de distinto tipo, y opera bajo vacío con una temperatura de cabeza de columna entre 84-85 °C y una temperatura de cola de 70-74°C

Columna de Rectificación

El azeótropo binario que ingresa por fondo a la columna de rectificación transfiriendo masa y energía, se va enriqueciendo en alcohol a medida que ascienden los vapores por los platos de destilado, hasta alcanzar una concentración de etanol entre 94-95 % v/v a la salida de la misma. Una vez que la mezcla se encuentra en una concentración de 95/5% etanol/agua, los coeficientes de actividad del agua y del etanol son iguales, entonces la concentración del vapor de la mezcla también es de 95/5% etanol-agua que se denomina azeótropo 95/5%. Como algunos usos requieren concentraciones de alcohol mayores, por ejemplo, cuando se usa como aditivo para la gasolina. El azeótropo 95/5% debe romperse para lograr una mayor concentración. El azeótropo puede romperse cambiando la presión

Columna de Extracción o de “agotamiento”



Estos vapores que salen por el tope de esta columna, son condensados y enviados a los tanques de reflujo. Luego parte de este condensado es reenviado a la columna de extracción o de agotamiento ingresando en distintos puntos para permitir el enriquecimiento mencionado del etanol, y parte es enviado a la sección de deshidratación.

Fuente: Información extraída de la visita a la planta ACA BIO

2.1.6- Deshidratación o Anhidación

El 5 % de agua remanente del etanol salido de la destilación debe ser eliminado por métodos de tamizado molecular.

La unidad de tamiz molecular (en este caso zeolita) es una unidad de adsorción por cambios de presión de dos torres, diseñada para secar continuamente el vapor de etanol que proviene de la parte superior de la columna de rectificación con un contenido de agua de aproximadamente el 5% del peso.

La unidad de tamices moleculares separa este flujo de suministro en un flujo de producto con muy bajo contenido de agua (máx. 0.15 %). El flujo de producto es condensado y bombeado hacia el tanque de almacenamiento, mientras que el flujo de purga con agua es suministrado a la columna de rectificación RC I después de haber sido condensado para la recuperación de este efluente. (Asensio Rivero, 2008)

2.1.7- Almacenamiento del etanol anhidro

El alcohol anhidro se condensa y se envía a los tanques de almacenamiento.

Se dispone de tres tanques diarios y dos de almacenaje final de 5000 m³ cada uno.

Todos ellos poseen un techo flotante. A medida que el etanol va llenando el tanque, eleva el techo simultáneamente, con el objeto de evitar que se aloje aire en el reservorio. Esto elimina los riesgos de incendio y por otra parte disminuye la posibilidad de pérdidas por evaporación.

2.1.8- Decantación y Evaporación

El proceso genera un co-producto no destilable que tiene un alto valor nutritivo (alto valor proteico) y es usado como fuente de alimento animal.

Este producto secundario es procesado para obtener algunos de los siguientes suplementos:

La corriente inferior de salida de la destilación, "vinaza liviana", se bombea a la etapa de decantación donde se separan los sólidos en suspensión (proteínas insolubles, grasas, celulosa) formando una torta húmeda.

La fracción líquida soluble separada se denomina "vinaza decantada" y está constituida en su mayoría por agua, proteínas solubles, ácidos orgánicos y azúcares residuales. Parte de esta vinaza re-utiliza en la etapa de licuefacción. Otra fracción de la misma se lleva al evaporador donde se le quita un alto porcentaje de agua para dar la "vinaza concentrada".

Los sólidos separados en el "decantador" (torta húmeda) se mezclan con la vinaza concentrada para dar lugar al co-producto final.

Este tiene un elevado contenido de humedad, por lo que se denomina WDGS (en español - granos húmedos solubles destilados).

Si el mismo se envía al secadero se transforma en DDGS (granos secos solubles destilados).



El WDGS tiene un contenido de humedad aprox. del 65 %, mientras que el DDGS se reduce hasta el 10% el contenido de agua.

Los vapores generados en el secador, se re-utilizan para calentar la unidad de evaporación. (Asensio Rivero, 2008)

2.2- CONSUMO DE AGUA DURANTE EL PROCESO INDUSTRIAL

2.2.1-Aguas de lavado

El riesgo de contaminación por bacterias y otros microorganismos que pueden competir con la levadura afectando el rendimiento en la producción de alcohol hacen necesaria la limpieza y esterilización periódica de los equipos de preparación de la materia prima y de los fermentadores. (Metcalf y Eddy; 1995)

La cantidad de agua de lavado generada y la carga contaminante asociada varían de una planta a otra (0.04 m³ a 0.45 m³ por Kg de grano procesado). No se ha detectado contaminante de riesgo en estos efluentes, mientras que se han reportado valores de DBO comprendidos entre 50 y 1760 mg/l, SST entre 4 y 12 mg/l, y valores de pH comprendidos entre 4 y 12. Grasas y aceites pueden alcanzar concentraciones de más de 120 mg/l. (U.N.C. CETEQUI ,2017)

La cantidad de agua de lavado es 4.48 t/h en condiciones normales de operación. Estas aguas de lavado se recirculan al proceso. (proceso CIP). La esterilización se lleva a cabo con 0.1tn/hr de hidróxido de sodio conc. a 25°C

2.2.2- Aguas de proceso

En el proceso de producción de etanol se utilizan 21 t/h de agua de proceso, incorporada en la primera unidad de trabajo (licuefacción), finalmente la misma debido a las transformaciones químicas y biológicas que se llevan a cabo durante la producción pasa a formar parte de la vinaza liviana

2.2.3-Aguas de enfriamiento

Para mantener las condiciones óptimas de producción, se utiliza en distintos puntos del proceso agua de enfriamiento que trabaja en un circuito cerrado.

La planta cuenta con seis torres de enfriamiento de las cuales en invierno dos de ellas son utilizadas solo para la unidad de fermentación y las cuatro restantes para las demás unidades de trabajo. El caudal de agua de torres en circuito cerrado es de 2470 m³/h.

En verano; la unidad de fermentación es refrigerada por un sistema de chiller utilizando en circuito cerrado 975 m³/h de agua; mientras que las seis torres son utilizadas para el enfriamiento del resto de las unidades de proceso.

Luego, el consumo de agua para enfriamiento se debe a la reposición debido a evaporación y purga de torres de enfriamiento, el cual es de 80m³/h.

Adicionalmente para reposición de calderas se emplean 10m³/h.



2.2.4-Agua total incorporada

La sumatoria de caudal de agua incorporada en el establecimiento con fines industriales es de 2771.52m³/día, siendo la fuente de obtención subterránea.

Q agua industrial =agua de lavado+ agua de proceso +agua de enfriamiento

$$Q \text{ agua industrial} = 4.8 \text{ m}^3/\text{h} + 21 \text{ m}^3/\text{h} + (80 \text{ m}^3/\text{h} + 10 \text{ m}^3/\text{h}) = 115.48 \text{ m}^3/\text{h} = 2771.52 \text{ m}^3/\text{día}$$



CAPITULO 3: EFLUENTES INDUSTRIALES

Estudio Línea Base



3.1-Efluentes Industriales

En esta sección se presenta un resumen de las características de los efluentes líquidos que se generan en la planta industrial.

Se identifican tres tipos de efluentes líquidos: los líquidos residuales industriales derivados del proceso productivo de bioetanol (Efluente Sucio) los líquidos residuales de las actividades de servicio (Efluente Limpio) y líquidos residuales del tipo domiciliarios, generados en núcleos sanitarios de servicio para el personal empleado en el complejo industrial.

3.2.1-Generacion y Tratamiento de los Efluentes del Proceso Productivo

En la figura 5 se representan e identifican los sectores en los cuales se generan los efluentes líquidos del proceso productivo

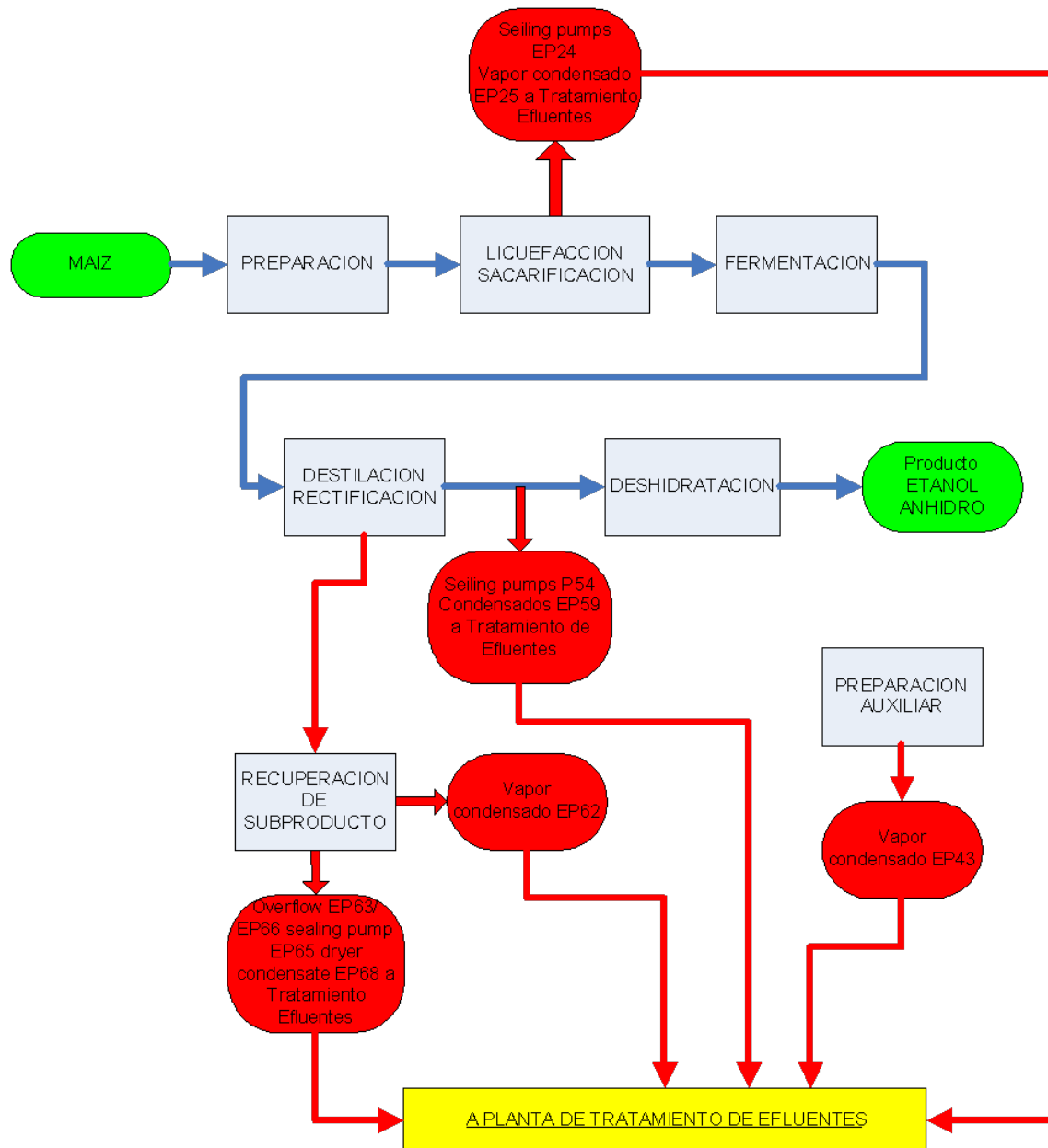


Figura 5: Generación de Efluentes del Proceso Productivo

Los efluentes industriales reciben un pretratamiento que forma parte del proceso productivo, que consiste en la recuperación de la vinaza y reduce en un alto porcentaje la carga orgánica del efluente a tratar.

Luego como tratamiento secundario funciona un sistema de lagunas

Están previstos dos recorridos por posibles inconvenientes en la planta de producción

En la figura 6 puede verse una foto del sistema de lagunas

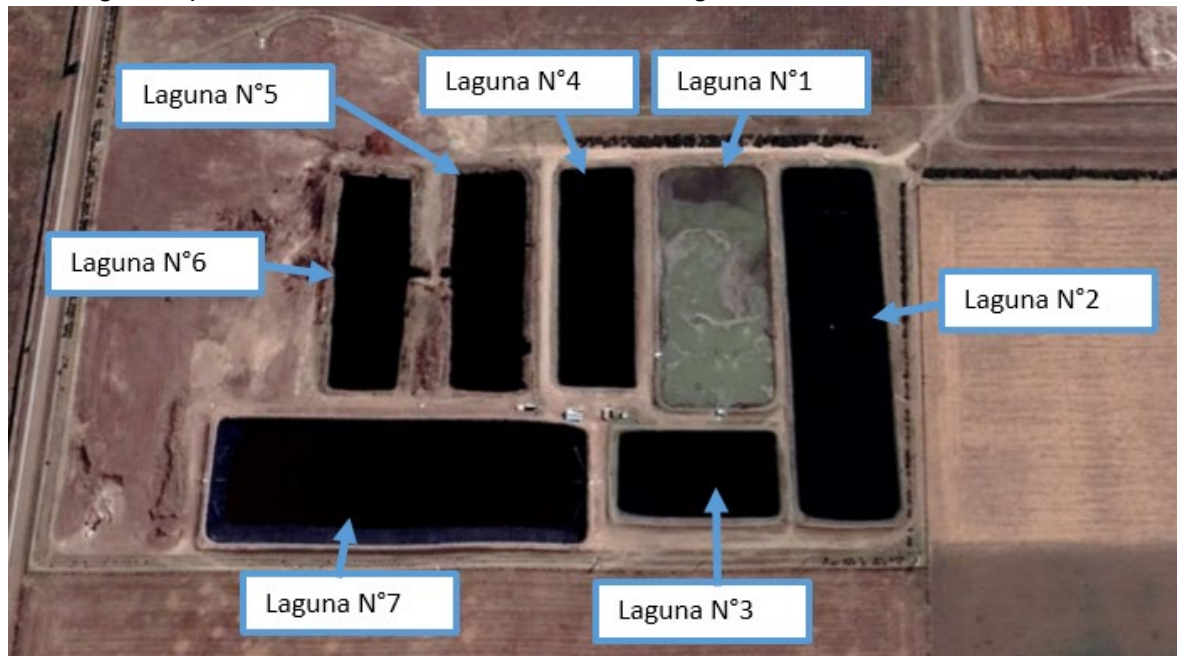


Figura 6: Lagunas de Estabilización

Un recorrido, el efluente ingresa por la cañería de impulsión desde la cámara de efluentes sucios o de ajuste de pH a la laguna N°1 facultativa aireada pasa a la laguna facultativa N°2, luego a la laguna aeróbica N°3 y por ultimo a la laguna N°4 aeróbica complementaria. De esta laguna el efluente pasa por la cámara de muestreo y aforo, y es impulsado desde allí por la cañería de efluentes tratados hacia el cuerpo receptor que es el río Cuarto

El otro recorrido que está previsto, es laguna N°7 facultativa aireada, laguna N°1 facultativa aireada, lagunas aeróbicas N°5 y N°6, cámara de muestreo y aforo, y cuerpo receptor



3.2.2-Generacion y Tratamiento de los Efluentes de las Actividades de Servicio

El efluente limpio no requiere de tratamiento siendo sus características físicas químicas acordes a los parámetros guía del decreto 415/99 de la Provincia de Córdoba, para vertido de efluentes a curso de agua superficial.

La DBO promedio en el efluente limpio es de 20mg/L.

Este efluente generado en áreas de servicio y sin carga orgánica, es recolectado en “Cámara de Efluentes Limpios” y luego previo paso por un intercambiador de calor (se cruza con el efluente que se dirige a las lagunas para enfriarlo hasta 45°C) es enviado a la cámara de salida de las lagunas de tratamiento, donde se mezcla con el efluente tratado para luego ser destinado a su disposición final

3.2.3-Generacion y Tratamiento de los Efluentes Cloacales

Los efluentes de tipo domiciliario son tratados en cámaras sépticas y su disposición final se realiza en pozos absorbentes.

3.2-CUERPO RECEPTOR

Para el cuerpo receptor surgen dos alternativas;

Disposición final en aguas superficiales del Río Cuarto: Es uno de los recursos más atractivos y abundantes en la zona para dar solución a la problemática planteada.

Irrigación: Solo puede aplicarse a plantaciones de determinadas especies, preferentemente de árboles.

Se adopta el Río Cuarto como cuerpo receptor, fijando los parámetros de vuelco a los máximos admisibles para vertido a aguas superficiales tal como se realiza actualmente. (Ver figura 7)

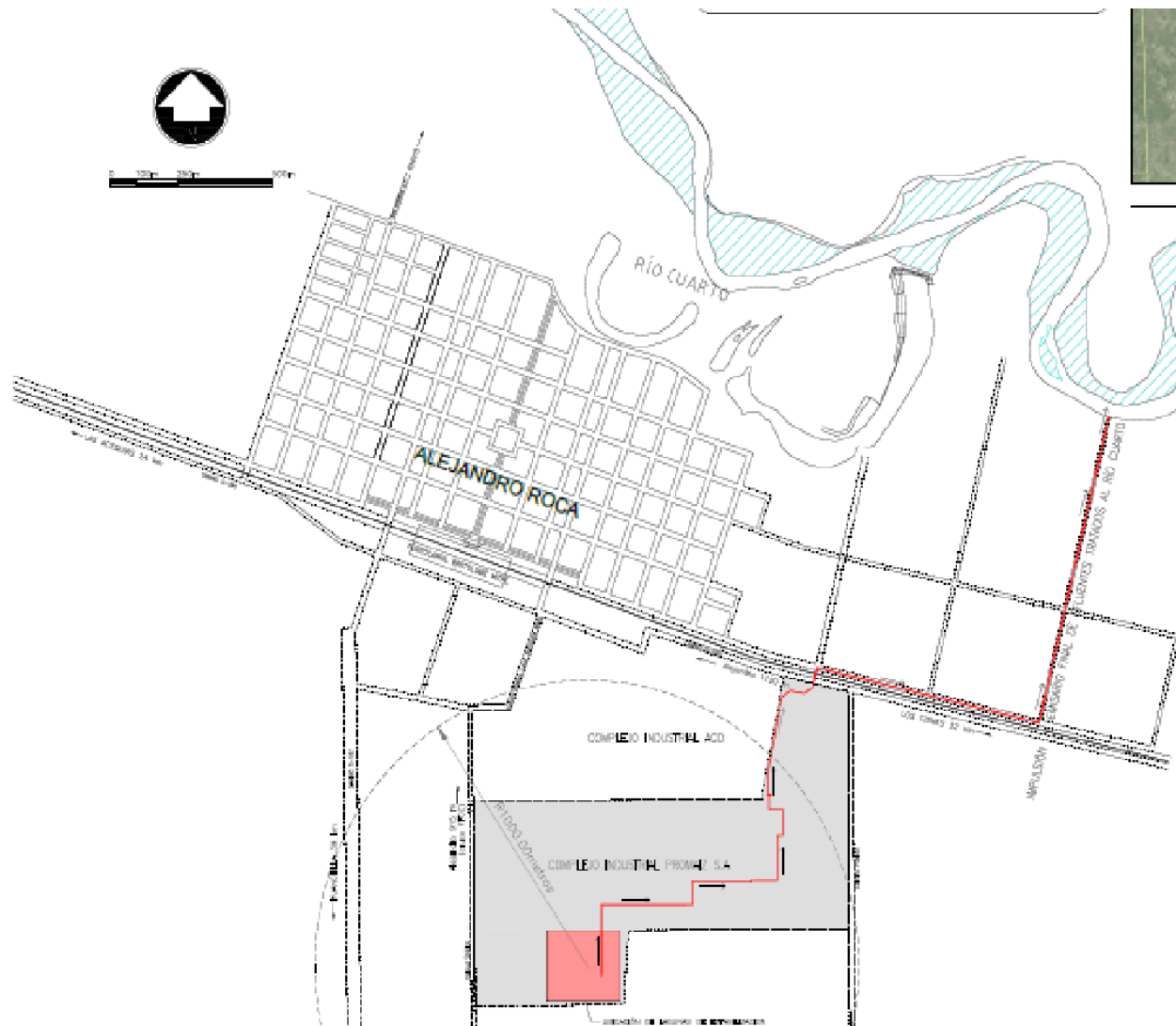


Figura 7: Recorrido final de efluentes tratados al Río 4



CAPITULO 4-TRATAMIENTO BIOLÓGICO ANAEROBICO

4.1-CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO ANAERÓBICO

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H₂O₂).

El principal objetivo del tratamiento biológico anaeróbico consiste en la transformación del carbono que forma parte de la materia orgánica del agua residual en biogas, mezcla de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). De este modo, la materia carbonácea reductora abandona el medio líquido y pasa a la fase gaseosa en forma estable. Lógicamente, los microorganismos que desarrollan el proceso también utilizan una pequeña proporción de carbono para su crecimiento, pero la mayor parte pasa a la fase gaseosa en la forma de biogas. (J.Duran 2015). Ver Figura 8

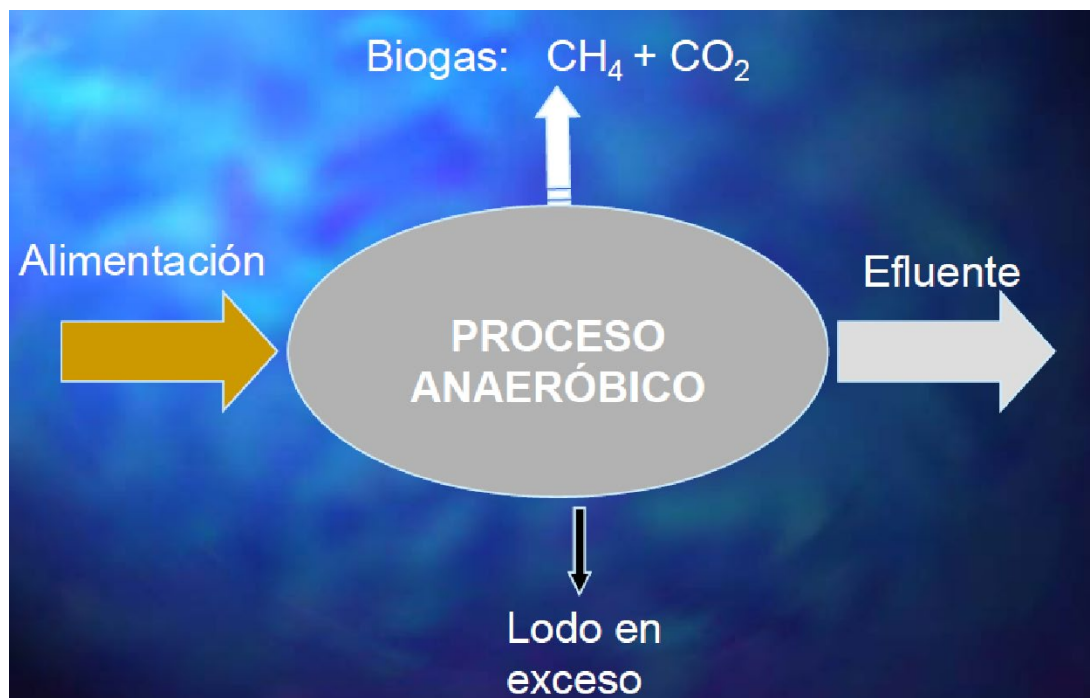


Figura8: Esquema de Tratamiento Biológico Anaeróbico (J.Durán 2015)

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles.

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. Ver Figura 9

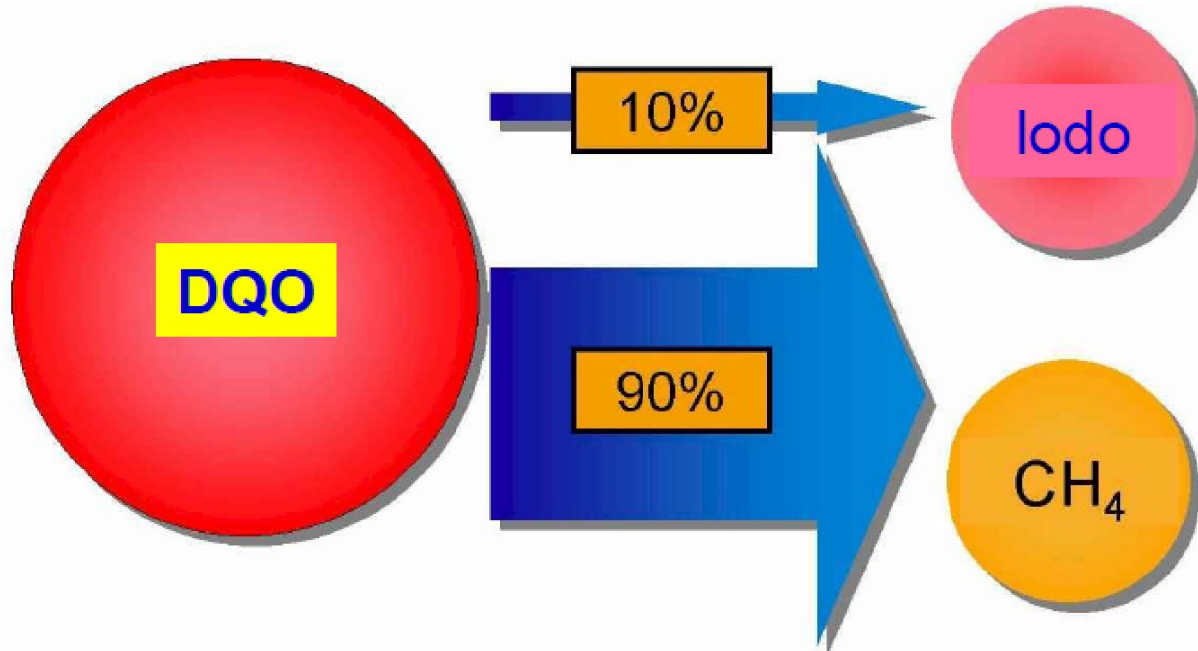
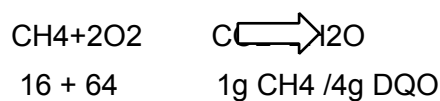


Figura 9-Transformación de la materia orgánica-(J.Durán, 2015)

El proceso anaeróbico transforma la materia orgánica, no la destruye

Como no hay oxidación en el proceso, el contenido de materia orgánica (DQO) del metano generado, en principio, es igual al de la materia orgánica digerida:



Es importante destacar que la mayor parte (dos tercios) del metano se produce mediante fermentación anaeróbica en el cual el acetato actúa como dador y aceptor de electrones. La producción de metano mediante esta vía se conoce comúnmente como metanogénesis acetotrófica.

4.2 -DIFERENCIAS ENTRE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS AERÓBICOS Y ANAERÓBICOS

Una de las principales diferencias entre estos dos tipos de procesos radica en que mientras en los sistemas aeróbicos la transformación de materia orgánica da lugar principalmente a la generación de biomasa y dióxido de carbono (CO₂), en los sistemas anaeróbicos, la transformación de la materia orgánica se da a través de reacciones en serie donde intervienen microorganismos fermentadores acidogénicos seguidos de metanogénicos, los cuales generan metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) como producto final de la cadena de transformaciones, a expensas del carbono orgánico



inicialmente presente en el agua residual procesada. La mezcla de gases producto del proceso biológico anaeróbico se designa a menudo con la expresión **biogas**.

Generación de lodo

Como la velocidad de crecimiento de las bacterias metanogénicas es notablemente inferior a la que presentan las bacterias aeróbicas, para una conversión dada de materia orgánica, en el proceso anaeróbico sólo una pequeña proporción de esa materia biodegradable se transforma en nuevas células. Esto significa que la mayor parte del residuo orgánico se convierte en gas metano. De aquí se deduce la ventaja tal vez más importante del proceso anaeróbico: produce entre 5 y 10 veces menos cantidad de barro residual que el aeróbico.

Puesta en marcha

La necesidad de prever un período de puesta en marcha relativamente prolongado para procesos anaeróbicos suele considerarse como una desventaja frente a procesos aeróbicos.

Temperatura

Generalmente las reacciones bioquímicas resultan más veloces a medida que se incrementa la temperatura (dentro de un rango limitado). Sin embargo, las temperaturas necesarias para operar procesos anaeróbicos en el rango mesofílico (30 a 35°C), donde resultan más eficientes, no son frecuentes en aguas residuales. Esto implica una desventaja frente a los procesos aeróbicos, y suele compensarse con un mayor contenido de biomasa en el reactor biológico.

Espacio de instalación

Para un mismo efluente, una mayor carga volumétrica admisible por parte de los procesos anaeróbicos significa menor requerimiento de espacio de instalación respecto de un proceso aeróbico.

Tasa de decaimiento

La baja tasa de decaimiento de los microorganismos anaeróbicos implica una condición ventajosa frente a los procesos aeróbicos cuando es necesario procesar efluentes líquidos estacionales

4.3-FUNDAMENTOS DE LA FERMENTACIÓN ANAERÓBICA

4.3.1- Etapas de la fermentación metanogénica

Como ya se dijo, la digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. Muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrólisis

2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

En la Figura 10 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaeróbica, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados. (Moreno, 2011)

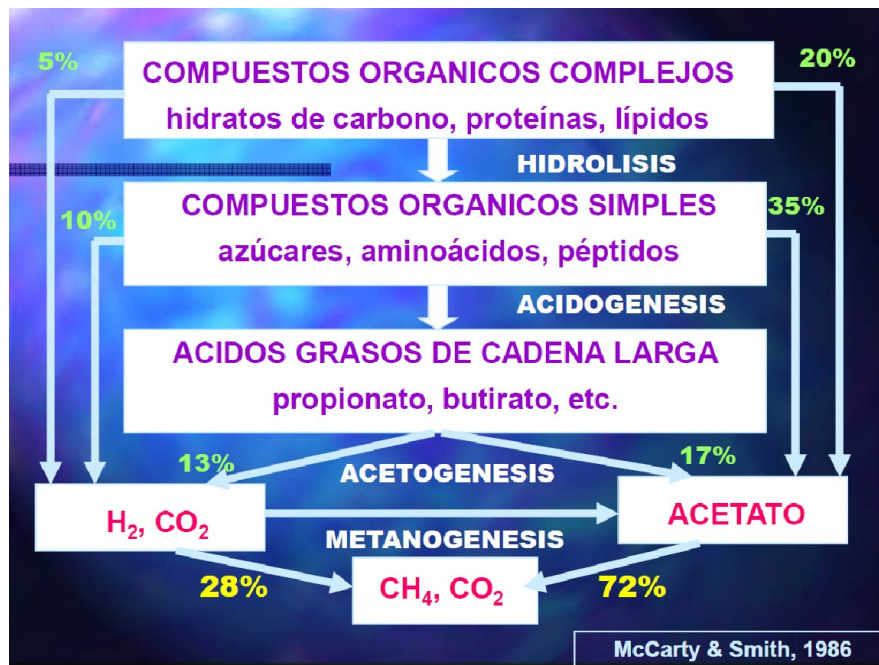


Figura 10: Esquema Simplificado del proceso biológico metanogénico

1-Hidrólisis: En esta primera etapa los compuestos orgánicos solubles y suspendidos de alto peso molecular pasan a la forma de compuestos orgánicos simples.

2-Acidogénesis: En la segunda etapa ocurre la transformación de las moléculas orgánicas más pequeñas en varios ácidos grasos volátiles como por ejemplo ácido butírico o propiónico, para pasar luego a la forma de ácido acético. En estas dos primeras etapas intervienen bacterias facultativas y anaerobias, denominadas genéricamente como formadoras de ácido o fermentativas.

3-Metanogénesis: En la tercera etapa ocurre la conversión del ácido acético, dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂) a biogas. Esta conversión es efectuada por bacterias denominadas formadoras de metano o metanogénicas, las cuales son estrictamente anaeróbicas. La baja tasa de crecimiento de estos microorganismos hace que la metanogénesis sea generalmente la etapa limitante del proceso de digestión anaeróbica.

De las tres etapas mencionadas: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis la segunda es la más rápida mientras que las otras dos etapas son lentas y pueden llegar a constituirse en la fase limitante



del proceso en su conjunto, dependiendo del tipo de sustrato a procesar. La hidrólisis de la materia orgánica (carbohidratos, proteínas, lípidos) es un proceso bastante lento llevada a cabo por enzimas extracelulares. La velocidad de reacción se ve modificada fundamentalmente por factores tales como el pH y el tiempo de residencia celular.

Los lípidos se hidrolizan muy lentamente, por esta razón la etapa podría constituirse en limitante para aquellos residuos que presenten alto contenido de grasas, aceites u otros compuestos de hidrólisis lenta. (Parkin, G.F, et al ,1986)

4.3.2-Estabilidad del proceso anaeróbico

La formación de ácidos orgánicos conduce a la producción de ácido acético a partir de ácidos grasos de peso molecular más alto como el propiónico, butírico, isobutírico y valérico.

En un proceso anaeróbico estable, la concentración de ácidos grasos es bastante baja (0.1 - 0.3 kg ácido acético/m³).

En caso de inestabilidad del proceso anaeróbico se observa en forma sucesiva en primer lugar la declinación de la generación de biogas y luego la acumulación de ácidos orgánicos no transformados disueltos en el medio líquido. La acumulación de ácido acético o ácidos intermedios con mayor número de átomos de carbono en su molécula puede deberse a que el proceso está operando muy cerca de su carga máxima.

Asimismo, estos síntomas pueden indicar que existen perturbaciones en la cantidad y calidad de la alimentación del proceso, o bien que se han producido variaciones en las condiciones ambientales del mismo, por ejemplo, pH, temperatura o presencia de inhibidores.

Como la velocidad de formación de ácidos orgánicos es relativamente alta comparada con la velocidad de producción de metano, es fácil prever que un incremento repentino en la concentración de compuestos orgánicos fácilmente degradables alimentados al proceso, puede producir como consecuencia una mayor generación de ácidos orgánicos con su correspondiente acumulación.

La consecuencia práctica del desequilibrio del proceso anaeróbico es la interrupción de generación de metano, el descenso del pH en el interior del reactor y la caída de la eficiencia del proceso en la remoción de materia orgánica. .(Parkin, G.F,et al ,1986))

4.4- FACTORES AMBIENTALES

En su mayor parte, la degradación anaeróbica se lleva a cabo a través de dos tipos de bacterias: las productoras de ácido, que en general pueden desarrollarse tanto en presencia o ausencia de oxígeno (facultativas), y las productoras de metano, que necesitan ausencia total de oxígeno (anaeróbicas estrictas).

El crecimiento y desarrollo de los microorganismos se ve afectado por diversos factores ambientales físicos y químicos.

No todos los microorganismos involucrados en el tratamiento anaeróbico presentan el mismo comportamiento ante una variación determinada, siendo las bacterias metanogénicas las más sensibles a los cambios ambientales

Los factores que generalmente revisten mayor importancia son:

- Temperatura



- pH
- Sustancias tóxicas
- Nutrientes

4.4.1-Temperatura

El proceso anaeróbico puede tener lugar en un amplio rango de temperaturas, sin embargo, existen dos intervalos adecuados para la producción microbiana de metano, uno mesófilo (30 a 35°C) y otro termófilo (50 a 55 ° C).

En general el rango mesófilo resulta más adecuado por razones de economía y estabilidad del proceso.

4.4.2-pH y alcalinidad

Estos factores están íntimamente relacionados entre sí y deben controlarse para conseguir una operación adecuada del reactor anaeróbico.

El pH óptimo para el sistema depende del tipo de microorganismos predominantes, los que a su vez están condicionados por el tipo de sustrato.

Las bacterias productoras de metano tienen un crecimiento óptimo dentro del rango de pH que va de 6,6 a 7,4.

Para mantener activo el proceso de metanogénesis deben evitarse en el reactor biológico valores de pH por debajo de 6.0 y por encima de 8.3.

Por su parte, las bacterias productoras de ácido son mucho menos sensibles a la variación de pH que las metanogénicas.

Estos microorganismos generalmente tienen un crecimiento óptimo en el rango de pH entre 5.0 y 6.0 y además presentan mayor tolerancia a valores de pH inferiores.

Esto significa que la producción de ácidos en un reactor puede continuar a pesar de haber sido interrumpida la formación de metano debido a bajos valores de pH.

Por esta razón, los controles de pH tienen como principal objetivo evitar el riesgo de inhibición de las bacterias metanogénicas.

La depresión del pH en un reactor biológico anaeróbico tiene lugar cuando la alcalinidad del medio no es suficiente para neutralizar la acidez generada en el proceso.

Si las fuentes de acidez exceden la alcalinidad disponible en el medio líquido, el reactor se “acidifica” inhibiendo a las bacterias metanogénicas y como consecuencia se detiene la generación de biogas.

Para controlar el pH del medio pueden utilizarse varios productos químicos que aporten alcalinidad, entre ellos cal hidratada [Ca(OH)₂], cal viva (Ca O), carbonato de sodio (Na₂CO₃), hidróxido de sodio (NaOH), bicarbonato de sodio (NaHCO₃) y bicarbonato de amonio (NH₄HCO₃).

Si bien desde el punto de vista del costo del reactivo la cal es generalmente el neutralizante más económico, su uso puede llegar a ocasionar problemas operacionales como consecuencia de su insolubilidad.

El gas carbónico (CO₂) reacciona con la cal para formar bicarbonato de calcio, dando lugar a la formación de incrustaciones y precipitados indeseables, pudiendo llegar incluso a provocar vacío en los reactores sellados. Asimismo, dado que el hidróxido de calcio es una base fuerte, se corre el riesgo de alcanzar un pH final muy elevado en el caso de una dosificación accidentalmente excesiva.



Por otra parte, el bicarbonato de sodio (Na_2CO_3) es fácil de manipular, bastante soluble y su equilibrio químico no depende del gas carbónico para mantener el pH. Sin embargo, su costo es comparativamente elevado respecto de la cal.

La posibilidad y conveniencia de utilizar amoníaco dependerá de las condiciones locales y del residuo a tratar. Este producto presenta la ventaja de dosificar simultáneamente un agente neutralizante y nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento bacteriano. Sin embargo, es necesario evaluar si el efluente a tratar tiene amoníaco en exceso o bien si el mismo proceso anaeróbico lo genera debido a, por ejemplo, la descomposición de proteínas.

4.4.3- Sustancias Tóxicas

El tratamiento adecuado de efluentes que contienen materia orgánica utilizando algún tipo de proceso biológico, cualquiera sea éste, se logra estableciendo y manteniendo un ambiente favorable para el desarrollo de los microorganismos deseados. Para ello es necesario controlar y eliminar los compuestos inhibidores y tóxicos que puedan afectar la estabilidad del cultivo biológico que se desea preservar.

Existen diversos compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden ser tóxicos o inhibidores del proceso biológico anaeróbico, y es importante reconocer que algunos de ellos son generados en el mismo proceso, como es el caso de los ácidos orgánicos volátiles, el sulfuro de hidrógeno (SH_2) y el amoníaco (NH_3).

Para la operación de reactores anaeróbicos es importante conocer la máxima concentración permitida de H_2S no disociado. Hay reactores con elevada capacidad de retención de biomasa, que pueden tolerar mayores niveles de sulfuro, en el orden de los 170 mg $\text{H}_2\text{S}/\text{L}$.

Existen planes de contingencia para evitar que la concentración de sulfuros en el reactor exceda los valores máximos tolerados.

4.4.4- Nutrientes

Dentro de los requerimientos necesarios para un desarrollo adecuado del proceso biológico se encuentra la disponibilidad de elementos nutrientes indispensables para el crecimiento de la biomasa.

Los efluentes industriales, con frecuencia no presentan una composición balanceada de nutrientes, por lo que resulta necesario aportarlos desde el exterior del proceso, generalmente en la forma de sales.

Para describir los requerimientos nutricionales básicos de un cultivo biológico utilizado para depurar aguas residuales se emplea a menudo la relación Carbono/Nitrógeno (C/N). (Lemos, 2007)

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1. (Moreno, 2011)

A fin de trabajar con un parámetro asimilable a distintos tipos de aguas residuales, se utiliza la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como una medida común y equivalente de carbono. Por esta razón, para expresar el balance de nutrientes generalmente se emplea la relación DQO/N.



El requerimiento de fósforo se considera implícito ya que la relación N/P es de aproximadamente 7/1 La proporción de nutrientes mínima requerida por un proceso biológico varía entre 1000/7 (DQO/N) para bajas cargas a 400/7 para altas cargas de sustrato. De la misma forma se requiere una relación N/P de aproximadamente 7/1 (Henze y otros,1982).

4.5-APLICABILIDAD DEL PROCESO ANAERÓBICO

Características del agua residual:

4.5.1-Concentración de materia orgánica

En general, la conveniencia económica de utilizar procesos anaeróbicos en la depuración de un agua residual comienza a evidenciarse cuando su concentración de materia orgánica supera los 2000 mg DQO /L, ya que por un lado se incrementa el ahorro en energía de aeración debido a que ésta resulta innecesaria. Por otro lado, crece la cantidad de biogas generable, el cual podría contribuir a la calefacción del reactor si se aprovechara su poder calorífico.

4.5.2-Temperatura

Cuando la temperatura del efluente líquido a tratar se encuentra en el rango de 30 a 35°C, se dan condiciones óptimas para el proceso anaeróbico. Sin embargo, cuando la temperatura es inferior, el proceso sigue siendo viable pero a expensas de una mayor cantidad de biomasa, lo que implica un reactor más voluminoso.

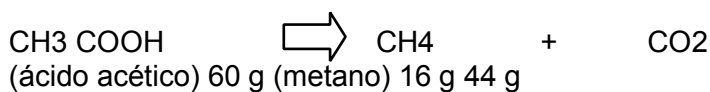
4.5.3-Alcalinidad

La presencia de una proporción significativa (30% aproximadamente) de dióxido de carbono (CO₂) en el biogas y la generación de ácidos orgánicos como productos intermedios previos a la metanogénesis, hacen que el proceso anaeróbico sea generador de acidez y por lo tanto, resulte preferible económicamente el tratamiento de aguas residuales que presenten una alcalinidad que, expresada en mg CaCO₃/L, sea del orden del 25 al 50% de la DQO a tratar.

4.5.4-Potencial de generación de metano

Es importante conocer el potencial de generación de metano de un agua residual ya que nos puede dar una idea de la energía que es posible recuperar a partir del tratamiento de este residuo. En principio, es conveniente realizar un ensayo de biodegradabilidad en el laboratorio para poder conocer en forma experimental el potencial de generación de metano. Sin embargo, si el agua residual en cuestión es de biodegradabilidad conocida, entonces es posible estimar este potencial como sigue:

Conversión de ácido acético en metano:



Oxidación de ácido acético y equivalencia en DQO:





(ácido acético) 60 g (DQO) 64 g 88 g 36 g

Generación de biogas en condiciones normales de presión y temperatura:

16 g CH₄ 60 g CH₃ COOH 1 mol CH₄ 22,4 L CH₄ (CNPT)
60 g CH₃COOH 64 g DQO 16 g CH₄ 1 mol CH₄

0,35 L CH₄ (CNPT) / g DQO transformado (Henze y otros, 1982).

*Experimentalmente y mediante la ley de los gases ideales, se ha podido comprobar que el volumen que ocupa un mol de cualquier gas ideal en condiciones estándar (Presión de 10⁵ pascales (1 bar), Temperatura de 273,15 K, 0 °C) es de 22,4 litros

4.6-TIPOS DE PROCESOS ANAERÓBICOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Los digestores anaeróbicos pueden clasificarse como de baja velocidad o de alta velocidad

Reactores anaeróbicos de baja velocidad:

- Estanques anaeróbicos
- Tanques sépticos
- Tanques Imhoff
- Digestor anaeróbico de velocidad estándar

Reactores anaeróbicos de alta velocidad:

- Crecimiento suspendido:
 1. Digestores anaeróbicos de alta velocidad
 2. Proceso anaeróbico de contacto
 3. De flujo ascendente con lecho/ manto de lodo
 4. Reactor de secuencia tipo batch
- Crecimiento adherido:
 1. Filtro anaeróbico
 2. Reactor de lecho fluidizado/expandido
- Otros:
 1. Reactor de lecho granular estático
 2. Reactor de membrana anaeróbica
 3. Reactor híbrido

Los reactores anaeróbicos de baja velocidad no se encuentran mezclados. Condiciones tales como la temperatura, el TRS y otras no están controladas. La tasa de carga orgánica es baja, en el rango de 1-2 kg DQO/m³.día. Esta configuración de bioreactor no es adecuada para la producción de bioenergía. Sin embargo, algunos tanques y lagunas anaeróbicas son cubiertos y se mezclan para favorecer la producción de biogás y su posterior recuperación.

Los sistemas anaeróbicos de alta velocidad mantienen un alto nivel de biomasa en el bioreactor.



Las condiciones ambientales se mantienen de manera de optimizar el funcionamiento del bioreactor. Las tasas de carga orgánica varían de 5 a 30 kg DQO/ m³.día o incluso superiores. Los reactores anaeróbicos de alta velocidad son más apropiados para la producción de bioenergía

Reactor anaeróbico de alta velocidad

Los digestores anaeróbicos de alta velocidad consisten esencialmente de un reactor continuo con agitación, que opera bajo condiciones mesofílicas o termofílicas.

El desarrollo de fermentadores para la metanogénesis presenta extremados problemas en comparación con la mayoría de los fermentadores para otros procesos. Las consecuencias del fallo del proceso pueden ser grandes, particularmente si la operación de la planta productora debe cesar cuando el efluente no se trata continua y satisfactoriamente.

Algunos de los parámetros que se deben considerar para el funcionamiento de reactores anaeróbicos son:

Tiempo de retención de sólidos (TRS): El tiempo de retención adecuado requerido para una digestión efectiva. Puede ser evaluado en estudios a escala de laboratorio o escala piloto o mediante la evaluación de una planta existente, basándose en la producción máxima de bioenergía como función del TRS.

El tiempo de retención puede variar entre 15 a 30 días para la digestión mesofílica y entre 5 a 15 días para la digestión termofílica. El tamaño del digestor puede estimarse conociendo el volumen de residuos producidos. Es importante destacar que esta aproximación no considera las características del residuo.

Tasa de carga de sólidos volátiles (SV): La tasa de carga de SV es la aproximación más utilizada para dimensionar el digestor anaeróbico. Una tasa de carga de SV típica para una digestión mesofílica es de 1.6 – 4.8 kg/m³.día. Para un digestor termofílico, la tasa de carga de SV puede ser el doble de uno mesofílico.

Reducción de sólidos volátiles: La degradación de SV puede estimarse utilizando la siguiente ecuación empírica (Metcalf y Eddy, 2003):

$$V_d = 13.7 \ln(\text{TRS}) + 18.9$$

Donde V_d es la degradación de sólidos volátiles (%) y TRS es el tiempo de retención de sólidos (días).

En esta ecuación, la reducción o degradación de SV se correlaciona con el TRS, el cual puede utilizarse para calcular el volumen del digestor.

Proceso anaeróbico de contacto

El diseño del proceso anaeróbico de contacto (PAC) se compone de un reactor anaeróbico de tipo convencional con agitación, donde se pone en contacto el efluente que alimenta el reactor con la biomasa anaeróbica que existe dentro del mismo. Esto permite que los compuestos orgánicos solubles y coloidales se degraden en primer término, con un TRH de 12 a 24 horas. Los microorganismos son capaces de adherirse a las partículas formando sólidos sedimentables en el proceso. La eficiencia de este sistema está estrechamente ligada con la buena sedimentación que se logre en el decantador, para lo cual puede colocarse un desgasificador antes de la entrada del líquido en tratamiento al decantador. El desgasificador permite remover las burbujas de biogás (CO₂ y CH₄) adheridas a las partículas del lodo, permitiendo su mejor sedimentación.

En caso contrario, el lodo tiende a flotar en la superficie. La fracción de sólidos sedimentables que llega con el efluente de alimentación junto con la biomasa activa se retira en un decantador, ubicado después del reactor anaeróbico (decantador secundario). El lodo obtenido se concentra y recircula nuevamente hacia el reactor. Esto posibilita que el TRS en el sistema sea del orden de 25 a 40 días, produciendo la hidrólisis de los sólidos y su posterior mecanización.(Figura11). El líquido claro que sale por la parte superior del decantador se puede derivar hacia una etapa final de tratamiento aeróbico a fin de realizar una depuración adicional, reincorporar oxígeno disuelto en el líquido tratado, previo a su vertido a un curso receptor

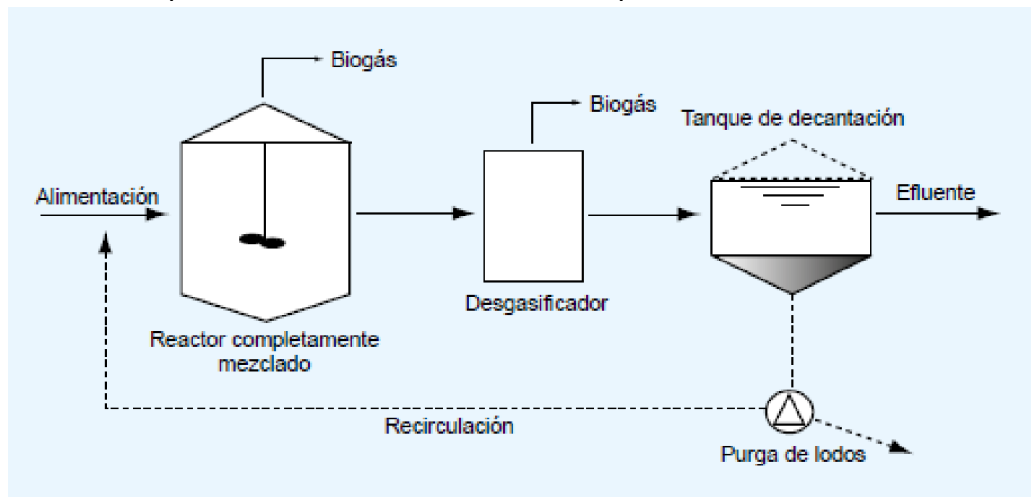


Figura 11: Esquema de un proceso de contacto anaeróbico (PAC)

El PAC es particularmente útil para corrientes con alta carga de sólidos suspendidos. La concentración de biomasa típica de un reactor PAC es de 4 – 6 g/L, con concentraciones máximas alcanzando 25 – 30 g/L, dependiendo de la habilidad para decantar del lodo. La tasa de carga varía entre 0.5 a 10 kg DQO/m³.día.(Varnero,M.T, 2011)

Filtro anaeróbico

Dependiendo de la forma de alimentación, un filtro anaeróbico puede clasificarse como filtro anaeróbico ascendente (FAA), filtro anaeróbico descendente (FAD), o filtro anaeróbico de alimentación múltiple (FAM) Generalmente no se recomienda la recirculación para una máxima recuperación de energía.

Los filtros anaerobios pueden trabajar con relleno plástico u otros materiales con una porosidad de relleno de 40 a 90%, y una concentración de biomas de 5 a 15 kg SSV/m³

Tienen la ventaja, de una buena respuesta frente a diferentes tipos y concentraciones de alimentación, y buena estabilidad frente a variaciones de carga hidráulica, orgánica y presencia de Tóxicos. La puesta en marcha es relativamente rápida, bajo requerimiento de área y retorno al servicio rápido.

Las desventajas se presentan en el costo y el riesgo de oclusión del material de relleno por acumulación de sólidos inertes. La relación contacto del sustrato/microorganismos es limitada. Su



uso es limitado a líquidos residuales con baja concentración de sólidos suspendidos. Y la concentración de sólidos de salida es relativamente alta. (Varnero, M.T, 2011)

Reactor UASB

Es un reactor de flujo ascendente de alta eficiencia y opera en régimen continuo

En este digestor existen 3 zonas bien definidas

- Zona de lecho de lodos, en la cual se concentran los microorganismos que van a biodegradar el material orgánico presente en el agua residual a tratar.
- Zona donde se encuentran dispersos los microorganismos a lo largo del UASB.
- Zona de separación gas - líquido - sólido

El diseño se compone del volumen necesario de biodigestión donde se pone en contacto el efluente crudo (con los sólidos suspendidos, coloidales y solubles que posee) con la biomasa anaeróbica que existen dentro del mismo. Esto permite que los compuestos orgánicos solubles y coloidales se degraden en primer término, (Se hidrolizan) porque requieren un tiempo de resistencia hidráulico menor, para transformarse en sustratos solubles y ser metabolizados por la flora anaeróbica. La degradación de los sólidos sedimentables requiere un tiempo de residencia mayor dentro del biodigestor, ya que primero debe ocurrir la hidrólisis antes mencionada.

La hidrólisis de los sólidos y su posterior metanización se produce en un tiempo de retención de los sólidos del orden de 25 a 40 días. Se toma para los cálculos $TRH=30$ días

Las ventajas que ofrece este sistema es la eficiencia satisfactoria en la remoción de DBO. Bajo requerimiento de área. Costos de instalación y operación bajos. Consumo de energía reducido. No necesita de medio soporte. Construcción, operación y mantenimiento sencillos. Bajísima producción de barro. Estabilización del barro en el mismo reactor. Baja necesidad de disposición del barro. Reinicio rápido del barro después de periodos prolongados de paralización.

Las desventajas que presenta este sistema es dificultad en satisfacer niveles de vuelco muy restrictivos. Efluente con aspecto desagradable. Problemas para la granulación de la biomasa. Remoción insatisfactoria de N y P. Posibilidad de generación de malos olores. Puesta en marcha lenta del sistema. Relativamente sensible a las variaciones de carga. Restringido al tratamiento de afluentes con baja concentración de sólidos. (McCarty, P.L., 1982).

Reactor anaeróbico en secuencia tipo batch

Este sistema funciona por ciclos y no en flujo continuo, donde cada ciclo de operación se divide en cuatro etapas

- (1) Alimentación: el afluente es incorporado al reactor
- (2) Reacción: etapa de tiempo variable en donde ocurre, en mayor grado, la degradación de la materia orgánica.
- (3) Sedimentación: se detiene la agitación y la biomasa decanta, separándose del efluente clarificado
- (4) Descarga: el efluente depurado (clarificado) es retirado del reactor.

Este tipo de reactor presenta ciertas características particulares que lo hacen ventajoso frente a los sistemas convencionales continuos. Presenta una gran flexibilidad de operación, pudiendo lograrse



la adaptación de la biomasa a un determinado tipo de sustrato. Permite un mejor control del proceso y una mejor calidad del efluente, ya que la descarga puede ser llevada a cabo cuando el efluente presenta los estándares requeridos. La biomasa se encuentra en un estado dinámico de abundancia y escasez de sustrato, simulando de mejor manera el estado fisiológico natural de los microorganismos. La operación puede llevarse a cabo sin recirculación de sólidos ni de líquido, a menos que ésta se utilice como agitación. La etapa de sedimentación se realiza dentro del mismo reactor por lo que no es necesaria una unidad aparte. Se puede conseguir la eliminación de la etapa de sedimentación, con la consiguiente disminución del tiempo de cada ciclo, mediante la utilización de biomasa inmovilizada en soportes. (McCarty, P.L, 1982)

Reactor de lecho expandido

El reactor de lecho expandido (RLE) corresponde a una estructura cilíndrica, empaquetada hasta un 10% del volumen del reactor con un soporte inerte de pequeño tamaño lo que permite la acumulación de elevadas concentraciones de biomasa que forman películas alrededor de dichas partículas. Estos soportes pueden ser de arena, carbón activado granular u otros medios plásticos sintéticos, en los cuales ocurre la degradación de la materia orgánica. La expansión del lecho tiene lugar gracias al flujo vertical generado por un elevado grado de recirculación. La velocidad ascensional es tal que el lecho se expande hasta un punto en el que la fuerza gravitacional de descenso es igual a la de fricción por arrastre. En un RLE, se mantiene una velocidad de flujo ascendente tal que permita la expansión del lecho en 15 – 30%. (Varnero, M.T, 2011)

Reactor de lecho fluidizado

El reactor de lecho fluidizado (RLF) tiene una configuración similar al RLE. Sin embargo, el RLF es un reactor de película fija, puesto que la biomasa suspendida tiende a lavarse del sistema debido a la alta velocidad del flujo ascendente. La expansión del lecho es del orden de 25 – 30% del volumen del lecho sedimentado en el RLF. Este requiere una velocidad de flujo ascendente mucho mayor de 10-25 m/hr. Los soportes se sostienen completamente por la velocidad del flujo ascendente y por ende pueden moverse libremente en el lecho. El RLF no presenta problemas de obstrucción y proporciona una mejor difusión del sustrato dentro de la biopelícula. Son utilizados para una alta carga orgánica de diseño: 20 – 40 Kg DQO/m³.día. Superficie requerida muy pequeña. Son reactores muy esbeltos: 12 – 20 m y de elevada velocidad ascensional: 8 – 30 m/h. Efluentes de baja temperatura (< 20°). Aguas residuales diluidas. Efluentes que contienen tóxicos biodegradables. Efluentes que producen problemas de espumas: grasas, lípidos y proteínas. (Varnero, M.T, 2011)

Bioreactor de membrana anaeróbica

El bioreactor de membrana anaeróbica (BMA) integra una unidad de membrana dentro de un reactor o en un circuito externo para facilitar la separación sólido-líquido. Un BMA es capaz de retener biomasa y por ende puede operar a TRS extremadamente largos, independiente del TRH, lo cual es un prerrequisito para una operación de proceso anaeróbico exitoso. En la actualidad, las membranas presentan un gran potencial en la biotecnología anaeróbica para la obtención de energías renovables. Esto es particularmente importante para corrientes de alimentación con alto contenido de materia particulada. (Varnero, M.T, 2011)



Digestor de mezcla completa

Corresponde al tipo de reactor más simple y puede ser de mezcla completa sin recirculación o con recirculación.

Digestor de mezcla completa sin recirculación

Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica (agitador de hélice o palas, de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión), y se realiza a baja velocidad. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos. Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente. Si la velocidad de reacción depende de la concentración, como es el caso de los procesos biológicos, la velocidad será baja, y la forma de compensarla es aumentando el tiempo de reacción. (Varnero, M.T, 2011)

Digestor de mezcla completa con recirculación

Este sistema tiene el nombre de reactor anaerobio de contacto y sería equivalente al sistema de lodos activos aerobios para el tratamiento de aguas residuales.

Se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y re-circulación. Debido a la necesaria separación de microorganismos en el decantador, este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc.), para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido, con la fracción sólida consistente básicamente en flóculos biológicos. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida. (fig 12) (Varnero, M.T, 2011)

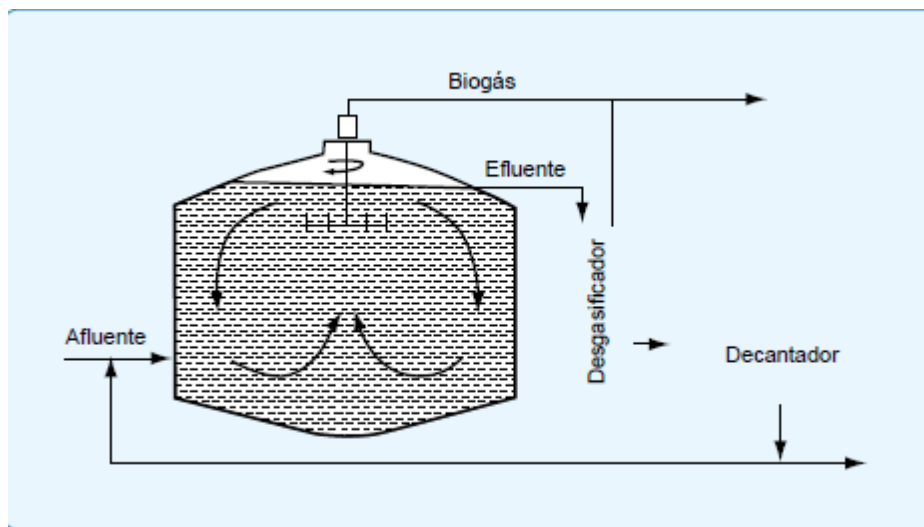


Fig 12: Reactor de mezcla completa con recirculación

Otros sistemas

Los reactores anteriores pueden ser combinados para conseguir sistemas más eficientes, según el tipo de residuo a tratar.

Sistemas de dos etapas

Estos sistemas consisten en un primer reactor con elevado tiempo de retención, en el cual se favorece la hidrólisis, seguido de un reactor de bajo tiempo de retención que digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos en la primera etapa. Si la primera etapa consiste en un reactor discontinuo, el líquido tratado en la segunda es el obtenido por percolación en la primera una vez recirculado el efluente de la segunda. Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor. Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc.

Sistemas de dos fases

A diferencia de los sistemas de dos etapas, la separación de fases mantiene dos reactores en serie, en los cuales se llevan a cabo las fases de acidogénesis y metanogénesis, respectivamente, y su objetivo es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa. La separación es de tipo cinético, controlando el tiempo de retención de cada reactor, el cual será inferior en el primero, debido a las más altas tasas de crecimiento de las bacterias acidogénicas. Este tipo de sistema ha sido aplicado con éxito a la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos. Sin embargo, es poco eficiente para residuos con fibras y, en general, sustratos complejos cuyo limitante es la hidrólisis. (Varnero M.T,2011)



CAPITULO 5: PROPUESTA DE OPTIMIZACION



5.1-ESTADO ACTUAL

Actualmente, en la planta de bioetanol Promaíz S.A. se realiza un tratamiento biológico de las aguas residuales en lagunas de estabilización, sin recuperación de biogas y sin tratamiento de sedimentos. Las lagunas de estabilización ofrecen la ventaja de su muy sencilla y rápida ampliación, de modo que es fácil ir aumentando la capacidad de tratamiento a medida que aumentan los caudales a tratar, si hay terreno disponible.

Además, con el tratamiento de lagunas se pueden obtener un grado de reducción de compuestos orgánicos apreciable, con inversiones y costos de operación y mantenimiento muy bajo.

Por otra parte este tratamiento requiere de mucha superficie de terreno.

5.2-PROPUESTA

La propuesta de optimización consiste en incluir en la planta de tratamiento actual una etapa basada en el Proceso Anaeróbico de Contacto (PAC) descrito en el Capítulo 4. Es importante destacar que el tratamiento anaeróbico destinado a efluentes industriales no debe ser pensado como tratamiento completo sino que será acompañado de un post- tratamiento aeróbico capaz de remover la carga orgánica residual (DBO y DQO). De esta forma, el proceso anaeróbico se constituirá en un pre-tratamiento apto para tratar efluentes industriales.

La propuesta consiste en la incorporación de un reactor de contacto para la recuperación de metano, dividida en cuatro módulos, ubicado antes de las lagunas facultativas que se encuentran en operación en la actualidad, a fin de reducir de manera significativa el contenido orgánico de las aguas residuales y capturar el biogás generado.

El lodo generado podría aplicarse al suelo dentro de los terrenos linderos de la planta, para lo que habrá que realizar su caracterización y evaluar su impacto sobre el ambiente.

La reducción de las emisiones se lograría mediante la recuperación del metano producido en la degradación de la materia orgánica que contienen las aguas residuales tratadas en el proceso anaeróbico de contacto (PAC).

En el PAC se pone en contacto el efluente crudo (con los sólidos suspendidos, coloidales y solubles que posee) con la biomasa anaeróbica que existe dentro del mismo. Esto permite que los compuestos orgánicos solubles y coloidales se transformen primero, por su mayor biodegradabilidad.

La degradación de los sólidos sedimentables requiere un tiempo de residencia mayor dentro del biodigestor, dado que debe lograrse, en primer término, su hidrólisis para transformarse luego en sustratos solubles metabolizables por la biomasa anaeróbica.

El PAC ofrece alta eficiencia de remoción de materia orgánica del líquido tratado, recupero de energía y reducción de olor.

Constructivamente, consiste en una nueva laguna, cubierta por una membrana flotante de polietileno de alta densidad.

El fondo de la laguna se cubre con una capa del mismo material a fin de evitar la infiltración en el suelo.

Las aguas residuales se bombean a la laguna, donde el biogás se produce y acumula debajo de la membrana.

Para un completo tratamiento de los efluentes, se llevan a cabo los siguientes pasos:



Pretratamiento del agua residual mediante rejas y equalización del caudal.

Tratamiento biológico primario por contacto anaeróbico

Tratamiento biológico secundario con las lagunas existentes

Descarga del efluente clarificado al río Cuarto

En la figura 13, se muestra la planta de tratamiento propuesta

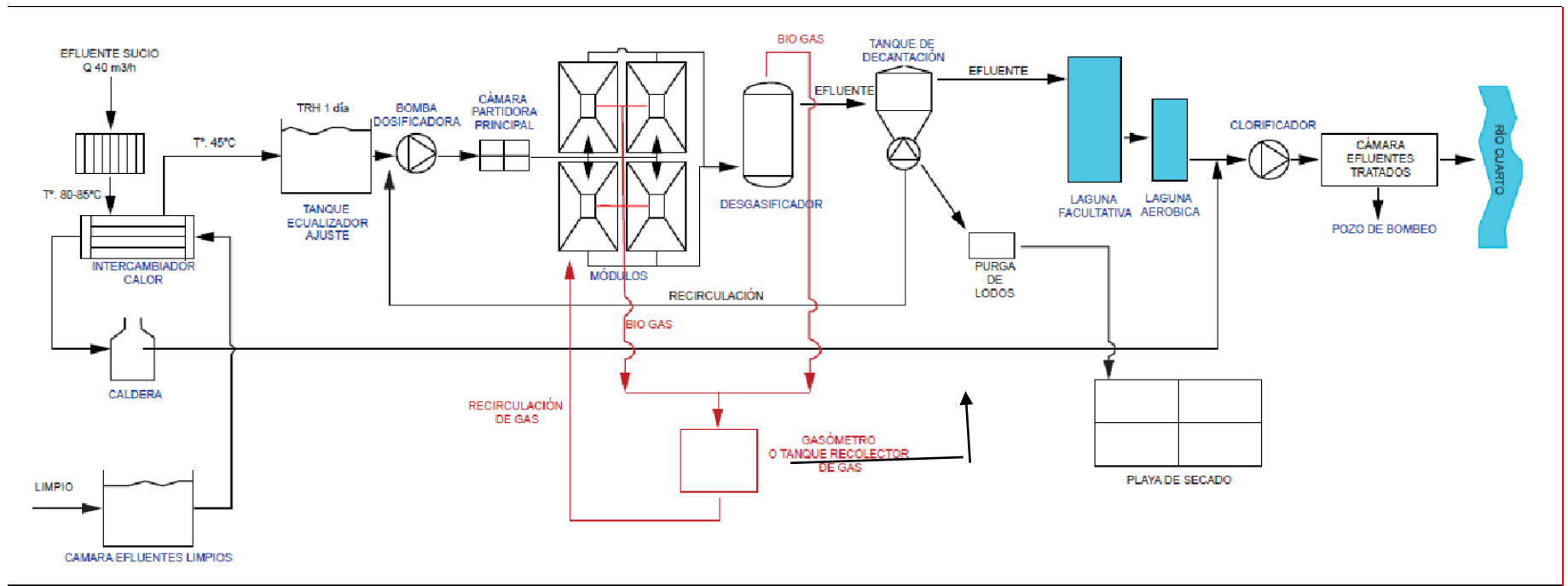


Figura 14: Diagrama de la Propuesta de Optimización



El efluente a tratar pasa primero por un sistema de retención de sólidos groseros. A fin de lograr un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento, conviene colocar un tanque previo de homogeneización del caudal diario a tratar, con un tiempo de residencia hidráulico de un día. Esto facilita que los equipos de tratamiento posteriores funcionen de manera más regular.

En este “tanque equalizador”, puede regularse el pH (entre 6.5 – 7.5) antes de ser enviado al digestor. El ajuste se realiza con hidróxido de sodio o ácido sulfúrico según corresponda, También, si fuera necesario, pueden añadirse nutrientes (Fósforo y Nitrógeno), medidor de pH, medidor de temperatura.

El efluente a tratar llega a 80-85°C aproximadamente. Por ello, previamente es pasado por un intercambiador de calor donde se cruza con la corriente de agua que alimenta a la caldera, para recuperar energía pre-calentado el caudal de ingreso a caldera y enfriando el que se dirige a las lagunas.

El líquido a tratar ingresa al PAC con la recirculación de biomasa separada en el tanque de recuperación. La mezcla se distribuye mediante una “cámara partidora”, que divide el caudal en la cantidad de módulos previsto (4 cuatro), ingresando por el fondo de ellos. El caudal que trata cada módulo asciende a través de un manto de biomasa anaeróbica activa, que se alimenta de los sustratos biodegradables del líquido, logrando su depuración.

Los microorganismos del proceso que producen biogas se adhieren a las partículas de sólidos suspendidos, dificultando su sedimentación. Por eso, es conveniente colocar un desgasificador a la salida del biodigestor, que permite remover las burbujas de biogás (CO₂ y CH₄) adheridas a las partículas del lodo, permitiendo así una mejor sedimentación.

El tanque de decantación, también resulta muy útil como una trampa de sólidos ante un evento imprevisto, como puede ser un eventual escape de sólidos debido a una sobrecarga orgánica o hidráulica. El lodo separado contiene sólidos no biodegradables y parcialmente hidrolizados, así como biomasa activa que se recircula al reactor. Sin embargo, una fracción del lodo se retira del tanque de decantación a fin de mantener el tiempo de retención de sólidos (TRS) en el reactor PAC en el orden de 25 a 40 días. El lodo retirado se deshidrata y seca.

El líquido clarificado que sale por la parte superior del decantador se deriva hacia una etapa final de lagunas de tratamiento facultativo y aeróbico a fin de realizar una depuración adicional, reincorporar oxígeno disuelto en el líquido tratado de forma natural, previo a su vertido al curso receptor.

El efluente tratado en las lagunas es impulsado hacia la Cámara Colectora de Efluentes Tratados, en ella se mezcla con el efluente limpio de las Actividades de Servicio

Esta Cámara Colectora de Efluentes Tratados, se encuentra aguas abajo del sistema de lagunas y de la cámara de contacto para desinfección con cloro. Ésta cámara es un pozo de bombeo que impulsa el líquido tratado hacia el río IV (con la opción de enviar a sistema de riego en el futuro).

El lodo retirado se envía a una playa de secado, donde permanece hasta alcanzar un nivel de humedad de aproximadamente 40 a 50%, lo que permite su retiro con palas. Esta etapa puede demandar entre 30 y 60 días, dependiendo de las condiciones atmosféricas y la estación. Los sedimentos ya secos se pueden utilizar como mejorador de terreno.

Para determinar si el proceso de biodigestión está operando adecuadamente y maximizar la producción de biogas se realizara un monitoreo de los parámetros críticos.



La metodología se basará en la medición de parámetros operativos que indican si el biodigestor está siendo alimentado adecuadamente, si el proceso está inhibido o si el proceso está operando en condiciones óptimas.

A través de estas mediciones periódicas podremos tomar acciones inmediatas para evitar que el proceso se inhiba cuando el digestor esté operando deficientemente, o para mejorar o maximizar la producción de biogás.

Durante el proceso de biodigestión, se generan ácidos grasos volátiles (FOS, por sus siglas en alemán) y la biomasa contiene carbonatos inorgánicos (TAC, por sus siglas en alemán) que son las sustancias que impiden la acidificación del biodigestor

FOS/TAC : la relación entre los ácidos orgánicos volátiles y la capacidad de compensación alcalina es una medida del riesgo de acidificación de una planta de biogás.

El conocimiento de la relación FOS/TAC permite detectar a tiempo los problemas del proceso, hasta el eminente vuelco de la fase biológica del digestor, con lo que pueden tomarse contramedidas inmediatas.

La relación FOS/TAC es un valor guía para evaluar los procesos de fermentación en un biodigestor. Esta metodología fue desarrollada en Alemania por el centro federal alemán de investigación agrícola (bundesforschungsanstalt für landwirtschaft/fal).

La relación FOS/TAC indica la proporción que existe entre los ácidos grasos volátiles y la capacidad del medio de amortiguar cambios en el pH y evitar la inhibición del proceso de biodigestión.

Mediante el resultado de esta medición se pueden tomar decisiones en cuanto a la alimentación o modificación de parámetros de operación de un biodigestor. (Aqua Limpia Engineering, 2015)



Fig.15:Equipo para medir la relación FOS/TAC

Otros parámetros de medición son: sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), nitrógeno total (NTK), fósforo total (PT), sulfuros (S-2), demanda química de oxígeno (DQO). Algunos cada 48 horas y otros cada 7 días. (Aidis, 2017)

5.2.1-Parámetros de Descarga

El establecimiento industrial Promaíz S.A. está ubicado en la provincia de Córdoba. El cuerpo receptor de los efluentes generados es el río Cuarto.



La utilización de los cuerpos receptores superficiales y subterráneos, deberá contar con la autorización previa y específica de la D.A.S. (hoy Di.P.A.S.), ajustada a pautas y condiciones que se establecen en el Decreto 415/99

Ver tabla 2 donde se muestran los parámetros de descarga mas significativos

Tabla 2: Parámetros de Descarga

PARAMETROS DE DESCARGA SEGÚN DECRETO 415/99 DE CORDOBA			
PARÁMETROS	CUENCA DE APORTE	EMBALSE	CUENCA DE DRENAJE
TEMPERATURA (I)	≤ 40° C	≤ 30° C	≤ 40° C
SOL. SED. 10 min.	≤ 0,5 ml/l.	≤ 0,1 ml/l.	≤ 0,5 ml/l.
SOL. SED. 2 Hs. (II)	≤ 1,0 ml/l.	≤ 0,5 ml/l.	≤ 1,0 ml/l.
pH.	6,0 ~ 9,0	6,0 ~ 9,0	6,0 ~ 9,0
OXIG.CONSUMIDO (III)	≤ 20 mg/l.	≤ 20 mg/l.	≤ 20 mg/l.
D.B.O.5 (IV)	≤30 mg/l.	≤ 30 mg/l.	≤50 mg/l. (V)
DEM. DE CLORO (VI)	Se deberá satisfacer y no exceder un residual de 0,10 mg/l	Se deberá satisfacer y no exceder un residual de 0,10 mg/l.	Se deberá satisfacer y no exceder un residual de 0,10 mg/l.
SULFUROS	≤ 1,0 mg/l.	≤1,0 mg/l.	≤ 1,0 mg/l.
FOSFORO TOTAL	≤ 0,5 mg/l.	≤0,5 mg/l.	≤ 10 mg/l
NITRÓGENO TOTAL	≤ 10 mg/l.	≤ 10 mg/l.	≤ 20 mg/l
ARSÉNICO	≤ 0,5 mg/l.	≤ 0,5 mg/l.	≤ 0,5 mg/l.

5.2.2-Características del Efluente

El efluente líquido crudo (sin tratar) de las plantas de producción de alcohol presenta como principales parámetros indicadores de contaminación a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y pH. El caudal total de los Líquidos Residuales es está conformado según puede observarse en la tabla 3

Tabla 3: Caudal Total Líquidos Residuales

CAUDAL TOTAL DE LIQUIDOS RESIDUALES



PROCESO	Q(m ³ /h)	ACTIVIDADES DE SERVICIO	Q(m ³ /h)
Licuación y Sacarificación	0,8	Osmosis	20,8
Preparación de productos químicos	10,5	Caldera	2
Destilación	2	Torres de Enfriamiento	37,2
Evaporación	25,3		
TOTAL	38,6		60

Características del efluente limpio:

El caudal de efluentes limpios es de 60m³/h, y los mismos se generan de manera continua 24hs diarias

Características del efluente sucio

Como consecuencia del proceso productivo, y luego de la etapa de pretratamiento que incluye la producción de DDGS (grano seco soluble de destilería) a partir de la vinaza, se genera un caudal de agua residual industrial de 40m³/h, de régimen continuo 24hs diarias.

La hidrólisis depende, como ya dijimos, de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH₄⁺ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

Se puede observar también que es un efluente que carece de proteínas.

En la tabla 5 se indican parámetros de calidad de este líquido residual. La información fue suministrada por el Laboratorio de la Planta Promaiz y son valores promedios, tomados de 24 muestras compensadas. En caso de concretarse la propuesta deberá elaborarse un programa de muestreo exhaustivo.

Tabla N°5: Caracterización del Efluente



CARACTERIZACION DEL EFLUENTE		
DETALLE	CANTIDAD	UNIDADES
CAUDAL DE EFLUENTES		
Caudal Total de Efluente del proceso	960	m ³ /dia
PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DEL EFLUENTE		
Demanda Química de Oxígeno Total (DQO)	3680	mgDQO/lit o ppm
Carga Calculada como DQO	3533	Kg DQO /dia
Demanda Biológica de Oxígeno Total (DBO)	1590	mg DBO/lit o ppm
Carga calculada como DBO	1526	Kg DBO /dia
Solidos Suspendidos Totales	920	mg/lit
Solidos Suspendidos Volatiles	487	mg/lit
Solidos Suspendidos Fijos	433	mg/lit
Sedimentacion 10´	Ausentes	ml/lit
Sedimentacion 120´	<0,1	ml/lit
Fosforo Total	2,10	mg/lit
Nitrogeno Total	1,80	mg/lit
Sulfuros	0,045	mg/lit
pH	8,21	upH
Conductividad a 25 °C	864	µS/cm
Turbidez	78	FAU

Fuente: INSECO, insumos y servicios ecológicos (Ver anexo 2)

5.2.3-Características constructivas

Este tipo de biodigestor, resulta de utilidad cuando se procesan sólidos en suspensión y lípidos, cuya hidrólisis es más dificultosa

Se realiza un recubrimiento del interior del biodigestor con una membrana de polietileno de alta densidad (PAD), PVC o EPDM de 1.000 a 1.600 micrones de espesor; a fin de lograr un reservorio totalmente estanco y evitar toda posible percolación hacia la capa freática. Se seleccionó un recubrimiento de PVC de 1.600 micrones.

La cubierta superior tiene el objetivo de recuperar el biogás producido. La unión de las dos membranas se realiza por soldadura de termofusión. El biogás se envía a un gasometro inflable desde donde se extrae para su depuración y posterior uso. Asimismo, se recircula gas a los módulos del digestor para su agitación. En el fondo de la laguna se coloca una parrilla de tuberías perforadas para que el gas recirculado tenga una mejor distribución.



5.2.4-Detalle de Funcionamiento

La alimentación se realiza por un extremo, desde la cámara partidora que comunica directamente con los módulos del digester. Los barros digeridos y acumulados en el fondo del decantador se retiran por gravedad hasta la cámara de purga de lodos, desde donde se bombean a las playas de secado.

La agitación del biodigestor se realiza mediante la recirculación de biogás.

5.2.5-Criterios de Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del reactor se tomaron datos de la bibliografía consultada Metcalf & Eddy “Ingeniería de Aguas Residuales – Tratamiento, vertido y reutilización” – Mc Graw Hill, 2003. Lo ideal sería hacer un ensayo de biodegradabilidad y estudios en planta piloto, pero ello está fuera de los alcances de este trabajo. En caso de que la empresa decidiera concretar el proyecto sería necesario realizar esas etapas.

Las dimensiones del reactor anaeróbico dependen fundamentalmente de dos factores: la carga orgánica volumétrica, la cual está vinculada al caudal de líquido tratado y su concentración, y por otro lado, el tiempo de retención hidráulico.

De la Tabla N°6, se puede seleccionar la carga orgánica de diseño.

El tiempo de residencia en el reactor está relacionado con la biodegradabilidad de la materia orgánica a transformar. Si se quiere estabilizar sólidos orgánicos, como es el caso para digestores de lodo, generalmente se requiere un tiempo de residencia hidráulico (TRH) entre 20 y 30 días, dependiendo de la temperatura. Sin embargo, si la materia orgánica está disuelta y es biodegradable, el tiempo de residencia hidráulico requerido es menor, generalmente entre 0,5 y 5 días, dependiendo del tipo de sustrato. Para conseguir esta reducción en el volumen del reactor, se desacopla el TRH del tiempo de retención celular (TRC) mediante un sedimentador y recirculación. De este modo el TRC resulta muy superior al TRH, tal como sucede en un barro activado, otro cultivo suspendido, aunque aeróbico.

Tabla N°6: Cargas orgánicas típicas para procesos anaeróbicos suspendidos a 30°C (Metcalf & Eddy 2003)

Proceso	Carga orgánica volumétrica (Kg DQO/m ³ .d)	Tiempo de retención hidráulico (d)
Contacto anaeróbico	1,0 a 8,0	0,5 a 5,0

Se adopta:

$$Carga\ orgánica\ de\ diseño = 2,5 \left(Kg \frac{DQO}{m^3} \cdot d \right)$$

Verificación del volumen:



$$TRH(d) = \frac{\text{volumen reactor}(m^3)}{\text{Caudal tratado}(\frac{m^3}{d})}$$

Rango: 0,5 a 5,0 días

5.2.6-Dimensiones del reactor anaeróbico

De la Tabla N°5 tenemos la carga orgánica a procesar

Volumen del reactor:

$$\text{Volumen de diseño del reactor}(m^3) = \frac{3533(Kg \frac{DQO}{d})}{2.5(Kg \frac{DQO}{m^3/d})} = 1413 m^3$$

Utilizando un factor de seguridad de 1,5, el volumen adoptado del reactor queda:

$$\text{Volumen adoptado del reactor}(m^3) = 1413m^3 \times 1.5 = 2120 m^3$$

Verificación del TRH:

$$TRH(d) = \frac{\text{Volumen adoptado del reactor}(m^3)}{\text{Caudal total del efluente del proceso}(\frac{m^3}{d})}$$

$$TRH(d) = \frac{2120(m^3)}{960(\frac{m^3}{d})} = 2.2 \text{ dias}$$

Se encuentra dentro del rango de verificación

Volumen de cada módulo:

Se divide el volumen total adoptado del reactor en 4 módulos para mayor flexibilidad operativa.

$$\text{Volumen x modulo} = \frac{2120 m^3}{4} = 530 m^3$$



Los módulos que componen el reactor son estanques de profundidades que van desde 2,5 m a 4,5 m. Se Adopta el valor $H=4\text{m}$

$$\text{Area} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Profundidad}}$$

$$\text{Area} \times \text{modulo} = \frac{530 \text{ m}^3}{4\text{m}} = 132,5 \text{ m}^2$$

Conviene que su forma, sea más bien rectangular con relación aproximada Largo:Ancho 3:1. Se colocan 4 módulos de 19 m de largo por 7 m de ancho, cada uno.

Dimensiones de la pileta

Las lagunas anaeróbicas son estanques de profundidades que van desde 2,5m a 4,5m. Se Adopta el valor $H=4\text{m}$

$$\text{Area} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Profundidad}}$$

$$\text{Area} \times \text{modulo} = \frac{960\text{m}^3}{4\text{m}} = 240\text{m}^2$$

Conviene que su forma, sea más bien rectangular con relación Largo :Ancho 3:1. Se colocan 4 módulos de 24 m de largo por 10 m de ancho, cada uno

5.2.7-Eficiencia de la etapa anaeróbica

Considerando una reducción media de DQO en mg/lit del 75% (Metcalf&Eddy, 2003), la concentración de DQO a la salida del reactor sería:

$$DQO_{ef} = DQO_T \times 0.25 = 3680 \frac{\text{mgDQO}}{\text{lt}} \times 0.25 = 920\text{mg/lit}$$

$$C_s = 3533 \frac{\text{kg DQO}}{\text{dia}} \times 0.25 = 883 \frac{\text{kg DQO}}{\text{dia}}$$



La remoción de carga orgánica diaria sería:

$$C_r = C_e - C_s = 2.650 \left(\text{kg} \frac{\text{DQO}}{\text{dia}} \right)$$

La carga de DQO removida de 2650 (kg DQO/dia), es la base para calcular el biogás y la biomasa generados.

5.2.8-Generación de lodo

El lodo generado por el reactor anaeróbico de contacto dimensionado se puede estimar en base a la carga removida (C_r) calculada en el punto anterior y adoptando el coeficiente de rendimiento (Y_{media}) de Metcalf&Eddy 2003:

Y_{media} : 0,08 (Kg SST/Kg DQOremovida)

Al ser un Sistema de mezcla completa con sedimentación posterior de biomasa, el contenido de biomasa en el digestor se regula en base a la recirculación desde el tanque de decantación

Producción de lodo:

Producción de lodo en base seca:

$$2650 \left(\text{Kg} \frac{\text{DQOr}}{d} \right) * 0,08 \left(\text{Kg} \frac{\text{SST}}{\text{Kg}} \text{DQOr} \right) = 212 \left(\text{Kg SST}/d \right)$$

O bien, semanalmente: $212 * 7 = 1484 \left(\text{Kg SST}/\text{semana} \right)$

Volumen de lodo

Suponiendo que el lodo a deshidratar que se extrae del tanque de sedimentación tiene una concentración de 3,0% o 30 (Kg/m³).

Comentario

En caso de que la concentración de lodo extraído del fondo del tanque de sedimentación sea inferior, se requerirá un espesamiento adicional.

$$\text{Volumen de lodo diario} = 212 \frac{\text{kg SST}}{\text{dia}} / 30 \frac{\text{kgSST}}{\text{m}^3} = 7,0 \frac{\text{m}^3}{d}$$

O bien:

$$\text{Volumen de lodo semanal} = 7,0 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 7 \text{ dias} = 49,0 \frac{\text{m}^3}{\text{semana}}$$



Verificación del tiempo de retención de sólidos (TRS):

La concentración de biomasa en el reactor se adopta en 5 (Kg SST/m³). En un proceso anaeróbico de contacto, el TRS normalmente se ubica en el rango de 30 a 60 días.

$$TRS = \text{Inventario de biomasa en el PAC (Kg SST)} / \text{Producción diaria de lodo (Kg SST/d)}$$

$$TRS = 2120 (m^3) * 5 (Kg SST/m^3) / 212 (Kg SST/d) = 50 \text{ días}$$

El valor de TRS se ubica dentro del rango habitual

5.2. 8- Dimensionamiento de la pileta de extracción de lodos.

Dimensionamiento de las playas de secado.

Las playas de secado permiten deshidratar el lodo digerido, el cual es utilizado con posteridad como abono de los terrenos linderos. Este lodo deshidratado tiene características similar a la capa vegetal del suelo.

Para estimar la superficie de playas de secado requerida para deshidratar el lodo generado, se toman en cuenta las normas brasileñas NB 570, que indican que las tasas de aplicación en playas de secado no deben superar los 15 (Kg SST/m²).

En estas condiciones, y adoptando una tasa de aplicación de 10 (Kg SST/m²), la superficie requerida semanalmente sería:

La superficie requerida semanalmente sería:

$$\text{Superficie de playa de secado} = \frac{1484 \frac{KgSST}{semana}}{10 \frac{kg SST}{m^2}} = 148,4 \frac{m^2}{semana}$$

Suponiendo dimensiones de playa de secado de: 9 m x 18 m = 162 (m²)

Con esta superficie, el volumen de la descarga semanal de lodos alcanzaría una lámina de:

$$\text{Altura de lámina de lodo} = \frac{49,0 \frac{m^3}{semana}}{162 m^2} = 0.3 m/semana$$

Esta lámina es adecuada para el llenado de la playa

Suponiendo que el ciclo de secado es de 4 semanas, se requiere una superficie total de:

$$S_{total} = 162 \frac{m^2}{semana} \times 4 \text{ semanas} = 648 m^2 \text{ distribuidos en 4 playas de secado}$$

Comentario

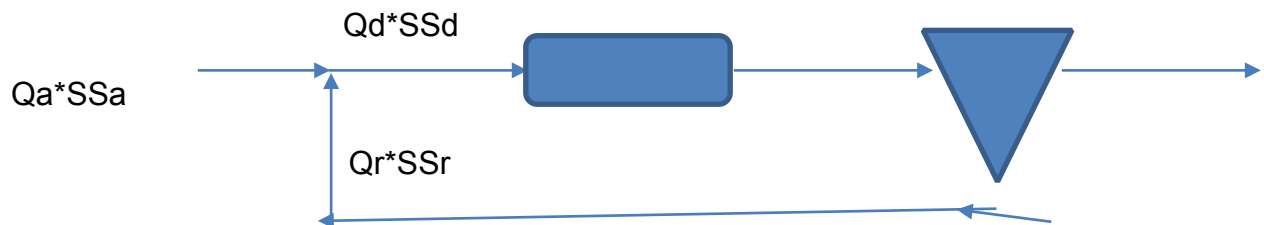


Para aumentar la flexibilidad operativa, previendo concentraciones de lodo menores y dificultades climáticas que extiendan el ciclo de secado, se podrían agregar entre 2 y 4 playas adicionales.

5.2.8-Recirculación

Se calcula la relación de recirculación necesaria para mantener la concentración de sólidos suspendidos del líquido mezcla

Mediante un balance de masa, se calcula la relación de recirculación necesaria para mantener la concentración de sólidos suspendidos en el líquido mezcla del PAC.



$$Qa * SSa + Qr * SSr = Qd * SSd$$

Considerando: $SSa = 0$

$$Qr * SSr = (Qa + Qr) * SSd$$

Considerando: $SSr = 30000 \text{ mg/L}$ y $SSd = 5000 \text{ mg/l}$

$$Qd = Qa + Qr$$

$$Qr * SSr = Qd * SSd$$

$$Qr = \frac{Qd * SSd}{SSr}$$

$$Qr = \frac{960 \text{ m}^3/\text{d} * 5000 \text{ mg/l}}{30000 \text{ mg/L}} = 160 \text{ m}^3/\text{d}$$

Comentario

En caso de que la concentración de la línea de recirculación sea inferior a la prevista, se deberá incrementar el valor de Qr . Esta flexibilidad debería estar prevista en el proyecto.

5.2.9- Generación de Energía Renovable (Biogás - Metano Biológico)

El biogás liberado se captura en una bóveda, instalada en la parte superior del reactor. De allí se envía a un gasómetro de donde se recircula a los módulos y también se extrae para su purificación y uso posterior.

Conversión de la Materia Orgánica en Biogas

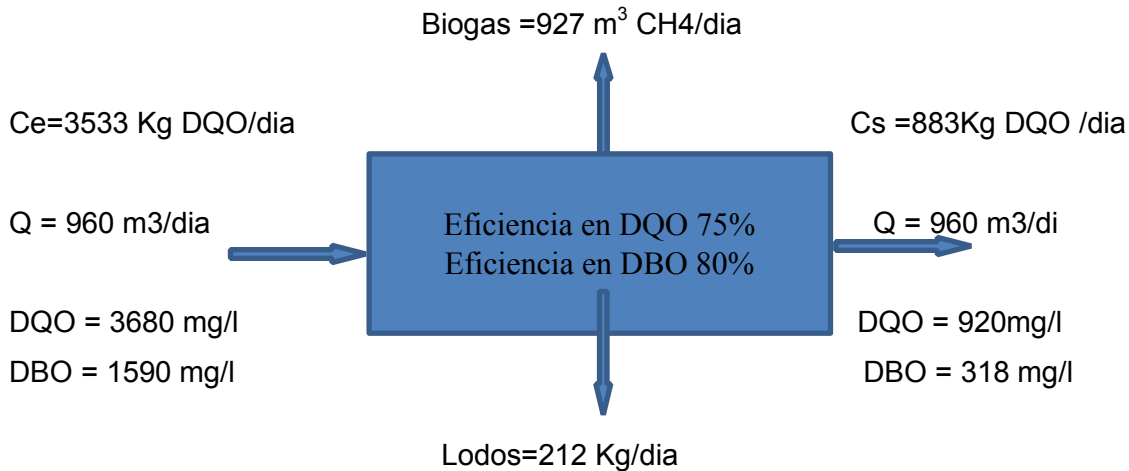


Carga DQO removida/d = 2650 Kg DQOr/dia

$$Q \text{ Biogas} = 2.650 \text{ kg} \frac{\text{DQOr}}{\text{dia}} \times 0,35 \left(\text{m}^3 \frac{\text{CH}_4}{\text{Kg}} \text{DQOr} \right)$$

$$Q \text{ Biogas} = 927.5 \left(\text{m}^3 \frac{\text{CH}_4}{\text{dia}} \right)$$

5.2.10- Balance de Masa



5.2.11-Conversion del gas en Energía Eléctrica

Una alternativa para valorizar el biogás producido es el aprovechamiento de su energía térmica o bien su conversión en energía eléctrica mediante un equipo moto-generador. De la tabla siguiente, vemos que por cada m³ de gas generado se podría obtener entre 6-6.5 Kw-hr

PROPIEDADES ESPECIFICAS DEL BIOGAS		
Composicion	Contenido Energetico	Equivalente en Combustible
55-70% Metano; 30-45% Dioxido de Carbono;Trazas de Otros gases	6,0-6,5 Kw h /m ³	0,60-0,65 L petroleo /m ³ biogas

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

Tabla N°7: Factibilidad de Generación de Energía



FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA		
Biogás total disponible	927,00	m ³ /día
Energía Eléctrica por m ³ de gas	6,50	Kw - h/m ³
Energía Eléctrica generada	6.026	Kw - h/día
Energía Calorífica Estimada por m ³ de gas *	4.800	Kcal/m ³
Energía Calorífica generada	4.449.600	Kcal/día

*Fuente: Solamb, 2018

Comentario

En base a los valores de energía involucrados, se considera más factible económicamente la recuperación de energía térmica.

5.2.12-Calculo de la laguna facultativa

Dimensiones de la laguna facultativa

La carga DBO afluente es de 318mg/L lo que equivale a 305.28 Kg DBO/día. Reducida la carga orgánica en el reactor, ésta segunda se espera funcionará como facultativa.

A continuación se calcula su volumen partiendo de la superficie necesaria para que el proceso sea facultativo.

Q=caudal de diseño = 960m³/día

Sa= DBO afluente= 318mg DBO₅/L

La1= Carga orgánica diaria en el afluente a la laguna =305.28Kg DBO₅/día

$$La1 = \frac{Q \times Sa}{1000} = \frac{960m^3 / día \times 318mg / L}{1000} = 305.28 \frac{Kg DBO_5}{día}$$

Según el orden de magnitud de la carga orgánica del afluente a la laguna y la de su efluente, además de la cinética del proceso, definen el comportamiento de la laguna.

Como la carga orgánica afluente es baja , entre 50 y 350 kg de DBO₅/Ha/día a alturas moderadas y temperatura entre 10 y 30°C, el estrato superior de las lagunas se puede llenar de algas microscópicas, que en presencia de la luz solar producen grandes cantidades de oxígeno, haciendo que el agua llegue a estar sobresaturada de OD.

El estrato inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaeróbicas debido a que la penetración de la luz solar es muy limitada. Es por eso que se considera utilizar la laguna facultativa N°2, de la línea

La Norma de ENOHSa indica para el cálculo de la carga orgánica superficial máxima csm, la aplicación de fórmulas de correlación del CEPIS.

$$csm(Kg DBO_5 / Ha \times día) = 357.4 \times 1.085^{(T - 20)}$$



$$csm(KgDBO_5 / Ha \times día) = 357.4 \times 1.085^{(13-20)}$$

$$csm = 201.9 KgDBO_5 / Ha \times día$$

Luego, el área superficial de la laguna se propone de 61.6m de ancho y 244.60m de longitud;(Laguna facultativa N°2 del plano de Efluentes de la planta promaíz)

$$As(Ha) = 61.6m \times 244.6m = \frac{15067.36}{10000} = 1.51Ha$$

La carga orgánica superficial resulta para estas dimensiones adoptadas de

$$cs = \frac{La1}{A(Ha)} = \frac{305.28}{1.51} = 202.17 \frac{KgDBO_5}{Ha \times día} < 600 \frac{KgDBO_5}{Ha \times día} \approx 201.9 \frac{KgDBO_5}{Ha \times día}$$

Luego adoptando una profundidad de 2.52m para esta laguna, y una relación largo/ancho de 3.97, se calcula el volumen definitivo y la permanencia correspondiente.

H= 2.52 profundidad líquida Adoptado en m

H1=0.20 profundidad para depósitos en el fondo Adoptado en m

X=3.97 relación longitud/ancho de la superficie líquida

i=2.50 inclinación de taludes internos

Bf=49 ancho de la solera en m

Lf= 232 Longitud de la solera en m

Af=11136.00 Superficie de solera

V=32891.66 volumen total

V barro=2255.30 volumen barro

V líquido= 30636.36 volumen líquido

T=32 permanencia hidráulica en días

Eficiencia en remoción orgánica de laguna facultativa

Según correlación de CEPIS

Sa (mg DBO5/L) =318mg/L

Csa =305.28kg DBO5/Ha*d Carga superficial del afluente.

T =13°C= Temperatura media del líquido en la laguna en el mes más frío del año.

θ =1.085

R =25.6d

A =-5.217= Constantes determinadas para lagunas primarias.

B =2.318= Constantes determinadas para lagunas primarias

K20 = R / (A+B*R) =0.473



$$KT = K_{20} * \theta^{(T-20)} = 0.267$$

$$KT * R = 6.840$$

$$C_{sr} = C_{sa} * [KT * R / (1 + KT * R)] = 266.34 \text{ kg DBO}_5/\text{Ha} * \text{d}$$

$$E_f = C_{sr} / C_{sa} * 100 = 87\%$$

$$S_e = (1 - E_f) * S_a = 40.55 \text{ mg/L} = \text{Concentración de la DBO soluble en el efluente.}$$

La eficiencia en la reducción de la DBO oscila entre el 30.47 y 44.1mg/L a la salida de la laguna secundaria, o sea que no se cumplen las exigencias de vertido al cuerpo receptor. Por tal motivo se requiere de otra laguna. La concentración máxima admisible 30 mg de DBO₅/L. (Según Normas para la protección de RRHH - N°415 DiPAS-Provincia de Córdoba)

5.2.13-Cálculo de la laguna aeróbica

Dimensiones de la laguna areobica

Esta laguna recibe las aguas residuales que han sido sometidos al tratamiento facultativo, que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.

La profundidad debe ser tal que no se alcancen a producir regiones sin oxígeno, sobre todo teniendo presente que la turbiedad impide el paso de la luz solar.

Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

Se considera una lagunas aerobia : la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interface aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.

$$Q = \text{caudal de diseño} = 960 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$S_a = \text{DBO afluente} = 40.55 \text{ mg DBO}_5/\text{L}$$

$$La_1 = \text{Carga orgánica diaria en el afluente a la laguna} = 38.93 \text{ Kg DBO}_5/\text{día}$$

$$La_1 = \frac{Q \times S_a}{1000} = \frac{960 \text{ m}^3/\text{día} \times 40.55 \text{ mg/L}}{1000} = 38.93 \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{día}}$$

Luego, el área superficial de la laguna se propone de 54.45m de ancho y 100.45m de longitud; (Laguna aerobica N°3 del plano de Ef de la Planta Promaíz)

$$A_s(\text{Ha}) = 54.45 \text{ m} \times 100.45 \text{ m} = \frac{5469.5}{10000} = 0.55 \text{ Ha}$$

La carga orgánica superficial resulta para estas dimensiones adoptadas de

$$c_s = \frac{La_1}{A(\text{Ha})} = \frac{38.93}{0.55} = 70.78 \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{Ha} \times \text{día}} < 600 \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{Ha} \times \text{día}} < 201.9 \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{Ha} \times \text{día}}$$



Luego adoptando una profundidad de 1.09m para esta laguna, y una relación largo/ancho de 1.85, se calcula el volumen definitivo y la permanencia correspondiente.

H= 1.09m profundidad líquida Adoptado en m

H1=0.20m profundidad para depósitos en el fondo Adoptado en m

X=1.85 relación longitud/ancho de la superficie líquida

i=2.50 inclinación de taludes internos

Bf=49m ancho de la solera

Lf= 95m Longitud de la solera

A barros=4800= superficie de barros en m²

Af=4655.00=Superficie de solera en m²

V=5511.89=volumen total en m³

V barros= 945.50 volumen barros

V líquido=4566.39 volumen líquido

T=5 permanencia hidráulica en días

Según correlación de CEPIS

Sa (mg DBO₅/L) =40.55mg/L

Csa =38.93kg DBO₅/Ha*d Carga superficial del afluente.

T =13°C= Temperatura media del líquido en la laguna en el mes más frío del año.

θ =1.085

R =4d

A =-5.217= Constantes determinadas para lagunas primarias.

B =2.318= Constantes determinadas para lagunas primarias

K₂₀ = R / (A+B*R) =0.986

K_T = K₂₀ * θ^(T-20) =0.557

K_T * R = 2,229

C_{sr} = C_{sa} * [K_T*R/(1+K_T*R)] =26,873 kg DBO₅/Ha*d

E_f = C_{sr}/C_{sa} *100 =69%

S_e = (1-E_f) * Sa =12,56mg/L= Concentración de la DBO soluble en el efluente

La eficiencia en remoción orgánica es inferior al valor límite según la normativa vigente de 30mg/L. Estos cálculos deberán ajustarse realizando un ensayo de biodegradabilidad en el laboratorio para poder conocer en forma experimental el potencial de generación de metano.



5.3-CONCLUSIONES

La generación de metano estimada es lo suficientemente importante en cantidad como para llevar a cabo la optimización.

Queda la opción de airear mecánicamente la laguna aeróbica, y a continuación utilizar la laguna facultativa donde los sólidos puedan sedimentar y realizarse una depuración adicional.

Las válvulas de la caldera deberán ser reemplazadas a fin de que puedan quemar biogás.

Se podría utilizar todo el biogás generado para brindarle energía térmica a las instalaciones.

En resumen, la tecnología utilizada es responsable y ambientalmente segura para tratar las aguas residuales de las instalaciones, capturar el metano que en la línea de base se emitiría en lagunas abiertas anaeróbicas y reducir las emisiones de dióxido de carbono mediante la combustión del biogás en lugar de gas natural.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, Et Al, 2008
- Díaz De Santos, S.A., 1995
- Montoya R., M. I.; Quintero S., J. A.; Sánchez T., O. J.; Cardona A., C. A.-2008
- Asencio Rivero ,2008
- Metcalf Yeddy; 1995
- E.G. H₂O₂
- Jorge Durán, Ingeniería Sanitaria 2015
- Maria Teresa Varnero Moreno, Manual del biogás. Cap.6 , 2011.
- Henze Y Otros, 1982
- Jorge Durán, 2018
- Metcalf & Eddy 2003
- Deublein Y Steinhauser ,2008
- Metcalf&Eddy, 2003
- Solamb, 2018
- Aqua Limpia Engineering www.aqualimpia.de Uelzen – Alemania, 2015
- REVISTA AIDIS ,6 de agosto de 2017
- Universidad Nacional de Cordoba. Centro de Tecnología Química Industrial, 2017

BIBLIOGRAFIA GENERAL

- Ronzano E, Dapena J.L. Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales, Diaz de Santos, S.A., Madrid, 1995.
- Revista Universidad EAFIT Vol. 41. No. 139. pp. 76-87 Artículo: Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante a partir de caña de azúcar y maíz-pag80 Montoya R., M. I.; Quintero S., J. A.; Sánchez T., O. J.; Cardona A., C. 2005
- Procesos de tratamiento. [en línea] <http://www.bio-tec.net> , 1984
- OMS, Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación, Aire, Suelo y Agua, Nemerow, Aguas Residuales Industriales, H. Blume Ediciones, USA, 1977.
- Montalvo, S. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Generalidades. p.37-66. 2000
- Metcalf & Eddy Inc. "Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de aguas residuales". Ed. Labor S.A. - Barcelona, 1985.
- Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales – Tratamiento, vertido y reutilización" – Mc Graw Hill, 1995.
- Manual De Biogás Minenergía / Pnud / Fao / Gee Editado por: Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". Preparación del Manual de Biogás: Prof. María Teresa Varnero Moreno, 2011
- Lagunas de Estabilización – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1992
- La digestión anaeróbica y los reactores UASB-Yaniris Lorenzo y Ma. Cristina Obaya - Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), 2006
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMYZA) INTA. Nicolás Repetto y De los Reseros S/Nº (CP 1712). Castelar, Buenos Aires, Argentina, 2010
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Impacto Ambiental, Facultad de Ingeniería UNAM, 1994.



- EOI: Escuela de Organización Industria Master en energías renovables y mercado energético pag 32 a 45F.Asensio Rivero,2008
- Ensayo de biodegradabilidad anaeróbica-Potencial metanogénico .Y Álvarez ,2012
- Enohsa –Tratamiento de Lagunas –Sistema biológico,2018
- Digestión Anaeróbica Mesofílica De La Fracción Orgánica De Residuos Sólidos Domiciliarios. Reactor De Alimentación Semicontínua Patricia A. Bres, M. Eugenia Beily, Diana C. Crespo ,2012
- Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de Aguas Residuales, CEPIS, Lima, Perú, 1991.
- Centrales Termoeléctricas de Biomasa –Santiago Garrido-Tomo2 -Cap.14-Sistemas Auxiliares,2015
- Centrales Termoeléctricas de Biomasa– Santiago Garrido-Tomo1 -Cap.5-Las Centrales Termoeléctricas De Biomasa,2015
- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.2017>
- Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. Vol10, N°2,136-150,6de agosto de 2017 Grupo Estudios Medioambientales (GEM). Facultad Regional Rafaela. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.
- Henze, M. Y P. Harremoes, Review Paper: Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors, Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors, IAWPR, 1982
- McCarty, P.L., One Hundred Years of Anaerobic Treatment. In: AnaerobicDigestion 1981. Hugges et al. Eds. Elsevier Biomedical Press B.V., 1982
- McCarty, P.L. y Smith, Anaerobic Wastewater Treatment, Environmental and Technology Vol. 20, 1986.
- Reactores Anaeróbicos, Principios do Tratamento Biológico de Aguas Residuarias, Vol.5 de Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, DESA,UFGM.,2007
- Torres Patricia, Barba Luz E., Riascos Jaime, Vidal Juan Carlos, Tratamiento biológico del lixiviado producido en rellenos no controlados, Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°35, Diciembre 1997.
- Speece, R.E., Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters, Vanderbilt University, 1996.
- Lettinga G., Hulshof Pol L.W. y Zeeman G., Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic wastewater treatment. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, 1996.
- Parkin, G.F. y W.F.Owen, Fundamentals of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludges, J. Environ. Engr. Div. ASCE, Vol. 112, 1986.



ANEXOS



ANEXO 1: VISITA A PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

1-Planta de Tratamiento de Efluentes de Molinos Semino

Molinos Juan Semino S.A. es uno de los molinos de harina de trigo más antiguos de la Argentina. En particular, es el único establecimiento en América del Sur que produce almidón y gluten de trigo.

Ubicación Física/Geográfica

La planta está ubicada en la Provincia de Santa Fe, Departamento de San Lorenzo, Ciudad de Carcarañá, Calle: Americano Boulevard, s/n.

Latitud - Sur 32° 51'24"

Longitud - Oeste 61° 10'22"



Memoria Descriptiva General de Producción

El molino produce alrededor de 6 toneladas de harina por hora para producir almidón y gluten de trigo. La unidad de producción se encuentra en una fase de mejoras del proceso y de expansión de capacidad de producción de hasta 10 toneladas de harina por hora.

Las mejoras en el proceso reducirán la cantidad de agua necesaria por tonelada de trigo procesada y el contenido de materia orgánica presente en las aguas residuales. No obstante, el aumento de los volúmenes de producción incrementará la cantidad total de aguas residuales generadas y de la energía térmica necesaria para el proceso.

Situación Anterior a la Implementación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con Combustión y Recupero de Metano

En la planta de Molinos Juan Semino S.A. siempre ha funcionado un sistema de tratamiento de aguas residuales anaeróbico sin recuperación de biogás y sin tratamiento de sedimentos. El sistema, diseñado hace 20 años aproximadamente para tratar 560 m³/día y 4.200 mg DBO₅/l, consistía en dos lagunas abiertas que poseen las siguientes características:



Lagunas	Profundidad (m)	Volumen (m ³)	Cv (kgDBO ₅ /(m ³ .día))	Eficiencia (%)
1 laguna anaeróbica	2,5	27.500	0,101	65
2 laguna facultativa	1,2	37.200	0,025	90

El volumen de producción de la planta se ha incrementado en los últimos años hasta alcanzar los 45 m³/h de aguas residuales (aproximadamente 1.000 m³/día). Por ende, el sistema de tratamiento de aguas residuales ha sido ineficiente ya que se han vertido aguas tratadas en el río Carcarañá con concentración de DQO (demanda química de oxígeno) superiores a los valores máximos permitidos (270mg/l) de acuerdo con las normas ambientales vigentes (Resolución Provincial 1089/82).

El 09/08/2006, la autoridad ambiental local (Secretaría de Medioambiente y Desarrollo Sostenible del Estado) exhortó al desarrollador del proyecto a que mejorara el tratamiento de aguas residuales a fin de garantizar que la descarga de aguas tratadas sea acorde a las normas aplicables.

Asimismo, estaban planificadas mejoras de proceso y de expansión de la capacidad de producción de 6 toneladas de harina/h hasta 10 toneladas de harina/h. Estas medidas tendrían también un impacto directo sobre el volumen de aguas residuales producidas.

Por lo tanto, en el escenario de la línea de base se implementaron medidas al sistema anaeróbico de tratamiento de aguas residuales a fin de incrementar su capacidad y, por ende, cumplir con las normas ambientales vigentes.

Las cuestiones ambientales en Argentina son jurisdicción de los gobiernos provinciales. La Resolución Provincial 1089/82 de Santa Fe no exige un sistema de tratamiento de aguas residuales específico. En consecuencia, todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales son aceptables siempre y cuando las aguas tratadas cumplan con los estándares de calidad de vertido. Como no existían barreras a la introducción de lagunas anaeróbicas ya que hay disponibilidad de tierras para desarrollarlas, requieren bajo mantenimiento, son efectivas en cuanto a la reducción de DQO y representan la continuación de una práctica existente.

Por lo tanto, el escenario de línea de base identificado para el componente de tratamiento de aguas residuales es el siguiente:

La expansión del sistema anaeróbico existente de tratamiento de aguas residuales sin recuperación de metano.

El sistema diseñado consistía en la expansión de la antigua laguna anaeróbica, la construcción de una nueva laguna anaeróbica y la expansión de la antigua laguna facultativa:

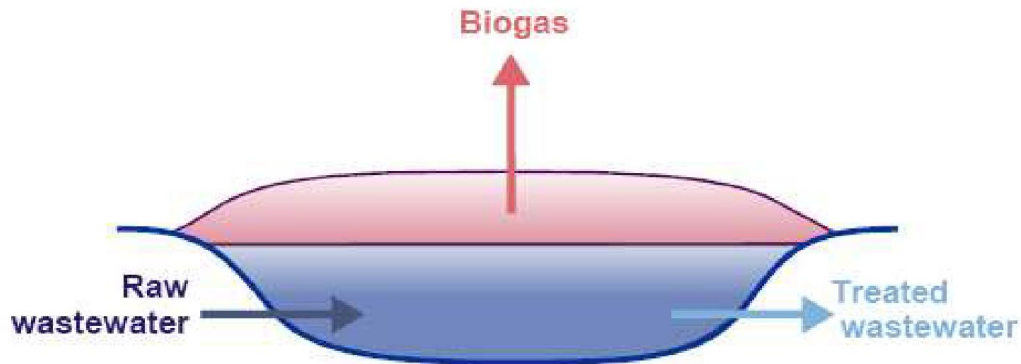
Lagunas	Profundidad (m)	Volumen (m ³)	Cv (kgDQO/(m ³ *días)	Eficiencia ³
1 Anaeróbica	8	270.017	0,146	72,4%
2 Anaeróbica	8	39.065	0,278	65,1%
3 Facultativa	1	90.000	-	93,0%

Esta serie de lagunas anaeróbicas abiertas también se torno ineficiente en los últimos años debido al crecimiento de los volúmenes de producción, lo cual ha llevado a que se viertan efluentes



tratados en el río Carcarañá, con concentraciones de demanda biológica de oxígeno (DBO) por encima del valor máximo permitido, de acuerdo con la legislación ambiental vigente.

Por este motivo, debe implementarse una alternativa a fin de cumplir con esta normativa. El sistema adoptado, y que está en funcionamiento en la actualidad es el de digestión anaeróbica y generación de energía.



Descripción General del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con Digestión Anaeróbica y Generación de Energía

El proceso de digestión anaeróbica y generación de energía consiste en el tratamiento de aguas residuales con combustión y recupero de metano

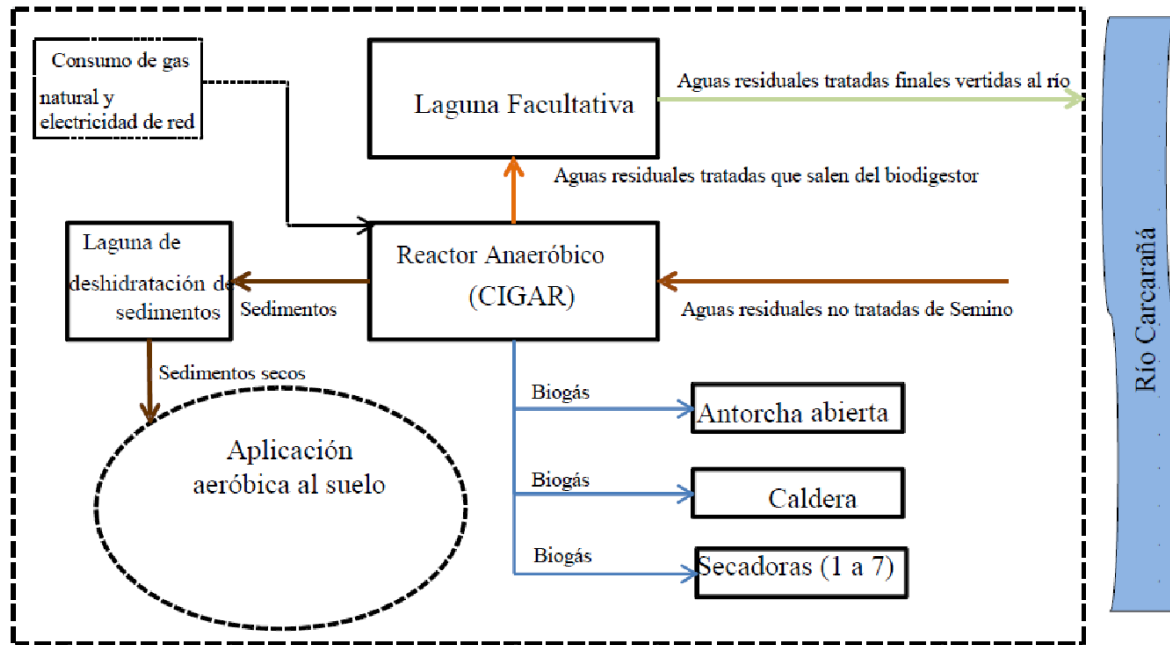
Se incorporó un reactor para la recuperación de metano, ubicado antes de las lagunas facultativas que se encuentran en operación en la actualidad, a fin de reducir de manera significativa el contenido orgánico de las aguas residuales y capturar el biogás generado destinado a sustituir parcialmente el gas natural que se consume en la fábrica.

El sedimento final generado se utilizará para la aplicación al suelo dentro de los terrenos linderos de la planta.

Por ese motivo, las reducciones de las emisiones se logran mediante la recuperación del metano de la materia orgánica biogénica que contienen las aguas residuales tratadas en el digestor anaeróbico.

El promedio anual estimado de reducciones de emisiones de GEI es de 31.922 CO₂T/año.

La representación esquemática de la recuperación del metano en un sistema de tratamiento de aguas residuales es la siguiente:



Reactor Anaeróbico (CIGAR):

El reactor anaeróbico de lecho cubierto (Covered In-Ground Anaerobic Reactor, CIGAR), en la planta es de última generación, está incorporado en la fase de tratamiento secuencial de aguas residuales antes de la laguna facultativa a fin de recibir de manera directa los efluentes no tratados de la planta.

El CIGAR es ideal para situaciones en las que el espacio no es limitado, y ofrece una alta eficiencia de tratamiento de residuos, recupero de energía y reducción de olor.

Consiste en una nueva laguna de lecho cubierta por una membrana flotante de polietileno de alta densidad.

El fondo del reactor CIGAR se cubre con una capa del mismo material a fin de evitar la infiltración del suelo.

Las aguas residuales se bombean al reactor CIGAR, donde el biogás se produce y acumula debajo de la membrana.

Los parámetros de diseño del CIGAR son

Profundidad (m)	Volumen (m ³)	DQO ₅ (kg/m ³)	Eficiencia	Producción de metano (Nm ³ /día)
10	53.000	33,0	75%	16.500



Laguna facultativa:

Las aguas residuales del CIGAR se vierten en una laguna facultativa que reducirá de manera significativa el contenido orgánico de las aguas residuales, por debajo de los niveles legales permitidos para luego verter las aguas residuales finales en el río Carcarañá.

Las lagunas facultativas y anaeróbicas existentes se adaptaron a esta nueva laguna facultativa. Los parámetros de la laguna son los siguientes

:

Laguna	Profundidad (m)	Volumen (m ³)	Eficiencia
Facultativa	1.2	84.000	95%

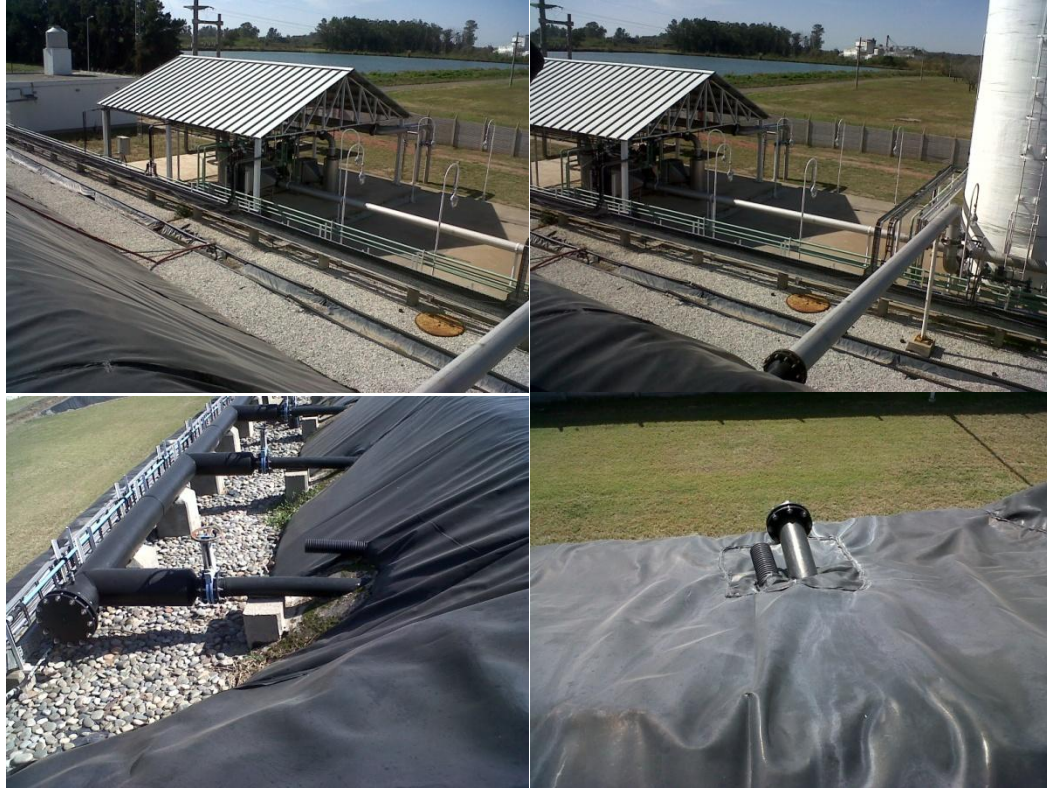
Laguna de deshidratación de sedimentos y uso final de los sedimentos:

Los sedimentos del CIGAR se vierten en una laguna de deshidratación de sedimentos de 15.000 m³ donde permanecen durante 180 días para ser secados parcialmente.

Los sedimentos se disponen sobre el suelo para que se sequen durante la primavera y el verano (época de sol y altas temperaturas). El proceso de secado natural se facilita con movimientos mecánicos de los sedimentos y la remoción frecuente de capas secas. Los sedimentos estables finales se utilizan como fertilizante orgánico.

El biogás es transportado por sopladores hasta las secadoras del molino y la caldera a fin de generar energía térmica que reemplace el gas natural consumido en el escenario de base.

Registro Fotográfico



2-Planta de Tratamiento de Efluentes Solamb

Esta planta de tratamiento de efluentes industriales tiene por objeto el tratamiento y acondicionamiento de efluentes industriales no peligrosos con alta carga orgánica, provenientes principalmente, de industrias de la producción de aceites y lácteas, con algunos remanentes de bebidas sin alcohol, con y sin gas.

Ubicación Física/Geográfica

Se encuentra emplazada en la zona industrial de la localidad santafesina de Timbúes, a 3000 metros del río Paraná. El acceso al predio se realiza desde el camino Cacique Mangoré, siguiendo el camino por la calle Maestra Leonilda; finalmente el acceso a la planta es por calle España, por la misma a la altura número 60 al límite Norte del predio, se encuentra el ingreso de camiones, inmediatamente después se ubica la balanza, oficinas administrativas, laboratorio y sanitarios.



Memoria Descriptiva General de Producción:

La empresa recibe purgas de efluentes líquidos de alta carga, desde diferentes agroindustrias. El caudal de recepción diario es del orden de los 200 m³/día; el mismo puede incrementarse por aumento de la capacidad de producción de la empresa.

Análisis realizados sobre varias muestras representativas, determinaron los siguientes valores:

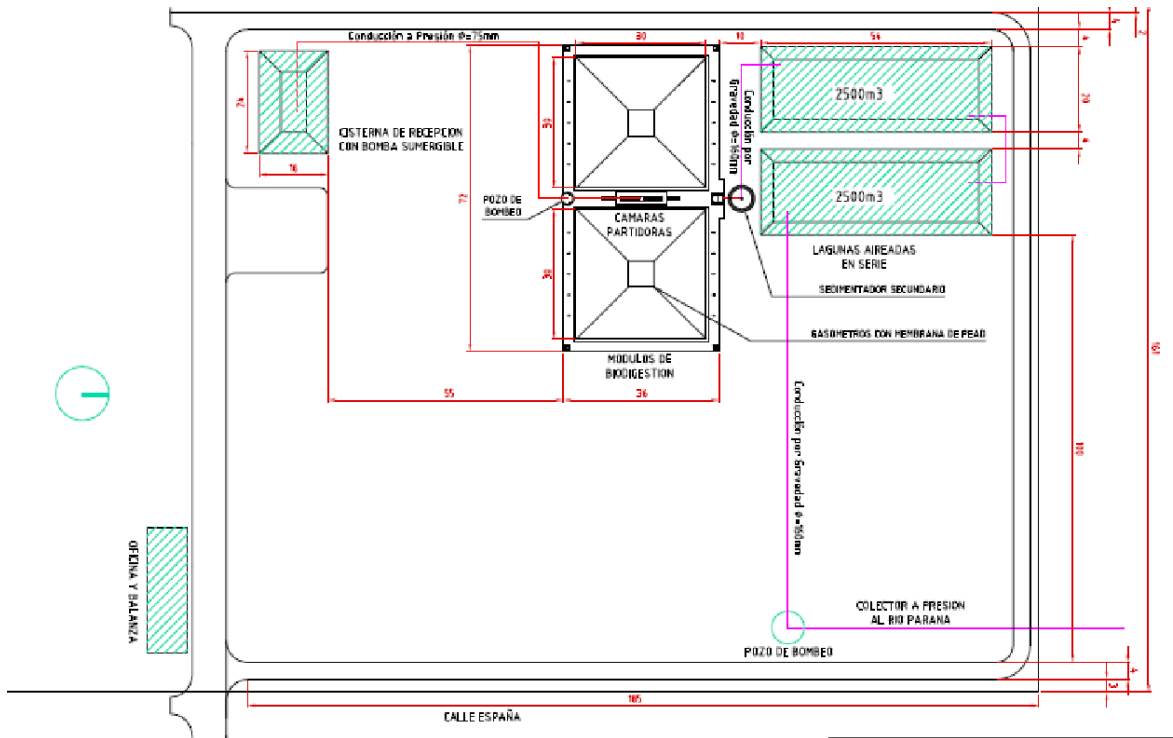
Demanda Química de Oxígeno Total : 55000 ppm

Demanda Biológica de Oxígeno Total: 28600 ppm

La planta cuenta con los siguientes pasos para un completo tratamiento de los efluentes:

- 1-Pretratamiento del agua residual mediante rejas y eculización del caudal.
- 2-Tratamiento biológico primario por contacto anaeróbico.
- 3-Tratamiento biológico secundario por laguna aireada y facultativa.
- 4-Descarga del efluente clarificado al Paraná

En la figura siguiente se muestra el diseño de la planta



Diseño de la planta Solamb S.A.

Pretratamiento

Cisternas de contingencia:

Las características propias de esta actividad de servicios, determina que el ingreso del efluente desde los diferentes clientes puede tener momentos de alta demanda y en otras situaciones días con bajos volúmenes de ingreso. Por tales razones, se decidió, por estadísticas propias de la empresa, incorporar dos cisternas de contingencia de 3600 m³ cada una, totalizando un volumen de amortiguación que representa la capacidad de tratamiento de 36 días. .

Esta facilidad permite cubrir con suficiente seguridad las variaciones en la frecuencia de recepción de efluentes, como también tener la posibilidad de suspender por varios días el ingreso de caudales de efluentes a la planta, sea por causa de trabajos de mantenimiento o por situaciones de recuperación de las etapas de tratamiento biológico “anaeróbico-aeróbico”, debido a alguna sobrecarga o salida del régimen.

Ecuación previa del caudal a tratar:

A fin de lograr el mejor funcionamiento del sistema de tratamiento, conviene colocar un tanque previo de homogeneización del caudal diario a tratar, con un tiempo de residencia hidráulico de un

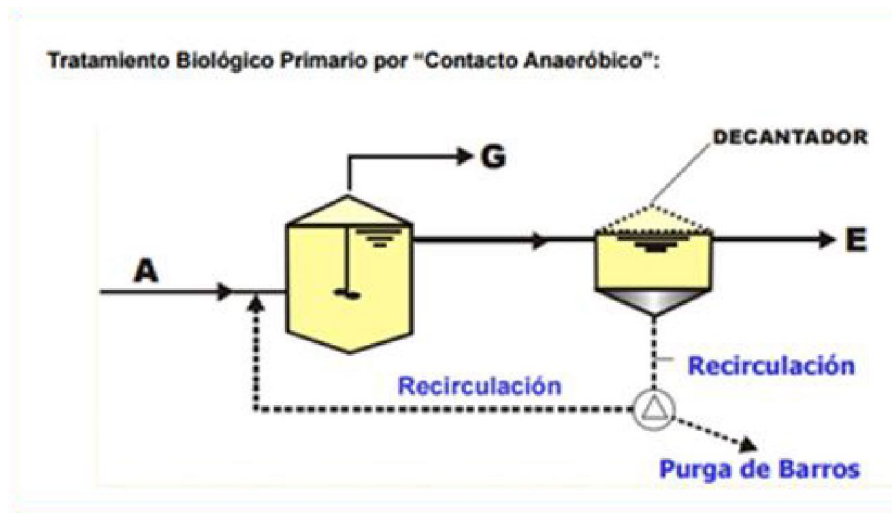
día. Esto facilita que los equipos de tratamiento posteriores funcionen de manera más regular durante todo el día.

Hay 3 piletas ecualizadoras. Lo que se observa en la foto, es grasa solidificada, que no se retira y cuando la temperatura aumenta se derrite y la incorporan al proceso.



Pileta Ecualizadora

Respecto a no retirar grasas de las piletas de ecualización, con un tiempo de residencia hidráulico de 10 días se justifica la incorporación de las grasas..



Memoria Técnica Planta de tratamiento TIMBUES

Características principales de diseño:

El diseño se compone del volumen necesario de biodigestión donde se pone en contacto el efluente crudo (con los sólidos suspendidos, coloidales y solubles que posee) con la biomasa anaeróbica que existen dentro del mismo.



La degradación de los sólidos sedimentables requiere un tiempo de residencia mayor dentro del biodigestor, dado que debe lograrse, en primer término, la hidrólisis de estos sólidos para transformarse en sustratos solubles y ser metabolizados por la flora anaeróbica

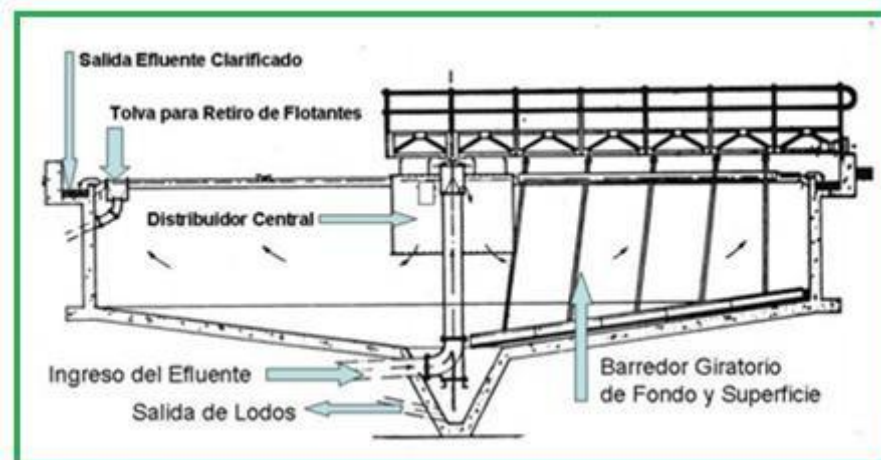
El efluente a tratar ingresa mezclado con un caudal de efluente tratado a una “cámara partidora principal”, que lo divide en la cantidad de módulos que posee el diseño; posteriormente con una “cámara partidora secundaria” se ingresa hacia el fondo el caudal que tratará cada módulo desde donde comienza a ascender atravesando todo el manto de barros que posee la flora anaeróbica activa. Esta se alimenta de los sustratos biodegradables del efluente en tratamiento, logrando su depuración.

El movimiento hidráulico ascendente del caudal y la generación de burbujas de biogás producen la agitación necesaria dentro de cada módulo de biodigestión, sin la necesidad de colocar equipos mecánicos en su interior, que requieran consumo de energía y mantenimiento.

La separación y retención de los sólidos sedimentables se logra colocando un decantador ubicado después del biodigestor. Este equipo permite la sedimentación de todos los sólidos suspendidos que son arrastrados por el efluente que sale del biodigestor. La suspensión de sólidos concentrada que se obtiene, se recircula nuevamente hacia el biodigestor. Esto posibilita que el tiempo de retención de los sólidos sea del orden de 25 a 40 días, produciendo la hidrólisis de los sólidos y su posterior metanización.

La eficacia de este sistema está estrechamente ligada con la buena sedimentación que se logre en el decantador. Se eliminan burbujas de gas adheridas a las partículas sólidas, permitiendo su mejor sedimentación.

El líquido claro que sale por la parte superior del decantador se puede derivar hacia una etapa final de tratamiento aeróbico a fin de realizar una depuración adicional, reincorporar oxígeno disuelto en el líquido tratado, previo a su vertido en un curso receptor.



Fuente: Memoria Técnica Planta de Tratamiento TIMBUES



La eficiencia del biodigestor medida como DQO se midió en un 75% y medida como DBO en un 80% aproximadamente

Dimensiones principales del diseño:

Se trabaja a una temperatura de 32°C. Con una Carga Orgánica adoptada para el biodigestor de 2 Kg DQO/m³ día. Un volumen total mínimo para el manto de barros de 5836 m³.

Se dispone para este volumen, dos módulos. Adoptando un volumen por módulo de 3000m³. El TRH (tiempo de residencia hidráulico del efluente crudo es de 29 días.

Características constructivas de los módulos de biodigestión

Los volúmenes necesarios de biodigestión (de base cuadrada y forma piramidal) se construyen mediante excavación en la tierra en su mayor parte (4 metros de profundidad) y terraplenes compactados (1,50 metros de altura).

Los reservorios se recubren íntegramente con membrana de polietileno de alta densidad con un espesor de 1000 micrones, a fin de que sean totalmente estancos y evitar toda percolación del contenido del biodigestor hacia la capa freática.

Debajo de la membrana de fondo, se instaló un sistema de tuberías para monitoreo y drenaje hacia el exterior de posibles filtraciones que puedan darse a través de la membrana a lo largo de la vida útil de la instalación.

La cubierta superior se realizó con una membrana de PEAD 1500 micrones. Esta tiene el objetivo de recuperar todo el biogás producido, como también cumplir la función de gasómetro. Este propósito se logra con la forma de la cubierta, tal que permita inflarse hasta determinado volumen. La unión entre membranas se realiza por soldadura de termofusión, con herramientas y personal especialmente capacitado para la tarea.

Manejo del barro excedente

El barro excedente estabilizado que se toma periódicamente desde el biodigestor, conviene que sea enviado a un reservorio de acumulación como etapa previa a su disposición final o tratamiento.

Generación de Energía Renovable (Biogás - Metano Biológico)

Una conducción perimetral ubicada dentro del gasómetro, permite recolectar el biogás producido. Con la ayuda de un soplante se lo envía (con presión suficiente) hacia el consumo establecido para el mismo.

La producción estimada de Metano es de 2409 m³ de CH₄/día

La producción estimada de biogas es de 4600 m³ de Biogas /día

Una alternativa para valorizar el biogás producido puede lograrse mediante su conversión en energía eléctrica y su correspondiente recuperación de la energía térmica disipada por el equipo motogenerador.



La energía eléctrica generada es de 10000 Kw-hr/día y la potencia eléctrica generada es de 420 Kw

Calefacción de los módulos de biodigestión:

Se consideró un día típico de invierno y una velocidad de viento permanente de 12 km/h; se pueden evaluar pérdidas de calor al ambiente, a fin de verificar la temperatura de trabajo posible para la etapa de biodigestión.

Tratamiento biológico secundario con lagunas aireadas

Una etapa anaeróbica del tratamiento siempre requiere a continuación un pos tratamiento aeróbico como etapa final del proceso; tal que permita lograr la calidad del efluente necesaria para su vuelco a un curso de agua superficial.

Cuando el espacio sea limitado para las instalaciones de tratamiento y el efluente deba ser de buena calidad, se recurre al empleo de aireación mecánica del efluente bajo tratamiento, para garantizar que el proceso se realice bajo condiciones aeróbicas.

El rendimiento de depuración de este tipo de laguna es del orden del 50% al 60%. En consecuencia, esta laguna aireada debe ir acompañada posteriormente por otra de tipo facultativa donde los sólidos puedan sedimentar y realizarse una depuración adicional, lográndose una eficiencia global del 90%.

Dimensiones Principales del diseño aeróbico

Q diario: 200 m³/día

DQO Afluente: 1200 ppm

DBO Afluente: 380 ppm

Tiempo medio de retención celular adoptado: 25 días

Volumen de laguna mínimo necesario: 5000 m³

Profundidad de laguna adoptada: 3m

Cantidad de lagunas en paralelo: 2

Largo en la base de la laguna: 48m

Ancho en la base de la laguna: 14m

Volumen total de laguna: 2500 m³

DBO soluble del efluente tratado: 45 ppm

DBO Total efluente tratado – sin sedimentación: 123 ppm

Características constructivas de las Lagunas Aeróbicas



Las lagunas son de base rectangular y forma piramidal. Tienen 3 metros de profundidad aproximadamente (se excavan en la tierra) y terraplenes de 0,5 m de altura, a fin de evitar el ingreso de agua de lluvia por escorrentía sobre el terreno.

Los reservorios se recubren integradamente con una membrana de polietileno de alta densidad, la cual tiene un espesor de 1.000 micrones, para evitar la percolación del contenido del biodigestor.

Etapa de tratamiento adicional con Lagunas Facultativas

Se instalan 3 lagunas adicionales de 2.500 m³ cada una, con una profundidad de 3 m, recubiertas internamente con membrana de PEAD de 1.000 micrones, previendo expansión de la capacidad de tratamiento de la planta.

Con la puesta en marcha de la primera etapa de tratamiento de efluentes (200 m³/día) estas últimas lagunas funcionarán como “facultativas”, donde el aporte de oxígeno será a través de fotosíntesis de algas.

Posteriormente, al momento que se generen los aumentos de capacidad de tratamiento se aumentará la capacidad de aireación mecánica en la medida de las necesidades.

Registro Fotográfico



Fotografía 1: Descarga de efluentes provenientes de la industria láctea (permeado)



Fotografía 2: Lagunas de equalización.



Fotografía 3: Membrana del biodigestor, la cual funciona como gasómetro, acumulando el biogás.



Fotografía 4: Cámara partidora.



Fotografía 5: Sedimentador secundario



Fotografía 6: Vista de 3 lagunas aeróbicas.



Fotografía 7: Laguna aeróbica.



Fotografía 8: Laguna aireada N° 1.



Fotografía 9: Laguna aireada N° 2.



Fotografía 10: Nuevo biodigestor



Fotografía 11: Biofiltro.



Fotografía 12: Trampa de agua.



Fotografía 13: Generador. Funciona con biogás.

Fotografía 14: Intercambiador de calor



ANEXO 2: PROTOCOLO DE MUESTREO



Tortuguitas, 16 de Enero de 2021

PROMAIZ S. A.
At. Ing. Daniel Cimán

De nuestra mayor consideración:

A continuación le describimos las observaciones más relevantes de la visita de seguimiento que realizamos en el mes de Diciembre al sistema de lagunas que vuestra empresa posee en la localidad de Alejandro Roca, Provincia de Córdoba.

Protocolo n°: AP-016809

Fecha y Hora de muestreo: 27 de Diciembre de 2020

Muestreo a cargo de: Ricardo Gil

Efluente crudo: (24 muestras compensadas)

- Demanda Química de Oxígeno del efluente crudo: 3680 mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno del efluente crudo: 1590 mg/l
- pH: 8.21 upH
- Conductividad a 25 °C: 864 μ S/cm
- Turbidez: 78 FAU
- Fósforo Total: 2.1 mg/l
- Nitrógeno Total: 1.8 mg/l
- Sulfuros: 0.045 mg/l
- Sedimentación: 10': Ausentes ml/l; 120': <0.1 ml/l

Capacidad de depuración de las lagunas:

Figura 1:

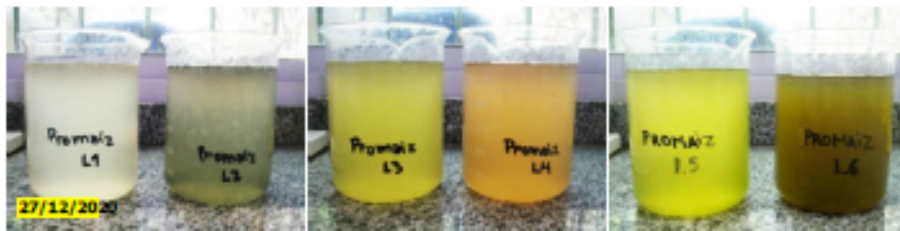


Fig. 1: Muestra de Lagunas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 en vaso de precipitado de 600cc, a temperatura ambiente.

Figura 2:



Fig. 2: Muestra de Lagunas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 en vaso de precipitado de 600cc a temperatura ambiente transcurridos 19 días desde la extracción de la muestra.

Sólidos sedimentables transcurridos 120 minutos.



Figura 3: Efluente crudo, lagunas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 y Salida final.

Salida Final:

- Demanda Química de Oxígeno: 650 mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: 138 mg/l
- pH: 8.27 upH
- Conductividad a 25 °C: 1920 μ S/cm
- Turbidez: 276 FAU
- Fósforo Total: 0.7 mg/l
- Nitrógeno Total: 2.5 mg/l
- Sulfuros: 0.073 mg/l
- Sedimentación: 10': Ausentes ml/l; 120': <0.1 ml/l