

CAPITULO I
MARCO TEORICO

1.1. Calidad del agua

Cuando los ríos u otros cursos de agua reciben descargas de aguas servidas urbanas o efluentes de origen industrial, comienza el problema de contaminación o degradación de la calidad del cuerpo receptor, es decir disminuye la calidad del agua del curso, la hace menos útil y modifica su condición de elemento beneficioso para la salud, convirtiéndola en factor de amenaza para la misma (ALARCON CORINA,2014).

La contaminación del recurso natural “El agua” tiene su principal origen en las descargas directas de **residuos industriales líquidos** y de **aguas servidas domésticas** sin previo tratamiento; también influyen las descargas difusas derivadas de actividades agrícolas o forestales, que llegan a las masas o corrientes de aguas superficiales y/o subterráneas (ALARCON CORINA,2014).

Para determinar la calidad del agua, es preciso realizar el análisis físico, químico y biológico.

Alterar la calidad del agua es perjudicar la vida del hombre y otros seres que de ella dependen, es por ello que está prohibido verter o emitir cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas, causando daños o poniendo en peligro la salud humana o normal desarrollo de la flora o fauna.¹

1.2. Efluentes generados en la industria cervecera

Durante el proceso de producción de cerveza se generan diversos tipos de efluentes, que se pueden dividir en tres grandes grupos según su composición y el destino que reciben:

- Residuos.
- Aguas residuales.
- Otros efluentes.

¹ALARCON CORINA RUBEN L (2014)

1.2.1. Residuos

Los residuos comprenden todos los materiales domésticos generados en las distintas áreas de la industria. Entre ellos pueden citarse: vidrio, cartón, plástico, metales, aceites usados, tubos fluorescentes, solventes, residuos de envases peligrosos, etc.). Estos residuos se reciclan en mayor o menor medida dentro de la industria, o son eliminados a través de los canales locales para este fin (Fillaudeau et al., 2006; Simate et al., 2011).

1.2.2. Aguas Residuales

En la industria cervecera, además de los residuos y subproductos, la limpieza de tanques, botellas, máquinas y plantas produce grandes cantidades de aguas residuales. Para producir 1 l de cerveza, se generan de 3 a 10 l de aguas residuales, dependiendo del consumo específico en cada industria. (Fillaudeau et al., 2006).

Los aportes de carga orgánica son muy disímiles entre las distintas fuentes donde se generan. Así la limpieza de tanques involucrados en las primeras etapas del proceso productivo (**elaboración del mosto, fermentación y maduración**), **representan el mayor aporte de carga orgánica, mientras que el lavado de botellas, máquinas y planta aporta el mayor volumen, con una carga orgánica menor.**

Tabla I-1. Rango promedio de valores para aguas residuales de cervecería

PARAMETROS	UNIDADES	RANGO DE VALORES
Temperatura	°C	18 a 40
pH		3 a 12
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/l	1200 a 3600
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	2000 a 6000
Sólidos Totales	mg/l	5100 a 8750
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2900 a 3000
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	2020 a 5940
Grasas y Aceites	mg/l	1000 a 2500
Nitrogeno	mg/l	25 a 80
Fosfato	mg/l	10 a 50

Fuente: Lisandro Gabriel Seluy (2015).

Como se puede observar de la tabla I-1, la composición de las aguas residuales de cervecería es muy variable, tanto en su composición como en sus propiedades fisicoquímicas, debido a que el aporte de cada sector de la industria, (lavado de equipos, lavado de planta, etc.) se produce en diferentes momentos. El pH, por ejemplo, puede variar en un amplio rango si el lavado CIP (Cleaning in Place- limpieza en lugar) de los equipos está en funcionamiento, dado el uso de bases y ácidos fuertes.

1.2.3. Otros efluentes

La mayor parte de los efluentes generados en las distintas etapas del proceso de producción son de carácter orgánico. Algunos pueden ser considerados como subproductos, ya que pueden ser aprovechados por otras industrias, fundamentalmente alimenticias, (alimentación humana, alimentación animal, etc.).

Durante la etapa de elaboración del mosto se produce el bagazo. Éste representa el mayor volumen en la industria cervecera, y comprende los restos de cereal que se separan durante la filtración del mosto. En esta misma etapa del proceso, más específicamente durante la cocción y enfriamiento del mosto, se genera un precipitado, principalmente de proteínas provenientes del cereal, Estos subproductos se comercializan como alimento para el ganado (Kunze, 1999; Briggs et al., 2004; Fillaudeau et al., 2006; Nigam y Pandey, 2009; Eblinger, 2012; Olajire, 2012)².

1.3. Parámetros de las aguas residuales de la cerveza

Antes de proceder a una descripción de los procesos disponibles para mejorar la calidad de las aguas, es conveniente revisar los parámetros utilizados para definir su calidad. Algunos de estos parámetros se utilizan en el control de los procesos de tratamiento realizando mediciones de forma continua o discreta. Los parámetros se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: características físicas, características químicas, características biológicas y radiológicas.

² Lisandro Gabriel Seluy (2015).

1.3.1. Propiedades físicas

- **Color**

Los colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. Por lo general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos

vegetales. El color de las aguas residuales de cerveza en un principio es de amarillo oscuro, turbio por las partículas suspensión (levaduras, cascara de malta y los adjuntos), al mezclarse con las aguas de lavado cambia a un color blanquecino.

Según las normativas el color de las aguas se mide en UCV (unidades de color verdadero) los límites permisibles para la descarga de efluentes están como máximo de 15 UCV.

- **Olor**

Normalmente los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, a las aguas del lavado que contienen detergentes, soda caustica, etc.

El agua residual tiene un olor particular, algo desagradable, que resulta más tolerante que el del agua residual séptica. Las aguas residuales de cerveza por acción de los microorganismos anaerobios pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento (ALARCON CORINA,2014).

- **Turbidez**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos. Son difíciles de decantar y filtrar, pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc.

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual cervecera suele ser siempre más elevada que la del agua potable para el consumo humano, hecho principalmente debido a la incorporación de aguas calientes de las diferentes etapas del proceso.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 °C y los 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando alcanza a los 50 °C.

A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5 °C. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2 °C, incluso las bacterias quimio heterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar (Metcalf & Eddy libros, 1996).

- **Densidad**

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m³ es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación otras instalaciones de tratamiento.

- **Sólidos Sedimentables**

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica “**Cono Imhoff**” en el transcurso de un periodo de una hora. Los sólidos sedimentables expresados en unidades de mg/l constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales o residuo de evaporación pueden clasificarse en **filtrantes y no filtrantes sólidos en suspensión.**

Los sólidos sedimentables también se definen como la suma de los sólidos disueltos “**sólidos filtrantes**” y de los sólidos en suspensión “**Sólidos no Filtrantes**” (Metcalf & Eddy libros, 1996).

1. Sólidos disueltos (sólidos filtrantes)

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico o inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales (ALARCON CORINA,2014).

Aunque para las aguas potables se indica un valor máximo deseable de 500 ppm, el valor de los sólidos disueltos no es por si solo suficiente para determinar la bondad del agua. En los usos industriales la concentración elevada de sólidos disueltos puede ser un inconveniente por la posible interferencia en procesos de fabricación, o como causa de espuma en calderas.

Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición, incluyendo la precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa.

2. Sólidos en suspensión (sólidos no filtrantes)

Los sólidos en suspensión (SS), son una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado.

Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones, calderas, equipos, etc. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de la captación. Se separan por filtración y decantación (ALARCON CORINA,2014).

1.3.2. Propiedades químicas

1. Materia orgánica

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. También principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40 a 60 %), hidratos de carbono (25 a 50 %), y grasas y aceites (10 %), otro compuesto orgánico con

importante presencia es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes (Metcalf & Eddy libros, 1996).

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los aceites y la urea, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja (Metcalf & Eddy libros, 1996).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

El parámetro de contaminación orgánica más empleado, que es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días. La determinación de éste está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

1. Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
2. Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
3. Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
4. Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

En el caso de muestras con gran población de microorganismos (como el agua residual no tratada), no es necesario inocular las muestras, dichos cultivos en aguas residuales contienen un gran número de bacterias saprófitas y otros organismos que oxidan la materia orgánica, contienen también ciertas bacterias autótrofas que oxidan la materia no carbonosa.

El periodo de incubación es normalmente de 5 días a 20°C, aunque también se pueden adoptar diferentes periodos de tiempo y temperatura. La oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración en teoría es infinita. **En un periodo de**

20 días se completa la oxidación del 95 al 99 % de la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo de la DBO₅ se llega a oxidar entre el 60 y 70%. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en un incubador (ALARCON CORINA,2014).

Los resultados obtenidos a diferentes temperaturas serán distintos, debido a que las velocidades de las reacciones bioquímicas son función de la temperatura.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica, tanto en aguas naturales como de las residuales. En este ensayo se aplica un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato de potasio proporciona excelentes resultados en este sentido, el ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de Plata). Puesto que algunos compuestos interfieren con el normal desarrollo del ensayo, deben tomarse medidas adecuadas para eliminarlos antes del ensayo (ALARCON CORINA,2014).

El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica, **la DQO de un agua residual suele ser mayor a su correspondiente DBO, siendo debido al número mayor de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.**

- **Grasas y Aceites**

Las grasas de animales y los aceites son el tercer componente de los alimentos en importancia que se encuentran en el agua residual, estos llegan a los residuos en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina de grasas vegetales. Las grasas

proviene habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas.

La presencia de grasas y aceites en el agua residual provoca problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento. Estos elementos interfieren en el normal desarrollo de la actividad biológica y son causa de problemas de mantenimiento.

Si no se eliminan el contenido de grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales creando películas y acumulaciones de materia flotante desagradable (ALARCON CORINA,2014).

2. Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tiene importancia para la determinación del control de calidad del agua.

Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar sus constituyentes inorgánicos que no se incorporan durante el ciclo de uso.

Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua.

- **pH**

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno, y se define como $pH = -\log (1/ [H^+])$. Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Su medición se realiza fácilmente con un pH-metro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles especiales que, por coloración, indican el pH. Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella. El pH se corrige por neutralización

- **Dureza**

La dureza del agua, es debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio. Mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. Por el contrario, las aguas muy blandas son agresivas y pueden no ser indicadas para el consumo.

Existen distintas formas de dureza:

1. Dureza total o título hidrométrico (TH), mide el contenido total de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Se puede distinguir entre la dureza de calcio, TH-Ca, y la dureza de magnesio, TH-Mg.
2. Dureza permanente o no carbonatada. Mide el contenido total de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} después de someter el agua a ebullición durante media hora, filtración y recuperación del volumen inicial con agua destilada. El método es de poca exactitud y depende de las condiciones de ebullición.
3. Dureza temporal o carbonatada. Mide la dureza asociada a iones HCO_3^- y CO_3^{2-} eliminable por ebullición, y es la diferencia entre la dureza total y la permanente.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato, HCO_3^- , carbonato, CO_3^{2-} , y oxhidrilo, OH^- , pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir CO_2 en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado. También pueden producir espumas, provocar arrastre de sólidos con el vapor y fragilizar el acero de las calderas. Se distingue entre la alcalinidad total o título alcalimétrico total, TAC, medida por adición de ácido hasta el viraje del anaranjado de metilo, a pH entre 4.4 y 3.1, también conocido como alcalinidad m, y la alcalinidad simple o título alcalimétrico, TA, medida por el viraje de la fenolftaleína, a pH entre 9.8 y 8.2, conocido como alcalinidad A a partir de ambas mediciones se pueden determinar las concentraciones

en carbonato, bicarbonato e hidróxido. Se mide en las mismas unidades que la dureza, la alcalinidad se corrige por descarbonatación con cal; tratamiento con ácido, o desmineralización por intercambio iónico.

- **Nitratos**

El ión nitrato, NO_3^- , forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno, o amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm, pero las aguas contaminadas, principalmente por fertilizantes, pueden llegar a varios centenares de ppm. Concentraciones elevadas en las aguas de bebida pueden ser la causa de cianosis infantil. Industrialmente no tiene efectos muy significativos, e incluso es útil para controlar la fragilidad del metal de las calderas (ALARCON CORINA,2014).

- **Fosfatos**

El ión fosfato, PO_4^{3-} , en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Al corresponder a un ácido débil, contribuye a la alcalinidad de las aguas.

En general no se encuentran en el agua más de 1 ppm, pero pueden llegar a algunas decenas debido al uso de fertilizantes. Puede ser crítico en la eutrofización de las aguas superficiales. No suele determinarse en los análisis de rutina, pero puede hacerse colorimétricamente (ALARCON CORINA,2014).

1.3.3. Propiedades biológicas

Para la determinación de las características biológicas se debe tener un conocimiento exhaustivo de las características biológicas de las aguas residuales. Debemos estar familiarizado con los siguientes temas.

1. Principales grupos de microorganismos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.
2. Organismos patógenos presentes en las aguas residuales.
3. Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia.

4. Métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

- **Microorganismos**

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, como se muestra en el Cuadro I-1. La mayoría de los organismos pertenecen al grupo de las eubacterias, la categoría protista, dentro de los microorganismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares (ALARCON CORINA,2014).

Cuadro I-1. Clasificación de los microorganismos

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota (a)	Multicelular con gran diferenciación de las células y el tejido. Unicelular, con escasa o diferenciación de tejidos.	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados). Protistas (algas, hongos, protozoos).
Bacterias	Procariota (b)	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota (b)	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos

Fuente: Alarcón Corina Rubén L. (2014)

(a) Contiene un núcleo definido;

(b) No contienen membrana nuclear.

Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis.

- **Organismos patógenos**

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de los desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una

determinada enfermedad. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera (ALARCON CORINA,2014).

1.4. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento adecuado para devolver el agua a la naturaleza en mejores condiciones posibles, esto implica los siguientes conceptos para referirse a la palabra “tratamiento de aguas residuales”

- Son procesos que implican la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desechos arrastrados por las aguas residuales.
- La composición de las aguas residuales se analiza por mediciones físicas, químicas y biológicas a fin de reducir en la medida necesaria las sustancias de riesgo para el medio ambiente, especialmente para el agua, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento o al menos sus efectos nocivos.

1.5. Tipos de tratamientos de aguas residuales

Hay distintos tipos de tratamiento de las aguas residuales para lograr retirar contaminantes. Se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos. Entre ellos, los más usuales son:

- Físico.
- Químico.
- Biológico.

1.5.1. Tratamiento físico

- Sedimentación.
- Flotación.
- Filtración.
- Adsorción.
- Desorción.
- Extracción.

1.5.2. Tratamiento químico

- Coagulación-Floculación.
- Oxidación-Reducción.
- Reducción Electrolítica.
- Intercambio Iónico.
- Osmosis Inversa.

1.5.3. Tratamiento biológico

- Aerobios.
- Anaerobios.
- Facultativos.

1.6. Niveles de tratamiento de aguas residuales en industria cervecera

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario, etc., aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. Así se pueden distinguir:

Pre-tratamiento.

Tratamiento primario.

Tratamiento secundario.

Tratamiento terciario o más avanzado.

1.6.1. Tratamientos preliminares

Los tratamientos preliminares no reflejan un proceso, pero sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios secundarios y terciarios³.

- **Cribado**

Rejas o rejillas de barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas. Su función es retener sólidos gruesos que floten o que se encuentren suspendidos en el agua. Pueden ser de limpieza manual (gruesas) o de limpieza mecánica (finas).

- **Tamices estáticos**

Es un filtro utilizado para la separación sólido-líquida en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.). Este equipo se instala como pre tratamiento en aguas industriales, con luces de 0,5 a 1 mm, para eliminar los gruesos en industrias papeleras, textiles, de curtidos, lavaderos, conserveras, mataderos y lácteas (Sánchez Cuervo,2014).

- **Homogenización o tanques de igualación**

Son tanques que sirven para regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales. Estos tanques son indispensables en el tratamiento de las aguas residuales industriales y a veces se utilizan en las instalaciones municipales. Un tanque de igualación es un depósito con capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobrepasa un determinado valor.

- **Desarenadores**

Estructuras destinadas a remover arenas y otros gujarros presentes en las aguas residuales. Los desarenadores pueden ser rectangulares o circulares; de flujo horizontal o helicoidal; aireados o no; de limpieza manual o mecánica. Tienen como función prevenir la abrasión de equipos mecánicos, evitar la sedimentación de arenas

³ ALARCON CORINA RUBEN L (2014)

en tuberías, canales y tanques ubicados aguas abajo (JENNY MILENA LIZARAZO BECERRA,2013).

1.6.2. Tratamientos primarios

El principal objetivo es de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden florar como las grasas.

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado.

- **Sedimentación**

Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

Sedimentadores rectangulares

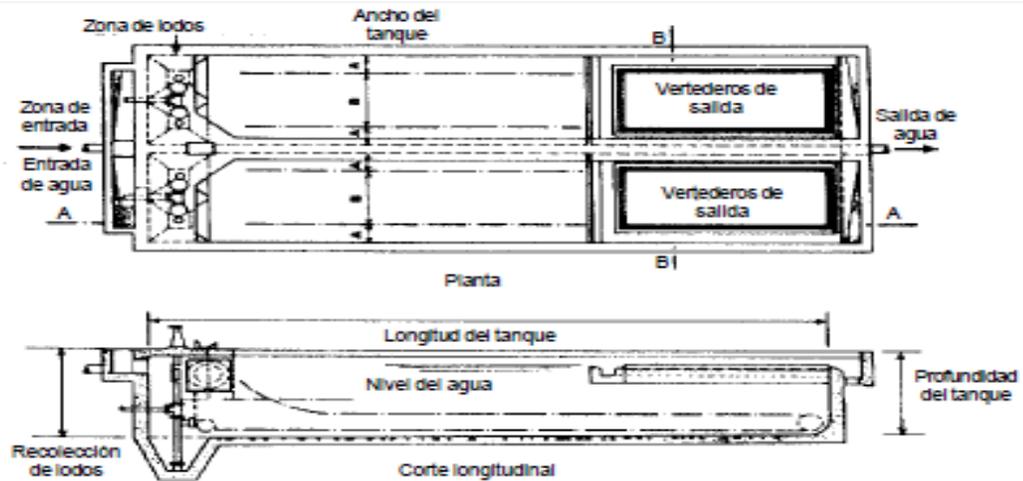
La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas). Este tipo de sedimentación se denomina discreta, dado que las partículas no varían sus propiedades físicas a lo largo del desplazamiento hacia el fondo del sedimentador. Suelen ser equipos poco profundos, dado que, al menos teóricamente, este parámetro no influye en la eficacia de la separación, siendo el principal parámetro el área horizontal del mismo. Como se muestra en la figura I-1 (Ing. Víctor Maldonado Yactayo,2010).

Sedimentadores circulares

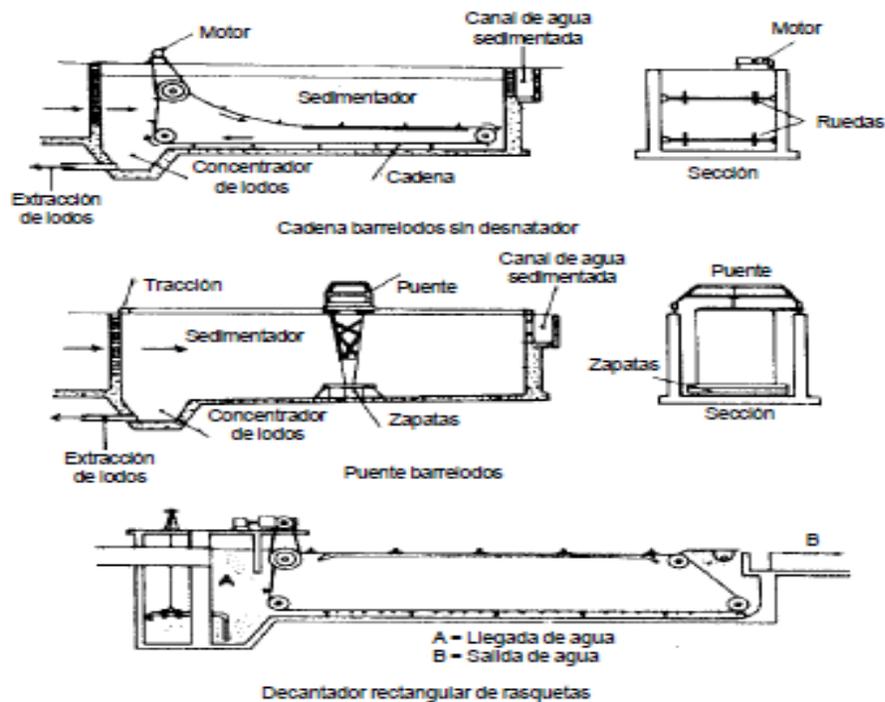
Son más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador. Esta forma de operar es adecuada cuando la

sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas, y por lo tanto aumenta su velocidad de sedimentación. Como se muestra en la Figura I-2 (Ing. Víctor Maldonado Yactayo, 2010).

Figura I-1. Sedimentadores rectangulares



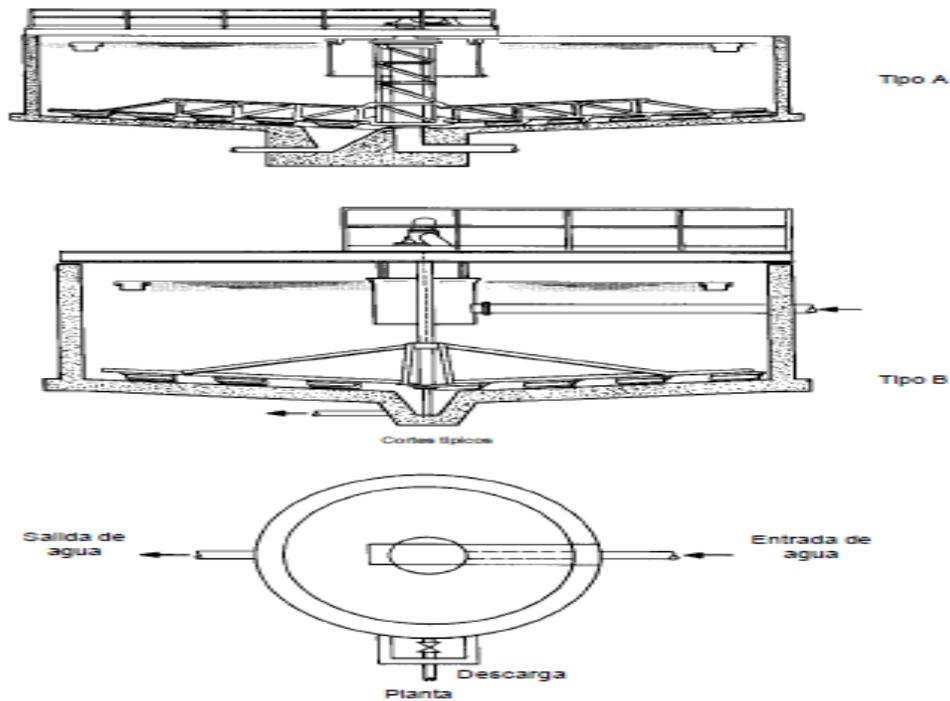
a) Sedimentadores horizontales de forma rectangular



b) Sistemas de remoción de lodos en sedimentadores rectangulares

Fuente: Ing. Víctor Maldonado Yactayo (2010)

Figura I-2. Sedimentadores circulares



Fuente: Ing. Víctor Maldonado Yactayo (2010)

- **Flotación**

Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas.

En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, mg/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06. En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido (CEIM ,2006).se tienen dos sistemas de flotación:

Flotación por aire disuelto (DAF)

En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturado y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire.

La flotación por aire disuelto ha sido uno de los procesos más estudiados en el tratamiento de las aguas residuales. Actualmente, también ha sido muy investigado en el tratamiento de aguas de abastecimiento.

Hay tres tipos básicos de sistemas de flotación:

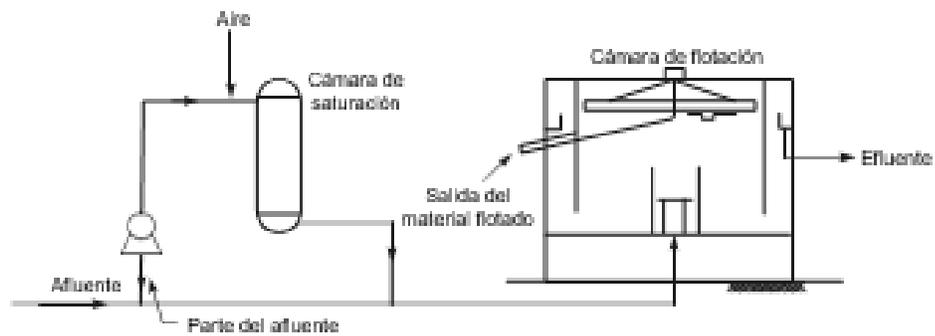
1. Con presurización parcial del afluente.
2. Con presurización total del afluente.
3. Con presurización de la recirculación.

Entre los tipos de flotación mostrados en la figura I-3, aquella con presurización de la recirculación es la más aconsejable en el tratamiento de las aguas, pues los flóculos podrían romperse en la bomba.

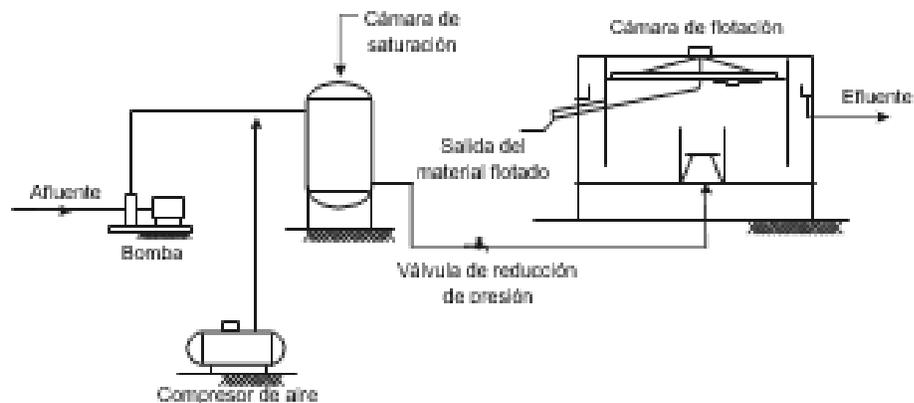
Flotación por aire inducido

La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior.

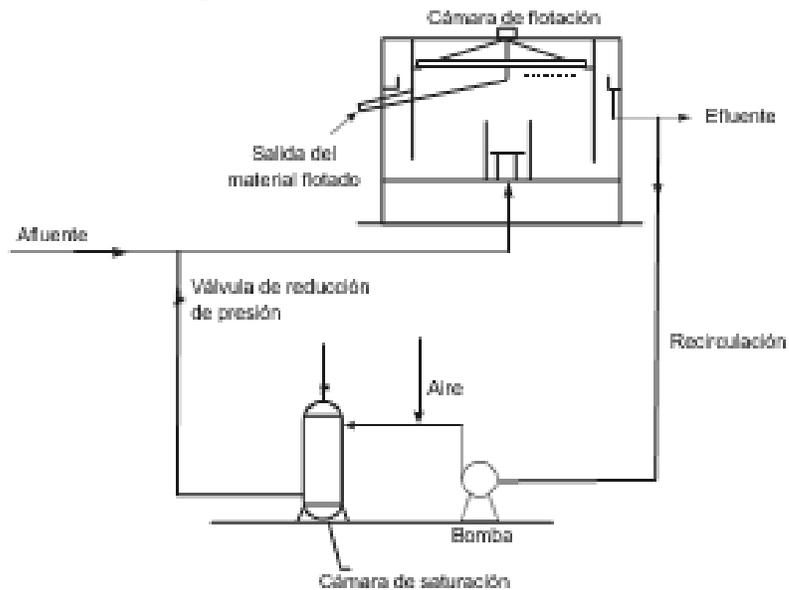
Figura I-3. Flotación por aire disuelto (DAF)



Sistemas de flotación por aire disuelto. Presurización parcial del efluente



Sistemas de flotación por aire disuelto. Presurización total del efluente



Sistemas de flotación por aire disuelto. Presurización de la recirculación

Fuente: Ing. Lidia de Vargas (2007).

- **Filtración**

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua⁴.

A continuación, se definirán y describirán los tipos de filtración más importantes que se emplean tanto en sistemas de tratamiento de aguas residuales, tratamiento de agua potable como en actividades industriales.

Filtración por gravedad o Filtración Rápida

La filtración rápida, se realiza mediante la acción de la gravedad, por lo general se usa en plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) que son construidas con la finalidad de abastecer del recurso hídrico a la población aledaña. Este tipo de filtración, puede ser de flujo ascendente, realizado mediante un filtro ruso, que puede ser operado con tasas de filtración constante o declinante. Cuando la filtración se realiza mediante flujo descendente, la filtración rápida se puede realizar mediante tasa declinante o constante en filtros de lecho único de arena o en lecho múltiples (Blog fibras y normas de Colombia S.A.S. ingeniería en agua,2018)

Filtración Ascendente

Este método, derivado de la filtración rápida, tiene como ventaja principal que el recurso entrante se mueve en el sentido que los granos que conforman el lecho filtrante disminuyen de tamaño, lo que genera que todo el medio, el cual se encuentra conformado por arena, sea efectivo en la remoción de las partículas suspendidas en el recurso. La filtración ascendente, generalmente resulta siendo un proceso que emplea mayor tiempo en el tratamiento del recurso si se compara con otros métodos, ya que particularmente requiere mayor carga hidráulica y un espesor mayor del lecho

⁴ CEIM (2006).

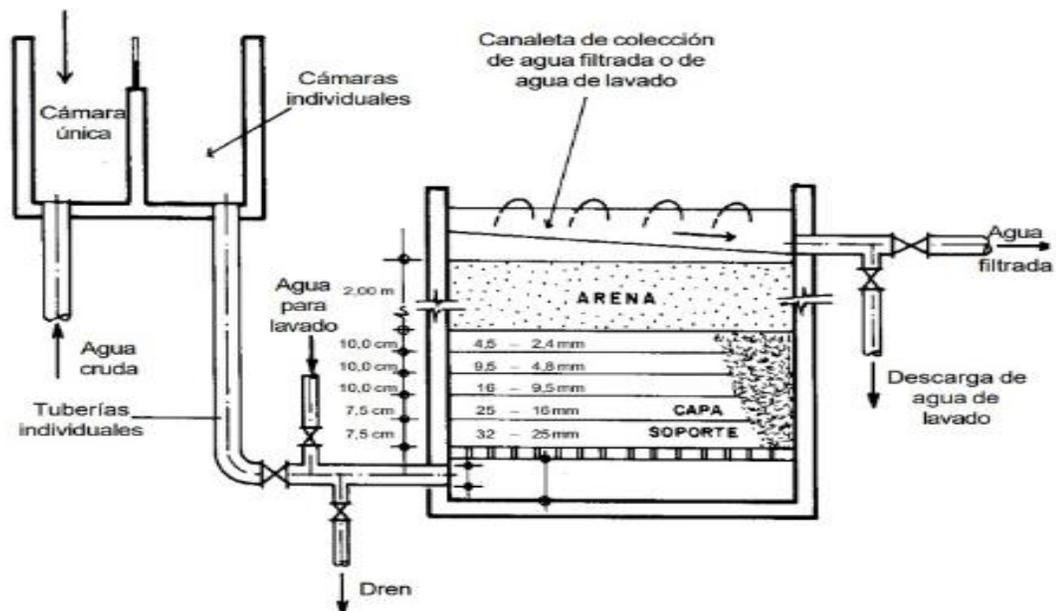
filtrante, por esta razón, se genera que la filtración ascendente tenga un uso limitado. Como se muestra en la figura I-4.

Filtración Ascendente – Descendente:

Este método de filtración surgió como una alternativa para optimizar la filtración ascendente, por medio de la implementación de filtros denominados Bi – Flow, los cuales ingresan una parte del agua cruda coagulada a tratar mediante tuberías provistas de bocas e instaladas en el interior del filtro por la parte superior y el recurso restante, se ingresa por la parte inferior del mismo (Blog fibras y normas de Colombia S.A.S. ingeniería en agua,2018)

El principal inconveniente que presenta el método ascendente – descendente mediante filtros Bi – Flow es el taponamiento con el tiempo de las bocas que componen el filtro, generando que se realicen mantenimientos rutinarios para evitar dicha incidencia⁵. Como se muestra en la figura I-5.

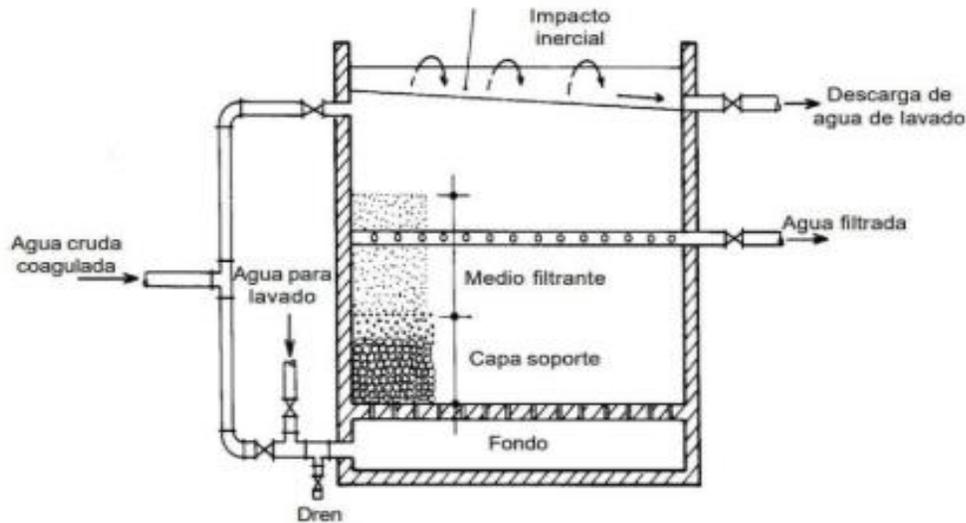
Figura I-4. Filtración Ascendente



Fuente: Blog fibras y normas de Colombia S.A.S. ingeniería en agua (2018)

⁵ Blog fibras y normas de Colombia S.A.S. ingeniería en agua (2018)

Figura I-5. Filtración Ascendente – Descendente



Fuente: Blog fibras y normas de Colombia S.A.S. ingeniería en agua (2018)

- **Coagulación – Floculación:**

Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, en muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ($10^{-6} - 10^{-9}$ m), lo que conforma una suspensión coloidal. (CEIM,2006).

Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.)

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de

alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación:

1. **Sales de Fe^{3+} :** Pueden ser Cl_3Fe o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.
2. **Sales de Al^{3+} :** Suele ser $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.
3. **Polielectrolitos:** Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor⁶.

1.6.3. Tratamientos secundarios

El objetivo de este tratamiento es de remover la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en periodos cortos de tiempo.

Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85 % de la DBO y los sólidos sedimentables, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas

Además, en la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc. que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento (SCRIBD, 2014).

⁶ CEIM (2006).

Los microorganismos convierten la materia biodegradable en CO_2 y H_2O y nuevo material celular. Además, estos dos ingredientes básicos microorganismos y materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte la temperatura, pH y un adecuado tiempo de contacto, durante este proceso las aguas son removidas constantemente por unas potentes “Batidoras” para que las bacterias dispongan de una mayor cantidad posible de oxígeno (ALARCON CORINA,2014).

Después las aguas pasan a otros estanques decantadores donde se siguen retirando los lodos que aún permanecen en el agua. Finalmente, el agua es devuelta de nuevo a su curso natural, río, o bien canalizada para otros usos⁷.

- **Procesos biológicos aerobios**

La presencia de O_2 hace que este elemento sea capaz de aceptar electrones, por lo que se obtienen rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.

Son muchas las posibilidades de tratamiento:

Cultivos en suspensión: Proceso de fangos activados: lodos activados, y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada, contacto-estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR).

Cultivos fijos: Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos:

Biomasa soportada, destacando los filtros percoladores también conocido como Lechos bacterianos o filtros biológicos.

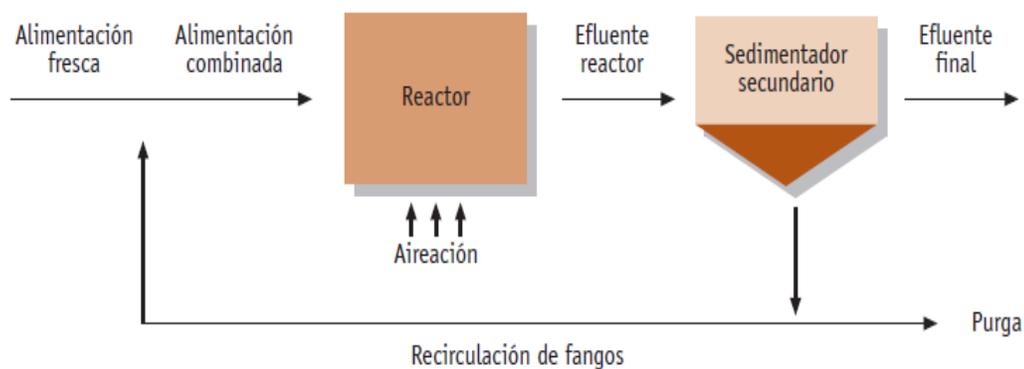
1. Fangos activados: Proceso básico

⁷ ALARCON CORINA RUBEN L (2014)

Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, en los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza una recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos (CEIM ,2006).

Un esquema simplificado como se muestra en la figura I-6.

Figura I-6. Proceso biológico de contacto-estabilización.



Fuente: CEIM (2006).

Dentro de los parámetros básicos de funcionamiento, un parámetro muy importante es el de la aireación. La solubilidad del oxígeno en el agua es pequeña (en torno a 8-9 mgO₂/l dependiendo de presión y temperatura) por lo que será necesario asegurar el suministro a los microorganismos, utilizando aireadores superficiales, capaces de suministrar 1 KgO₂/Kw·h, o bien difusores. El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de oxígeno disuelto es de 2 mg/l. El consumo eléctrico en esta operación será importante dentro de los costes de operación del proceso.

Otro parámetro clave en el proceso se refiere al parámetro A/M, algunas veces denominada I, intensidad de carga. Se refiere a la relación entre la carga orgánica alimentada y la cantidad de microorganismos disponibles en el sistema, con unidades

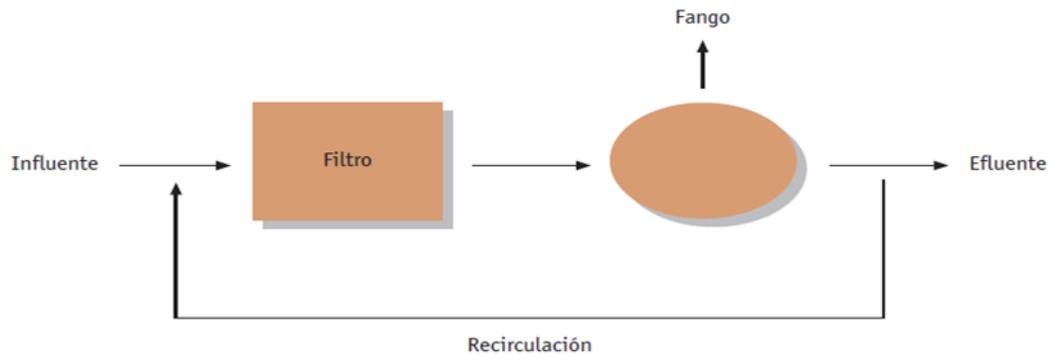
$\text{Kg DBO}_5(\text{o DQO}) / \text{Kg SSV} \cdot \text{día}$. Es un parámetro de diseño fundamental, teniendo un valor óptimo entre 0.3-0.6 para las condiciones más convencionales de funcionamiento. Además, tiene una influencia determinante en la buena sedimentación posterior. La denominada “edad celular” también es un parámetro importante. Se refiere al tiempo medio que permanecen los fangos (flóculos, microorganismos) en el interior del sistema. Esta magnitud suele tener un valor de 5-8 días en condiciones convencionales de operación CEIM (2006).

2. Procesos aerobios con biomasa soportada

Otra de las formas para conseguir concentraciones suficientes de microorganismos, sin necesidad de recirculación, es favoreciendo su crecimiento en la superficie de sólidos. Se evitan de esta forma los posibles problemas en la sedimentación y recirculación de fangos, frecuente en los procesos clásicos de fangos activados. Sin embargo, el aporte de oxígeno será de nuevo un factor importante, consiguiéndose en este caso una buena distribución del líquido y un buen movimiento del sistema.

Filtros percoladores: También denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie. Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y, por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente. En general también se realiza una recirculación de parte del efluente limpio, una vez producida la separación. La velocidad de carga orgánica es el parámetro más importante, teniendo rangos de aplicación en la industria desde 30 a 10.000 $\text{kg DBO}_5/\text{día}$ y 100m^3 de reactor, siendo los tamaños muy variables desde 2 hasta 10 m de altura. Como se muestra en la figura I-7.

Figura I-7. Diagrama de operación típico de un filtro percolador.



Fuente: CEIM (2006).

- **Procesos biológicos anaerobios**

En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO_2 o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono en su estado más reducido, CH_4 . La utilización de este sistema, tendría, como ya se explicará, como ventaja importante, la obtención de gas combustible.

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano 60-80% y dióxido de carbono 40-20 % y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada 5-10% se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos (CEIM,2006).

Realmente, es un proceso complejo en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas

y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono.

Cada etapa del proceso, que se describe a continuación, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio.

1. Hidrólisis

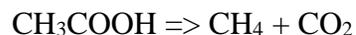
La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente.

2. Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis)

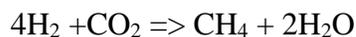
Los productos finales de la hidrólisis son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta, otros compuestos de bajo peso molecular, hidrógeno y dióxido de carbono. A pesar bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales, porque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae (CEIM,2006).

3. Metanogénesis

La formación de metano, producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: La primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denominan bacterias acetoclastas. La reacción química, es la siguiente:

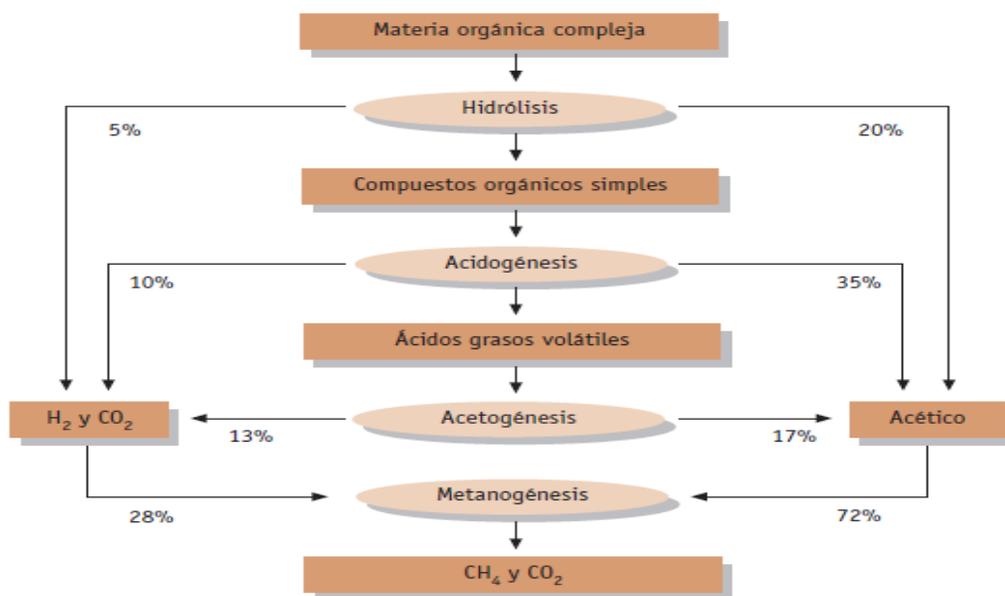


Algunas bacterias metanogénicas son también capaces de usar el hidrógeno para reducir el dióxido de carbono a metano (metanogénicas hidrogenoclastas) según la reacción:



La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas. Actualmente está ampliamente aceptado que la degradación de la materia orgánica sigue una distribución como la detallada, en la figura I-8.

Figura I-8. Esquema de la ruta de degradación anaerobia.



Fuente: CEIM (2006).

4. Condiciones de operación

Tanto las variables físicas como las químicas influyen en el hábitat de los microorganismos. En los procesos anaerobios es importante tener en cuenta la influencia de factores medioambientales. Las bacterias formadoras de metano son las más sensibles a estos factores, por lo que unos funcionamientos inadecuados de las mismas pueden causar una acumulación de productos intermedios (ácidos) y desestabilizar por completo el sistema. Entre las variables más importantes se encuentran **la temperatura, el pH y la disponibilidad de nutrientes.**

Por otro lado, la mezcla es un factor importante en el control del pH y en la uniformidad de las condiciones medioambientales. Una buena mezcla distribuye las propiedades tampón a todo el reactor y evita la concentración de metabolitos intermedios que pueden ser causa de inhibición para las bacterias metanogénicas.

Los parámetros de seguimiento y control en un digestor anaerobio pueden situarse en la fase sólida: materiales orgánicos e inorgánicos en suspensión, fase líquida: parámetros fisicoquímicos y composición y fase gaseosa: producción y composición.

Estos parámetros pueden tener diferente significado y utilidad según la situación particular del equipo, que puede encontrarse en un período de puesta en marcha, en estado estacionario para sistemas continuos, o en sistemas discontinuos. Entre los parámetros de operación se pueden **mencionar velocidad de carga orgánica, toxicidad, velocidad volumétrica de flujo, tiempo de retención hidráulico, concentración de sólidos volátiles en el reactor, producción de fangos.**

Tabla I-2. Comparación de las características de los procesos aeróbicos y anaeróbicos de tratamiento

VARIABLES	PROCESOS AEROBICOS	PROCESOS ANAEROBICOS
Consumo de energía	elevado	bajo
Producción de energía	no	si
Producción de biomasa	elevado	bajo
Remoción de DQO	90-98%	70-85%
Remoción de nitrógeno y fósforo	elevado	bajo
Requerimiento de espacio	elevado	bajo
Operación discontinua	difícil	fácil

Fuente: Lisandro Gabriel Seluy (2015).

- **Reactores**

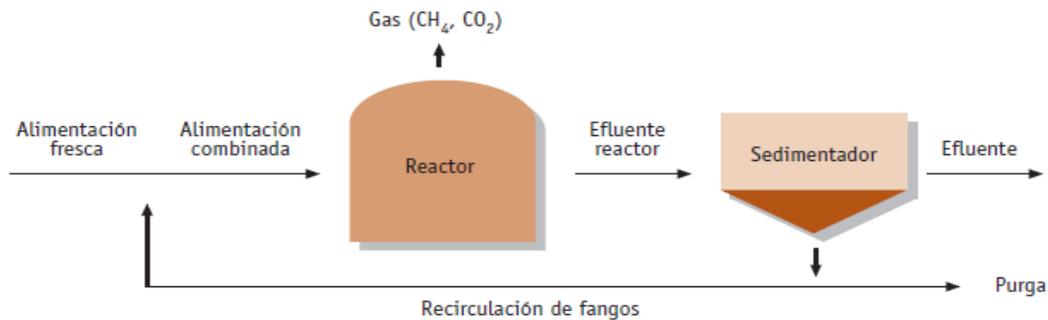
- 1. Reactor de contacto**

Reactor de mezcla completa con recirculación de biomasa: Se trata del equivalente al proceso de fangos activados aerobio.

Consiste un tanque cerrado con un agitador donde tiene una entrada para el agua residual a tratar y dos salidas, una para el biogás generado y otra para la salida del efluente. Este efluente se lleva a un decantador donde es recirculada la biomasa de la

parte inferior del decantador al reactor, para evitar la pérdida de la misma. Los principales problemas que presentan radican en la necesidad de recircular los lodos del decantador y de una buena sedimentación de los mismos. La figura I-9 representa esquemáticamente las características de un reactor de este tipo (CEIM,2006).

Figura I-9. Reactor de contacto



Fuente: CEIM (2006).

2. Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)

Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Estos reactores solucionan el problema de recirculación de lodos al aumentar la concentración de biomasa en el reactor manteniéndola en su interior.

Estos reactores fueron desarrollados en Holanda, por el Prof. Lettinga en la década de los 80. Se trata de un reactor cuyo lecho está formado por gránulos de biomasa.

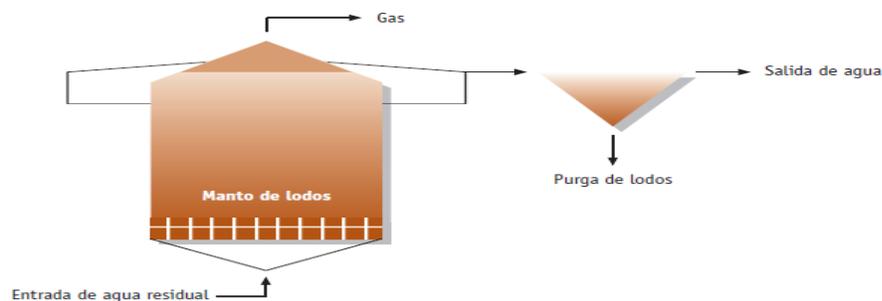
Estos gránulos son porosos y con una densidad poco mayor que la del líquido, con lo que se consigue un buen contacto de éste con la biomasa. Los reactores suelen tener en su parte superior un sistema de separación gas-sólido-líquido, puesto que se acumula biogás alrededor de las partículas, éstas manifiestan una tendencia a ascender separándose con estos dispositivos. Se consigue una alta concentración de biomasa dentro del reactor que conlleva una elevada velocidad de eliminación de materia orgánica con rendimientos elevados de depuración. El agua residual se introduce por la parte inferior, homogéneamente repartida y ascendiendo lentamente a través del manto de lodos (gránulos).

Los principales problemas que tiene este tipo de reactor son: puesta en marcha, ya que se ha de conseguir que se desarrollen gránulos lo más estables posibles, la incidencia negativa que tiene es que el agua residual a tratar contenga una gran cantidad de sólidos en suspensión y la deficiente mezcla en la fase líquida que se logra. Este último problema se soluciona de una forma eficaz recirculando parte del gas producido e inyectándolo en la parte inferior de equipo, consiguiendo una expansión del manto de lodos, por lo tanto, una buena mezcla.

A estos reactores se les denomina EGSB (Expanded granular sludge blanket). Habitualmente la relación altura/diámetro es mayor que para los convencionales UASB siendo capaces de alcanzar mayores cargas orgánicas de 10-25 kg DQO/m³·día.

Recientemente se ha desarrollado un sistema semejante denominado Internal Circulation (IC). Estos tipos de reactores han conseguido muy alta aceptación en el mercado, mostrándose como los más fiables para todo tipo de aguas residuales de alta carga, especialmente las que tiene un bajo contenido de sólidos en suspensión (CEIM,2006).

Figura I-10. Reactor de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)



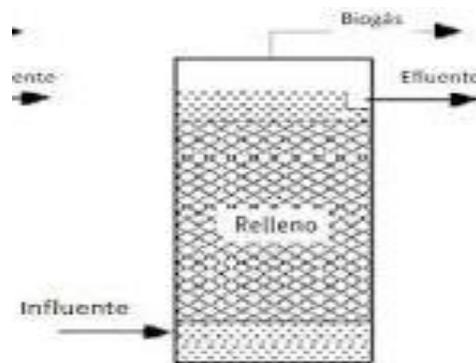
Fuente: CEIM (2006).

3. Filtro anaerobio (FA)

En este caso, los microorganismos anaerobios se desarrollan sobre la superficie de un sólido formando una biopelícula de espesor variable. El sólido permanece inmóvil en

el interior del equipo, habitualmente una columna, constituyendo un lecho fijo. El agua residual se hace circular a través del lecho, bien con flujo ascendente o bien descendente, donde entra en contacto con la biopelícula. Son sistemas tradicionalmente utilizados en muchas depuradoras de aguas residuales industriales con alta carga orgánica. Resisten muy bien alteraciones de carga en el influente, pero no aceptan gran cantidad de sólidos en suspensión con el influente. El rango típico de cargas tratadas desde 5-15 Kg DQO/m³ . día. (CEIM,2006).

Figura I-11. Filtro anaerobio (FA)



Fuente: CEIM (2006).

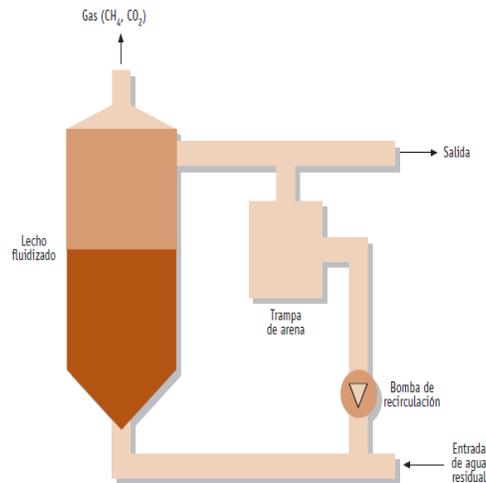
4. Reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF)

Estos reactores son columnas en cuyo interior se introducen partículas de un sólido poroso, por ejemplo, arena, piedra pómez, biolita, etc. y de un tamaño variable 1 entre 5 mm con el objetivo de que sobre su superficie se desarrolle una biopelícula bacteriana que lleve a cabo la degradación anaerobia. Para que las partículas permanezcan fluidizadas y suspensión, es necesario realizar una recirculación del líquido, para que la velocidad del mismo en el interior de la columna sea suficiente para mantener dichas partículas expandidas o fluidizadas.

Este tipo de equipo se ha comprobado como muy eficaces, al menos en escala laboratorio o planta piloto. Se consiguen muy altas concentraciones de

microorganismos, así como una muy buena mezcla en el lecho. Sin embargo, su implantación a nivel industrial no ha alcanzado las expectativas que se esperaron⁸.

Figura I-12. Reactor anaerobio de lecho fluidizado (RALF)

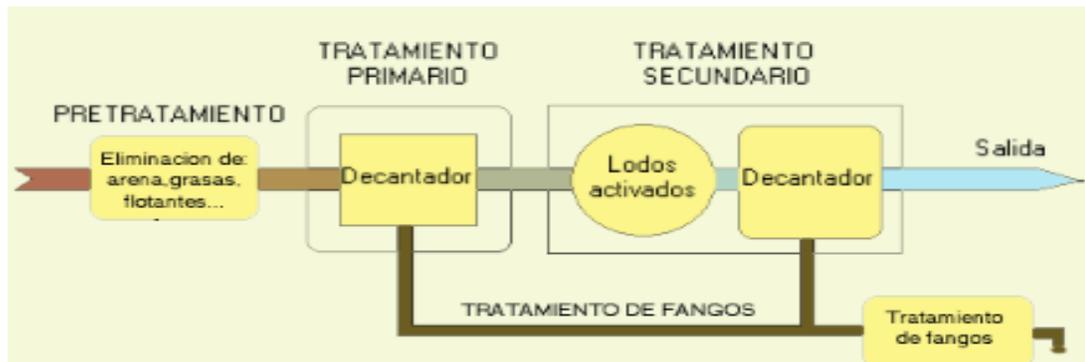


Fuente: CEIM (2006).

5. Tratamiento de fangos

Todos los fangos retirados de los decantadores pasan a otra instalación, al digester donde son tratados antes de ser almacenados o destinados a otros usos. En esta fase se produce gas que puede ser utilizado como combustible en la propia instalación (Para la calefacción de los edificios o para producir energía eléctrica)

Figura I-13. Tratamiento de fangos



Fuente: Alarcón Corina Rubén L. (2014)

⁸ CEIM (2006).

En la siguiente Tabla I-3.se muestran las características y datos técnicos de los diferentes reactores anaerobios

Tabla I-3. Características y datos técnicos correspondientes a las distintas configuraciones de reactores anaerobios

REACTOR	DQO DE ENTRADA (mg/l)	TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO (h)	CARGA ORGANICA (Kg DQO/m ³ . dia.)	ELIMINACION DE DQO (%)
DE CONTACTO	1500-5000	2 a 10	0,5-2,5	75-90
UASB	5000-15000	4 a 12	15,0-25,0	75-85
FA	10000-20000	24 a 48	5,0-55,0	75-85
RALF	5000-10000	5 a 10	5,0-10,0	80-85

Fuente: CEIM (2006).

1.6.4. Tratamiento terciario

Su objetivo es eliminar la carga orgánica residual y las sustancias contaminantes que resistieron a los tratamientos secundarios, a fin de obtener una refinación total para producir efluentes de alta calidad.

El proceso físico químico más empleado en esta etapa del tratamiento es la coagulación–floculación similar a la del tratamiento secundario, junto con la decantación, consistente en separar y concentrar los fangos y los sólidos presentes en el agua residual, para su posterior separación y eliminación.

Sin embargo, existen otras operaciones comúnmente empleadas y de excelente eficacia, como:

- **Electrodesinfección**

Emplea ánodos con elevado poder de oxidación de forma indirecta, para eliminar virus, bacterias y parásitos.

- **Osmosis inversa**

Consiste en aplicar a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica, hasta llevarla a la concentración más diluida y alcanzar un nuevo equilibrio. Técnica ideal para eliminar las sales del agua.

- **Intercambio iónico**

En esta operación se emplean resinas de intercambio iónico, capaces de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua residual, mantenerlos temporalmente unidos a la superficie y cederlos frente a una disolución con un fuerte regenerador. Su aplicación es habitual en la eliminación de sales en bajas concentraciones⁹.

⁹ DOMOS AGUAS (2018).

CAPITULO II
DESCRIPCION DE LA PLANTA

2.1. Aspectos generales de la planta

2.1.1. Antecedentes de la planta cervecera “CERVEUSUR”

La Cervecerías Unidas del Sur “CERVEUSUR” nació en la ciudad de El Alto el 11 de abril del 2013 con la razón social de “La fábrica”; el propietario Gilberto Fernández, comento que desde el 2009 se inició el arduo trabajo para la instalación y el montaje la fábrica, además de contar con las licencias correspondientes en marca y salud a nivel nacional en La Paz, Potosí, Tarija y Santa Cruz.

Asimismo, la “Fábrica” tenía una capacidad de producción de 60.000 litros mensual, pero solo está operando en un 15%, es decir, alrededor de 24.000 botellas que se distribuyen en el país cada mes. Su producto la cerveza "Duff".

En diciembre del 2017 La Fabrica-Cerveza Artesanal, cambió su zona de trabajo (por motivos del propietario) a la ciudad de Tarija en la Provincia Cercado, Distrito 18 Santa Ana a 20 min del centro de la ciudad un recorrido 15,8 km, en el Paralelo: 21°37'29.3" de latitud sur; y entre el meridiano: 64°38'34.0" de longitud oeste.

Con el nombre de “CERVEUSUR” actualmente la cervecería produce cerveza artesanal tipo pilsener y bock.

Las aguas residuales que se generan en dicha planta en todo el proceso de elaboración de cerveza, no tienen ningún sistema de tratamiento de aguas residuales. Todos sus efluentes son vertidos al rio Santa Ana, creando un punto estético inadecuado para la planta, y un posible foco de infección para la salud humana.

En esto surge la preocupación y el compromiso de la empresa con el medio ambiente, al realizar el estudio y caracterización de los parámetros aguas residuales y el posterior diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de reducir el impacto ambiental de dichas aguas y en cumplimiento a la “Normativas Boliviana NB-512, Ley del Medio Ambiente N°1332-Reglamento en Materia de contaminación hídrica y el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero RASIM-.RAI”.

Misión de la empresa

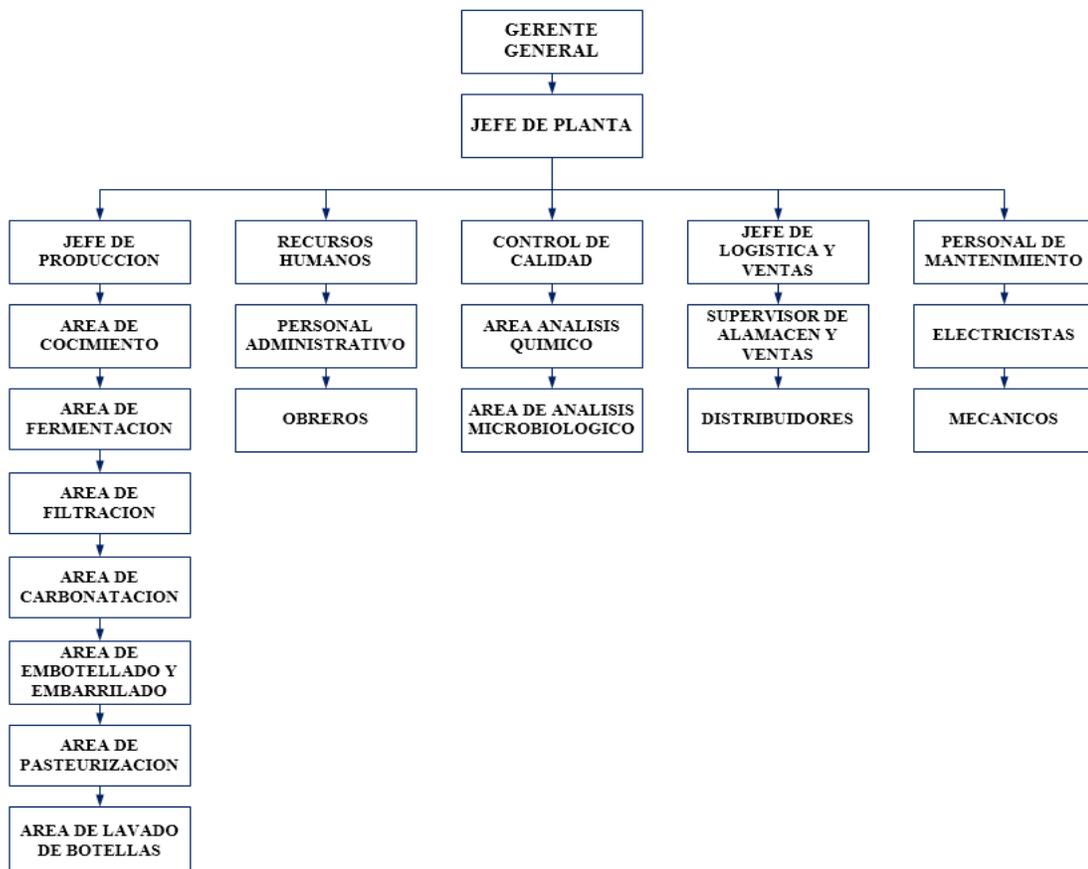
Elaborar cerveza artesanal con características propias, con la mejor materia prima, sin aditivos ni conservantes, con alta calidad para satisfacer la expectativa de los clientes en todo momento.

Visión de la empresa

Ser líder en el mercado boliviano en términos de participación, rentabilidad y producción de bebidas fermentadas, así mismo contribuir al desarrollo del departamento de Tarija y del país (CERVEUSUR S.R.L.,2019).

2.1.2. Organización Industrial

Figura II-1. Organización Industrial de la Empresa “CERVEUSUR S.R.L.”

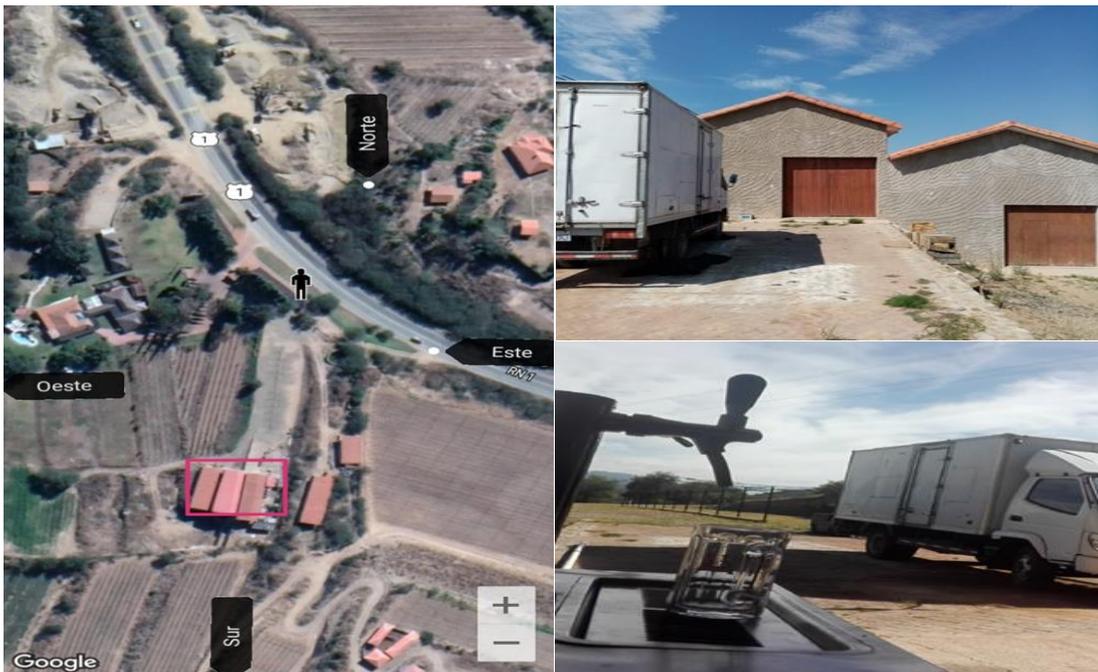


Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.1.3. Localización de la planta cervecera “CERVEUSUR”

La Cervecerías Unidas del Sur “CERVEUSUR” se encuentra ubicada en el departamento de Tarija en la provincia Cercado, Distrito 18 Santa Ana a 20 min del centro de la ciudad, un recorrido 15,8 km, en el Paralelo: 21°37'29.3" de latitud sur; y entre el meridiano: 64°38'34.0" de longitud oeste.

Foto II-1. Localización del proyecto de la industria cervecera “CERVEUSUR S.R.L”



Fuente: Google Maps (2019).

2.1.4. Vías de acceso al área de proyecto

A continuación, se describe los medios de accesos al área del proyecto en estudio.

- **Vías de acceso terrestres**

La Planta Industrial se encuentra en el departamento de Tarija, Provincia Cercado en el Distrito 18 Santa Ana, conectada hacia el norte con los departamentos de Potosí, Oruro, Cochabamba, Sucre y La Paz mediante la ruta Panamericana, también mediante una ruta intermedia de la ciudad fronteriza de Villazón (frontera con

Argentina), hacia el este con la provincia el O'Connor (Entre Ríos) y Gran Chaco (Villamontes ,Yacuiba con las frontera con Argentina) mediante la ruta 11 camino al Chaco y al sur con la provincia Arce ruta 1(Bermejo con la frontera de Argentina).

- **Vías de acceso aérea**

Vía de acceso con el “Aeropuerto Internacional Oriel Lea Plaza” de la ciudad de Tarija, con vuelos diarios a las principales ciudades de Bolivia. también el aeropuerto de Yacuiba sirve a la población boliviana del mismo nombre y se encuentra por tanto a escasos kilómetros del límite internacional entre Bolivia y Argentina ya que la ciudad de Yacuiba, departamento de Tarija, se encuentra conurbada con la ciudad argentina de Salvador Mazza, provincia de Salta.¹⁰

2.1.5. Características físico-natural del área circundante al proyecto

- **Aspectos abióticos**

Clima

El clima es variado por ser semiárido fresco, con una temperatura media anual de 22 °C, en temperaturas medias anuales entre 15 -25 °C y precipitaciones más abundantes 600 mm anuales.

Las lluvias mayormente son de origen orográfico siendo principalmente por la condensación de las masas húmedas provenientes del Sur-este, esto presenta precipitaciones altas en la zona montañosa, aspectos que se puede observas en los mapas.

El periodo de lluvias es entre los meses de octubre a marzo. Este periodo es considerado de mucha importancia porque coincide con la época de siembra por que las familias aprovechan para dedicarse a la siembra. Las precipitaciones mínimas son entre abril a julio.¹¹

¹⁰ PDM DE CERCADO (2015-2019)

¹¹ PDM DE URIONDO (2007-2011)

Recursos hídricos

El departamento de Tarija forma parte del gran sistema hidrográfico de la “Cuenca del Río de La Plata” y la “Cuenca de Tajzara”.

Donde se puede diferenciar tres sistemas hídricos importantes: la “Cuenca del río Pilcomayo” con una superficie aproximada de 25.160 Km², que representa el 67% de la superficie del departamento, y la “Cuenca del río Bermejo” con una superficie de 12.000 Km² que comprende el 32% del departamento. Ambos sistemas pertenecen a la Cuenca del Río de La Plata. El tercer sistema corresponde a la cuenca cerrada o endorreica de Tajzara de aproximadamente 465 Km², equivalente al 1% de la superficie departamental.

En el Mapa 7 de Cuencas y subcuencas se ha sintetizado la información correspondiente (ZONISIG,2011).

La Cuenca del río Bermejo es la **Cordillera Oriental**, presenta un relieve accidentado, donde la gradiente longitudinal del curso de los ríos adquiere pendientes altas, mayores al 2,5%, como los ríos Guadalquivir, Tolomosa, Camacho y Santa Ana, tributarios principales del río Bermejo, que en el Valle Central de Tarija forman un valle amplio.

Los ríos Santa Ana, Guadalquivir están circundantes al proyecto.

Cuadro II-1. Características de los ríos Santa Ana y Guadalquivir.

NOMBRE	FLUJO DE AGUA	CAUDAL MINIMO (l/s)	ACTIVIDAD PARA QUE SE APROVECHAN	AREA (Km ²)	OBSERVACIONES
Río Santa Ana	intermitente	6	Fuente de agua, riego recreacion	552	Ubicado a 0,1 km al proyecto
Río Guadalquivir	permanente	881	Fuente de agua, riego recreacion	3340	Ubicado a 1 km al proyecto

Fuente: Ing. Adel Cortez Maire (2000).

- **Aspectos bióticos**

Flora

La vegetación con que cuenta esta zona refleja unas características particulares de topografía y climáticas de la región.

Tipo de vegetación predominante: Molle, Algarrobo, Tusca, Eucalipto, Sauce.

Principales plantas silvestres: Churqui, Keuña, Tola, Aliso, Tusca, Taco.

Lo principal en la zona es la agricultura, que es el pilar de la actividad económica de la población, entre estos podemos nombrar los siguientes cultivos de papa, maíz, cebolla, arveja, pero principalmente el cultivo de la vid donde les reditúa buenos dividendos cuyo producto además de ser para consumo de mesa, es decir para su comercialización y una parte se destina para la elaboración de vino y singani.

Fauna

En la zona se encuentra una gran variedad de animales silvestres de las cuales nombramos a continuación: Liebre, vizcacha, paloma, huayco, conejo, león, zorro, cóndor, chanco, urina, perdiz, etc.

Cada una de estas especies se encuentran dependiendo de la zona más húmeda, o poca humedad y mayor vegetación¹².

También la crianza de aves de granja es la principal actividad ganadera, cuyo número asciende a 101.783 aves, le siguen las aves de corral con 28.335 unidades y los ovinos con 20.390 cabezas según el (Censo Agropecuario 2013)

- **Aspectos demográficos**

La Provincia Cercado cuenta en la actualidad con 21 distritos, 13 urbanos y 7 rurales.

El beneficiario del proyecto es el Distrito 18 de Santa Ana con una población en el 2014 de 2911 habitantes se tiene una proyección de la población que para el 2019

¹² PDM DE URIONDO (2007-2011)

tendrán 3733 habitantes, con una tasa de crecimiento del 3.07% según (Instituto Nacional de Estadística “INE”,2012).

- **Aspectos socioeconómicos y culturales**

Turismo

Posee atractivos naturales especiales y ciertas particularidades que lo hacen único y marcan diferencia, como ser la calidez de sus habitantes, su especial entorno natural, la dinámica actividad vitivinícola, las actividades relacionadas con esta como la vendimia chapaca, y la fiesta de Carnaval, las fiestas religiosas como Chaguaya y San Roque, y un importante patrimonio cultural y científico relacionado con su riqueza paleontológica, que representan tan sólo una parte de los innumerables atractivos existentes (PDM DE CERCADO,2015-2019).

La Cultura, el arte y todas sus manifestaciones

Es un sector dinámico y vital que llena de energía el entorno y que contribuye a la consolidación del Chapaco, tiene actividades generadoras de belleza y riqueza cultural y artística de la región. El municipio posee un rico patrimonio cultural e histórico, que se incrementa con la concepción y creación de nuevas actividades en consonancia con las tradiciones Tarijeñas de modo que la cultura y el arte forman parte de nuestra vida y forma de ser (PDM DE CERCADO,2015-2019).

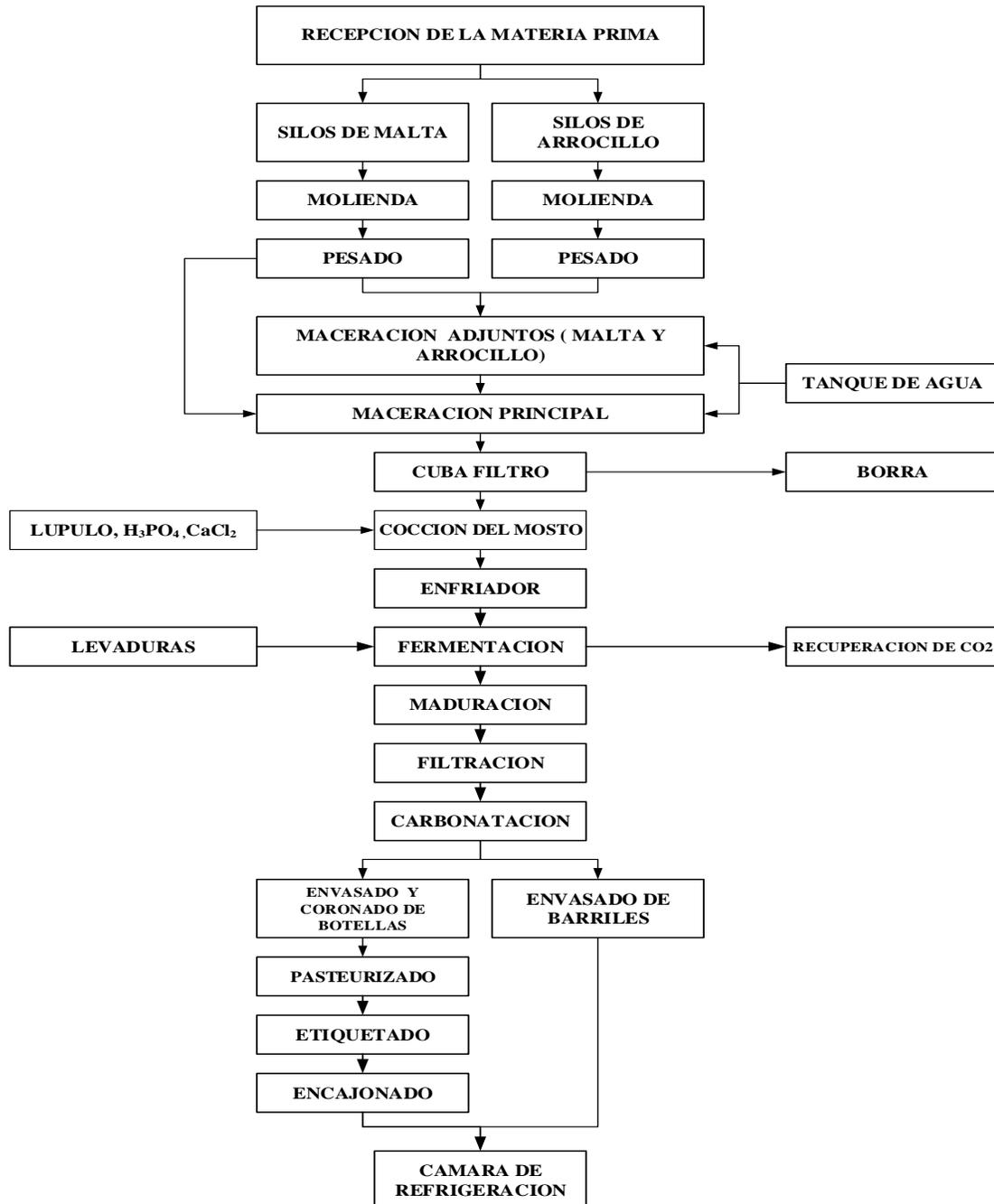
El Ámbito Productivo

La principal actividad económica de la zona es la agropecuaria, con cultivos de maíz, vid, durazno, tomate, papa, cebolla, arveja y la cría de ganado vacuno (porcino, caprino etc.) y la producción avícola. La producción está destinada al consumo familiar, a la venta, la reposición de semilla y al intercambio. Los habitantes asentados en las orillas de los principales ríos se dedican a la actividad frutícola.

Los servicios de transporte para la migración, el turismo y la comercialización de la producción de vinos, singanis y también la producción que ofrece la industria cervecera de la zona.

2.2. Descripción del proceso productivo de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

Figura II-2. Diagrama de bloques de proceso productivo de cerveza “CERVEUSUR S.R.L.”



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

El proceso de elaboración de cerveza se puede dividir en 3 etapas principales

1. Elaboración del mosto
2. Fermentación y maduración,
3. Filtración y envasado.

Primeramente, se hace la recepción de materias primas como la malta y aditivos para pasar luego a una serie de procesos para convertirla en cerveza. Como se puede apreciar, en la Figura II-2.

A continuación, el proceso productivo de la elaboración de la cerveza:

2.2.1. Molienda

Desde los silos de malta se transfieren los granos para su molienda en un molino de rodillo, donde sus objetivos son:

1. Rasgar la cáscara, preferentemente de manera longitudinal para dejar expuesta la porción interior del grano, el endospermo.
2. Producir mediante una acción de trituración la desintegración total del endospermo, para que todos sus elementos constitutivos queden accesibles a la acción enzimática.
3. Mantener la cantidad de elementos finos (harina) a un mínimo, para evitar su formación y produzcan una cantidad excesivo de pasta dentro de la masa (Ray Klimovitz,2002).

Foto II-2. Molino de rodillos



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

En términos prácticos, una malta que ha sido triturada de una manera ideal debe tener lo siguiente:

1. Ningún grano sin triturar.
2. La mayoría de las cáscaras rasgadas de un extremo a otro sin que adhieran partículas del endospermo.
3. El endospermo reducido a un tamaño uniforme de partículas pequeñas.
4. Una cantidad mínima de harina fina.

Desde los silos de adjuntos (el arrocillo) son transferidos a un molino de martillos con los objetivos de mejorar la eficiencia de la maceración, alcanzar un tamaño de partículas más finas.

Foto II-3. Molino de martillos

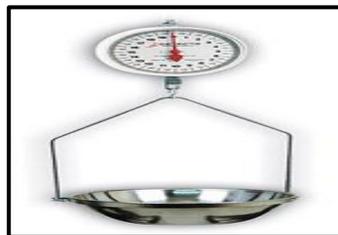


Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.2. Pesaje

Para asegurar la formulación apropiada de la masa, deben pesarse la malta y los adjuntos.

Figura II-3. Balanza



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.3. Maceración de adjuntos y maceración principal

La maceración tiene una relación de tiempo-temperatura, para la formación de la masa realizaremos dos pasos:

El primer paso es la maceración: formación de la pasta y con agua caliente tomando una pequeña cantidad de malta triturada, dentro del cocedor de adjuntos. La cantidad de malta usada para este fin dependerá de su potencia enzimática, de la naturaleza de los adjuntos y el ciclo de calentamiento del cocedor. Luego y después de un tiempo y temperatura determinada se traslada al cocedor de maceración principal segundo paso (Ray Klimovitz,2002).

Foto II-4. Tanque de maceración de adjuntos



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

El segundo paso es donde la maceración principal es el contacto del producto de la molienda con el agua, a una determinada temperatura y tiempo, para realizar la peptonización que es mejorar la malta molida, liberar físicamente los almidones y proteínas además de activar enzimas que se desarrollan en el malteo.

Los objetivos de la maceración son:

- Disolver las sustancias de los ingredientes que sean solubles.

- Solubilizar a través de la acción enzimática sustancias que son insolubles en su estado natural.
 - Cambiar la estructura química, a través de acción enzimática simultanea de algunas, sustancias de manera planificada y predecible.
- Obteniendo la producción de un mosto de calidad (Ray Klimovitz,2002).

Foto II-5. Tanque de maceración principal



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019)

2.2.4. Separación del mosto

La separación del mosto es esencialmente un proceso físico, aunque no completamente sencillo, y sucede después que se haya alcanzado la conversión de la masa, esto es, la degradación de almidones a azúcares y dextrinas.

El método de la separación del mosto de los sólidos de la masa, el equipo usado es la cuba filtro.

- **Cuba filtro**

La filtración se realiza en la cuba filtro, que es una paila combinada de maceración y filtración. Es un recipiente cilíndrico vertical de gran diámetro en relación con su profundidad.

Es una maquina mezcladora de masa y filtración que funciona sobre un eje común, después que se ha completado la maceración, el lecho de granos es emparejado,

nivelado y se permite que se sedimente ligeramente, donde en el fondo de la cuba filtro existe un sistema de captación de mosto de tubos múltiples, dispuestos en anillos concéntricos que conducen a través del sistema de válvulas. por los cuales el mosto es llevado a un recipiente de captación denominado colector.

El mosto es circulado para establecer el lecho filtración y para que se clarifique el mosto dulce y limpio pasa entonces al tanque de cocción.

El bagazo separado del mosto es rociado con agua a 75°C con un movimiento circular hasta lograr extraer todo el extracto.

La borra es comercializada como alimento para animales, ya que contiene azúcares, proteínas y fibra. El filtrado es conducido mediante bombeo a un hervidor.

Foto II-6. Cuba filtro



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.5. Cocción del mosto

Es la etapa donde se adiciona el lúpulo pelletizado, azúcar, colorante caramelo, cloruro de calcio y el ácido fosfórico para la regulación del pH en un tanque hervidor.

Los fines de la cocción son:

- Esterilizar el mosto de modo que no tenga microorganismos que perjudiquen la fermentación.

- Concentrar el mosto, evaporando parte del agua de proceso.
- Finalizar las reacciones químicas con la reducción del pH.
- Coagular las proteínas y taninos.
- Eliminar compuestos volátiles indeseables.
- Adicionar el sabor amargo al mosto mediante isomerización de las resinas de lúpulo
- Intensificar color.
- Extraer aceites esenciales del lúpulo.
- La clarificación y limpieza del mosto hervido se realiza mediante el **Whirlpool** es una palabra inglesa que significa remolino. La técnica es bastante sencilla, se puede hacer mecánicamente o manualmente, y **consiste en hacer girar el mosto** (una vez echado el último añadido de lúpulo) de modo que en el centro del tanque se concentre todo el lúpulo gracias a la fuerza centrípeta del remolino, creando un cono.

Para realizar el whirlpool se maneja el sistema de tuberías y válvulas conectadas al tanque hervidor con la ayuda de la bomba centrífuga.

Al extraer el mosto lupulado del tanque hervidor mediante el sistema de válvulas evitamos que se venga con nosotros el lúpulo.

2.2.6. Enfriador del mosto

Los objetivos del enfriamiento son:

- La reducción de la temperatura del mosto desde aproximadamente 100 °C hasta la temperatura de siembra de 7 -12 °C.
- Aeración adecuada del mosto para permitir que opere debidamente la levadura.

El Enfriador Aireador de Mosto, es una técnica que permite que el mosto sea aireado al mismo tiempo que es enfriado, en la parte de arriba hay una chimenea de ventilación que permite la eliminación del aire saturado, una vez usado para la

aireado y el enfriamiento evaporativo. Luego el mosto pasa por un intercambiador de calor al tanque de fermentación

Foto II-7. Tanque de hervidor



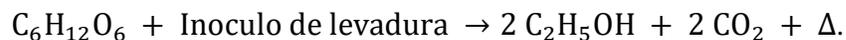
Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019)

2.2.7. Fermentación

El intercambiador de calor “Tipo Placa” consiste en un marco de acero inoxidable que encierra una serie de placas empotradas, presionadas para estar juntas, las conexiones y pasajes son tales que el mosto y el medio refrigerante (glicol) pasan juntos en un contraflujo turbulento en capas poco profundas entre las placas adyacentes. Para lograr un proceso rápido e higiénico en el desarrollo de la levadura.

El mosto se traslada a tanques de fermentación donde se le añade la levadura que se encuentran en los TL (tanques de levadura).

La fermentación es un proceso anaeróbico, donde la levadura convierte la glucosa en etanol y dióxido de carbono:



Fermentación de los azúcares contenidos en el mosto es realizada con levaduras. Éstas transforman los azúcares principalmente en etanol y dióxido de carbono, como así también en otros compuestos minoritarios que forman parte del aroma y sabor característicos de cada cerveza.

Cuando la mayor parte de los azúcares son consumidos, en los procesos de fermentación baja, las levaduras sedimentan y son separadas del fondo de los tanques de fermentación, generalmente cónicos. Esta primera etapa de fermentación suele durar entre 7 y 10 días dependiendo el tipo de cerveza.

Foto II-8. Tanque de fermentación



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.8. Maduración

El propósito de la maduración es transformar la caótica cerveza verde, que sale del fermentador, en una cerveza atractiva, gentil y equilibrada, que se puede disfrutar desde el mismo momento en el que cae en el vaso (Ray Klimovitz, 2002).

Los tanques de maduración, en los cuales se baja la temperatura a valores cercanos a 0°C, para favorecer la precipitación de complejos de proteínas y polifenoles y de otras sustancias responsables de formar turbidez, son separadas por el fondo de los tanques. En esta etapa que suele durar en 3 y 20 días según el tipo de cerveza producida, se agregan compuestos para favorecer la precipitación y con Bentonita, Polivinil Polipirrolidona PVPP, etc. Los que son separados junto con los sólidos que precipitan naturalmente.

Foto II-9. Tanque de maduración



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.9. Filtración

La cerveza en la planta es filtrada utilizando tierra de diatomeas, o a través de tecnología de membranas de manera de obtener una cerveza clara y brillante.

Foto II-10. Filtros de placa



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.10. Carbonatación

Antes de realizar la etapa de envasado, la carbonatación es un rasgo importante de la cerveza, ya que le añade el sabor, cuerpo e influye en el modo en que los aromas del lúpulo y la malta serán percibidos por quien la beba.

Después de la filtración; con un cilindro de CO₂ se realiza las conexiones al equipo de Carbonatación para realizar la respectiva medida del gas disuelto en el mismo volumen del líquido.

Foto II-11. Carbonatación



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.11. Envasado

El área de envasado de botellas tiene varias etapas que se explica a continuación:

- **Recepción:** se reciben los envases vacíos. Como las botellas son retornables se reciben en cajas reutilizables.
- **Desencajonado:** las botellas se las retira de los cajones de manera manual y coloca de forma ordenada en una banda transportadora para que entren a la lavadora.
- **Lavado de botellas:** la lavadora trabaja con un 2% en peso de soda cáustica a una temperatura de 80°C. La capacidad de la lavadora varia 500 a 2000 botellas por hora.
- **Inspección después de lavado:** la botella limpia pasa por una pantalla de inspección, donde se encuentra un operador (EBI Humano), quien se encarga de recircular a la lavadora las botellas sucias. Las botellas limpias pasan a la máquina llenadora mediante una cinta trasportadora.
- **Llenado de la botella:** se usa la máquina llenadora automática. Esta máquina consta de un sistema de pre evacuación del aire; esta evacuación es necesaria para que la cerveza no se avejente rápido.

Foto II-12. Lavador de botellas



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

Foto II-13. Llenado y coronado de botellas



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

El área de envasado de barriles tiene varias etapas que se explica a continuación:

- **Recepción:** se reciben los envases vacíos. Como barriles de acero inoxidable son retornables.
- **Lavado de barriles:** el lavado es manual donde mediante una bomba ingresa agua caliente con soda caustica en el interior del barril, luego se realiza el enjuague con el mismo proceso, pero con agua fría y termina con el ingreso de vapor para realizar la esterilización.
- **Inspección después de lavado:** el barril limpio pasa por el encargado que realiza una inspección visual y manual, luego se realiza el llenado de los barriles.
- **Llenado de los barriles:** se usa la máquina llenadora automática, mediante las diferencias de presiones de aire (Ray Klimovitz,2002).

Foto II-14. Llenadora de barriles



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.12. Pasteurizado

Los envases son sometidos a un proceso de pasteurización, que es un procedimiento u operación térmica con la cual se logra garantizar la calidad biológica a través del tiempo, sin alterar la composición del producto. Se mide en Unidades de Pasteurización (U.P.), por medio de un equipo llamado Pasteurizador. Es un equipo de gran tamaño, por dentro del cual pasa la botella, durante 45 minutos., en todos los cuales existen lluvias de agua caliente, pasando de los 30°C en su ingreso, hasta 62°C en diferentes cámaras para finalmente descender a la temperatura inicial para proporcionarle al consumidor no solamente una cerveza brillante y exquisita, sino también un producto que se encuentre microbiológicamente estable. Los envases salen de la pasteurización a temperatura ambiente listos para ser distribuidos.

Foto II-15. Pasteurizador



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.2.13. Etiquetado y encajonado

La última etapa del proceso es el etiquetado y encajonado. Los operadores que etiquetan y encajonan manualmente los envases en cajas plásticas.

Las botellas pasan a un almacenamiento donde deben tenerse en cuenta:

- No ser sometida a un tiempo largo a la luz natural o artificial.
- Evitar ser sometida a temperaturas altas ya que se puede avejentar rápidamente la cerveza y provocar cambios de aroma, sabor y color.

2.3. Servicios auxiliares

2.3.1. Sistema de agua

Toda industria consume grandes volúmenes de agua, tanto para limpieza de equipos, como para uso en el proceso de elaboración del producto. La fuente de agua en la planta cervecera es de un pozo subterráneo propiedad de la misma empresa.

2.3.2. Sistema de refrigeración

El sistema que se usa en la planta es por un enfriador de agua chiller, utilizado para enfriar glicol manejado en la refrigeración de las áreas de fermentación, maduración y filtración.

Foto II-16. Chiller



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

Donde también una cámara de refrigeración para almacenar los barriles de cerveza.

Foto II-17. Cámara de refrigeración



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.3.3. Sistema de generación de vapor

El vapor generado es utilizado para calentar algunos equipos, para el área de elaboración y pasteurización de la cerveza.

El vapor es generado mediante una caldera horizontal humotubular, que funciona dependiendo del requerimiento de vapor en planta. Los calderos producen 1000 kilogramos de vapor sobrecalentado por hora, a 180°C y con 4 bares de presión.

Foto II-18. Caldera horizontal humotubular



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

2.3.4. Almacén de materias primas e insumos

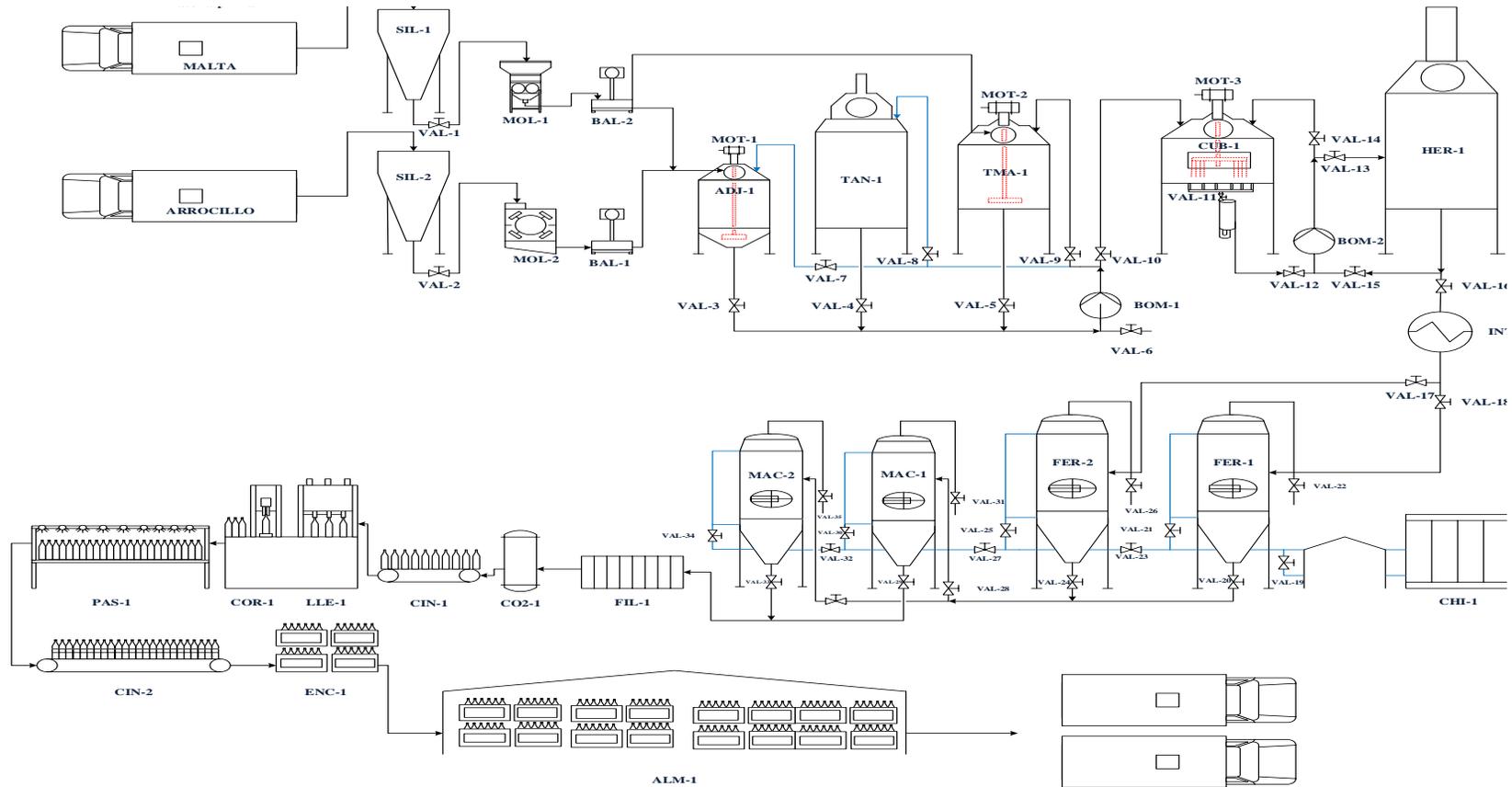
Las materias primas e insumos además de materiales auxiliares son entregados por proveedores autorizados por la empresa a excepción de los cereales que son analizados en establecimientos de agroindustrias.

Los materiales se encuentran almacenados cuidadosamente para evitar el deterioro, contaminación y daños.

- Cereales: la malta y adjuntos son inspeccionados al ingreso a planta, se verifica que el transporte esté libre de condiciones que contaminen como pájaros, roedores, insectos, derrames de combustibles y suciedad.
- Lúpulo: se almacena en un lugar seco y refrigerado, sobre paletas y sin tocar paredes.
- Agentes químicos: se almacenan en depósitos lejos de la zona productiva, aquellos que sean incompatibles, ácidos y álcalis, se almacenan en áreas separadas. Los agentes que sean almacenados en áreas de producción deben tener bandejas para casos de derrame

2.4. Diagrama de flujo de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

Figura II-4. Diagrama de flujo de la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”



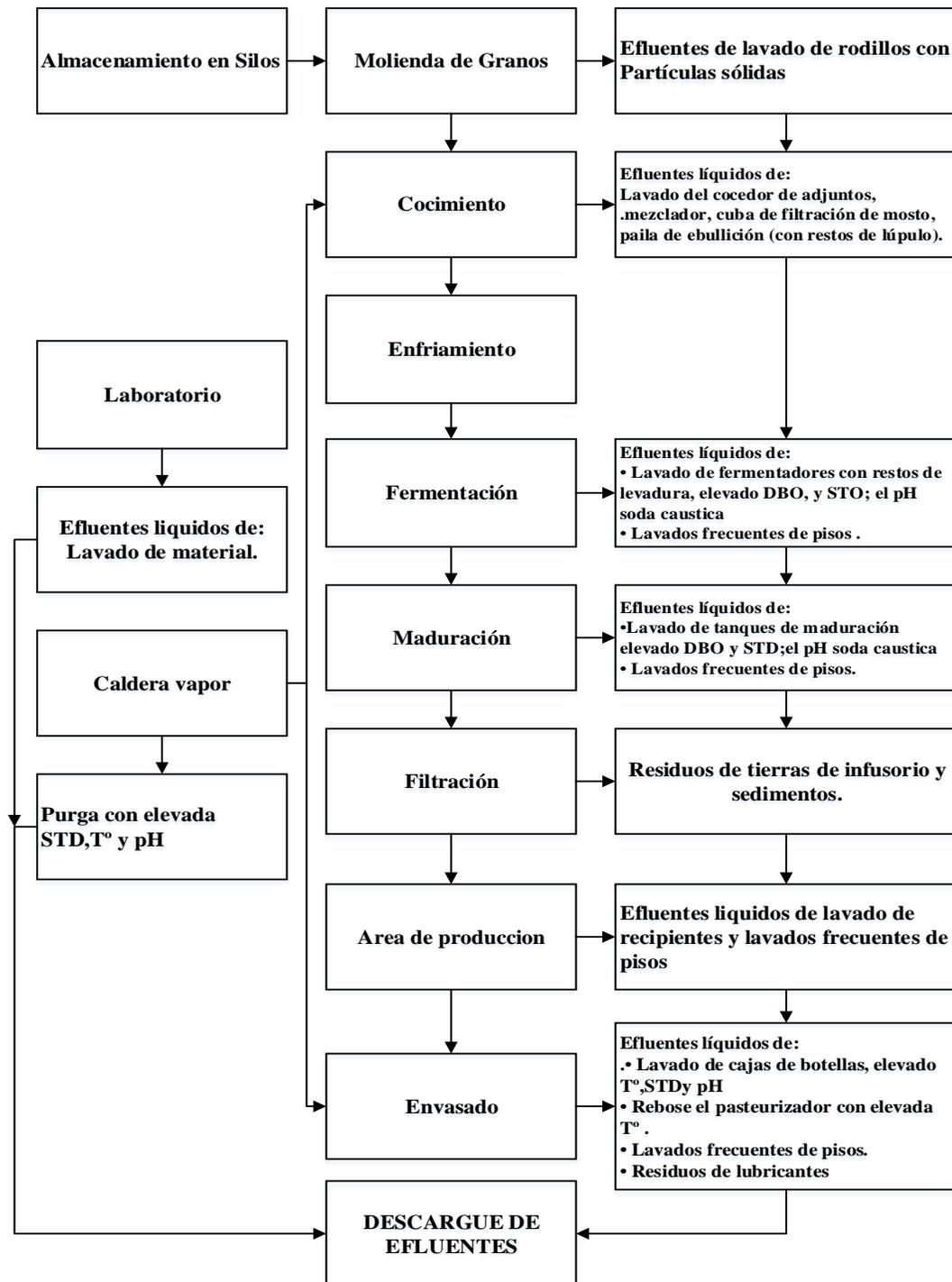
Fuente: Elaboración propia (2019).

2.4.1. Instrumentación de la elaboración de la cerveza “CERVEUSUR S.R.L.”

1. **SIL-1**; Silos de malta.
2. **SIL-2**; Silos de arrozillo.
3. **MOL-1**; Molino de rodillos.
4. **MOL-2**; Molino de martillos.
5. **VAL-1**; Válvulas de paso.
6. **BAL-1**; Balanza.
7. **ADJ-1**; Tanque de maceración de adjuntos.
8. **TAN-1**; Tanque hervidor de agua.
9. **TMA-1**; Tanque de maceración principal.
10. **CUB-1**; Cuba filtro.
11. **HER-1**; Hervidor del mosto.
12. **MOT-1**; Motor eléctrico.
13. **BOM-1**; Bomba hidráulica.
14. **INT-1**; Intercambiador de calor.
15. **CHI-1**; Chiller.
16. **FER-1**; Tanque de fermentación.
17. **MAC-1**; Tanque de maceración.
18. **FIL-1**; filtro de placas.
19. **CO2-1**; Carbonatación.
20. **CIN-1**; Cinta transportadora.
21. **LLE-1**; Llenadora de botellas.
22. **COR-1**; Coronado de botellas.
23. **PAS-1**; Pasteurizador.
24. **ENC-1**; Encajonado.
25. **ALM-1**; Almacenamiento.

2.6. Efluentes generados por la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

Figura II-6. Efluentes generados



Fuente: Elaboración propia (2019).

La industria cervecera **CERVECERÍAS UNIDAS DEL SUR “CERVEUSUR S.R.L.”** presentan aguas residuales con contenido de sustancias contaminantes, estas aguas provenientes de distintas etapas del proceso de elaboración de la cerveza.

La planta actualmente no cumple con los requisitos establecidos, por tanto, surge la necesidad de realizar acciones de control y tratamiento de las mismas por su contenido de agentes contaminantes, y de acuerdo a la gestión ambiental establecida por el Ministerio de Desarrollo y como consecuencia de la promulgación de la “Ley de Medio Ambiente N° 1333 y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, Normativas Boliviana NB-512, y el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero RASIM-.RAI”, requiere el estudio del diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, para ajustar a la calidad del agua vertida a las especificaciones legales.

2.7. Criterios de evaluación para la selección del proceso de tratamiento

Para establecer los criterios de evaluación se fundamenta en la selección de las características técnicas-teóricas de las tecnologías propuestas por las literaturas conocidas, recomendadas y/o adoptada, también en coordinación con la misma empresa industrial “CERVEUSUR S.R.L.”.

- El principal objetivo del tratamiento primario es de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos.

Cuadro II-2. Características de los equipos para el tratamiento primario

PROCESO	DISPONIBILIDAD ECONOMICA DE LA EMPRESA	ACCESIBILIDAD DE EQUIPOS	ESPACIO FISICO	COSTO DE MANTENIMIENTO	EFICIENCIA
SEDIMENTADOR RECTANGULAR	Alto	Alto	Moderado	Moderado	Moderado
HOMOGENIZADOR	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto

Fuente: Elaboración propia (2019).

- Tenemos que seleccionar el proceso de tratamientos, aeróbicos -anaeróbicos mediante la comparación de sus características.

Cuadro II-3. Comparación de las características de los procesos aeróbicos y anaeróbicos de tratamiento

VARIABLES	PROCESOS AEROBICOS	PROCESOS ANAEROBICOS
Consumo de energia	elevado	bajo
Produccion de energia	no	si
Produccion de biomasa	elevado	bajo
Remocion de DQO	90-98%	70-85%
Remocion de nitrogeno y fosforo	elevado	bajo
Requerimiento de espacio	elevado	bajo
Operación discontinua	dificil	facil

Fuente: Lisandro Gabriel Seluy (2015).

Como puede observarse, si bien los procesos aeróbicos permiten obtener una mayor reducción en la carga orgánica de los efluentes, presentan algunas desventajas, siendo las tres principales las siguientes:

- Presentan un mayor consumo de energía
- Generan mayor cantidad de biomasa, la que debe ser retirada del sistema y dispuesta de manera adecuada
- No producen ningún compuesto que pueda ser utilizado para producir energía.

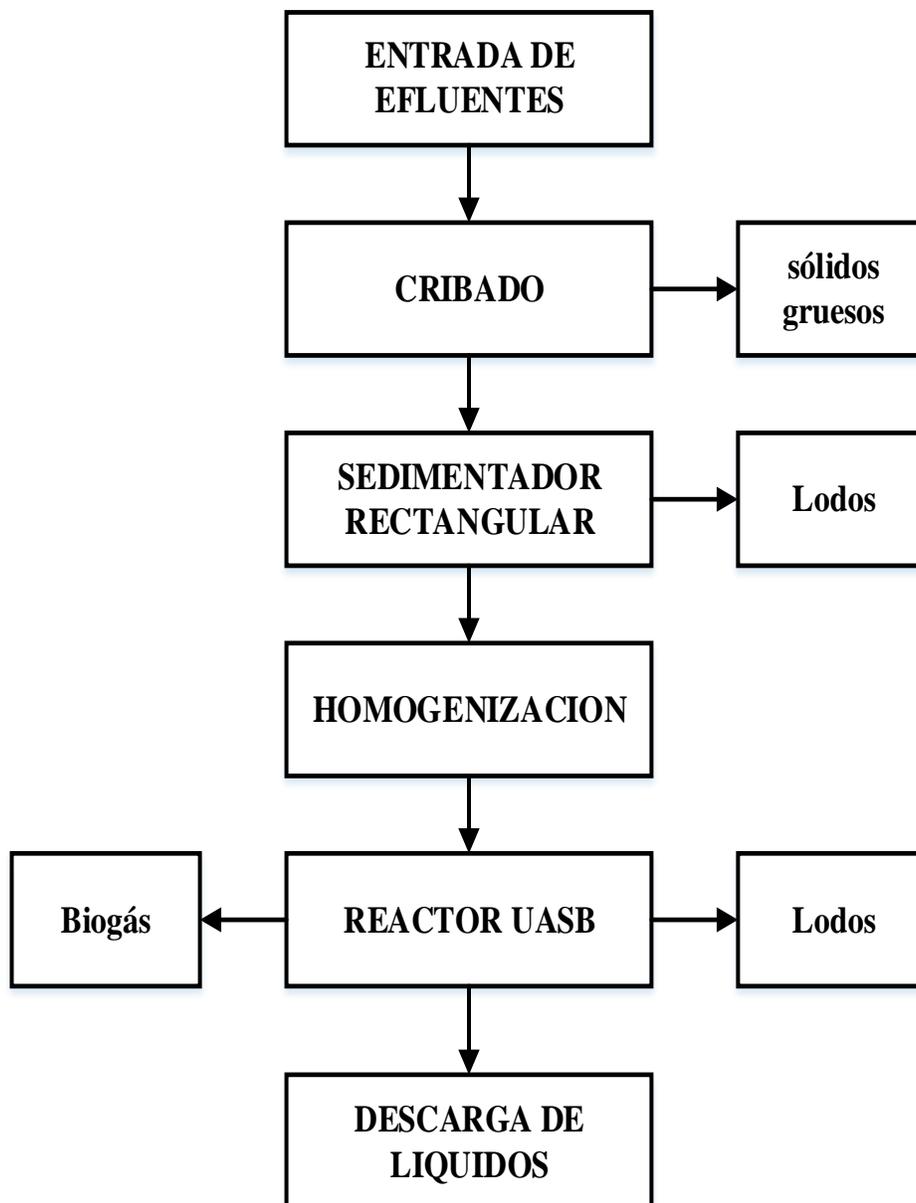
Los procesos anaeróbicos, en cambio, si bien permiten una menor reducción de la carga orgánica, y la calidad del efluente generado puede no ser adecuada para verter directamente, tienen la ventaja de producir compuestos como el CH₄, que pueden ser utilizados para producir energía. Si bien parte de la energía producida es utilizada para mantener la temperatura en el reactor, el excedente puede ser utilizado para disminuir los requerimientos energéticos de la industria.

Según la comparación de las características de cada proceso de tratamiento la mejor alternativa es el proceso de tratamiento anaeróbico, para ello se consulta a la empresa su disponibilidad económica para implementar el sistema de tratamiento de las aguas residuales.

- El criterio asumido para el diseño del reactor UASB, es que al trabajar con bajas cargas orgánicas (ARD, DQO<1500 mg/l), la limitante del proceso es la carga hidráulica (Lettinga y Hulshoff, 1995a; van Haandel y Lettinga, 1994 y Lettinga et. al. 1980).es aplicable al parámetro de DQO de 750 mg/l según la tabla 1.
- (Parámetros de las aguas residuales de la empresa CERVEUSUR)
- En cuanto a la forma geométrica del reactor existen dos opciones: Rectangular y Circular. La forma circular tiene la ventaja de una estabilidad estructural mayor, pero la construcción del separador GSL es más complicada que en uno rectangular. En el caso de la forma rectangular la sección cuadrada es la más barata (Van Haandel, 1998) (van Haandel, 1998; van Haandel y Lettinga, 1994). en el capítulo V se presenta el diseño completo
- Según van Haandel y Lettinga (1994) la temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales, dependiendo esta del clima de la región; sin embargo, siempre tendrá un valor por debajo de la temperatura óptima para la digestión anaerobia (30 a 35°C). De este modo el proceso es atractivo para regiones tropicales o subtropicales, donde la temperatura del ARD no está por debajo de los 18°C (Vieira, 1989). Como se puede ver en las temperaturas promedio en la Ciudad de Tarija, corresponden a un clima de tipo subtropical (18 a 20 ° C).
- Para la construcción del sistema de tratamiento de las aguas residuales. La planta industrial cuenta con un espacio físico aproximadamente de 100 m² que satisface al espacio requerido para la implementación.
- Se cotizó los materiales para la construcción de los diferentes equipos y accesorios que serán usados para el sistema de tratamiento.
- En cuanto al mantenimiento de los equipos, cada uno de ellos presenta diferente costo económico para sus características particulares.

En la figura II-7 se muestra un diagrama de bloques general de lo que será el sistema de tratamientos de aguas residuales industriales de la planta, donde se muestran las distintas etapas del tratamiento.

Figura II-7. Diagrama de bloques del sistema tratamiento de aguas residuales industriales para la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”



Fuente: Elaboración propia (2019).

CAPITULO III

**CARACTERIZACION Y CUANTIFICACION
DE LAS AGUAS RESIDUALES EN FUNCION
DEL PROCESO PRODUCTIVO**

3.1. Generación de las aguas residuales de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

Las operaciones de limpieza poseen una tecnología propia y cuentan con una gestión independiente. La limpieza de las instalaciones es una garantía del mantenimiento de la higiene dentro de la industria cervecera

La determinación de los puntos críticos de contaminación dentro del proceso y una buena programación son fundamentales desde el punto de vista medioambiental, no solo debido a que en esta operación se producen consumos de agua, energía y productos de limpieza muy elevados, sino porque una limpieza inadecuada puede acarrear que cantidades importantes de materia prima se contaminen y se conviertan automáticamente en residuos (Instituto tecnológico agroalimentario “AINIA”,2009).

En la planta cervecera, además de los residuos y subproductos, la limpieza de tanques, botellas, máquinas y plantas produce grandes cantidades de aguas residuales. Para producir 1 l de cerveza, se generan de 3 a 10 l de aguas residuales, dependiendo del consumo específico en cada industria (Fillaudeau et al.,2006).

Los aportes de carga orgánica son muy similares entre las distintas fuentes donde se generan. Así la limpieza de tanques involucrados en las primeras etapas del proceso productivo elaboración del mosto, fermentación y maduración, representan el mayor aporte de carga orgánica, mientras que el lavado de botellas, máquinas y planta aporta el mayor volumen, con una carga orgánica menor.

3.1.1. Lavado de tanques de almacenamiento de silos

Son dos tanques de acero inoxidable de forma cónica con una capacidad de 1000 Kg una altura de 3.5 m cada uno, en la parte superior en la cabecera tiene una entrada de la materia prima, en la parte inferior tiene la salida de la misma materia prima y su base que sostiene al equipo es de forma de trípode.

El primer silo de almacenamiento contiene la cebada malteada “malta” de origen chilena y el segundo silo contiene arrocillo del departamento de Santa Cruz, materias primas para el inicio de la elaboración de la cerveza.

El lavado de los tanques de almacenamiento de silos se realiza ya cuando la materia prima está limitada para poder proveer en el cocimiento, este lavado por lo general se lo efectúa 1 vez cada dos semanas dependiendo de la producción de la planta.

La materia prima la malta como el arrozillo generan polvo en la superficie interior y exterior de los tanques, también residuos sólidos en la parte inferior de la salida de la materia prima.

El lavado se lo realiza manualmente con agua y detergente desde la parte superior en la “entrada de la materia prima” hasta la parte inferior “salida de la materia prima” con la ayuda de una escobilla de palo largo (destinada solo para el lavado de tanques) en toda la zona interior y exterior de los tanques, luego se esteriliza a 121 °C con vapor de agua proveniente de la caldera horizontal humotubular, finalmente se enjuaga con agua fría dejándolo limpio, esperar un determinado tiempo para secar de esta manera tenerlos listos para el uso posterior (Instituto tecnológico agroalimentario “AINIA”,2009)

Las aguas residuales de este lavado aportan a la carga orgánica.

Foto III-1. Lavado de silos



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

3.1.2. Lavado de los molinos de rodillos y martillos.

El molino de rodillos su objetivo rasgar la cáscara, preferentemente de manera longitudinal para dejar expuesta la porción interior del grano. El molino de martillos su objetivo de mejorar la eficiencia de la maceración, alcanzar un tamaño de partículas más finas.

El molino de rodillos genera polvo, cascaras rasgadas de la malta. El molino de martillos genera en mayor cantidad de harina fina.

La limpieza se realiza manualmente desde parte superior en la “entrada de la materia prima” hasta la parte inferior “salida de la materia prima” con la ayuda de una escobilla (destinada solo para el lavado de molino) tanto en el interior y exterior de los molinos quitando todo el residuo solido que queda de la trituration de la malta y del arrocillo, con la ayuda de un compresor de aire para poder quitar el polvo a los molinos en lugares que no llega la escobilla.

La limpieza no se realiza con agua porque puede llegar afectar al sistema mecánico de los molinos provocando corrosión. Una mejor limpieza se realiza en temporadas de mantenimiento de los equipos.

3.1.3. Lavado de los tanques de cocimiento

En los tanques de cocimiento de mosto se tienen varias etapas.

1. En el Cocedor de Adjuntos se cocinan los adjuntos o sucedáneos cerveceros mezclados con una porción menor de malta. La malta proporciona las enzimas necesarias que hidrolizarían los almidones de los adjuntos.
2. Paralelamente en el Tanque de Maceración Principal se cocina la malta, produciéndose el desdoblamiento de sus proteínas cómplesjas en proteínas más sencillas y aminoácidos.
3. Luego el contenido del Cocedor de Adjuntos es bombeado al Tanque de Maceración Principal, donde al combinarse con la malta se obtienen los azúcares (maltosa y dextrinas) necesarios para la etapa posterior de fermentación. A esta solución se le denomina Mosto.

4. Filtración de Mosto después de la sacarificación, el mosto se transfiere a una Cuba Filtro para la separación de la pulpa de la malta y el maíz o arroz (afrecho). El afrecho es almacenado en un silo para su posterior comercialización como alimento para animales.
5. El Mosto filtrado es bombeado al hervidor donde, por evaporación, se logra aumentar su concentración. Es aquí donde también se le adiciona el lúpulo, materia prima que proporciona el aroma, sabor y amargor característico del producto final.
6. Finalmente, el mosto hervido es enviado a un tanque con la base ligeramente cónica denominado Whirlpool o Rota-Pool, donde al ingresar tangencialmente a gran velocidad, se produce la precipitación / decantación de las proteínas coaguladas.

Todos los tanques para el área de concomimiento están conectados con un sistema de tuberías, válvulas y bombas.

El lavado del área del cocimiento se lo realiza con el sistema C.I.P (Cleaning in place), consiste en hacer circular secuencialmente por el interior de tuberías la solución de limpieza, a todos los tanques. Estos sistemas permiten programar la apertura y cierre de válvulas y bombas del sistema, así como la recirculación de las diferentes soluciones de limpieza.

Este sistema puede ser parcial o totalmente automatizado. Se consigue así optimizar los consumos de agua, energía y productos de limpieza necesarios para realizar la operación.

El área de cocimiento genera aguas residuales con un elevado volumen y con una elevada carga orgánica de bagazos, levaduras y fangos de depuradora, que pueden ser considerados como subproductos ya que pueden ser valorizados por otras industrias (alimentación humana, alimentación animal, farmacia) o para utilización agrícola como abono orgánico. Dado el valor comercial de los residuos sólidos generados en el proceso de producción y la elevadísima DBO.

El lavado se lo realiza mediante el tanque hervidor que distribuye el agua, soda caustica y el detergente a todas las demás unidades del cocimiento (tanque cocedor de adjuntos, tanque de maceración principal, cuba filtro, hervidor del mosto) mediante las tuberías con la ayuda de la bomba del sistema ,donde cada unidad tiene su motor giratorio de pailas que ayuda a una mejor limpieza, luego se esteriliza a 121 °C con vapor de agua proveniente de la caldera horizontal humotubular, finalmente se enjuaga con agua fría dejándolo limpio con el mismo sistema CIP , esperar un determinado tiempo para secar de esta manera tenerlos listos para el uso posterior.

Foto III-2. Lavado de los tanques de cocimiento



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

3.1.4. Lavado de tanques de fermentación y maceración

Del Tanque Whirlpool, el mosto se bombea hacia los Tanques de Fermentación, previo enfriamiento entre 6 a 10 °C, e inyección de levadura cervecera y aire estéril (con el objeto de oxigenarlo). Así se inician a los “Procesos de Fermentación y Maduración”.

El lavado se lo realiza por el sistema CIP (Cleaning in place), se distribuye el agua, soda cáustica y el detergente a los tanques de fermentación y maceración mediante las tuberías con la bomba del sistema ,donde con la ayuda de una escobilla de palo largo (destinada solo para el lavado de tanques) se realiza la limpieza interior y exterior de los tanques ,luego se esteriliza a 121 °C con vapor de agua proveniente de la caldera horizontal humotubular, finalmente se enjuaga con agua fría dejándolo limpio con el mismo sistema CIP , esperar un determinado tiempo para secar de esta manera tenerlos listos para el uso posterior.

Las aguas residuales del lavado de los tanques generan una elevada carga orgánica por las purgas de control de proceso, perdida del producto.

Foto III-3. Lavado de tanques de fermentación y maceración



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019)

3.1.5. Lavado de envases (cajas, botellas y barriles)

El lavado de cajas se lo realiza con agua y detergente con una elevada presión en la salida del agua donde se realiza la limpieza manual con un cepillo (destinado para el lavado de cajas), luego se lo enjuaga con agua fría y esperar un determinado tiempo para secar de esta manera tenerlos listos para introducir las botellas lavadas.

Lavado de botellas es mediante una lavadora semiautomática se necesita un personal designado para realizar el trabajo donde se introduce las botellas en un tacho de agua, soda cáustica y detergente, luego el operador coloca las botellas a la máquina lavadora que con un movimiento giratorio realiza la limpieza de las botellas tanto interior como exterior, La capacidad de la lavadora es 500 a 2000 botellas por hora, finalmente el operador introduce las botellas a la enjuagadora semiautomática que enjuaga con bastante agua fría.

Una vez concluido el lavado se realiza una inspección de las botellas las que aún continúan sucias se les realiza un relavado y las limpias pasan encajonadas en el pasteurizador para la esterilización a una temperatura de 80°C, posteriormente se espera un determinado tiempo para secar de esta manera tenerlos listos para el llenado

El lavado de los barriles es manual donde mediante una bomba ingresa agua caliente con soda cáustica en el interior del barril, luego se realizó el enjuague con el mismo proceso, pero con agua fría y termina con el ingreso de vapor para realizar la esterilización.

Los lavados de los envases generan gran cantidad de volumen de aguas residuales.

Foto III-4. Lavado de envases (cajas, botellas y barriles)



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019)

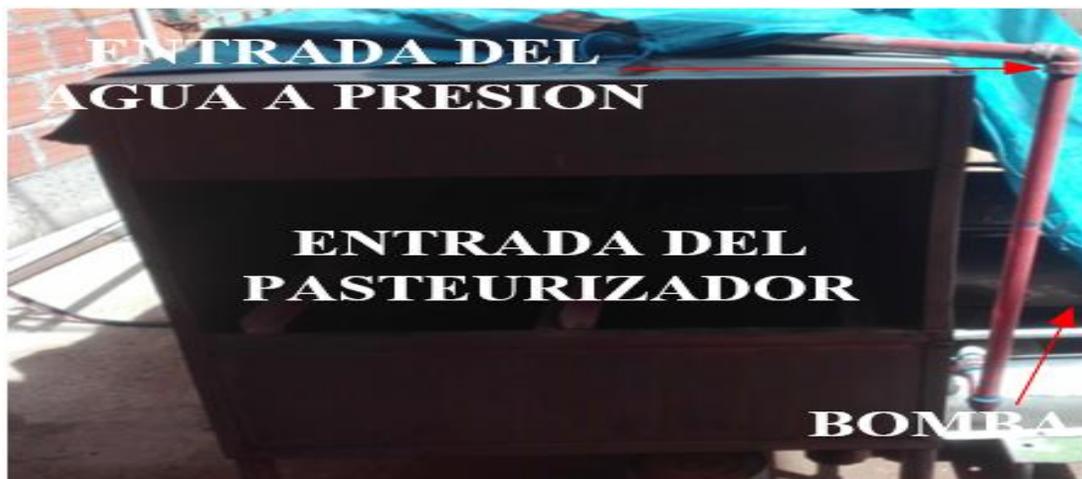
3.1.6. Lavado del pasteurizador

El funcionamiento del pasteurizador es someter los envases a un proceso de pasteurización. Es un procedimiento u operación térmica con la cual se logra garantizar la calidad biológica a través del tiempo, sin alterar la composición del producto.

Antes del lavado del pasteurizador se realiza la descarga del agua ya utilizada en el empuje de la pasteurización de las botellas, ya que esta agua es de un volumen considerable también contiene solidos suspendidos totales, solidos disueltos totales.

Una vez vacío el pasteurizador se procede al lavado con agua y detergente se realiza la limpieza manual con la ayuda de una escobilla de palo largo (destinada al lavado del pasteurizador) al interior y exterior del equipo, luego se procede a esterilizar a 121 °C con vapor de agua proveniente de la caldera horizontal humotubular, finalmente se enjuaga con agua fría dejándolo limpio.

Foto III-5. Lavado del pasteurizador



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

3.1.7. Lavado de la cámara de refrigeración

La cámara de refrigeración es un recinto aislado, térmicamente dentro de cual se almacenan los barriles llenos de cerveza para extraer su energía térmica y mantenerla en buen estado para su respectiva distribución.

El lavado se realiza con agua y detergente con una elevada presión a la salida del agua se realiza la limpieza manual con un cepillo (destinado para el lavado de la cámara de refrigeración), luego se lo enjuaga con agua fría y se espera un determinado tiempo para secar. De esta manera tenerla lista para introducir nuevamente los barriles.

Foto III-6. Lavado de la cámara de refrigeración



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

También se observa la generación de aguas residuales en otras áreas de la planta como ser en el laboratorio en el lavado de materiales, en el mantenimiento de la caldera humotubular, en lavado de instrumentos, herramientas, utensilios que van juntos en la elaboración de cerveza y en la limpieza general de las instalaciones de la planta es igualmente importante.

La limpieza de instalaciones y equipos debe ser minuciosa y frecuente, debiendo asegurar los niveles de higiene mínimos exigibles. En la tabla III-1 se muestra la cantidad de aguas residuales generadas en el proceso de lavado en las distintas etapas.

Tabla III-1. Balance hídrico de la empresa

PROCESO	AGUAS RESIDUALES GENERADAS	l/día	l/mes	m ³ /mes
Almacenamiento en silos	Lavado de silos.	100	1000	1
Molienda de granos	Lavado de rodillos con partículas sólidas. Lavado de pisos.	100	1000	1
Cocimiento	Purgas para control del proceso. Lavado de los tanques adjuntos, mezclador, tanque de maceración, cuba filtro, cocimiento del mosto, enfriador del mosto, paila de ebullición con restos de lupulo. Lavado de pisos. Perdidas del producto.	600	6000	6
Fermentación	Purgas para control del proceso. Lavado de los tanques de fermentación con restos de levadura, elevado DBO, y STO; el pH soda caustica. Lavado de pisos. Perdidas del producto.	200	2000	2
Maceración	Purgas para control del proceso. Lavado de los tanques de maduración elevado DBO y STD; el pH soda caustica. Lavado de pisos. Perdidas del producto.	100	1000	1
Filtración	Lavado Residuos de tierras de infusorio y sedimentos. Lavado de pisos. Perdidas del producto.	50	500	0,5
Carbonatación	Lavado del equipo de carbonatación. Lavado de pisos. Perdidas del producto.	10	100	0,1
Envasado	Lavado de cajas. Lavado de botellas y barriles. Lavado de la llenadora y coronadora de botellas. Lavado de llenadora de barriles. Lavado de pisos. Perdidas del producto.	400	4000	4
Pasteurización	Lavado y empuje del pasteurizador.	1000	10000	10
Refrigeración	Lavado cámara de refrigeración.	50	500	0,5
Laboratorio	Lavado de materiales.	50	500	0,5
Caldera de vapor	Purga con elevada STD, T° y pH	400	4000	4
Área de la producción	Lavado de pisos frecuentemente. Lavado de recipientes. Lavado de instrumentos "espátulas, paletas, válvulas, etc".	150	1500	1,5
Área de la planta	Limpieza general en el lavado de todas las áreas de la empresa.	300	3000	3
Otros	Lavado de manos. Lavado utensilios. Lavado de repasadores.	70	700	0,7
TOTAL		3580	35800	35,8

Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

Nota:

El mes de 22 días de operación

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	1	2	3	4	5

	DIAS DE PRODUCCION
	FERMENTACION-MADURACION-MANTENIMIENTO
	DESCANSO

3.2. Determinación del caudal de descarga de las aguas residuales “CERVEUSUR S.R.L.”

El caudal y la carga orgánica son parámetros muy importantes para la estimación del costo de una planta de tratamiento de aguas residuales. La determinación del caudal es un auxiliar necesario de las técnicas de muestreo, sin una medición exacta, no es posible establecer el volumen de los desechos líquidos que se descargan.

La medición del caudal de aguas residuales en plantas industriales, presentan muchas dificultades a la hora de determinar el mismo, porque no existen procedimientos universales, ya que los caudales deben medirse en diversas circunstancias y métodos de medición aplicarlos a cada condición específica. Se deben tomar en cuenta los diferentes factores como el tipo de dispositivo de medición de flujo, su ubicación, el costo de instalación, la calidad de los datos de flujo.

Para la determinación del caudal en la planta cervecera “CERVEUSUR”, se utiliza el método de medida volumétrica de descarga, ya que la disposición del vertido de las aguas residuales es inadecuada para la aplicación de otros métodos que determinan el caudal, porque la evacuación de las descargas de las aguas residuales en la planta cervecera que se generan durante el proceso de elaboración de la cerveza, se realiza mediante un canal que por gravedad que finalmente desemboca al río Santa Ana sus coordenadas en el Paralelo: 21°62 '50.9" de latitud sur; y entre el meridiano: 64°64'40.09" de longitud oeste.

Las mediciones se realizaron mediante un balde de 20 litros y un cronómetro, el valor del caudal se mide en 5 días de operación desde 6:00 am hasta las 3:00 pm.

El caudal promedio del efluente de la planta cervecera CERVEUSUR se determina considerando los caudales diarios generados por las distintas etapas del proceso en 5 días de operación ver en ANEXO I.

En la siguiente Tabla III-2 se observan los valores promedios del caudal que son vertidas al río Santa Ana.

Tabla III-2. Caudales del afluente de la Planta Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

DIAS	CAUDAL (l/s)	CAUDAL (m³/día)
1	0,1153	9,9602
2	0,0684	5,9058
3	0,0747	6,4531
4	0,0736	6,3630
5	0,0733	6,3290
CAUDAL MAXIMO	0,1153	9,9602
CAUDAL MINIMO	0,0684	5,9058
PROMEDIO	0,0810	7,0022
DESVIACION ESTANDAR	0,0193	1,6670
TOTAL	0,1003	8,6692

Fuente: Elaboración propia (2019).

Nota:

El cálculo de la desviación estándar se puede ver en ANEXO I.

Como se puede observar se encontró un caudal medio de 7,002 m³/día y una desviación estándar de 1,6670 m³/día, por lo tanto, se adoptará un caudal de diseño de preliminar, la suma del caudal medio más la desviación estándar positiva, es decir 8,6692 m³/día.

El caudal medio determinado corresponde a la actualidad un 90 % en el volumen de producción de la planta, el caudal de diseño final es la capacidad máxima de producción de la planta en un 100%, ya que en el área de producción no se sabe si la planta crecerá o funcionará a menor capacidad. Si se realiza una ampliación de la capacidad de la planta, también contempla la ampliación del sistema de tratamiento.

Entonces se asume en un 100% que el caudal de diseño de la planta es 9.6324 m³/día.

Por razones prácticas se asume un caudal de diseño de 9.70 m³/día.

3.3. Límites permisibles de parámetros para la descarga de efluentes

La planta “CERVEUSUR”, está sujeta a las disposiciones legales y vigentes de la ley N° 1333 del medio ambiente, más concretamente al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero RASIM y los requisitos de la normativa boliviana NB 512, que tienen como objetivo regular la prevención de la contaminación y control de la calidad de los recursos hídricos, definen el sistema de control de la contaminación hídrica y los límites permisibles de las potenciales el elementos de contaminación ,así como de las condiciones fisicoquímicas que debe cumplir un efluente para ser vertido a uno de los cuatro tipos de cuerpos receptores definidos.

Los Límites permisibles según Reglamento en materia de contaminación hídrica- Reglamento ambiental del sector industrial manufacturero RASIM y los Límites permisibles según la norma boliviana (NB 512) se encuentran en el ANEXO I

3.4. Parámetros significativos de los efluentes industriales de cervecerías

En el siguiente Cuadro III-1 observamos los parámetros que se exigen, en el vertido al rio Santa Ana, de los efluentes provenientes de la industria cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

Cuadro III-1. Parámetros de los efluentes industriales de cervecerías

PARAMETROS	UNIDADES
Temperatura	°C
pH	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l
Sólidos Disueltos Totales	mg/l
Grasas y Aceites	mg/l
Nitrogeno	mg/l
Fosfato	mg/l

Fuente: Lisandro Gabriel Seluy (2015).

3.5. Muestreos

Para este trabajo se llevó adelante la toma de muestras de las aguas residuales en el punto próximo a la descarga, donde se observa una buena mezcla de las aguas residuales de todo el proceso del producto elaborado.

Para los parámetros fisicoquímicos y organolépticos se recolectó las muestras en una botella PET de 2 l, el traslado de las muestras al Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” es muy importante, ya que es necesario mantener las mismas condiciones en el momento del muestreo. **Se realizó el muestreo según la NB496.**

Los resultados de las muestras son comparados con los límites permisibles anteriormente mencionados y tabulados para ser usados en el diseño de los equipos.

Foto III-7. Efluentes generados de cerveza



Fuente: CERVEUSUR S.R.L. (2019).

3.6. Características del agua residual de la planta cervecera “CERVEUSUR”

La determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales son precisas para conocer la concentración de la carga de contaminante del efluente. Estas características nos ayudarán a seleccionar una tecnología adecuada para su posterior proceso de tratamiento eliminando los componentes contaminantes. Los parámetros de las aguas residuales son aspectos muy importantes para el diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales.

Los resultados de las características de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de la planta cervecera que descargan sus efluentes al río Santa Ana se muestran en la tabla III-3

**Tabla III-3. Resultados de las aguas residuales de la Planta Cervecera
“CERVEUSUR S.R.L.”**

PARAMETROS	UNIDADES	AGUA RESIDUAL	LIMITES PERMISIBLES
Temperatura	°C	30	45
pH		5,43	6,5 - 8,5
DBO5	mg/l	880	300
DQO	mg/l	1430	375
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	5572	500
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	5668	500
Grasas y Aceites	mg/l	15	10
Nitrogeno	mg/l	44,88	4
Fosfato	mg/l	41,63	2

Fuente: CEANID

Por lo tanto, la carga de contaminante de las aguas residuales de la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.” representa una cantidad que sobre pasa los límites permisibles de **Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Temperatura, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disuelto Totales, Grasas y Aceites, Nitrógeno. Fosfato y pH** para un caudal de diseño 9,70 m³/día

CAPITULO IV

SELECCIÓN DE LA TECNOLOGIA

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE

AGUAS RESIDUALES

4.1. Generalidades

Los “Residuos Líquidos Industriales de la Planta Cervecera”, y en general de cualquier cervecería, pueden reducirse fundamentalmente por el manejo adecuado de los “Efluentes Líquidos”, que constituyen el aspecto más crítico en la gestión ambiental en este sector de la industria.

El principal problema se centra en la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de las aguas residuales lo cual va de la mano con la reducción de la carga orgánica, y la concentración de elementos sólidos orgánicos.

Los principales problemas en los efluentes de la planta cervecera son contenido de la DQO y las variaciones de pH.

Para reducir la DQO se han tomado medidas como reducir las mermas de mosto y cerveza, mejorar el procedimiento de recolección de la levadura, etc. Sin embargo, se requiere realizar un tratamiento adecuado para disminuir la carga orgánica en los efluentes. Los valores de pH altos se deben a las descargas alcalinas de la lavadora de caja y de botellas (Lisandro Gabriel Seluy,2015).

Desde el punto de vista tecnológico el problema principal de la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L” es el manejo adecuado de los residuos industriales líquidos y más específicamente en la reducción de la DBO de las descargas Líquidas.

4.2. Equipos del Sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para la Planta Cervecera “CERVEUSUR”

Para el tratamiento de las aguas residuales de la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.” se emplearán los siguientes equipos con la finalidad de reducir la carga de contaminante, entre ellos:

- Cribado, como pretratamiento.
- Sedimentador rectangular, como tratamiento primario.
- Tanque de homogenizador, como alimentador de los reactores.
- Dos unidades de reactores UASB, como tratamiento secundario.

Se usarán dos unidades de tanques digestores, para dar lugar a la limpieza del digestor o por alguna interrupción por causas ajenas, se conectará automáticamente el segundo digestor para dar continuidad al sistema de tratamiento del afluente.

4.2.1. Cribado

Para este proceso se dispondrá de dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas las cuales se ubican transversalmente al flujo, y se colocan antes del tratamiento primario, sin alterar el flujo normal. Las barras pueden ser rectas o curvadas. Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes. Las rejas por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento (Rodrigo Marcelo Ayala Fanola ,2008).

Los materiales retenidos son principalmente papel, estopa de talleres, trapos, pedazos de madera, tapones de botella, latas, materiales plásticos, y otros objetos que puedan pasar por los canales. Las rejas son empleadas para proteger contra obstrucciones las válvulas, bombas, equipos de aireación, tuberías y otras partes de la planta, también contribuyen a dar una mejor apariencia a la planta.

Los tipos de rejas están relacionados con el sistema de limpieza, las rejas pueden ser clasificadas en dos categorías:

- Rejas sencillas de limpieza manual.
- Rejas mecanizadas, de accionamiento mecanizado.

Para la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.” utilizaremos las **rejas sencillas de limpieza manual**.

4.2.1.1.Rejas sencillas de limpieza manual

Las rejas sencillas de limpieza manual son empleadas en instalaciones pequeñas y con espaciamiento relativamente grande. En estos casos no se espera remover grandes volúmenes de detritos, debido a que se destinan a la retención de objetos cuyas dimensiones son relativamente grandes (trapos, botellas, cepillos, instrumentos, etc.).

También existe el riesgo de estancamientos, o por descuidos, o por la llegada violenta de material, pudiéndose dar también un desbordamiento. Con el objeto de evitar esto es necesario calcular ampliamente la superficie y la inclinación de la reja.¹³

Foto IV-1. Rejilla fija con limpieza manual



Fuente: Rodrigo Marcelo Ayala Fanola (2008).

4.2.1.2. Operación y mantenimiento de cámara de rejas

Operación:

- Tener a la mano un rastrillo para iniciar la limpieza de la cámara de rejas.

Mantenimiento:

- Limpie, con la ayuda de un rastrillo, el material retenido.
- Coloque el material recogido sobre la plataforma de la reja para su escurrimiento.
- Disponga los desechos para su procesamiento, de esa manera evitar que no cause daños a la salud y al ambiente.

4.2.2. Sedimentador rectangular

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está

¹³ RODRIGO MARCELO AYALA FANOLA (2008).

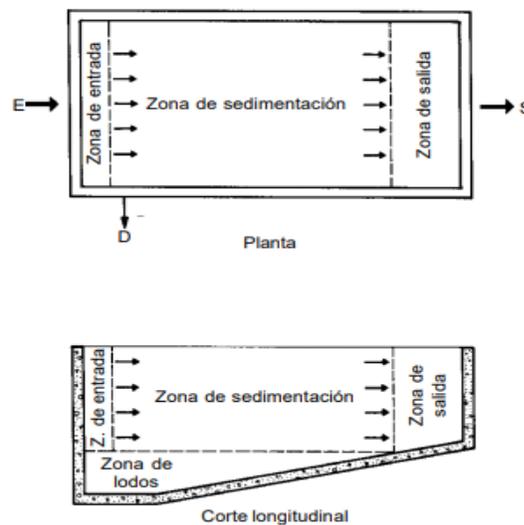
relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada (Ing. Víctor Maldonado Yactayo ,2011).

4.2.2.1. Componentes de un sedimentador rectangular

Una unidad de sedimentación consta de las siguientes zonas, con diferentes funciones específicas:

- Zona de entrada y distribución de agua.
- Zona de sedimentación propiamente dicha.
- Zona de salida o recolección de agua.
- Zona de depósito de lodos.¹⁴

Figura IV-1. Zonificación de un sedimentador rectangular



Fuente: Ing. Víctor Maldonado Yactayo (2011).

¹⁴ ING. VÍCTOR MALDONADO YACTAYO (2011)

El rendimiento de una decantación primaria no depende exclusivamente de las variaciones del caudal del efluente. El exceso en los tiempos de retención origina la septicidad ya que no se da el proceso de mezcla en la decantación primaria. El proceso de sedimentación puede reducir de 25 a 40 % de DBO₅ y 50 a 70 % de sólidos en suspensión. (Romero J.1999).

4.2.2.2. Operación y mantenimiento del sedimentador secundario

- Abrir la válvula de paso.
- Cerrar la válvula de ingreso y salida del agua.
- Limpiar con escobilla de alambre las paredes internas y la pantalla perforadora hasta sacar toda la suciedad impregnada.
- Una vez que el sedimentador está limpio, ponerlo en funcionamiento nuevamente.
- Sacar el barro del fondo del sedimentador.
- Abrir la válvula de desagüe para sacar el barro del sedimentador.
- Cerrar la válvula de paso y de desagüe.
- Abrir la válvula de ingreso (entrada).
- Abrir la válvula de salida al filtro lento.
- Si el agua viene turbia lavar el sedimentador con mayor frecuencia.

4.2.3. Tanque homogenizador

Dado el cambio diario que existente en los vertidos en cuanto a caudal y características químicas, es necesario disponer de un sistema de un tanque homogeneización que permita eliminar los vertidos generados a lo largo de la producción.

Este proceso suele ser imprescindible en la industria cervecera, ya que generarse durante los lavados aguas muy ácidas o alcalinas, podría provocar un vertido que impidiese cualquier tratamiento biológico posterior.

Para que una depuradora de aguas residuales pueda tratar un efluente sin dificultad puede ser necesaria la homogenización (equilibrado) de muchos de los parámetros del propio afluente. Estos pueden incluir uno o más de los siguientes:

- Homogeneización del caudal.
- Homogeneización orgánica.
- Equilibrio del pH (Neutralización o corrección del pH).
- Temperatura.

La homogeneización y neutralización se llevan a cabo en un tanque pulmón para las aguas residuales, esto es habitual en las industrias que operan 5 a 6 días de la semana.

Aquí el caudal se iguala o se reparte en un periodo de 7 días así que el caudal que llega a la siguiente etapa de tratamiento es el mismo durante cada uno de los 7 días.

En el caso de la homogeneización de la carga contaminante, en una industria puede tener efluentes con altos valores de DQO varias veces durante la semana en unas pocas horas.

Si esto se envía directamente a la depuradora puede causar una carga de choque con los consiguientes problemas. por lo tanto, es normal equilibrar la carga alta para mantener una carga uniforme, de la misma manera que se realiza un equilibrio de pH (neutralización) cuando el efluente a la depuración posea valores de pH muy bajos o muy altos para un tratamiento secundario óptimo.¹⁵

4.2.4. Reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)

Los fundamentos de los reactores “U.A.S.B.” (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) fueron concebidos durante los años 1970, por el **profesor Gatze Lettinga** de la Universidad de Wageningen en Holanda. Esta sigla se refiere a los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente “RAFA” en su traducción española, que por su simplicidad se ha difundido en varios países. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante de recursos económicos.

Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o flóculos. Estos

¹⁵ ROQUE VALEROSO CUELLAR (2012)

granos o flóculos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El perfil de sólidos varía de muy denso con partículas granulares de elevada capacidad de sedimentación próximas al fondo del reactor (lecho de lodo), hasta un lodo más disperso y leve, próximo al tope del reactor manto de lodo (Van Haandel y Lettinga, 1994).

La estabilización de la materia orgánica ocurre en todas las zonas de reacción el lecho y manto de lodos, siendo la mezcla del sistema promovida por el flujo ascensional del agua residual y las bolas de gas.

El reactor de flujo ascendente cuenta en la parte superior con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas del manto de lodo no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad.

Esto es particularmente cierto en las aguas residuales municipales, la limitada materia orgánica presente forma sólo pequeñas cantidades de biogás y por tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas, se ve reducida.

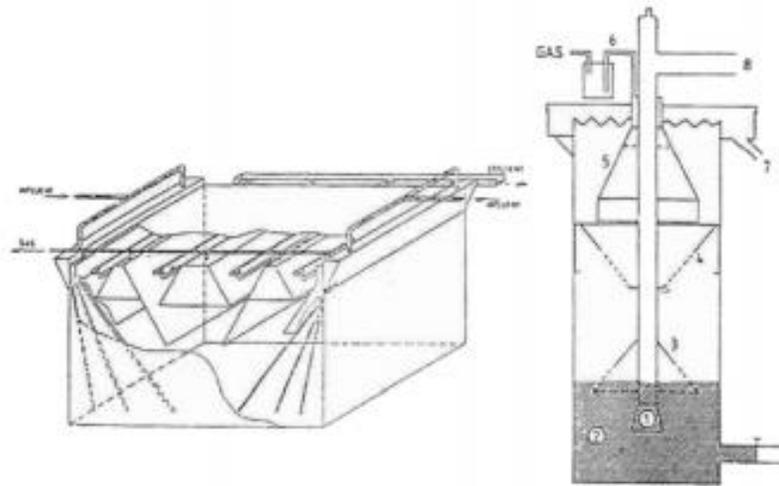
El punto débil del proceso consiste en la lentitud del arranque del reactor, generalmente de 6 meses; por otro lado, en desagües diluidos como son las aguas residuales, las variables críticas de diseño son las hidráulicas (velocidad ascensional, velocidad de paso a través del separador de fases, dispositivos de entrada y salida) y no así la carga orgánica.

4.2.4.1. Forma y tamaño del reactor U.A.S.B.

Para aguas residuales la carga hidráulica y no así la carga orgánica es el parámetro más importante en la determinación del tamaño y forma del reactor UASB; Según Van Haandel y Lettinga (1994). En cuanto a la forma geométrica del reactor existen dos opciones: Rectangular y Circular.

La forma circular tiene la ventaja de una estabilidad estructural mayor, pero la construcción del separador GSL es más complicada que en uno rectangular. En el caso de la forma rectangular la sección cuadrada es la más barata (Van Haandel, 1998). estudiaron la relación área superficial/ profundidad en reactores UASB a escala piloto encontrando que la variación en la eficiencia de remoción de la materia orgánica no es significativa (eficiencias de 80 % en promedio considerando el efluente decantado). Concluyendo que la relación de estas variables no tiene una influencia significativa en el desempeño del reactor y en la práctica deberá ser determinada por los costos de construcción y las características del terreno disponible.

Figura IV-2. Dos reactores UASB diseñados para operar a gran escala (izquierda) y a pequeña escala (derecha)



Fuente: Rodrigo Marcelo Ayala Fanola (2008).

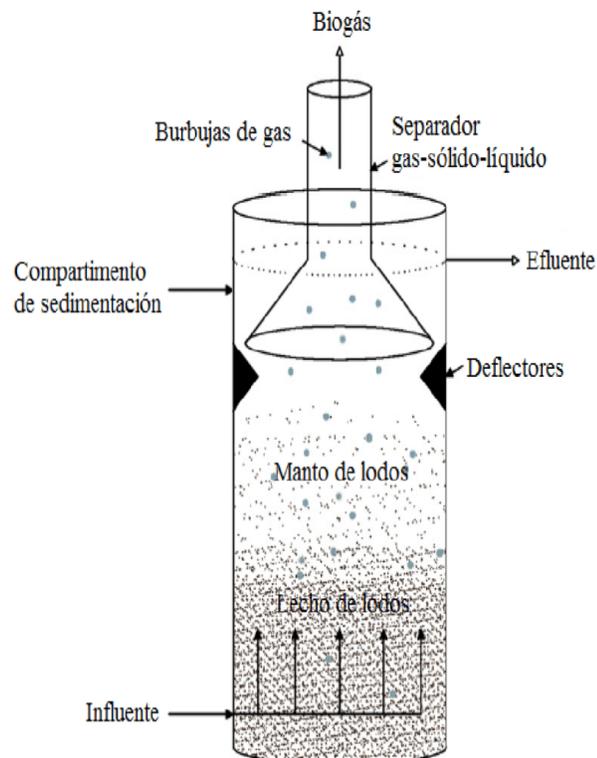
4.2.4.2. Partes de un reactor U.A.S.B

Un Reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos consta de cuatro partes esenciales, de abajo para arriba:

1. **El reactor propiamente dicho**, donde proliferan los organismos anaerobios que transforman la materia orgánica en biogás y nuevos organismos.

2. **Una zona de transición**, donde el movimiento del agua hacia arriba tiende a arrastrar a los organismos que no están aglutinados en flóculos o esferas y en la que se busca evitar que esas partículas salgan con el efluente tratado.
3. **Una zona de separación del gas**, sólidos de la fase líquida a manera de garantizar la retención y el retorno de lodo.
4. **Colectores de agua tratada y de gas en la parte superior**, en este proceso, el agua lodo entra al digester por el fondo y fluyen hacia arriba a través de una cama de lodos granulares relativamente densa y de un manto de partículas de lodo floculado. Dentro de estas zonas se efectúa la conversión de materia orgánica a metano y dióxido de carbono, principalmente.¹⁶

Figura IV-3. Partes del Reactor Anaerobio de flujo ascendente UASB



Fuente: Rodrigo Marcelo Ayala Fanola (2008).

¹⁶ RODRIGO MARCELO AYALA FANOLA (2008).

4.1.4.3. Funcionamiento del reactor U.A.S.B

Los principios básicos de un reactor de lecho de lodo moderno pueden ser resumido como sigue:

- El agua residual a ser tratada es eventualmente distribuida sobre el nivel más bajo de todo el reactor y pasa a través de un lecho de lodo que es mantenido en suspensión por el agua residual y el biogás producido.
- La sobrecarga de partículas de lodo anaeróbico del reactor es evitada teniendo una zona de reposo y de sedimentación en la parte más alta del reactor. Esto se obtiene mediante un separador de tres fases que sirve para separar y recolectar el biogás en las capuchas recolectoras por un lado y separar la masa bacteriana que regresa a la zona activa más baja del reactor por otro lado. Esto justifica la necesidad de instalar un separador de lodo externo.
- El lodo anaeróbico da mejores características de sedimentación por selección natural. Se formarán pellets de lodo granulado con una alta densidad y actividad de biomasa, y una alta estabilidad mecánica y mejores características de instalación. Como resultado de estas altas concentraciones de lodo, el reactor puede ser operado con altas capacidades y cortos periodos de residencia (< 12 h). Las condiciones de diseño y de operación del reactor fueron, por ende, optimizadas en los ochentas para hacer crecer la concentración de lodo y la velocidad de sedimentación mediante una importante selección mejorada.

Los reactores UASB de cuarta generación permiten la separación de las tres fases, agua-lodo-gas, en el mismo reactor, dispensando la necesidad de separar y regresar el lodo adicional.

El sistema de separación de tres fases y su arreglo especial también dispensa el requerimiento de instalar un sistema de almacenamiento de gas. El sistema compensa las fluctuaciones en la producción de gas para que los usuarios sean abastecidos con un volumen de gas prácticamente constante (Gustavo Yakabi Miguita, 2004)

4.1.4.4. Las ventajas y desventajas en el uso de los reactores UASB

Cuadro IV-1. Las ventajas y desventajas en el uso de los reactores UASB

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Soporta altas cargas (20 Kg DQO / m ³ . día).	Granulación lenta, no necesariamente controlable.
Bajo requerimiento de energía.	No todas las aguas favorecen la granulación.
No requiere medio de soporte (bajo costo).	Sensible a sólidos suspendidos (Aumenta la concentración de Sólidos Suspendidos en reactores de distinta biomasa), grasas y aceites.
Construcción relativamente simple.	Sensible a aguas que forman precipitados (llean el fondo del reactor y el lecho sube).
Con inóculo apropiado puede arrancar en forma inmediata.	Riesgo de flotación de los granos durante el re arranque (gránulos varían de densidad).
Aplicable en pequeña y gran escala.	
Proceso ampliamente probado.	
Alta producción de gas metano.	
Bajo tiempo de residencia hidráulico (10 - 12 h).	

Fuente: Gustavo Yakabi Miguita (2004).

4.1.4.5. Factores que influyen en el tratamiento anaerobio de aguas residuales

El curso del proceso de digestión anaerobia, es afectado fuertemente por un número de factores ambientales. Para la aplicación óptima del proceso de tratamiento anaerobio de las aguas residuales, es de mucha importancia tener conocimiento suficiente sobre el efecto de estos factores (Lettinga et. al., 1995):

- **Temperatura:** Un importante aspecto de la temperatura en los sistemas anaerobios, es que el decaimiento de la bacteria anaerobia a temperaturas menores a 15°C es muy bajo. Esto significa que el lodo anaerobio puede ser preservado por largos períodos de tiempo, sin que pierda mucho su actividad, haciendo que el tratamiento anaerobio sea muy atractivo para aguas residuales que se descargan discontinuamente.
- **pH:** La producción de metano se desarrolla óptimamente a un valor de pH entre 6.5 a 7.5. Valores exactos para el rango de pH no pueden ser dados ya que en algunos casos la digestión del metano se desarrollará más allá de este rango.

- **Capacidad buffer:** El contenido del reactor debe tener suficiente capacidad buffer para neutralizar una eventual acumulación de ácidos grasos volátiles y por supuesto la mezcla debe ser adecuada para evitar zonas ácidas dentro del reactor.
- **Nutrientes:** El tratamiento biológico anaerobio de las aguas residuales es desarrollado por bacterias, las cuales deben crecer durante el tratamiento, de otra forma serían lavados fuera del sistema. Por esta razón el agua residual debe contener un número de compuestos a partir de los cuales la bacteria pueda sintetizar sus constituyentes celulares.
- **Toxicidad en la digestión anaerobia:** Por encima de una cierta concentración cualquier componente puede ser inhibitorio, aún los ingredientes (substratos) para los organismos. Sin embargo, en un rango de concentración baja muchos de estos compuestos naturales pueden estimular el metabolismo de las bacterias.¹⁷

Para van Haandel y Lettinga (1994), la temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales.

¹⁷ GUSTAVO YAKABI MIGUITA (2004)

CAPITULO V

DISEÑO DE LA PLANTA DE

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

INDUSTRIALES

5.1. Descripción del proceso de tratamiento

Para este sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Industria Cervecera “CERVEUSUR S.R.L.” se diseñarán equipos. Para el pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario en cada etapa del sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales.

En el pretratamiento de las aguas residuales para que sea efectivo el tratamiento primario y secundario, utilizaremos un cribado de “Rejas sencillas de limpieza manual” con un material de barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas donde su función es retener sólidos gruesos que floten o que se encuentren suspendidos en el agua.

Seguidamente en el tratamiento primario de las aguas residuales utilizaremos una cámara de sedimentación rectangular, cuyo fundamento consiste en variar la dirección del flujo dentro de la cámara con tiempos de retención razonables, con el objetivo de lograr la remoción del material sólido flotante, precipitar en el fondo de la cámara el material sedimentable.

La extracción de la materia flotante como así también del precipitado se realizará eventualmente de forma manual de acuerdo a las condiciones de operación.

Debido a que el afluente de la industria no es continuo y para una posterior etapa de tratamiento secundario es imprescindible alimentar al reactor con caudales aproximadamente constante para evitar interferencias hidráulicas, el efluente que proviene de la cámara de sedimentación se conducirá a un tanque de compensación y homogenización parcial de los caudales con una capacidad tal que contenga la cantidad suficiente de agua residual para los días en que la industria no esté operando (fin de semana).

También en esta unidad se controlará las condiciones de los factores que influyen al mejor rendimiento del reactor para la digestión anaerobia, como ser la regulación del pH y el control de la temperatura.

La alimentación del tanque de homogenización se lo realizará mediante una bomba hidráulica y la salida del caudal será regulado mediante una válvula de regulación.

Posteriormente, el efluente del tanque de homogenización será conducido a un reactor RAFA o UASB “Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente” o “Upflow Anaerobic Sludge Blanket”. Debido a su efectividad y a sus ventajas económicas, el UASB se aplica de forma extensiva en aguas residuales con una alta carga orgánica.

El funcionamiento del reactor UASB depende tanto de parámetros físicos como de los procesos biológicos, los cuales determinan la eficiencia de remoción y la conversión de los compuestos orgánicos.

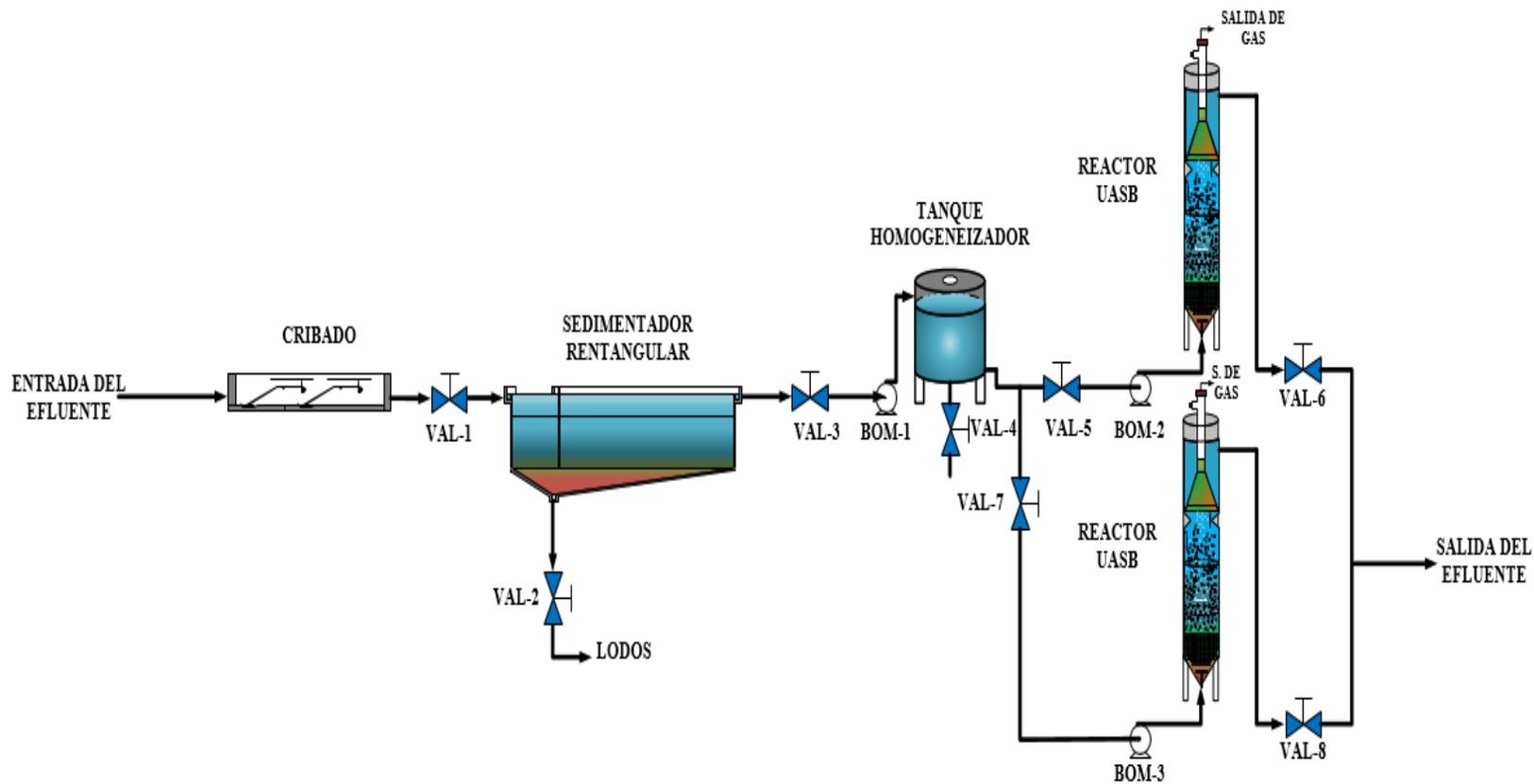
El éxito del reactor UASB se basa en el establecimiento de un denso lecho o capa de lodos en el fondo del reactor, en el que se llevan a cabo todos los procesos biológicos. Este lecho de lodo se forma básicamente por la auto inmovilización natural de bacterias sin la utilización de soporte sólidos como en el caso de la biopelícula.

La retención de lodo activo granular o floculante dentro del reactor UASB, en el que la turbulencia natural causada por el caudal del afluente y la producción de biogás proporciona un buen contacto entre las aguas residuales y la biomasa, permite un buen rendimiento del tratamiento a altas tasas de carga orgánica.

En el reactor UASB, el afluente es alimentado y homogéneamente distribuido por el fondo del reactor y asciende a través de un lecho de lodos anaeróbicos, los cuales son expandidos por la velocidad ascendente del flujo y la producción de biogás. En la parte superior de la zona de digestión se encuentra el separador gas-sólido-líquido (GSL), con las cuales se separan y descarga el biogás generado y se previene el lavado de la biomasa activa. En la zona superior del separador GSL (zona de sedimentación) se realiza el pulido del efluente que consiste mejorar la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, reduciendo las concentraciones de nitrógeno, DBO, fosfato y SST mediante sedimentación de la biomasa y sólidos que hayan logrado pasar a este nivel del reactor. Finalmente, el efluente es descargado.

5.2. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta cervecera “CERVEUSUR S.R.L.”

Figura V-1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales con un reactor UASB



Fuente: Elaboración propia (2021).

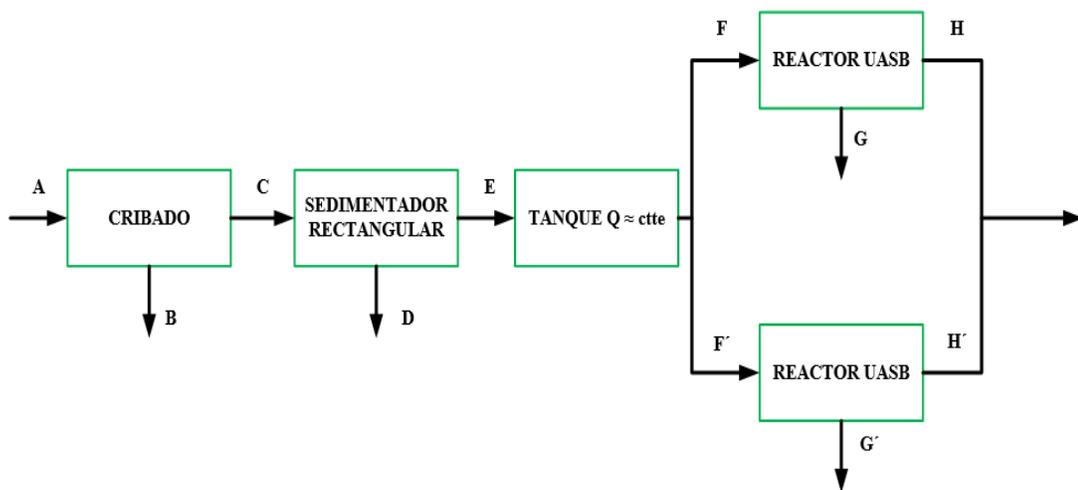
5.3. Balance de materia

El balance de materia se realiza de acuerdo a los datos reportados en la Tabla III-2. Correspondiente a los análisis fisicoquímicos del agua residual y de acuerdo al caudal de diseño proyectado correspondiente a la máxima capacidad de producción de la industria de cerveza con un valor de $9,70 \text{ m}^3/\text{día}$.

La figura V-2, nos representa un diagrama de bloques de información, esto nos ayudará a especificar las corrientes de flujo que ingresan y salen en cada etapa del proceso de la planta de tratamiento.

El balance de materia se realizó para el periodo de producción de un día considerando un mes de producción de 22 días de proceso.

Figura V-2. Diagrama de bloques del balance de materia del sistema del tratamiento de aguas residuales



Fuente: Elaboración propia (2021).

Los siguientes parámetros para realizar el balance:

Caudal de Diseño (Q)= 9700 Kg AR/día

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) = $8,53 \text{ Kg/día}$

Demanda química de oxígeno (DQO) = $13,87 \text{ Kg/día}$

Sólidos suspendidos totales (SST) = 54,04 Kg/día

Sólidos disueltos totales (SDT) = 54,97 Kg/día

Grasas y aceites (G.A.) = 0,14 Kg/día

Nitrógeno (N) = 0,43 Kg/día

Fosforo (P) = 0,40 Kg/día

5.3.1. Cribado

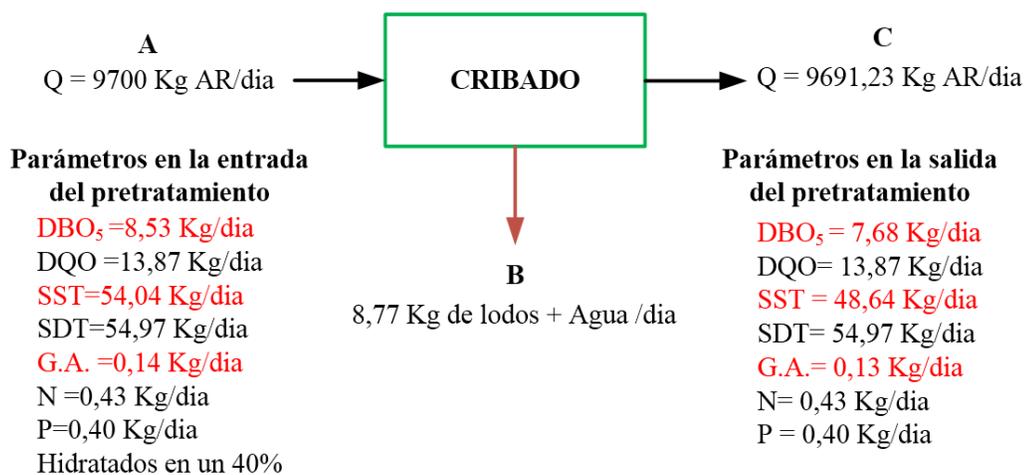
El pretratamiento, consiste en la separación de los elementos sólidos suspendidos como ser trapos, plásticos, maderas, etc.; los inorgánicos pesados y las grasas. Para alcanzarlo, es necesario el cribado de rejillas sencillas de limpieza manual.

Los parámetros a reducir son los siguientes:

- Demanda bioquímica de oxígeno de 5 a 10 %.
- Sólidos en suspensión de 5 a 20%.
- Grasas y aceites 3 a 5 %.

Según el Ministerio de Servicios y Obras Públicas Viceministerio de Servicios Básicos (Guía Técnica de Diseño de Proyectos de Saneamiento para Poblaciones Menores 2005).

5.3.1.1. Balance de materia en el cribado



AR= Agua residual

Balance general:

$$A=B+C$$

A= Entrada del efluente al cribado (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

B= Salida de lodos (línea de flujo secundaria) en Kg de lodos+ agua /día.

C= Salida del efluente del cribado (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

Encontramos B mediante la ecuación siguiente:

$$B=B_0+(B_0*0,40)$$

Donde:

B₀= Lodos que se determinó reducir considerando los parámetros del 10 % de demanda química de oxígeno, un 10 % de solidos suspendidos totales, un 3 % de grasas y aceites.

(B₀*0,40) = Lodos hidratados en un 40 %

$$B_0= (0,1*8,53) +(0,1*54,04) +(0,03*0,14)$$

$$B_0= 6,26 \text{ Kg/dia}$$

$$B=6,26+(6,26*0,40)$$

$$B=8,77 \text{ Kg de lodos + Agua /día}$$

Despejamos C para la salida del efluente

$$C= A-B$$

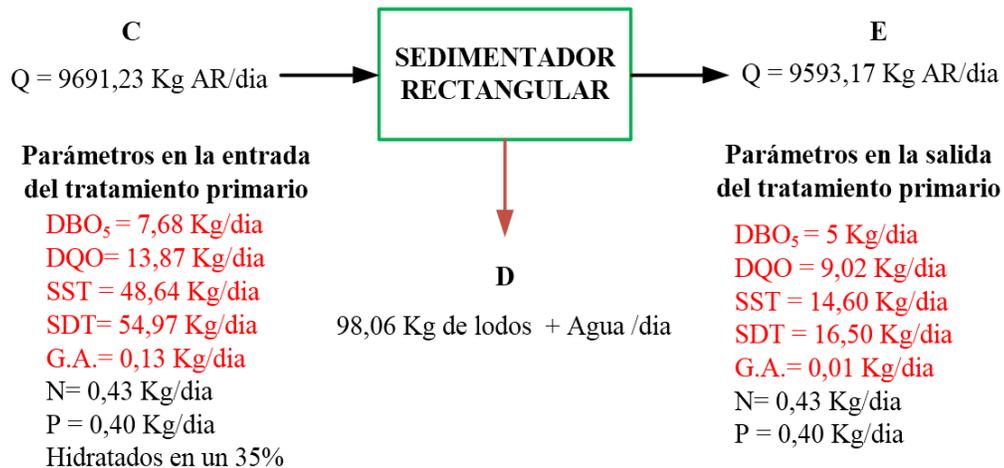
C= 9700 Kg AR/ dia - 8,77 Kg AR/dia = 9691,23 Kg AR/ dia Salida del efluente para la alimentación a la cámara de sedimentación.

5.3.2. Cámara de sedimentación

Es la unidad en que se lleva a cabo la sedimentación primaria, con los siguientes beneficios:

- Reducción de sólidos en suspensión, como también de lodos para los tratamientos posteriores con un porcentaje de remoción del 50 a 70%.
- Separación del material flotante (grasas extractables), con una eficiencia alrededor de 90 %.
- Reducción de la carga orgánica DQO Y DBO₅ con una eficiencia del 25 a 40 %.
- Homogeneización parcial del agua residual (caudal y carga orgánica).
- Retención de sólidos sedimentables (2,45 h) con eficiencia del 100 % según (Romero J.1999).

5.3.2.1. Balance de materia en la cámara de sedimentación



Balance general:

$$C = E + D$$

C= Entrada del efluente al sedimentador rectangular (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

D= Salida de lodos (línea de flujo secundaria) en Kg de lodos+ agua /día.

E= Salida del efluente del sedimentador rectangular (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

Encontramos D mediante la ecuación siguiente:

$$D = D_0 + (D_0 * 0,35)$$

Donde:

D₀= Lodos que se determinó reducir considerando los parámetros del 70 % en los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales y un 90% de grasas y aceites.

(D₀*0,35) = Lodos hidratados en un 35%.

$$D_0 = (0,70 * 48,64) + (0,70 * 54,97) + (0,9 * 0,13)$$

$$D_0 = 72,64 \text{ Kg AR / dia}$$

$$D = 72,64 + (72,64 * 0,35)$$

$$D = 98,06 \text{ Kg de lodos + agua/dia}$$

Despejamos para la salida del efluente

$$E = C - D$$

E = 9691,23 Kg AR/ dia - 98,06 Kg AR/día = 9593,17 Kg AR/día Salida del efluente para la alimentación del tanque de homogeneización.

Reduciendo parámetros de DBO₅ Y DQO:

Con la cámara de sedimentación también se reduce los parámetros de DBO₅ y DQO se asumiremos una eficiencia del 35 %, entonces tendremos una reducción de:

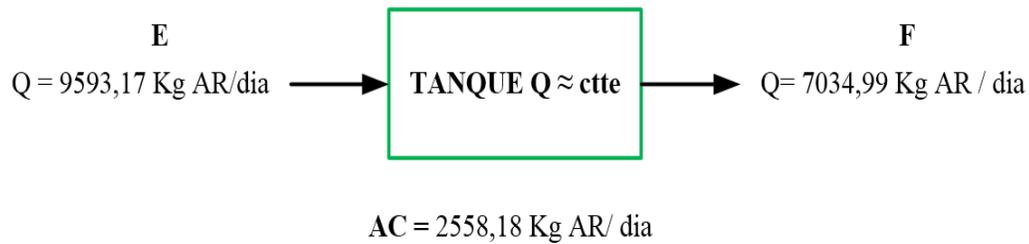
$$DBO_5 = 7,68 \text{ Kg/dia} * 0,35 = 2,68 \text{ Kg/dia} - 7,68 \text{ Kg/dia} = 5 \text{ Kg/dia}$$

$$DQO = 13,87 \text{ Kg/dia} * 0,35 = 4,85 \text{ Kg / dia} - 13,87 \text{ Kg/dia} = 9,02 \text{ Kg/dia}$$

5.3.3. Tanque homogenizador o pulmón

El objetivo del tanque homogeneizador será establecer un caudal de flujo constante, para la neutralización del pH y control de temperatura, para la siguiente etapa del tratamiento secundario.

5.3.3.1. Balance de materia en el tanque homogenizador



Balance general:

$$E = AC + F$$

E = Entrada del efluente al Tanque homogeneizador (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

AC = La acumulación Kg/día, Se considera un mes de 22 días de proceso productivo en la planta industrial de cerveza CERVEUSUR. el flujo necesario para el sistema de tratamiento corresponderá al flujo distribuido en un mes de 30 días.

F = Salida del efluente del Tanque homogeneizador (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

$$AC = E - F$$

$$F = (E * 22) / 30$$

$$F = (9593,17 \text{ Kg AR/día} * 22) / 30$$

$$F = 7034,99 \text{ Kg AR / día}$$

$$AC = 9593,20 \text{ Kg AR/día} - 7034,99 \text{ Kg AR / día} = 2558,18 \text{ Kg AR/ día.}$$

5.3.4. Reactor UASB

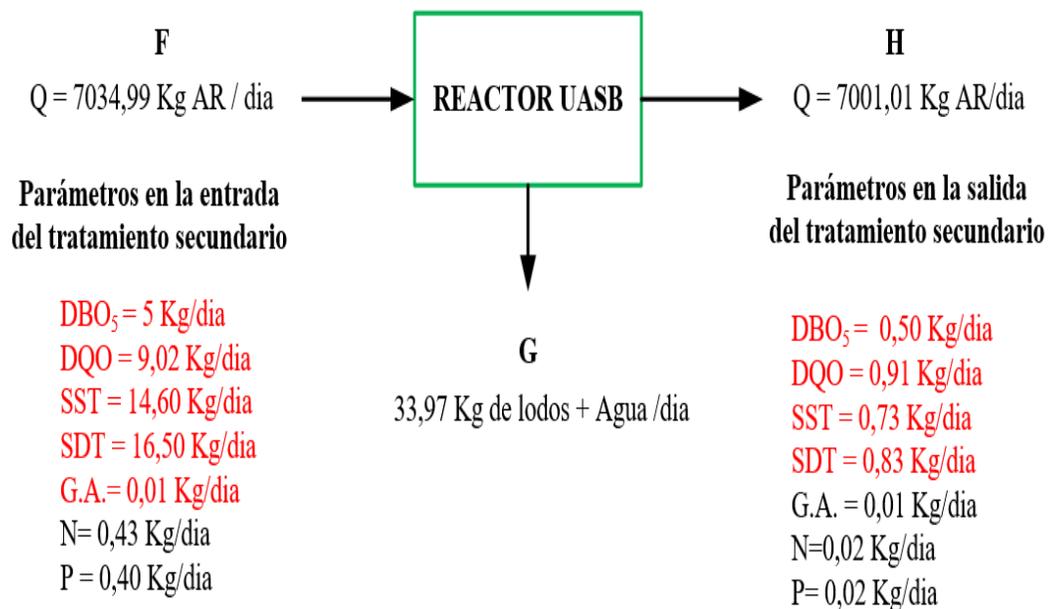
Para esta tecnología se plantea una propuesta de dos reactores UASB por la siguiente razón:

- Se tendrá un afluente de flujo continuo
- Por razones de limpieza de un filtro ya sea por causa de taponamiento de las tuberías u otro factor.

Por tal motivo se dispondrá de un segundo reactor auxiliar que permanecerá a un inicio en reposo y dependiendo de las operaciones mencionadas anteriormente este segundo filtro anaerobio estará conectado en paralelo en dirección del flujo del efluente. Para no demorar bastante tiempo de arranque del segundo reactor, se acondicionará con la mezcla de lodo del primer reactor que se encuentra en operación, por referencia de otras industrias del sector no cuentan con un sistema auxiliar lo cual impide realizar ajustes adecuados al sistema de tratamiento de aguas residuales (Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

Con este equipo se pretende lograr reducir la carga contaminante de DBO₅ y DQO alrededor de 80 a 95 %, los sólidos que son arrastrados desde las anteriores etapas de tratamiento son evacuados por la zona de la salida de lodos, que se alcanza un porcentaje de remoción de 95 %, en esta etapa se evacuar el gas que se genera por descomposición de la materia orgánica y una disminución de los nutrientes en función del tiempo del 90 a 95 % (Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

5.3.4.1. Balance de materia en el Reactor UASB



Balance general:

$$F = G + H$$

F= Entrada del efluente al reactor UASB (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

G= Salida de lodos (línea de flujo secundaria) en Kg de lodos+ agua /día.

H= Salida del efluente del sedimentador rectangular (línea de flujo principal) en Kg AR/día.

Encontramos G mediante la ecuación siguiente:

$$G = G_0 + (G_0 * 0,15)$$

Donde:

G₀ = Lodos que se determinan reducir considerando los parámetros del 95% de sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales.

(G₀*0,15) = Lodos hidratados en un 5%.

$$G_0 = (14,60 * 0,95) + (16,50 * 0,95)$$

$$G_0 = 29,54 \text{ Kg AR /día}$$

$$G = 29,54 + (29,54 * 0,15)$$

$$G = 33,97 \text{ Kg de lodo + agua /día}$$

Despejando H tendremos

$$H = F - G$$

$$H = 7034,99 \text{ Kg AR/día} - 33,97 \text{ Kg de lodo + agua residual /día} = 7001,01 \text{ Kg AR/día}$$

Salida del efluente.

Reducción de DBO₅ Y DQO:

El reactor UASB reduce los parámetros de DBO₅ y DQO asumiendo una eficiencia del 90 %.

Con la siguiente reducción:

$$DBO_5 = 5 \text{ Kg/día} * 0,90 = 4,50 \text{ Kg/día}$$

$$DBO_5 = 5 \text{ Kg/día} - 4,50 \text{ Kg/día} = 0,50 \text{ Kg/día.}$$

$$DQO = 9,02 \text{ Kg/día} * 0,90 = 8,11 \text{ Kg / día}$$

$$DQO = 9,02 \text{ Kg/día} - 8,11 \text{ Kg / día} = 0,91 \text{ Kg/día.}$$

Reducción de los nutrientes (Nitrógeno Amoniacal y Fosforo Total):

El reactor UASB reduce los nutrientes de Nitrógeno Amoniacal y Fosforo Total con una eficiencia del 95 %.

Con la siguiente reducción:

$$\text{Nitrógeno Amoniacal} = 0,43 \text{ Kg/día} * 0,95 = 0,41 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Nitrógeno Amoniacal} = 0,43 \text{ Kg /día} - 0,41 \text{ Kg/día} = 0,02 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Fosforo Total} = 0,40 \text{ Kg/día} * 0,95 = 0,38 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Fosforo Total} = 0,40 \text{ Kg/día} - 0,38 \text{ Kg/día} = 0,02 \text{ Kg/día}$$

5.3.5. Comparación del efluente generados por la industria cervecera en la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas.

Tabla V-1. Entrada y salida del efluente en el sistema de tratamiento de aguas residuales

Nombre	Simbolo	Unidad	Entrada del efluente en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales con un reactor UASB	Salida del efluente en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales con un reactor UASB
Caudal de Diseño	Q	Kg AR/día	9700	7001.06
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	Kg/día	8.53	0.49
Demanda química de oxígeno	DQO	Kg/día	13.87	0.90
Solidos suspendidos totales	SST	Kg/día	54.04	0.73
Solidos disueltos totales	SDT	Kg/día	54.97	0.83
Grasas y aceites	G.A	Kg/día	0.14	0.01
Nitrógeno	N	Kg/día	0.43	0.02
Fosforo	P	Kg/día	0.40	0.02

Fuente: Elaboración propia (CEANID,2019).

Existe una reducción de la carga contaminantes considerable, verificaremos si ahora los valores de los parámetros cumplen con los límites permisibles para su descarga según normativa.

TablaV-2. Parámetros del efluente después del tratamiento

Parametro	Simbolo	Uniddad	Agua tratada	Limites Permisibles
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	50.52	300
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	92.78	375
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	75.26	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	85.57	500
Grasas y aceites	G.A	mg/l	1.34	10
Nitrógeno	N	mg/l	2	4
Fosforo	P	mg/l	2	2

Fuente: Elaboración propia (2021).

Los parámetros del efluente después del tratamiento están por debajo de los límites permisibles según normativa, después de haber realizado el balance de materia.

5.4. Selección de los equipos propuestos

Para la selección de los equipos del sistema tratamiento de aguas residuales; pretratamiento, tratamiento primario y secundario, en la planta cervecera “**CERVEUSUR S.R.L.**”, se realiza la selección de las distintas unidades de operación basándose en las características del efluente y su respectivo caudal vertido; también se considera la localización y el espacio para ello cuentan con un área aproximadamente 100 m².

Entre otros aspectos, que se considero es la facilidad de operación y sus respectivas eficiencias, y por último se toman en cuenta los costos de accesibilidad que nos permitan su implementación. Todo el estudio de la selección de los equipos se realizó en los anteriores capítulos.

5.5. Diseño y dimensionamiento de los equipos

A continuación, se procede a diseñar y determinar sus respectivas dimensiones de cada uno de los equipos que son los siguientes

- Cribado con rejas sencillas y limpieza manual, como pretratamiento.
- Sedimentador rectangular, como tratamiento primario.
- Tanque de homogenizador, como alimentador de los reactores.
- Dos unidades de reactores UASB, como tratamiento secundario.

5.5.1. Criterios de diseño de rejas sencillas y limpieza manual

El dimensionamiento de esta unidad se realiza para las condiciones más desfavorables, es decir para el caudal máximo horario y también se debe verificar a caudal mínimo y medio. Las dimensiones principales de una reja son establecidas para que se tenga una sección de flujo con velocidad adecuada.

5.5.1.1. Velocidad de flujo a través de las rejas

Velocidades muy bajas a través de las barras pueden contribuir a un aumento indeseable de material retenido y también a la sedimentación de la arena en el canal de acceso. Por el contrario, velocidades muy grandes fomentan el arrastre de material que debería quedar retenido. Para evitar la acumulación y sedimentación de arena y otros materiales pesados en el fondo del canal de las rejas, se recomienda emplear en el diseño las siguientes velocidades de flujo.

Tabla V-3. Velocidades de flujo

VELOCIDAD DE FLUJO	UNIDAD
Minimo	0,3 m/s
Medio	0,4 m/s
Maximo	0,6 m/s

Fuente: Ministerio de Desarrollo Humano, Reglamento Técnico de Diseño de Unidades de Tratamiento No Mecanizadas para Aguas Residuales, Norma Boliviana DINASBA.

Tomando una velocidad media de 0.4 m/s para el diseño del cribado con rejas sencillas y limpieza manual según la Tabla V-3.

5.5.1.2. **Inclinación de las barras**

En las instalaciones de limpieza manual las rejas de barras generalmente son instaladas haciendo un ángulo de 30 a 60 grados con la horizontal. En las instalaciones mecanizadas este ángulo es establecido en función de las condiciones locales, de acuerdo con el tipo de equipo empleado, generalmente las rejas mecanizadas forman un ángulo de 60 hasta 90 grados con la horizontal (más frecuentemente 75°).

Para el ángulo de inclinación de las barras con la horizontal será un ángulo medio de 45 grados.

5.5.1.3. **Abertura o espaciamiento de las barras**

El espaciamiento libre entre las barras depende de la finalidad que se pretenda lograr. Las rejas gruesas son instaladas aguas arriba de bombas de gran capacidad, turbinas, etc.

Las rejas medias para retener papel, trapos, pedazos de madera, tapones de botella, latas, materiales plásticos, y otros objetos que puedan pasar por los canales.

Las rejas finas presentan muchas veces problemas de operación y mantenimiento, siendo entonces en general mecanizadas.

Tabla V-4. Espesores y espaciamientos de rejillas

TIPO DE REJILLAS	BARRAS	
	ESPESOR (pulgadas)	ESPACIAMIENTO (centímetros)
Rejas gruesas	1/2-3/8	4-10
Rejas medias	5/16 -3/8	2-4
Rejas finas	1/4 -5/16	1-2

Fuente: Ministerio de Desarrollo Humano, Reglamento Técnico de Diseño de Unidades de Tratamiento No Mecanizadas para Aguas Residuales, Norma Boliviana DINASBA.

Utilizaremos rejas medianas donde tendremos un espesor de 5/16 pulgadas y un espaciamiento de 2 centímetros según la Tabla V-4.

5.5.1.4. Dimensiones de las barras

En general las barras tienen sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor por 30 a 75 mm de profundidad, las dimensiones dependen mucho del largo de las barras y del mecanismo de limpieza. En general, las barras de rejas gruesas van hasta 15 x 75 mm las más grandes; las instalaciones pequeñas tienen barras de sección mínima de 5 x 40 mm. Entre estos dos ejemplos hay una variedad muy grande de dimensiones que deben ser seleccionadas en función a la resistencia a la operación de limpieza y a la disponibilidad en el mercado nacional.

Para Asevedo Netto clasifica de acuerdo al tamaño de las rejas como se muestra en la siguiente tabla V-5.

Tabla V-5. Clasificación y tamaño de barras

TIPO	ANCHO POR PROFUNDIDAD (mm x mm)
Rejas gruesas	10x50 – 10x60 – 13x40 – 13x50
Rejas medias	8x50 – 10x40 – 10x50
Rejas finas	5x40 – 8x40 – 10x40

Fuente: Asevedo Netto et al.

5.5.1.5. Dimensionamiento de las rejas de limpieza manual

Datos:

Rejas finas

Velocidad de flujo $V = 0,4$ m/s

Espesor $e = 5/16'' = 0,31$ pulgadas = 0,79 cm

Espaciamiento entre barras $S_1 = 2$ cm

Ancho del emisario = 5x40 mm = 200 mm = 20 cm = 0,2 m

Tirante del agua máximo del canal $h_a = 0,3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$

Inclinación de las barras $\alpha = 45^\circ$

a) Determinación del área transversal del canal de rejas (A_t)

El ancho del canal de reja de barras acostumbra ser igual o más grande que el diámetro o al ancho del emisario y debe igualar el ancho de las propias rejas, evitándose espacios muertos. Por consiguiente, el área transversal del canal de rejas de barras será:

$$A_t = b * h_a$$

Donde:

A_t = Área transversal del canal (m^2)

b = Ancho del canal (m)

h_a = Tirante del agua (m)

$$A_t = 0,2 \text{ m} * 0,3 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2$$

b) Determinar la altura total (h)

Según el Reglamento Técnico de Diseño Para Unidades de Tratamiento No Mecanizadas Para Sistemas de Agua Potable y Aguas residuales recomienda utilizar un borde libre (h_o) de 0.20 a 0.25 metros. Por lo que la altura total h (m) del canal de reja de barras será:

$$h = h_a + h_o$$

Donde:

h = altura total (m)

h_a = Tirante del agua (m)

h_o = borde libre (m)

$$h = 0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

c) Pendiente del canal (S)

La pendiente del canal debe de ser descendente en la dirección de circulación a través de la reja, sin baches o imperfecciones en las que pudieran quedar atrapados algunos sólidos, asimismo es conveniente achafanar las uniones de las paredes laterales. La pendiente del canal será determinada utilizando la ecuación de Manning:

$$S = \left(\frac{V * n}{R_h^{2/3}} \right)^2$$

Donde:

S= Pendiente del canal

n= Coeficiente de rugosidad de Manning (para revestimiento de cemento n= 0.013)

V= Velocidad de flujo en el canal (m/s)

R= Radio hidráulico (m)

El radio hidráulico está dado por la ecuación

$$R_h = \frac{A_t}{P}$$

Donde:

R= Radio hidráulico (m)

A_t= Área transversal total del canal (m²)

P= Perímetro mojado (m)

El perímetro mojado

Es el perímetro de la superficie de la sección transversal, de un conducto por donde circula un líquido, que está en contacto con dicho líquido.

Entonces el perímetro será:

$$p = b + 2ha$$

Donde:

P = perímetro (m)

$b = 0,2$ m, base del canal

$h_a = 0,3$ m, altura del líquido

$$p = 0,2 \text{ m} + 2 (0,3)\text{m} = 0,8 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0,06 \text{ m}^2}{0,8 \text{ m}} = 0,075 \text{ m}$$

$$S = \left(\frac{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,013}{0,075^{2/3} \text{m}} \right)^2 = 0,000854$$

d) Longitud de las barras (L_b)

La longitud de las barras depende del grado de inclinación que tienen estas con la horizontal, y del tirante de agua máximo del canal de reja de barras.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}(\alpha)}$$

Donde:

L_b = Longitud de las barras (m.)

$h_a = 0.30$ m, tirante de agua máximo del canal

$\alpha = 45^\circ$, grados de inclinación de las barras con la horizontal

$$L_b = \frac{0,3 \text{ m}}{\text{sen}(45)} = 0,42 \text{ m}$$

e) Cálculo del número de barras (N_b)

Siendo N_b el número de barras en la reja del canal y (N_b-1) el número de espacios, se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar el número de barras:

$$N_b = \frac{b - S1}{e + S1}$$

Donde:

$b = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$, ancho del canal

$e = 0,79 \text{ cm}$, espesor de barras

$S_l = 2 \text{ cm}$, separación entre barras

$$N_b = \frac{20 \text{ cm} - 2 \text{ cm}}{0,79 \text{ cm} + 2 \text{ cm}} = 6,45 \cong 6 \text{ barras metálicas}$$

f) Longitud del depósito o canal (L)

El canal de acceso debe ser suficientemente largo para que se evite la turbulencia junto a las barras, se recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$L = 3.50 * b$$

Donde:

$L =$ Longitud del depósito o canal (m)

$b = 0.2 \text{ m}$, ancho útil del canal (m)

$$L = 3,50 * 0,2 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

El dimensionamiento del canal de rejas sencillas de limpieza manual se realiza con el Apoyo Didáctico en la Enseñanza – Aprendizaje de la Asignatura de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. RODRIGO MARCELO AYALA FANOLA (2008).

5.5.1.6. Esquema de las dimensiones del canal de rejas sencillas de limpieza manual

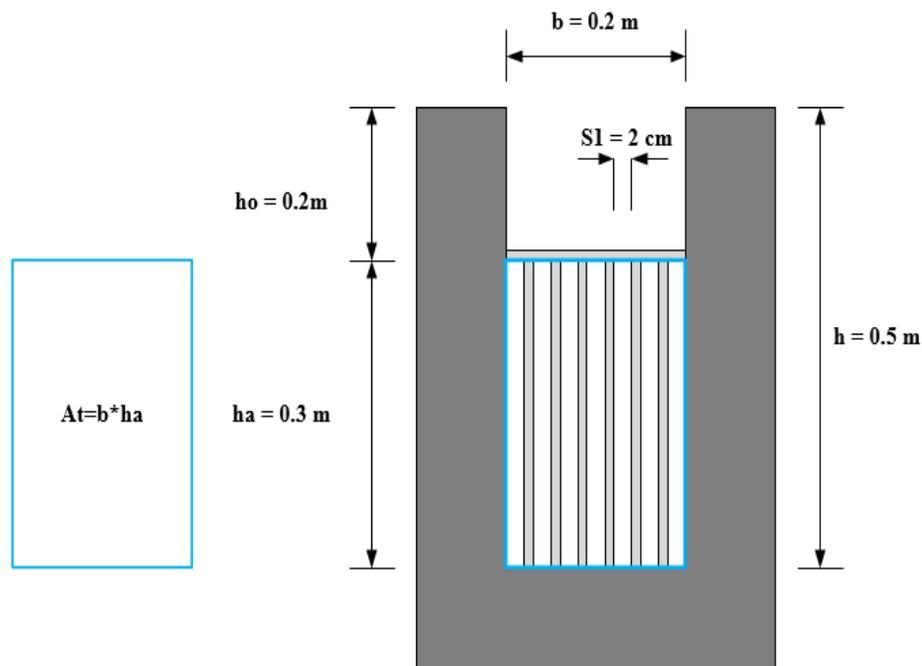
Una vez realizados los cálculos correspondientes para poder obtener las dimensiones para el pretratamiento “cribado”, detallaremos los mismo mediante lo siguiente:

Tabla V-6. Dimensiones del canal de rejas sencillas de limpieza manual

Nombre	Símbolo	Medida	Unidades
Espesor	e	5/16	Pulgadas
Espaciamiento entre barras	S1	2	cm
Ancho del canal	b	0,2	m
Tirante del agua	h_a	0,3	m
Area transversal del canal de rejas	A_t	0,06	m²
Borde libre	h_o	0,2	m
Altura total	h	0,5	m
Inclinacion de barras	α	45	°
Longitud de las barras	Lb	0,42	m
Número de barras	Nb	6	
Longitud del depósito o canal	L	0,7	m

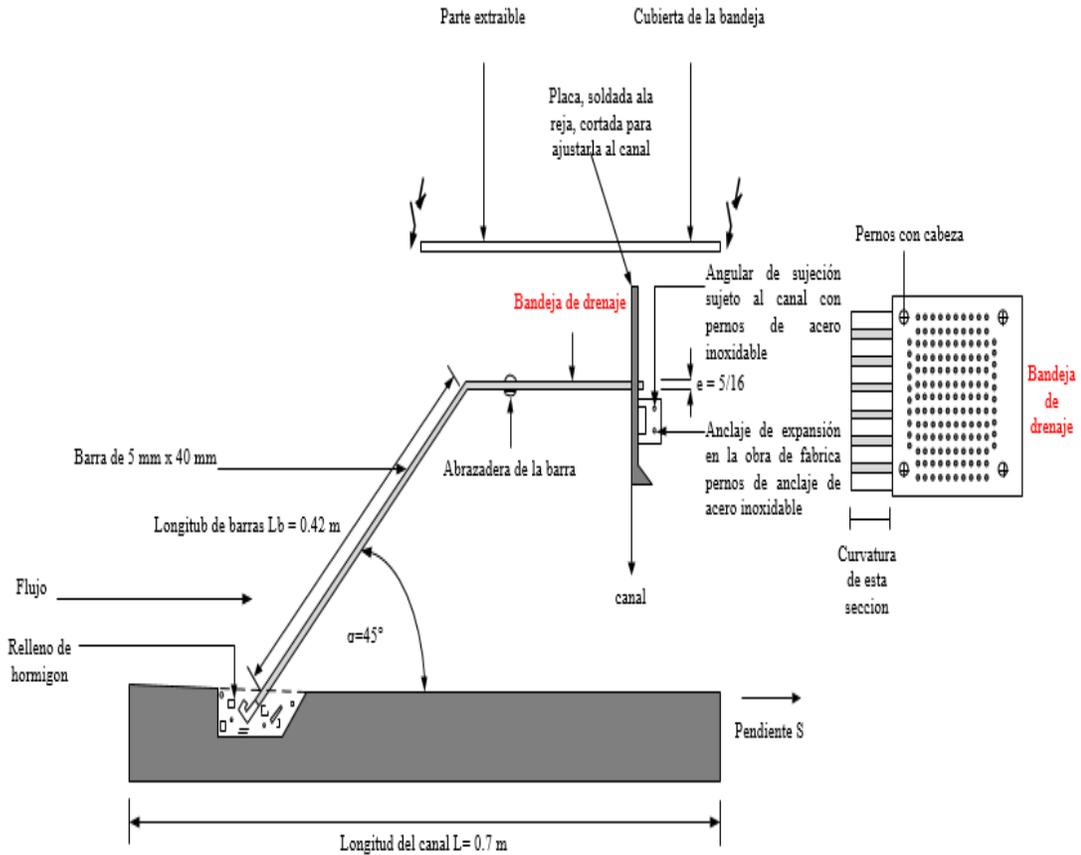
Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-3. Dimensiones del canal de rejas sencillas de limpieza manual (A)



Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-4. Dimensiones del canal de rejas sencillas de limpieza manual (B)



Fuente: Elaboración propia (2021).

5.5.2. Criterios de diseño de un Sedimentador rectangular

La información básica para el diseño es la siguiente:

- Caudal de diseño: Las unidades en una planta de tratamiento deben ser diseñadas para el caudal máximo diario.
- Calidad fisicoquímica del agua: Dependiendo de la calidad del agua cruda, se seleccionan los procesos de pretratamiento y acondicionamiento previo.
- Características del clima: Variaciones de temperatura y régimen de lluvias.

Teniendo toda la información, realizaremos el dimensionamiento de sedimentador de acuerdo a ciertos criterios de diseño.

1. El tiempo de retención, entre 2 - 6 horas.

2. La carga superficial, entre los valores de 2 - 10 m³/m² /día.
3. La profundidad del sedimentador, entre 1,5 – 2,5 m.
4. La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) está entre los valores de 3-6.
5. La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) está entre los valores de 5 - 20.
6. El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
7. La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
8. Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
9. La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
10. La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.
11. Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo (OPS/CEPIS 2005).

5.5.2.1. Dimensionamiento del Sedimentador rectangular

Datos:

Caudal $Q = 9,7 \text{ m}^3/\text{día} = 0,0001123 \text{ m}^3/\text{s} = 0,1123 \text{ l/s}$

Temperatura $T = 30^\circ \text{ C}$

Viscosidad del agua a (30° C) $\nu = 0,8029 \text{ cm}^2/\text{s}$

Densidad de la partícula $\rho_s = 1,06 \text{ g/cm}^3$

Densidad del fluido $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

Diámetro de las partículas $d = 0,01264 \text{ cm}$

Aceleración de la gravedad $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Al disminuir la temperatura aumenta la viscosidad del líquido, afectando la velocidad de sedimentación de las partículas. (aguas frías retienen sedimentos por periodos más largos que cursos de agua más calientes) (véase **anexo II - Tabla de densidad y viscosidad del agua**).

a) Determinar el área superficial de la unidad (A_s)

Es el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la siguiente relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Donde:

V_s = Velocidad de sedimentación (m/s)

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

Tenemos solo como dato el caudal. Para poder tener el área superficial de la zona de sedimentación necesitamos la velocidad de sedimentación, mediante la relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Tabla V-7. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Materia	ϕ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	V_s	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{\frac{dg(\rho_a - \rho)}{\rho}}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes

Fuente: OPS/CEPIS (2005).

Se determina la velocidad de sedimentación de acuerdo a los criterios indicados anteriormente en relación a los diámetros de las partículas.

Como primera aproximación utilizamos la ley de Stokes.

Suponemos un flujo laminar

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - \rho}{\mu} \right) d^2$$

Donde:

V_s = Velocidad de sedimentación (cm/s)

d = Diámetro de la partícula (cm)

ν = Viscosidad cinemática del agua (cm²/s)

ρ = Densidad del fluido (g/cm³)

ρ_s = Densidad de la partícula (g/cm³)

g = Aceleración de la gravedad (cm/s²)

$$V_s = \frac{1}{18} * (981) \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} * \left(\frac{1,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{0,8029 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} \right) * (0,01264 \text{ cm})^2 = 6,51 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

$$V_s = 6,51 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Se comprueba el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_s * d}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,0651 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * 0,01264 \text{ cm}}{0,8029 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} = 1,02 \times 10^{-3} < 1 \text{ por tanto el flujo es laminar}$$

Trabajaremos con la Velocidad de sedimentación = 0,0000651 m/s para encontrar área superficial unidad.

$$A_s = \frac{0,0001123 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0000651 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,73 \text{ m}^2$$

b) Se determina la longitud de la zona de sedimentación, que corresponde a la zona de sedimentación conociendo (L_2)

$$L_2 = \frac{A_s}{B}$$

Despejando B tenemos: $B = \frac{A_s}{L_2}$

Donde:

L_2 = longitud de la zona de sedimentación (m)

A_s = Área del sedimentador (m^2)

B = ancho del sedimentador (m)

De acuerdo a la recomendación mostrada en los criterios de diseño, se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora. $L_1 = 0,7$ m

Como se conoce que longitud total de la unidad de sedimentación es: $L = L_1 + L_2$

Se verifica si cumple la relación de L/B de los criterios de diseño, (L/B), para ello se recomienda que la misma se encuentre entre los valores 3 a 6, asumimos un valor de $L/B = 3,6$:

$$\frac{L}{B} = 3,6 = \frac{L_2 + L_1}{B} \text{ entonces } B = \frac{L_1 + L_2}{3,6}$$

$$\text{Como } B = \frac{A_s}{L_2} \text{ entonces } B = \frac{L_1 + L_2}{3,6} = \frac{A_s}{L_2}$$

reemplazando valores y reordenando:

$$(L_1 + L_2) L_2 = A_s \times 3,6$$

$$0,7L_2 + L_2^2 = 1,73 \text{ m}^2 \times 3,6$$

$$L_2^2 + 0,7L_2 - 6,228 = 0$$

Aplicando la fórmula general de cuadrados:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = 1$$

$$b = 0.7$$

$$c = -6,228$$

$$L_2 = \frac{-0,7 \pm \sqrt{0,7^2 - 4 \times 1(-6,228)}}{2 \times 1} = 2,17 \text{ m}$$

c) **Determinar el ancho del sedimentador (B)**

$$B = \frac{L_1 + L_2}{3,6} = \frac{0,7 + 2,17}{3,6} = 0,80 \text{ m}$$

De esta manera obtenemos el valor de $B = 0.8 \text{ m}$

d) **Determinar el largo del sedimentador (L)**

$L_1 = 0,7 \text{ m}$ $L_2 = 2,17 \text{ m}$ entonces tenemos una longitud total de $L = L_1 + L_2$:

$$L = 0,7 \text{ m} + 2,18 \text{ m} = 2,87 \text{ m}$$

Verificando la relación de L/B que este entre los valores 3 a 6

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

$$3 < \frac{2,87}{0,8} < 6$$

$$3 < 3,6 < 6$$

La relación entre L/B se encuentra entre los valores de 3 a 6

e) **Determinar la profundidad de acuerdo a la recomendación de que L/H se encuentre entre los valores de 5 a 20 H (OPS/CEPIS,2005).**

Asumimos la relación L/H de los criterios de diseño: $L/H = 5,01$

$$\frac{L}{H} = 5,01 \text{ entonces } H = \frac{L}{5,01} = \frac{2,87}{5,01} = 0,57 \text{ m}$$

f) Se determina la velocidad horizontal (V_H)

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

$$V_H = \frac{100 * 0,0001123 \frac{m^3}{s}}{0,8 m * 0,57 m} = 0,024 \frac{m}{s}$$

g) Se determina el periodo de retención (T_0)

$$T_0 = \frac{As * H}{3600 * Q}$$

$$T_0 = \frac{1,73 m^2 * 0,57 m}{0,0001123 \frac{m^3}{s}} = 8836,77 s = 2,45 h$$

h) Con una pendiente de 10% en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima (H')

$$H' = H + 0,1 * H$$

$$H' = 0,57 m + 0,1 (0,57 m)$$

$$H' = 0,63 m$$

i) Con un vertedero de salida de longitud de cresta igual al ancho de la unidad se tiene como altura de agua sobre el vertedero (H_2)

$$H_2 = \left[\frac{Q}{1,84 * B} \right]^{2/3}$$

$$H_2 = \left[\frac{0,0001123 \frac{m^3}{s}}{1,84 * 0,8 m} \right]^{2/3} = 0,00180 m$$

El dimensionamiento del sedimentador rectangular se realiza con la Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores (OPS/CEPIS ,2005).

5.5.3. Criterios de diseño de la pantalla difusora

1. La distribución uniforme de las líneas de flujo en toda la sección transversal del sedimentador, se consigue mediante una pared de concreto, provisto de orificios
2. Los orificios deben aboquillarse en un ángulo de 15° en el sentido del flujo
3. El primer y el último de orificios constructivamente posibles para evitar que la pantalla produzca espacios muertos
4. La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0.7 a 1 m de distancia de la pared de entrada.

5.5.3.1. Dimensionamiento de la pantalla difusora

a) Determinación del área total de los orificios (A_o)

Se asume una velocidad V_o de paso entre los orificios (el diseñador define): $V_o = 0,1$ m/s nunca debe ser mayor a 0,15 m/s. Se determina el área total de los orificios A_o .

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Donde:

A_o = Área total de los orificios.

Q =Caudal de diseño.

V_o = velocidad de paso entre los orificios.

$$A_o = \frac{0,0001123 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,00112 \text{ m}^2 = 11,2 \text{ cm}^2$$

b) Determinación del área de cada orificio (a_o)

Sobre la base que se recomienda un diámetro de cada uno de ellos de $d = 1.1$ cm, ver criterio diseño para los orificios y velocidad de paso en los mismos, evita turbulencia (OPS/CEPIS,2005).

$$a_o = \frac{1}{4}(\pi * d_o^2)$$

Donde:

a_o = Área de cada orificio

d_o = Diámetro de cada orificio

$$a_o = \frac{1}{4} (\pi * (0,011 \text{ m})^2) = 9,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

c) Determinación del número de orificios (n)

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

$$n = \frac{0,00112 \text{ m}^2}{0,000095 \text{ m}^2} = 11,78 = 12 \text{ numero de orificios}$$

d) Determinación de la porción de altura de la pantalla difusora con orificios

(h)

$$h = H - \frac{2}{5} H$$

$$h = \left(0,57 \text{ m} - \frac{2}{5} (0,57 \text{ m}) \right) = 0,342 \text{ m}$$

Si tenemos 12 orificios, los distribuimos a criterio de la siguiente manera:

Se asume un número de filas de orificios **nf** = 3

Se tiene el número de columnas **nc** = 4

Se recomienda buscar una figura cuadrada o rectangular de acuerdo al área expuesta de la pantalla difusora según (OPS/CEPIS 2005)

e) Determinación del espaciamiento entre filas y columnas (a_1) (a_2)

Para el espaciamiento de filas se tiene

$$a_1 = \frac{h}{n_F}$$

$$a_1 = \frac{0.342 \text{ m}}{3} = 0.114 \text{ m}$$

Para el espaciamiento de columnas se tiene

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2}$$

$$a_2 = \frac{0,8 - 0,114(4 - 1)}{2} = 0,229 \text{ m}$$

El dimensionamiento de la pantalla difusora se realiza con la. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores OPS/CEPIS (2005).

5.5.3.2. Esquema de las dimensiones del sedimentador rectangular y pantalla difusora

Para entender el dimensionamiento del sedimentador rectangular tenemos que saber los componentes.

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas.

- **Zona de entrada**

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

- **Zona de sedimentación**

Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

- **Zona de salida**

Constituida por un vertedero, que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

- **Zona de recolección de lodos**

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica¹⁸.

¹⁸ OPS/CEPIS (2005).

Tabla V-8. Dimensiones del sedimentador rectangular

Nombre	Simbolo	Medida	Unidades
Caudal	Q	0,0001123	m³ /s
Velocidad de sedimentacion	Vs	0,0000651	m/s
Area superficial	As	1,73	m²
Ancho del sedimentador	B	0,8	m
Longitud de la zona de sedimentación	L2	2,17	m
Longitud de la zona de entrada	L1	0,7	m
Largo del sedimentador	L	2,87	m
Profundidad del sedimentador	H	0,57	m
Altura maxima	H'	0,63	m
Altura de agua sobre el vertedero	H2	0,0018	m
Pendiente en el fondo de la unidad	P	0,1	m

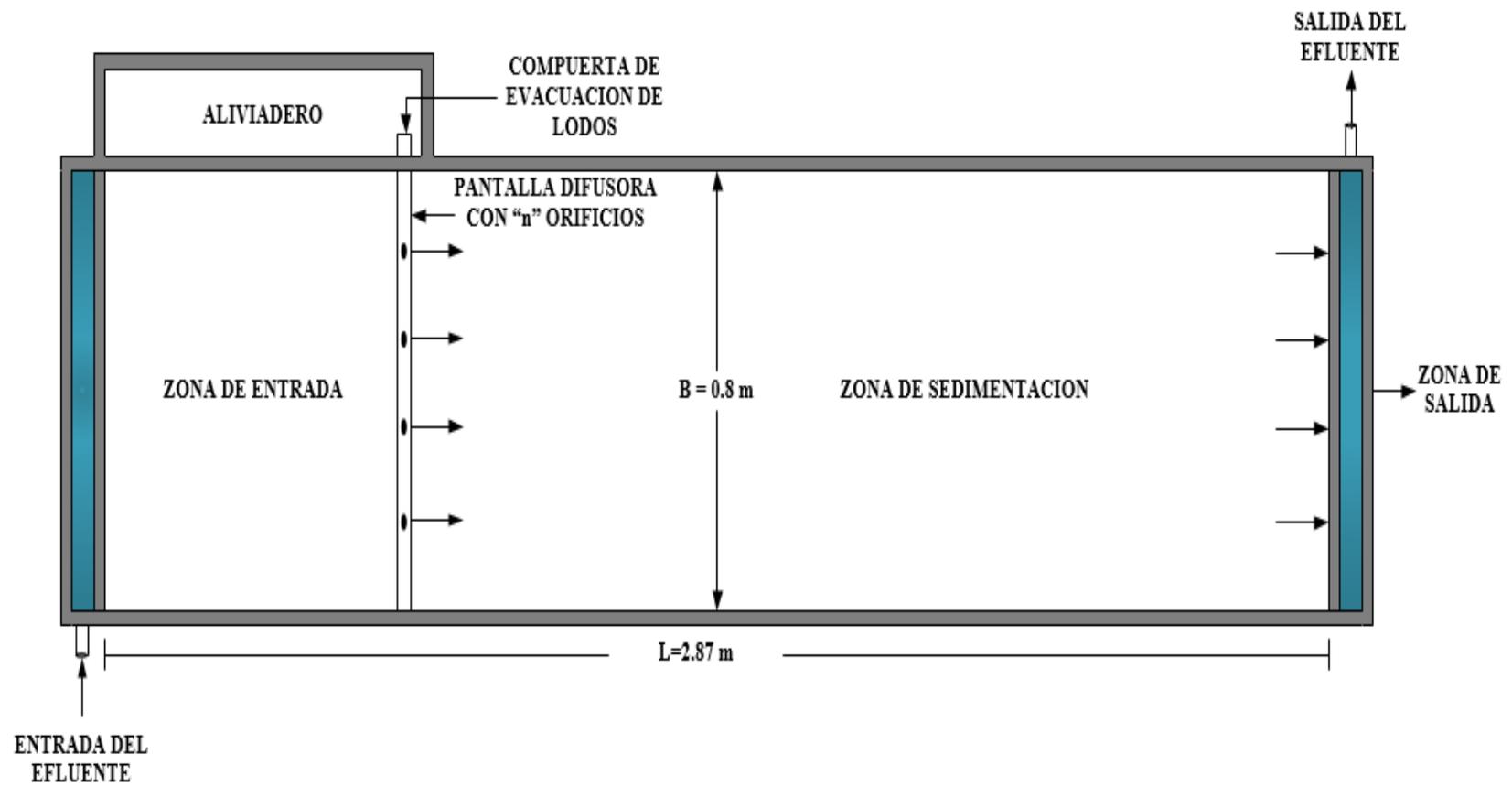
Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla V-9. Dimensiones de la pantalla difusora

Nombre	Simbolo	Medida	Unidades
Caudal	Q	0,0001123	m³ /s
Velocidad de paso entre los orificios	Vo	0,1	m/s
Area total de los orificios	Ao	0,00112	m²
Díámetro de cada orificio	do	0,011	m
Area de cada orificio	ao	0,000095	m²
Numero de orificios	n	12	
Altura de la pantalla difusora con orificios	h	0,342	m
Numero de filas	nf	3	
Numero de columnas	nc	4	
Espaciamiento de filas	a1	0,114	m
Espaciamiento de columnas	a2	0,229	m

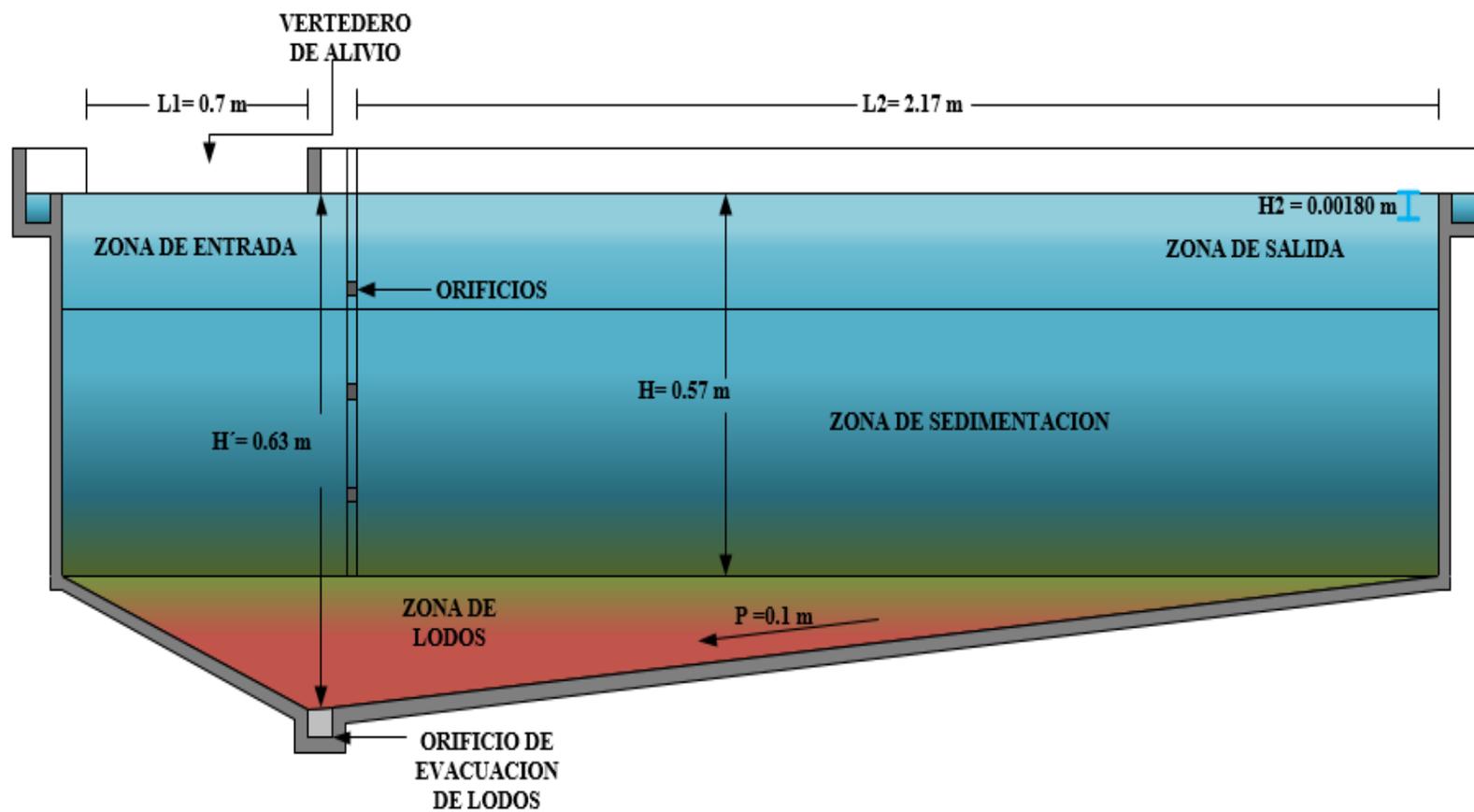
Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-5. Dimensiones del sedimentador rectangular “Planta”



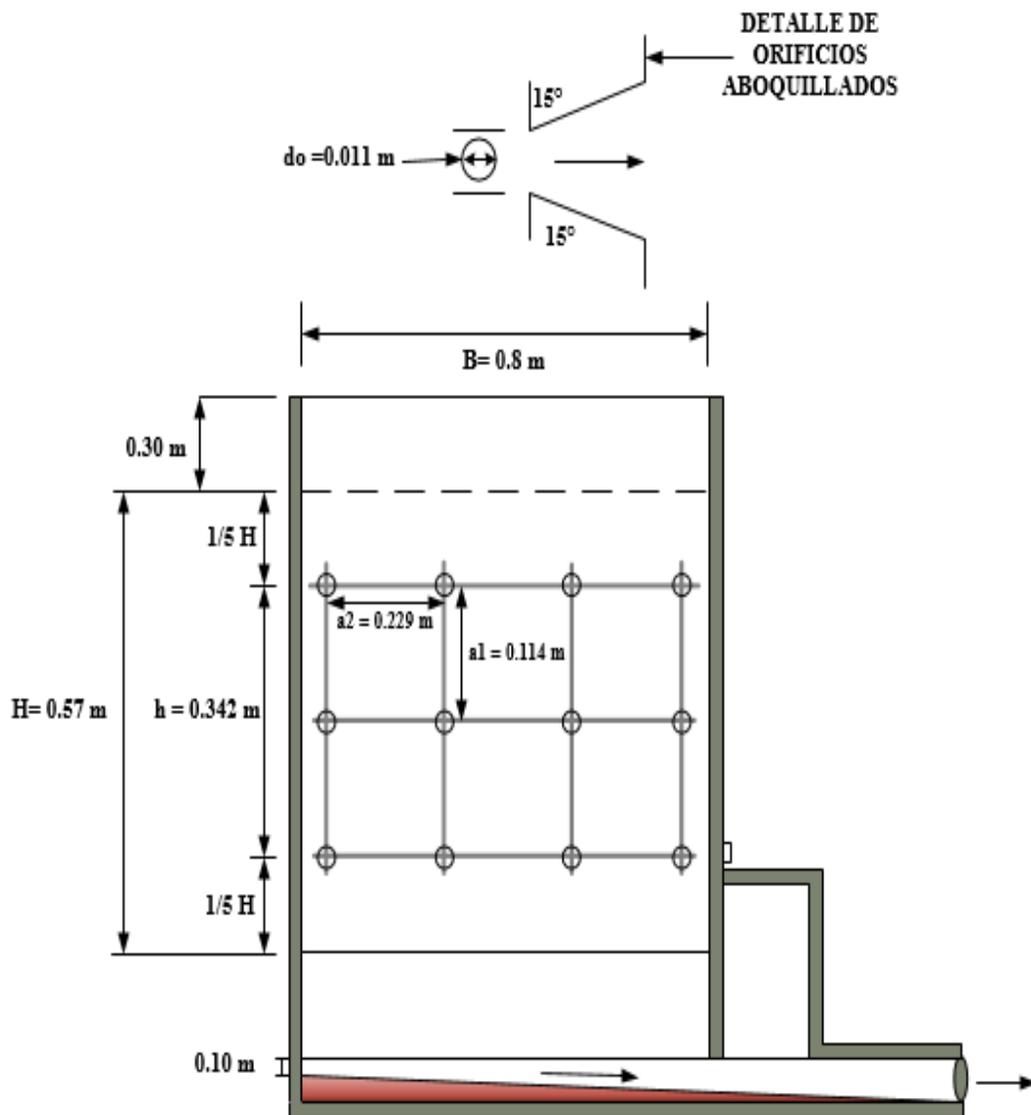
Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-6. Dimensiones del sedimentador rectangular “Corte longitudinal”



Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-7. Dimensiones de la pantalla difusora



Fuente: Elaboración propia (2021).

5.5.4. Criterios de diseño del tanque homogenizador

La homogenización del caudal es habitual en las industrias que operan 5 a 6 días a la semana y donde el proceso no sea continuo. Con este equipo se logra que el caudal se iguale o se reparte en un determinado tiempo, además se logra que los caudales con concentraciones de contaminantes homogénea, porque en la industria cervecera puede tener afluentes con altos valores de DQO varias veces durante la semana, donde

pueden causar problemas para el arranque del reactor, por lo tanto, es la necesidad de equilibrar la carga alta de contaminante para mantener una carga de contaminantes homogénea.

También se utilizarán para la neutralización el pH y control de la temperatura ya que son parámetros muy importantes para el tratamiento biológico al producirse algunos cambios indeseables.

Algunos criterios de dimensionamiento

1. Los tanques de almacenamiento pueden ser construidos de los siguientes materiales: ferrocemento, hormigón armado, hormigón ciclópeo, mampostería de piedra o ladrillo, metálicos, fibra de vidrio y otros.
2. El tanque de almacenamiento debe estar provisto de una altura de revancha o altura libre por encima del nivel máximo de aguas, a fin de contar con un espacio de aire ventilado. La altura de revancha no debe ser menor a 0,20 m (Instalaciones de Agua -Diseño para el Sistema de Agua Potable,2004).
3. Los tanques deben ser dotados de un dispositivo indicador de la posición del nivel de agua. No deben ser empleados dispositivos que sean capaces de dañar la calidad del agua.
4. Se debe colocar un medidor registrador de caudal en la tubería de salida del tanque, que permita determinar los volúmenes suministrados en forma diaria, así como las variaciones de los caudales.
5. Deberá tener una purga para eliminar lodos acumulados y limpieza por colmatación.

Para el diseño de esta unidad se establecen las dimensiones de un tanque, de características sencillas. como por ejemplo de un tanque de almacenamiento de agua.

Se adoptará un tanque de geometría cilíndrica porque presenta la ventaja de tener una mayor sección transversal.

5.5.4.1. Dimensionamiento del tanque homogeneizador

Datos:

Para realizar el dimensionamiento del tanque homogeneizador tomaremos un volumen de tres días de operación de 9 m^3 .

Asumiremos una altura de 2 m para la altura libre de 0,2 m en total tendremos una altura máxima de 2,2 m.

a) determinar el diámetro del tanque (d)

$$d = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * H_{\max}}}$$

Donde:

d = diámetro del tanque (m)

V = volumen del tanque (m^3)

H máx. = altura máxima del tanque (m)

$$d = \sqrt{\frac{4 * 9 \text{ m}^3}{\pi * 2,2 \text{ m}}} = 2,28 \text{ m}$$

b) Para determinar el área del tanque (A_T)

$$A_T = (2\pi * r * H) + (\pi * r^2)$$

Donde:

A_T = Área total del tanque (m^2)

H = Altura del tanque (m)

r = radio del tanque (m)

Para encontrar el radio tenemos el diámetro donde se relaciona con la siguiente formula:

$$d = 2r$$

Despejando r

$$r = \frac{d}{2}$$

tenemos

$$r = \frac{2,28 \text{ m}}{2} = 1,14 \text{ m}$$

Determinamos el área total

$$A_T = (2\pi * 1,14 \text{ m} * 2,2 \text{ m}) + (\pi * (1,14)^2) = 20 \text{ m}^2$$

5.5.4.2. Esquema de las dimensiones del tanque homogeneizador

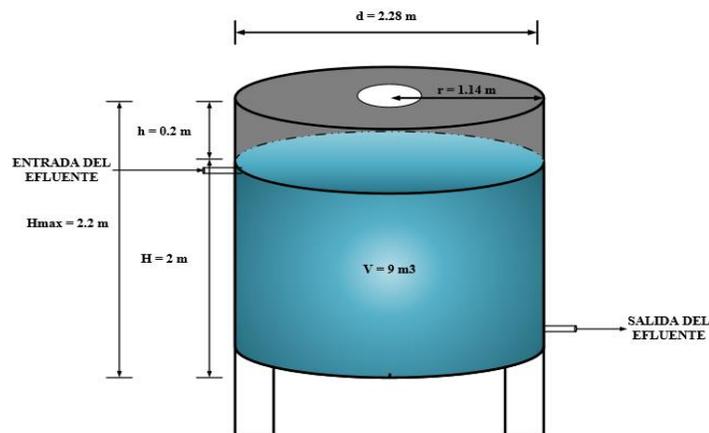
Una vez realizados los cálculos correspondientes para poder obtener las dimensiones para el tanque homogeneizador detallaremos los mismo mediante lo siguiente:

Tabla V-10. Dimensiones del tanque homogeneizador

Nombre	Simbolo	Medida	Unidades
Volumen del tanque	V	9	m³
Altura del tanque	H	2	m
Altura libre del tanque	h	0,2	m
Altura maxima del tanque	Hmax	2,2	m
Diametro del tanque	d	2,28	m
Radio del tanque	r	1,14	m
Area total del tanque	AT	20	m²

Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-8. Dimensiones del tanque homogeneizador



Fuente: Elaboración propia (2021).

5.5.5. Criterios de diseño del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (UASB)

En los últimos años, de entre los sistemas de alta tasa disponibles, el concepto de reactor UASB es el más ampliamente aplicado. Permitiendo además el empleo del tratamiento anaerobio bajo condiciones de temperaturas subóptimas mesofílicas.

El criterio asumido para el diseño del reactor UASB, es que al trabajar con bajas cargas orgánicas ($DQO < 1500$ mg/l) la limitante del proceso es la carga hidráulica (Lettinga y Hulshott; 1995a; van Haandel y Lettinga, 1994 y Lettinga et. al. 1980).

5.5.5.1. Análisis de los datos de temperatura del ambiente

La temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales, dependiendo del clima de la región; sin embargo, siempre tendrá un valor por debajo de la temperatura óptima para la digestión anaerobia (30 a 35°C).

De este modo el proceso es atractivo para regiones tropicales o subtropicales, donde la temperatura del AR no está por debajo de los 18°C (Vieira, 1989). La temperatura promedio en el Distrito 18 de Santa Ana, se encuentran en 22 °C, corresponden a un clima de tipo subtropical

Lettinga et. al. (1983) presentan una guía tentativa para la capacidad de diseño de Reactores UASB en base a la temperatura.

5.5.5.2. Volumen del reactor

El volumen de un reactor anaerobio para tratar aguas residuales domésticas no complejas ($DQO < 1500$ mg/l) depende de varios factores:

- Carga de DQO total máxima.
- Carga superficial admisible.
- Temperatura mínima.
- Concentración y características del agua residual.
- Carga volumétrica permisible.
- Eficiencia requerida y nivel requerido de estabilización de lodo.

5.5.5.3. Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica está directamente relacionado con la velocidad del proceso de digestión anaerobia, que a su vez depende del tamaño del reactor. Para temperaturas medias próximas a los 20 °C, el tiempo de retención hidráulica puede variar de 6 a 16 horas, dependiendo del tipo de agua (Lettinga & Hulshoff Pol, 1991).

Tabla V-11. Tiempos de retención hidráulica en rectores UASB

Temperatura del agua residual °C	Tiempo de retención hidráulica (h)	
	Media diaria	Mínimo (durante 4 a 6 horas)
16 – 19	> 10 - 14	> 7 - 9
20 – 26	> 6 - 9	> 4 - 6
> 26	> 6	> 4

Fuente: Lettinga & Hulshoff Pol (1991).

La temperatura promedio en el Distrito 18 de Santa Ana, se encuentran en 22 °C, se toma un Tiempo de Retención Hidráulica de 6 horas según la Tabla V-11

5.5.5.4. Altura del reactor

La velocidad superficial máxima en el reactor depende del tipo de lodo presente y las cargas aplicadas. Para reactores operando con lodo flocculento y con cargas orgánicas de hasta 5 a 6 kg DQO/m³ día, las velocidades superficiales medias deben ser del orden de 0,5 a 0,7 m/h, siendo tolerados picos temporarios, durante 2 a 4 horas, de hasta 1,5 a 2,0 m/h.

Tabla V-12 Velocidades Superficiales recomendadas para diseño de Reactores UASB, para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Caudal del afluente	Velocidad superficial (m/h)
Caudal medio	0,5 - 0,7
Caudal máximo	0,9 - 1,1
Picos temporarios	< 1,5

Fuente: Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

5.5.5.5. Tubos distribuidores del afluente

La partición de los caudales de ingreso al fondo del reactor, debe ser efectuada de forma tal que el agua sea distribuida en cada uno de los tubos difusores en proporciones iguales. La distribución en el fondo del reactor será efectuada a través de los tubos difusores, con alimentación regular de flujo, evitando corto circuitos o zonas muertas, se recomienda 1 difusor por cada 2 a 4 m² de la superficie del fondo (NB 688-01 Instalaciones Sanitarias - Sistemas de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales, Segunda revisión); un otro criterio para la determinación del número de distribuidores se presenta en el cuadro siguiente en función al tipo de lodo y las cargas orgánicas aplicadas al sistema.

Tabla V-13. Área de influencia de los Distribuidores (Ad) en Reactores UASB

Tipo de Lodo	Carga Orgánica Aplicada (kg DQO/ m ³ día)	Área de Influencia de Cada Distribuidor (m ²)
Denso y Floclento (Concentración > 40 kg SST/ m ²)	< 1,0	0,5 - 1,0
	1,0 - 2,0	1,0 - 2,0
	> 2,0	2,0 - 3,0
Medianamente Denso y Floclento (Concentración de 20 - 40 kg SST/ m ²)	< 1,0 - 2,0	1,0 - 2,0
	> 3,0	2,0 - 5,0
Granular	< 2,0	0,5 - 1,0
	2,0 - 4,0	0,5 - 2,0
	> 4,0	>2,0

Fuente: Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

5.5.5.6. Dimensionamiento del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (UASB)

Datos:

Caudal de diseño $Q = 9,70 \text{ m}^3/\text{día} = 0,404 \text{ m}^3/\text{h}$

Demanda biológica de oxígeno (DB05) = 880 mg/l = 0,88 Kg/m³

Demanda química de oxígeno (DQO) = 1430 mg/l = 1,43 Kg/m³

Temperatura (T): 22 °C

a) Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)

Para una temperatura de 22 °C se adopta un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 6 horas de acuerdo con el Tabla V-11.

$$\text{TRH} = 6 \text{ h}$$

b) Determinación del volumen del reactor (V)

$$V = Q * \text{TRH}$$

Donde:

V=Volumen del reactor m³

Q= caudal medio del efluente (m³/h)

TRH = tiempo de retención hidráulico del líquido (h)

$$V = 0,404 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 6,8 \text{ h} = 2,75 \text{ m}^3$$

c) Determinación de la altura del reactor (H)

Para reactores que operan con lodo floculento y con cargas orgánicas de hasta 5 a 6 kg DQO/m³ día, las velocidades superficiales medias deben ser del orden de 0,5 a 0,7 m/h.

$$\text{COV} = \frac{Q_{\text{med}} * S}{V}$$

Donde:

COV = Carga orgánica volumétrica (Kg DQO/m³ día)

Q med = Caudal medio diario (m³/día)

S = concentración del sustrato del afluente (Kg DQO/m³)

V=Volumen (m³)

$$\text{COV} = \frac{9,70 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 1,43 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{2,75 \text{ m}^3} = 5,04 \text{ Kg DQO/m}^3 \text{ día}$$

Por tanto, asumimos una velocidad de 0,5 m/h de acuerdo a la Tabla V-12, entonces la altura del reactor será

$$H = TRH * v$$

Donde:

H= altura del reactor (m)

TRH= tiempo de retención hidráulico del líquido (h)

v = Velocidad superficial (m/h)

$$H = 6 \text{ h} * 0,5 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 3 \text{ m}$$

d) Determinación del área del reactor

$$A_c = \frac{V}{H}$$

Donde:

A_c = Área del reactor (m^2)

H= altura del reactor (m)

V=Volumen (m^3)

$$A_c = \frac{2,75 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 0,92 \text{ m}^2$$

En relación a la forma del reactor en planta, estos pueden ser circulares o rectangulares. Los reactores de sección circular son más económicos desde el punto de vista estructural, pero la construcción del separador GSL es más complicada que en uno rectangular.

Elegimos un reactor UASB de forma cilíndrica, tenemos que buscar el diámetro

e) Diámetro del reactor (d)

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Donde

d = diámetro del reactor (m)

A_c = Área del reactor (m^2)

π = número Pi (3,1416)

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,92 m^2}{3,1416}} = 1,08 m$$

f) Determinación de los tubos distribuidores del afluente

Para lodo medianamente denso y floculento y con una carga orgánica aplicada de 5,04 kg DQO/ m^3 día se obtiene un área de influencia (A_d) de 2 m^2 de la Tabla V-13. de donde el número de distribuidores (N_d) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$N_d = \frac{A_c}{A_d}$$

Donde:

N_d = Número de distribuidores de tubos

A_c = Área del reactor (m^2)

A_d = Área de influencia (m^2)

$$N_d = \frac{0,92 m^2}{2 m^2} = 0,46$$

Por lo tanto, asumir N_d igual a 1 distribuidor.

El dimensionamiento del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente “UASB” se realiza con el Apoyo Didáctico en la Enseñanza – Aprendizaje de la Asignatura de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. RODRIGO MARCELO AYALA FANOLA (2008).

5.5.6. Criterios de diseño del separador gas - sólido – líquido (GSL)

El separador “GSL” es el dispositivo más importante del reactor UASB, el cual desempeña cuatro funciones:

- Colecta de gas que se produce en la parte inferior o zona de digestión, donde existe un manto de lodos responsable de la digestión anaerobia.
- Permite la sedimentación de los sólidos en suspensión en la parte superior del reactor, encima del separador.
- Ayuda a conservar una baja concentración de sólidos sedimentables en el efluente.
- El espacio encima del separador puede ser usado para almacenar lodo durante periodos de sobrecarga hidráulica.

A continuación, veremos algunos criterios de diseño del separador GLS

1. La mampara debe tener un ángulo entre 45 y 60° con respecto a la horizontal.
2. El área de paso entre los colectores debe ser de 15 a 20% de la superficie del reactor.
3. Una interface líquido-gas debe ser mantenida en el colector de gas para facilitar la descarga y recolección de las burbujas de gas y para combatir la formación de una capa espumosa.
4. El traslape de los baffles instalados debajo de la apertura debe ser de 10-20 cm con el fin de evitar que las burbujas de gas ascendentes entren al compartimiento de sedimentación.
5. Generalmente los baffles de la capa espumosa deben instalarse al frente de los vertederos del efluente.
6. El diámetro de los conductos de salida de gas debe ser suficientes para garantizar la fácil remoción del biogás de la campana de recolección de gas, particularmente en el caso de formación de espuma.
7. En la parte de arriba de la campana de gas se deben instalar boquillas rociadoras antiespumantes, en el caso de tratamiento de aguas residuales con alto contenido de espuma.

8. El material de construcción puede ser acero recubierto con algún material plástico, para evitar su pronta corrosión o bien de plásticos estructurales moldeados

Criterios según (Lettinga y Hulshoff,1995).

Figura V-9. Separador GSL (Gas-Sólido-Líquido)



Fuente: Rodrigo Marcelo Ayala Fanola (2008).

5.5.6.1. Para Abertura entre el reactor y el separador GSL

Las aberturas entre el reactor y el separador GSL que posibilitan el paso de las aguas residuales al compartimiento de sedimentación, deben ser proyectados de forma de posibilitar lo siguiente:

- La separación de gases antes que el agua residual tenga acceso al sedimentador; favoreciendo la sedimentación de los sólidos en su interior. Por tanto, para el diseño de las aberturas se debe prever una superposición con el deflector de gases de forma de garantizar la correcta separación de los mismos.
- La retención de los sólidos en el compartimiento de digestión, manteniendo las velocidades en las aberturas por debajo de las recomendadas de la Tabla V-14.
- El retorno de los sólidos sedimentados en el decantador al compartimiento de digestión, el cual se garantiza a partir de una adecuada inclinación de las paredes

del decantador y los deflectores de gases, y también manteniendo las velocidades a través de las aberturas.

Criterios según (Lettinga y Hulshoff,1995).

Tabla V-14. Velocidades en las aberturas para el decantador

Caudal del afluyente	Velocidades (m/h)
Caudal medio	< 2,0 - 2,3
Caudal máximo	< 4,0 - 4,2
Picos temporarios	< 5,5 - 6,0

Fuente: Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

La velocidad de flujo máxima permitida en la abertura entre el reactor y el separador GSL, no debe ser mayor a 6,0 m/h como máximo y preferiblemente 4,0 m/h. Para caudal medio se asumirá una velocidad de 2 m/h de acuerdo a la Tabla V-14 (según Wlidschut,1989).

5.5.6.2. Área superficial del sedimentador

La verificación de las tasas de aplicación de carga superficial y los tiempos de retención hidráulica en el compartimiento de sedimentación se realiza de acuerdo con la siguiente Tabla V-15.

Tabla V-15. Carga de aplicación superficial y tiempos de retención hidráulica en el Compartimiento de sedimentación

Caudal del Afluyente	Carga de Aplicación Superficial (m/h)	Tiempo de Retención Hidráulica (h)
Caudal Medio	0,6 - 0,8	1,5 - 2,0
Caudal Máximo	< 1,2	> 1,0
Picos Temporarios*	< 1,6	> 0,6

(*) Caudales pico con duración entre 2 y 4 horas.

Fuente: Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

5.5.6.3. Dimensionamiento del separador gas - sólido – líquido (GSL)

Datos:

Caudal de diseño $Q = 9,70 \text{ m}^3/\text{día} = 0,404 \text{ m}^3/\text{h}$

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) = $880 \text{ mg/l} = 0,88 \text{ Kg/m}^3$

Demanda química de oxígeno (DQO) = $1430 \text{ mg/l} = 1,43 \text{ Kg/m}^3$

Temperatura (T): $22 \text{ }^\circ\text{C}$

a) Determinación del área libre (A_L)

$$A_L = \frac{Q}{v}$$

Donde:

Q = Caudal diseño (m^3/h .)

v = Velocidad en las aberturas para el decantador (m/h .)

Para caudal de diseño se asumirá una velocidad de 4 m/h de acuerdo Tabla V-14; y posteriormente se determina el área libre.

$$A_L = \frac{0,404 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{4 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 0,10 \text{ m}^2$$

Por tanto, se adopta como área libre $0,10 \text{ m}^2$.

b) Determinación del ancho de la abertura (W_a), entre el reactor y el separador GSL

$$W_a = \frac{A_L}{d}$$

Donde:

W_a = Ancho de la abertura entre el reactor y el separador GSL (m)

A_L = Área libre mayor (m^2)

L = Lado del reactor (m)

$$W_a = \frac{0,10 \text{ m}^2}{1,015 \text{ m}} = 0,1 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} * W_a = \frac{1}{2} * 0,1 \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

c) Determinación del ancho de los lados de la campana (W_g)

Se asumieron para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana (W_t) y la altura tope del separador GLS (H_t) sobre la superficie del líquido iguales a 0,2 m. Por lo tanto

$$W_g = R_R - W_a - 0,5 (W_T)$$

Donde:

W_g = Ancho de los lados de la campana (m.)

W_a = Ancho de la abertura entre el reactor y el separador GSL (m)

W_t =ancho mínimo interno de la campana (m)

R_R = Radio del reactor (m)

$$W_g = 0,5 \text{ m} - 0,05 \text{ m} - 0,5 (0,2 \text{ m}) = 0,35 \text{ m}$$

d) Determinación Altura de la campana (H_g)

Ángulo de inclinación de la campana: el ángulo elegido para la campana fue de 60° debido a que se acomodaba mejor a las condiciones de diseño, tanto de la campana como de la tubería

$$H_g = W_g * \tan 60^\circ$$

Donde:

H_g =Altura de la campana (m)

W_g = Ancho de los lados de la campana (m.)

$$H_g = 0,35 \text{ m} * \tan 60^\circ = 0,61 \text{ m}$$

e) Determinación traslape vertical del deflector (T_v)

Los deflectores permiten la separación del biogás y permiten que el líquido y los sólidos entren al compartimiento de sedimentación. Estos deflectores deben tener un traslape mínimo de 10 a 15 cm. en relación a la abertura del decantador. Por tanto, se asume un traslape vertical del deflector igual a 0,10 m.

f) Determinación del ancho y largo de los deflectores (W_d) (L_d)

$$W_d = T_v + W_a$$

Donde:

W_d = Ancho de los deflectores (m)

W_a = Ancho de la abertura entre el reactor y el separador GSL (m)

$$W_d = 0,10 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 0,15 \text{ m}$$

$$L_d = 2W_d \text{ Tan } 45^\circ$$

Donde:

L_d = Largo de los deflectores (m)

W_d = Ancho de los deflectores (m)

$$L_d = 2(0,15)\text{Tan } 45^\circ = 0,3 \text{ m}$$

g) Determinación del Área superficial (A_s) del sedimentador

El área superficial del decantador se obtiene multiplicando el ancho de la superficie húmeda W_s por el lado del reactor d por tanto el área superficial del sedimentador será:

$$W_s = W_g + \frac{1}{2} W_a \qquad A_s = d * W_s$$

Donde:

W_s = Ancho de la superficie húmeda (m)

W_g = Ancho de los lados de la campana (m.)

W_a = Ancho de la abertura entre el reactor y el separador GSL (m)

A_s = Área superficial del sedimentador

d = Diámetro del reactor (m)

$$W_s = 0,35 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 0,40 \text{ m} \quad A_s = 1 \text{ m} * 0,40 \text{ m} = 0,40 \text{ m}^2$$

El dimensionamiento del separador gas - sólido – líquido “GSL” se realiza con el Apoyo Diseño, Construcción de un Reactor UASB. FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA (2006).

5.5.6.4. Esquema de las dimensiones Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (UASB) y el separador gas - sólido – líquido (GSL).

Una vez realizados los cálculos correspondientes para poder obtener las dimensiones para el Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (UASB) y el separador gas - sólido – líquido (GSL) detallaremos los mismo mediante lo siguiente:

Tabla V-16. Dimensiones del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (UASB)

Nombre	Simbolo	Medida	Unidades
Caudal de diseño	Q	9,7	m ³ /dia
		0,404	m ³ /h
Tiempo de retención hidráulica	TRH	6	h
Volumen del reactor	V	2,75	m ³
Carga orgánica volumétrica	COV	5,04	Kg DQO/ m ³ dia
Velocidad superficial	v	0,5	m/h
Altura del reactor	H	3	m
Área del reactor	Ac	0,92	m ²
Diámetro del reactor	d	1,08	m

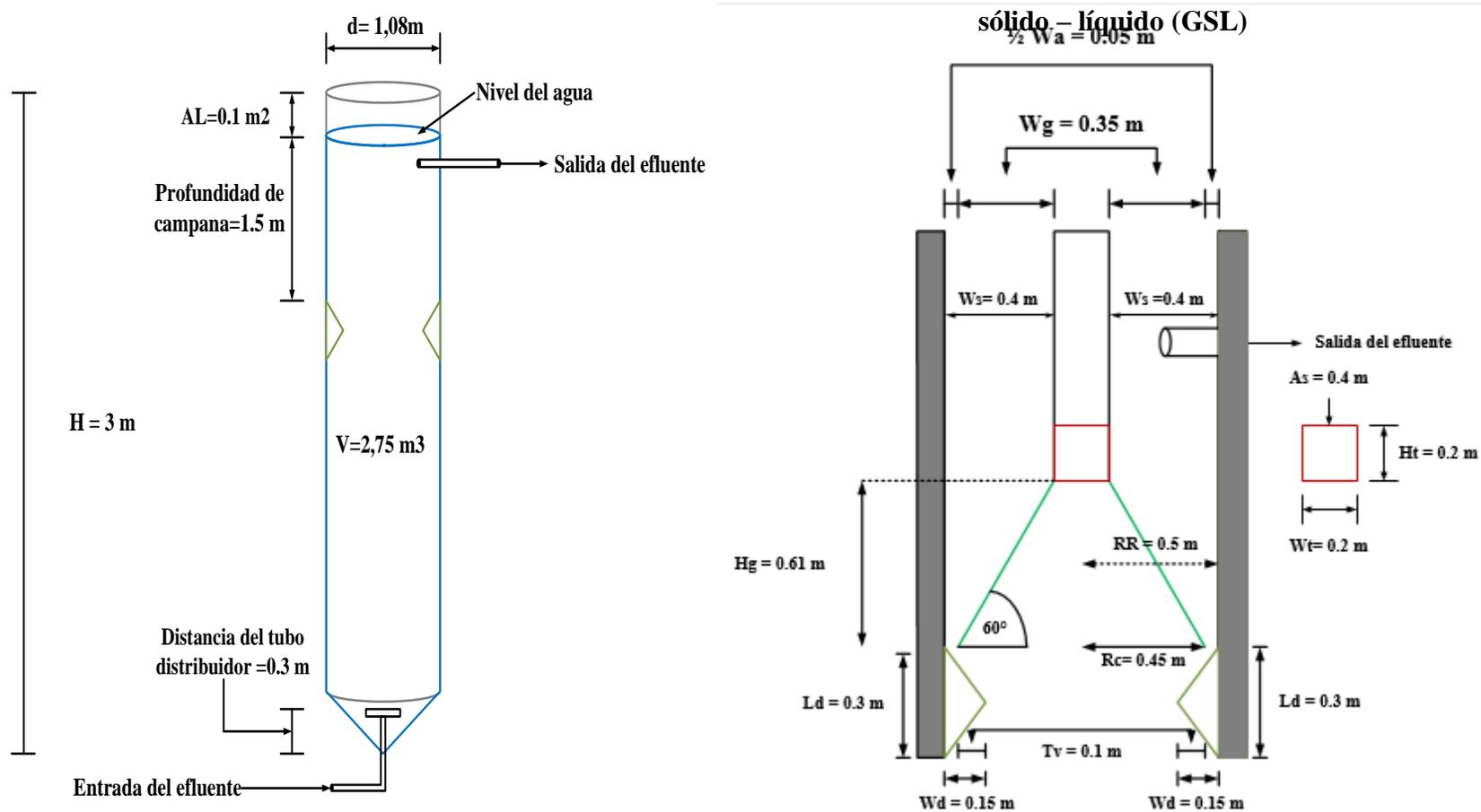
Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla V-17. Dimensiones del separador gas - sólido – líquido (GSL)

Nombre	Simbolo	Medida	Unidades
Caudal de diseño	Q	9.70	m ³ /dia
		0.404	m ³ /h
Velocidad en las aberturas para el decantador	v	4	m/h
Area libre	AL	0.1	m ²
Ancho de la abertura entre el reactor y el separador GSL	Wa	0.1	m
	1/2 Wa	0.05	m
Traslape vertical del deflector	Tv	0.1	m
Altura de la campana	hg	0.61	m
Ancho de los lados de la campana	Wg	0.35	m
Radio del reactor	RR	0.5	m
Ancho de los deflectores	Wd	0.15	m
Largo de los deflectores	Ld	0.3	m
Ancho de la superficie húmeda	Ws	0.4	m
Area del sedimentador	As	0.4	m ²
altura tope del separador GLS	Ht	0.2	m
Ancho mínimo interno de la campana	Wt	0.2	m
Angulo de inclinación con la horizontal de la campana	α	60	°

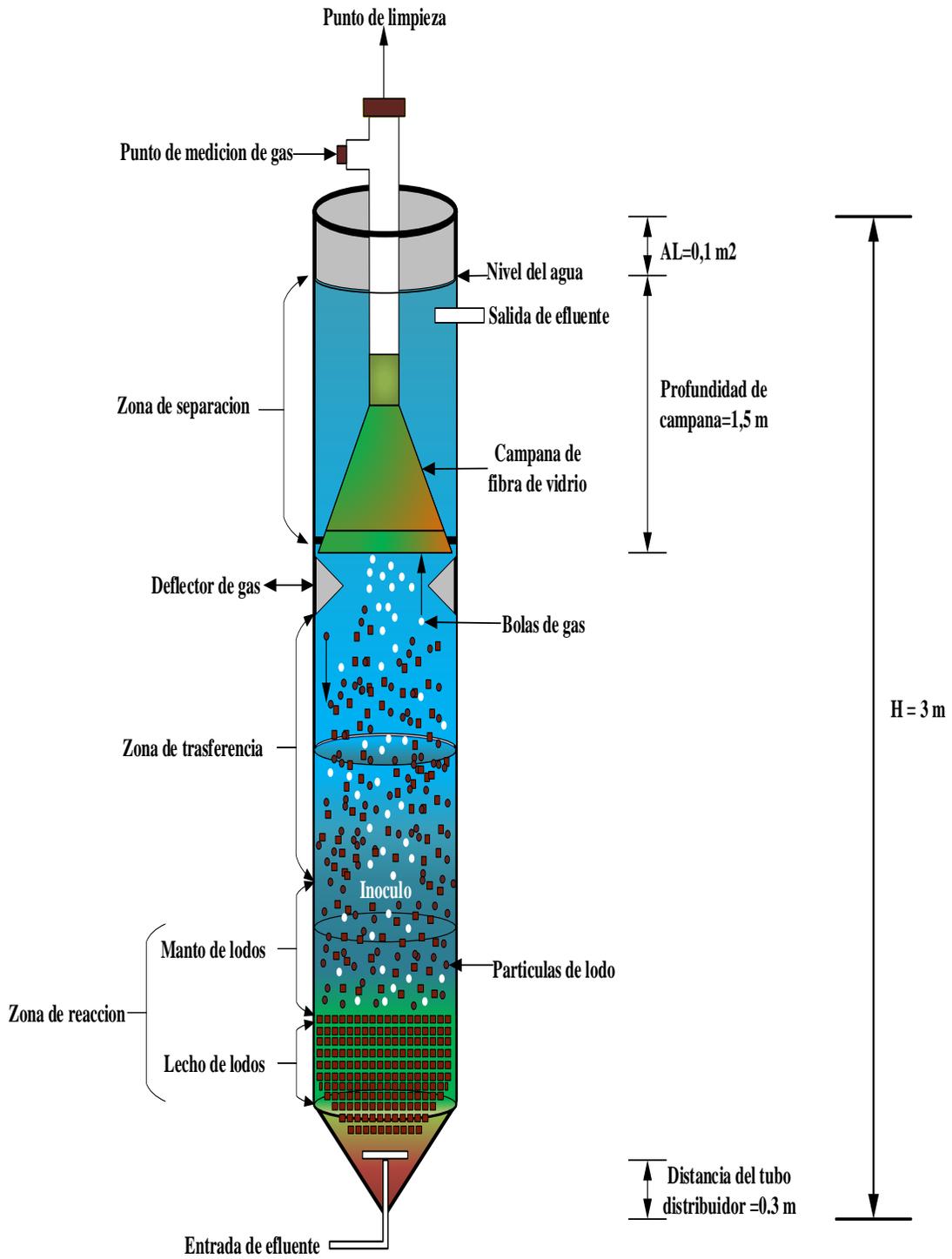
Fuente: Elaboración propia

Figura V-10. Dimensiones del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo ascendente (UASB) y del separador gas -



Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura V-11. Posición del separador GSL dentro del reactor UASB



Fuente: Elaboración propia (2021).

5.6. Inversión necesaria para la planta de tratamiento

La selección de materiales para la construcción de la planta de tratamiento, será adoptada según las características de cada equipo seleccionado.

En el manejo de las tuberías y accesorios (válvulas, codos, T, reducciones, etc.), en el pasado se utilizaba el hierro fundido o el gris vitrificado para los sistemas de tuberías para aguas residuales. En la actualidad se utilizan tubos con o sin presión, tubos de plástico de pared maciza, corrugados o multicapa.

Para los sistemas públicos de aguas residuales (200-800 DN y de mayores dimensiones), las materias primas principales son el PE, PP o PVC. No solo ofrecen una excelente relación calidad-precio, sino que también reducciones, injertos, codos, arquetas de registro, pozos de inspección y válvulas son accesorios con los que complementan.

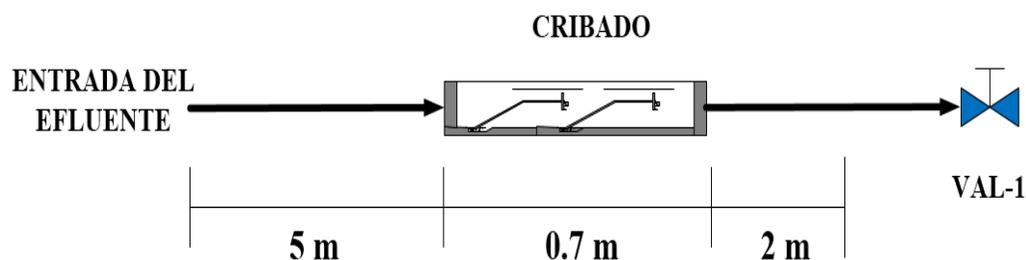
En la planta de tratamiento utilizaremos en las tuberías, accesorios el material de PVC y acero inoxidable en algunas partes del sistema. En un principio se consideró solo el material de acero inoxidable, pero es muy poco frecuente encontrar en el medio, también tiene un costo muy elevado en la compra e instalación.

5.6.1. Características de conexiones del cribado rejillas sencillas de limpieza manual

Las rejillas sencillas de limpieza manual es un conjunto de materiales como ser: el armado del hormigón armado para el canal donde pasará el efluente, el montaje de las rejillas de acero inoxidable según las medidas de diseño.

En la longitud de las tuberías, viene desde la salida del efluente de la fábrica industrial hasta la entrada del cribado una tubería de un diámetro 2" y 5 m de largo de ahí continua dentro del canal unos 0.7 m donde se encuentran ubicada las rejillas sencillas de limpieza manual al final del canal ingresa a una tubería de 2" y 2 m de largo para dirigirse a una válvula de globo de 2" (VAL-1).

Figura V-12. Características de conexiones del cribado rejillas sencillas y limpieza manual



Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla V-18. Costo de construcción, accesorios y equipos del cribado de rejilla sencilla limpieza manual

Item	CRIBADO DE REJAS SENCILLAS DE LIMPIEZA MANUAL	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Dias trabajados	Costo Total (Bs)
1	Hormigun armado	0,35	m ²	620 por metro cuadrado		217
2	Mano de obra de hormigon armado	2	Personas	120	3	720
3	Barra de acero inoxidable	2,52	m	100 por metro		250
4	Plancha de acero inoxidable 1,5 mm	0,06	m ²	1170		70,2
5	Pernos de acero inoxidable	8	Pulgadas	10		80
6	Mano de obra del montaje de la rejias	2	Persona	200	2	800
ACCESORIOS Y EQUIPOS AUXILIARES						
7	Tuberias PVC 2"	7	m	10 por metro		70
8	Valvula de glovo 2"	1	Pulgadas	150		150
TOTAL						2357,2

Fuente: Elaboración propia (2021).

Como se puede observar el costo de inversión de la implementación del cribado de rejias sencillas de limpieza manual es de 2357,20 Bs

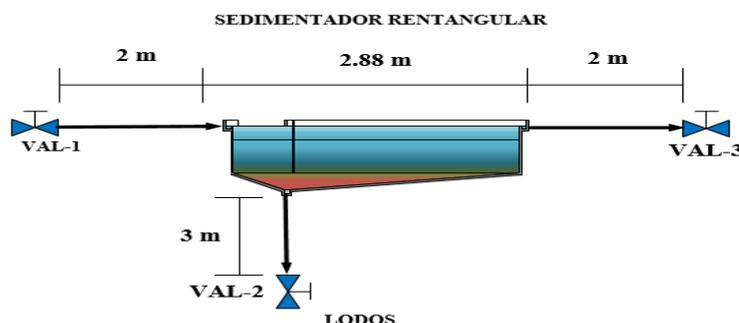
5.6.2. Características de conexiones del sedimentador rectangular

Para la construcción del sedimentador rectangular la estructura; física de la cámara de sedimentación, se toma en cuenta el volumen del hormigón armado (HA), se determinó el volumen de dicha cámara de 1,45 m³.

Continuando desde la válvula de globo (VAL-1) mencionada en las características del cribado de rejillas sencillas de limpieza manual, se dirige una tubería de diámetro 2" de 2 m de largo a la entrada del sedimentador conectada a un codo de 90° un diámetro de 2", posteriormente a la salida del sedimentador un codo de 90° del mismo diámetro que el primero conectado a una tubería de 2 m de largo para dirigirse a una válvula de globo (VAL-2).

En la parte inferior del sedimentador se encuentra la salida de lodos que se conecta con una tubería de diámetro de 2" de 3 m de largo hacia una válvula de globo (VAL - 2) donde existe la limpieza de lodos.

Figura V-13. Características de conexiones del sedimentador rectangular



Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla V-19-. Costo de construcción, accesorios y equipos del sedimentador

Item	SEDIMENTADOR RECTANGULAR	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Días trabajados	Costo Total (Bs)
1	Hormigón armado	1.45	m ³	3500 por metro cuadrado		5075
2	Mano de obra de hormigón armado	2	Personas	120	7	1680
ACCESORIOS Y EQUIPOS AUXILIARES						
3	Tuberías PVC 2"	7	m	10 por metro		70
4	Valvula de globo 2"	2	Pulgadas	150		300
5	Codos de 90°	2	Pulgadas	15		30
TOTAL						7155

rectangular

Nota: El costo del hormigón armado fue realizado por la constructora **DOBLEVE**.

Fuente: Elaboración propia (2021).

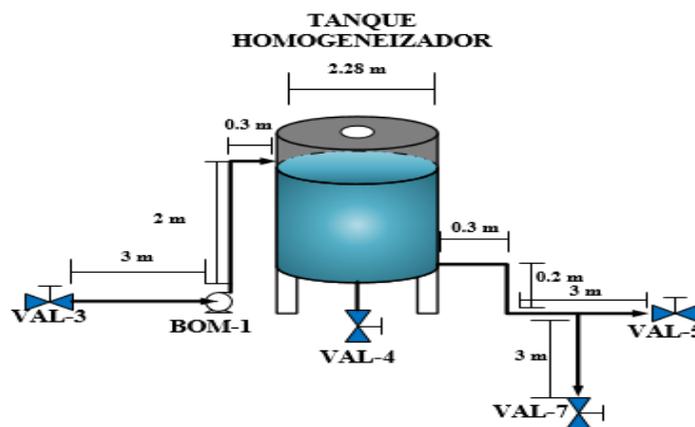
Como se puede observar el costo de inversión de la implementación del sedimentador rectangular es de 7155 bs

5.6.3. Características de conexiones del tanque homogeneizador

De igual manera los costos de inversión del tanque de homogeneización para las aguas residuales, se toma en tipo de material, la mano de obra, la adquisición de equipos auxiliares y los accesorios necesarios para la construcción e instalación del tanque, el material será de acero inoxidable 1,5 mm por tratarse de aguas con elevadas cargas orgánicas y solución de soda cáustica.

La conexión empieza desde la válvula de globo (VAL-3) con una tubería PVC de 2" de 3 m de largo a la entrada de succión de la bomba centrífuga a la salida de la misma existe una conexión de un codo de 90° de material inoxidable de 2" de diámetro conectado a una tubería de 2 m de diámetro 2", con dirección al nivel del agua del tanque, al llegar un codo de 90° de diámetro de 2" dirigido a la entrada del tanque con una tubería inoxidable de 0.3 m de largo con el mismo diámetro de los codos. La salida del tanque con conexiones de acero inoxidable y un diámetro de 2" tanto para tuberías, codos 90 y válvulas, y con sus respectivas longitudes como se observa en la figura V-14.

Figura V-14. Características de conexiones del tanque homogeneizador



Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla V-20. Costo de construcción, accesorios y equipos del tanque homogeneizador

Item	TANQUE HOMOGENEIZADOR	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Dias trabajados	Costo Total (Bs)
1	Plancha de acero inoxidable 1,5 mm	4	pieza	1170 por 1 X 2 metros		4680
2	Mano de obra para el armado y montaje del tanque	1	persona	1045	20	20900
ACCESORIOS Y EQUIPOS AUXILIARES						
3	Tuberías PVC 2"	3	m	10 por metro		30
4	Tuberías de acero inoxidable 2"	8,8	m	175		1540
5	Codos 90° de acero inoxidable 2"	4	Pulgadas	70		280
6	T de acero inoxidable 2"	1	Pulgadas	110		110
7	Valvula de globo 2" de acero inoxidable	2	Pulgadas	510		1020
8	Bomba Centrifuga	1	Hp	8900 para 14 metros 0,75 Kw		8900
TOTAL						37460

Nota: La fabricación del tanque se realizará con el proceso de soldadura Tig, por la empresa **“FADISMA INDUSTRIAL”**.

Los accesorios y equipos se cotizaron en **“INOX SUPPLY INGENIERIA”** suministros industriales y petroleros.

Las cotizaciones de costos de armado, montaje de accesorios y equipos se encuentran en Anexos II.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Como se puede observar el costo de inversión de la implementación del tanque homogeneizador es de 37460 bs.

5.6.4. Características de conexiones del reactor UASB

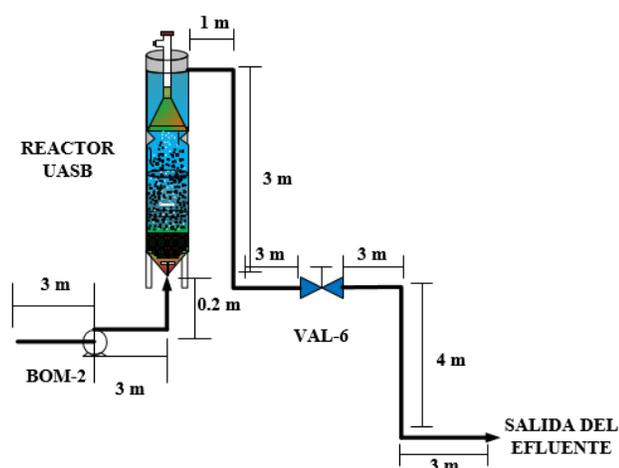
Para la construcción de este reactor anaerobio se considera el material del armado, los accesorios y equipos auxiliares con estas características estimaremos el costo de inversión para la instalación de estos filtros anaerobios de flujos ascendentes. De igual manera será de material acero inoxidable.

Tanto las tuberías, como los accesorios y los equipos auxiliares son de 2" y sus características de conexión, como sus longitudes de las tuberías se pueden observar en la figura V-15.

El separador GSL se construyó de fibra de vidrio, conectando una tubería PVC sanitaria de 2" para la salida del gas producido en la digestión anaerobia. Se sujeta al reactor UASB mediante soportes de acero inoxidable (instalados al mismo tiempo del armado del reactor) ubicados a la altura definida

Ya que son dos reactores anaerobios de manto de lodos y flujo ascendente que están conectados en paralelo las medidas son las mismas, se realizará la estimación de inversión para uno de modo que el monto total el doble.

Figura V-15. Características de conexiones del reactor UASB



Fuente: Elaboración propia (2021).

Tabla V-21-. Costo de construcción, accesorios y equipos del reactor UASB

Item	REACTOR UASB	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Dias trabajados	Costo Total (Bs)
1	Plancha de acero inoxidable 1,5 mm	3	pieza	2100 por 1,5X3 metros		6300
2	Mano de obra para el armado del tanque	1	personas	1050	20	21000
3	Campana separadora GSL	1		1200		1200
ACCESORIOS Y EQUIPOS AUXILIARES						
4	Tuberías de acero inoxidable 2"	24,9	m	175 por metro		4357,5
5	Codos 90° de acero inoxidable 2"	5	Pulgadas	70		350
6	Valvula de glovo 2" de acero inoxidable	1	Pulgadas	510		510
7	Bomba Centrifuga	1	Hp	8900 para 14 metros 0,75 Kw		8900
TOTAL						42617,5
DOS REACTORES UASB						85235

Nota: La fabricación del tanque se realizará con el proceso de soldadura Tig, por la empresa “FADISMA INDUSTRIAL”.

Los accesorios y equipos se cotizaron en “INOX SUPPLY INGENIERIA” suministros industriales y petroleros.

Las cotizaciones de costos de armado, montaje de accesorios y equipos se encuentran en Anexos II.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Como se puede observar el costo de inversión de la implementación de los reactores UASB es de 85235 Bs.

La inversión total para la implementación del sistema de tratamiento de las aguas residuales por cada unidad de proceso como ser: cribado de rejillas sencillas y limpieza manual, sedimentador rectangular, tanque homogeneizador y los dos reactores UASB se muestran en la siguiente Tabla V-22.

Tabla V-22. Costo de inversión total de implementación.

EQUIPOS	VALOR (Bs)
CRIBADO DE REJAS SENCILLAS DE LIMPIEZA MANUAL	2357,2
SEDIMENTADOR RECTANGULAR	7155
TANQUE HOMOGENEIZADOR	37460
REACTORES UASB	85235
TOTAL	132207,2

Fuente: Elaboración propia (2021).

El total la inversión de la implementación del sistema de tratamientos de aguas residuales industriales con un reactor UASB es de 132207,20 bs.

5.6.5. Costo real de inversión de la planta de tratamiento de aguas residuales

Para estimar el costo real de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la “Industria Cervecera CERVEUSUR S.R.L.”, según el método de Lang y Chilton para

determinar los costos de inversión adecuadamente se debe incluir diferentes factores que encarecen su implementación, que deben considerarse para estimar adecuadamente la inversión real de la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales. (Universidad Autónoma de Barcelona ,1997).

Estos costos se muestran en la tabla V-23, incorporando a cada proceso del sistema de tratamiento.

Tabla V-23. Factores de costo de inversión.

Costos	Factor	Importe (Bs)
Ingeniería	0,3	39662,2
Contingencias e imprevistos	0,05	6610,4
Capital de trabajo y puesta en marcha	0,012	1586,5
TOTAL		47859,0

Fuente: Elaboración propia (2021).

Una vez realizados todos los costos más los costos reales para la implementación de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la “**Industria Cervecera CERVEUSUR S.R.L.**” el valor correspondiente suma los 180066,20 Bs

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se realizó los análisis de las características físicas y químicas de las aguas residuales de la “Industria Cervecera CERVEUSUR S.R.L.” en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” para comparar los parámetros de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, fósforo, nitrógeno, grasas y aceites. Con los límites permisibles de descarga de los efluentes de la Norma Boliviana 512, Ley del Medio Ambiente 1333 y el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero RASIM-.RAI donde se puede evidenciar que los parámetros de las aguas residuales de la industria cervecera sobrepasan dichos límites. Por tanto, surge la necesidad de la implementación de un sistema de tratamientos de aguas residuales
- La cantidad de las aguas residuales de la “Industria Cervecera CERVEUSUR S.R.L.” que son descargadas al río Santa Ana, se utilizó el método de medida volumétrica donde el caudal promedio del efluente de la planta se determinó considerando los caudales diarios generados por las distintas etapas del proceso en 5 días. Entonces el caudal de promedio de la planta es 9.6324 m³/día. Por razones prácticas se asumió un caudal de diseño de 9.70 m³/día.
- El avance tecnológico en el tratamiento de aguas residuales industriales establece al proceso biológico anaerobio como el más utilizado, por ello el sistema de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente “RAFA” con una alta densidad y actividad de biomasa, y una alta estabilidad mecánica y mejores características de instalación. Como resultado de estas altas concentraciones de lodo, el reactor puede ser operado con altas capacidades y cortos periodos de residencia.
- En vista a las características fisicoquímicas de las aguas residuales sin tratamiento de la “Industria Cervecera CERVEUSUR S.R.L.”, se diseñó un sistema de tratamiento que comprende de las siguientes etapas:
 1. Cribado, como pretratamiento
 2. Sedimentador rectangular, como tratamiento primario
 3. Tanque de homogeneizador, como alimentador de los reactores

4. Dos unidades de reactores UASB, como tratamiento secundario

- De acuerdo al estudio realizado en la “Industria Cervecera CERVEUSUR S.R.L.” el sistema de tratamientos de las aguas residuales seleccionado, para un caudal de 9,70 m³/día, alcanzara reducir la carga de contaminante en porcentajes de una remoción de DBO₅ y DQO alrededor del 96 %, solidos suspendidos totales un 99 %, solidos disueltos totales un 98 % y grasas y aceites un 91 %.
- Realizado un análisis económico para la implementación de la tecnología propuesta para el tratamiento de las aguas residuales de la industria de cerveza “CERVEUSUR S.R.L.”, tendrá un costo de inversión total alrededor de 180066,20 bs
- De acuerdo a los cálculos realizados el sistema de tratamiento con el reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) para aguas residuales, alcanza eficiencias de remoción altas de materias orgánicas, requiriendo poca área superficial y costos operativos bajos.

La planta cervecera dispone de espacio y recursos para poder implementar este sistema.

6.2. Recomendaciones

- Se debe realizar estudios posteriores para el uso de las aguas tratadas para el riego de cultivos en un reactor UASB para su aplicación en proyectos y planes de forestación a corto plazo
- El sistema UASB reduce los compuestos orgánicos a metano en un 70 a 80%, a dióxido de carbono en 20 a 30%; el biogas, produciendo el metano es una fuente excelente de energía que puede ser aprovechado en los servicios de la planta (Calderas, comedor, etc.).
- Se recomienda un tratamiento de los lodos formados, buscar contenedores especiales de acero inoxidable para la acumulación de lodo, ya que los microorganismos que contienen estos lodos sintetizan la materia orgánica y la transforman en Biogás que puede ser reutilizado en la misma industria.

- Se recomienda el estudio e investigación de un tratamiento de las aguas residuales industriales0 netamente biológico de manera alternativa en un proyecto futuro esto debido que hoy en día muchas empresas optaron por un tratamiento biológico sin uso de agentes químicos, así como Cervecería Boliviana Nacional CBN que implementó una planta de tratamiento de efluentes completamente Biológica (sin uso de químicos) en Cochabamba-Taquiña.

