

13
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

TRATAMIENTO DE AGUAS.
PROCESO ANAEROBIO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
ARROYO VALDES NALLELY



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

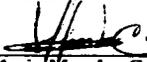
Jurado asignado

**Presidente
Vocal
Secretario
1er. suplente
2do. suplente**

**Prof. Valiente Barderas Antonio
Prof. Silva Pichardo Genovevo
Prof. Morales Cabrera Juan Mario
Prof. Méndez Fregoso Héctor
Prof. Luna Pabello Víctor Manuel**

Sitio donde se desarrolló el tema : Facultad de Química UNAM.

Asesor



IQ. Juan Mario Morales Cabrera.

Sustentante



Nallely Arroyo Valdés.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme a unos padres que fomentaron en mí grandes valores y el gusto por el estudio.

A mi Madre

Gracias por darme la vida, por el apoyo y los consejos que me das, por estar a mi lado siempre. Te llevo en mi corazón.

A mi Asesor

Por sus enseñanzas y por haber aceptado dirigir este trabajo, gracias por el tiempo y dedicación que empleó para que esto fuera posible.

A la Familia Villegas Jalas

Por la amistad y apoyo que nos han brindado a mi familia y a mí, gracias por estar conmigo en los momentos difíciles y también en los de mayor felicidad.

A mis Amigos

Por compartir parte de su tiempo conmigo y por sus consejos.

INDICE

1.- Introducción	1
2.- Antecedentes	4
2.1 Tipos de tratamiento de aguas	4
2.2 Comparación de tratamientos Anaerobio - Aerobio	10
2.3 Tratamiento Anaerobio	12
2.3.1 Proceso Bioquímico	12
2.3.2 Producción de Biogás	15
2.4 Digestión Anaerobia	16
2.4.1 Tipos de digestores basados en el empleo de biomasa granular	21
2.4.2 Tipos de digestores basados en ataque de película	22
3.- Diseño de una planta de tratamiento anaerobio	25
3.1 Generalidades	25
3.2 Ingeniería Básica	29
3.2.1 Elaboración de Bases de Diseño	32
3.2.2 Elaboración de Diagrama de Bloques	35
3.2.3 Diagrama de Flujo de Proceso	36
3.2.4 Descripción del Proceso	37
3.2.5 Balance de Materia	45
3.2.6 Lista de Equipo	46

3.2.7	Secuencias de Cálculo y Cálculo de Equipos	47
3.2.8	Hojas de Datos	62
3.2.9	Diagrama de Servicios Auxiliares	71
3.2.10	Criterios de Diseño	72
3.3	Ingeniería de Detalle	81
3.3.1	Diagrama de Tubería e Instrumentación	81
3.3.2	Índice de Instrumentos	82
3.3.3	Índice de Tuberías	83
3.3.4	Hojas de Especificación de Tuberías	84
3.4	Disposición final y reuso de los efluentes	97
3.4.1	Efluente Agua Tratada	97
3.4.2	Biomasa	103
3.4.3	Biogás	107
3.4.4	Gas de Venteo	108
4.-	Conclusiones	109
5.-	Bibliografía	113

1.- INTRODUCCION

Hoy en día, con el desarrollo de las industrias en los últimos años nos hemos visto beneficiados al poder adquirir una gran variedad de productos manufacturados, pero también esto ha traído como consecuencia la generación de residuos, el consumo y la contaminación de recursos naturales como el agua que podría llegar a agotarse si no se toman medidas que puedan prevenir o controlar esta situación; por eso resulta conveniente desarrollar métodos de tratamiento que nos permitan recuperar de los residuos generados la mayor cantidad de productos contaminantes e inclusive la reutilización en lo posible, de los recursos naturales que han sido empleados; es así que el presente estudio tiene como objetivo presentar el proceso anaerobio de tratamiento de agua desde el punto de vista de proceso y de proyecto, aprovechando las técnicas de análisis y desarrollo aprendidas en la carrera de Ingeniería Química para aguas residuales industriales.

Se pretende concientizar a todas las personas que estén relacionadas con la Industria Química, de que deben ser tratadas las aguas residuales generadas por los procesos para que estas puedan reutilizarse en otras áreas, como por ejemplo en el Riego Agrícola y en el de hortalizas; esperando que muy pronto en nuestro país la mayoría de las industrias invierta parte de su capital en la construcción de este tipo de plantas para evitar la escasez de este importante recurso natural.

A continuación se desarrolla brevemente el contenido de cada capítulo.

En el segundo capítulo se describen los tipos de tratamiento de agua, entre los cuales se encuentra el proceso anaerobio, este se describe ampliamente ya que en él se basa el diseño de la planta de tratamiento que se va a desarrollar. También se describen los tipos de reactores comúnmente utilizados para llevar a cabo el proceso anaerobio.

En el tercer capítulo se plantea y se desarrolla el diseño de la planta de tratamiento anaerobio, primero se mencionan todos los pasos que se requieren para llevar a cabo el diseño en general, después se desarrollan los pasos que están más involucrados con el diseño como son la Ingeniería Básica y la Ingeniería de Detalle.

Dentro de la Ingeniería Básica se presentan los siguientes documentos: Bases de diseño, diagrama de bloques, diagrama de flujo de proceso, descripción del proceso, balance de materia, lista de equipo, hojas de datos, diagrama de Servicios Auxiliares y criterios de diseño. La Ingeniería de Detalle contiene los siguientes documentos: Diagrama de tuberías e instrumentación, índice de instrumentos, índice de tuberías y hojas de especificación de tuberías.

En la actualidad es muy importante aprovechar todos los productos que se obtienen de los procesos y dar un mejor uso a los desechos para evitar crear nuevas fuentes de contaminación, por eso en el presente trabajo se incluye una sección en la cual se indican los usos de los productos y desechos originados por el proceso de tratamiento anaerobio y su disposición final según sea el caso; dichos productos son el agua tratada, el biogás y la biomasa; como desecho, el gas de venteo.

En el cuarto capítulo se comentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo del presente trabajo, esperando que éste sea de gran utilidad las generaciones futuras que estudien en la Facultad de Química y para todo aquel que se interese en el tema.

2.- ANTECEDENTES

2.1 Tipos de Tratamiento de Aguas

Los tipos de tratamiento de aguas se clasifican en tres grupos:

- a) **Tratamientos Físicos**
- b) **Tratamientos Químicos**
- c) **Tratamientos Biológicos**

A continuación se describe en que consiste cada uno de ellos.

a) Tratamientos Físicos: son aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento. En general, las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento (desbaste, dilaceración y homogenización de caudales).

Los principales procesos físicos son los siguientes:

Desbaste: consiste en la eliminación de los sólidos gruesos y sedimentables por retención en las superficies. Los elementos utilizados son las rejas y los tamices.

Dilaceración: es la trituración de sólidos gruesos en tamaños menores y más homogéneos. Esta operación se realiza para mejorar los procesos posteriores y evitar los problemas que pueden causar los sólidos de diferentes tamaños.

Homogenización de caudales: se realiza para tener caudales de tratamiento iguales y concentraciones de contaminantes más homogéneas.

Mezclado: se utiliza cuando es necesario que una sustancia determinada se homogenice totalmente en el seno de otra. La mezcla se puede realizar en tanques, con ayuda de elementos mecánicos, por resaltes hidráulicos en canales, en bombas, en conducciones y en tubos Venturi.

Floculación: es la operación en que las partículas en suspensión aumentan su superficie de contacto. Este aumento es debido a la adición de productos químicos en los procesos de precipitación química o químicamente asistida. Debido a la floculación las partículas se agregan en partículas mayores (coagulación) y alcanzan la masa suficiente para sedimentar.

Sedimentación: es la separación de los componentes del agua en dos fases: una sólida, que corresponde a los fangos y que está formada por partículas de sólidos suspendidos más pesados que el agua, y que por gravedad se depositan en el fondo; y una fase líquida formada por el agua y compuestos en disolución.

Flotación: se utiliza para separar partículas líquidas y sólidas del agua residual. Los líquidos y sólidos con una densidad menor que la del agua flotan en ésta y en consecuencia, se pueden recoger superficialmente. Los sólidos se separan introduciendo burbujas de aire en el agua, las burbujas se adhieren a las partículas sólidas en suspensión haciendo que asciendan a la superficie, de esta forma se pueden eliminar sólidos en suspensión con una densidad mayor que la del líquido. Este proceso favorece también la flotación de líquidos de menor densidad que el agua.

Filtración: permite la eliminación de sólidos en suspensión procedentes de las aguas después del tratamiento y sedimentación biológica, así como de la precipitación química. La filtración se realiza generalmente a través de lechos filtrantes, compuesto de material granular, con o sin adición de productos químicos.

b) Tratamientos Químicos: son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Los procesos químicos se utilizan en la depuración de las aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos.

Las principales operaciones químicas se describen a continuación:

Precipitación Química: consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para conseguir que éstos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y se produzca una eliminación por sedimentación. Mediante la precipitación química puede obtenerse un agua casi exenta de sólidos en suspensión y en estado coloidal. En general se elimina en promedio del 80 al 90 % de la materia total en suspensión, del 40 al 70 % de la DBO, del 30 al 60 % de DQO y del 80 al 90 % de bacterias. Tiene especial interés la eliminación del fósforo y de sustancias orgánicas disueltas.

Presenta dos inconvenientes: el primero, el volumen de fangos obtenidos es más elevado que mediante los procesos biológicos, la precipitación de algunos metales pesados que se puedan encontrar disueltos en las aguas residuales producirá problemas en la estabilización de fangos mediante procedimientos de digestión anaerobia; y segundo al utilizar reactivos químicos aumentará la concentración de los componentes de dichos reactivos en las aguas residuales tratadas. Los productos químicos más utilizados como agentes precipitantes son:

sulfato de aluminio hidratado, sulfato ferroso hidratado, sales férricas (cloruro y sulfato) e hidróxido de sodio.

Transferencia de Gases: es el proceso mediante el cual el gas es transferido de una fase a otra. En el tratamiento de aguas residuales, la transferencia se hace generalmente desde el gas al líquido, excepto en casos donde nos interesa eliminar el gas que se produce en un tratamiento determinado. El proceso más utilizado para llevar a cabo la transferencia es por arrastre con aire.

Adsorción: el proceso por el cual los iones o las moléculas son retenidos sobre la superficie de un sólido, es lo que se denomina adsorción. El sólido recibe el nombre de adsorbente y la sustancia que es adsorbida el nombre de adsorbato. El carbón activo es el adsorbente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Los procesos de adsorción son por lo general utilizados en el refinado de las aguas procedentes de tratamientos químicos o de tratamientos biológicos, con adsorción de materia orgánica residual disuelta y la eliminación de la materia particulada.

Desinfección: consiste en la eliminación de los organismos presentes en las aguas que pueden producir enfermedades. Se debe diferenciar entre la desinfección y la esterilización, ya que esta última implica la destrucción total de los organismos, mientras que la primera implica la destrucción de organismos que por ingestión pueden producir enfermedades en los hombres o en los animales. La desinfección puede realizarse mediante productos químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación. Los productos químicos utilizados como desinfectantes son los siguientes: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, detergentes, agua oxigenada, ácidos y álcalis. Los agentes

físicos son el calor, la luz y la radiación ultravioleta. La desinfección por radiación se realiza por radiación electromagnética de rayos gamma.

Declaración: consiste en la eliminación de todo el cloro residual combinado. Con el cloro reaccionan muchos compuestos orgánicos, algunos de estos compuestos pueden ser altamente tóxicos para la flora y fauna del medio en que se vierten las aguas. Los mejores agentes de declaración son el dióxido de azufre y el carbón activo. También se puede utilizar el sulfito sódico y el metabisulfito sódico.

Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas: se puede realizar con las operaciones siguientes: precipitación química, intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración. El intercambio iónico es un proceso en el cual los iones en disolución reemplazan a otros iones que están en la matriz insoluble del intercambiador. La ósmosis inversa se emplea para la eliminación de los iones disueltos y elimina más selectivamente que otros métodos, la materia orgánica disuelta. El proceso consiste en separar el agua de las sales disueltas filtrándola a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sales disueltas en el agua.

La ultrafiltración es un proceso de tratamiento y reutilización de aguas residuales industriales, el agua residual a tratar se hace circular a presión a lo largo de una membrana con poros de diámetro suficiente para que se filtren las moléculas de agua y no puedan filtrarse las moléculas de otros productos; de esta forma se consigue al final de la ultrafiltración agua y moléculas del mismo o menor tamaño y un concentrado con las sustancias contaminantes de mayor tamaño.

c) Tratamientos Biológicos: se pueden realizar en aguas que contengan elementos susceptibles de biodegradarse y son generalmente tratamiento secundario. Tienen como misión la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria así como la estabilización de la materia orgánica mediante el empleo de bacterias.

Clasificación de los procesos biológicos:

Aerobios: son los que sólo se dan en presencia de oxígeno. A las bacterias que únicamente pueden sobrevivir en presencia de oxígeno se les conoce con el nombre de aerobias obligadas.

Anaerobios: son los procesos que sólo se dan en ausencia de oxígeno. A las bacterias que únicamente pueden sobrevivir en ausencia de oxígeno se les conoce con el nombre de anaerobias obligadas.

Facultativos: son los procesos en los que los organismos responsables del mismo son indiferentes a la presencia o ausencia de oxígeno disuelto.

Referencias

Durán Domínguez Ma. Carmen. Ref. 7.

Sans Fonfría Ramón y Joan de Pablo Ribas. Ref. 28.

2.2 Tratamiento Anaerobio contra Tratamiento Aerobio

El tratamiento anaerobio de aguas residuales es una tecnología que está recibiendo mucha aceptación rápidamente, en particular para efluentes industriales.

Las ventajas más significativas de la tecnología para el tratamiento anaerobio, sobre los métodos aerobios convencionales se muestran a continuación:

Beneficios y desventajas de los sistemas de tratamiento anaerobio para aguas residuales sobre el tratamiento aerobio convencional.

Beneficios :

- 1.- Producción baja de exceso de lodos estabilizados.
- 2.- Bajo requerimiento de nutrientes.
- 3.- Bajo o ninguno requerimiento de energía.
- 4.- Producción de energía en forma de metano (producción de biogás) en ausencia de oxígeno.
- 5.- Habilidad para romper compuestos orgánicos complejos altamente concentrados.
- 6.- Los lodos anaerobios se pueden preservar sin alimento por varios meses sin deteriorarse seriamente.
- 7.- Velocidades de carga orgánica alta, de ahí que se requiere poco terreno.
- 8.- Recipientes totalmente cerrados, por lo tanto ausencia de olor y no se les asocian problemas de aerosoles o moscas.

Desventajas :

- 1.- Las bacterias anaerobias (metanógenas), son muy susceptibles de inhibición por parte de un gran número de compuestos.
- 2.- Arranque inicial, lento.
- 3.- Requiere generalmente un post-tratamiento.
- 4.- La experiencia a escala completa, todavía es insuficiente con los residuos de papel y cartón.
- 5.- Requerimientos altos de alcalinidad para ciertos residuos industriales.
- 6.- La estabilidad del proceso es de baja a moderada (para compuestos tóxicos y cambios de carga).

Los requerimientos de energía para el tratamiento aerobio, se incrementan rápidamente conforme la concentración del agua residual es más fuerte, de ahí que la aereación abarca más de la energía necesaria. Para los sistemas anaerobios, el consumo de electricidad es mucho más bajo y virtualmente constante, para el intervalo de fuerza del influente, ya que solamente se incluye el costo de bombeo.

Referencias

- Fernández Villagómez Georgina. Ref. 8.
Meint Olthof y Jan Oleszkiewicz. Ref. 24.

2.3 Tratamiento Anaerobio

2.3.1 Proceso Bioquímico

El tratamiento anaerobio de residuos orgánicos y su conversión a biogás y lodos ocurre en cuatro etapas básicamente :

1.- **Hidrólisis:** los compuestos orgánicos no solubles se hidrolizan por enzimas excretadas por las bacterias acidificadoras. Ya que la velocidad de este proceso es más bien lenta, frecuentemente se considera como el paso que controla la velocidad del tratamiento anaerobio entero.

2.- **Formación de ácidos:** los compuestos hidrolizados se convierten a ácidos orgánicos tales como el ácido láctico, el ácido butírico, el ácido propiónico y el ácido acético, por medio de la bacteria formadora de ácido, también se convierten a alcohol, hidrógeno y dióxido de carbono.

3.- **Acetogénesis:** las sustancias orgánicas de los pasos anteriores se convierten a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

4.- **Metanogénesis:** la bacteria formadora de metano convierte los productos de los pasos previos a metano, como sigue:



Cuando otros aceptores de hidrógeno como nitratos y sulfatos están presentes, la última reacción mencionada para la formación de metano se reemplaza parcial o totalmente por otras reacciones.

Normalmente la bacteria metanogénica desencadena la competencia por el hidrógeno y si el sulfato se encuentra en una gran cantidad, la bacteria sulfato - reductora consumirá todo el hidrógeno disponible:

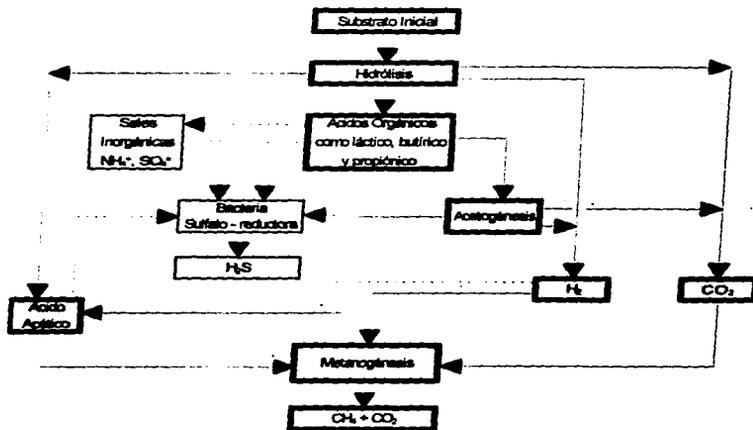


Esta situación es desfavorable para la eficiencia del proceso (1 mg de sulfuro= 2 mg de DQO) para la cantidad y calidad del biogás y para el olor del efluente. Otra desventaja de la formación de sulfuro puede ser su toxicidad y corrosión. Algo de ácido sulfhídrico está presente en el biogás y otro tanto está disuelto en el efluente.

También se debe considerar el papel regulador del hidrógeno sobre la formación del ácido acético, por medio de los microorganismos acetogénicos. Si el hidrógeno no se utiliza suficientemente rápido por la bacteria formadora de metano entonces, ocurre una acumulación de ácidos butírico y especialmente propiónico induciendo altas concentraciones para una inhibición de la formación de metano.

A continuación se presenta en forma esquemática el proceso bioquímico que ya ha sido descrito.

Fig. 2.1 Esquema del Proceso Bioquímico.



2.3.2 Producción de Biogás

Los procesos de digestión anaerobin, ofrecen un número de ventajas sobre otras formas de conversión de energía:

- Producen un biogás relativamente limpio, el cual se puede comparar al gas de uso doméstico.
- Convierten eficientemente el carbón contenido en la materia orgánica a combustible utilizable.
- Muchos tipos de materia orgánica son sustancias potenciales para su conversión a biogás.
- El biogás es seguro y confiable.
- Existe tecnología disponible a gran escala, particularmente atractiva, que se puede implementar a los procesos, para resolver necesidades inmediatas de energía.

Referencias

Fernández Villagómez Georgina. Ref. 8.

Habets, L.H.A. Ref. 12

Metcalf and Eddy. Ref. 25.

2.4 Digestión Anaerobia

La digestión anaerobia comprende el rompimiento de casi todos los tipos de materia orgánica por la acción de un amplio rango de microorganismos (principalmente bacterias) en ausencia de oxígeno.

Metano y dióxido de carbono son los productos principales finales, en menores cantidades de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno (usualmente menos del 1% del volumen total de gas) también son generados.

Las bacterias responsables de este proceso son encontradas aunque en pequeñas cantidades en la tierra, en sedimentos de lagos y en intestinos de animales.

Las primeras aplicaciones de la digestión anaerobia fueron para la remoción de sólidos suspendidos putrecibles de las aguas de desecho domésticas. Alrededor de 1950 se aplicó la digestión anaerobia a aguas de desecho de comidas procesadas

Las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para mejorar el proceso de digestión son :

Primero: es incrementar la densidad de población bacteriana en los digestores, esto incrementa el tiempo de retención de la bacteria anaerobia en los digestores.

Segundo: es incrementar la actividad bacteriana seleccionando las condiciones de operación óptimas del digestor, garantizando el contenido de todos los nutrientes esenciales conocidos.

También hay que tomar en cuenta los factores de temperatura, los nutrientes y las sustancias tóxicas. A continuación se describen cada uno de ellos.

Temperatura:

La dependencia de la temperatura en el tratamiento de aguas residuales es en general, de naturaleza idéntica, para los procesos de digestión anaerobia. El intervalo de trabajo más común para la operación de los procesos es el de 30 a 40 °C. Algunos investigadores han mostrado que el proceso anaerobio puede operar en un intervalo de temperatura entre 10 y 14 °C, sin presentar cambios importantes en el ecosistema microbiano. A temperaturas entre 40 y 45 °C la actividad microbiana es todavía significativa, pero debido a la alta velocidad de decaimiento, los coeficientes de producción observados de la bacteria productora de metano, se aproxima a cero, por lo que se vuelve difícil a esa temperatura, una operación continua.

En sistemas anaerobios de temperatura controlada, no ocurren alteraciones si se excede en 1 °C, la temperatura aplicada al reactor, a través de los dispositivos de calentamiento. El calor generado por la actividad de la bacteria bajo las condiciones de digestión anaerobia es, en teoría, suficiente para mantener la temperatura ambiente en un rango mesofílico, pero la energía involucrada como calor en la conversión de aguas residuales típicas, no es adecuada para elevar la temperatura del influente frío ni tampoco para compensar el calor perdido en temperaturas ambientales frías.

Los procesos termofílicos tienen una rapidez de producción de metano bastante constante, independiente de la temperatura en el intervalo de 50 a 70 °C. La velocidad depende del sustrato en un 25 a 50% mayor que en la rapidez mesofílica a 35 °C.

El significado de la temperatura para la velocidad de la digestión anaerobia, indica que la temperatura final de operación del reactor, se considere como uno de los principales parámetros de diseño. En intervalos psicrófilicos, mesofílicos o termofílicos, la uniformidad de la temperatura sobre el contenido total del recipiente es muy importante para los procesos de digestión anaerobia.

Una temperatura constante a través del sistema se puede proporcionar mediante un mezclado adecuado del contenido del digestor por medio de espas, por burbujeo de gas o mediante un intercambiador de calor. Si se localizan áreas fuera de lo normal en el recipiente, las actividades microbiológicas en estas regiones variarán y los incrementos de temperatura en paquetes transitorios inhibirán o inactivarán la población de bacterias.

Nutrientes:

Adicionalmente a los requerimientos fundamentales de macronutrientes tales como carbono y nitrógeno, se necesita un suplemento de medio bacterial con ciertos nutrientes específicos para su crecimiento y actividad, ya que existe cierta incapacidad de un gran número de bacterias anaerobias para sintetizar algunas vitaminas esenciales o aminoácidos. Se debe de mantener el nivel mínimo necesario para cualquier nutriente, aquel cuya concentración sostenga una velocidad de crecimiento deseada, aunque también exista un nivel máximo de requerimientos de nutrientes, arriba del cual ocurre la inhibición del sustrato.

Frecuentemente las aguas residuales industriales contienen un exceso sustancial de nutrientes, el ejemplo más común es el fosfato, pero otros tales como los iones zinc y de cobre frecuentemente pueden estar cerca de los valores límites.

A continuación se listan los principales micronutrientes que se requieren para llevar a cabo con gran eficiencia el proceso de la Digestión Anaerobia.

Tabla 2.1 Micronutrientes presentes en la Digestión Anaerobia.

Nutriente	Rango requerido (mg/L)
K	10
Fe	5
Mg	5
Ca	1
Zn	0.1
Cu	0.05
Mn	0.05
Ni	0.05
Al	0.05
Co	0.01
Mo	0.001

Sustancias Tóxicas:

Las sustancias inhibitoras o tóxicas para el tratamiento biológico, pueden ser orgánicas e inorgánicas. Se puede hacer una distinción entre los compuestos, los cuales pueden ser necesarios en pequeñas cantidades, pero tóxicos a altas concentraciones, por ejemplo, el azufre y el níquel, y compuestos que son tóxicos también en niveles bajos, por ejemplo los halógenos orgánicos. Los materiales tóxicos pueden aparecer en forma discontinua o ser una parte constante del agua

residual. Los efectos tóxicos pueden ser permanentes, definiendo con ello la toxicidad para el diseño del proceso global.

El control de tóxicos se lleva a cabo preferentemente removiendo el material tóxico de las aguas residuales o por separación de las corrientes. Si esto no es posible, existe todavía un número de alternativas, por ejemplo, la remoción de las sustancias tóxicas en pretratamientos, por precipitación, aeración y separación, la adición de compuestos antagonicos o la dilución a niveles de toxicidad más bajos. La precipitación se usa ya sea antes o en el interior del reactor.

Se pueden encontrar problemas serios a valores de pH altos dentro del reactor, en la conversión de sulfuros a azufre. Debido a que la oxidación de los sulfuros produce OH^- y el pH se eleva. Por tanto el valor de pH en el reactor es uno de los objetivos principales. Al final, el valor del pH puede variar de 6.5 a 9 sin ningún efecto negativo sobre el proceso y la velocidad de conversión del sulfuro se correlaciona bastante bien con sus velocidades de carga.

El sulfuro de hidrógeno inhibe al tratamiento anaerobio cuando está presente a altas concentraciones. La bacteria sulfato-reductora utiliza la misma fuente de energía y es más efectiva que la bacteria productora de metano. Cuando el sulfuro está presente es necesario eliminarlo antes de descargarlo a la alcantarilla o al cuerpo receptor. Las propiedades corrosivas, el olor desagradable y la alta demanda de oxígeno exigen un control para su liberación del medio ambiente. El H_2S es uno de los contaminantes más tóxicos.

2.4.1 Tipos de digestores basados en el empleo de biomasa granular

Proceso de Contacto Anaeróbico : el agua de desecho que aún no ha sido tratada se mezcla con la recirculación del lodo sólido dentro del digestor. Después de que se ha llevado a cabo la digestión, la mezcla es separada en un clarificador y el sobrenadante es *descargado* como efluente. El lodo sedimentado después es recirculado para ser mezclado nuevamente con el agua que se va a tratar (Fig. 2.2). Este proceso ha sido usado en la estabilización de comida empaçada y en aguas con desechos solubles de altas concentraciones.

Las condiciones típicas de diseño son: 1500-5000 mg/L DQO, 2-10 horas de tiempo de residencia, 0.03-0.15 lbDQO/r²*d de carga orgánica y una remoción de DQO del 75-90 %. El problema que presenta es la separación y concentración de biomasa.

Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), (Manto de lodo de Flujo Ascendente) : este tipo de digestor es favorable en el tratamiento de aguas de desecho de baja y mediana concentración, el efluente obtenido es de alta caligad. Fué desarrollado por Lettinga y sus colaboradores al final de los 1970s.

El digestor UASB típico consta de una columna vertical, la cual contiene una población activa de bacterias anaerobias conocidas como biomasa, ésta se sedimenta por gravedad para formar un manto de lodo en el fondo del digestor. El agua de desecho se introduce en el digestor mediante varias entradas localizadas en la base de la columna, el agua asciende a través del manto de lodo y así de esta manera se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia, posteriormente el

efluente (agua tratada) pasa a través de un separador de tres fases localizado en la parte superior de la columna, mientras tanto las burbujas del biogás producido suben a través del líquido y son colectadas separadamente. En el separador se retiene la biomasa que pudo adherirse al líquido para después caer por gravedad (Fig. 2.2).

Las condiciones típicas de diseño son: 5000-15000 mg/L DQO, 4-12 horas de tiempo de residencia, 0.25-0.75 lbDQO/R³*d de carga orgánica y una remoción de DQO del 75-85 %. Este proceso ha sido aplicado a escala piloto en mataderos, fábrica de conservas, destilerías de caña de azúcar y fermentación de la misma, procesamiento de papas y desechos de fábrica de cerveza.

2.4.2 Tipos de Digestores basados en Ataque de Película

Filtro Anaerobio: es una columna llena con varios tipos de materiales sólidos usados para el tratamiento de materia orgánica carbonosa en aguas de desecho; tales materiales pueden ser piedras porosas o plásticos de baja densidad. El agua fluye en forma ascendente a través de la columna teniendo contacto con el material sobre el cual la bacteria anaerobia crece y es retenida, de esta manera se evita la presencia de biomasa en el efluente (Fig. 2.2).

El filtro anaerobio es usado para tratar aguas de desecho de baja concentración a temperatura ambiente. Las condiciones típicas de diseño son: 10000-20000 mg/L DQO, 24-48 horas de tiempo de residencia, 0.06-0.30 lbDQO/R³*d de carga orgánica y una remoción de DQO del 70-80 %.

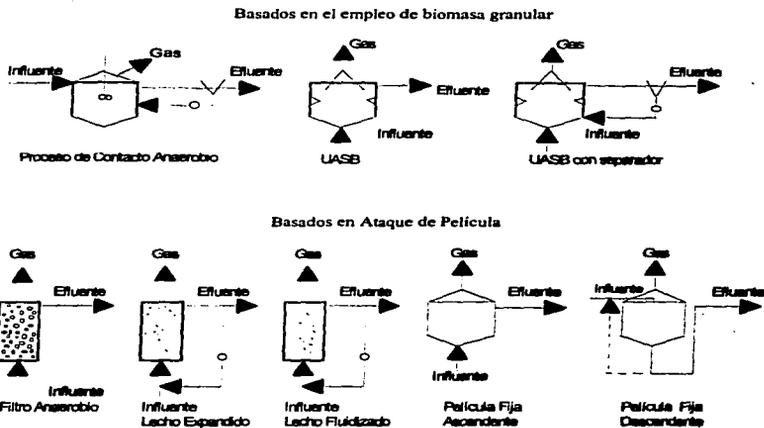
Lecho Expandido (AAFEB) : el agua de desecho que va a ser tratada es bombeada en forma ascendente a través de un lecho apropiado (ej. arena, carbón) sobre el cual se desarrolla el crecimiento biológico de las bacterias formando una película delgada. El efluente es recirculado para diluir el agua de desecho que entra y así mantener un flujo adecuado y un lecho en condición expandida (Fig. 2.2).

Las condiciones típicas de diseño son: 5000-10000 mg/L DQO, 5-10 horas de tiempo de residencia, 0.30-0.60 lbDQO/ft³*d de carga orgánica y una remoción de DQO del 80-85 %. Debido a que grandes cantidades de biomasa pueden ser mantenidas en este tipo de digestor, se recomienda que se use para tratar agua de desecho municipal con muy cortos tiempos de residencia.

Lecho Fluidizado: actúa bajo el mismo principio que el lecho expandido pero varía el porcentaje de expansión del lecho; para éste digestor se tiene un rango de 30 a 100 % y para el lecho expandido el rango es de 10-20 %. Los materiales de soporte pueden ser perlas de PVC, resinas de intercambio iónico de 1 mm. de tamaño y alumina porosa de 0.5 mm. (Fig. 2.2).

Película Fija Estacionaria: en este proceso la biomasa que esta soportada por algún material es colocada en un canal o tubo vertical rígido y fijo, el agua de desecho puede fluir de forma ascendente o descendente (Fig. 2.2). Los materiales pueden ser esferas de PVC o vidrio con un diámetro de 20-100 mm. y un peso de 600-1100 mg. Las condiciones típicas de diseño son: 10-20 kgDQO/m³*d y conversiones de DQO de 85-92 %.

Fig. 2.2 Tipos de Digestores



Referencias

- Callander, I.J. y Barford, J.P. Ref. 3.
- Goodwin, J.A.S., D.A.J. Wase y C.F. Forster. Ref. 10.
- Hang Sik Shin y Byeong Cheon Paik. Ref. 16.
- Metcalf and Eddy. Ref. 25.

3.- DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO

3.1 Generalidades

Para poder llevar a cabo el diseño de una planta en general, se necesita seguir una secuencia de pasos que nos proporcionarán información útil para poder realizar un buen diseño.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Estudio de Mercado
- b) Evaluación Tecnológica
- c) Ingeniería Básica
- d) Ingeniería de Detalle
- e) Ingeniería de Procura
- f) Ingeniería de Construcción
- g) Pruebas y Arranque

a) **Evaluación de Mercado:** tiene como objetivo conocer si existe la necesidad de obtener cierto producto, investigar si hay otras empresas que lo fabrican, precio de venta además de saber si se tiene la materia prima disponible, quienes son los proveedores y el precio que voy a pagar por ella.

b) **Evaluación Tecnológica:** en muchas ocasiones tanto en la literatura como en patentes y en Centros de Investigación se encuentran reportados distintos procesos que conducen a la obtención

del mismo producto, comparándolos se obtienen las ventajas técnicas y se elige el mejor. En esta elección también se toman en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de mercado.

c) **Ingeniería Básica:** es un conjunto de actividades encaminadas para diseñar las etapas, establecer la secuencia de ellas y definir los equipos necesarios así como sus principales condiciones de operación, para transformar la materia prima en productos.

La Ingeniería Básica generalmente contiene los siguientes documentos:

- 1.- Elaboración de Bases de Diseño
- 2.- Diagrama de Bloques
- 3.- Diagrama de Flujo de Proceso DFP
- 4.- Descripción del Proceso
- 5.- Balance de Materia y Energía
- 6.- Lista de Equipo
- 7.- Hojas de Datos
- 8.- Diagramas de Servicios Auxiliares
- 9.- Filosofía de Operación
- 10.- Criterios de Diseño

d) **Ingeniería de Detalle:** Durante esta etapa se diseñan, seleccionan y especifican los equipos, tuberías, accesorios e instrumentos que conforman el proceso que se llevará a cabo. También se consideran los diseños de otras ingenierías como la Mecánica, Eléctrica y Civil.

La Ingeniería de Detalle generalmente contiene los siguientes documentos:

- 1.- Diagramas de Tubería e Instrumentación DTI**
- 2.- Diagrama de Localización de Equipo**
- 3.- Índice de Instrumentos**
- 4.- Hojas de datos de Instrumentos**
- 5.- Índice de Tuberías**
- 6.- Isométricos**
- 7.- Dibujos de Equipo**
- 8.- Dibujos Civiles**
- 9.- Diagrama Unifilar**

e) Ingeniería de Procura: es la encargada de la adquisición del equipo y material que ya se ha diseñado o seleccionado, los responsables de esto son los mismos ingenieros que hicieron el **diseño o la especificación** de los equipos y materiales.

f) Ingeniería de Construcción: en esta etapa los planos, normas y especificaciones indican a los ingenieros y obreros de la construcción, la manera de "ensamblar" todos los equipos y materiales adquiridos para obtener una planta que opere de acuerdo con las bases de diseño de la misma.

g) Pruebas y Arranque: la etapa de pruebas consiste en verificar la conexión de todos los circuitos (tuberías, instrumentos e instalación eléctrica). Se deben probar individualmente todos los equipos y todos los instrumentos para que funcionen de acuerdo con lo especificado. Se debe comprobar lo hermético de la instalación de tuberías, sobre todo en caso de materiales tóxicos o inflamables.

Finalmente, se debe limpiar cuidadosamente la planta y proceder el arranque en sí, ésta es la etapa definitiva de la creación de plantas.

Como puede observarse no es tan sencillo realizar el diseño de una planta ya que se requiere de la búsqueda de mucha información y de la inversión de mucho tiempo. En muchas industrias las personas que se dedican a hacer ingeniería de proyectos, en ocasiones sus propuestas no llegan a concretarse hasta la etapa de construcción quedando desarrolladas únicamente hasta la etapa de Ingeniería de Detalle.

Este trabajo es una propuesta de como puede ser tratada el agua residual (que cuente con ciertas características) empleando un tratamiento biológico. Por lo tanto solo se desarrollarán la etapa de Ingeniería Básica y la Ingeniería de Detalle para dar una idea de como se realiza el diseño de una planta de tratamiento de aguas por un método anaerobio.

Referencias

Leobardo Jiménez León. Ref. 22.

Rase Howard F. y M. H. Barrow. Ref. 27.

3.2 Ingeniería Básica

En el punto anterior se mencionaron los documentos que generalmente contiene la ingeniería básica. A continuación se enumeran algunas de las características principales de cada uno de ellos.

Bases de Diseño

- 1.-Objetivos del Proyecto.
- 2.-Capacidad de la Planta: de operación y de diseño.
- 3.-Ubicación de la Planta.
- 4.-Características y/o especificaciones de la materia prima y/o producto terminado.
- 5.-Requerimiento de espacio.
- 6.-Requerimiento de servicios auxiliares.
- 7.-Criterios de diseño y códigos de construcción.
- 8.-Condiciones sísmicas y meteorológicas del lugar donde se ubicará la planta.
- 9.-Debe hacerse mención de los desechos y la forma en que se dispondrán.

Diagrama de Bloques

- 1.-Representar en bloques las operaciones unitarias del proceso indicando las entradas y salidas de los materiales y productos del proceso.

Diagrama de Flujo de Proceso

- 1.-El proceso debe tener una secuencia lógica dentro del diagrama.
- 2.-Todos los equipos deben tener identificación.
- 3.-Las líneas de proceso deben marcarse más gruesas para diferenciarlas de las líneas de servicios, así como identificarlas con un número progresivo de corriente.
- 4.-El diagrama debe contener en el recuadro inferior derecho los datos que identifiquen el proyecto.

Descripción del Proceso

- 1.-Debe hacer referencia por nombre y número a los equipos incluidos en el DFP.
- 2.-Debe indicarse las características con que alimentará cada corriente, así como las condiciones de operación (temperaturas, presiones, tiempos, concentraciones, etc.).
- 3.-Debe ser claro y llevar un orden lógico dentro del DFP.
- 4.-Todos los equipos a los que se haga mención en la descripción del proceso deberán estar representados en el DFP.

Balace de Materia y Energía

- 1.-Un resumen del balance debe representarse en el DFP con las principales variables que intervienen en el proceso.

Lista de Equipo

- 1.-Debe incluirse todo el equipo principal que instalará el proyecto.
- 2.-Debe indicarse, el número de piezas de cada ítem, su ubicación dentro del proyecto o planta, nuevo o existente, servicio y capacidad.
- 3.-Todo equipo que aparezca en el DFP debe incluirse en la lista de equipo.
- 4.-Debe usarse nomenclatura consistente en todo el proyecto.

Hojas de Datos

- 1.-Cada equipo debe de tener una hoja de datos en la cual se señalan sus características principales tales como condiciones de operación, o datos que proporciona el fabricante.

Diagrama de Servicios Auxiliares

- 1.-Es una representación de los requerimientos de agua, aire y vapor.
- 2.-Puede omitirse energía eléctrica, en donde solo se cuantifica el consumo eléctrico.
- 3.-En este diagrama también se representan las características y condiciones de cada corriente.
- 4.-Normalmente se representan los cabezales.

Filosofía de Operación

- 1.-Se hace mención de como opera el proceso si continuo o intermitente.
- 2.-Tipo de Proceso: continuo o intermitente.

Criterios de Diseño

- 1.-Se mencionan factores y sistemas de seguridad que estén en el proceso.
- 2.-Se indican las consideraciones en las que uno se basa para calcular determinado equipo.

3.2.1 Elaboración de Bases de Diseño

OBJETIVO

Diseñar una planta de tratamiento de aguas de desecho industrial empleando el proceso anaerobio.

CAPACIDAD

Flujo Mínimo	540 m ³ /d
Flujo de Operación	1800 m ³ /d
Flujo Máximo Puntual	2700 m ³ /d

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Temperatura	25 °C
Presión Atmosférica	11.3 lb/in ²

CARACTERISTICAS DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO TERMINADO

CARACTERISTICAS DEL INFLUENTE			EFLUENTE
PARAMETRO	UNIDAD	CONDIC. DE ENTRADA	CONDIC. DE SALIDA
DBO ₅	mg/L	3940	394
DQO	mg/L	6567	985
TSS	mg/L	620	20.83
SOLIDOS TOTALES	mg/L	2578	399.6
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	7	7
GRASAS Y ACEITES	mg/L	66.57	66.57
pH		10.3	7.2
TEMPERATURA	* C	20	35
COLIFORMES	mpn/100 ml	418,000	418,000

Otros efluentes que se originan del proceso son el biogás, la biomasa y el gas de venteo. A continuación se mencionan sus características.

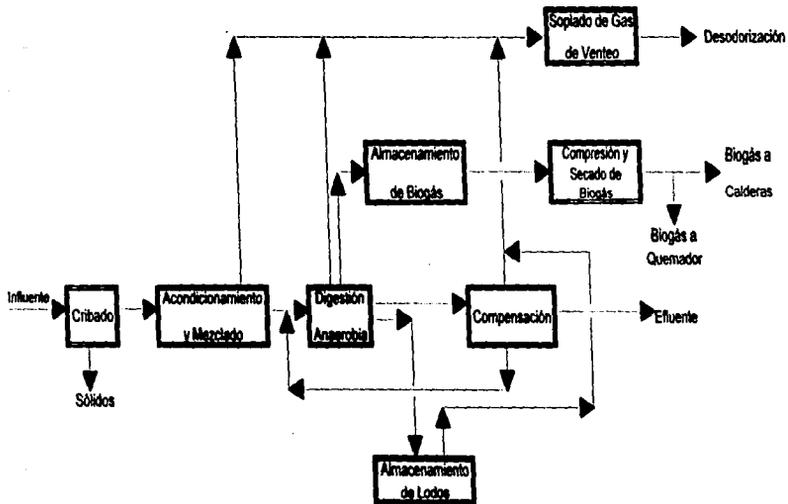
· **Biogás:** conforme sale del digestor a una temperatura de 35 °C se almacena en un Gas Holder, posteriormente se envía a un compresor de gas para aumentar su poder calorífico y después va a un secador de gas para ser usado como combustible en alguna caldera; si este no es el caso puede enviarse a un quemador. El biogás tiene la siguiente composición: 60 - 80 % CH₄, 20 - 30 % CO₂, 1 - 4 % Vapor de agua, 0 - 2 % H₂S.

· **Biomasa:** el exceso de ésta es removida del digestor y se almacena en un tanque llamado de lodos, en dicho tanque la biomasa puede permanecer por largos períodos de tiempo y posteriormente ser enviada a remoción de lodos. La apariencia de ésta es en forma de gránulos.

· **Gas de venteo:** es enviado a un soplador de gas y posteriormente llevado a desodorización.

CARACTERISTICAS DE LOS SERVICIOS

SERVICIO	CONCENTRACION (% peso)	DENSIDAD (Kg/m ³)	TEMPERATURA (°C)	DISPONIBILIDAD
Ac. Clorhídrico	38	1188.6	25	TQ. de Almo.
Cloruro Férrico	5	1039.3	25	TQ. de Almo.
Hidróxido de Sodio	50	1521.7	25	TQ. de Almo.
Vapor	Media Calidad 80 lb in ²	6.11964	155.58	Por el Cliente



PLANTA ANAEROBIA	
FACULTAD DE QUIMICA	
Diagrama de Bloques	
Diseño No.:	BLQ - 001
Elabora:	Nallely Arroyo Valdés
Revisó:	JM
Aprobó:	MC
Fecha:	Enero/97

a) Ajuste de pH:

El pH se ajusta en este tanque al punto en que se asegura que el efluente del reactor R-210 esté en el rango óptimo, para mantener el pH del reactor alrededor de 6.5 se debe adicionar un producto químico como por ejemplo sosa. El ajuste de pH se puede hacer ya sea en el CT y/o en la línea de alimentación del reactor.

El control primario de pH se hace automáticamente en el CT (AIC-403), y un ajuste del mismo se hace en la línea de alimentación al reactor después de que el agua de reciclaje se haya mezclado con el efluente del CT.

b) Ajuste de Temperatura:

El ajuste de temperatura se lleva a cabo automáticamente (TC-402) a través de la inyección de vapor dentro del tanque. El grado óptimo de temperatura para la bacteria anaerobia es de 30-38 °C, al controlar la temperatura en el CT ésta también se mantiene dentro del reactor.

c) Mezclado:

Para asegurar una mezcla homogénea en el tanque, se utiliza un sistema de mezcla con bombeo "Jet Mixing", la bomba que esta involucrada en el sistema es la L-131 y la bomba L-131A es de reserva.

d) Nivel:

El control de nivel se lleva a cabo automáticamente a través de el controlador de nivel LIC -405. El agua que ya ha sido acondicionada es enviada al reactor R-210.

ALIMENTACION DEL DIGESTOR

a) Adición de Micro-Nutrientes:

Si los análisis del influente muestran que se requieren micronutrientes, estos son dosificados en la succión de la bomba de alimentación del agua acondicionada.

b) Tubería de Distribución de la Alimentación del Digestor:

Para tener al flujo de alimentación del digestor en íntimo contacto con la biomasa granular en el fondo del reactor, éste último ha sido provisto de un sistema de distribución especial de alimentación.

Este particular diseño de tubería transfiere el flujo de alimentación proveniente del CT y lo combina con el reciclaje del reactor y lo manda al fondo del digestor. La bomba de alimentación al reactor (L-211) está dimensionada para manejar el flujo de agua residual cruda más el efluente reciclado del digestor. La bomba L-211A es de reserva.

Dentro del digestor existen boquillas que están espaciadas sobre el piso para asegurar aún más la distribución del influente. El flujo de alimentación del digestor es controlado automáticamente por medio de la válvula de control de flujo de alimentación FCV-502.

c) Control de pH:

Un ajuste fino del pH es realizado en la línea de alimentación al digestor. Después de que las aguas residuales del CT y el reciclaje hayan sido combinadas. Si el pH necesita ser ajustado se inyecta el químico sosa automáticamente (AIC-503) dentro de un mezclador estático M-212 en la línea de alimentación al reactor.

DIGESTOR / REACTOR

a) Digestor:

Es del tipo Anaerobio de Flujo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Bed, UASB), en él la DQO es convertida a biogás y por lo tanto reducida, éste tanque contiene la biomasa granular ya que es la que realiza el trabajo, es importante que el pH y la temperatura de este reactor sean mantenidos en los niveles óptimos, para lograrlo estas variables son controladas en la alimentación del mismo y en el CT.

Los tres componentes principales del reactor son: la biomasa, el sistema de distribución de la alimentación y el separador de tres fases o settler. El volumen del reactor es una función de la carga de DQO a ser tratada y la carga volumétrica permisible, ésta última, se deriva de datos reportados en la literatura en plantas piloto y a escala industrial con aguas residuales de similar DQO.

b) Separador de Tres Fases:

Cumple con dos funciones: 1) Desgasificar el lodo y el agua residual y 2) Separar el lodo del agua residual tratada.

El agua residual entra en el fondo del reactor y se filtra hacia arriba a través del lecho de lodos (Sludge Bed). Cuando el agua residual pasa a través de la biomasa, en forma ascendente los contaminantes orgánicos solubles son convertidos rápidamente en biogás (CH_4 y CO_2) y en una pequeña cantidad de biomasa nueva. El agua, gas y partículas de lodo con gas atrapado, ascienden a el separador. No hay forma de que el agua salga del reactor excepto a través de las dos placas paralelas dentro de la sección del separador.

El biogás no se mueve hacia abajo y consecuentemente es separado del lodo y el agua residual, siendo colectado entonces en las bolsas de gas. El lodo de apariencia granular y altamente sedimentable, cae en el lecho de lodos donde puede hacer más trabajo.

El agua sale dentro del separador y los sólidos que flotan son recolectados por las barras desnatadoras localizadas en la parte alta de los separadores; el efluente de agua residual fluye sobre los vertederos y deja la parte alta del reactor en dirección a las salidas de la descarga.

MANEJO DEL EFLUENTE

Conforme el agua limpia salga del reactor R-210, su temperatura, el nivel y el pH son medidos (por medio de TI-602, LI-605 y AI-603) en el "standpipe" (F-213) del reactor, estos valores del efluente son indicativos del pH y temperatura del reactor.

El "standpipe" provee un volumen de amortiguamiento para el efluente/reciclaje y permite la liberación de gas acarreado proveniente del agua residual antes de que ésta se combine con el agua residual del CT en la línea de alimentación del digestor. El agua residual que no es recirculada es ya el agua residual tratada o efluente del sistema. Para su posible reutilización ver sección 3.4.1.

MANEJO DE BIOGAS

Como ya se mencionó anteriormente éste proceso de tratamiento produce metano y bióxido de carbono (biogás) como un subproducto. El metano, en ciertas mezclas con aire, es explosivo y por lo tanto, debe ser manejado adecuadamente. La cantidad de metano generado es directamente proporcional a la cantidad de DQO convertida.

El biogás generado en el reactor es totalizado y enviado al tanque de retención de gas de tapa flotante "Gas Holder" (F-220). Conforme el nivel del tanque de retención de gas cambia, una válvula de control de nivel LCV-1108 se abre y cierra automáticamente, lo cual desvía el flujo al compresor G-221; después del compresor, el biogás es mandado al secador de biogás G-222 y después de que salga de ahí puede ser utilizado en alguna caldera. (Ver sección 3.4.3).

Si no es usado para calderas, el gas holder continua elevándose y la LCV-1108 se abre dejando que el biogás vaya al quemador. En la tapa flotante del tanque de retención de gas se localiza una válvula de escape y admisión de aire PSV-601 que está calibrada para liberar gas si la presión en el sistema de biogás se incrementa.

También en el tanque colector de biogás del reactor se localiza una válvula de escape y admisión. Si la contrapresión se incrementa, la válvula de alivio de presión PSV-501 libera el biogás a la atmósfera, si estas fallan y la contrapresión continua incrementándose, el biogás es expelido a través de un canal de venteo.

MANEJO DE LA BIOMASA

Aunque sólo una pequeña fracción de la DQO reducida va a la producción de nueva biomasa (típicamente 0.05 KgSSV/KgDQOr), habrá un tiempo en que ésta debe ser retirada del reactor, para ello se utiliza la bomba L-231 que transporta la biomasa desde el reactor al tanque de lodos F-230. La bomba L-231A es de reserva.

Como la biomasa es anaerobia, ésta se encuentra ya estabilizada, el exceso de biomasa puede ser usada para inocular nuevos reactores, como mejorador de suelos (con los permisos apropiados), o puede ser deshidratada más adelante y mandada a un relleno sanitario o a un incinerador. (Ver sección 3.4.2).

MANEJO DE GAS DE VENTEO / CONTROL DE OLORES

Todos los sistemas anaerobios tienen el potencial de generar olores. El olor primario es el de huevo podrido debido al H_2S que se genera en todos los tanques anaerobios asociados con el sistema. Para contener todos los olores, todos los tanques han sido cubiertos y venteados.

Un soplador de gas de venteo G-310 recolecta los gases de venteo del CT, del reactor, del standpipe y del tanque de lodos y los envía a desodorización para ser biológicamente oxidados. (Ver sección 3.4.4).

El gas de venteo contiene algo de metano y H_2S , ambos son explosivos cuando se mezclan con aire. Como los espacios de venteo del tanque pueden no estar completamente sellados, podría ser posible para el aire mezclarse con el gas de venteo y formar una mezcla explosiva, para evitar ésta situación se puede agregar aire fresco al gas de venteo de manera que la mezcla de aire a gas no sea explosiva.

3.2.5 Balance de Materia

Influyente (m ³ /d)	1800	CONDICIONES DE DISEÑO			
DBO ₅ (mg/L)	3940	pH (CT)	6.5		
pH	10.3	pH (Reactor)	7.2		
Temperatura (°C)	25	pH acidificación	4		
Sólidos Totales (mg/L)	2578	Temp. CT (°C)	35		
Sólidos Sedimentables (mg/L)	7	Temp. R-210 (°C)	35		
Grasas y Aceites (mg/L)	66.57	T.Sat.Vap. (°C)	155.58		
TSS (mg/L)	620	Vapor (lb/in ²)	60		
Coliformes (mpm/100 ml)	418000	FeCl ₃ (mg/L)	5		
Flujo prom. (m ³ /d)	1800	DQO (Kg/m ³)	6.56667	PM.FeCl ₃ (g/gmol)	162.208
Flujo mín. (m ³ /d)	540	DBO ₅ /DQO	0.6	PM.HCl (g/gmol)	36.46
Flujo máx. (m ³ /d)	2700	C.M. (KgDQO/d)	17730	PM.NaOH (g/gmol)	40
Remoc. DBO (%)	90	Remoc. DQO (%)	85	PM. CH ₄ (g/gmol)	16
Den. H ₂ O @20°C	998.204	Rem. TSS H-120(%)	76	DQOr (Kg/d)	15070.5
Den. NaOH @25°C	1521.7	Cont. TSS en Biom. (%)	5	TSS desp. H-120(mg/L)	148.8
Den. FeCl ₃ @25°C	1039.3	Vol. R-210 (m ³)	1773	Cont. TSS en F-230(%)	15
Den. HCl @25°C	1188.6	C.V. (KgDQO/m ³ *d)	10	Prod. de Lodo (%DQOr)	5
Den. Vap. @155.58°C	6.11964	TRH R-210 (h)	12	m ³ CH ₄ /KgDQOr	0.35
Den. H ₂ S @35°C	1.03200	Conc. FeCl ₃ (%peso)	5	% Biogas conver. a Viento	2
Den. CH ₄ @35°C	0.48457	Conc. HCl (%peso)	38	% Lq. retenido en H-120	9
Den. LODD	1150	Conc. NaOH (%peso)	50	Vol. G-222 (m ³)	70
BALANCE DE MATERIA					
NOTA: Para cada corriente se indica el flujo másico (Kg/día), el flujo volumétrico (m ³ /día), y la densidad del fluido (Kg/m ³) respectivamente.					
Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Corriente 6
2695150.800	2452587.228	2454736.254	4909472.508	4909473.001	4906054.683
2700	2457	2592.484	5184.966	5184.966	5181.358
998.204	998.204	946.867	946.867	946.867	946.867
Corriente 7	Corriente 8	Corriente 9	Corriente 10	Corriente 11	Corriente 12
2451318.429	2555.924	2841.622	2655.924	753.525	753.525
2588.874	5274.675	5274.675	5274.675	0.855	0.855
946.867	0.485	0.539	0.485	1150	1150
Corriente 13	Corriente 14	Corriente 15	Corriente 16	Corriente 17	Corriente 18
1470.393	221.001	474.420	92.061	0.493	217.738
240.274	0.186	0.456	0.061	0.00032	210.967
6.120	1188.600	1039.300	1521.700	1521.700	1.032
Corriente r	Corriente a	Corriente b			
2454736.254	108.659	108.659			
2592.484	108.434	108.434			
946.867	1.032	1.032			

3.2.6 LISTA DE EQUIPO

CLAVE	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
F-110	CARCAMO	VOLUMEN (m ³)= 750 TRH (h)= 6
L-111 L-11A	BOMBA DE AGUA RESIDUAL	FLUJO (m ³ /d)= 2700 P ₀ (psig)= 20 HP= 4
H-120	CRIBA	FLUJO (m ³ /d)= 2457 MALLA (mm)= 0.5
F-130	TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO	VOLUMEN (m ³)= 635 TRH (h)= 4.7
L-131 L-131A	BOMBA DE JET MIXING	FLUJO (m ³ /d)= 982.8 P ₀ (psig)= 14 HP= 2
R-210	REACTOR / DIGESTOR	VOLUMEN (m ³)= 2881 TRH (d)= 12
L-211 L-211A	BOMBA DE ALIMENTACION AL R-210	FLUJO (m ³ /d)= 5184.000 P ₀ (psig)= 30 HP= 14
M-212	MEZCLADOR ESTATICO	FLUJO (m ³ /d)= 5184.000
F-213	STANDPIPE	VOLUMEN (m ³)= 12 TRH (h)= 0.05
F-220	GAS HOLDER	EQUIPO DE PAQUETE
G-221	COMPRESOR DE BIOGAS	EQUIPO DE PAQUETE
G-222	SECADOR DE BIOGAS	EQUIPO DE PAQUETE
F-230	TANQUE DE LODOS	VOLUMEN (m ³)= 68 TRH (h)= 2180
L-231 L-231A	BOMBA DE LODOS	FLUJO (m ³ /d)= 0.855 P ₀ (psig)= 15 HP= 0.5
G-310	SOPLADOR DE GAS DE VENDEO	EQUIPO DE PAQUETE

3.2.7 SECUENCIAS DE CALCULO Y CALCULO DE EQUIPOS

SECUENCIA DE CALCULO DE TUBERIAS

$$S = Q/V$$

donde:

S= área interna de la tubería, ft².

Q= flujo que va por la tubería, ft³/s.

V= velocidad del fluido en la tubería, ft/s.

Para poder llevar a cabo el cálculo de el área interna de la tubería, se tomarán en cuenta valores de velocidades recomendadas dependiendo del fluido que se maneje.

$$D = ((4*S)/PI)^{1/2}$$

donde:

D= diámetro interno de la tubería. ft.

PI= 3.141592654.

CDT-1 CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIAS						
SERVICIO	Q	Q	V	S	D interno	D interno
	m ³ /día	ft ³ /s	recomendada ft/s	ft ²	ft	in
INFLUENTE	2700	1.103	6	0.184	0.484	6
	2457	1.004	6	0.167	0.462	6
	982.8	0.402	6	0.067	0.282	4
	2582.484	1.059	6	0.177	0.474	6
	5184.968	2.119	6	0.353	0.671	8
VAPOR	240.274	0.098	100	0.001	0.036	0.424
NCL	1.82E-01	0.0001	5	1.82E-06	4.40E-03	0.083
NUTRIENTE	4.58E-01	0.0002	5	3.73E-06	6.89E-03	0.083
NaOH	0.061	0.00002	5	4.99E-06	2.82E-03	0.030
	3.20E-04	1.31E-07	5	2.82E-08	1.82E-04	0.002
EFLUENTE	5187.358	2.118	6	0.353	0.670	8
	2582.484	1.059	6	0.177	0.474	6
	2588.874	1.059	6	0.179	0.474	6
LOGO	0.655	0.003	6	4.46E-05	0.008	0.090
BODAS	5274.675	2.156	67	0.032	0.202	2.429
VERTO	105.484	0.043	67	0.006	0.029	0.343
ATMOSFERA	5274.675	2.156	67	0.032	0.202	2.429

3.2.7 SECUENCIAS DE CALCULO Y CALCULO DE EQUIPOS

SECUENCIA DE CALCULO DE TUBERIAS

$$S = Q/V$$

donde:

S= área interna de la tubería, ft².

Q= flujo que va por la tubería, ft³/s.

V= velocidad del fluido en la tubería, ft/s.

Para poder llevar a cabo el cálculo de el área interna de la tubería, se tomarán en cuenta valores de velocidades recomendadas dependiendo del fluido que se maneje.

$$D = ((4 \cdot S) / \pi)^{0.5}$$

donde:

D= diámetro interno de la tubería, ft.

PI= 3.141592654.

SERVICIO	COT-1 CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIAS					
	Q m ³ /día	Q ft ³ /s	V recomendada ft/s	S	D interno ft	D interno in
INFLUENTE	2700	1.103	6	0.184	0.484	6
	2457	1.004	6	0.167	0.462	6
	982.6	0.402	6	0.067	0.292	4
	2592.484	1.059	6	0.177	0.474	6
	5184.968	2.119	6	0.353	0.671	8
VAPOR	240.274	0.098	100	0.001	0.035	0.424
NCL	1.89E-01	0.0001	5	1.82E-06	4.40E-03	0.063
NUTRIENTE	4.55E-01	0.0002	5	3.73E-06	6.69E-03	0.063
NaOH	0.081	0.00002	5	4.99E-06	2.52E-03	0.030
	3.20E-04	1.31E-07	5	2.62E-06	1.82E-04	0.002
EFLUENTE	5181.358	2.118	6	0.353	0.670	8
	2592.484	1.059	6	0.177	0.474	6
	2588.874	1.058	6	0.176	0.474	6
LOCO	0.635	0.003	6	4.46E-05	0.006	0.060
BIOGAS	5274.675	2.156	67	0.032	0.202	2.429
VENTO	105.494	0.043	67	0.0006	0.029	0.343
ATMOSFERA	5274.675	2.156	67	0.032	0.202	2.429

SECUENCIA DE CALCULO PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

Ecuación de Bernoulli para calcular la presión de succión de la Bomba:

$$z1 \cdot g/gc + P1/Den = z2 \cdot g/gc + Ps/Den + (fs \cdot V^2 \cdot Leqs) / (2 \cdot gc \cdot Ds)$$

donde:

$z1$ = altura en el tanque de succión, ft.

$g/gc = 1$

$P1$ = presión en el recipiente de succión, lb/ft^2 .

Den = densidad del fluido, lb/ft^3 .

$z2$ = altura de succión en la bomba, ft.

Ps = presión de succión, lb/ft^2 .

fs = factor de fricción de Fanning en la succión.

V = velocidad del fluido, ft/s .

$Leqs$ = longitud equivalente en la succión, ft.

gc = aceleración de la gravedad, ft/s^2 .

Ds = diámetro interno de la tubería de succión, ft.

Ecuación de Bernoulli para calcular la presión de descarga de la Bomba:

$$z3 \cdot g/gc + P_D / Den = z4 \cdot g/gc + P2/Den + (f_{D} \cdot V^2 \cdot Le_{qD}) / (2 \cdot gc \cdot D_D) + \Delta P/Den$$

donde:

$z3$ = altura de descarga en la bomba, ft.

P_D = presión de descarga, lb/ft^2 .

z_4 = altura en el tanque de descarga, ft.

P_2 = presión en el recipiente de descarga, lb/ft².

f_D = factor de fricción de Fanning en la descarga

Leq_D = longitud equivalente en la descarga, ft.

D_D = diámetro interno de la tubería de descarga, ft.

ΔP = caída de presión de equipo. (Ej. válvulas de control), lb/ft².

$$H_B = P_D - P_s$$

donde:

H_B = cabeza de la bomba, ft.

P_D = presión de descarga de la bomba, ft.

P_s = presión de succión de la bomba, ft.

$$HP = HB \cdot Q \cdot S_{gr} / (3960 \cdot Ef)$$

donde:

HP= potencia de la Bomba.

Q= flujo que maneja la bomba, GPM.

S_{gr} = gravedad específica del fluido

Ef= eficiencia de la bomba.

$$NPSH_D = z_1 + (P_1 - P_v) / \text{Den} - f_s \cdot V^2 \cdot Leqs / (2 \cdot gc \cdot D_s)$$

donde:

$NPSH_D$ = cabeza de succión neta positiva disponible, ft.

z_1 = altura en el tanque de succión, ft.

P_1 = presión en el recipiente de succión, lb/ft².

P_v = presión de vapor del fluido a la temperatura de succión, lb/ft².

D_{en} = densidad del fluido, lb/ft³.

f_s = factor de fricción de Fanning en la succión.

V = velocidad del fluido, ft/s.

L_{eqs} = longitud equivalente en la succión, ft.

g_c = aceleración de la gravedad, ft/s².

D_s = diámetro interno de la tubería de succión, ft.

CB-1 Cálculo de la Bomba Centrífuga L - 111

Datos:

Gasto (GPM)	Q	495.3
Densidad (lb/ft ³)	Den	62.32
Viscosidad (cp)	Visc	1.0050
Presión en el recipiente de succión (psia)	P1	11.3
Presión de vapor (psia)	Pv	0.3391
Eficiencia de la bomba (%)	Ef	60
Altura en el tanque de succión (ft)	Z1	28
Diámetro interno de la tubería de succión (ft)	Ds	0.5054
Diámetro interno de la tubería de descarga (ft)	D _D	0.5054
Longitud equivalente en la succión (ft)	Leqs	85.42
Longitud equivalente en la descarga (ft)	Leq _D	127.92
Altura de succión en la bomba (ft)	Z2	1.334
Altura de descarga en la bomba (ft)	Z3	0.1922
Altura en el tanque de descarga (ft)	Z4	44
Velocidad del fluido (ft/s)	V	6
Aceleración de la gravedad (ft/s ²)	gc	32.2
Presión en el recipiente de descarga (psia)	P2	11.3
Factor de fricción de Fanning en la succión	f _s	0.017
Factor de fricción de Fanning en la descarga	f _D	0.017
Gravedad Específica del fluido	Sgr	0.999

Resultados:

Presión de succión (psig)	Ps	12
Presión de descarga (psig)	P _D	20
Cabeza de la Bomba (ft)	H _B	19
Potencia de la Bomba	HP	4.04
Cabeza de succión neta positiva disponible (ft)	NPSH _D	60

CB-2 Cálculo de la Bomba Centrífuga L - 131

Datos:

Gasto (GPM)	Q	180.3
Densidad (lb/ft ³)	Den	62
Viscosidad (cp)	Visc	0.7225
Presión en el recipiente de succión (psia)	P1	11.3
Presión de vapor (psia)	Pv	0.8157
Eficiencia de la bomba (%)	Ef	60
Altura en el tanque de succión (ft)	Z1	15
Diámetro interno de la tubería de succión (ft)	D _s	0.3355
Diámetro interno de la tubería de descarga (ft)	D _d	0.3355
Longitud equivalente en la succión (ft)	Leq _s	234.57
Longitud equivalente en la descarga (ft)	Leq _d	96.21
Altura de succión en la bomba (ft)	Z2	3.588
Altura de descarga en la bomba (ft)	Z3	0.369
Altura en el tanque de descarga (ft)	Z4	30
Velocidad del fluido (ft/s)	V	6
Aceleración de la gravedad (ft/s ²)	gc	32.2
Presión en el recipiente de descarga (psia)	P2	11.3
Factor de fricción de Fanning en la succión	f _s	0.018
Factor de fricción de Fanning en la descarga	f _d	0.018
Gravedad Específica del fluido	Sgr	0.994

Resultados:

Presión de succión (psig)	P _s	5
Presión de descarga (psig)	P _d	14
Cabeza de la Bomba (ft)	H _B	21
Potencia de la Bomba	HP	1.57
Cabeza de succión neta positiva disponible (ft)	NPSH _D	43

CB-3 Cálculo de la Bomba Centrífuga L - 211

Datos:

Gasto (GPM)	Q	951.2
Densidad (lb/ft ³)	Den	62
Viscosidad (cp)	Visc	0.7225
Presión en el recipiente de succión (psia)	P1	11.3
Presión de vapor (psia)	Pv	0.8157
Eficiencia de la bomba (%)	Ef	80
Altura en el tanque de succión (ft)	Z1	54.14
Diámetro interno de la tubería de succión (ft)	Ds	0.6771
Diámetro interno de la tubería de descarga (ft)	D _o	0.6771
Longitud equivalente en la succión (ft)	Leq _s	560.84
Longitud equivalente en la descarga (ft)	Leq _o	143.10
Altura de succión en la bomba (ft)	Z2	0.743
Altura de descarga en la bomba (ft)	Z3	0.350
Altura en el tanque de descarga (ft)	Z4	72.2
Velocidad del fluido (ft/s)	V	6
Aceleración de la gravedad (ft/s ²)	gc	32.2
Presión en el recipiente de descarga (psia)	P2	11.3
Factor de fricción de Fanning en la succión	f's	0.015
Factor de fricción de Fanning en la descarga	f'o	0.015
Gravedad Especifica del fluido	Sgr	0.994

Resultados:

Presión de succión (psig)	P _s	20
Presión de descarga (psig)	P _o	36
Cabeza de la Bomba (ft)	H _a	37
Potencia de la Bomba	HP	14.32
Cabeza de succión neta positiva disponible (ft)	NPSH _o	79

CB-4 Cálculo de la Bomba Centrífuga L - 231

Datos:

Gasto (GPM)	Q	100
Densidad (lb/ft ³)	Den	71.8
Viscosidad (cp)	Visc	0.7225
Presión en el recipiente de succión (psia)	P1	11.3
Presión de vapor (psia)	Pv	0.8157
Eficiencia de la bomba (%)	Ef	60
Altura en el tanque de succión (ft)	Z1	24.10
Diámetro interno de la tubería de succión (ft)	Ds	0.3356
Diámetro interno de la tubería de descarga (ft)	Dd	0.3356
Longitud equivalente en la succión (ft)	Leqs	291.92
Longitud equivalente en la descarga (ft)	Leqd	113.62
Altura de succión en la bomba (ft)	Z2	6.7163
Altura de descarga en la bomba (ft)	Z3	0.324
Altura en el tanque de descarga (ft)	Z4	27
Velocidad del fluido (ft/s)	V	6
Aceleración de la gravedad (ft/s ²)	gc	32.2
Presión en el recipiente de descarga (psia)	P2	11.3
Factor de fricción de Fanning en la succión	f _s	0.018
Factor de fricción de Fanning en la descarga	f _d	0.018
Gravedad Especifica del fluido	Sgr	0.999

Resultados:

Presión de succión (psig)	Ps	11
Presión de descarga (psig)	Po	15
Cabeza de la Bomba (ft)	H _a	8
Potencia de la Bomba	HP	0.34
Cabeza de succión neta positiva disponible (ft)	NPSH _o	50

SECUENCIA DE CALCULO PARA EL DISEÑO DE RECIPIENTES

Dimensionamiento:

$$V = TRH \cdot Q$$

donde: V = volumen del tanque, m³.

TRH = tiempo de residencia, horas.

Q = flujo que entra al tanque, m³/hr.

Nota: tomar en cuenta cuantas horas tiene el turno de trabajo.

$$V_{\text{diseño}} = V / 0.9$$

donde: V = volumen del tanque, m³.

0.9 = sobrediseño.

Forma Vertical	Forma Rectangular
$V_{\text{diseño}} = ((\pi \cdot D^2) / 4) \cdot L$ donde: D = diámetro del tanque, m. L = altura, m.	$V_{\text{diseño}} = L \cdot A \cdot An$ donde: L = largo, m. A = alto, m. An = ancho, m.

Relación L/D = 1-5 pero el óptimo es 3; en el caso de tanques de forma rectangular hay que proponer un valor a la relación A/An dentro del mismo rango.

NOTA: el ancho se toma como diámetro.

Sustituyendo los valores correspondientes en cada una de las fórmulas y despejando incógnitas se calculan las dimensiones de los tanques.

Diseño Mecánico:

$$t = \frac{(P \cdot D)}{(2 \cdot S \cdot E - P)} + C$$

donde: P= presión de diseño, psig.

D= diámetro del recipiente, in.

S= esfuerzo máximo permisible, psi. Depende del material de construcción del recipiente.

E= eficiencia de soldadura, %. Depende del tipo de soldadura empleada.

C= corrosión permitida, in. Depende del material empleado y de su tiempo de vida útil.

t= espesor, in.

P= Pbarométrica + Phidrostática + Palivio

donde: Phidrostática= H*Den; H= altura del recipiente, ft; Den= densidad del fluido lb/ft³.

Palivio= presión en las válvulas de alivio, psi.

CT-1 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE F - 110**CARCAMO:****FORMULAS:**TRH = V/Q, despejando V tenemos $V = TRH \cdot Q$ $V (m^3) = L \cdot A \cdot An$ **DATOS:**

Considerar para el diseño que el nivel máximo es 90 % de la capacidad total del recipiente.

Turno (hrs)	24	
Q (m ³ /d)	2700	(Celda A33 de la hoja de Balance; Corriente 1)
TRH (hrs)	6	
Den. (Kg/m ³)	998.204	(Celda A34 de la hoja de Balance; Corriente 1)
Relación L/An	2	Relación A/An 1.5

CALCULOS:V (m³) = 675Vdiseño (m³) = 750L/An=2 y A/An=1.5; por lo tanto $L=2 \cdot An$ y $A=1.5 \cdot An$; sustit. en la fórmula del volumen del paralelepípedo tenemos que: $V=3An^3$, despejando An tenemos que $An=(V/3)^{1/3}$

Sustituyendo valores An= 6.30

Como $L=2 \cdot An$, entonces L = 12.60Como $A=1.5 \cdot An$, entonces A= 9.45**RESULTADOS:**

V (m ³)	750
Longitud (m)	12.60
Altura (m)	9.45
Ancho (m)	6.30

DISEÑO MECANICO**FORMULAS:**Código API-ASME: $t = ((P \cdot D) / (2 \cdot S \cdot E \cdot P)) + C$ $P = P_{\text{barométrica}} + P_{\text{hidrostática}} + P_{\text{alivio}}$ **DATOS:**

P barométrica 11.3 P hidrostática 13.416

Código ASTM recomienda el material SA-285 Gr. C para diseñar el cuerpo de los tanques de Acero al Carbon

Esfuerzo máximo permisible = 13700 (para el material SA-285 Gr. C con Temp. de -20 a 650 °F)

Corrosión 1/16 (Libro Diseño de Equipo, Tanques y Recipientes)

Eficiencia (%) 80 (Tabla 12-1 Rase and Barrow) Junta de tope soldado doble

Nota: en la fórmula del espesor, como diámetro se tomará el ancho de la figura.

CALCULOS:

P = 24.716

Sustituyendo los datos en la fórmula del espesor $t = 0.342$ **RESULTADOS:**

Espesor (in)	0.342
--------------	-------

CT-2 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE F-130

TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO:

FORMULAS:

$TRH = V/Q$; despejando V tenemos $V = TRH \cdot Q$
 $V (m^3) = ((\pi \cdot D^2)/4) \cdot L$

DATOS:

Considerar para el diseño que el nivel máximo es 90 % de la capacidad total del recipiente.

Turno (hrs)	24	
Q (m ³ /d)	2457	(Celda B33 de la hoja de Balance, Corriente 2)
TRH (hrs)	4.7	
Den. (Kg/m ³)	998.204	(Celda B34 de la hoja de Balance, Corriente 2)
Relación L/D	3	

CALCULOS:

V (m³) 481.163
Vdiseño(m³) 535
L/D=3, por lo tanto L=3*D; sustituyendo en la fórmula del volumen del cilindro tenemos que:
 $V = (3^2 \cdot \pi \cdot D^3)/4$, despejando D tenemos que $D = ((V \cdot 4) / (3^2 \cdot \pi))^{1/3}$
Sustituyendo valores D = 6.10
Como L=3*D, entonces L = 18.30

RESULTADOS:	V (m ³)	535
	Altura (m)	18.30
	Diámetro(m)	6.10

DISEÑO MECANICO

FORMULAS:

Código API-ASME: $t = ((P \cdot D) / (2 \cdot S \cdot E - P)) + C$
P=Pbarométrica+Phidrostática+Palivio

DATOS:

P barométrica	11.3	P alivio	0.97551	P hidrostática	25.979
Código ASTM recomienda el material SA-285 Gr. C para diseñar el cuerpo de los tanques de Acero al Carbon					
Esfuerzo máx. permisible =	13700	(para el material SA-285 Gr. C con Temp. de -20 a 650 °F)			
Corrosión	1/16	(Libro Diseño de Equipo, Tanques y Recipientes)			
Eficiencia (%)	80	(Tabla 12-1 Rase and Barrow) Junta de tope soldado doble			

CALCULOS:

P = 39.254
Sustituyendo los datos en la fórmula del espesor $t = 0.482$

RESULTADOS:	Espesor (in)	0.482
--------------------	--------------	-------

CT-3 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE R-210

REACTOR / DIGESTOR:

FORMULAS:

TRH = V/Q ; despejando V tenemos $V = TRH \cdot Q$

$V (m^3) = ((\pi \cdot D^2) / 4) \cdot L$

DATOS:

Considerar para el diseño que el nivel máximo es 90 % de la capacidad total del recipiente.

Turno (hrs)	24	
Q (m ³ /da)	5184.968	(Celda E33 de la hoja de Balance; Corriente 5)
TRH (hrs)	12	(Equivalente a 3 meses)
Den. (Kg/m ³)	946.867	(Celda E34 de la hoja de Balance; Corriente 5)
Relación L/D	2	

CALCULOS:

V (m³) = 2592

Vdiseño(m³) = 2881

L/D=2, por lo tanto L=2*D; sustituyendo en la fórmula del volumen del cilindro tenemos que :

$V = (2 \cdot \pi \cdot D^3) / 4$, despejando D tenemos que $D = ((V \cdot 4) / (2 \cdot \pi))^{1/3}$

Sustituyendo valores D = 12.24

Como L=2*D, entonces L = 24.48

RESULTADOS:	V (m ³)	2881
	Altura (m)	24.48
	Diámetro(m)	12.24

DISEÑO MECANICO

FORMULAS:

Código API-ASME: $t = ((P \cdot D) / (2 \cdot S \cdot E - P)) + C$

P = Pbarométrica + Phidroestática + Palivio

DATOS:

P barométrica	11.3	P alivio	0.97551	P hidroestática	32.968
Código ASTM recomienda el material SA-285 Gr. C para diseñar el cuerpo de los tanques de Acero al Carbon					
Esfuerzo máx. permisible =	13700	(para el material SA-285 Gr. C con Temp. de -20 a 650 °F)			
Corrosión	1/16	(Libro Diseño de Equipo, Tanques y Recipientes)			
Eficiencia (%)	80	(Tabla 12-1 Rase and Barrow) Junta de tope soldado doble			

CALCULOS:

P = 45.244

Sustituyendo los datos en la fórmula del espesor t = 1.057

RESULTADOS:	Espesor (in)	1.057
--------------------	--------------	-------

CT-4 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE F-213

STANDPIPE:

FORMULAS:

$$TRH = V/Q; \text{ despejando V tenemos } V = TRH \cdot Q$$

$$V (m^3) = ((\pi \cdot D^2)/4) \cdot L$$

DATOS:

Considerar para el diseño que el nivel máximo es 90 % de la capacidad total del recipiente.

Turno (hrs)	24	
Q (m ³ /d)	5181.358	(Celda F33 de la hoja de Balance; Corriente 6)
TRH (hrs)	0.05	(Equivalente a 3 minutos)
Den. (Kg/m ³)	946.867	(Celda F34 de la hoja de Balance; Corriente 6)
Relación L/D	3	

CALCULOS:

$$V (m^3) = 10.8$$

$$V \text{ diseño} (m^3) = 12$$

L/D=3, por lo tanto L=3*D. sustituyendo en la fórmula del volumen del cilindro tenemos que:

$$V = (3 \cdot \pi \cdot D^2)/4, \text{ despejando D tenemos que } D = ((V \cdot 4)/(3 \cdot \pi))^{1/3}$$

$$\text{Sustituyendo valores } D = 1.72$$

$$\text{Como } L = 3 \cdot D, \text{ entonces } L = 5.16$$

RESULTADOS:

V (m ³)	12
Altura (m)	5.16
Diámetro(m)	1.72

DISEÑO MECANICO

FORMULAS:

$$\text{Código API-ASME: } t = ((P \cdot D)/(2 \cdot S \cdot E \cdot P)) + C$$

$$P = P_{\text{barométrica}} + P_{\text{hidrostática}} + P_{\text{alivio}}$$

DATOS:

P barométrica	11.3	P alivio	0.97551	P hidrostática	6.950
Código ASTM recomienda el material SA-285 Gr. C para diseñar el cuerpo de los tanques de Acero al Carbón					
Esfuerzo máx. permisible =	13700		(para el material SA-285 Gr. C con Temp. de -20 a 650 °F)		
Corrosión	1/16	(Libro Diseño de Equipo, Tanques y Recipientes)			
Eficiencia (%)	80	(Tabla 12-1 Rase and Barrow) Junta de tope soldado doble			

CALCULOS:

$$P = 19.226$$

$$\text{Sustituyendo los datos en la fórmula del espesor } t = 0.122$$

RESULTADOS:

Espesor (in)	0.122	Espesor mínimo API= 3/16 in.
--------------	-------	------------------------------

CT-5 CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TANQUE F - 230**TANQUE DE LODOS:****FORMULAS:**

TRH =V/Q ; despejando V tenemos V=TRH*Q

 $V (m^3) = ((\pi \cdot D^2)/4) \cdot L$ **DATOS:**

Considerar para el diseño que el nivel máximo es 90 % de la capacidad total del recipiente.

Turno (hrs) 24

Q (m³/d) 0.655 (Celda E38 de la hoja de Balance; Corriente 11)

TRH (hrs) 2160 (Equivalente a 3 meses)

Den. (Kg/m³) 1150 (Celda E39 de la hoja de Balance; Corriente 11)

Relación L/D 3

CALCULOS:V (m³) 59.0Vdiseño(m³) 66

L/D=3 , por lo tanto L=3*D; sustituyendo en la fórmula del volumen del cilindro tenemos que :

 $V = (3 \cdot \pi \cdot D^3)/4$, despejando D tenemos que $D = ((V \cdot 4)/(3 \cdot \pi))^{1/3}$

Sustituyendo valores D= 3.03

Como L=3*D, entonces L= 9.09

RESULTADOS:

V (m ³)	66
Altura (m)	9.1
Diámetro(m)	3.03

DISEÑO MECANICO**FORMULAS:**Código API-ASME: $t = ((P \cdot D)/(2 \cdot S \cdot E \cdot F)) + C$

P = Pbarométrica + Phidrostática + Palivio

DATOS:

P barométrica 11.3 P alivio 0.97551 P hidrostática 14.667

Código ASTM recomienda el material SA-285 Gr. C para diseñar el cuerpo de los tanques de Acero al Carbon.

Esfuerzo máx. permisible = 13700 (para el material SA-285 Gr. C con Temp. de -20 a 650 °F)

Corrosión 1/16 (Libro Diseño de Equipo, Tanques y Recipientes)

Eficiencia (%) 80 (Tabla 12-1 Rase and Barrow) Junta de tope soldado doble

CALCULOS:

P = 27.142

Sustituyendo los datos en la fórmula del espesor $t = 0.210$ **RESULTADOS:**

Espesor (in) 0.210

3.2.8 HOJAS DE DATOS

FACULTAD DE QUIMICA					No.	HD - 01
HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA					No.	REV.
FOR	REVISO	ABROBO	FECHA	HOJA	DE	
CLIENTE			EP			
LUGAR			UNIDAD			
SERVICIO			FABRICANTE			
UNIDAD MOTRIZ			TAMANO Y TIPO			
TURBINA			SIGUIENDO EL ESTANDAR			
CONDICIONES DE OPERACION DE CADA BOMBA				FUNCIONAMIENTO		
LIQUIDO	U.S. GPM. NOR.	DISEÑO	CURVA PROPUESTA No.	NPSH REQ. (AGUA) PIES		
TEMP BOMBO (°C)	PRES. DESC. (PSIG)		No. DE PASOS	RPM		
DENS. REL. ATIVA	PRES. DIF. (PSIG)		EF. DIS.	BHP		
PRESION VAPOR (PSIA)	COLUM. DIF. (ft)		BHP. MAX. DIS. IMP. (m)			
VISCOSIDAD (CP)	NPSH DIS. (ft)		COLLUM. MAX. DIS. IMP. (m)			
MATERIALES Y CONSTRUCCION				ROTACION VISTO DESDE COUPLE		
MONTAJE CARCAZA: L CENTROS () PIE () SOPORTE () VERTICAL ()				AGUA DE ENFRIAMIENTO		
DIVISION: AXIAL () RADIAL ()				BALEROS		
TIPO: VOLUTA SENCILLA () DOBLE VOLUTA () DIFUSOR ()				ESTOPERO		
CONEX: VENTEO () DRENAJE ()				PEDESTAL		
BOQUILLAS				PRENSA ESTOPAS		
DIAMETRO	CLASIF. ASA	CARA	POSICION	AGUA TOTAL REQ. (GPM)		
SUCCION				ENFTO. DEL EMPAQUE		
DESCARGA				LUBRICACION		
DIAM. IMPULSOR DISEÑO				TURBINA AUXILIAR POR EL FABRICANTE		
FAB DE BALEROS RADIAL				AGUA DE ENFTO () TUBING () TURBINA		
COUPLE Y GUARDA FAB.				LAVADO DEL SELLO () TUBING () TURBINA		
EMPAQUE FAB. Y TIPO						
SELLO MECANICO: FAB. Y TIPO						
PARA BOMBAS VERT. EMPUJE FLECHA (HACIA ARRIBA) (HACIA ABAJO)						
BASE						
CLAVE DE MATL. CARCAZA				PRUEB. TALL		
PARTES INTERIORES				REQUERIDA		
CLAVE SCR				ATESTIGUADA		
PARTES INT. CUERPO				COMP. TRAB.		
CHAMACERAS				NPSH		
CAMISA (SELLO)				INSPECCION		
ANILLO DE DESGASTE						
FLECHA				HIESTROSTATICA		
				PSIG		
				MAX. PRES. TRAB. PERMIS.		
				PSIG		
				PESOS: BOMBA		
				BASE		
				MOTOR		
				TURBINA		
MOTOR POR				DATOS FINALES DEL FABRICANTE		
CLAVE MONTADO POR				DIAMETRO ACTUAL DEL IMP.		
HP	RPM	ARMAZON	HP	RPM	MATL.	CURVA DE PRUEBA No.
FAB.			FAB. Y TIPO			DIB. DIMENSIONAL No.
TIPO	ASL		VAP. ENT. (PSIG)	TEMP. F		DIB. SECC. BOMBA No.
ENCAPSULADO	AUM. TEMP.	°C	ESCAPE (PSIG)	AGUA REQ. (GPM)		DIB. SECC. SELLO No.
VOLTS/FASES/CICLOS	LUB		CONS. VAPOR	LB/BHP/HR		No SERIE BOMBA
BALEROS			BALEROS	LUB		TOLERANCIA ENTRE ANILLOS
OBSERVACIONES: Para mayor informacion sobre el calculo de este equipo ver la hoja C.B.I.						

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

No. HD - 02
REV. _____

FOR	REVISO	ABROBO	FECHA	HOJA	DE
CLIENTE	EP			V-121/23	
LUGAR	UNIDAD			Bomba Anzoategui	
SERVICIO	FABRICANTE				
UNIDAD MOTRIZ	TAMARO Y TIPO				
TURBINA	SIGUIENDO EL ESTANDAR				

CONDICIONES DE OPERACION DE CADA BOMBA

LIQUIDO	U.S. GPM. NOR.	1200	DISEÑO	1000
PRES. DESC. (PSIG)				
TEMP. BOMBEO (°C)				
DENS. REL. ATIVA				
PRESION VAPOR (PSIA)				
VISCOSIDAD (CP)				
	PRES. SUCC. (PSIG)			
	PRES. DIF. (PSIG)			
	COLUM. DIF. (ft)			
	NPSH DIS. (ft)			

FUNCIONAMIENTO

CURVA PROPUESTA No.	
NPSH REQ. (AGUA) PIES	
No. DE PASOS	RPM
EF. DIS.	BHP
BHP MAX DIS. IMP (m)	
COLUM MAX DIS. IMP (m)	
GPM MIN CONTINUOS	
ROTACION VISTO DESDE COUPLE	

MATERIALES Y CONSTRUCCION

MONTAJE CARCAZA	LECENTROS ()	PIE ()	SOPORTE ()	VERTICAL ()
DIVISION:	AXIAL ()	RADIAL ()		
TIPO:	VOLUTA SENCILLA ()	DOBLE VOLUTA ()	DIFUSOR ()	
CONEX:	VENTED ()	DRENAJE ()		

AGUA DE ENFRIAMIENTO

BALEROS	
ESTOPERO	
PEDESTAL	
PRESAS ESTOPAS	
AGUA TOTAL REQ. (GPM)	
ENFTO. DEL EMPAQUE	
LUBRICACION	

BOQUILLAS	DIAMETRO	CLASIF. ASA	CARA	POSICION
SUCCION				
DESCARGA				

TUBERIA AUXILIAR POR EL FABRICANTE

AGUA DE ENFTO ()	TUBING ()	TUBERIA
LAVADO DEL SELLO ()	TUBING ()	TUBERIA

DIAM. IMPULSOR DISEÑO	MAX	TIPO	NUM. DE
FAB. DE BALEROS RADIAL		AXIAL	
COPEL Y GUARDA FAB.	MITAD COPEL MONTADO POR		
EMPAQUE FAB. Y TIPO	TAM	No. ANILLOS	
SELLO MECANICO: FAB. Y TIPO	CODIGO CLASE		
PARA BOMBAS VERT. EMPAQUE FLECHA (HACIA ARRIBA) (HACIA ABAJO)			
BASE			

CLAVE DE MATL. CARCAZA DE LAS PARTES INTERIORES

CLAVE INTERIORES			
IMPULSOR			
PARTES INT. CUERPO			
CHUMACERAS			
CAMISA (SELLO)			
ANILLO DE DESGASTE			
FLECHA			

PRUEB. TABL.	REQUERIDA	ATESTIGUADA
COMP. TRAB.		
NPSH		
INSPECCION		

HIDROSTATICA	PSIG
MAX. PRES. TRAB. PERMIS.	PSIG
PESOS: BOMBA	BASE
	MOTOR
	TURBINA

MOTOR POR TURBINA POR DATOS FINALES DEL FABRICANTE

CLAVE	MONTADO POR	CLAVE	MONTADO POR	DIAMETRO ACTUAL DEL IMP.
HP	RPM	HP	RPM	CURVA DE PRUEBA No.
FAB.	ARMAZON	FAB. Y TIPO	MATL.	DIB. DIMENSIONAL No.
TIPO	ANILLO	VAP. ENT. (PSIG)	TEMP. P.	DIB. SECC. BOMBA No.
ENCAPSULADO	AUM. TEMP. °C	ESCAPE (PSIG)	AGUA REQ. (GPM)	DIB. SECC. SELLO No.
VOLTS/FASES/CICLOS		CONS. VAPOR	LB/BHP/HR	No. SERIE BOMBA
BALEROS	LUB	BALEROS	LUB	TOLERANCIA ENTRE ANILLOS

OBSERVACIONES: Para mayor informacion sobre el cálculo de este equipo ver la hoja C-2

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

No. **HD - 03**
REV.

POR	REVISO	ABROBO	FECHA	HOJA	DE
CLIENTE				EP	
LUGAR				UNIDAD	
SERVICIO				FABRICANTE	
UNIDAD MOTRIZ				TAMARO Y TIPO	
TURBINA				SIGUIENDO EL ESTANDAR	

CONDICIONES DE OPERACION DE CADA BOMBA

LIQUIDO	U.S. GPM. NOM.	DISEÑO	CURVA PROPUESTA No.
TEMP. BOMBEO (°C)	PRES. DESC. (PSIG)		NPSH REQ. (AGUA) PIES
DENS. REL. ATIVA	PRES. SUCC. (PSIG)		No. DE PASOS
PRESION VAPOR (PSIA) @ 150°F	PRES. DIF. (PSIG)		EF. DIS. BHP.
VISCOSIDAD (CP) @ 150°F	COLUM. DIF. (ft)		COLUM. MAX. DIS. IMP. (m)
	NPSH DIS. (ft)		GPM. MIN. CONTINUOS

FUNCIONAMIENTO

ROTACION VISTO DESDE COUPLE
AGUA DE ENFRAMIENTO
BALEROS
ESTOPERO
PEDESTAL
PRENSAS ESTOPAS
AGUA TOTAL REQ. (GPM)
ENFTO. DEL EMPAQUE
LUBRICACION

MATERIALES Y CONSTRUCCION

MONTAJE CARCAZA	LCENTROS ()	PE ()	SOPORTE ()	VERTICAL ()
DIVISION	AXIAL ()	RADIAL ()		
TIPO:	VOLUTA SENCILLA ()	DOBLE VOLUTA ()	DIFUSOR ()	
CONEX:	VENTEO ()	DRENAJE ()		

AGUA DE ENFRAMIENTO
BALEROS
ESTOPERO
PEDESTAL
PRENSAS ESTOPAS
AGUA TOTAL REQ. (GPM)
ENFTO. DEL EMPAQUE
LUBRICACION

BOQUILLAS	DIAMETRO	CLASIF. ASA	CARA	POSICION
SUCCION				
DESCARGA				

DIAM. IMPULSOR DISEÑO	MAX.	TIPO	NUM. DE
FAB DE BALEROS RADIAL		AXIAL	
COUPLE Y GUARDA FAB	MITAD COUPLE MONTADO POR		
EMPAQUE FAB. Y TIPO	TAM.	No. ANILLOS	
SELLO MECANICO: FAB. Y TIPO	CODIGO CLASE		
PARA BOMBAS VERT. EMPLEA FLECHA (HACIA ARRIBA) (HACIA ABAJO)			
BASE			

AGUA DE ENFTO ()	TUBING ()	TUBERIA
LAVADO DEL SELLO ()	TUBING ()	TUBERIA

CLAVE DE MATLS. CARCAZA	PARTES INTERIORES	PRUEB. TALL	REQUERIDA	ATESTIGUADA
CLAVE INTERIORES		COMP. TRAB.		
IMPULSOR		NPSH		
PARTES INT. CUERPO		INSPECCION		
CHUMBERAS				
CAMISA (SELLO)				
ANILLO DE DESGASTE				
FLECHA				

HIDROSTATICA	PSIG
MAX. PRES. TRAB. PERMS.	PSIG "F"
PESOS: BOMBA	BASE
MOTOR	TURBINA

MOTOR POR	TURBINA POR	DATOS FINALES DEL FABRICANTE
CLAVE	CLAVE	DIAMETRO ACTUAL DEL IMP.
HP - 1/2 RPM	HP - RPM	CURVA DE PRUEBA No.
ARMAZON	MATL.	DIB. DIMENSIONAL No.
FAB. Y TIPO		DIB. SECC. BOMBA No.
TIPO	VAP. ENT. (PSIG)	TEMP. ESCAPE (PSIG)
ENCAPSULADO	AUM TEMP. °C	AGUA REQ (GPM)
VOLTS/FASES/CICLOS		COMS VAPOR
BALEROS	LUB	LUB/HHR
	BALEROS	LUB
		TOLERANCIA ENTRE ANILLOS

OBSERVACIONES: Para mayor informacion sobre el diseño de esta bomba ver la hoja 02-71.

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA BOMBA CENTRIFUGA

No. **HD - 04**
REV.

FOR <u>115</u>	REVISO <u>114</u>	ABRORO <u>113</u>	FECHA <u>11/11/57</u>	HOJA <u>1</u> DE <u>2</u>
CLIENTE _____	EP _____	UNIDAD <u>Electrica</u>	FABRICANTE _____	TAMARO Y TIPO _____
LUGAR _____	SERVICIO <u>Proveer de agua caliente para F. 115</u>	UNIDAD MOTRIZ <u>Electrica</u>	TURBINA _____	SIGUIENDO EL ESTANDAR _____

CONDICIONES DE OPERACION DE CADA BOMBA				FUNCIONAMIENTO	
LIQUIDO <u>Agua</u>	U.S. GPM. NOR. <u>6.9</u>	DISENO <u>111</u>	CURVA PROPUESTA No. _____	NPSH REQ. (AGUA) PIES _____	No. DE PASOS _____ RPM _____
TEMP. BOMBEO (C) _____	PRES. DESC. (PSIG) _____	PRES. SUC. (PSIG) _____	EF. DIS. _____ BHP <u>0.34</u>	BHP MAX. DIS. IMP. (M) _____	COL. LIM. MAX. DIS. IMP. (M) _____
DENS. REL. ATIVA <u>1.0</u>	PRES. DIF. (PSIG) _____	COLUM. DIF. (M) _____	GPM. MIN. CONTINUOS _____	ROTACION VISTO DESDE COUPLE _____	
PRESION VAPOR (PSIA) <u>0.113</u>	NPSH DIS. (M) _____				
VISCOSIDAD (CP) _____					

MATERIALES Y CONSTRUCCION				
MONTAJE CARCAZA: () PIE () SOPORTE () VERTICAL ()	AGUA DE ENFRIAMIENTO			
DIVISION: AXIAL () RADIAL ()	BALEROS			
TIPO: VOLUTA SENCILLA () DOBLE VOLUTA () DIFUSOR ()	ESTOPERO			
CONEX: VENTEO () DRENAJE ()	PEDESTAL			
PRENSAESTOPAS				
BOQUILLAS	DIAMETRO	CLASIF. ASA	CARA	POSICION
SUCCION	11	11	C. 2	111-2-2-111
DESCARGA	11	11	C. 2	111-2-2-111

DIAM. IMPULSOR DISENO _____ MAX. _____ TIPO _____ NUM. DE _____	FAB. DE BALEROS RADIAL _____ AXIAL _____	COPLER Y GUARDA FAB. _____ MITAD COPLER MONTADO POR _____ TAM. No. ANILLOS _____	SELLO MECANICO: FAB. Y TIPO _____ CODIGO CLASE _____	PARA BOMBAS VERT. EMPLEA FLECHA (HACIA ARRIBA) (HACIA ABAJO) _____
BASE				AGUA DE ENFIO () TUBING () TUBERIA (LAVADO DEL SELLO) () TUBING () TUBERIA

CLAVE DE MATL. CARCAZA	PARTES INTERIORES		PRUEB. TALL	REQUERIDA	ATESTIGUADA
CLAVE INTERIORES			COMP. TRAB.		
ESPELLOS			NPSH		
PARTES INT. CUERPO			INSPECCION		
CHUMACERAS					
CAMISA (SELLO)					
ANILLO DE DESGASTE			HIESTROSTATICA	PSIG	
FLECHA			MAX. PRES. TRAB. PERMIS.	PSIG	"F
			PESOS: BOMBA	BASE	
			MOTOR	TURBINA	

MOTOR POR			TURBINA POR			DATOS FINALES DEL FABRICANTE		
CLAVE _____	MONTADO POR _____	CLAVE _____	MONTADO POR _____	DIAMETRO ACTUAL DEL IMP. _____	CURVA DE PRUEBA No. _____	DIB. DIMENSIONAL No. _____	DIB. SECC. BOMBA No. _____	DIB. SECC. SELLO No. _____
HP <u>1/2</u> RPM _____	ARMAZON _____	HP _____	RPM _____	MATL. _____		No. SERIE BOMBA _____	TOLERANCIA ENTRE ANILLOS _____	
FAB. _____		FAB. Y TIPO _____	VAP. ENT. (PSIG) _____	TEMP. F. _____				
TIPO _____	AISL. _____	ENCAPSULADO _____	AUM. TEMP. _____	AGUA REQ. (GPM) _____				
VOLTS/FASES/CICLOS _____	LUB. _____	CONS. VAPOR _____	LB/BHP/HR _____					
BALEROS _____		BALEROS _____	LUB. _____					

OBSERVACIONES: Para obtener esta informacion sobre el calculo de esta bomba ver la hoja 115-11.

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA TANQUES ATMOSFERICOS

No. **HD-05**
REV.

POR NAV REVISO JM APROBO MC FECHA EMER/97 HOJA 1 DE 1

CLIENTE UNIVERSIDAD E.P. UNIVERSIDAD CANTIDAD UNA

LUGAR CAAGUAY UNIDAD UNIVERSIDAD FABRICANTE

SERVICIO CAAGUAY

DATOS DE PROCESO

CAPACIDAD: NOM. 350 gal OPERACION 63 gal
PRODUCTO AGUA DENSIDAD 999.204 kg/m³
PRES. OP. CUERPO 1.3 bar CHAQUETA -
TEMP. OP. CUERPO 20 °C CHAQUETA -

DATOS DE DISEÑO MECANICO

CODIGOS AC-1-1-1
RADIOGRAFIA - EFICIENCIA DE JUNTAS 100%
PRUEBA HIDROSTATICA: CUERPO -
CHAQUETA -

CONSTRUCCION

TIPO RECTANGULAR ALTURA 4.48 m
DIAMETRO 6.30 m LONGITUD 12.60 m
TIPO DE TAPAS: SUPERIOR - INTERIOR 21 mm
ESPESORES (mm) CUERPO 2.3 TAPAS 3.3
SOPORTES -

PRES. DIS. CUERPO 24.315 psig CHAQUETA -
TEMP. DIS. CUERPO 20 °C CHAQUETA -
CORROSION PERMIS. INT. 0 mm EXT. 0.035 mm
FABRICACION: SOLDADA SI OTRAS -
CARGA DE VIENTO - COEF. SISMICO -
PESO VACIO - PESO OPERACION -

MATERIALES

CUERPO SA-285 Gr. C CHAQUETA -
TAPAS SA-285 Gr. C TAPAS CHAQUETA -
PARTES INTERNAS - PARTES EXTERNAS SA-285 Gr. C
TUBERIA INTERIOR - CUELLO DE BOQUILLAS SA-285 Gr. C
EMPAQUES - BRIDAS -
ESCALERA - ANILLO DE RFZO. -
SOPORTE - TORNILLOS/TUERCAS -

RECUBRIMIENTO Proteccion de alta densidad
AISLAMIENTO - SOPORTES DE AISL. -
OBSERVACIONES: Para cualquier informacion
consultar el catalogo de tanques atmosfericos
de la serie CT-1.

CROQUIS



TABLA DE BOQUILLAS

IDENT	N 1	N 2	N 3															
No.	1	2	3															
DIAM.	6.30	6.30	6.30															
TIPO	Rect.	Rect.	Rect.															
GAS	20 ft. C.	20 ft. C.	20 ft. C.															
SERVIC.	Embotella de Agua	Senador de Agua	Senador de Agua															

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA TANQUES ATMOSFERICOS

No. **HD - 06**
REV.

FOR. NAVE	REVISO	IN	APROBO	AIC	FECHA EMERGEN	HOJA	DE
CLIENTE				EP	5-3-83	CANTIDAD	1109
LUGAR				UNIDAD	Planta Bacteriana		
SERVICIO	Tanques de Acetona			FABRICANTE			

DATOS DE PROCESO

CAPACIDAD: NOM. 522 m³ OPERACION 432 m³
 PRODUCTO Acetona DENSIDAD 932.2 kg/m³
 PRES. OP. CUERPO 11.2 MPa CHAQUETA --
 TEMP. OP. CUERPO 35°C CHAQUETA --

DATOS DE DISEÑO MECANICO

CODIGOS AC-235-41-C
 RADIOGRAFIA -- EFICIENCIA DE JUNTAS 90%
 PRUEBA HIDROSTATICA: CUERPO --
 CHAQUETA --

CONSTRUCCION

TIPO Cilindro Vertical
 DIAMETRO 6.10 m LONGITUD 19.30 m
 TIPO DE TAPAS: SUPERIOR Cónica INFERIOR Plana
 ESPESORES (mm) CUERPO 12.24 TAPAS 12.24
 SOPORTES --

PRES. DIS. CUERPO 3.2 MPa CHAQUETA --
 TEMP. DIS. CUERPO 35°C CHAQUETA --
 CORROSION PERMIS. INT. 0 mm EXT. 1.275 mm
 FABRICACION: SOLDADA -- OTRAS --
 CARGA DE VIENTO -- COEF. SISMICO --
 PESO VACIO -- PESO OPERACION --

MATERIALES

CUERPO SA-235-41-C CHAQUETA --
 TAPAS SA-235-41-C TAPAS CHAQUETA --
 PARTES INTERNAS PARTES EXTERNAS SA-105CC
 TUBERIA INTERIOR CUELLO DE BOQUILLAS SA-235-41-C
 EMPAQUES BRIDAS
 ESCALERA ANILLO DE RFZO.
 SOPORTE TORNILLOS/TUERCAS

RECLUBRIMIENTO Pinturas de alta durabilidad
 AISLAMIENTO -- SOPORTES DE AISL. --
 OBSERVACIONES: Para mayor informacion
 sobre el calculo de este equipo ver
 la hoja 072

CROQUIS

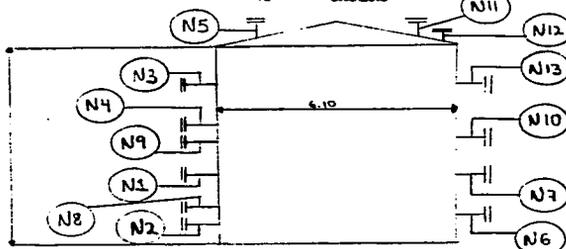


TABLA DE BOQUILLAS

IDENT NO.	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13
DIAM.	6"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	4"	4"	1/2"	1/2"	6"	1/2"	1/2"	1/2"
TIPO	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"
CLAS.	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#	150#
SERVIC.	Entrada de Arroz												

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA TANQUES ATMOSFERICOS

No. HD - 07

DOR: N.A.V. REVISO: J.N. APROBO: N.C. FECHA ENTREGA: 1982 HOJA 1 DE 2

CLIENTE: EP. CANTIDAD: 1

LUGAR: UNIDAD: Planta Buzos

SERVICIO: R.A. / Director FABRICANTE:

DATOS DE PROCESO

CAPACIDAD: NOM. 2.31 m³ OPERACION 2.31 m³

PRODUCTO: Agua Residuo DENSIDAD 999.84 kg/m³

PRES. OP. CUERPO 1.3 psia CHAQUETA =

TEMP. OP. CUERPO 35°C CHAQUETA =

DATOS DE DISEÑO MECANICO

CODIGOS: R.A. / N.C.

RADIOGRAFIA = EFICIENCIA DE JUNTAS 90%

PRUEBA HIDROSTATICA: CUERPO CHAQUETA =

PRES. DIS. CUERPO 42.214 psia CHAQUETA =

TEMP. DIS. CUERPO 35°C CHAQUETA =

CONSTRUCCION

TIPO: Constr. Vertical

DIAMETRO: 13.24 m LONGITUD: 24.43 m

TIPO DE TAPAS: SUPERIOR: Conico INFERIOR: Plana

ESPORES (mm) CUERPO: 23 TAPAS: 23

SOPORTES:

MATERIALES

CUERPO: S-235 Gr. C CHAQUETA =

TAPAS: S-235 Gr. C TAPAS CHAQUETA =

PARTES INTERNAS: E.B.P. PARTES EXTERNAS: S-235 Gr. C

TUBERIA INTERIOR: S.A. CUELLO DE BOQUILLAS: S-235 Gr. C

EMPAQUES: BRIDAS

ESCALERA: ANILLO DE RFZO.

SOPORTE: TORILLOS/TUERCAS

CORROSION PERMIS. INT. 0.3 mm EXT. 1.235 mm

FABRICACION: SOLDADA S-1 OTRAS:

CARGA DE VIENTO COEF. SISMICO

PESO VACIO PESO OPERACION

RECLUBRIMIENTO

AISLAMIENTO: SOPORTES DE AISL.

OBSERVACIONES: Para revisar en el sitio sobre el cálculo de este equipo ver la hoja 07-03

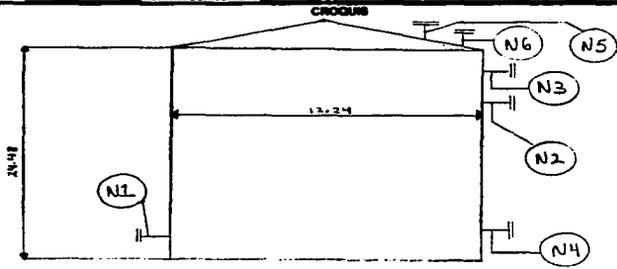


TABLA DE BOQUILLAS

IDENT	N1	N2	N3	N4	N5	N6
NO.	1	1	1	1	1	1
DIAM.	3"	2"	2 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2 1/2"
TIPO	3"	1"	2"	1"	1"	2"
CLAS.						
CARA	ISO 600	ISO 600	ISO 600	ISO 600	ISO 600	ISO 600
SERVIC.	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Alivio

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA TANQUES ATMOSFERICOS

No. **HD - 08**

FOR. N.º	REVISO	J. N.	APROB. N.º	FECHA EMBR. / 75	HOJA	DE
CLIENTE				E.P.	CANTIDAD	INDIC.
LUGAR				UNIDAD		
SERVICIO	STANDARD			FABRICANTE		

DATOS DE PROCESO

CAPACIDAD: NOM. 2000 LITROS OPERACION 2000 LITROS
 PRODUCTO: Tolueno DENSIDAD: 0.87
 PRES. OP. CUERPO 11.5 PSIG CHAQUETA 11.5 PSIG
 TEMP. OP. CUERPO 75.00 F CHAQUETA 75.00 F

DATOS DE DISEÑO MECANICO

CODIGOS: A12 - 15.00
 RADIOGRAFIA: - EFICIENCIA DE JUNTAS: 30.0%
 PRUEBA HIDROSTATICA: CUERPO: -
 CHAQUETA: -

CONSTRUCCION

TIPO: Vertical
 DIAMETRO: 18.00" LONGITUD: 6.00"
 TIPO DE TAPAS: SUPERIOR: Cónica INFERIOR: Plana
 ESPESORES (mm) CUERPO: 4.30 TAPAS: 4.30
 SOPORTES: -

PRES. DIS: CUERPO: 11.5 PSIG CHAQUETA: -
 TEMP. DIS: CUERPO: 75.00 F CHAQUETA: -
 CORROSION PERMIS. INT.: 0.0000 EXT.: 1.0000
 FABRICACION: SOLDADA: SÍ OTRAS: -
 CARGA DE VIENTO: - COEF. SISMICO: -
 PESO VACIO: - PESO OPERACION: -
 RECLUBRIMIENTO: Polietileno de alta densidad

MATERIALES

CUERPO: SA-225 G.C. CHAQUETA: -
 TAPAS: SA-225 G.C. TAPAS CHAQUETA: -
 PARTES INTERNAS: PARTES EXTERNAS: SA-225 G.C.
 TUBERIA INTERIOR: CUELLO DE BOQUILLAS: SA-225 G.C.
 EMPAQUES: BRIDAS:
 ESCALERA: ANILLO DE RFZO.
 SOPORTE: TORNILLOS TUERCAS

AISSLAMENTO: SOPORTES DE AISL.
 OBSERVACIONES: Se ha especificado en el croquis el material de soldadura que se usará en las juntas.

CROQUIS

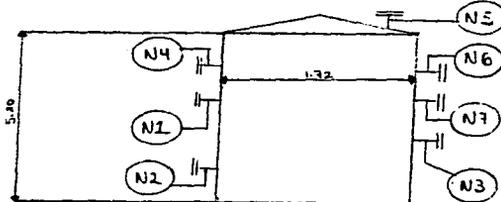


TABLA DE BOQUILLAS

IDENT	N.º	N.º 1	N.º 2	N.º 3	N.º 4	N.º 5	N.º 6	N.º 7	N.º 8	N.º 9	N.º 10	N.º 11	N.º 12
No.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DIAM.	4"	6"	6"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
TIPO	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
MATERIA	150 W.C.	200 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.	150 W.C.
SERVIC.	Entrada	Refrigeración	Salida	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada

FACULTAD DE QUIMICA

HOJA DE DATOS PARA TANQUES ATMOSFERICOS

No. HD - 09
REV.

POR: J.M. REVISO: J.M. APROBO: M.C. EP: FECHA: 11-23-73 HOJA: 1 DE 1
CLIENTE: UNIDAD: Oficina Ejecutiva de Planeación CANTIDAD: 10000
LUGAR: FABRICANTE:
SERVICIO: Tanques de Gas

DATOS DE PROCESO

CAPACIDAD: NOM: 10000 OPERACION: 20000
PRODUCTO: Lat. Balsa DENSIDAD: 1120 kg/m³
PRES. OP. CUERPO: 11.3 TAPAS: CHAQUETA
TEMP. OP. CUERPO: 20.0 CHAQUETA: --

DATOS DE DISEÑO MECANICO

CODIGOS: A.D. - 2013
RADIOGRAFIA: EFICIENCIA DE JUNTAS: 20%
PRUEBA HIDROSTATICA: CUERPO: CHAQUETA
PRES. DIS. CUERPO: 23.14 TAPAS: CHAQUETA
TEMP. DIS. CUERPO: 20.0 CHAQUETA: --
CORROSION PERMIS. INT.: 0.0 EXT.: 0.0
FABRICACION: SOLDADA: SI OTRAS: --
CARGA DE VIENTO: -- COEF. SISMICO: --
PESO VACIO: -- PESO OPERACION: --
RECURRIMIENTO: Político de alta densidad
ASILAMENTO: SOPORTES DE AISL.:

CONSTRUCCION

TIPO: Cilindro Vertical
DIAMETRO: 3.03 LONGITUD: 9.00
TIPO DE TAPAS: SUPERIOR: Cónica INFERIOR: Plana
ESPESESORES (mm) CUERPO: 5.03 TAPAS: 2.03
SOPORTES:

MATERIALES

CUERPO: A-235-C CHAQUETA: --
TAPAS: SA-235-C TAPAS CHAQUETA: --
PARTES INTERNAS: PARTES EXTERNAS: SA-235-C
TUBERIA INTERIOR: CUELLO DE BOCUILLAS: A-235-C
ESPAQUES: BRIDAS:
ESCALERA: ANILLO DE RFZO.
SOPORTE: TORNEILLOS/TUERCAS

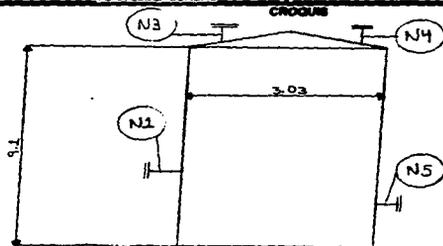
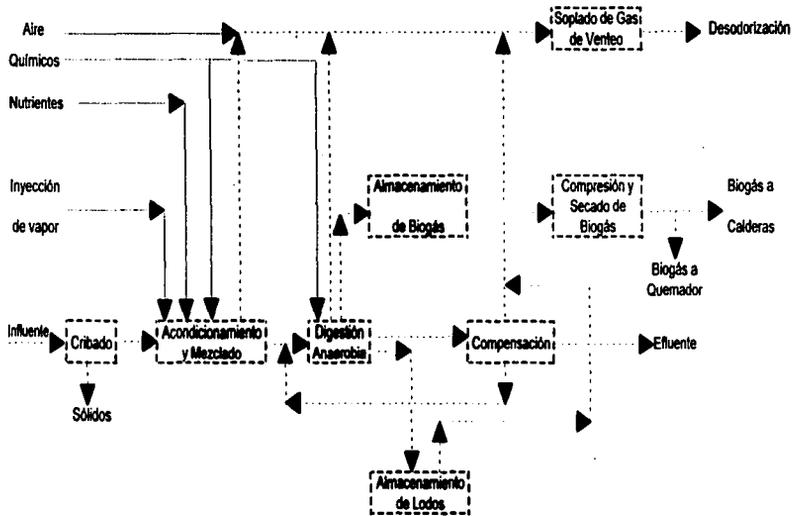


TABLA DE BOCUILLAS

IDENT	N1	N2	N3	N4	N5															
NO.																				
DIAM.	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03															
TIPO	10000	10000	10000	10000	10000															
CLAS.																				
CARA	10000	10000	10000	10000	10000															
SERVIC.	10000	10000	10000	10000	10000															



PLANTA ANAEROBIA	
FACULTAD DE QUIMICA	
Diagrama de Servicios Auxiliares	
Dibujo No.:	SS - 01
Elaboro:	Nallely Arroyo Valdés
Reviso:	JM
Fecha:	
Aprobo:	MC
Fecha:	Enero/97

3.2.10 Criterios de Diseño

CRITERIOS DE DISEÑO DE PROCESO

Flujo mínimo = 30 % del flujo de operación.

Flujo máximo = 50 % más del flujo de operación.

Criba: Remoción de sólidos suspendidos totales 76%.

Del flujo total, el 9% está contenido en los sólidos que retiene la criba.

Tq. de Acondicionamiento: pH= 6.5

pH acidificación= 4

Temperatura= 35 °C

Producción de Gas de Venteo= 2% de la producción de biogás.

Jet-Mixing= 2.5

Reactor: pH= 7.2

Temperatura= 35 °C

Remoción de DBO= 90 %

Remoción de DQO= 85 %

Relación $DBO_2/BQO = 0.6$

Relación F:M= 0.5 KgDQO/KgSSV*d

Carga Volumétrica= 10 KgDQO/m³*d

Producción de Lodo= 5 %DQO reducido

Producción de Biogás= 0.35 m³ CH₄/Kg DQOr

Producción de Gas de Venteo= 2 % de la producción de biogás.

TSS que son removidos=86 %

Sólidos totales a la salida del reactor= 15.5 %

Velocidad del fluido dentro del reactor= 2 - 3 ft/h (0.6 - 0.9 m/h)

Standpipe: La mitad del flujo de agua tratada que entra a este tanque va a recirculación.

Tanque de Lodos: Contenido de TSS= 15 %

Velocidad máxima permisible en la tubería

Servicio	Velocidad (ft/s)
Influyente	6
Vapor	100
Acido Clorhídrico	5
Cloruro Férrico	5
Hidróxido de Sodio	5
Efluente	6
Lodos	6
Biogás	67
Venteo	67

Los materiales que se sugieren para la tubería son : acero al carbón para el manejo de Agua contaminada y tratada, lodo biológico, aire, biogás, hidróxido de sodio y vapor; poliéster reforzado con fibra de vidrio para el ácido clorhídrico; metal ferroso con recubrimiento interior de teflón para el venteo; PVC para el cloruro férrico.

CRITERIOS DE DISEÑO DE EQUIPO Y TANQUES

Cárcamo: TRH= 6 horas.

Criba: tomar en cuenta el flujo de hora máxima. Tamaño de malla 0.5 mm.

Tanque de Acondicionamiento : TRH= 4.7 horas.

Reactor: tomar en cuenta la carga de masa de día máximo. TRH= 12 horas.

Standpipe: TRH= 5 minutos.

Tanque de lodos: tomar en cuenta la carga de masa de mes máximo. TRH= 3 meses.

CRITERIOS DE DISEÑO MECANICO DE TANQUES

Código API - ASME: para calcular el espesor del cuerpo del tanque.

Código ASTM: recomienda el material SA-285 Gr, C para el cuerpo del tanque. (Los tanques son de acero al carbón con recubrimiento de polietileno de alta densidad).

Eficiencia de Junta= 80 % , la junta seleccionada es la de tope soldado doble.

Corrosión: cuando el material tenga una corrosión mínima o despreciable, se usará como valor mínimo 1/16 pulgadas.

Tabla 3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE BIOGAS

ASPECTO	
Gas incoloro e inodoro, poco soluble en agua.	
EFFECTOS TOXICOS	
El metano a altas concentraciones y ausencia de oxígeno puede tener efectos narcóticos y causar asfixia e incluso la muerte.	
PELIGROS POTENCIALES	
FUEGO O EXPLOSION :	Límites de explosión 5 -15 %. Temperatura de ignición 537 °C. Puede encenderse por calor, chispa o flama además puede formar mezclas explosivas con el aire. Los vapores pueden viajar a una fuente de ignición y retroceder con flamas. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan. Los cilindros rotos pueden proyectarse.
ACCIONES DE EMERGENCIA	
GENERALES: Aislar el área de peligro. Mantenerse contra el viento y alejado de las áreas bajas. EQUIPO DE PROTECCION: Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección completo cuando se maneje el gas. EVACUACION: A favor del viento. En caso de que un vagón o tanque esté involucrado en un derrame o fuego evacuar 1500 m a la redonda. FUEGOS PEQUEÑOS: Utilizar polvo químico seco, CO ₂ , espuma o agua en forma de rocío. FUEGOS GRANDES: Utilizar agua en forma de rocío, niebla o espuma, no utilizar chorro de agua. Enfriar los contenedores con volúmenes abundantes de agua durante un buen tiempo después de que el fuego haya sido extinguido. No extinguir la flama en las fugas de gas a menos que se pueda detener la fuga. FUEGO QUE INVOLUCRA TANQUES: Apagar el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras. No dirija el agua a la fuente de la fuga o a las válvulas de seguridad ya que puede haber congelamiento. Retirarse de inmediato en caso de aumentar el sonido de las válvulas de seguridad o se empiece a decolorar el tanque. Mantenerse siempre alejado de los extremos de los tanques. FUGA O DERRAME : Eliminar todas las fuentes de ignición. No tocar el material derramado. Detener la fuga en caso de poder hacer lo sin riesgo. Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. No dirija el agua al derrame o a la fuente de fuga. Contener para evitar su introducción a alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.	
PRIMEROS AUXILIOS	
Transferir a donde se respire aire fresco. Aplicar respiración artificial si la víctima no respira. Administrar oxígeno si respira con dificultad. Mantener a la víctima abrigada y en reposo. Si el accidentado se encuentra inconsciente, colocarlo en una posición boca a bajo y verificar si la respiración se detiene.	
DISPOSICION	
El gas excedente puede ser liberado lentamente a la atmósfera en un área abierta y segura, o puede ser eliminado a través de un quemador adecuado.	

Fuente: Guía de Respuestas rápidas en caso de emergencias ocasionadas por materiales peligrosos. Dirección General de Protección Civil, México D.F. 1992, pp.132.

Tabla 3.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE SULFURO DE HIDROGENO

ASPECTO	
Gas incoloro con olor ofensivo, soluble en agua	
EFFECTOS TOXICOS	
Extremadamente inflamable, tóxico al ser inhalado, TLV 10 ppm (15 mgm ³). En altas concentraciones puede causar inconsciencia inmediata seguida de parálisis respiratoria, en concentraciones más bajas causa irritación de todas las partes del sistema respiratorio y ojos, dolores de cabeza, desfallecimiento y debilidad. Irrita lo ojos y puede causar conjuntivitis.	
PELIGROS POTENCIALES	
FUEGO O EXPLOSION:	Limites de explosión 4.3 - 46 %. Temperatura de ignición 260 °C. Puede encenderse por calor, chispa o flama además puede formar mezclas explosivas con el aire. Los vapores pueden viajar a una fuente de ignición y retroceder con flamas. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan. Los cilindros rotos pueden proyectarse.
REACCIONES PELIGROSAS:	Con agentes oxidantes como CrO ₃ , Cl ₂ O, F ₂ , HNO ₃ , Na ₂ O ₂ , PbO ₂ . Reacciones exotérmicas con sosa, las cuales pueden resultar explosivas en presencia de oxígeno.
ACCIONES DE EMERGENCIA	
GENERALES: Aislar el área de peligro. Mantenerse contra el viento y alejado de las áreas bajas.	
EQUIPO DE PROTECCION: Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección completo cuando se maneje el gas.	
EVACUACION: A favor del viento. En caso de que un vagón o tanque esté involucrado en un derrame o fuego evacuar 1500 m a la redonda.	
FUEGOS PEQUEÑOS: Utilizar polvo químico seco, CO ₂ , espuma o agua en forma de rocío.	
FUEGOS GRANDES: Utilizar agua en forma de rocío, niebla o espuma, no utilizar chorro de agua.	
Enfriar los contenedores con volúmenes abundantes de agua durante un buen tiempo después de que el fuego haya sido extinguido.	
No extinguir la flama en las fugas de gas a menos que se pueda detener la fuga.	
FUEGO QUE INVOLUCRA TANQUES: Apagar el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras.	
No dirija el agua a la fuente de la fuga o a las válvulas de seguridad ya que puede haber congelamiento. Retíranse de inmediato en caso de aumentar el sonido de las válvulas de seguridad o se empiece a decolorar el tanque.	
Mantenerse siempre alejado de los extremos de los tanques.	
FUGA O DERRAME: Eliminar todas las fuentes de ignición.	
No tocar el material derramado. Detener la fuga en caso de poder hacer lo sin riesgo.	
Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.	
No dirija el agua al derrame o a la fuente de fuga.	
Contener para evitar su introducción a alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.	
PRIMEROS AUXILIOS	
INHALACION DE GAS: mover al accidentado fuera del área de peligro. Aflojar la ropa. Administrar oxígeno si está disponible. Si el accidentado se encuentra inconsciente, colocarlo en una posición boca abajo y verificar si la respiración se detiene, si esto ocurre aplicar respiración artificial por el método de boca a boca.	
OJOS AFECTADOS: enjuagarlos con grandes cantidades de agua que corra suavemente, ya sea de la llave o de la botella de un lavador de ojos por lo menos durante 15 min. Asegurarse que el agua lave bien el globo del ojo abriendo suavemente los párpados y manteniéndolos separados hasta que el tratamiento se haya completado.	
En ambos casos si la emergencia requiere que se lleve al paciente al hospital, proveer información al médico de lo ocurrido y de los primeros auxilios proporcionados.	
DISPOSICION	
El gas excedente puede ser liberado lentamente dentro de una columna o torre de separación con agua.	

Fuente: Ibidem, pp. 138.

Table 3.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE HIDROXIDO DE SODIO

ASPECTO
Barras, escamas, polvo o píldoras incoloras, soluble en agua.
EFFECTOS TOXICOS
Causa severas quemaduras, prevenir el contacto con los ojos y la piel, TLV 2 mgm ³ . El sólido y sus fuertes soluciones causan severas quemaduras en los ojos y la piel. Si se ingiere causa severas irritaciones internas y grandes daños.
PELIGROS POTENCIALES
REACCIONES PELIGROSAS: Vanas reacciones exotérmicas con cantidades limitadas de agua, reacciona fuertemente con clorofoma/metanol , se presentan explosiones cuando se calienta con Zirconio, contaminación accidental de pilas de metal con escamas de NaOH previo a su uso con polvo de Zn, producen que esta último se encienda.
ACCIONES DE EMERGENCIA
GENERALES: Aislar el área de peligro. Mantenerse contra el viento y alejado de las áreas bajas.
EQUIPO DE PROTECCION: Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección completo cuando se maneje el gas.
EVACUACION: A favor del viento. En caso de que un vagón o tanque esté involucrado en un derrame o fuego evacuar 800 m a la redonda.
FUEGOS PEQUEÑOS: Utilizar polvo químico seco, CO ₂ , agua en forma de rocío o espuma.
FUEGOS GRANDES: Utilizar agua en forma de rocío, niebla o espuma, no utilizar chorro de agua.
Enfriar los contenedores con volúmenes abundantes de agua durante un buen tiempo despues de que el fuego haya sido extinguido.
NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES.
FUEGO QUE INVOLUCRA TANQUES: Apagar el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras.
No dirija el agua a la fuente de la fuga o a las válvulas de seguridad ya que puede haber congelamiento. Retirarse de inmediato en caso de aumentar el sonido de las válvulas de seguridad o se empiece a decolorar el tanque.
Mantenerse siempre alejado de los extremos de los tanques.
FUGA O DERRAME : Eliminar todas las fuentes de ignición.
No tocar el material derramado. Detener la fuga en caso de poder hacer lo sin riesgo.
Utilizar correa de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.
No dirija el agua al derrame o a la fuente de fuga.
Contener para evitar su introducción a alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.
PRIMEROS AUXILIOS
CONTACTO CON LA PIEL: enjuagar las partes afectadas con grandes cantidades de agua corriente por lo menos durante 10 min. o hasta que no queden restos químicos en contacto con la piel. Retirar toda la ropa contaminada.
OJOS AFECTADOS: enjuagarlos con grandes cantidades de agua que corra suavemente, ya sea de la llave o de la bo-tella de un lavador de ojos por lo menos durante 15 min. Asegurarse que el agua lave bien el globo del ojo abriendo suavemente los párpados y manteniendolos separados hasta que el tratamiento se haya completado.
En ambos casos si la emergencia requiere que se lleve al paciente al hospital, proveer información al médico de lo ocurrido y de los primeros auxilios proporcionados.
DISPOSICION
Disposición por vertido: usar máscara protectora o goggles y guantes. Trampar con mucha agua y conducir al drenaje, diluyendo ampliamente con agua corriente.

Fuente: Ibidem, pp. 176.

Tabla 3.4 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE ACIDO CLORHIDRICO

ASPECTO
Líquido incoloro, soluble en agua.
EFFECTOS TOXICOS
Desprende vapores que causan irritación en ojos y en las membranas mucosas. Al contacto con la piel causa quemaduras.
PELIGROS POTENCIALES
FUEGO O EXPLOSION: No se enciende fácilmente. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan.
REACCIONES EXOTERMICAS: este tipo de reacción ocurre cuando el HCl se pone en contacto con el agua.
ACCIONES DE EMERGENCIA
GENERALES: Aislar el área de peligro. Mantenerse contra el viento y alejado de las áreas bajas. EQUIPO DE PROTECCION: Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección completo cuando se maneje el gas. EVACUACION: A favor del viento. En caso de que un vagón o tanque esté involucrado en un derrame o fuego evacuar 800 m a la redonda. FUEGOS PEQUEÑOS: Utilizar polvo químico seco, CO ₂ , agua en forma de rocío o espuma. FUEGOS GRANDES: Utilizar agua en forma de rocío, niebla o espuma, no utilizar chorro de agua. Enfriar los contenedores con volúmenes abundantes de agua durante un buen tiempo después de que el fuego haya sido extinguido. NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES. FUEGO QUE INVOLUCRA TANQUES: Apagar el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras. No dirija el agua a la fuente de la fuga o a las válvulas de seguridad ya que puede haber congelamiento. Retirarse de inmediato en caso de aumentar el sonido de las válvulas de seguridad o se empiece a decolorar el tanque. Mantenerse siempre alejado de los extremos de los tanques. FUGA O DERRAME: Eliminar todas las fuentes de ignición. No tocar el material derramado. Detener la fuga en caso de poder hacer lo sin riesgo. Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. No dirija el agua al derrame o a la fuente de fuga. Contener para evitar su introducción a alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.
PRIMEROS AUXILIOS
CONTACTO CON LA PIEL: enjuagar las partes afectadas con grandes cantidades de agua corriente por lo menos durante 10 min. o hasta que no queden restos químicos en contacto con la piel. Retirar toda la ropa contaminada. OJOS AFECTADOS: enjuagarlos con grandes cantidades de agua que corra suavemente, ya sea de la llave o de la botella de un lavador de ojos por lo menos durante 15 min. Asegurarse que el agua lave bien el globo del ojo abriendo suavemente los párpados y manteniéndolos separados hasta que el tratamiento se haya completado. INHALACION DE GAS: mover al accidentado fuera del área de peligro. Aflojar la ropa. Administrar oxígeno si está disponible. Si el accidentado se encuentra inconsciente, colocarlo en una posición boca abajo y verificar si la respiración se detiene, si esto ocurre aplicar respiración artificial por el método de boca a boca. En cualquiera de los casos anteriores si la emergencia requiere que se lleve al paciente al hospital, proveer información al médico de lo ocurrido y de los primeros auxilios proporcionados.
DISPOSICION
Disposición por vertido: usar máscara protectora o goggles y guantes. Trápear con mucha agua y conducir al drenaje, diluyendo ampliamente con agua corriente.

Fuente: Ibidem.

Tabla 3.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE CLORURO FERRICO

ASPECTO
Cristales negros-cafés con masas agregadas; se descompone violentamente con agua para formar cloruro de hidrógeno
EFFECTOS TOXICOS
Inhalar cristales finos produce irritación o quemaduras de las membranas mucosas. Causará quemaduras dolorosas en los ojos. Cuando hay humedad en la piel, se produce calor al contacto resultando quemaduras por temperatura y por ácido. Si se ingiere, la reacción inmediata podría causar quemaduras severas.
PELIGROS POTENCIALES
FUEGO Y EXPLOSIÓN: No se enciende fácilmente. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan.
ACCIONES DE EMERGENCIA
GENERALES: Aislar el área de peligro. Mantenerse contra el viento y alejado de las áreas bajas.
EQUIPO DE PROTECCIÓN: Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección completo cuando se maneje el gas.
EVACUACION: A favor del viento. En caso de que un vagón o tanque esté involucrado en un derrame o fuego evacuar 800 m a la redonda.
FUEGOS PEQUEÑOS: Utilizar polvo químico seco, CO ₂ , agua en forma de rocío o espuma.
FUEGOS GRANDES: Utilizar agua en forma de rocío, niebla o espuma, no utilizar chorro de agua. Enfriar los contenedores con volúmenes abundantes de agua durante un buen tiempo después de que el fuego haya sido extinguido.
NO INTRODUCIR AGUA A LOS CONTENEDORES.
FUEGO QUE INVOLUCRA TANQUES: Apagar el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras.
No dirija el agua a la fuente de la fuga o a las válvulas de seguridad ya que puede haber congelamiento. Retirarse de inmediato en caso de aumentar el sonido de las válvulas de seguridad o se empiece a decolorar el tanque.
Mantenerse siempre alejado de los extremos de los tanques.
FUGA O DERRAME : Eliminar todas las fuentes de ignición.
No tocar el material derramado. Detener la fuga en caso de poder hacer lo sin riesgo.
Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.
No dirija el agua al derrame o a la fuente de fuga.
Contener para evitar su introducción a alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.
PRIMEROS AUXILIOS
CONTACTO CON LA PIEL: enjuagar las partes afectadas con grandes cantidades de agua corriente por lo menos durante 10 min. o hasta que no queden restos químicos en contacto con la piel. Retirar toda la ropa contaminada.
OJOS AFECTADOS: enjuagarlos con grandes cantidades de agua que corra suavemente, ya sea de la llave o de la botella de un lavador de ojos por lo menos durante 15 min. Asegurarse que el agua late bien el globo del ojo abriendo suavemente los párpados y manteniéndolos separados hasta que el tratamiento se haya completado.
INHALACION DE GAS: mover al accidentado fuera del área de peligro. Aflojar la ropa. Administrar oxígeno si está disponible. Si el accidentado se encuentra inconsciente, colocarlo en una posición boca abajo y verificar si la respiración se detiene, si esto ocurre aplicar respiración artificial por el método de boca a boca.
En cualquiera de los casos anteriores si la emergencia requiere que se lleve al paciente al hospital, proveer información al médico de lo ocurrido y de los primeros auxilios proporcionados
DISPOSICION
Disposición por vertido: usar máscara protectora o goggles y guantes. Trapear con mucha agua y conducir al drenaje, diluyendo ampliamente con agua corriente.

Fuente: Ibidem.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Referencias

Crane. Ref. 5.

Constantino Alvarez Fúster. Ref. 4.

**Guía de Respuestas iniciales en caso de emergencias ocasionadas por materiales peligrosos.
Ref. 11.**

Habets, L.H.A.; M.H. Tielbaard; A.M.D. Ferguson; C.F. Prong y A.J. Chmelauskas. Ref. 13.

Leobardo Jiménez León. Ref. 22.

Ludwig Ernest E. Ref. 23.

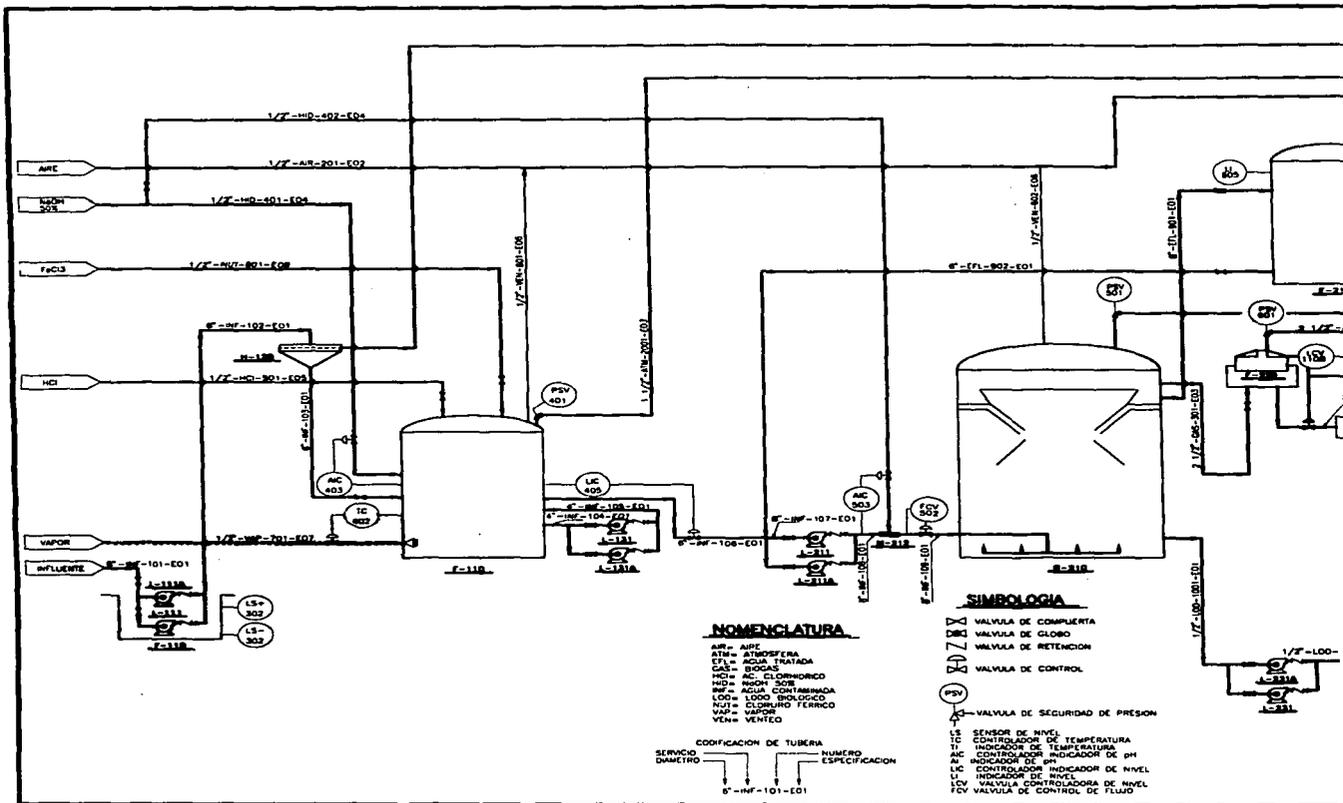
Metcalf and Eddy. Ref. 25.

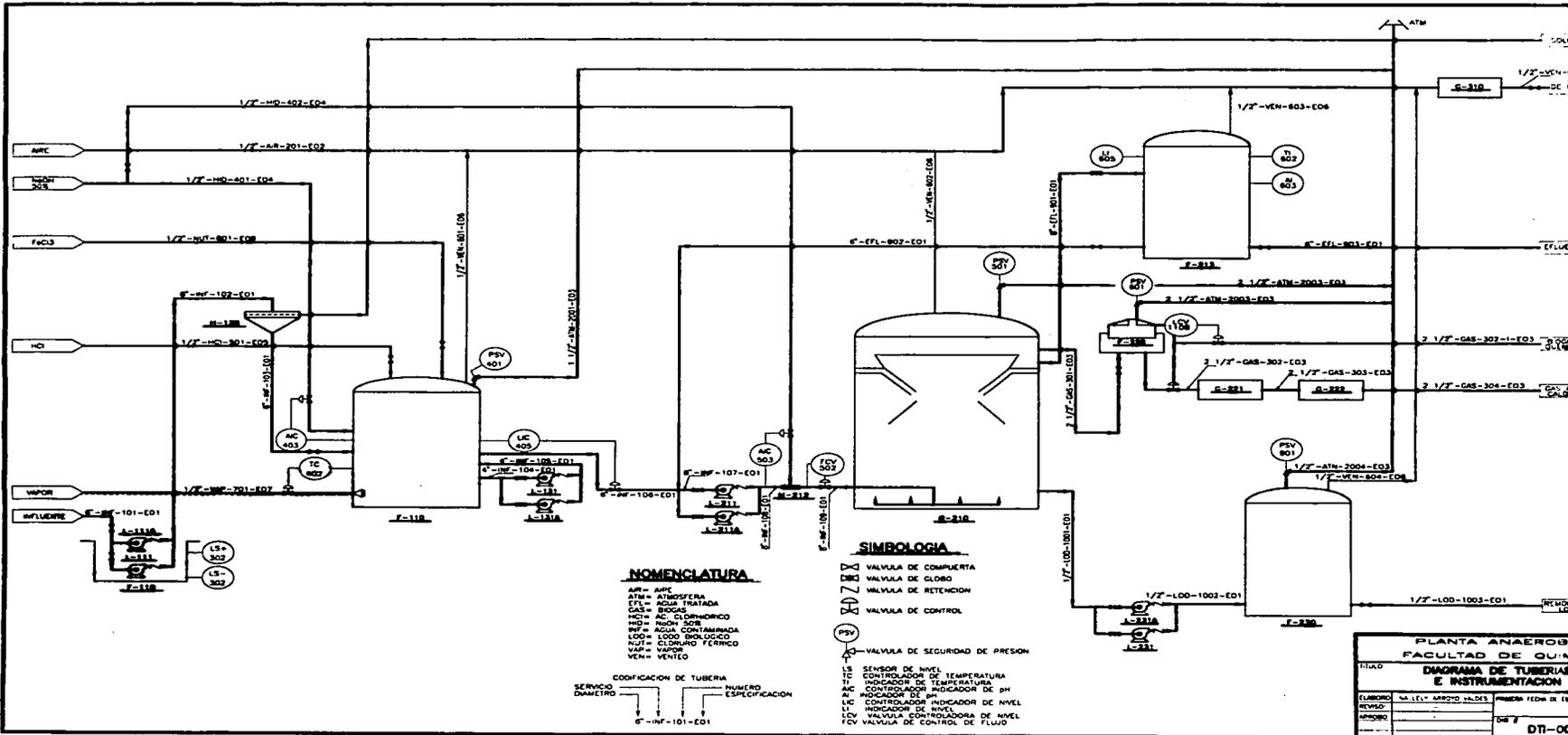
Perry. Ref. 26.

Rase Howard F. y M.H. Barrow. Ref. 27.

Ulrich G. D. Ref. 29.

Van Wanbeke, M.; S. Grusenmeyer; W. Verstraete y R. Longry. Ref. 30.





NOMENCLATURA

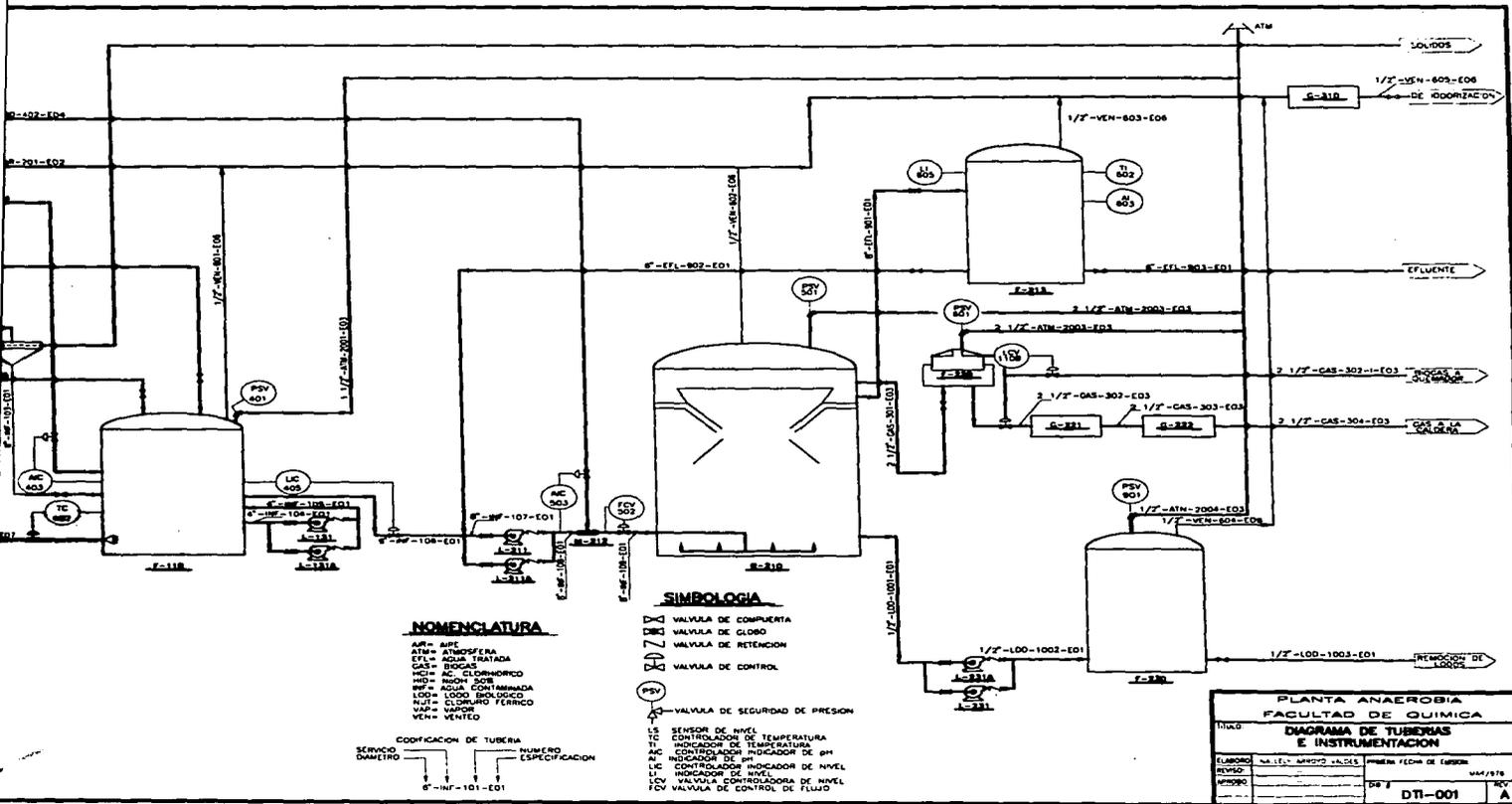
- ARC = AIRE
- ATM = ATMOSFERA
- ETL = AGUA TRATADA
- GAS = GASEOS
- MCN = AG. CLOROFORMO
- NCH = NITROGENO
- NHF = AGUA CONTAMINADA
- LOO = LODO BIOLÓGICO
- NUT = CLORURO FÉRRICO
- VAP = VAPOR
- VEN = VIENTO

CODIFICACION DE TUBERIA
 SERVICIO DIAMETRO NUMERO ESPECIFICACION
 E" - NF - 101 - EO1

SIMBOLOGIA

- ◻ VALVULA DE COMPUERTA
- ◻ VALVULA DE GLOBO
- ◻ VALVULA DE RETENCION
- ◻ VALVULA DE CONTROL
- ⊙ VALVULA DE SEGURIDAD DE PRESION
- LS SENSOR DE NIVEL
- TI CONTROLADOR DE TEMPERATURA
- TI CONTROLADOR DE TEMPERATURA
- AIC CONTROLADOR INDICADOR DE PH
- INDICADOR DE PH
- LIC CONTROLADOR INDICADOR DE NIVEL
- LI INDICADOR DE NIVEL
- LDV VALVULA CONTROLADORA DE NIVEL
- FLV VALVULA DE CONTROL DE FLUIDO

PLANTA ANAEROBIA			
FACULTAD DE QUIMICA			
TITULO			
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION			
ELABORADO	NA. LEL. ARROYO. VALDES	FECHA	FECHA DE REVISION
REVISADO			
APROBADO			
			DT-00



PLANTA ANAEROBIA			
FACULTAD DE QUIMICA			
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION			
TITULO			
ELABORADO	VALLE, ANTONIO VALENZUELA	REVISADO	FECHA DE ELABORACION
REVISADO		FECHA	VALLE/1978
NUMERO	DTI-001	PAG. #	REV. A

3.3.2 INDICE DE INSTRUMENTOS

VARIABLE		LOCALIZACION	SERVICIO
NIVEL	INTERRUPTORES		
	LS - 302	F - 110	CARCAMO
	LS - 302		
	INDICADORES		
	LIC - 405 (controlador)	F - 130	TQ. ACONDICIONAMIENTO STANDPIPE
TEMPERATURA	LI - 605	F - 213	
	CONTROLADORES		
	LCV - 1108	F - 220	GAS HOLDER
FLUJO	INDICADORES		
	TIC - 402 (controlador)	F - 130	TQ. ACONDICIONAMIENTO STANDPIPE
	TI - 602	F - 213	
pH	CONTROLADORES		
	FCV - 502	8" - INF - 109 - E01	8" - INF - 109 - E01
	INDICADORES		
PRESION	AIC - 403 (controlador)	½" - HID - 402 - E04	½" - HID - 402 - E04
	AIC - 503 (controlador)	½" - HID - 403 - E04	½" - HID - 403 - E04
	AI - 603	F - 213	STANDPIPE
	VALVULAS DE ALIVIO		
PRESION	PSV - 401	F - 130	TQ. ACONDICIONAMIENTO DIGESTOR
	PSV - 501	F - 210	DIGESTOR
	PSV - 601	F - 220	GAS HOLDER
	PSV - 901	F - 230	TANQUE DE LODOS

3.3.3 INDICE DE TUBERIAS

SERV	NUM	DIAM (in)	ESPE CFI/C	FLUIDO	RUTA		T. OP (° C)	P. OP (PSIA)	DISEÑO
					DE	A			
INF	101	6	E01	Agua Contaminada	L-B	L-111	20	23.3	DTI - 001
INF	102	6	E01	Agua Contaminada	L-111	H-120	20	31.3	DTI - 001
INF	103	6	E01	Agua Contaminada	H-120	F-130	20	11.3	DTI - 001
INF	104	4	E01	Agua Contaminada	F-130	L-131	35	16.3	DTI - 001
INF	105	4	E01	Agua Contaminada	L-131	F-130	35	26.3	DTI - 001
INF	106	6	E01	Agua Contaminada	F-130	L-211	35	11.3	DTI - 001
INF	107	6	E01	Agua Contaminada	F-130	L-211	35	31.3	DTI - 001
INF	108	6	E01	Agua Contaminada	L-211	M-212	35	47.3	DTI - 001
INF	109	6	E01	Agua Contaminada	M-212	R-210	35	47.3	DTI - 001
EFL	901	8	E01	Agua Tratada	R-210	F-213	35	11.3	DTI - 001
EFL	902	6	E01	Agua Tratada	F-213	INF-107-E01	35	11.3	DTI - 001
EFL	903	6	E01	Agua Tratada	F-213	DISPOSICION FINAL	35	11.3	DTI - 001
LOD	1001	½	E01	Lodo Biológico	R-210	L-231	35	22.3	DTI - 001
LOD	1002	½	E01	Lodo Biológico	L-231	F-230	35	26.3	DTI - 001
LOD	1003	½	E01	Lodo Biológico	F-230	REM. LODO	35	11.3	DTI - 001
AIR	201	½	E02	Aire	L-B	G-310	AMB	11.3	DTI - 001
GAS	301	2 ½	E03	Biogás	R-210	F-220	35	0.649	DTI - 001
GAS	302	2 ½	E03	Biogás	F-220	G-221	35	0.649	DTI - 001
GAS	302-1	2 ½	E03	Biogás	F-220	QUEMADOR	35	0.649	DTI - 001
GAS	303	2 ½	E03	Biogás	G-221	G-222	35	41.3	DTI - 001
GAS	304	2 ½	E03	Biogás	G-222	GALDERA	4	41.3	DTI - 001
ATM	2001	1 ½	E03	Biogás	PSV 401	ATM-2004-E03	35	0.975	DTI - 001
ATM	2002	2 ½	E03	Biogás	PSV 501	ATM-2004-E03	35	0.975	DTI - 001
ATM	2003	2 ½	E03	Biogás	PSV 601	ATM-2004-E03	35	0.975	DTI - 001
ATM	2004	1 ½	E03	Biogás	PSV 901	ATMOSFERA	35	0.975	DTI - 001
HID	401	½	E04	Hidruóxido de Sodio	L-B	F-130	25	11.3	DTI - 001
HID	402	½	E04	Hidruóxido de Sodio	L-B	M-212	25	11.3	DTI - 001
HCL	501	½	E05	Acido Clorhídrico	L-B	F-130	25	11.3	DTI - 001
VEN	601	½	E06	Venteco	F-130	G-130	35	11.3	DTI - 001
VEN	602	½	E06	Venteco	R-210	G-130	35	11.3	DTI - 001
VEN	603	½	E06	Venteco	F-213	G-130	35	11.3	DTI - 001
VEN	604	½	E06	Venteco	F-230	G-130	35	11.3	DTI - 001
VEN	605	½	E06	Venteco	G-130	DESODORIZ	35	11.3	DTI - 001
VAP	701	½	E07	Vapor	L-B	F-130	155.56	80	DTI - 001
NUT	801	½	E08	Cloruro Férrico	L-B	L-130	25	11.3	DTI - 001

3.3.4 HOJAS DE ESPECIFICACION DE TUBERIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

PROYECTO: Planta Anerobia
ELABORO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISO: JM
APROBO: MC

HOJA 1 DE 1

ESPECIFICACION 01

SERVICIO: AGUA CONTAMINADA, AGUA TRATADA, LODO BIOLÓGICO.
MATERIAL: ACERO AL CARBON
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.05"
TEMPERATURA MÁXIMA: 130 °C
PRESION MÁXIMA: 8 Kg/ cm²

TUBERIA

CONCEPTO	DIAMETRO (PULG.)	CEDULA O RANGO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O CODIFICACION
EXTREMOS ROSCADOS	½ y MENOR	40	ACERO AL CARBON SIN COSTURA	ASTM - A - 35 GR. B
EXTREMOS BISELADOS	¾ - 6	40		
	8 - 12	20		

VALVULAS

COMPUERTA	2 - 12	150 # C.R.	ACERO AL CARBON FUNDIDO.INTERIORES 13% CROMO	ASTM - A - 218
RETENCION	¼ - ½	800 # C.R.	ACERO AL CARBON FORJADO	ASTM - A - 105
RETENCION	2 - 12	150 # C.R.	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216
RETENCION	6 - 12	150 #	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216

PROPIEDADES FISICAS

TEMPERAT. °C	VISCOSIDAD cp	DENSIDAD Kg/m ³	Cp Cal/g°C	V m ³ /kg	P vapor mmHg
0	1.7921	999.839	1.00738	1.00033E-3	4.579
5	1.5188	999.964	1.00308	1.00014E-3	6.543
10	1.3077	999.699	1.00129	1.00039E-3	9.209
15	1.1404	999.069	0.99976	1.00102E-3	12.788
20	1.0050	998.204	0.99883	1.00208E-3	17.535
25	0.8937	997.045	0.99828	1.00345E-3	23.756
30	0.8007	995.647	0.99802	1.00514E-3	31.824
35	0.7225	993.048	0.99795	1.00707E-3	42.175
40	0.6560	991.974	0.99804	1.00816E-3	55.324
45	0.5988	990.901	0.99826	1.00926E-3	71.881
50	0.5494	988.518	0.99854	1.01169E-3	92.51
55	0.5064	985.904	0.99895	1.01438E-3	118.04
60	0.4688	983.117	0.99943	1.01725E-3	149.36
65	0.4355	980.105	1.00000	1.02037E-3	187.54
70	0.4061	976.998	1.00067	1.02362E-3	233.70
80	0.3565	970.190	1.00229	1.03080E-3	355.10
85	0.3355	966.570	1.00327	1.03487E-3	433.60
90	0.3165	962.760	1.00437	1.03873E-3	525.76
95	0.2994	958.865	1.00561	1.04297E-3	633.9
100	0.2838	955.065	1.00697	1.04385E-3	760.0

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

PROYECTO: Planta Anaerobia
ELABORADO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISÓ: JM
APROBÓ: MC

HOJA 1 DE 2

ESPECIFICACION 02

SERVICIO: AIRE
MATERIAL: ACERO AL CARBON
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.05"
TEMPERATURA MÁXIMA: 130 °C
PRESIÓN MÁXIMA: 8 Kg/cm²

TUBERÍA

CONCEPTO	DIAMETRO (PULG.)	CEDULA O RANGO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O CODIFICACION
EXTREMOS ROSCADOS	½ y MENOR	40	ACERO AL CARBON SIN COSTURA	ASTM - A - 35 GR. B
EXTREMOS BISELADOS	¾ - 6	40		
	8 - 12	20		

VALVULAS

COMPUERTA	2 - 12	150 #	ACERO AL CARBON FUNDIDO INTERIORES 13% CROMO	ASTM - A - 216
RETENCION	¼ - ½	800 #	ACERO AL CARBON FORJADO	ASTM - A - 105
RETENCION	2 - 12	150 #	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216
RETENCION	6 - 12	150 #	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216

PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS

M g/mol	T _b K	DENSID. g/ml	T _b K	A _{vis} J/g	M _{vis} g/L	DENS. g/L	T _c K	P _c MPa	DENS.c g/ml		
28.96	59.75	0.959	78.67	198.7	3.199	132.5	3.766		0.318		
	P bar		T °C	DENSIDAD g/L			M J/g		C _p J/gK		
	1		-17.3	3.5556			98.3		1.032		
	1		-73	1.746			199.7		1.007		
	1		27	1.151			300.3		1.007		
	1		227	0.696			503.4		1.030		
	10		-73	17.835			195.2		1.049		
	10		27	11.643			298.3		1.021		
	10		227	6.944			502.9		1.034		
T (°C)	-194.2	-183.1	-104.0	-69.4	-31.6	0	18	40	54	74	229
μ (mp)	55.1	62.7	113.0	133.3	153.9	170.8	182.7	190.4	195.8	210.2	263.8

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

PROYECTO: Planta Anserobia
ELABORO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISÓ: JM
APROBO: MC

HOJA 2 DE 2

ESPECIFICACION 02

SERVICIO: AIRE
MATERIAL: ACERO AL CARBON
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.05"
TEMPERATURA MÁXIMA: 130 °C
PRESIÓN MÁXIMA: 8 Kg/ cm²

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
Cal/(seg)(cm²)°C/cm)X10⁻⁸

TEMPERATURA °C	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
-40	50.09
-28.9	52.15
-17.8	54.22
-6.7	56.24
4.4	58.31
15.6	60.34
26.7	62.20
37.8	64.22
48.9	66.04

FACTORES DE COMPRESIBILIDAD DEL AIRE

TEMP. °C	PRESIÓN (bar)							
	1	5	10	20	40	60	80	100
-198	0.0052	0.0260	0.0519	0.1036	0.2063	0.3082	0.4094	0.5099
-173	0.9797	0.8872	0.0453	0.900	0.1782	0.2635	0.3498	0.4337
-111	0.9951	0.9748	0.9489	0.8954	0.7803	0.6603	0.5696	0.5489
-73	0.9978	0.9886	0.9767	0.9539	0.9100	0.8701	0.8374	0.8142
127	0.9999	0.9987	0.9974	0.9950	0.9917	0.9901	0.9903	0.9930
177	1.0002	1.0012	1.0025	1.0046	1.0100	1.0158	1.0229	1.0312
	1.0003	1.0016	1.0034	1.0063	1.0133	1.0210	1.0287	1.0374

DENSIDAD DEL AIRE lb/ft³

TEMP °F	0 Psi	10 Psi	20 Psi	30 Psi	40 Psi	50 Psi	60 Psi	70 Psi	80 Psi	90 Psi	100 Psi
50	0.782	1.314	1.846	2.38	2.91	3.44	3.97	4.51	5.04	5.57	6.10
100	0.709	1.192	1.675	2.16	2.64	3.12	3.61	4.09	4.57	5.05	5.54
150	0.651	1.094	1.537	1.981	2.42	2.87	3.31	3.75	4.20	4.64	5.08
200	0.602	1.011	1.421	1.831	2.24	2.65	3.06	3.47	3.88	4.29	4.70
250	0.559	0.940	1.321	1.702	2.08	2.46	2.84	3.22	3.61	3.99	4.37
300	0.523	0.878	1.234	1.590	1.945	2.30	2.66	3.01	3.37	3.72	4.08
350	0.490	0.824	1.158	1.491	1.825	2.16	2.49	2.83	3.16	3.49	3.83
400	0.462	0.778	1.090	1.405	1.719	2.03	2.35	2.66	2.98	3.29	3.60
450	0.436	0.733	1.030	1.327	1.624	1.921	2.22	2.52	2.81	3.11	3.41
500	0.414	0.695	0.977	1.258	1.540	1.821	2.10	2.39	2.67	2.95	3.23
550	0.393	0.661	0.928	1.196	1.464	1.731	1.998	2.27	2.53	2.80	3.07
600	0.375	0.630	0.885	1.140	1.395	1.649	1.904	2.16	2.41	2.67	2.92

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA**

PROYECTO: Planta Anaerobica
ELABORO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISO: JM
APROBO: MC **HOJA 1 DE 2**

ESPECIFICACION 03

SERVICIO: BIOGAS
MATERIAL: ACERO AL CARBON
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.05 "
TEMPERATURA MAXIMA: 130 ° C
PRESION MAXIMA: 8 Kg/ cm²

TUBERIA

CONCEPTO	DIAMETRO (PULG.)	GRUESA O RANGO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O CODIFICACION
EXTREMOS ROSCADOS	½ y MENOR	40	ACERO AL CARBON SIN COSTURA	ASTM - A - 35 GR. B
EXTREMOS BISELADOS	½ - 6	40		
	6 - 12	20		

VALVULAS

COMPUERTA	2 - 12	150 # C.R.	ACERO AL CARBON FUNDIDO, INTERIORES 13% CROMO	ASTM - A - 216
RETENCION	¼ - ½	800 # C.R.	ACERO AL CARBON FORJADO	ASTM - A - 105
RETENCION	2 - 12	150 # C.R.	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216
RETENCION	6 - 12	150 #	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

TEMP. °C		Cp cal K ⁻¹ mol ⁻¹	
-273		0	
-73		8.0	
0		8.3	
25		8.5	
127		9.7	
327		12.5	
527		15.2	
727		17.0	
927		19.0	
1227		21.0	

M	Tt	Pt	DENSIDAD	Δ _{vap} H ₂₅ Tt	Tb
g/mol	K	kPa	g/ml	J/g	K
16.043	90.694	11.696	0.4515	56.41	111.656
C _{sat} Tb	Tc	Pc	DEN.c	Δ _{vap} H ₂₅ Tb	DEN.cTb
J/gK	K	MPa	g/mL	J/g	g/l
2.216	190.56	4.862	0.1627	510.83	1.616

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA**

PROYECTO: Planta Anserobia
ELABORÓ: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISÓ: JM
APROBÓ: MC **HOJA 2 DE 2**

ESPECIFICACION 03

SERVICIO: BIOGAS
MATERIAL: ACERO AL CARBON
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.05"
TEMPERATURA MAXIMA: 130 °C
PRESION MAXIMA: 8 Kp/cm²

TEMPERATURA °C	CONDUCTIVIDAD TERMICA cal/(seg)(cm) ² (°C/cm)X10 ⁻⁴
-184.4	22.32
-128.9	36.86
-73.3	52.07
-40.0	61.37
-28.9	64.55
-17.8	67.66
-6.7	71.06
4.4	74.39
15.6	78.11
26.7	81.83
37.8	85.54
48.9	89.26
83.3	106.62

TEMPERATURA °C	PRESION mmHg
-205.9	1
-195.5	10
-187.7	40
-181.4	100
-168.8	400
-161.5	760

FACTORES DE COMPRESIBILIDAD

TEMP. °C	PRESION (bar)							
	1	5	10	20	40	60	80	100
-123	0.9854	0.9225	0.8275	0.0714	0.1411	0.2093	0.2783	0.3423
-73	0.9936	0.9678	0.9339	0.8599	0.6784	0.3559	0.3172	0.3618
27	0.9983	0.9915	0.9830	0.9667	0.9343	0.9047	0.8783	0.8556
77	0.9991	0.9954	0.9911	0.9825	0.9662	0.9520	0.9401	0.9306
127	0.9995	0.9977	0.9953	0.9912	0.9835	0.9772	0.9726	0.9696
177	0.9997	0.9989	0.9979	0.9963	0.9935	0.9917	0.9911	0.9916
327	1.0000	1.0009	1.0020	1.0039	1.0061	1.0125	1.0171	1.0217
527	1.0003	1.0017	1.0034	1.0068	1.0130	1.0197	1.0263	1.0330
727	1.0004	1.0014	1.0036	1.0071	1.0141	1.0207	1.0274	1.0342

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

PROYECTO: Planta Anaerobia
LABORIO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISO: JM
APROBO: MC **HOJA 1 DE 2**

ESPECIFICACION 05

SERVICIO: ACIDO CLORHIDRICO
MATERIAL: POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.00
TEMPERATURA MAXIMA: 80 ° C
PRESION MAXIMA: 4Kp/cm²

TUBERIA

CONCEPTO	DIAMETRO (PUL.G.)	CEDULA O RANGO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O CODIFICACION
EXTREMOS BRIDADOS (EXTREMOS LISOS)	½ - 4	0.187	POLIESTER	ASTM - D - 2998
	6 - 8	0.250	REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO	
	10	0.312	ATLAC - 382	
	12 - 14	0.375		
	16	0.437		

VALVULAS

CONCEPTO	TAMANO	TIPO	RECUBRIMIENTO INTERIOR DE TEFLON	ESPECIFICACION O CODIFICACION
RETENCION	1 - 3	150 # C.P.		
MARIPOSA	4 - 16	125 #	POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO	ASTM - D - 2998

PROPIEDADES CONCENTRATIVAS

A %	D ²⁰ g/cm ³	D ¹⁵ g/cm ³	D ¹⁰ g/cm ³	D ⁵ g/cm ³	D ⁰ g/cm ³	D ⁻⁵ g/cm ³	D ⁻¹⁰ g/cm ³	C g/l	M g.mol/l	n _D	n _p cS
1.00	1.0052	1.1004	1.0031	0.9970	0.9881	0.9763	1.0049	10.0	0.275	1.013	1.012
2.00	1.0106	1.0100	1.0081	1.0019	1.9930	0.9819	1.0098	20.2	0.553	1.027	1.021
4.00	1.0213	1.0202	1.0179	1.0116	1.0026	0.9914	1.0197	40.7	1.116	1.057	1.040
6.00	1.0319	1.0303	1.0278	1.0211	1.0121	1.0016	1.0296	61.7	1.691	1.089	1.062
8.00	1.0423	1.0403	1.0377	1.0305	1.0245	1.0111	1.0395	83.0	2.276	1.123	1.085
10.00	1.0526	1.0504	1.0476	1.0400	1.0310	1.0206	1.0494	104.8	2.872	1.159	1.109
12.00	1.0634	1.0607	1.0576	1.0497	1.0406	1.0302	1.0594	126.9	3.480	1.197	1.134
14.00	1.0741	1.0711	1.0676	1.0594	1.0502	1.0398	1.0695	149.5	4.098	1.237	1.161
16.00	1.0849	1.0815	1.0777	1.0692	1.0598	1.0494	1.0796	172.4	4.728	1.279	1.189
18.00	1.0958	1.0920	1.0878	1.0790	1.0694	1.0590	1.0898	195.8	5.369	1.323	1.219
20.00	1.1067	1.1025	1.0980	1.0888	1.0790	1.0685	1.1000	219.6	6.022	1.371	1.251
22.00	1.1177	1.1131	1.1083	1.0985	1.0886	1.0780	1.1102	243.8	6.686	1.423	1.286
24.00	1.1287	1.1238	1.1185	1.1085	1.0982	1.0874	1.1203	268.4	7.361	1.480	1.325
26.00	1.1398	1.1344	1.1285	1.1183	1.1076	1.0967	1.1308	293.5	8.047	1.544	1.371
28.00	1.1505	1.1449	1.1391	1.1280	1.1169	1.1058	1.1411	318.9	8.745	1.617	1.423
30.00	1.1613	1.1553	1.1492	1.1376	1.1260	1.1149	1.1513	344.8	9.454	1.702	1.484
32.00			1.1594				1.1614	371.0	10.173	1.795	1.551
34.00			1.1693				1.1714	397.6	10.901	1.896	1.625
36.00			1.1791				1.1812	424.5	11.639	1.998	1.696
38.00			1.1886				1.1907	451.7	12.385	2.101	1.771
40.00			1.1977				1.1999	479.1	13.137		

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA**

PROYECTO: Planta Anaerobia
ELABORO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISO: JM
APROBO: MC **HOJA 2 DE 2**

ESPECIFICACION 05

SERVICIO: ACIDO CLORHIDRICO
MATERIAL: POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.00"
TEMPERATURA MAXIMA: 80 °C
PRESION MAXIMA: 4Kg/cm²

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

PRESION mmHg		TEMPERATURA °C
10		-150.8
40		-135.8
100		-123.8
400		-95.3
780		-84.8
TEMPERATURA °C	SOLUBILIDAD gr. soluto disueltos en 100 gr. H ₂ O	
0	62.3	
30	67.3	
40	63.3	
50	59.6	
60	56.1	

PRESIONES PARCIALES DE HCl SOBRE SOLUCIONES ACUOSAS DE HCl

A	mmHg °C													
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°
2	—	—	117E-6	23E-6	44E-6	84E-6	17E-5	275E-6	47E-5	83E-5	140E-5	380E-5	0.100	0.0948
4	18E-6	36E-6	69E-6	121E-6	24E-5	44E-5	77E-5	134E-5	0.023	38E-5	0.065	0.165	0.405	0.695
6	66E-6	125E-6	24E-6	42E-6	78E-6	131E-5	228E-5	0.038	0.062	0.102	0.163	0.40	0.64	2.06
8	116E-6	323E-6	583E-6	104E-6	179E-6	0.031	518E-6	0.065	0.136	.022	0.344	0.81	1.83	3.9
10	42E-6	75E-6	134E-6	232E-6	398E-6	0.067	0.111	0.178	0.282	0.45	0.69	.157	.35	.73
12	96E-6	175E-6	309E-6	0.052	0.068	0.145	0.234	0.37	0.56	0.91	1.36	3.05	.86	1.34
14	0.024	415E-6	0.071	0.118	0.196	0.316	0.50	0.78	1.21	1.85	2.75	6.0	1.25	2.50
16	0.056	0.095	.016	0.025	0.428	0.685	1.06	1.63	2.47	3.75	.55	1.17	2.40	4.60
18	0.135	0.225	0.37	0.60	0.95	1.48	2.28	3.45	5.15	7.7	1.11	2.3	4.55	8.6
20	0.316	0.52	0.84	1.32	2.05	3.2	4.8	7.2	1.06	1.55	2.21	4.4	8.5	15.9
22	0.734	1.19	1.81	2.94	4.5	6.8	1.02	1.50	2.18	3.14	4.42	8.6	16.3	29.3
24	1.75	2.77	4.3	6.6	1.00	1.49	2.17	3.14	4.5	6.4	8.9	16.9	31.0	54.5
26	.41	.84	.98	1.47	2.17	3.20	4.56	6.50	9.2	12.7	17.5	32.5	58.5	100
28	1.0	1.52	2.27	3.36	4.90	7.05	9.90	13.8	19.1	26.4	35.7	64	112	188
30	2.4	3.57	5.23	7.80	10.8	15.1	21.0	28.6	39.4	53	71	124	208	340
32	5.7	8.3	11.8	16.8	23.5	32.5	44.5	60.0	81	107	141	238	380	623
34	13.1	18.8	26.4	36.8	50.5	68.5	92	122	161	211	273	450	720	
36	28.0	41.0	56.4	78	105.5	142	188	246	322	418	535	800		
38	63.0	87.0	117	158	210	277	360	465	598	758	955			
40	130	178	223	307	399	515	627	830						

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA**

PROYECTO: Planta Anserobia
ELABORADO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISO: JM

APROBO: MC

HOJA 1 DE 1

ESPECIFICACION 06

SERVICIO: VENTEO
MATERIAL: METAL FERROSO CON REC. INTERIOR DE TEFLON (PTFE)
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.00 "
TEMPERATURA MAXIMA: 120 ° C
PRESION MAXIMA: 6Kg/cm²

TUBERIA

CONCEPTO	DIAMETRO (PULG.)	CEDULA O RANGO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O CODIFICACION
EXTREMOS BRIDADOS	1 - 4	40 (0.125)	METAL FERROSO	ASTM - F 423 - 75
	6	40 (0.140)	CON RECURRIMIENTO INTERIOR DE TEFLON (PTFE)	

VALVULAS

RETENCION	1 - 3	150 # C.P.	HIERRO DUCTIL CON RECURRIMIENTO INTERIOR DE TEFLON (PTFE)	ASTM - F 423 - 75
MARIPOSA	3 - 6	150 #		

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

PRESION mmHg	TEMPERATURA °C
1	-134.3
10	-116.3
40	-102.3
100	-91.6
400	-71.8
780	-60.4
TEMPERATURA °C	CONDUCTIVIDAD TERMICA cal/(seg)(cm ²)(°C/m) X10 ⁻⁴
-17.8	28.10
-9.7	29.75
4.4	31.41
15.6	33.47
37.8	36.78

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

PROYECTO: Planta Anserobia
ELABORO: Nelly Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 97

REVISO: JM
APROBO: MC HOJA 1 DE 1

ESPECIFICACION 07

SERVICIO: VAPOR HASTA 10 BAR
MATERIAL: ACERO AL CARBON
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.05 "
TEMPERATURA MÁXIMA: 130 ° C
PRESION MÁXIMA: 8 Kg/cm²

TUBERIA

CONCEPTO	DIAMETRO (PULG.)	CEDULA O RANGO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O CODIFICACION
EXTREMOS ROSCADOS	½ y MENOR	40	ACERO AL CARBON SIN COSTURA	ASTM - A - 35 GR. B
EXTREMOS BISELADOS	½ - 6	40		
	6 - 12	20		

VALVULAS

COMPUERTA	2 - 12	150 # C.R.	ACERO AL CARBON FUNDIDO INTERIORES 13% CROMO	ASTM - A - 216
RETENCION	½ - ½	800 # C.R.	ACERO AL CARBON FORJADO	ASTM - A - 105
RETENCION	2 - 12	150 # C.R.	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216
RETENCION	6 - 12	150 #	ACERO AL CARBON FUNDIDO	ASTM - A - 216

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

TEMP. SAT °C	P absoluta PSIA	VOL ESPEC. ft ³ /lb	DENSIDAD lb/ft ³	U Btu/lb	H Btu/lb
89.56	10	38.420	0.0383	1072.3	1143.3
100.57	15	26.290	0.0545	1077.9	1150.9
108.86	20	20.087	0.0726	1082.0	1156.3
130.66	40	10.497	0.1453	1092.1	1169.8
144.83	60	7.174	0.2178	1096.0	1177.6
155.57	80	5.471	0.2906	1102.1	1183.1
164.34	100	4.431	0.3632	1105.2	1187.2
181.35	150	3.014	0.5449	1110.4	1194.1
194.33	200	2.287	0.7265	1113.7	1198.3
229.22	400	1.161	1.4530	1118.7	1204.6
252.33	600	0.767	2.1795	1118.2	1203.7
270.11	800	0.569	2.9080	1115.2	1199.4
284.76	1000	0.446	3.8324	1110.4	1192.9

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

PROYECTO: Planta Anserobia
ELABORADO: Nallely Arroyo Valdés
FECHA: Enero / 87

REVISÓ: JM
APROBÓ: MC

HOJA 1 DE 1

ESPECIFICACION 08

SERVICIO: CLORURO FERRICO
MATERIAL: PVC
TOLERANCIA POR CORROSION: 0.00 -
TEMPERATURA MÁXIMA: 60 ° C
PRESION MÁXIMA: 4 Kg/cm²

TUBERIA

CONCEPTO	DIAMETRO (PULG.)	CEDULA O RANEO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION O COEFICACION
EXTREMOS ROSCADOS	½ - 1 ½	80	PVC RIGIDO TIPO INDUSTRIAL	ASTM - D - 1785
EXTREMOS LISOS PARA CEMENTAR	2 - 4	80		

VALVULAS

RETENCION	1 - 3	150 # C.P.	PIERRO DUCTIL CON RECUBRIMIENTO INTERIOR DE TEFLON	ASTM - F 423 - 75
-----------	-------	------------	--	-------------------

PROPIEDADES CONCENTRATAS

A %	D ¹ g/cm ³	D ² g/cm ³	D ³ g/cm ³	D ⁴ g/cm ³	D ⁵ g/cm ³	C °	B g/mol	n/n ₀	n/s °C
1.00	1.0088	1.0084	1.0068	1.0040	1.0088	10.1	0.082	1.045	1.040
2.00	1.0174	1.0168	1.0153	1.0122	1.0171	20.3	0.125	1.091	1.077
4.00	1.0347	1.0341	1.0323	1.0292	1.0341	41.3	0.255	1.185	1.150
8.00	1.0703	1.0692	1.0668	1.0636	1.0667	85.3	0.526	1.409	1.324
12.00	1.1088	1.1071	1.1040	1.0980	1.1059	132.5	0.817	1.704	1.547
16.00	1.1475	1.1449	1.1420	1.1385	1.1440	182.7	1.126	2.078	1.822
20.00	1.1870	1.1847	1.1818	1.1786	1.1837	236.3	1.457	2.565	2.175
24.00	1.2400	1.2380	1.2234	1.2290	1.2256	293.8	1.810	3.172	2.598
32.00	1.2970	1.2950	1.3153	1.2850	1.2976	420.9	2.595	5.263	4.010
40.00	1.4260	1.4235	1.4178	1.4115	1.4201	567.0	3.496	9.655	6.624

PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS

TEMPERATURA °C	0	20	50	80	100
SOLUBILIDAD gr. soluto en 100 gr. H ₂ O	81.9	91.8	315.1	525.8	535.7
PRESION mmHg	TEMPERATURA °C				
1	194.0				
5	221.8				
10	235.5				
20	246.0				
40	255.8				
60	263.7				
100	272.5				
200	285.0				
400	298.0				
760	319.0				

NOMENCLATURA

A%	= % en peso del soluto anhidro (gsoluto/100 g soln.)
C	= concentración del soluto anhidro
Cp	= capacidad calorífica a presión constante
cp	= centipoises
Cp @Tb	= capacidad calorífica a presión constante en el punto normal de ebullición
DEN.	= densidad
DENc	= densidad crítica
DEN @Tb	= densidad del vapor en el punto normal de ebullición
D^{20/20}	= densidad relativa a 20 °C (D ^{0/4} , D ^{10/4} , D ^{40/4} , D ^{60/4} , D ^{80/4})
D^{20/20}	= gravedad específica a 20 ° C
H	= entalpía
M	= concentración molar
mp	= micropoises
n/n₀	= viscosidad relativa (rel. de viscosidad abs. a 20°C con la viscosidad abs. del agua a 20 °C)
n/p	= viscosidad cinemática (rel. de la viscosidad abs. a 20°C (cp) con la densidad relativa)
P	= presión
Pc	= presión crítica
Pt	= presión punto triple
T	= temperatura
Tb	= punto de ebullición normal a una presión de 760 mmHg
Tc	= temperatura crítica
Tt	= temperatura en el punto triple
U	= energía interna
V	= volumen específico
μ	= viscosidad
Δfus@Tt	= entalpía de fusión en el punto triple
Δvap@Tb	= entalpía de vaporización en el punto normal de ebullición

Referencias

A. Dean John, Ref. 1.

Annual Book of ASTM Standards, Ref. 2.

CRC Handbook of Chemistry and Physics, Ref. 6.

Crane, Ref. 5.

Handbook of Chemistry and Physics, Refs. 14 y 15.

Kirk and Othmer, Ref. 21.

Leobardo Jiménez León, Ref. 22.

Perry, Ref. 26.

Rase Howard F. y M.H. Barrow, Ref. 27.

3.4 DISPOSICION FINAL Y REUSO DE LOS EFLUENTES

3.4.1 Efluente Agua Tratada

Las aguas residuales que ya han sido tratadas pueden utilizarse para el riego agrícola, riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, y también pueden ser descargadas en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

En nuestro país se han expedido normas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para poder utilizar las aguas residuales en cada uno de los casos antes mencionados, y se conocen con el nombre de Normas Oficiales Mexicanas. A continuación se presenta el contenido de las mismas para cada uso.

DESCARGA EN DRENAJE Y ALCANTARILLADO

Norma Oficial Mexicana NOM - CCA - 031 ECOL / 1993, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Es necesario conocer algunas definiciones para una mejor comprensión del contenido de la norma.

• **Aguas residuales industriales:** las que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de actividades complementarias.

• **Sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal:** es el conjunto de dispositivos y tuberías instalados con el propósito de recolectar, conducir y depositar en un lugar determinado las aguas residuales que se generan o se captan en una superficie donde hay una zona industrial, población o comunidad en general.

Las descargas de aguas residuales provenientes de la industria y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado a que se refiere esta norma debe cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla siguiente.

Tabla 3.6 Especificaciones para la descarga de aguas residuales provenientes de la industria y el tratamiento de aguas residuales.

Parámetros	Límites Máximos Permisibles	
	Promedio diario	Instantáneo
Temperatura (° C)	—	40
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Sólidos Sedimentables (ml/L)	5.0	10.0
Grasas y aceites (mg/L)	60.0	100.0
Conductividad Eléctrica (micro mhos/cm)	5000	8000
Aluminio (mg/L)	10.0	20.00
Antimonio (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuro (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5.0	1.0
Cromo hexavalente (mg/L)	0.5	1.0
Cromo total (mg/L)	2.5	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0	6.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	4.0	8.0
Plata (mg/L)	1.0	2.0
Plomo (mg/L)	1.0	2.0
Zinc (mg/L)	6.0	12.0
Fenoles (mg/L)	5.0	10.0
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	30.0	60.0

Fuente: Gaceta Ecológica No. 28, 1986.

No se deberán descargar o depositar en los sistemas de drenaje y alcantarillado sustancias sólidas o pastosas que puedan causar obstrucciones al flujo en dichos sistemas, así como los que puedan solidificarse, precipitarse o aumentar su viscosidad a temperaturas de entre 5 °C a 40 °C o lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

RIEGO AGRICOLA

Norma Oficial Mexicana NOM - CCA - 032 - ECOL / 1993, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales para su disposición mediante riego agrícola.

Definición de Riego Agrícola: acción de aportar al suelo la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos y que tiene como efecto la infiltración.

Las descargas de aguas residuales que se dispongan para riego agrícola deben cumplir con las especificaciones que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 3.7 Especificaciones para la descarga de aguas residuales que se emplean en el riego agrícola.

Parámetros	Límites Máximos Permisibles
pH (unidades de pH)	6.5 - 8.5
Conductividad eléctrica (micromhos / cm)	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	120
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	120
Aluminio (mg/L)	5.0
Arsénico (mg/L)	0.1
Boro (mg/L)	1.5
Cadmio (mg/L)	0.01
Cianuros (mg/L)	0.02
Cobre (mg/L)	0.2
Cromo total (mg/L)	0.1
Hierro (mg/L)	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0
Manganeso (mg/L)	0.2
Níquel (mg/L)	0.2
Plomo (mg/L)	5.0
Selenio (mg/L)	0.02
Zinc (mg/L)	2.0

Fuente: Ibidem.

RIEGO DE HORTALIZAS Y PRODUCTOS HORTOFRUTICOLAS

Norma Oficial Mexicana NOM - CCA - 033 - ECOL / 1993, establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.

Definición de Hortalizas: la acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, frijol ejotero, hierbabuena, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, zanahoria, pepinillo, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembren con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zaramora.

Definición de Productos Hortofrutícolas: las señaladas en la definición anterior y todas las demás hortalizas y frutos en general.

Las restricciones de las aguas residuales que se utilizan en el riego de hortalizas de consumo crudo, en lo relativo a parámetros bacteriológicos se clasifican en los siguientes tipos para efectos de determinar las clases de cultivos no permitidos:

Tipo 1.- la que contenga menos de 1000 coliformes totales por cada 100 ml. y ningún huevo de helminto viable por litro de agua.

Tipo 2.- la que contiene de 1 a 1000 coliformes fecales por cada 100 ml. y cuando más un huevo de helminto por litro de agua.

Tipo 3.- la que contiene de 1001 a 100000 coliformes fecales por cada 100 ml.

Tipo 4.- la que contiene más de 100000 coliformes fecales por cada 100 ml.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional del Agua, otorgará autorizaciones, permisos y concesiones para el uso de aguas residuales en riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, a las condiciones que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 3.8 Especificaciones para el uso de aguas residuales en riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.

Tipo de Riego	Tipo de Agua	Intervalo de tiempo mín. (días) entre el último riego y la cosecha	Cultivos No Permitidos
I N U N D A C I O N	1	20	Los señalados en la definición de hortalizas excepto ajo, frijol ejotero, pepinillo, pepino, jicama, melón y sandía.
	2	20	Los señalados en la definición de hortalizas excepto el melón y la sandía.
	3	20	Los señalados en la definición de hortalizas.
	4	20	Los señalados en la definición de productos hortofrutícolas.
S U R C O	1	15	Los señalados en la def. de hortalizas excepto ajo, frijol ejotero, pepinillo, pepino, jicama, melón y sandía, así como tomate verde o de cáscara.
		20	Libre cultivo.
	2	20	Los señalados en la def. de hortalizas excepto ajo, pepino, jicama, melón y sandía, así como tomate verde o de cáscara.
	3	20	Los señalados en la def. de hortalizas excepto melón y sandía.
A S P E R S I O N	4	20	Los señalados en la def. de productos hortofrutícolas.
	1	20	Los señalados en la definición de hortalizas excepto ajo, pepino, pepinillo, jicama, melón y sandía.
	2	20	Los señalados en la definición de productos hortofrutícolas.
	3		
4			

Fuente: Ibidem.

El incumplimiento de las presentes normas oficiales mexicanas será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

3.4.2 Biomasa

El lodo producido durante el tratamiento de aguas residuales es conocido como el concentrado de contaminación o un precipitado de la DBO, está compuesto casi sólo por agua y contiene un bajo porcentaje de materia sólida. Puede reutilizarse en la tierra agrícola y no agrícola, en distribución y mercado, o bien en rellenos sanitarios, áreas de disposición e incineración como disposición final.

En la siguiente tabla se listan algunos metales y compuestos orgánicos que pueden estar presentes en los lodos dependiendo del uso al que se destinen. Las regulaciones se encuentran en 40 CFR parte 503 donde se señalan los límites de concentración de los metales y compuestos listados a continuación.

Tabla 3.9 TIPO DE DISPOSICIÓN O REUSO DE LODOS

CONTAMINANTE	Aplicación a la Tierra	Distribución y Comercialización	Relleno Sanitario	Entero de Disposición	Incineración
Arsénico	x	x	x	x	x
Benzeno			x	x	
Benz(a)pireno	x	x	x	x	
Berio					x
Bis(2-clorofenil)metano			x	x	
Cadmio	x	x	x	x	x
Cloroano	x	x	x	x	
Cromo	x	x	x	x	x
Cobre	x	x	x	x	
DDD/DDE/DDT	x	x	x	x	
Dieldrin	x	x	x	x	
Dimetiltiosemina	x		x	x	
Heptaclor	x	x	x		
Hexaclorobenzeno	x	x			
Hexaclorobutadieno	x	x			
Plomo	x	x	x	x	x
Mercurio	x	x	x	x	x
Molibdeno	x				

Continuación

CONTAMINANTE	Aplicación a la Tierra	Distribución y Comercialización	Refinado Sanitario	Shijos de Disposición	Incineración
Níquel	x	x	x	x	x
PCB	x	x	x	x	
Selenio	x	x			
Toxifeno	x	x	x	x	
Tricloroetileno	x		x	x	
Totales Hidrocarburos					x
Zinc	x	x			

Fuente: Metcalf y Eddy (1991), pp. 778.

Aplicación a la Tierra

Para que el lodo pueda ser aplicado a la tierra (agrícola o de bosque) debe estar estabilizada. Los lodos que se producen en esta planta provienen de la digestión anaerobia en la que aproximadamente del 35 al 40 % de los sólidos de los lodos totales, se fermenta para formar un gas que consiste principalmente de metano. Estos lodos son negros con un tenue olor a alquitrán, considerado como inofensivo y son suficientemente estables para poder ser utilizados como fertilizante.

Durante la digestión anaerobia, gran parte del contenido de nitrógeno y de fósforo se libera en forma soluble, de manera que el valor fertilizante está sobre todo en la fase líquida, y fácilmente disponible para una siembra en estado de crecimiento. Sin embargo se tienen limitaciones ya que los lodos pierden progresivamente su contenido de nitrógeno y fósforo a medida que se reduce su contenido de agua, y las proporciones de nitrógeno, fósforo y potasio en los sólidos de los lodos resultan bajos; otra limitación es la capacidad de adsorción, ya que

tienden a acumular metales pesados, como estos permanecen junto a los sólidos de los lodos, su concentración aumenta según se reduce progresivamente el contenido de agua y pueden llegar hasta los alimentos en el caso de que los lodos se usen como fertilizantes.

El lodo puede ser utilizado como acondicionador de suelo para facilitar el transporte de nutrientes, incrementar la retención de agua y mejorar la tierra de cultivo.

Distribución y Comercialización

Para uso residencial y comercial como enmendador de suelo y acondicionador. El lodo puede ser tratado químicamente para estabilizar el lodo usado como recubrimiento de tierra o modificador de terreno.

En la estabilización química, se añade cal para aumentar el pH a un valor mayor de 12, lo que reduce el olor, destruye los organismos causantes de enfermedades y facilita la deshidratación de los lodos.

También es usado como sustituto de capa superior del suelo, materia para césped, en campos de golf, parques y en ornamentas y vegetales de jardines.

Relieve Sanitario

Antes de llevar el lodo a un relleno sanitario es necesario deshidratarlo para reducir su volumen, facilitar su transporte y controlar la generación de plomo en el sitio de disposición.

En muchos casos, la concentración de sólidos es un factor importante para determinar la aceptabilidad del lodo en rellenos sanitarios.

La deshidratación del lodo se lleva a cabo empleando filtros al vacío con tambor rotatorio o filtros a presión de placa y marco para remover la mayor cantidad de agua posible que se encuentre contenida en el lodo. En algunos casos los lodos no son adecuados para la filtración ya que forman una torta de filtro compresible, en estos casos el centrifugado es una alternativa útil; también se efectúa la deshidratación en lechos de arena donde el agua se separa de los lodos por una combinación de drenaje y evaporación del agua y asentamiento de los sólidos de los lodos debido a la acción de la lluvia, con lo que se reduce el contenido de nitrógeno de los lodos y por tanto su valor como fertilizante.

Los lodos que son depositados en un relleno sanitario son compactados en el sitio con un tractor y son cubiertos con 12 pulgadas (30 cm) de suelo limpio.

Sítios de Disposición

Para seleccionar un sitio de tierra en donde se dispondrá el lodo, hay que tomar en consideración las áreas de sensibilidad ambiental como son inundación de llanos, zonas acuíferas y hábitats de especies, además del control del agua superficial, contaminación del aire proveniente del viento, partículas y olores, y seguridad relativa a materiales tóxicos y fuego.

El lodo mojado es transportado en camiones al sitio de disposición y ahí es extendido sobre el sitio con arena. El sitio de disposición no debe ser un área densamente poblada o distrito de negocios. Después de algunos años, durante los cuales el desecho es descompuesto y compactado, la tierra puede ser usada como área de recreo y para otros propósitos en los cuales el hundimiento gradual sea un inconveniente.

Incineración

La incineración puede usarse como último método de disposición de los lodos y cuando éstos han sido deshidratados para obtener un contenido de sólidos mayor de 30%, el calor de combustión de los sólidos de los lodos es suficiente para evaporar el contenido residual de agua, se dice entonces que el proceso de incineración es autotérmico. No obstante, la incineración no resuelve completamente el problema de la disposición porque todavía será necesario disponer de la ceniza residual descargándola sobre algún terreno o en el mar. La ceniza también se puede aprovechar en el acondicionamiento de lodos y como un auxiliar filtrante en la deshidratación.

3.4.3 Biogás

El biogás está compuesto por metano 60-80 %, dióxido de carbono 20-30 %, vapor de agua 1-4 % y sulfuro de hidrógeno 0-2 %; tiene un valor calorífico bajo de aproximadamente 600 Btu/ft³. Comparándolo con el gas natural, el cual es una mezcla de metano, propano y butano tiene un bajo valor calorífico de aproximadamente 1000 Btu/ft³.

El biogás puede ser utilizado como combustible para las calderas generadoras de vapor, calentadores y máquinas de combustión interna, para proporcionar calefacción espacial a los digestores, para la operación de sopladores y turbinas de gas, para generar energía eléctrica y en algunos casos para operar vehículos motorizados, también se emplea para el secado e incineración de los lodos.

Como el biogás contiene pequeñas cantidades de vapor de agua y de sulfuro de hidrógeno es necesario limpiarlo en secadores de gas para obtener solo gas metano y posteriormente usarlo en máquinas de combustión interna.

3.4.4 Gas de Venteo

El gas de venteo contiene sulfuro de hidrógeno el cual es uno de los gases que se generan durante el tratamiento de aguas. Su olor característico es el de huevo podrido, así que para controlarlo todo el gas de venteo es enviado a un soplador de gas y posteriormente llevado a desodorización.

La desodorización consistirá en enviar el gas por un filtro de composteo; el material del filtro deberá mantenerse húmedo constantemente con agua, la cual se introduce por la parte superior del filtro. Antes de que el gas de venteo entre al filtro debe ser humedecido con un atomizador. Con éste procedimiento los gases serán oxidados biológicamente.

Referencias

Gaceta Ecológica No. 28. Ref. 9.

Metcalf and Eddy. Ref. 25.

Winkler Michael A. Ref. 31.

4.- CONCLUSIONES

Antes de comenzar el diseño de una planta de tratamiento de aguas se deben conocer los tipos de tratamiento existentes y las características del agua que se desea tratar, dichas características pueden ser DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, pH, temperatura y flujo entre otros; con estos datos nos podemos dar cuenta del tipo de tratamiento que se debe utilizar y de los servicios y equipo que necesita la planta para que el agua pueda ser tratada eficazmente.

En las bases de diseño del presente trabajo se encuentran las características del agua que se desea tratar, analizando la información se observa que la relación DBO₅/DQO está en el rango de 0.5 a 0.65 lo cual indica que gran cantidad de la materia que está presente en esa agua es biodegradable. Por lo tanto el tipo de tratamiento que debe emplearse es el de tipo biológico, de los procesos biológicos existentes se seleccionó el proceso anaerobio por las ventajas que ofrece sobre los otros procesos como son: la producción de energía conocida como biogás, que está constituido principalmente de metano y dióxido de carbono, bajo requerimiento de nutrientes y de energía, baja producción de exceso de lodos estabilizados y ausencia de olor debido al empleo de recipientes totalmente cerrados. Además es posible reutilizar el agua residual tratada para el riego agrícola y riego de hortalizas y productos hortofrutícolas o vertirla en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano, claro que para esto se debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

Los lodos estabilizados también conocidos como biomasa pueden ser utilizados como fertilizante en la tierra agrícola o de bosque, como recubrimiento de tierra, en campos de golf y según sea el caso destinarlo a disposición final en rellenos sanitarios, sitios de disposición o a incineración, el uso que se les da depende de los contaminantes que se encuentren presentes en dichos lodos.

El biogás puede ser utilizado como combustible para calderas o en último caso enviarlo a un quemador. Desafortunadamente se genera un gas que es desagradable por su olor, el sulfuro de hidrógeno, éste deberá enviarse a desodorización para que el gas sea oxidado biológicamente.

Es necesario conocer el desarrollo del proceso anaerobio ya que esto nos indica las condiciones óptimas con las que se obtienen mejores resultados, ésta información es de gran ayuda para considerarla como criterios de diseño posteriores. También se puede obtener información complementaria de artículos que estén relacionados con el tema.

Una vez que se tiene toda la información disponible se puede realizar el diseño de la planta, es decir, que comienza a desarrollarse la Ingeniería Básica; el documento principal es el Balance de Materia, ya que a partir de él se pueden diseñar y seleccionar los equipos que se encuentran en el DFP. Los equipos que se diseñaron para esta planta de tratamiento son principalmente tanques atmosféricos y se seleccionaron bombas centrífugas. A algunos equipos en la Lista de Equipo se les denominó como equipo de paquete, esto se debe a que no se sabe las condiciones de operación del equipo al que los fluidos serán destinados para su reutilización y/o disposición.

En la parte de Ingeniería de Detalle se presentan pocos documentos, pues se necesitaría la ayuda de profesionales para la elaboración de dibujos civiles, mecánicos y eléctricos, y lo que se muestra en este trabajo es la parte del proceso y aquello que más se relacione con el mismo.

Todos los documentos que integran tanto a la Ingeniería Básica como a la de Detalle están relacionados por lo que se pueden elaborar varios de ellos a la vez, esto representa una gran ventaja cuando se está realizando un proyecto en la industria, ya que tiene un costo las horas hombre que se emplean en la elaboración de cada una de las etapas, y si se emplea demasiado tiempo, el costo global del diseño de la planta sería muy alto, si esto ocurriese nadie estaría interesado en invertir en un proyecto del cual podrían obtenerse grandes beneficios.

Muchas empresas piensan que no es conveniente invertir en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales debido a que no se obtiene una ganancia monetaria ó un incremento en la producción, sino por el contrario sería como tirar dinero a la basura, pero los beneficios no siempre tienen que verse desde el punto de vista económico, también hay que tomar en cuenta nuestro entorno, evitar que se siga contaminando nuestro ambiente y que esto traiga como consecuencia el agotamiento de los recursos naturales.

Actualmente en nuestro país con la creación de reformas ambientales se espera que se sancione enérgicamente a las empresas que de alguna forma contaminen el ambiente, las sanciones pueden ser económicas (con lo que disminuyen las ganancias) ó cerrando las plantas (como consecuencia paro en la producción), en ambos casos se pierde dinero y lo mejor será aprovecharlo para el beneficio de todos.

Se espera que este trabajo sea una guía para poder diseñar cualquier planta que involucre procesos químicos independientemente de lo que se quiera producir y considerar la recuperación y reutilización en lo posible de los recursos naturales que se hayan empleado.

5.- BIBLIOGRAFIA

- 1 **A. Dean John .**
Lange's Hand Book of Chemistry
Editorial Mc. Graw Hill 11ª edición
- 2 **Annual Book of ASTM Standards**
Volumen 01 Sección 01 y 05, Volumen 08 Sección 02
Editorial Staff. E.U.A. 1985.
- 3 **Callander, I.J. y Barford, J.P. (1983) Recent Advances in Anaerobic Digestion Technology**
. Process Biochemistry Vol. 18, 24.
- 4 **Constantino Alvarez Fúster**
Diseño de Equipo, Tanques y Recipientes
Cuaderno de Posgrado No. 25. UNAM 1995.
- 5 **Crane**
Flow of fluids through valves, fittings and pipe
Engineering Division 1983.
- 6 **CRC Handbook of Chemistry and Physics**
61 edición 1980-1981
Editorial CRC Press, Inc.
- 7 **Durán Domínguez Ma. Carmen**
Tratamiento Biológico de Aguas Residuales de la Industria Química y de Proceso.
Departamento de alimentos y Biotecnología. División de Ingeniería y Programa de
Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental. UNAM, Junio 1994.

- 8 **Fernández Villagómez Georgina**
Tesis Doctoral en Ingeniería Ambiental: Estudios Clínicos de Sistemas Anaerobios en reactores de película fija alimentados con aguas blancas de la industria del papel. 1992.
- 9 **Gaceta Ecológica No. 28 Marzo 1994**
SEDUE , Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
México D.F., pp. 31-41.
- 10 **Goodwin, J.A.S., D.A.J. Wase y C.F. Forster (1990). Effects of nutrient limitation on the anaerobic upflow sludge blanket reactor. Enzyme Microb. Technol. Vol. 12, pp. 877-884.**
- 11 **Guía de Respuestas iniciales en caso de Emergencias ocasionadas por materiales peligrosos.**
Dirección General de Protección Civil. Secretaría de Gobernación.
Primera Edición 1992. México D.F.
- 12 **Habets, L.H. A; (1986) Experience with the UASB reactor under optimal and suboptimal loadings. Artículo presentado en Cost Effective Treatment of Papermill Effluents Using Anaerobic Technologies Conferencer Pira, Reino Unido.**
- 13 **Habets, L.H.A., M.H. Tielbaard, A.M.D. Ferguson, C.F. Prong y A.J. Chmelauskas, (1988). On site high rate UASB anaerobic demonstration plant treatment of NSSC wastewater. Water Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 87-97.**
- 14 **Handbook of Chemistry and Physics**
43 edición 1961-1962
- 15 **Handbook of Chemistry and Physics**
75th edición 1913-1995
David R. LIDE Editor - -Chief

- 16 Hang Sik Shin y Byeong Cheon Paik (1990). Improved Performance of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors by operating alternatives. *Biotechnology Letters*. Vol. 12, No. 6, pp.469-474.
- 17 Hicks Tyler G.
Bombas su selección y aplicación
Compañía Editorial Continental, S.A. México 1978.
- 18 Jay Matley and the Staff of Chemical Engineering Magazine
Progres in Pumps
McGraw-Hill Information Services Co., New York N.Y. 1989.
- 19 Karassik Igor J., Krotzsch William C., Warren H. Fraser
Pump Handbook
McGraw-Hill book Company, USA 1976.
- 20 Karassik Igor J. y Roy Carter
Bombas Centrifugas. Selección, operación y mantenimiento
1ª Edición en Español
Compañía Edotorial Continental, S.A. México, 1966.
- 21 Kirk and Othmer
Encyclopedia of Chemical Technology. Volumen I
Editorial The Interscience Encyclopedia, Inc.
- 22 Leobardo Jiménez León
Tesis de Maestría: Ingeniería de Proyectos para plantas de proceso.
UNAM 1983.

- 23 **Ludwig Ernest E.**
Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants- Volumen 1,2,3.
Tercera Edicion. Editorial Gulf Publishing Company. E.U.A. 1995.
- 24 **Meint Olthof y Jan Oleszkewivz (1982). Anaerobic treatment of industrial wastewaters.**
Chemical Engineering. November 15, pp. 121-126.
- 25 **Metcalf and Eddy**
Wastewater Engineering Treatment, Disposal Reuse
Editorial McGraw-Hill International
Tercera Edición . E.U.A. 1991.
- 26 **Perry**
Manual del Ingeniero Químico, Volumen 1,2 y 6.
3ª edición en Español
Editorial McGraw Hill, 1992.
- 27 **Rase Howard F. y M.H. Barrow**
Ingeniería de Proyecto para plantas de proceso
Compañía Editorial Continental, S.A. México 1979.
- 28 **Sans Fonfría Ramón y Joan de Pablo Ribas**
Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos.
- 29 **Ulrich G.D.**
Procesos de Ingeniería Química
1ª edición en Español
Editorial McGraw-Hill. México 1992.

- 30 Van Wambeke, M; S. Grusenmeyer; W. Verstraete y R. Longry (1990). Sludge Bed Growth in an UASB Reactor Treating Potato Processing Wastewater. Process Biochemistry International, pp. 181-186.
- 31 Winkler Michael A.
Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho
Editorial Limusa Noriega Editores, 1995.