

CAPITULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN.

El tratamiento de los desechos y eliminación de las aguas residuales provenientes de mataderos y plantas procesadoras de carne es una necesidad económica y de higiene pública.

La principal fuente de contaminación de las aguas residuales de los mataderos se originan de las heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y de vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos.

La naturaleza de los desechos de matadero varía considerablemente, según que existan o no canales de captación. Cuando no se respeta las prácticas de limpieza, se aumenta el número de coliformes y la carga orgánica en las aguas residuales descargadas. Para el mantenimiento de unas normas de higiene adecuadas, la industria de elaboración de productos cárnicos está obligada a utilizar grandes cantidades de agua, lo que constituye un factor importante del costo de elaboración. El tratamiento en plantas y su descarga final en cuerpos de agua aumenta los gastos generales, por lo tanto se recomienda utilizar el volumen mínimo de agua necesario para alcanzar unas normas higiénicas adecuadas y ahorro económico significativo.

Las actividades que dan origen a las aguas residuales en el matadero municipal de la ciudad de Tarija se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Residuos generados en las etapas del proceso de faenado de un matadero

Etapas del proceso	Residuos generados	Parámetro
Estabulación	Estiércol	DBO5, DQO, nitrógeno.
Desangrado	Sangre	DBO5, nitrógeno.
Escaldado	Grasas, pelo, proteínas, sangre, estiércol.	Sólidos suspendidos, DBO5, DQO, grasas.
Evisceración	Carga orgánica.	Sólidos suspendidos, DBO5, DQO, grasas.
Limpieza de carcasas	Grasas, sangre.	DBO5, grasas y aceites.
Despiece y categorización	Pedacería(piel, músculos, grasa)	Grasas y aceites.

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es realizar el diseño de ingeniería de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para el matadero municipal de la ciudad de Tarija mediante el Reactor de lecho de lodo granular expandido (EGSB).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Debido al incremento paulatino de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, se ha acrecentado el interés sobre la importancia del tratamiento de los efluentes de mataderos, por los altos volúmenes de agua utilizados en el proceso y por la relativa escasez de ésta.

La problemática ambiental generada por los mataderos municipales se debe principalmente a las descargas de efluentes con alta carga orgánica, que al ser vertidos directamente a un cuerpo de agua contaminan el medio ambiente y para su control requieren de un tratamiento adecuado.

El consumo de agua se ve influenciado por las necesidades de cumplir con estándares altos de higiene. Es por esto que en el proceso de obtención de carne el agua se utiliza principalmente con fines de limpieza; el agua se emplea para el lavado de los animales

antes del sacrificio, lavado de las canales, preparación de vísceras, limpieza y sanitización del equipo y las instalaciones.

Las características de las aguas residuales industriales de los mataderos convierten a las descargas en un contaminante potencial del agua, en el que proliferan los malos olores por la descomposición de la materia orgánica.

El matadero municipal de Tarija no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales industriales y vierte directamente sus aguas generadas a la quebrada cabeza de toro; lo que puede derivar en numerosos problemas, por tener concentraciones por encima de lo establecido en la ley del Medio Ambiente N° 1333.

Los problemas principales que se presentan son los vertidos de carga orgánica y sólidos procedentes de la estabulación, desangrado, escaldado y evisceración durante el faeneo; esta situación causa malos olores y una carga microbiana elevada, contaminando al medio ambiente.

Por lo tanto, se ve la necesidad de elaborar un diseño de un tratamiento adecuado para reducir las concentraciones elevadas del efluente contaminado y mantenerlas en los límites permisibles y establecidos en la legislación del país.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

1.3.1. ACADÉMICA.

La investigación, contribuye académicamente a la generación de nuevos conocimientos, modelos y conceptos de aplicación en el diseño de una planta de tratamiento, así como el desarrollo de una investigación sistematizada cuyos resultados pueden convertirse en antecedentes para posteriores trabajos de investigación.

1.3.2. TÉCNICA.

La implantación de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales industriales, para ciudades pequeñas e intermedias, permite mitigar los efectos de contaminación hacia problemas de la salud de la población, en este contexto el proyecto se orienta a contribuir a la búsqueda de una solución factible.

1.3.3. SOCIAL.

La producción de aguas residuales provenientes de mataderos en nuestro país es considerada de importancia debido a su alto contenido de contaminación orgánica, produciendo malos olores y causando enfermedades.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la ingeniería de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para el matadero municipal de la ciudad de Tarija mediante el diseño del reactor de lecho de lodo granular expandido (EGSB).

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Recopilar información de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas residuales industriales procedentes de los procesos del faenado.
- ✓ Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los procesos del faenado.
- ✓ Realizar la medición de los caudales procedentes de los procesos del faenado.
- ✓ Diseñar la ingeniería de la planta tratamiento mediante el reactor de lecho de lodo granular expandido (EGSB) para 30 años de vida útil.
- ✓ Estimación de los costos de cada una de las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.
- ✓ Tratamiento y disposición de lodos.
- ✓ Elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento.

1.5. HIPÓTESIS A COMPROBAR.

El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el matadero de Tarija es imprescindible para evitar los efectos de la contaminación a la quebrada Cabeza de Toro y que los valores de los parámetros estén contemplados dentro de los límites permisibles.

1.6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

El presente proyecto de grado abarcará:

- Recopilar información de registro de faenado del matadero municipal de la ciudad de Tarija.
- Recopilar información de parámetros de calidad de agua residual industrial del matadero municipal de la ciudad de Tarija.
- Realizar un estudio de caracterización de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de una muestra compuesta del agua residual industrial.
- Aforar caudales procedentes de los procesos del faenado mediante el método volumétrico.
- Calcular caudales teóricos de acuerdo a la cantidad máxima de animales faenados, y proyectarlos para una vida útil de 30 años.
- Diseñar la ingeniería de la planta tratamiento mediante el reactor de lecho de lodo granular expandido (EGSB) para 30 años de vida útil.
- Realizar planos a detalle del diseño de la planta de tratamiento.
- Estimar costos de cada una de las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento.

CAPITULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO.

Los mataderos son establecimientos en los que se sacrifican los animales, constituyendo el proceso de industrialización de la carne con la finalidad de producirla y prepararla de manera higiénica, mediante la manipulación humana de los animales en lo que respecta al empleo de técnicas higiénicas para su sacrificio y la preparación de carcasas mediante una división estricta de operaciones. Y al mismo tiempo, se facilita la inspección adecuada de la carne y el manejo apropiado de los desechos resultantes, para eliminar todo peligro potencial de que carne infestada pueda llegar al público o contaminar el medio ambiente.

2.1.1. CLASIFICACIÓN DE MATADEROS.

Los mataderos se clasifican en función de la actividad realizada en:

- Matadero polivalente (vacuno, ovino, porcino, conejo, equino).
- Matadero monovalente (un solo tipo de animal).

El Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG), a través de su Resolución Administrativa N° 087/2001, categoriza los mataderos en primera, segunda, tercera y cuarta categoría.

La categorización de los mataderos, en relación con el comercio nacional o internacional de carne y despojos comestibles, tendrá los siguientes efectos.

Primera Categoría: La carne y subproductos comestibles producidos en estos mataderos serán aptos para el comercio internacional y para el abastecimiento de cualquier centro de consumo en el territorio nacional.

Segunda Categoría: La carne y subproductos comestibles producidos en estos mataderos serán aptos para el abastecimiento de cualquier centro de consumo en el territorio nacional.

Tercera Categoría: La carne y subproductos comestibles producidos en estos mataderos serán aptos solamente para el abastecimiento departamental.

Cuarta Categoría: La carne y subproductos comestibles producidos en estos mataderos serán aptos solamente para el abastecimiento del municipio.

2.1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DEL FAENADO.

La etapa de faenado, tiene dos zonas importantes, una dedicada a bovinos y otra a porcinos; cada una está conformada por los siguientes procesos: (Gobierno Autónomo de la Ciudad de Tarija y la provincia Cercado, 2017: 24)

2.1.2.1. ESTABULACIÓN.

Una vez que los animales son transportados al matadero, éstos deberán permanecer bajo dieta hídrica en el establo, al menos 24 horas antes de ser sacrificados. El establo es el primer punto de producción de residuos dentro del flujo de producción de un matadero; siendo un punto crítico en cuanto a la emisión de olores, una de las causas de que los mataderos sean considerados como actividades molestas. Además, durante la estabulación de los animales se producen cantidades importantes de estiércol y orina que son factores de impacto relevantes.

Figura 1. Estabulación



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2.2. DESANGRADO.

En la línea de sacrificio y antes del desangrado, los animales son lavados y luego aturdidos. Se emplea en el caso del ganado vacuno pistolas de punzo penetrante, mientras que para el ganado porcino se emplean descargas eléctricas.

Una vez que es aturdido y colgado el ganado vacuno, se procede al degollado y desangrado de los animales. La sangre se recolecta y se filtra para separar posibles residuos sólidos.

La limpieza de utensilios y de eventuales derrames de sangre sobre el piso constituye un segundo punto de producción de residuos dentro de un matadero.

Figura 2. Desangrado



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2.3. ESCALDADO.

En los mataderos polivalentes, la operación de escaldado-depilado se realiza con el ganado porcino, debido a que la carne de cerdo se comercializa con piel incluida.

Con la operación de escaldado se elimina el pelo que cubre la superficie de los cerdos y para ello se utiliza agua lo suficientemente caliente que asegure su caída. Posteriormente, se realiza un depilado por medio de rodillos que permiten retirar prácticamente la totalidad de las cerdas presentes en la piel de los cerdos. Una vez que los cerdos son depilados por escaldado y rascado, son sometidos a un proceso de chamuscado con un soplete para quemar aquellas cerdas que no han sido eliminadas en el proceso anterior, tanto por su dureza como por su accesibilidad.

En el caso del ganado vacuno, tras el desangrado, se procede a la eliminación de la piel. Esta operación se realiza a mano, o bien por tracción con la ayuda de máquinas automáticas. Las pieles son retiradas de la línea de producción para ser empleadas; posteriormente, como subproducto en la producción de cuero. Estos procesos constituyen un tercer punto de generación de residuos, lo que ocurre al momento de la limpieza de piezas y pisos.

Figura 3. Escaldado para bovinos



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 4. Depilado para porcinos



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2.4. EVISCERACIÓN.

La evisceración es una operación delicada desde el punto de vista de la higiene. Durante esta etapa se liga el esófago y el recto para evitar cualquier contaminación procedente del tracto intestinal.

Simultáneamente a esta operación, se realiza una inspección sanitaria prestando especial interés a los pulmones, el hígado, los ganglios linfáticos, el bazo y el corazón.

Una vez eviscerados los animales, se dividen por medio de sierras obteniéndose las medias carcazas. La limpieza de piezas y pisos, en este proceso, constituye un cuarto punto de generación de residuos.

Figura 5. Evisceración



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2.5. LIMPIEZA DE CARCASAS.

Obtenidas las carcasas, se realiza su limpieza con agua clorada, para eliminar la contaminación superficial compuesta principalmente por microorganismos y restos de sangre. Este es un quinto punto de generación de residuos dentro del proceso de mataderos.

Figura 6. Limpieza de carcasas



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2.6. REFRIGERACIÓN.

Esta operación de preservación de las carcasas se realiza en dos fases. En la primera fase se introducen en cámaras de oreo a una temperatura de entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, con el objetivo de reducir rápidamente el calor corporal de las carcasas que en ese momento ronda los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tras unas dos horas, los canales son almacenados en cámaras a una temperatura de entre 0 y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (segunda etapa) donde permanecen hasta su posterior traslado a las salas de despiece.

2.1.2.7. DESPIECE Y CATEGORIZACIÓN.

En estas instalaciones las carcasas y medias carcasas procedentes del matadero son deshuesadas y divididas en partes más pequeñas.

La operación de despiece se realiza en una sala refrigerada para reducir al máximo la contaminación de la carne, que es especialmente delicada en esta fase. Debido a la limpieza

de instrumentos, mesas y pisos puede ser considerado el sexto punto de generación de residuos.

Figura 7. Despiece y categorización



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2.8. LIMPIEZA E HIGIENE.

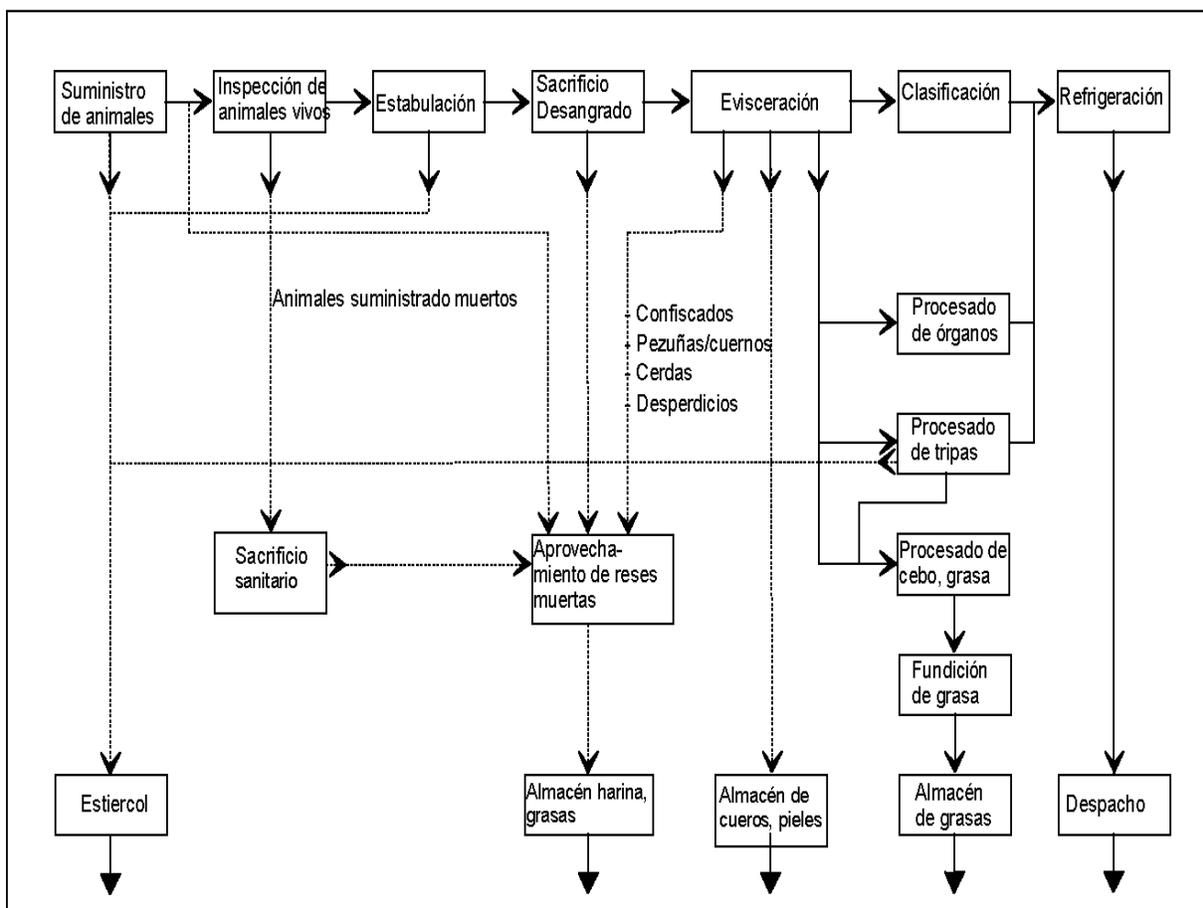
Tanto la limpieza como la desinfección son consideradas como operaciones de máxima importancia y se incluye como un paso más en el proceso productivo.

Estas acciones de limpieza y desinfección generan residuales líquidos, por lo que las aguas de limpieza pueden contener cantidades significativas de detergentes y desinfectantes. La

ausencia de prácticas de limpieza en seco aumenta el volumen de aguas residuales a tratar y la carga contaminante de las mismas.

En la Figura 8 y de forma ilustrativa se puede apreciar el esquema de un matadero típico.

Figura 8. Esquema de un matadero típico



Fuente: Economía Agropecuaria, Minería y Energía, Actividades Industriales y Artesanales, 1996

A estos procesos deben adicionarse los procesos de recolección de residuales líquidos y sólidos, su tratamiento y disposición.

2.1.3. FUENTES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS EN UN MATADERO.

A continuación se detallan los principales efectos medioambientales que puede producir la actividad de los mataderos:

2.1.3.1. RESIDUOS LÍQUIDOS.

Derivados fundamentalmente de la operación de escaldado y lavado de canales, así como de la limpieza de equipos e instalaciones. El consumo de agua y el correspondiente volumen de vertido varían considerablemente de un matadero a otro, principalmente en función del tipo de ganado sacrificado, del tamaño del establecimiento, y de las actividades de tripería.

Las aguas residuales generadas pueden contener restos de materias primas (sangre, grasa, huesos, pelos, fragmentos de piel, tejido muscular, adiposo, conjuntivo), contenido intestinal y excrementos. Las aguas de limpieza, además pueden contener cantidades significativas de detergentes y desinfectantes.

2.1.3.2. RESIDUOS SÓLIDOS.

Excrementos, contenidos intestinales, pelos, pieles, huesos, tejidos varios, vísceras, partes no comestibles y animales rechazados. La mayoría de estos residuos sólidos se pueden gestionar como subproductos.

2.1.4. COMPOSICIÓN TÍPICA DE LOS PROCESOS DEL FAENADO.

Las aguas residuales de fabricación de productos cárnicos se caracterizan por presentar un alto contenido de grasa libre, sangre, sólidos flotantes y suspendidos; altas cargas de materia orgánica (DBO₅ y DQO), pH y fosfatos (Oportunidades de Producción Más Limpia en el sector cárnico, 2003: 22).

Los parámetros importantes a evaluar estarán conforme al Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM) ver Tabla 2. (Anexo 1)

Tabla 2. Parámetros considerados para automonitoreo

RUBRO INDUSTRIAL	PARÁMETRO A AUTOMONITOREAR
Productos de carne	1. Potencial de hidrogeno – pH
	2. Sólidos totales
	3. Sólidos suspendidos totales
	4. Demanda bioquímica de oxígeno - DBO ₅
	5. Aceites y grasas
	6. Nitrógeno total
	7. Fósforo total

Fuente: Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM), 2002

En el matadero Municipal se espera que la cantidad de agua residual provenga de 30 a 40% del faenado de los animales y del 60 al 70% agua de limpieza.

Los valores de los parámetros máximos de calidad para descargas en el alcantarillado sanitario son:

Tabla 3. Parámetros Máximos Admisibles para descarga en el Alcantarillado Sanitario

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR MÁXIMO
Temperatura	°C	40
pH		6,5-8,5
Sólidos Sedimentables	mg/l	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	280
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	380
Sólidos Totales	mg/l	2000
Aceites y Grasas	mg/l	20
Nitrógeno como (NO₃)	mg/l	100

Fuente: Reglamento Técnico sobre lanzamiento de efluentes industriales en el alcantarillado sanitario COSAALT LTDA

Los vertimientos de los corrales donde se encierra el ganado contienen excrementos tanto líquidos como sólidos, cuya carga contaminante varía de acuerdo con la existencia de cobertizos y la frecuencia del lavado. En la zona de sacrificio, los desperdicios producen una cantidad considerable de materia en suspensión, la sangre tiene mucho nitrógeno y se descompone con facilidad.

2.1.5. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.

Las concentraciones contaminantes de las aguas residuales de mataderos y frigoríficos, presentan un gran rango de variación dependiendo los procedimientos o técnicas para el sacrificio empleadas y del consumo de agua. En la zona de sacrificio los desperdicios producen una cantidad considerable de material en suspensión, la sangre tiene mucho nitrógeno y se descompone fácilmente.

Es así que para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del matadero de Tarija se deben tener en cuenta la cantidad de SST (Sólidos Suspending Totales) y DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

Para ello se tomaron valores de las características de los afluentes presentados en la Guía Ambiental de Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales, del ministerio de medio ambiente, ver Tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones habituales de contaminantes en el efluente hídrico de un matadero

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Temperatura	°C	20
pH		6,0 – 8,0
Sólidos sedimentables	mg/l	38,0 – 40,0
Sólidos no sedimentables	mg/l	376,0
Sólidos suspendidos	mg/l	570,0
Sólidos Volátiles	mg/l	3066,0
Sólidos fijos totales	mg/l	<516
DQO	mg/l	3400 – 7000
DBO₅	mg/l	1800 – 4000

Fosfatos		40,0
Nitrógeno	mg/l	23,8
Grasas y Aceites	mg/l	1200 – 2000

Fuente: Uribe, E. Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado, 2000

2.1.6. MUESTREO.

Se toman muestras para hacer el análisis de la calidad del agua, con el objetivo que se tenga conocimiento del funcionamiento y la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Tomar una muestra no es tan fácil como parece. Además, puede tener sus implicancias en las actividades posteriores que son la preparación y los análisis, como se puede ver en la imagen de la pirámide (Figura 9), es decir que los efectos de los errores durante el muestreo pueden ser más graves que los errores cometidos durante los análisis de las muestras o en la preparación de las mismas.

Figura 9. Efectos de los errores cometidos



Fuente: Reutelshöfer, T y Guzmán, L. Guía para la toma de muestras de agua residual, 2015

Para evitar errores es fundamental que las personas que tomen muestras tengan conocimiento sobre el proceso del muestreo.

En general, el objetivo es lograr una muestra de una composición representativa que nos indique el estado promedio de la PTAR. Es por eso que estos cuatro principios nos ayudarán a conseguir una muestra con esas cualidades: (Guía para la toma de muestras de agua residual, 2015: 4).

- Lugar: elegir un lugar adecuado para tomar la muestra.
- Tiempo: considerar el tiempo adecuado para tomar la muestra.
- Frecuencia: tomar las muestras en la frecuencia adecuada.

- Técnica: usar una técnica del muestreo adecuada.

2.1.6.1. MUESTRA SIMPLE.

La muestra simple es solo una muestra tomada en un instante. Es muy fácil de hacerla, ya que solamente se toma con un recipiente el agua de la tubería o de una caída. Además es rápido de tomarla. Tiene desventajas que solo indica la composición del agua en el instante en que fue tomada, además los errores durante el muestreo no son relativos. Se utiliza la muestra simple si el agua no presenta alteraciones y cuando no hay tiempo para tomar una muestra compuesta. Este último sucede, por ejemplo, si hay una descarga no usual y extraña que es temporal y de golpe, causada por una descarga industrial. En una situación así no hay tiempo para sacar una muestra compuesta.

2.1.6.2. MUESTRA COMPUESTA.

La muestra compuesta es un término genérico que se le otorga a la mezcla de un número de muestras simples, tomadas durante un cierto periodo de tiempo. Se la usa para conocer las condiciones promedio del agua, con el fin de controlar la eficiencia de una PTAR. En general, las muestras compuestas son aptas para indicar el promedio de las variaciones de la contaminación en el agua.

2.1.6.3. MUESTRA CUALIFICADA.

La técnica cualificada (es un tipo de muestra compuesta) consiste en 5 muestras simples mezcladas y tomadas en por lo menos 8 minutos; así cada muestra se toma en un intervalo de por lo menos 2 minutos. Para hacer esta muestra se necesita más tiempo, paciencia y equipos como un muestreador, un balde limpio y una jarra de medición. Este método presenta un promedio de la contaminación del agua en un periodo de tiempo razonable. Otra ventaja es que un error cometido durante el muestreo de una muestra simple es relativo por el volumen grande y la mezcla con las otras muestras simples.

2.1.7. DETERMINACIÓN DE CAUDALES.

La medición del caudal es un auxiliar necesario de las técnicas de muestreo, sin una medición exacta, no es posible establecer el volumen de los desechos que se descargan sin perjudicar a las aguas receptoras.

La medición del caudal de agua residual en las plantas industriales presenta muchos problemas, porque no existe un procedimiento universal, ya que los caudales deben medirse

en diversas circunstancias y los métodos de medición deben aplicarse a cada condición específica. El tipo de dispositivo de medición de flujo, su ubicación, el costo de instalación, la calidad de los datos de flujo, son factores a tomarse en cuenta.

Existen varias formas de aforo en canales abiertos, para el objeto de estudio nombraremos las principales a utilizarse:

- Método volumétrico
- Método teórico

2.1.7.1. MÉTODO VOLUMÉTRICO.

Es usado para caudales pequeños, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito, así se obtiene:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 2.1}$$

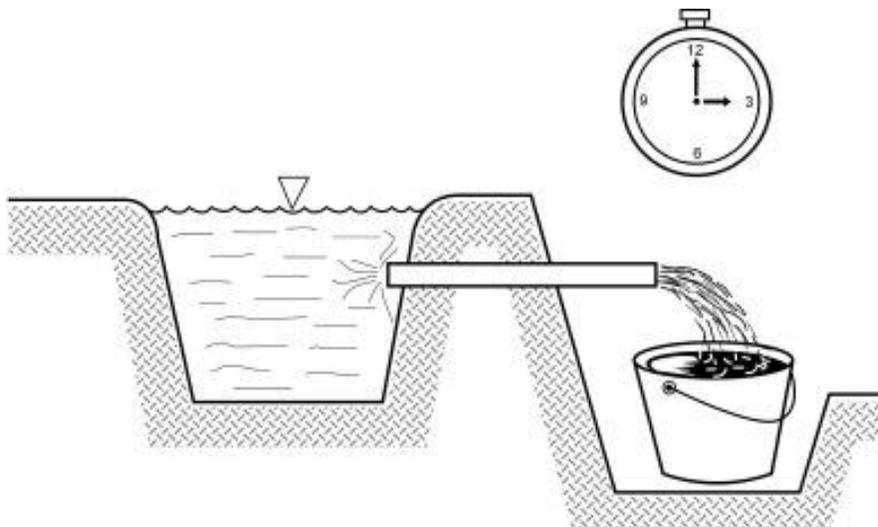
Dónde:

Q = Caudal, en l/s

V = Volumen, en l

t = Tiempo, en s

Figura 10. Aforo volumétrico



Fuente: Alvarado, E. Manual de Medición de Caudales, 2017

2.1.7.2. MÉTODO TEÓRICO.

Para el cálculo de caudales de agua residual generadas en el Matadero Municipal, se tomó en cuenta la cantidad de animales a ser sacrificados (reses y cerdos), en un día de faeneado y el consumo de agua utilizado para la limpieza de los espacios utilizados durante este proceso.

El Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG), a través de su Resolución Administrativa N° 087/2001, en el artículo 24 nos dice que el consumo de agua para cualquier tipo de matadero deberá asegurar una disponibilidad mínima de 800 litros por bovino o bubalino y 400 litros por porcino.

2.1.7.2.1. ÍNDICE DE CONSUMO DE CARNE.

Nos indica la cantidad de carne que consume una persona por día actualmente, este valor es necesario para calcular la demanda futura de carne para un periodo de diseño.

$$ICC = \frac{CC}{Pa} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Dónde:

ICC= Índice de consumo de carne por día

CC= Consumo promedio diario de animales

Pa= Población actual, en hab

2.1.7.2.2. DEMANDA FUTURA.

La demanda futura (Df) de carne se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Df = Pf * ICC \quad \text{Ec. 2.3}$$

Dónde:

Df= Demanda futura de carne por día

ICC= Índice de consumo de carne

Pf= Población futura, en hab

2.1.7.2.3. CAUDAL FUTURO.

El caudal futuro de aguas residuales por faenamiento de animales será:

$$Q_f = D_f * D \quad \text{Ec. 2.4}$$

Dónde:

Q_f = Caudal futuro, en l/s

D_f = Demanda futura de carne por día

D = Dotación de agua por animal, en l

2.1.7.2.4. CAUDAL MEDIO DIARIO.

$$Q_{md} = \sum Q_f \quad \text{Ec. 2.5}$$

En el caudal futuro se considera el caudal futuro para bovinos y el caudal futuro para porcinos expresado en l/s, también se debe considerar la cantidad de agua que se utiliza para limpieza.

2.1.7.2.5. CAUDAL MÁXIMO DIARIO.

En Tabla 5, se muestran los coeficientes de consumo máximo diario K_1 utilizados para determinar el caudal máximo diario; teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema, se encuentra el factor de mayoración o coeficiente de consumo máximo diario, que determinara el nuevo caudal.

Tabla 5. Coeficiente de consumo máximo diario

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario- K_1
Bajo	1,30
Medio	1,30
Medio alto	1,20
Alto	1,20

Fuente: Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

$$Q_{m\acute{a}x.d} = K_1 * Q_{md} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Dónde:

$Q_{m\acute{a}x.d}$ = Caudal máximo diario, en l/s

Q_{md} = Caudal medio diario, en l/s

K_1 = Coeficiente de consumo máximo diario

2.1.7.2.6. CAUDAL MÁXIMO HORARIO.

La Tabla 6, contiene los coeficientes de consumo máximo horario K_2 , utilizados para determinar el caudal máximo horario; teniendo como referencia que tipo de red que se diseñara ya sea red de distribución, red secundaria o red matriz y el nivel de complejidad del sistema, para encontrar el valor que afectara el caudal máximo diario.

Tabla 6. Coeficiente de consumo máximo horario

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución (K_2)	Red secundaria (K_2)	Red matriz (K_2)
Bajo	1,60	-	-
Medio	1,60	1,50	-
Medio alto	1,50	1,45	1,40
Alto	1,50	1,45	1,40

Fuente: Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

$$Q_{m\acute{a}x.h} = K_2 * Q_{m\acute{a}x.d} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde:

$Q_{m\acute{a}x.h}$ = Caudal máximo horario, en l/s

$Q_{m\acute{a}x.d}$ = Caudal máximo diario, en l/s

K_2 = Coeficiente de consumo máximo horario

2.1.8. TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS.

En general, los mataderos presentan elevados contenidos de DBO y solidos suspendidos, por lo tanto, en su proceso de depuración es indispensable la combinación de sistemas de

pretratamiento, tratamiento primario y secundario. A continuación es presentado de manera conceptual cada uno de estos sistemas.

2.1.8.1..PRETRATAMIENTO.

Éste tiene como objetivo principal, separar la mayor cantidad de sólidos suspendidos en el agua residual, que por su naturaleza o tamaño causarían problemas en los procedimientos posteriores (tratamiento primario y secundario), de igual modo separar las grasas y aceites que pueden taponar las tuberías de conducción.

Los sistemas más comunes para dicho pretratamiento son las rejillas, tamices y las trampas de grasas cuya eficiencia garantiza el buen funcionamiento de los procesos posteriores.

a) CANAL DE ENTRADA.

El canal es una estructura abierta a la atmósfera destinada al transporte de fluidos. Los canales pueden ser de dos tipos:

- **Canales Naturales:** Existen de una manera natural en la tierra como por ejemplo: arroyos, arroyuelos, ríos, estuarios de mareas, entre otros.
- **Canales Artificiales:** Son construidos sobre el suelo mediante esfuerzo humano. Pueden ser revestidos con roca, concreto, madera y materiales bituminosos.

• DISEÑO DE UN CANAL ARTIFICIAL.

El diseño de canal artificial se define en términos de la profundidad de flujo y de las dimensiones de la sección. Generalmente se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares siendo así rectangulares, trapezoidales, triangulares, entre otros. Se debe de tener en cuenta algunos elementos geométricos y factores como: tipo de material, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, entre otros. A continuación se presenta los elementos geométricos para la elaboración de un canal artificial de sección rectangular:

Altura del agua en el canal:

Indica la altura del agua en el canal. Se lo calcula a partir de la ecuación de continuidad:

$$Q = A * V \quad \text{Ec. 2.8}$$

Dónde:

Q=Caudal de diseño, en m³/s

A=Área del canal, en m²

V=Velocidad mínima permisible, en m/s

Radio hidráulico:

El Radio Hidráulico es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, es la relación entre:

$$R_H = \frac{A}{P} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Velocidad:

El cálculo de la velocidad en el canal se determinará por medio de la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

n= Coeficiente de Manning, adimensional

R_H=Radio Hidráulico, en m

S=Pendiente del canal, en m/m

b) TANQUE DE REGULACIÓN.

Los tanques de regulación son estructuras civiles destinadas a la regulación del agua residual. Tienen como función almacenar y suministrar el agua residual al sistema en la cantidad necesaria.

• DISEÑO DEL TANQUE DE REGULACIÓN.

Volumen de Regulación:

La capacidad del Tanque de Regulación se calcula con la siguiente expresión:

$$V_r = C * Q_{máx.d} * t \quad \text{Ec. 2.11}$$

Dónde:

V_r=Volumen de regulación, en m³

C=Coeficiente de regulación

Sistemas a gravedad 0,15 a 0,30

Sistemas por bombeo 0,15 a 0.25

$Q_{m\acute{a}x,d}$ =Caudal máximo diario, en m³/d

t=Tiempo, en días (1 día como mínimo)

c) REJILLAS.

Las rejillas separan fácilmente cargas voluminosas que son transportadas por el agua residual luego del uso en el centro de sacrificio animal.

Tabla 7. Características de las rejillas de barras

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 15,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Perdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente: Romero, J. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño, 2001

La Tabla 7, incluye las características principales de los dos tipos de rejillas usados, de limpieza manual y mecánica. Se observa que la limpieza mecánica permite barras más anchas, pendiente de la rejilla más recta y una velocidad de acercamiento mayor, lo cual mejoraría el rendimiento de la planta de tratamiento.

• REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL.

Se instalan en depuradoras pequeñas y son inclinadas (usualmente a 60° respecto de la horizontal) para facilitar las labores de limpieza del operario, quien retira los sólidos retenidos en la rejilla con ayuda de un rastrillo u otra herramienta similar dentada y los dispone temporalmente en una lámina perforada o canastilla, conocida como depósito escurridor, para eliminar el agua.

Figura 11. Rejilla media con lámina perforada para escurrimiento del material extraído



Fuente: Lozano, W. Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales, 2012.

- **REJILLAS DE LIMPIEZA MECÁNICA.**

Llamadas también rejillas de limpieza automática; éstas suelen instalarse en depuradoras grandes cuyos grandes caudales arrastran ingentes cantidades de materiales gruesos de forma permanente, que no podrían ser evacuados manualmente. Estas rejillas suelen ser verticales, con inclinaciones que varían entre los 80 y 90° respecto de la horizontal.

Los mecanismos de limpieza son variables dependiendo del fabricante; los más usuales son los de barras dentadas o los de peines giratorios.

Figura 12. Rejilla de limpieza mecánica con peine giratorio



Fuente: Lozano, W. Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales, 2012

- **DISEÑO DE REJILLA.**

Los criterios de diseño de las rejillas se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas. Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos en el canal ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes de la reja. (Romero, J, 2001: 288)

Área útil del canal en la zona de la rejilla:

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x.d}}{V} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Dónde:

A_u = Área útil del canal en la zona de la rejilla, en m^2

$Q_{m\acute{a}x.d}$ =Caudal máximo horario, en m^3/s

V =Velocidad de paso entre la rejilla, en m/s

Porcentaje de área de flujo:

$$E = \frac{b}{b+w} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Dónde:

E =Porcentaje de área de flujo, en %

b = Espacio entre barras, en m

w = Espesor de barra, en m

Área total en la zona de rejillas:

$$A_t = \frac{A_R}{E} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Dónde:

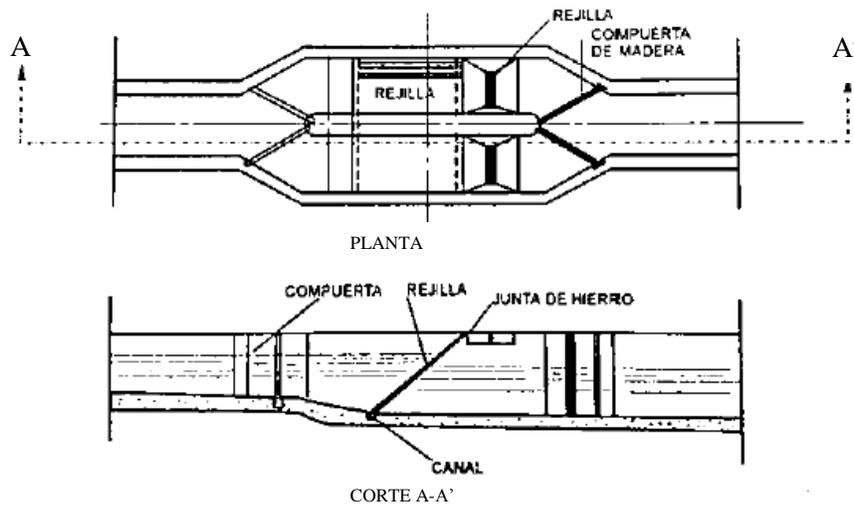
A_t =Area total en la zona de rejillas, en m^2

A_R = Área útil del canal en la zona de la rejilla, en m^2

E =Porcentaje de área de flujo, en %

Debido a que los barrotes restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, se hace necesario, en ocasiones, incrementar el ancho del canal en la zona donde está ubicada la criba o aumentar la profundidad (Figura 13)

Figura 13. Zona de rejillas



Fuente: Romero, J. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño, 1999

Profundidad en la zona de rejillas.

Para estimar el ancho o la profundidad en la zona de la rejilla, se puede emplear la siguiente expresión:

$$P = Q * \frac{b+L}{\left(1-\frac{G}{100}\right) * V_P * L * B_C} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Dónde:

P= Profundidad en la zona de rejillas, en m

Q= Caudal de aguas residuales, en m³/s

V_P= Velocidad de paso entre la rejilla, en m/s

b= Ancho de los barrotes, en m

B_C= Ancho del canal, en m

L= Luz o espacio entre barrotes, en m

G= Grado de colmatación (usualmente se adopta un valor de 30%)

Ancho de rejilla:

$$W_r = \frac{A_t}{P} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Dónde:

W_r=Ancho de rejilla, en m

A_t=Area total en la zona de rejillas, en m²

P= Profundidad en la zona de rejillas, en m

Ancho útil de rejilla:

$$W_u = \frac{A_u}{P} \quad \text{Ec. 2.17}$$

Dónde:

W_u =Ancho útil de rejilla, en m

A_u = Área útil del canal en la zona de la rejilla, en m²

P= Profundidad en la zona de rejillas, en m

Ancho total barras:

$$W_b = W_r - W_u \quad \text{Ec. 2.18}$$

Número de barras:

$$N = \frac{W_b}{w} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Dónde:

N=Número de barras

W_b =Ancho total de barras, en m

w= Espesor de barra, en m

Cálculo de la pérdida de carga en la rejilla:

La pérdida de carga generada por la rejilla (diferencia de altura de la lámina de agua antes y después del paso por la rejilla se puede calcular según la fórmula de Kirshmer propuesta por Lozano-Rivas (Lozano. W, 2012: 58)

$$hf = K * \left(\frac{w}{b}\right)^{3/4} * \sin \alpha * \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Dónde:

hf=Pérdida de carga generada por la rejilla, en m

K=Factor de forma de la barra

K=2,42 para barras rectangulares de cara recta

K=1,67 para barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba y abajo

K=1,83 para barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba

K=1,79 para barras circulares

w=Espesor de barra, en m

b= Espacio entre barras, en m

α =Angulo de la rejilla con la horizontal

V= Velocidad asumida entre barras, en m/s

g=Gravedad, en m/ s²

2.1.8.2. TRATAMIENTO PRIMARIO.

Tiene como objetivo remover los contaminantes que se pueden sedimentar y algunos flotar, que no fueron eliminados por el pretratamiento, como las grasas y el estiércol. Los sistemas de tratamiento primario más comunes son:

a) TRAMPA DE GRASAS.

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas. (Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico-Título E, 2000: 29)

• DISEÑO DE LA TRAMPA DE GRASAS.

Tiempo de retención hidráulica:

Tabla 8. Tiempos de retención hidráulicos

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)
3	2 – 9
4	10 – 19
5	20 o más

Fuente: Reglamento Técnico de agua potable y saneamiento básico, 2000

Volumen del sistema:

$$V = Q * T_r * 60 \quad \text{Ec. 2.21}$$

Dónde:

V=Volumen del sistema, en m³

Q=Caudal de diseño, en m³/s

T_r=Tiempo de retención hidráulica, en s

Área superficial:

$$A_s = \frac{Q}{q_s} \quad \text{Ec. 2.22}$$

Dónde:

A_s=Área superficial, en m²

Q= Caudal de diseño, en m³/s

q_s= carga superficial, en l/s/m²,

El valor de la carga superficial, debe estar entre 2,50 a 4,00 l/s/m².

El tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4mm/s.

Entradas y salidas.

El diámetro de la entrada debe ser de un diámetro mínimo de 50 mm y el de la salida de por lo menos 100 mm. El extremo final del tubo de entrada debe tener una sumergencia de por lo menos 150 mm. El tubo de salida para que haga la recolección debe localizarse por lo menos a 150 mm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos 0,9m.

Remoción de Aceites y grasas.

Para el cálculo se considera que las trampas de grasa remuevan hasta un 90%, aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(AyG)_{inicial} - (AyG)_{salida}}{(AyG)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 2.23}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(AyG)_{salida} = (AyG)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (AyG)_{inicial} \quad \text{Ec. 2.24}$$

Dónde:

AyG_{inicial}=Concentración del afluente del sistema, en mg/l

AyG_{salida} = Concentración a la efluente del sistema, en mg/l

%Remoción = Porcentaje de remoción en el sistema

Remoción de la DQO.

Para el cálculo de la remoción de la DQO se considera que las trampas de grasa remuevan hasta un 20% de la DQO.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(DQO)_{inicial} - (DQO)_{salida}}{(DQO)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 2.25}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(DQO)_{salida} = (DQO)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (DQO)_{inicial} \quad \text{Ec. 2.26}$$

Dónde:

$DQO_{inicial}$ = Concentración de la DQO del afluente del sistema, en mg/l

DQO_{salida} = Concentración de la DQO del efluente del sistema, en mg/l

%Remoción = Porcentaje de remoción en el sistema

Remoción de la DBO_5 .

Para el cálculo de la remoción de la DBO_5 se considera que las trampas de grasa remuevan hasta un 20% de la DBO_5 .

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(DBO_5)_{inicial} - (DBO_5)_{salida}}{(DBO_5)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 2.27}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(DBO_5)_{salida} = (DBO_5)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (DBO_5)_{inicial} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Dónde:

$DBO_{5inicial}$ = Concentración de la DBO_5 del afluente del sistema, en mg/l

$DBO_{5salida}$ = Concentración de la DBO_5 del efluente del sistema, en mg/l

%Remoción = Porcentaje de remoción en el sistema

b) SEDIMENTADOR.

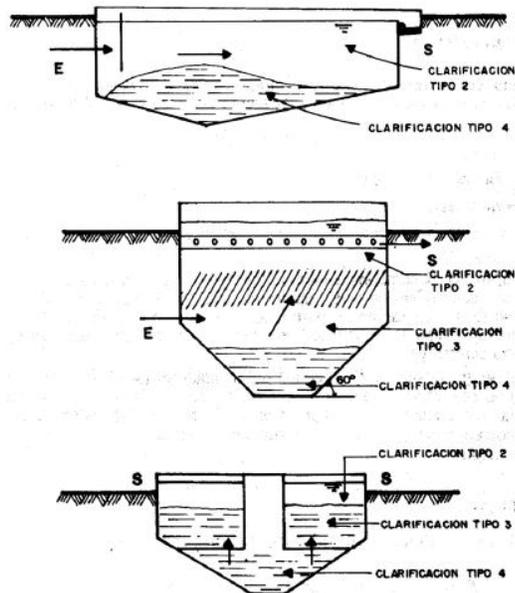
Su objetivo es la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento, en la cual el agua residual es sometida a condiciones de reposo para garantizar su sedimentación.

Los sedimentadores son unidades de gran tamaño, debido a los altos tiempos de retención hidráulica que emplean. Luego del proceso de decantación, queda como producto agua residual clarificada y un lodo o fango primario.

Los sedimentadores que se usan en el tratamiento de las aguas residuales pueden clasificarse en:

- Circulares: el agua ingresa ascendiendo por el centro y es recogida en un canal perimetral.
- Rectangulares: el agua ingresa por un extremo y es extraída por el opuesto.

Figura 14. Tipos de sedimentación para diferentes unidades



Fuente: Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales, 2012

- **SEDIMENTADORES CIRCULARES.**

Son de uso común en plantas de tratamiento, ya que se puede lograr una buena remoción de lodos, el sistema de flujo es radial, para lo cual el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque.

Comúnmente se emplea unidades de alimentación central en donde el agua residual es llevada por tubería al centro del tanque, luego el agua pasa por una campana circular para distribuir el flujo en todas las direcciones. La campana circular tiene un diámetro entre 15–

20% del diámetro total del tanque y una profundidad entre 1 – 3,5 m. (Metcalf y Eddy, 1995: 251)

La remoción de los lodos es mediante rastras para tanques con diámetros menores de 15m, y para grandes cantidades de lodo se usa unidades con succionadores.

Los vertederos de salida se extienden en forma usual alrededor de la periferia del tanque con deflectores que se extienden de 200 a 300 mm bajo la superficie del agua.

- **SEDIMENTADORES RECTANGULARES.**

Son mucho menos usados que los circulares. El ingreso del agua residual se hace a través de un vertedero con un deflector frontal que permite el ingreso por la parte baja de la unidad y disminuye la energía del flujo. Para la salida del efluente, en el extremo opuesto, se emplea un vertedero dentado. Los lodos y las natas son empujados por unas rasquetas adosadas a un puente móvil que se desplaza a lo largo de la unidad. Otra opción es el uso de rasquetas movidas por una cadena sinfín.

Estos tanques pueden ser rectangulares o circulares. Las partículas que aquí se sedimentan son de tipo orgánico y el proceso de este es floculento.

- **DISEÑO DEL SEDIMENTADOR.**

A continuación se muestra una tabla, en la cual se indican los parámetros de diseño de los sedimentadores primarios. (Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico-Título E, 2000: 54)

Tabla 9. Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario

PARÁMETROS	INTERVALO	TÍPICO
RECTANGULAR		
Profundidad (m)	3-4,5	3,6
Longitud (m)	15-90	25-40
Anchura (m)	3-25	5-10
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,6-1,2	0,9

CIRCULARES		
Profundidad (m)	3-3,4	3,6
Longitud (m)	3-60	12-45
Anchura (m)	6,25-16	8
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,02-0,05	0,03

Fuente: Metcalf y Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales, 1995

Volumen del tanque.

Para el cálculo del volumen del tanque se parte de la ecuación del tiempo que permanece el agua residual en el tanque o sistema denominado tiempo de retención hidráulica, se calcula a partir de la ecuación que se describe a continuación:

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 2.29}$$

Dónde:

Tr=Tiempo de retención, en h

V=Volumen del sedimentador primario, en m³

Q=Caudal de diseño, en m³/h

De la ecuación se despeja el volumen:

$$V = Q * tr \quad \text{Ec. 2.30}$$

Radio mayor del tanque.

Para el cálculo del radio del tanque se parte de la ecuación del volumen del tanque de sedimentación primaria, por ser un sedimentador circular y de acuerdo a la tabla 10 se establece una altura.

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} \quad \text{Ec. 2.31}$$

Dónde:

V=Volumen del tanque, en m³

h= Altura del tanque, en m

r= Radio del tanque, en m

Diámetro mayor del tanque.

Se determina usando la Ec. 2.32 en función al radio determinado anteriormente.

$$d = 2 * r \quad \text{Ec. 2.32}$$

Dónde:

d=Diámetro del sedimentador, en m

r=Radio del tanque sedimentador, en m

Área del tanque.

Como el sedimentador a dimensionar es circular, el área del tanque se calcula en base a la ecuación del área del círculo, con la siguiente ecuación:

$$A_S = \pi * r^2 \quad \text{Ec. 2.33}$$

Dónde:

r=Radio del tanque sedimentador, en m

A=Área superficial del tanque sedimentador, en m²

Carga superficial.

La carga superficial expresa la velocidad de sedimentación teórica a partir de la cual las partículas serán removidas por la estructura, por tanto la capacidad de sedimentación es independiente de la profundidad y del periodo de permanencia de la partícula. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_S = \frac{Q}{A_S} \quad \text{Ec. 2.34}$$

Dónde:

C_S= Carga superficial, en m³/m*d

A_S= Área Superficial del sedimentador, en m²

Q= Caudal de diseño, en m³/d

Sin embargo los tanques de sedimentación primaria, poseen estándares de diseño que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10. Consideraciones de diseños de sedimentación primaria

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario		
Tiempo de retención (h)	1,5-2,5	2
Carga superficial (m³/m*d)	32-48	-

Carga sobre vertedero (m ³ /m*d)	10000-40000	20000
Sedimentación primaria con adición del fango activo en exceso		
Tiempo de retención (h)	1,5-2,5	2
Carga superficial (m³/m*d)	24-60	-
Carga sobre vertedero (m ³ /m*d)	10000-40000	20000

Fuente: Metcalf y Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales, 1995

Fondo del sedimentador.

Para ello se hizo uso del gradiente hidráulico el cual se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua. Para su cálculo se emplea la Ec. 2.35.

$$i = \tan \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{Ec. 2.35}$$

Dónde:

i=Gradiente hidráulico, adimensional (10-20%)

Δy =Cateto opuesto de α , en m

Δx =Cateto adyacente de α , en m

Despejando el cateto opuesto se tiene:

$$\Delta y = i * \Delta x \quad \text{Ec. 2.36}$$

Donde Δx es la pendiente que debe tener la base cónica del tanque de sedimentación primaria.

Profundidad de almacenamiento de lodos.

La profundidad depende del tipo de limpieza de lodos que se practique en la planta. Se recomienda una capa de lodos de 30 a 45 cm por motivos operacionales.

Entradas y salidas.

Las entradas deben diseñarse para dispersar la corriente de alimentación, difundir homogéneamente el flujo por todo el tanque y evitar los cortocircuitos. Las entradas pueden ser similares a vertederos, pero lo que más se usa es un canal de compuertas espaciadas. Se recomienda una distancia mínima de 3.0 m entre la entrada y la salida y una velocidad de

entrada de 0.3 m/s. Además, se recomiendan situar las estructuras de disipación a una distancia entre 0.6 y 0.9 m de la entrada y sumergidos unos 0.45 a 0.60 m según la profundidad del tanque. (Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000: 61)

Remoción de DBO₅ y Sólidos Suspendidos.

La eficiencia de remoción de DBO₅ y sólidos suspendidos, está en función de la concentración del afluente y del tiempo de retención con la Ec. 2.37 y los valores de a y b se encuentran en la Tabla 11.

$$\%Remoción = \frac{tr}{a+b*tr} \quad \text{Ec. 2.37}$$

Dónde:

%Remoción=Porcentaje de remoción esperado, en %

Tr=Tiempo de retención, en h

a y b= Constantes empíricas

Tabla 11. Valores de las constantes empíricas, a y b

Variables	a y h	B
DBO₅	0,018	0,02
SST	0,0075	0,014

Fuente: Crites, R. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones

Remoción de DQO.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(DQO)_{inicial} - (DQO)_{salida}}{(DQO)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 2.38}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(DQO)_{salida} = (DQO)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (DQO)_{inicial} \quad \text{Ec. 2.39}$$

Dónde:

DQO_{inicial}=Concentración de la DQO del afluente del sistema, en mg/l

DQO_{salida}=Concentración de la DQO del efluente del sistema, en mg/l

%Remoción=Porcentaje de remoción en el sistema

Remoción de Sólidos Suspendidos totales.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(SST)_{inicial} - (SST)_{salida}}{(SST)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 2.40}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(SST)_{salida} = (SST)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (SST)_{inicial} \quad \text{Ec. 2.41}$$

Dónde:

$SST_{inicial}$ = Concentración de la SST del afluente del sistema, en mg/l

SST_{salida} = Concentración de la SST a la efluente del sistema, en mg/l

$\%Remoción$ = Porcentaje de remoción en el sistema

Remoción de Sólidos Sedimentables.

En el cálculo se consideró una remoción del 90% para los sólidos sedimentables con una gravedad específica de 1,20, que es mayor a la del agua, por tal razón es una remoción casi completa de los sólidos.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(SSed)_{inicial} - (SSed)_{salida}}{(SSed)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 2.42}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(SSed)_{salida} = (SSed)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (SSed)_{inicial} \quad \text{Ec. 2.43}$$

Dónde:

$SSed_{inicial}$ = Concentración de la SSed del afluente del sistema, en mg/l

$SSed_{salida}$ = Concentración de la SSed a la efluente del sistema, en mg/l

$\%Remoción$ = Porcentaje de remoción en el sistema

2.1.8.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Los procesos secundarios o biológicos para el tratamiento de aguas residuales se plantean para generar la remoción de contaminantes mediante la actividad Biológica (microorganismos), esta es aprovechable en la remoción principalmente de sustancia orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas del agua residual, mediante la conversión en gases que se liberan a la atmósfera y biomasa extraíble mediante sedimentación. Estos procesos se emplean junto con procesos físicos y químicos para el tratamiento preliminar y primario del agua residual. Existen dos tipos de tratamientos biológicos, uno de tipo aerobio y el otro de tipo anaerobio.

El tratamiento aerobio es aquel en el cual se degrada la materia orgánica por medio de microorganismos que requiere de la presencia de oxígeno, convirtiéndola en dióxido de carbono, agua y biomasa contenida en los lodos.



La eficiencia de este tipo de tratamiento en términos de la demanda biológica de oxígeno (DBO), es superior al 95%; con procesos de biomasa de forma fija o suspendida. Algunas de las tecnologías utilizadas son:

- Lodos Activados.
- SBR (Reactor Secuencial por Lotes).
- MBR (Bio-Reactor de Membrana).
- Digestión Aerobia de Lodos.
- Reactor de Cama Móvil (MBBR).
- Filtro Percolador.
- Filtro Sumergido.
- Procesos Aerobios de Alta Tasa.
- Contacto-Estabilización.
- Lagunas de Oxidación.
- Lagunas Aireadas.
- Lagunas Facultativas.

Las ventajas de este tratamiento es que hay ausencia de olores y mineralización de todos los compuestos biodegradables; pero requieren de mucha energía eléctrica en la oxigenación y mezcla; genera alta producción de lodos por la tasa alta de síntesis celular.

El tratamiento anaerobio es aquel en el cual se degrada la materia orgánica por medio de microorganismos que trabajan en ambientes con ausencia total de oxígeno, generando como productos finales metano, materia celular y dióxido de carbono.

En forma general el tratamiento anaerobio se caracteriza porque puede eliminar fácilmente picos de concentración de materia orgánica, sin que esto repercuta en la estabilidad de su operación. La eficiencia de este tipo de tratamiento esta entre “70 y 90% de reducción en términos de la DQO y entre un 75 y 95% de reducción en términos de la DBO”.

Algunas de las tecnologías utilizadas son:

- Reactor Anaerobio de Cama de Lodos y Flujo Ascendente (UASB).
- Reactor Anaerobio de Cama de Lodo Granular Expandida (EGSB).
- Bio-Reactoer Anaerobio de Membrana (AnMBR).
- Reactor anaerobio de contacto.
- Digestión Anaerobia de Lodos.
- Filtro Anaerobio.
- Tanque séptico.
- Tanque Imhoff.
- Laguna Anaerobia.

Los procesos de digestión anaerobia ofrecen múltiples ventajas que resultan ser significativas frente a otros procesos biológicos de tratamiento, como son: menor generación de lodos; el lodo producido es razonablemente estable lo que permite que pueda secarse y disponerse en métodos convencionales; al no requerir de oxígeno usa poca energía eléctrica; es adaptable en aguas residuales con altas concentraciones orgánicas; produce metano el cual presenta un valor calorífico de aproximadamente 36500KJ/m³; requiere de un menor espacio, con costos globales más bajos. Entre sus desventajas se presenta que para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas; el medio es corrosivo; exige un intervalo de operación de pH bastante restringido; requiere concentraciones altas de alcalinidad y puede presentar olores desagradables por el ácido sulfhídrico, ácidos grasos y amidas.

Teniendo en cuenta los dos tipos de tratamientos biológicos mencionados anteriormente, sus ventajas y desventajas, para los fundamentos de diseño, se tomará en el caso de la planta de sacrificio de Tarija, los tratamientos anaerobios ya que son los que presentan las características para que sean aplicables al proyecto final, basándonos especialmente en que presenten un menor costo de operación, al no necesitar aireación y al presentar poca generación de lodos, por lo que es una buena forma de reducir costos en el mantenimiento, tratamiento, y vertido de lodos.

2.1.8.4. TRATAMIENTO TERCIARIO.

El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que un tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del

efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es el vertido directo a un río o lago receptor.

En el tratamiento de agua residual de mataderos no se recomienda utilizar ninguno de los tratamientos avanzados por razones de costo y complejidad de los sistemas.

a) TANQUE DE CONTACTO DE CLORO.

Los tanques de contacto son estructuras hidráulicas enmarcadas normalmente en las plantas de tratamiento de agua; plantas potabilizadoras, depuradoras, etc. En ellas, el agua se pone en contacto con algún agente desinfectante para inactivar cualquier patógeno antes de devolverla al medio. Aunque existen múltiples tipos de desinfectante como el ozono o los rayos UV, el más empleado es el cloro, suministrado bien en forma pura, o más habitualmente mediante la adición al flujo de algún compuesto clorado.

• DISEÑO DE UN TANQUE DE CONTACTO DE CLORO.

Dimensiones del tanque:

$$V = Q * t \quad \text{Ec. 2.44}$$

Dónde:

V=Volumen del tanque de contacto de cloro, en m³

Q=Caudal de diseño, en m³/s

t= Tiempo de contacto, en min

El tiempo de contacto recomendado es de 15 – 30 min.

Área del tanque de contacto de cloro:

$$A = \frac{V}{H} \quad \text{Ec. 2.45}$$

Dónde:

A=Área del tanque de contacto de cloro, en m²

V=Volumen del tanque de contacto de cloro, en m³

H=Altura del tanque de contacto de cloro, en m

Se recomienda una relación Largo/Ancho de 3:1.

2.1.8.5. REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS.

El objetivo más importante al respecto es la transformación de un problema inicial en un recurso. El principio que aplica en la selección del modelo es el reconocimiento del destino final del efluente o del reúso que se le pretenda dar al agua. La optimización del uso del agua mediante el reúso se relaciona con el ámbito agrícola y forestal; de la producción pecuaria, la industria de la construcción y la fabricación de concreto; con entornos recreacionales y algunos otros que con toda seguridad surgirán en el futuro, dadas las limitaciones actuales de abastecimiento de agua.

a) REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN AGRICULTURA.

Las principales ventajas son: las disponibilidad permanente de agua, incremento en la producción como resultado de un aporte rico en nutrientes orgánicos e inorgánicos y mejoramiento de los suelos. Según estudios de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), los aportes que generan los efluentes de las lagunas de estabilización en nutrientes inorgánicos tales como nitrógeno (N) y fósforo (P) en una carga de riego del orden de los 20 000 m³/ha/año oscilan entre los 15 mg/L de N, y 3 mg/L de P. Lo anterior genera tasas de aplicación del orden de los 300 kg/ha de N, y 60 kg/ha de P. Lo anterior aplica a los cultivos de frijol, maíz, col y brócoli. Estudios en cultivos de ajo, comparando riego con aguas limpias de pozo contra aguas residuales, demuestran un incremento del 10% en peso del producto seco, 5% de mayor diámetro de los bulbos, ajos con menor número de deformaciones, mayor acumulación de Zinc (Zn) en el suelo, causa posible del mayor

rendimiento. Según estudios llevados a cabo en el Perú, se han medido en toneladas métricas por hectárea, un incremento en el uso de aguas negras en vez de agua limpia, para el maíz de dos a cinco Tm/ha, para el trigo de dos a tres Tm/ha, para el tomate de 18 a 35 Tm/ha. Algunas condiciones de riego contribuyen a mejorar el rendimiento. Entre las más relevantes se encuentran los requerimientos de cantidad de agua, la calidad de la misma, el sistema de irrigación utilizado, el método de riego, y la capacidad de drenaje entre otros. Existen restricciones en el reúso de las aguas residuales en agricultura. Las más importantes son la contaminación microbiológica, la bioacumulación de elementos tóxicos, la salinización del suelo (compuestos nitrogenados, cloro (Cl), sodio (Na) y potasio (K) entre otros; en ciertas concentraciones generan entre otros problemas, variaciones del pH y la reducción de capacidad de percolación del agua en el terreno y un desbalance de los nutrientes. Cuando se considere la posibilidad del reúso en riego, deberán evaluarse específicamente en el agua y en el suelo por cultivar, la concentración total de sales disueltas, la conductividad eléctrica, la tasa de absorción de sodio, la presencia de trazas de metales pesados y el pH. Así también, según cada cultivo por cosechar se revisará la calidad sanitaria requerida del agua y si el riego para este tipo de cultivo es irrestricto. Considerar la salinidad encontrada en las pruebas, si el cultivo es sensitivo, semitolerante o tolerante, y si los niveles de sodio, cloruros, boro y nitrógeno no resultan excesivos. El boro presente en los detergentes sintéticos resulta tóxico para las plantas, principalmente los cítricos, por lo que deberá tenerse especial cuidado con dicho elemento al realizar el análisis de reúso del efluente. Las prácticas de manejo de las aguas residuales para reúso en riegos agrícolas se considerarán siempre de tipo especial. Se tendrá como propósitos que acompañan el incremento de la producción agrícola, la conservación del suelo, la protección de la calidad de los productos y la protección de la salud de los agricultores. El criterio más importante en el reúso de las aguas residuales en agricultura no es la remoción de DBO₅, sino la reducción sustancial de agentes patógenos en el agua. Este concepto habrá de servir para definir los diseños de tratamiento, así como para el reconocimiento de los sistemas de tratamiento existentes, y si son viables en el reúso de los efluentes en el área agrícola.

b) EL REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN FORESTARÍA.

Existen ciertas ventajas en relación con el reúso agrícola, tales como menor caudal por unidad de área; es necesaria una menor calidad de agua en relación al aspecto bacteriológico y finalmente, los costos del tratamiento son más bajos. Otras ventajas relacionadas con el producto final versus riego con aguas limpias que se pueden anotar son el incremento sustancial de fibras en la madera y del grosor y la altura de los árboles maderables, en especies de pino, eucaliptos y especies mixtas. Es necesario disponer de una clasificación, según el objetivo del recurso forestal y en función de éste anticipar el aprovechamiento del recurso. Éste puede ser para uso en franjas perimetrales y cercos vivos, viveros forestales, producción de madera y derivados, entornos ecológicos y para la protección de laderas.

c) EL REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA FABRICACIÓN DE CONCRETO.

Se admite la fabricación de concreto con aguas residuales si los cubos de mortero producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días, iguales a por lo menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada (Norma ASTM C109). Debe tomarse en consideración que las impurezas excesivas en el agua afectan el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto; además, serán causa de manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y durabilidad. La mayor parte de las aguas que llevan desperdicios industriales tienen menos de 4000 ppm de sólidos totales. Cuando éstas se usan como aguas de mezclado para el concreto, la reducción en la resistencia a la compresión generalmente no es mayor que del 10% al 15%. Las aguas negras típicas pueden tener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica. Luego de que estas aguas se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se reduce aproximadamente a 20 ppm o menos. Esta cantidad es demasiado pequeña para tener efecto de importancia en la resistencia.

Importa el efecto que las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales puedan tener en el tiempo de fraguado del cemento portland o en la resistencia última del concreto. Las aguas que estén muy coloreadas, las aguas con olor notable o aquéllas que contengan visiblemente algas verdes o cafés, deberán ser vistas con desconfianza y en consecuencia ensayadas.

2.1.8.6. TRATAMIENTO DE LODOS.

a) LECHO DE SECADO.

Los Lechos de Secado son sistemas sencillos y de bajo costo que permiten la deshidratación de los lodos digeridos. Estos dispositivos eliminan el agua presente en los lodos a manera de evaporación, quedando como residuo un material sólido con un contenido de humedad inferior al 70 %. El lodo seco se retira del lecho y se utiliza como acondicionador de suelos a su vez se evacúa a un vertedero controlado. Gracias a su diseño económico su uso como tratamiento resulta ideal.

• DISEÑO DEL LECHO DE SECADO.

Geometría del Lecho de Secado: El diseño típico del lecho de secado es una caja en forma rectangular poco profunda que puede tener o no un sistema de drenaje. El lodo se aplica sobre el lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor y se deja secar al ambiente.

Carga de Sólidos que ingresa al sedimentador:

$$C = Q * SST \quad \text{Ec. 2.46}$$

Dónde:

Q=Caudal de diseño, el l/s

ST=Sólidos Totales, en mg/l

Masa de Sólidos que conforman los lodos:

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ec. 2.47}$$

Volumen diario de lodos digeridos:

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left(\frac{\%Sólidos}{100\%} \right)} \quad \text{Ec. 2.48}$$

Dónde:

ρ_{lodo} =Densidad del lodo, en Kg/l

$\%_{\text{sólidos}}$ =Porcentaje de sólidos, en %

El porcentaje de sólidos se refiere a los sólidos que están presentes en el lodo, y que varían entre el 8 y 12%.

Volumen de lodos a extraerse:

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad \text{Ec. 2.49}$$

Dónde:

Td=Tiempo requerido para la digestión de lodos, en d

El tiempo de digestión varía según la temperatura, es por ello que los valores para el mismo se asumirán en base a la siguiente tabla:

Tabla 12. Tiempo requerido para la digestión de lodos

Temperatura °C	Tiempo de digestión días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización, 2005

Área del Lecho de secado:

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad \text{Ec. 2.50}$$

Dónde:

Ha=Profundidad de aplicación, en m

Área individual de los lechos de secado:

$$Als_i = \frac{Als}{N^\circ \text{ Lechos}} \quad \text{Ec. 2.51}$$

Dónde:

N° Lechos=Número de Lechos, adimensional

Longitud del lecho de secado:

$$L = \frac{Als_i}{b} \quad \text{Ec. 2.52}$$

Dónde:

b=Ancho del lecho, en m

El centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente recomienda asumir para el ancho del lecho de secado valores entre 3 y 6 m.

Medio de Drenaje.

El medio de drenaje es generalmente de 0,30 m de espesor y debe tener los siguientes componentes:

- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm. formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm. llena de arena.
- La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3 mm.
- Debajo de la arena se deberá colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51 mm (1/6" y 2") de 0,20 m de espesor.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

De acuerdo a la investigación que se realizará, se conforma un sistema de conceptos básicos, que constituye los fundamentos de los procesos epistemológicos que buscan plantear, complementar y sustentar el análisis textual de tratamientos de aguas residuales industriales.

Los conceptos a considerar son:

2.2.1. TRATAMIENTO.

Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas.

2.2.2. CARCASAS.

Es el cuerpo del animal sacrificado, sangrado, desollado, eviscerado, sin cabeza ni extremidades. La carcasa o canal es el producto primario; es un paso intermedio en la producción de carne, que es el producto terminado. La canal es un continente cuyo contenido es variable y su calidad depende fundamentalmente de sus proporciones relativas en términos de hueso, músculo y grasa. (Máximo de carne, mínimo de hueso y óptimo de grasa).

2.2.3. FAENADO.

Es el proceso ordenado sanitariamente para el sacrificio de un animal, con el objeto de obtener su carne en condiciones óptimas para el consumo humano. El faenamamiento se debe llevar a cabo siguiendo las normas técnicas y sanitarias.

2.2.4. POTENCIAL DE HIDROGENO-pH.

La totalidad de las aguas presentan concentraciones de hidrógeno (pH), la cual varía dependiendo de las sustancias en ella presente en el rango de 0-14, considerándose ácidas las aguas que presentan valores inferiores a 7 y alcalinas las que presentan valores superiores a 7.

2.2.5. SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

En general los sólidos crean problemas estéticos en el agua, corrosión de tuberías al modificar el pH del agua.

2.2.6. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.

Este tipo de sólido da lugar a la acumulación de lodos y condiciones anaeróbicas de los cuerpos de agua receptores.

2.2.7. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).

Es un parámetro que mide la cantidad de dióxigeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

2.2.8. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).

Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

2.2.9. GRASAS Y ACEITES.

Su presencia ocasiona la formación de una capa que deteriora su capacidad visual y evita el intercambio de gases entre masa de agua y la atmósfera, dando origen a condiciones anaeróbicas que causan la muerte a la fauna y vegetación de los cuerpos de agua.

2.2.10. NITRÓGENO.

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés sanitario debido a que son indicadores del grado de contaminación de las aguas y el tiempo que ha transcurrido desde la descarga de la carga contaminante (nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos).

2.2.11. FÓSFOROS.

El principal impacto generado con la descarga de fosfatos a los cuerpos de agua tiene que ver con la aparición de procesos de eutrofización es decir, crecimiento excesivo de las plantas que ocasiona la pérdida del espejo de agua con la consecuente muerte de la fauna presente.

2.2.12. AFORAR.

Aforar el agua consiste en medir el caudal del agua. En vez de caudal también se puede emplear los términos gasto o descarga.

2.2.13. FLOCULACIÓN.

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

2.2.14. FLOCS.

El floc es un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.

2.2.15. AEROBIO.

Se denominan aerobios o aeróbicos a los organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno diatómico. El concepto se aplica no sólo a organismos sino también a los procesos implicados (metabolismo aerobio) y a los ambientes donde se llevan a cabo. Un ambiente aerobio es aquel rico en oxígeno.

2.2.16. ANAEROBIO.

Los organismos anaerobios o anaeróbicos son los que no utilizan oxígeno (O_2) en su metabolismo, más exactamente que el aceptor final de electrones es otra sustancia diferente del dioxígeno.

2.2.17. SANITIZACIÓN.

Es el proceso por el cual se realiza una reducción sustancial del contenido microbiano, hasta un nivel de seguridad, sin que se llegue a la desaparición completa de microorganismos patógenos, sin producir algún tipo de infección.

2.3. MARCO NORMATIVO.

Este proyecto estará sustentado mediante normas establecidas, para el estudio de un tratamiento adecuado que se detallan a continuación:

2.3.1. LEY N° 0300 - MARCO DE LA MADRE TIERRA (15 DE OCTUBRE DE 2012).

Artículo 27.

Establece la visión y los fundamentos del desarrollo integral en armonía y equilibrio con la Madre Tierra para Vivir Bien, garantizando la continuidad de la capacidad de regeneración de los componentes y sistemas de vida de la Madre Tierra, recuperando y fortaleciendo los saberes locales y conocimientos ancestrales, en el marco de la complementariedad de derechos, obligaciones y deberes; así como los objetivos del desarrollo integral como medio para lograr el Vivir Bien, las bases para la planificación, gestión pública e inversiones y el marco institucional estratégico para su implementación.

Párrafo 2. Toda actividad industrial y extractiva, que implique el aprovechamiento del agua según corresponda, debe implementar, entre otros, dinámicas extractivas y de transformación adecuadas que incluyen plantas y/o procesos de tratamiento que minimicen los efectos de la contaminación, así como la regulación de la descarga de desechos tóxicos a las fuentes de agua. Los pequeños productores mineros, cooperativas mineras y empresas comunitarias, desarrollarán estas acciones conjuntamente con el Estado Plurinacional de Bolivia.

Párrafo 5. Regular, monitorear y fiscalizar los parámetros y niveles de la calidad de agua.

2.3.2. LEY N° 1333-MEDIO AMBIENTE (27 DE ABRIL DE 1992).

La Ley 1333 tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

2.3.3. REGLAMENTO DE LA LEY N° 1333 DE MEDIO AMBIENTE EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA (8 DE DICIEMBRE DE 1995 APROBADO POR D.S. 24176. RMCH).

Cuyo objeto es reglamentar la Ley de Medio Ambiente 1333 en lo referente a prevención y control de la contaminación hídrica en el marco de desarrollo sostenible siendo aplicable a toda persona natural o colectiva, pública o privada cuyas actividades industriales, comerciales, agropecuarias domésticas, recreativas y otras, puedan causar contaminación de cualquier recurso hídrico.

Define Aguas Residuales diferenciándolas en crudas y tratadas, indicando que las aguas residuales Crudas se entiende como las Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso. Las Aguas Residuales Tratadas son todas aquellas aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptos a que serán descargadas.

El Reglamento define como la Contaminación de Aguas a la alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente. Así también define la significancia de lo que se entiende por Reúso como la utilización de aguas residuales tratadas que cumplan la calidad requerida por el reglamento y, Tratamiento como el proceso físico químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y /biológica del agua residual cruda.

2.3.4. REGLAMENTO AMBIENTAL SECTOR INDUSTRIAL MANUFACTURERO (RASIM).

Los objetivos del Reglamento son: reducir la generación de contaminantes y el uso de sustancias peligrosas, optimizar el uso de recursos naturales y de energía para proteger y conservar el medio ambiente; con la finalidad de promover el desarrollo sostenible.

Se tomará en cuenta los parámetros considerados para automonitoreo del anexo 1.

2.4. MARCO INSTITUCIONAL.

Debido a la necesidad mundial de abastecer a las diferentes ciudades de producto cárnico para el consumo humano y a la importancia de crear una mayor organización para el control higiénico y sanitario de la misma en todos los países del mundo, se fundaron organizaciones nacionales e internacionales que crearon normas y reglamentos que deberían ser aplicados y al mismo tiempo que velaran por el cumplimiento de los mismos. Bolivia no es la excepción y en nuestros medios estos organismos e instituciones ejercen de la siguiente manera:

2.4.1. INSTITUCIONES INTERNACIONALES.

2.4.1.1. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN (FAO).

Es aquella entidad que unida a la Organización Mundial de la Salud (OMS), es la encargada de la inspección y control de alimentos en todos los países del mundo.



2.4.1.2. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).

Es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas(ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial.



2.4.2. INSTITUCIONES NACIONALES.

2.4.2.1. SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD AGROPECUARIA E INOCUIDAD ALIMENTARIA (SENASAG).

Busca proteger la condición sanitaria y productiva en materia agropecuaria, forestal y la inocuidad alimentaria, con la finalidad de contribuir al desarrollo sustentable y sostenible, garantizando la seguridad alimentaria.

2.4.3. INSTITUCIONES DEPARTAMENTALES.

2.4.3.1. MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.

Un matadero o camal es una instalación industrial estatal o privada en la que se sacrifican animales de granja para su posterior procesamiento, almacenamiento y comercialización como carne u otra clase de productos de origen animal.

Es el lugar u objeto de estudio para la elaboración de proyecto de grado propuesto.

2.4.3.2. LABORATORIO DE AGUAS, SUELOS, ALIMENTOS Y ANÁLISIS AMBIENTAL – RIMH.

Laboratorio a cargo del Ingeniero Iván Medina. Se eligió este Laboratorio para realizar la caracterización de parámetros Físicos, Químicos, Bacteriológicos y organolépticos de las aguas residuales industriales generadas por el Matadero municipal de la ciudad de Tarija.

CAPITULO 3

TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

Los tratamientos anaerobios consisten en procesos de transformación de la materia orgánica, donde al no haber presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. Muchos de los tratamientos anaerobios no requieren sedimentación primaria, pero se hace conveniente remover previamente el material inerte y la arena del proceso con el fin de evitar acumulaciones en el lodo, lo cual desplaza biomasa.

Para aguas residuales que presentan un contenido de sólidos con predominancia solubles, es aceptable suponer una eficiencia de tratamiento como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Eficiencia de tratamiento anaerobio

PARÁMETRO	VALOR
Remoción de DBO (%)	80 – 90
Remoción de DQO (mg/l)	1,5 x DBO removida
Producción de biogás	0,5 m ³ /kg de DQO removida
Producción de metano	0,35 m ³ /kg de DQO removida
Producción de lodo	0,05 – 0,10 kgSSV/kg de DQO removida

Fuente: Romero R, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y Principios de diseño, 2006

3.1. DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE LA MATERIA ORGÁNICA.

La degradación de la materia orgánica requiere de la intervención cuatro tipos de bacterias en cuatro pasos de transformación:

El proceso inicia con la hidrólisis, donde se realiza la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles como polisacáridos, proteínas y lípidos, por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias hidrolíticas. Los productos que resultan de esta reacción son compuestos más sencillos y solubles en agua como los azúcares, ácidos grasos, aminoácidos, y alcoholes. Esta etapa se hace fundamental para proveer los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las etapas siguientes.

Posteriormente sigue el proceso de fermentación Ácida (acidogénesis), donde los compuestos orgánicos más sencillos provenientes del proceso anterior, son utilizados por las bacterias fermentativas, las cuales generan ácidos orgánicos de cadena corta, tales como ácido acético, propiónico y butírico. Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos, y además esta conversión ocurre con gran rapidez.

En seguida se realiza el proceso de acetogénesis, en donde los productos de la fermentación del proceso anterior se convierten a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias acetogénicas.

Finalmente se concluye con el proceso de metanogénesis, en donde una vez formados los ácidos orgánicos y acetato, las bacterias metanogénicas los convierte en metano y dióxido de carbono. En esta fase es donde se consigue la eliminación de la materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO₅ o DQO del medio.

3.2. TIPOS DE SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO.

3.2.1. Reactor Anaerobio de Cama de Lodos y Flujo Ascendente (UASB).

La tecnología del reactor UASB en los últimos años ha sido el sistema de tratamiento más usado a nivel global. Consiste en un tanque en el cual el agua residual es alimentada mediante un sistema de distribución para repartirla de manera uniforme en el fondo del reactor, a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos. La degradación de contaminantes en la cama de lodos es un proceso de varias etapas que consiste en la hidrólisis de compuestos orgánicos complejos como proteínas, carbohidratos y lípidos a compuestos más simples como aminoácidos solubles, azúcares y ácidos grasos, los cuales posteriormente son fermentados hacia acetato, hidrógeno, ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono.

Por último el acetato y el hidrógeno son utilizados por las bacterias metanogénicas para formar metano, el cual constituye la mayor parte del biogás generado. Debido a su diseño hidráulico, la biomasa granular formada se mantiene en suspensión sin necesidad de ningún tipo de soporte y el movimiento ascendente del biogás mezcla la cama de lodos lo cual mejora la transferencia de masa. El agua se separa de los sólidos (lodo) y del biogás en un separador de tres fases gas-sólido-líquido, todo esto pasa en la parte superior del tanque.

3.2.2. Reactor Anaerobio de Cama de Lodo Granular Expandida (EGSB).

El reactor EGSB es una sofisticada variante de la tecnología UASB, que puede lograr un mejor intercambio o transferencia de la masa que puede tratar el mismo volumen y cantidad de material contaminante, siendo aún más reducido.

A diferencia de los otros tipos de tratamiento, este reactor presenta dentro de sus características, la operación a alta velocidad ascensional de agua (mayor a 4m/h), lo cual permite la expansión de la cama de lodo exclusivamente granular, siendo entonces positiva la transferencia de masa dentro del reactor, por lo cual puede llegar a trabajar con una carga orgánica considerablemente mayor que la de un reactor UASB convencional (hasta de 30 kgDQO/m³·d). Este modelo, en su funcionamiento no tiene algún medio de soporte, su lodo granular tiene una alta densidad, facilitando la velocidad ascensional que resulta siendo elevada, lo que permite una mayor expansión del lodo, ayudando a que exista un mejor contacto entre la biomasa y el agua residual. La parte superior del reactor consta de un separador de tres fases gas-sólido-líquido, y que dado su exclusivo diseño separa el biogás del líquido del reactor y crea una zona libre de turbulencia, siendo esta una condición favorable para la sedimentación y retorno del lodo granular que llegó hasta esa zona.

Las velocidades ascensionales a las que puede trabajar un reactor EGSB, utilizando lodo granular, pueden alcanzar valores que van desde 2,5 m/h hasta 10 m/h , siendo aún mayores para casos específicos, estas altas velocidades ascensionales, permiten una mejor agitación hidráulica, del lecho de lodo granular, resultando en una mayor expansión.

Logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual.

Este tipo de sistema al tener una elevada intensidad de mezcla favorece la aplicación para el tratamiento de efluentes con carga orgánica soluble, disminuye el lodo biológico, comparado con un proceso tradicional de lodos, además genera energía en forma de metano, requiere de menos espacio para llevar a cabo sus operaciones de estabilización orgánica lo cual resulta de interés en casos de falta de espacio para nuevas ampliaciones de la capacidad de tratamiento de una planta, prácticamente no requiere el uso de productos químicos, la operación y mantenimiento son muy simples y sus tiempos de marcha son rápidos (desde 8 días hasta 4 semanas).

3.2.3. Bioreactor Anaerobio de Membrana (AnMBR).

Este es un tratamiento que consiste en un reactor anaerobio de alta tasa el cual hace uso de una membrana para mejorar la eficiencia de la separación del gas-sólido-líquido, así como la retención de la biomasa dentro del reactor, este tipo de tecnología incrementa la remoción de contaminantes, mejora la producción de biogás, es compacta y permite tener una excelente calidad de agua tratada.

Se distinguen dos tipos de bioreactores de membrana en base a su configuración, uno de membrana integrada en el cual la unidad de membrana que realiza la separación física está inmersa en el tanque biológico, la fuerza impulsora que pasa a través de la membrana proviene de la presurización del bioreactor o creando presión negativa en el lado permeado de la membrana; en cuanto a la limpieza de esta, es llevada a cabo a través de frecuentes retro lavados con agua permeada y aire y ocasionalmente mediante retro lavados con soluciones químicas. Generalmente se coloca un difusor de aire justo por debajo del sector de la membrana para suministrar el aire necesario y lograr que el contenido del tanque sea homogéneo para el proceso biológico y para la propia limpieza de la membrana. El otro tipo de bioreactor es de membrana externa o con recirculación la cual implica que es recirculada el agua a tratar desde el bioreactor hasta la membrana dispuesta externamente a una unidad biológica, la fuerza impulsora proviene de la presión creada por la velocidad alta del flujo a través de la superficie de la membrana.

3.2.4. REACTOR ANAEROBIO DE CONTACTO.

Este reactor fue desarrollado para el tratamiento de aguas residuales con tiempos de retención más bajos y con edades de lodos prolongados, es un reactor de mezcla completa que luego de pasar por un decantador, separa líquidos y sólidos permitiendo el reciclado de una parte de la biomasa, la utilización de este sistema se ve condicionada para aguas con una alta tasa de carga orgánica, para que sea posible la separación de microorganismos en fase líquido-sólido y la recirculación de una parte.

3.2.5. DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS.

Este tipo de digester anaerobio es un tratamiento biológico para lodos crudos cuyo fin es eliminar malos olores y su potencial de descomposición, siendo una ventaja para su posterior disposición. De acuerdo con sus características, los digestores anaerobios de lodos están agrupados en digestores de baja tasa y de alta tasa.

Los digestores de baja tasa son conocidos también como convencionales, en los cuales el proceso se desarrolla en un tanque sin mezclado y sin calentamiento por lo que se mantienen a temperaturas de menos de 25°C, con periodos de digestión más largos que los de alta tasa, entre 30 y 60 días y al no tener calefacción. Por su parte, los digestores de alta tasa convierten la biomasa en gas mediante la degradación biológica de materia orgánica en reactores anaerobios completamente mezclados y operados normalmente a temperaturas mesofílicas (30 a 40°C) y termofílicas (50 a 60°C), permitiendo el crecimiento óptimo de la biomasa que se encarga de la destrucción de los sólidos volátiles contenidos en el lodo y por lo cual cuentan con un volumen menor, requiere e periodos de digestión de entre 10 y 20 días; la geometría de los digestores de lodos es un factor importante, debido a que influye de manera directa en el mezclado, ya que si es deficiente propiciará la generación de zonas muertas y la acumulación de sólidos en las paredes del digestor.

3.2.6. FILTRO ANAEROBIO.

El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna compuesta por un lecho de grava y gravilla para soporte del crecimiento biológico anaerobio. El agua residual se distribuye de manera ascendente a través de intersticios y la película biológica que se forma sobre la superficie de este material granular, realiza un trabajo de digestión y reducción anaerobia.

Este sistema puede llegar a lograr reducciones de entre un 50 a 70% de DBO, aclarando que antes esta la remoción lograda en el tanque séptico.

3.2.7. TANQUE SÉPTICO.

El tanque séptico puede ser entendido como una cámara hermética, generalmente rectangular, que facilitará la descomposición de la materia orgánica y propenderá por la separación de la misma a través de sus procesos de retención de espumas, sedimentación de sólidos y almacenamiento de lodos, por la acción de bacterias presentes en la naturaleza del vertimiento, como consecuencia hay una transformación de la materia y se genera gas, lodos y líquidos. Este tipo de sistema funciona muy bien si es complementado por el filtro anaerobio.

Para llegar a considerar la implementación de este tipo de sistemas es necesario entender que es complementario y que necesitara de un proceso de remoción previo, y en algunos casos según el tipo de vertimiento de un sistema posterior de apoyo, además se deben tener

en cuenta variables como la porosidad del terreno y el nivel de las aguas subterráneas, ofrece una remoción no superior al 50% en DBO y sólidos suspendidos mayor al 80%.

3.2.8. TANQUE IMHOFF.

Este tipo de sistema de tratamiento anaerobio integra la sedimentación y la digestión de los lodos sedimentados en una misma unidad. El tanque es de forma rectangular, presenta un compartimiento inferior para la sedimentación donde se remueve gran parte de los sólidos sedimentados, estos pasan a través de una abertura del compartimiento superior hacia la zona de digestión; la espuma se acumula en la zona de sedimentación y en la zona de ventilación adyacente a la cámara de sedimentación, además el gas producido en el proceso de digestión se libera a través de la zona de ventilación.

Este tanque presenta una remoción de sólidos suspendidos puede ser de 45 a 70 %, y su reducción de DBO de 25 a 50%. Sin embargo la remoción es variable, dependiendo de las características de los residuos, condiciones de diseño y operación.

3.2.9. LAGUNAS ANAEROBIAS.

Este tipo de tratamiento, consiste en una laguna artificial en la que debido a las cargas orgánicas elevadas, imperan condiciones de ausencia de oxígeno. La profundidad para este tipo de lagunas oscila entre 3 a 5 metros, con tiempos de retención cortos de 2 a 3 días. Estas lagunas además trabajan de forma óptima en lugares con climas calientes, tropicales y subtropicales, debido a que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son elementos claves para la eficiencia en los procesos de degradación.

Su objetivo principal consiste en la reducción de la materia orgánica en el agua residual en un 50%, así como la disminución del contenido de sólidos en suspensión en un 60%, los cuales se incorporan en la capa de fangos que se acumulan en el fondo de esa; estos lodos son extraídos cada 5 a 10 años de operación, ya que la estabilización anaerobia a una temperatura ambiente reduce el volumen de lodos y genera un elevado grado de mineralización.

3.3. SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Para determinar el sistema más apto, se tiene que considerar junto con las demandas de la calidad del efluente, los siguientes factores:

- Características del agua residual.

- Área del terreno disponible.
- Costos de energía eléctrica.
- Capacidades del personal que construye, opera y mantiene la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para elegir el sistema óptimo, primero se tienen que definir las demandas de la calidad del efluente. Después se examina, qué terreno está disponible y puede usarse.

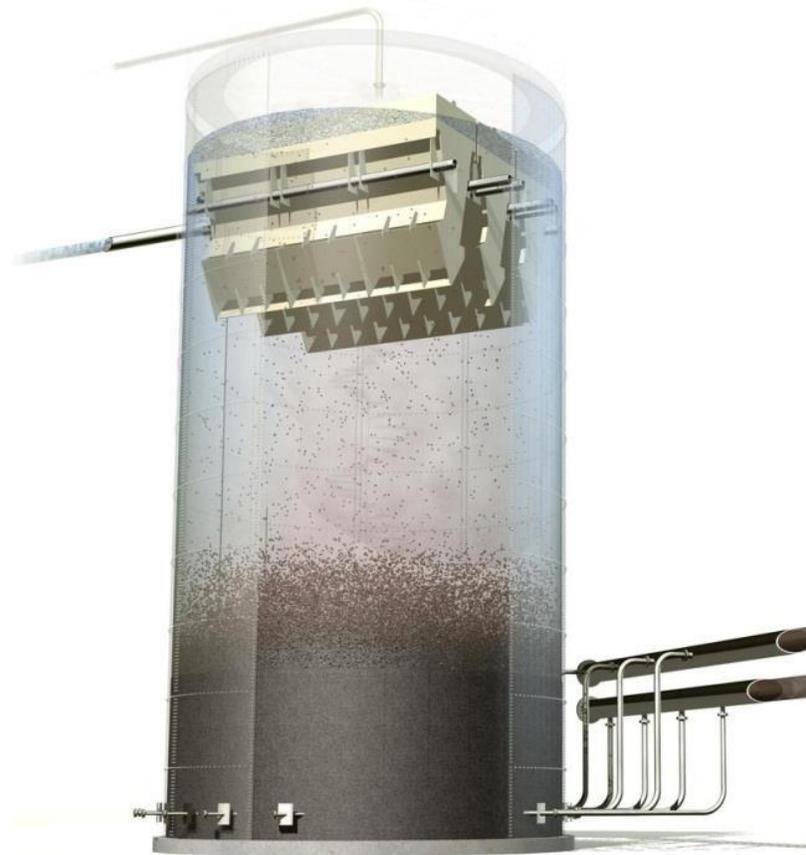
De acuerdo a la caracterización realizada para las aguas residuales procedentes de los procesos del faenado (Anexo 4), se puede observar que se tiene valores altos debido a la materia orgánica y sólidos suspendidos, los cuales son abundantes en esta industria, los parámetros se encuentran por encima de lo establecido con el reglamento técnico para vertidos al alcantarillado sanitario de COSAALT.

En base al porcentaje de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos que presenta cada tratamiento anaerobio, para el presente trabajo se eligió el reactor EGSB ya que es el tratamiento que al tener una recirculación del agua a tratar va a tener una eficiencia alta en cuanto a los parámetros ya mencionados, además que no requiere de un espacio extenso para su emplazamiento y la materia orgánica se transforma en biogás.

3.4. REACTOR DE LECHO DE LODO GRANULAR EXPANDIDO (EGSB).

El concepto de reactor EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) Lecho de lodo granular expandido, se desarrolló recientemente para superar las imitaciones que se presentan en un reactor UASB, tales como, flujos preferenciales, cortos circuitos hidráulicos, y zonas muertas en el volumen del reactor.

Figura 15. Reactor EGSB



Fuente: Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales, 2012

El reactor EGSB, es una modificación de la tecnología tradicional usada en los reactores UASB. Ambos usan lodo granular, pero el reactor EGSB opera a elevadas velocidades superficiales (2,5-10m/h), las cuales se obtienen al incorporar una alta tasa de recirculación. Esto provoca un excelente mezclado hidráulico, lo que mejora el contacto agua residual-lodo granular.

Las elevadas velocidades superficiales de los reactores EGSB, mejoran la velocidad de transferencia de masa. Puesto que operan con altas tasas de recirculación, la entrada al reactor se diluye a niveles, que elimina su riesgo para la actividad bacteriana. Las velocidades superficiales, han demostrado también, tener un efecto importante sobre el tamaño y la actividad anaeróbica de los gránulos de lodo (Guiot S.R., Pauss A. y Costerton J.W..Un modelo estructurado del consorcio de gránulos anaeróbicos, 1992).

El efecto neto de la recirculación, puede ser un factor que incide en el incremento de la eficiencia de remoción de la DQO.

La digestión anaerobia usando la tecnología de alta tasa de lecho granular expandido en reactores EGSB, tiene una potencial aplicación, en prácticamente todos los ámbitos del tratamiento de aguas residuales de alta, media o baja concentración, con elevadas o medias tasas de carga orgánica y algo muy importante, que solo recientemente se ha desarrollado, es el uso de estas tecnologías a bajas temperaturas, por debajo incluso, de los 8°C.

Esta tecnología conserva todos los beneficios de un sistema anaerobio tradicional del tipo UASB, tales como: producción de energía a través del biogás, baja producción de lodo, bajos requerimientos de espacio y volumen, ofreciendo adicionalmente, otros importantes beneficios, tales como:

- Cargas orgánicas, varias veces mayores, que aquellas que puede aceptar un sistema anaerobio, del tipo de mezcla completa con valores de hasta 35 Kg DQO/m³.d lo que implica menores volúmenes de reactor, de hasta 70%.
- Reducción en la producción de lodo, hasta del 90%.
- Producción de energía en forma de metano, a un valor teórico de 3-8 Kw•h/Kg DQO removida, (asumiendo 100% de eficiencia en el tratamiento y 100% de conversión a electricidad).
- Rápida puesta en marcha (<1 semana), cuando se usa lodo granular anaerobio como material de inóculo.
- Tecnología simple con altas eficiencias de tratamiento (85-92%).
- Bajo o nulo consumo de energía.
- No requiere sistemas de mezclado mecánico dentro del reactor, lo que simplifica su operación y baja su costo.

TEMPERATURA.

El tratamiento anaerobio de aguas residuales industriales, puede considerarse como una tecnología bien establecida y sólida, con un amplio rango de aplicaciones. Hasta ahora,

prácticamente todas las aplicaciones a nivel industrial de tratamientos anaerobios, están restringidas a aguas residuales concentradas, con temperaturas excediendo los 18°C; sin embargo bajo condiciones de clima moderado, muchas aguas residuales industriales y domésticas, son descargadas a temperaturas ambientales bajas.

Debido a las numerosas ventajas de los sistemas de tratamiento anaerobio, en comparación con los tratamientos aerobios convencionales, el desarrollo de sistemas de tratamiento anaerobio de alta tasa a bajas temperaturas, indudablemente tendrá un gran impacto económico y ecológico.

Sin embargo, los metanógenos autotróficos, consumidores de hidrógeno, pueden desarrollarse a bajas temperaturas. No está muy claro, si un consorcio bacteriano estable, que degrada los ácidos grasos, en condiciones psicrófilas, puede obtenerse y mantenerse, para propósitos de ser usado en sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. De acuerdo a las experiencias y logros de los investigadores G. Lettinga, Salih Rebac, S. Parshina, A. Nozhevnikova, J. Van Lier y A. M. Stams, quienes condujeron novedosos trabajos, que experimentaban con el desarrollo de consorcios bacterianos en condiciones psicrófilas anaerobias, para después, llevarlos a escala de laboratorio y piloto, intentando arrancar y operar, reactores de alta tasa, usando la tecnología de lecho granular expandido, a temperaturas de entre 3 y 8°C.

Estas experiencias que en su momento fueron exitosas, han sido, solo recientemente, escaladas en Europa, Japón y Estados Unidos a niveles industriales, logrando realizar lo que hasta hace muy poco se consideraba poco probable, el tratamiento de aguas residuales urbanas diluidas, (que es la constante en este tipo de residuos líquidos) a bajas temperaturas y con contenidos variables de oxígeno disuelto.

Los resultados de esa investigación, indican que el tratamiento anaerobio de alta tasa, usando el reactor EGSB, es factible en condiciones de temperatura muy baja (por ejemplo hasta 3°C). Para una mezcla de ácidos grasos volátiles (AGV) como sustrato, se pueden obtener eficiencias de remoción de DQO de 90% y superiores.

3.4.1. DISEÑO DE UN REACTOR ANAEROBIO EGSB.

Carga orgánica volumétrica.

Tabla 14. Cargas aplicables en lodo granular y lodo floculento en relación con la concentración del agua residual y la fracción insoluble del DQO en el agua residual

Cargas aplicables (kgDQO/m ³ *d)				
Concentración del agua residual	Fracción insoluble de DQO	Lodo floculento	Lodo granular	
(mg DQO/l)	(%)		Remoción de SST pobre	Remoción de SST significativa
> 2000	10 – 30	2 - 4	8 – 12	2 – 4
	30 – 60	2- 4	8 – 14	2 – 4
	60 – 100	-	-	-
2000 – 6000	10 – 30	3 – 5	12 – 18	3 – 5
	30 – 60	4 – 6	12 – 24	2 – 6
	60 – 100	4 – 8	-	2 – 6
6000 – 9000	10 – 30	4 – 6	15 – 20	4 – 6
	30 – 60	5 – 7	15 – 24	3 – 7
	60 – 100	6 – 8	-	3 – 8
9000 - 18000	10 – 30	5 – 8	15 – 24	4 – 6
	30 – 60	Dudoso a SST>6 – 8 g/l	Dudoso a SST>6 – 8 g/l	3 – 7
	60 – 100	-	-	3 – 7

Fuente: Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Tiempo de retención hidráulica:

$$TRH = \frac{h}{v} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Dónde:

TRH=Tiempo de retención hidráulica, en h

h=Altura total del reactor, en m

V=Velocidad ascensional, en m/h

Las velocidades ascensionales a las que puede trabajar un reactor EGSB, utilizando lodo granular, pueden alcanzar valores que van desde 2,5 m/h hasta 10 m/h.

Altura del Reactor.

El reactor puede considerarse dividido en dos espacios, uno inferior en donde ocurren las reacciones de descomposición y uno superior en donde ocurre la sedimentación de los lodos. El espacio inferior debe tener una altura entre 4.0 y 5.0 m y superior entre 1.5 y 2.0 m. Adicionalmente debe proveerse un borde libre de 40 cm. (Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000: 80)

Volumen total del reactor:

$$TRH = \frac{V_R}{Q} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Despejando el volumen del reactor:

$$V_R = TRH * Q \quad \text{Ec. 3.3}$$

Datos:

TRH=Tiempo de retención hidráulica, en d

V_R =Volumen del reactor, en m^3

Q=Caudal de diseño, en m^3/d

Volumen útil de operación:

$$V_U = 0,9 * V_R \quad \text{Ec. 3.4}$$

Caudal de alimentación:

$$Q = \frac{V_U}{TRH} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Dónde:

Q=Caudal de alimentación, en m^3/h

V_U =Volumen útil de operación, en m^3

Área del reactor:

$$V_U = A_R * h \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$A_R = \frac{V_U}{h} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Dónde:

A_R =Área del reactor, en m^2

h =Altura del reactor, en m

Diámetro del reactor:

$$A_R = \frac{\pi * d_R^2}{4} \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$d_R = \sqrt{\frac{A_R * 4}{\pi}} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Dónde:

d_R =Diámetro del reactor, en m

Carga hidráulica:

$$C_H = \frac{Q}{A_R} \quad \text{Ec. 3.10}$$

Dónde:

C_H =Carga hidráulica, en m/h

Q = Caudal de alimentación, en m^3/h

A_R =Área del reactor, en m^2

Volumen del cuerpo del reactor:

$$V_C = 0,80 * V_U \quad \text{Ec. 3.11}$$

Dónde:

V_C =Volumen del cuerpo del reactor, en m^3

V_U =Volumen útil de operación, en m^3

Altura del cuerpo del reactor:

De acuerdo al volumen de un cilindro:

$$V_C = \pi * r_R^2 * H_C \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$H_C = \frac{V_C}{\pi * r_R^2} \quad \text{Ec. 3.13}$$

Dónde:

V_C =Volumen del cuerpo del reactor, en m^3

r_R =Radio del reactor, en m

H_C =Altura del cuerpo del reactor, en m

Diámetro de la cabeza:

$$d_H = 1,5 * d_R \quad \text{Ec. 3.14}$$

Dónde:

d_H =Diámetro de la cabeza del reactor, en m

Volumen de cabeza:

$$V_H = 0,25 * V_C \quad \text{Ec. 3.15}$$

Dónde:

V_H =Volumen de la cabeza del reactor, en m^3

V_C =Volumen del cuerpo del reactor, en m^3

Altura de cabeza:

$$V_H = \pi * r_H^2 * H_H \quad \text{Ec. 3.16}$$

$$H_H = \frac{V_H}{\pi * r_H^2} \quad \text{Ec. 3.17}$$

Dónde:

V_H =Volumen de la cabeza del reactor, en m^3

r_H =Radio de la cabeza del reactor, en m

H_H =Altura de la cabeza del reactor, en m

Volumen del conector cuerpo-cabeza:

$$V_{C-H} = \frac{V_H}{3} \quad \text{Ec. 3.18}$$

Dónde:

V_{C-H} =Volumen del conector cuerpo-cabeza del reactor, en m^3

H_H =Altura de la cabeza del reactor, en m

Altura del conector cuerpo-cabeza:

De acuerdo al volumen de un cilindro cónico:

$$V_{C-H} = \frac{\pi * H_{C-H}}{3} * (r_H^2 + r_R^2 + r_H * r_R) \quad \text{Ec. 3.19}$$

$$H_{C-H} = \frac{3 * V_{C-H}}{\pi * (r_H^2 + r_R^2 + r_H * r_R)} \quad \text{Ec. 3.20}$$

Dónde:

H_{C-H} =Altura del conector cuerpo-cabeza del reactor, en m

V_{C-H} =Volumen del conector cuerpo–cabeza del reactor, en m^3

r_H =Radio de la cabeza del reactor, en m

r_R =Radio del reactor, en m

Volumen del cono de soporte:

$$V_S = 0,5 * V_{C-H} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Dónde:

V_S =Volumen del cono de soporte del reactor, en m^3

V_{C-H} =Volumen del conector cuerpo–cabeza del reactor, en m^3

Altura del cono de soporte:

$$V_S = \frac{\pi * r_R^2 * H_S}{3} \quad \text{Ec. 3.22}$$

$$H_S = \frac{3 * V_S}{\pi * r_R^2} \quad \text{Ec. 3.23}$$

Dónde:

H_S =Altura del cono de soporte del reactor, en m

V_S =Volumen del cono de soporte del reactor, en m^3

r_R =Radio del reactor, en m

Altura del reactor:

$$H_R = H_C + H_S + H_{C-H} + H_H \quad \text{Ec. 3.24}$$

Dónde:

H_R =Altura total del reactor, en m

H_C =Altura del cuerpo del reactor, en m

H_S =Altura del cono de soporte del reactor, en m

H_{C-H} =Altura del conector cuerpo–cabeza del reactor, en m

H_H =Altura de la cabeza del reactor, en m

Altura del efluente en cabeza:

$$V_R - V_U = \frac{\pi * d_H^2 * H_E}{4} \quad \text{Ec. 3.25}$$

$$H_E = \frac{4 * (V_R - V_U)}{\pi * d_H^2} \quad \text{Ec. 3.26}$$

Dónde:

H_E =Altura del efluente en la cabeza del reactor, en m

V_R =Volumen del reactor, en m^3

V_U =Volumen útil de operación, en m^3

d_H =Diámetro de la cabeza del reactor, en m

Flujo de la campana:

$$F_C = 4 * C_H \quad \text{Ec. 3.27}$$

Dónde:

F_C =Flujo de la campana, en m/h

C_H =Carga hidráulica, en m/h

Área de apertura de la sección transversal de la campana:

La campana de separación se debe usar para:

Separar y descargar el biogás del reactor.

- Impedir el lavado de la materia bacterial.
- Permitir que el lodo resbale dentro del compartimento del digestor.
- Servir como una especie de barrera para la expansión rápida del manto de lodos dentro del sedimentador.
- Impedir el lavado del lodo granular flotante.

$$A_G = 4,5 * \left(\frac{Q}{F_C} \right) \quad \text{Ec. 3.28}$$

Dónde:

A_G =Area de apertura de la sección transversal de la campana, en m^2

F_C =Flujo de la campana, en m/h

Q = Caudal de alimentación, en m^3/h

Radio de la campana:

$$r_G = \sqrt{\frac{A_G}{\pi}} \quad \text{Ec. 3.29}$$

Dónde:

A_G =Area de apertura de la sección transversal de la campana, en m^2

r_G =Radio de la campana, en m

Altura de la campana:

$$H_G = 0,9 * (H_{C-H} + H_H) \quad \text{Ec. 3.30}$$

Dónde:

H_G =Altura de la campana, en m

H_{C-H} =Altura del conector cuerpo–cabeza del reactor, en m

H_H =Altura de la cabeza del reactor, en m

Se debe cumplir las siguientes consideraciones:

1. Inclinación de las paredes, las paredes de la estructura de separación sólido-gas deben contar con una inclinación de 50° a 60°.
2. Tasa de carga superficial, la carga orgánica superficial debe estar alrededor de 0,7 m/h, en condiciones de caudal máximo horario.
3. Velocidad del agua en la garganta, la velocidad del agua en la garganta de retorno de lodos sedimentados no debe exceder los 5 m/h, para condiciones de caudal máximo horario.
4. Área superficial, el área superficial de las aberturas entre el colector de gas debe estar entre 15 y 20% del área superficial del reactor.
5. Altura, la altura mínima del colector de gas debe estar entre 0,5 y 2 m.
6. Traslapo de pantallas, el traslapo en la instalación de las pantallas de la campana debe ser de 10 a 20 cm.
7. Diámetro de las tuberías, el diámetro de las tuberías de expulsión de gas debe ser suficiente para soportar la remoción fácil del biogás desde la tapa del colector de gas, particularmente en el caso de formación de espuma.
8. La superficie del reactor debe ser cubierta para minimizar el desprendimiento de malos olores. El gas secundario debe recogerse y tratar adecuadamente. Se debe prever la remoción de natas y material flotante en la zona de sedimentación. Se deben dejar instalaciones para la inspección y limpieza de la parte interna de las campanas y la zona de sedimentación.

9. Para disminuir obstrucciones en las canaletas de recolección de efluentes y arrastre de sustancias flotantes debe proveerse una pantalla de 20 cm de profundidad para la retención de dichas sustancias.
10. Debe buscarse siempre, condiciones simétricas, en las estructuras de manejo de caudales.

Distribución de caudales.

Con el fin de garantizar la uniformidad de alimentación en todo el volumen del reactor, debe distribuirse el influente en el fondo del reactor. Las tuberías deben estar a unos 20 cm del fondo del reactor.

En la tabla 15 se presentan rangos para el número de puntos de entrada requeridos en los reactores, según el tipo de lodo formado.

Tabla 15. Rangos de valores para el número de puntos de entrada requeridos en un reactor

Tipo de lodo presente	Área por punto de entrada
Lodo denso floculento ($> 40 \text{ kg SST/m}^3$)	0,5 - 1 a cargas $< 1 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
	1 - 2 a cargas $1 - 2 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
	2 - 3 a cargas $> 2 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
Lodo floculento espesado ($20 - 40 \text{ kg SST/m}^3$)	1 - 2 a cargas $< 1 - 2 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
	2 - 5 a cargas $> 3 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
Lodo granular	0,5 - 1 a cargas $> 2 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
	0,5 - 2 a cargas $2 - 4 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$
	> 2 a cargas $> 4 \text{ kg DQO/m}^3\text{-día}$

Fuente: Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Remoción de la DQO.

Para el cálculo de la remoción de la DQO se considera que el reactor EGSB remueva hasta un 70% de la DQO.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(DQO)_{inicial} - (DQO)_{salida}}{(DQO)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 3.31}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(DQO)_{salida} = (DQO)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (DQO)_{inicial} \quad \text{Ec. 3.32}$$

Dónde:

$DQO_{inicial}$ =Concentración de la DQO del afluente del sistema, en mg/l

DQO_{salida} =Concentración de la DQO del efluente del sistema, en mg/l

%Remoción=Porcentaje de remoción en el sistema

Remoción de la DBO_5 .

Para el cálculo de la remoción de la DBO_5 se considera que el reactor EGSB remueva hasta un 70 % de la DBO_5 .

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(DBO_5)_{inicial} - (DBO_5)_{salida}}{(DBO_5)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 3.33}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(DBO_5)_{salida} = (DBO_5)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (DBO_5)_{inicial} \quad \text{Ec. 3.34}$$

Dónde:

$DBO_{5inicial}$ =Concentración de la DBO_5 del afluente del sistema, en mg/l

$DBO_{5salida}$ =Concentración de la DBO_5 del efluente del sistema, en mg/l

%Remoción=Porcentaje de remoción en el sistema

Remoción de Sólidos Suspendidos Totales.

Para el cálculo de la remoción de sólidos suspendidos totales se considera que el reactor EGSB remueva hasta un 60 % de los sólidos suspendidos totales.

Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Remoción = \frac{(SST)_{inicial} - (SST)_{salida}}{(SST)_{inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 3.35}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$(SST)_{salida} = (SST)_{inicial} - \frac{\%Remoción}{100} * (SST)_{inicial} \quad \text{Ec. 3.36}$$

Dónde:

$SST_{inicial}$ =Concentración de SST del afluente del sistema, en mg/l.

SST_{salida} =Concentración de SST del efluente del sistema, en mg/l.

%Remoción=Porcentaje de remoción en el sistema.

CAPITULO 4

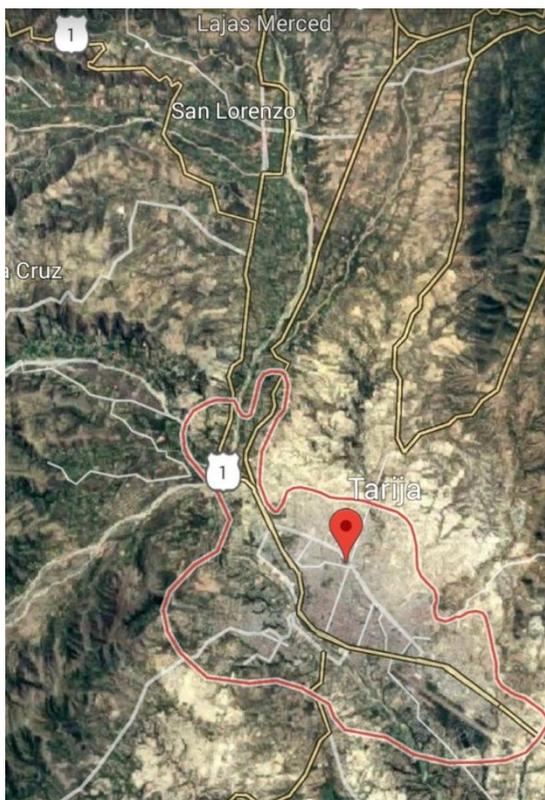
METODOLOGÍA

4.1. DATOS INFORMATIVOS.

4.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DEL PROYECTO.

La ciudad de Tarija integra la Provincia Cercado y se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija. Limita al norte y oeste con la provincia Méndez, al este con la Provincia Burdet O'Connor y al sur con las provincias Avilés y Aniceto Arce. Tarija tiene acceso vial asfaltado hacia la frontera con Argentina (Puente Internacional en Bermejo, Provincia Arce), distante aproximadamente a 200 km. de la capital; asimismo, atravesando las provincias O'Connor y Gran Chaco se llega a la frontera con Paraguay. Cuenta con el Aeropuerto (denominado Internacional) Cap. Oriel Lea Plaza.

Figura 16. Ubicación del Departamento de Tarija



Fuente: Google Earth

4.1.2. CLIMA.

Su clima es templado, con una temperatura promedio de 18°C., aunque cada estación es muy marcada. Durante los inviernos (especialmente durante el mes de julio) la temperatura suele descender por debajo de los 0° C llegando a disminuciones térmicas inusuales para la latitud y altitud.

4.1.3. DEMOGRAFÍA.

Debido a las condiciones climáticas Tarija constituye una de las zonas de poblamiento europeo más antiguo. La población del departamento de Tarija en los últimos sesenta años se ha quintuplicado:

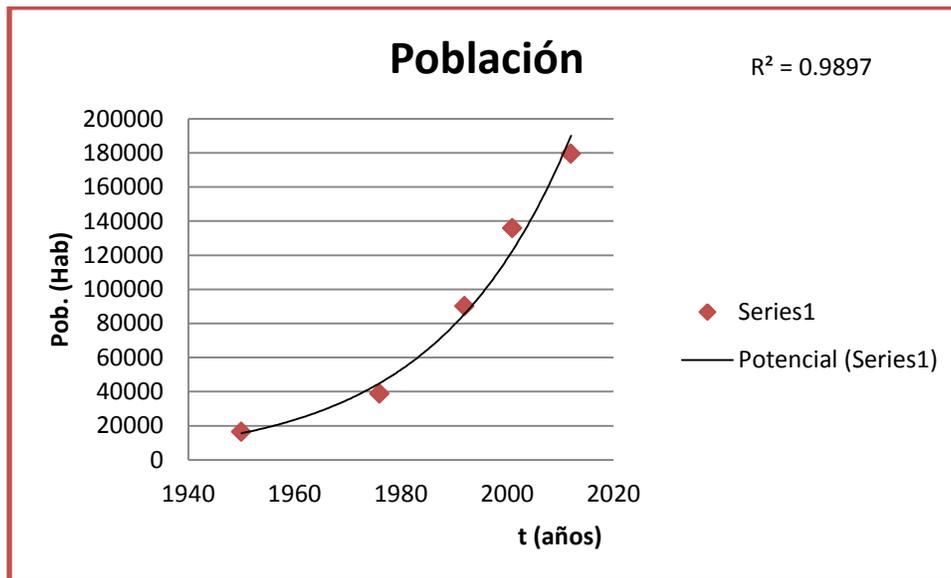
Tabla 16. Datos censales de la ciudad de Tarija

Censo (año)	Población (Hab)	Periodo
1950	16398	
		26
1976	38916	
		16
1992	90113	
		9
2001	135783	
		11
2012	179561	

Fuente: INE-Instituto Nacional de Estadística

En base a los datos censales se determina la tasa de crecimiento poblacional que nos servirá para determinar la población actual y futura de la ciudad de Tarija. Cabe mencionar que se utilizara una progresión Potencial, pues existe mayor tendencia de datos.

Figura 17. Variación de población en la ciudad de Tarija



Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DE LA TASA DE CRECIMIENTO.

Periodo 1

t=1976-1950

t=26 años

$P_{1950}=16398$ hab.

$P_{1976}=38916$ hab.

Tasa de crecimiento:

$$r_i = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{1/t} - 1$$

$$r_i = \left(\frac{38916}{16378}\right)^{1/26} - 1$$

$$r_i = 0.0338 * 100\% = 3.38\%$$

Periodo 2

t=1992-1976

t=16 años

P₁₉₇₆=38916 hab.

P₁₉₉₂=90113 hab.

Tasa de crecimiento:

$$r_i = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{1/t} - 1$$

$$r_i = \left(\frac{90113}{38916}\right)^{1/16} - 1$$

$$r_i = 0.0539 * 100\% = 5.39\%$$

Periodo 3

t=2001-1992

t=9 años

P₁₉₉₂=90113 hab.

P₂₀₀₁=135783 hab.

Tasa de crecimiento:

$$r_i = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{1/t} - 1$$

$$r_i = \left(\frac{135783}{90113}\right)^{1/9} - 1$$

$$r_i = 0.0466 * 100\% = 4.66\%$$

Periodo 4

t=2012-2001

t=11 años

P₂₀₀₁=135783 hab.

P₂₀₁₂=179561 hab.

Tasa de crecimiento:

$$r_i = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{1/t} - 1$$

$$r_i = \left(\frac{179561}{135783}\right)^{1/11} - 1$$

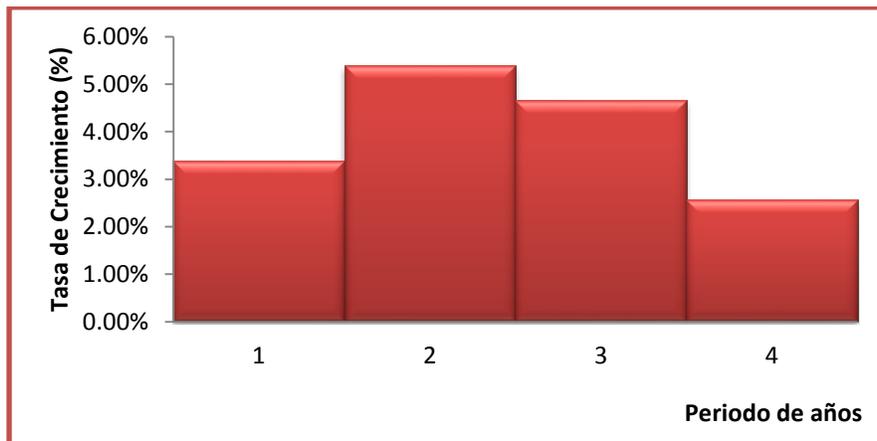
$$r_i = 0.0257 * 100\% = 2.57\%$$

Tabla 17. Tasa de crecimiento para la ciudad de Tarija

Periodo	Tasa de crecimiento (%)
1	3,38
2	5,39
3	4,66
4	2,57

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Tasa de crecimiento poblacional para la ciudad de Tarija



Fuente: Elaboración propia

TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{n=1}^n r_i}{n}$$

$$\bar{r} = \frac{3,38 + 5,39 + 4,66 + 2,57}{4} = 4,00\%$$

POBLACIÓN ACTUAL.

Tomando en cuenta que el último censo realizado es en el año 2012, el periodo es de 7 años hasta la actualidad. Entonces la población actual se determina de la siguiente manera:

Datos:

$P_{i2012} = 179561$ hab.

$r = 4,00\%$

$t = 7$ años

$$P_a = P_i(1 + r)^t$$

$$P_a = 179561(1 + 0,04)^7$$

$$P_a = 236290,0262 \approx 236291 \text{ Hab.}$$

POBLACIÓN FUTURA.

Partiendo de que la vida útil de una planta de tratamiento es de 30 años, se considera este tiempo como el periodo de diseño.

Datos:

$P_{i2019}=236291$ hab.

$r=4.00\%$

$t=30$ años

$$P_f = P_a(1 + r)^t$$

$$P_f = 236291(1 + 0.04)^{30}$$

$$P_f = 766385,641 \approx 766386 \text{ Hab}$$

4.1.4. ÁREA DE ESTUDIO.

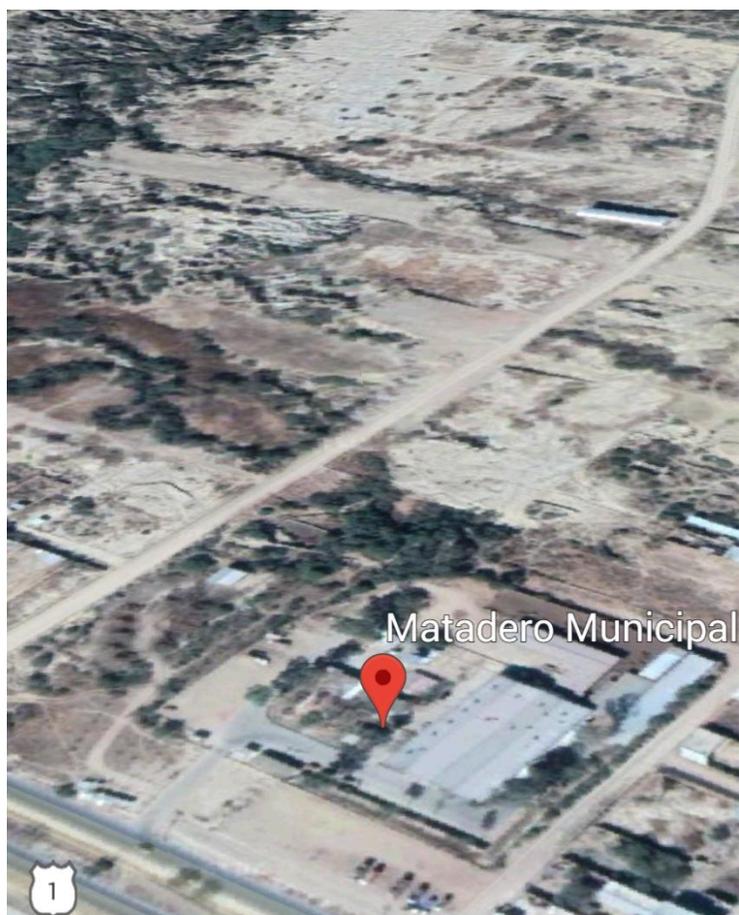
EL proyecto se localiza en el Barrio Torrecillas Distrito 10 de la ciudad de Tarija, municipio de Cercado del Departamento de Tarija. La localización exacta del proyecto se muestra en el siguiente cuadro y mapa respectivo.

Tabla 18. Localización del Estudio

Puntos	Coordenadas UTM WGS 84 20K	
	X	Y
Punto 01	325962,96	7614814,86
Punto 02	326088,43	7614715,52
Punto 03	326088,86	7614687,68
Punto 04	326019,91	7614603,33
Punto 05	325881,17	7614714,23

Fuente: Levantamiento en campo: GPS Garmin

Figura 19. Ubicación del matadero municipal de la ciudad de Tarija



Fuente: Google Earth

El matadero dentro de la categorización impuesta por el Senasag, funciona con una categoría 3 (Artículo 3, RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA N°. 087/2001), a cargo de la administración se encuentra el Lic. Julio Rodríguez.

Es un matadero Polivalente, ya que se presta servicio de faenamiento de ganado bovino y porcino.

Se faena los días Lunes, Martes, Jueves, Viernes y Sábado, los días Miércoles son designados a limpieza del establecimiento, los domingos no se trabaja. En la tabla 19 y 20, se muestra el promedio y máximo (respectivamente) de ganado bovino que se faena por día y en la tabla 21 y 22, se muestra el promedio y máximo (respectivamente) de ganado porcino que se faena por día. El registro completo se encuentra en el Anexo 2.

Tabla 19. Promedio de animales bovinos faenados diario, semanal y mensualmente del año 2018

Día	Número de Bovinos faenados por día
Lunes	58
Martes	79
Jueves	66
Viernes	73
Sábado	66
Total semanal	341
Total mensual	1363

Fuente: Elaboración propia

El número de animales promedio faenados en una semana de acuerdo a los días en los que se trabaja es de 69 bovinos.

Tabla 20. Número máximo de animales bovinos faenados diariamente del año 2018

Día	Número de Bovinos faenados por día
Lunes	158
Martes	93
Jueves	91
Viernes	108
Sábado	170

Fuente: Elaboración propia

El número de animales máximo faenados en una semana de acuerdo a los días en los que se trabaja es de 170 bovinos.

Tabla 21. Animales porcinos faenados diario, semanal y mensual de un mes representativo.

Día	Número de Porcinos faenados por día
Lunes	21
Martes	88
Jueves	131
Viernes	159
Sábado	127
Total semanal	526
Total mensual	2104

Fuente: Elaboración propia

El número de animales promedio faenados en una semana de acuerdo a los días en los que se trabaja es de 106 porcinos.

Tabla 22. Número máximo de animales porcinos faenados diariamente de un mes representativo.

Día	Número de Porcinos faenados por día
Lunes	21
Martes	96
Jueves	160
Viernes	217
Sábado	194

Fuente: Elaboración propia

El número de animales máximo faenados en una semana de acuerdo a los días en los que se trabaja es de 217 bovinos.

Para objeto de estudio se utilizara el número máximo de animales faenados.

El matadero cuenta con un canal para la recolección de las aguas residuales procedentes del faenamiento de bovinos y otro para el faenamiento de porcinos, los cuales se unen en un solo canal el cual recolecta todas las aguas residuales del matadero, hasta ser descargadas mediante una tubería de 10 plg (Figura 23) a la quebrada cabeza de Toro, la cual se une al río Guadalquivir sin realizar ningún tratamiento previo.

Figura 20. Canal de recolección de aguas residuales procedentes de Bovinos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Canal de recolección de aguas residuales procedentes de Porcinos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Canal de recolección de aguas residuales del matadero.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Tubería de salida de las aguas residuales del matadero.



Fuente: Elaboración propia.

Las instalaciones son lavadas de manera continua en las jornadas de sacrificio y faenado, dada la cantidad de sangre, rumen y otros residuos que se producen y que de no realizarse obstaculizarían las actividades y taponarían los conductos de evacuación de los residuos líquidos. Para desarrollar este servicio, el camal utiliza agua potable de la ciudad.

En cuanto a los residuos sólidos, no se aprecia un gran problema ambiental, pues las cabezas, patas y pieles, y la sangre, son recolectados y entregados al dueño del animal. Por el contrario, otros sólidos como el estiércol de los corrales, rumen son bombeados a un área destinada para lombricultura (Figura 24), el contenido intestinal, grasas, pelos, etc., son llevados a un horno crematorio que se encuentra en las instalaciones del matadero.

Figura 24. Residuos sólidos del matadero.



Fuente: Elaboración propia

El matadero cuenta con un área externa conformado por corrales de ganado bovino y porcino, y un área interna conformado por oficina, vestidor, baño, área de sacrificio de animales y faenamamiento de los mismos.

Figura 25. Corral de ganado.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

Dado a que el medio ambiente se ve afectado por el crecimiento poblacional y su supervivencia, el principal recurso afectado es el agua puesto que al ser utilizado por el hombre es descargado a las fuentes naturales generando contaminación.

El matadero Municipal de la ciudad de Tarija está ubicado en zona urbana, por lo tanto el desarrollo de sus actividades genera malestar a los habitantes del sector por no tener las medidas necesarias de manejo de los residuos sólidos y líquidos, generando contaminación del ambiente, ya que vierte sus aguas residuales directamente al cuerpo de agua.

Dado a los requerimientos actuales y a las exigencias de las normativas ambientales, se ve la necesidad de profundizar un estudio de las aguas residuales del matadero y plantear una solución al problema. Para proceder con la investigación se debe realizar un estudio para identificar el grado de contaminación de las aguas residuales del matadero y realizar el diseño de la planta de tratamiento que garantice que el efluente sea vertido al cuerpo de agua con los parámetros adecuados.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Para el diseño de la planta de tratamiento se realizó la caracterización de las aguas residuales industriales de los procesos del faenado del matadero municipal. Dicha caracterización fue efectuada a través de un muestreo de agua, donde se analizaron los parámetros necesarios dados por la legislación ambiental del país.

4.3.1. MUESTREO.

Se realizó una muestra compuesta, el 13 de septiembre del año 2018, la cual fue tomada un día jueves por ser el día en que se faenean ganados bovinos y porcinos.

El punto de muestreo fue en el tubo de salida de las aguas procedentes del faenado (Ver figura 26), se tomo una muestra simple por hora de funcionamiento del matadero, desde las 7:00 am hasta las 11:00 am, es decir, se tuvieron 5 muestras simples para representarla en una muestra compuesta de 2 litros (Ver figuras 27 y 28), y que esta sea homogénea, las cuales fueron tomadas en función al caudal (Ver tabla 23). Se preservaron las muestras refrigeradas en una conservadora para mantener la temperatura entre 1 a 5 grados centígrados (Ver figura 29), luego se transportaron al laboratorio RIMH donde fueron analizadas y se obtuvieron parámetros Físicos, Químicos, Bacteriológicos y organolépticos. (Anexo 4)

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE MUESTRA EN FUNCIÓN AL CAUDAL

$$Vi = \frac{V * Qi}{n * Qp}$$

Dónde:

Vi: Volumen de cada muestra (l)

V: Volumen total de la muestra compuesta (l)

Qi: Caudal instantáneo de cada muestra (l/s)

n: Numero de muestras tomadas

Qp: Caudal promedio durante el muestreo (l/s)

$$V_i = \frac{2 * 1,98}{5 * 2,568} = 0,3 \text{ l}$$

Tabla 23. Volumen de muestra en función al caudal.

N° MUESTRA	HORA	CAUDAL	CAUDAL	VOLUMEN (l)
		INSTANTÁNEO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	
1	8:00	1,98	2,568	0,3
2	9:00	2,94	2,568	0,5
3	10:00	5,80	2,568	0,9
4	11:00	1,65	2,568	0,3
5	12:00	0,42	2,568	0,1
				2,0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Tubo de salida del efluente residual industrial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Toma de muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Muestras simples.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Muestras refrigeradas.



Fuente: Elaboración propia.

En el presente estudio también se utilizaron los datos históricos de los análisis del año 2017 realizados por el Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija y la Provincia Cercado a través de su proyecto “EDTP: Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para el matadero municipal de la ciudad de Tarija”(Ver anexo 5).

El resumen de la información recopilada y de los análisis hechos se encuentran en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultado de la caracterización de parámetros del Ing. Ilsen Copa (EDTP).

TIPO DE ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADOS	
		Ing. Ilsen Copa(EDTP)	
		09-may-17	09-may-17
Análisis Físicos			
Temperatura	°C	19,8	20

pH		6,95	6,7
Sólidos suspendidos totales	mg/l	500,4	413,83
Sólidos totales disueltos	mg/l	1745,66	1711,83
Sólidos totales	mg/l	2609,42	2386,34
Sólidos sedimentables	mg/l		
Conductividad	μS/cm	4300	4200
Turbiedad	NTU	532	414
Análisis Químicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2460	1980
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	3495,37	3111,76
Aceites y grasas	mg/l	389,03	346,34
Fósforo total	mg/l	31,45	24,59
Nitrógeno total	mg/l	221,11	213,84
Análisis Bacteriológicos			
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2,00E+06	1,85E+06
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3,80E+05	2,90E+05

Fuente: EDTP (2017)

4.3.2. ANÁLISIS DE LOS MUESTREOS.

Los parámetros establecidos para el análisis fueron seleccionados con base en dos objetivos: satisfacer los criterios de diseño del sistema, y obedecer los parámetros establecidos por el RASIM para este tipo de industrias. Los parámetros seleccionados se evaluaron en el Laboratorio RIMH, y se encuentran en la Tabla 25. (Anexo 4).

Tabla 25. Resultado de la caracterización de parámetros de la Unv. Fernanda Coca.

TIPO DE ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADOS
		Unv. Fernanda Coca
		13-sep-18
Análisis Físicos		
Temperatura	°C	21
pH		6,8
Sólidos suspendidos totales	mg/l	854
Sólidos totales disueltos	mg/l	1196,77
Sólidos totales	mg/l	4950,5
Sólidos sedimentables	mg/l	92
Conductividad	µS/cm	2670
Turbiedad	NTU	835
Análisis Químicos		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	921,03
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	1740,75
Aceites y grasas	mg/l	
Fósforo total	mg/l	4,43
Nitrogeno total	mg/l	59,45
Análisis Bacteriológicos		
Coliformes Totales	NMP/100 ml	3,10E+06
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	7,50E+05

Fuente: Laboratorio RIMH (2018)

4.3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN.

Los datos recopilados fueron analizados estadísticamente para comprobar su confiabilidad (Ver tabla 27).

Tabla 26. Resultados de los parámetros de caracterización analizados.

Año	pH	Sólidos sedimentables (mg/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Fósforo total (mg/l)
09-may-17	6,95		500,4	2460	3495,37	389,03	221,11	31,45
09-may-17	6,7		413,83	1980	3111,76	346,34	213,84	24,59
13-sep-18	6,8	92	854	921,03	1740,75		59,45	4,43

Fuente: Elaboracion propia.

Se realizó un analisis estadístico para conocer el comportamiento de los datos durante diferentes años, mediante el cálculo de la media y desviación estandar para cada uno de los parámetros.

MEDIA:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N}$$

Donde:

X: Media del parámetro a analizar

Xi: Parámetro a ser analizado

N: Número de datos

DESVIACIÓN ESTANDAR.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estandar

Xi: Parámetro a ser analizado

X: Media del parámetro a analizar

N: Número de datos

Tabla 27. Análisis estadístico de cada parámetro para el matadero municipal de Tarija

	pH	Sólidos sedimentables (mg/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Fósforo total (mg/l)
Media	6,817	30,667	589,410	1787,010	2782,627	367,685	164,800	20,157
Desv. Est.	0,126	53,116	233,194	787,427	922,453	30,186	91,308	14,045
Máximo	6,950	92,000	854,000	2460,000	3495,370	389,030	221,110	31,450

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. COMPARACION DE PARAMETROS CON LA NORMATIVA.

Se comparo los parámetros de diseño con los límites permisibles para descarga en el Alcantarillado Sanitario de acuerdo al Reglamento Técnico sobre lanzamiento de efluentes industriales en el alcantarillado sanitario COSAALT LTDA, valores que se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 28. Comparacion de parametros con los limites permisibles

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR MÁXIMO	PARÁMETRO MATADERO
pH		6,5 a 8,5	6,95
Solidos Sedimentables	mg/l	20	92,00
DBO₅	mg/l	280	2460,00
DQO	mg/l	380	3495,37
Aceites y Grasas	mg/l	20	389,03

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la mayoría de los parametros se encuentran por encima del valor máximo, de acuerdo a esto, en la siguiente tabla, se muestra un análisis de la eficiencia total que se desea lograr.

Tabla 29. Eficiencia de remoción esperada.

PARÁMETRO	PARÁMETRO MATADERO (mg/l)	EFICIENCIA ESPERADO (%)	VALOR MÁXIMO (mg/l)
Solidos Sedimentables	92,00	85	<20
DBO₅	2460,00	90	<280
DQO	3495,37	90	<380
Aceites y Grasas	389,03	95	<20

Fuente: Elaboración propia

4.4. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.

4.4.1. MÉTODO VOLUMÉTRICO.

Para determinar el caudal de agua residual del matadero Municipal de la ciudad de Tarija, se procedió a calcular el tiempo de llenado del agua en dos recipientes, uno de 5 l y otro de 13 l.

Conociendo que los días jueves es uno de los días de mayor demanda, ya que se faenea ganado bovino y porcino, para el objeto de estudio se realizó el aforo de caudal el día jueves 21 de Marzo del año 2019. (Ver tabla 30). Cabe recalcar que dicho día se faeneo 53 bovinos y 60 porcinos. (Anexo 5)

Tabla 30. Cálculo del Caudal Promedio Diario.

Hora	Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)	Tirante (cm)
7:00	5	0,00	0,00	0,0
7:25	5	2,25	2,23	2,7
7:30	5	2,12	2,37	2,8
7:45	5	1,33	3,77	3,3
8:00	5	1,34	3,74	3,3
8:15	5	0,77	6,55	4,3
8:30	5	1,09	4,60	3,6
8:45	5	1,10	4,57	3,6
9:00	5	1,07	4,80	3,6
9:15	5	1,17	4,43	3,5
9:30	13	2,79	4,67	3,6

9:45	13	2,70	4,81	3,6
10:00	13	2,42	5,37	3,8
10:15	13	7,17	1,82	1,5
10:20	13	23,25	0,56	0,7
10:30	13	41,29	0,31	0,4
10:45	13	10,83	1,20	1,0
10:50	13	2,74	4,75	3,6
11:00	13	1,96	6,64	4,3
11:15	13	1,86	7,02	4,4
11:30	13	1,70	7,67	4,7
11:45	13	1,52	8,57	5,0
12:00	13	3,52	3,70	3,2
12:15	13	10,91	1,19	1,0
12:30	13	10,62	0,47	0,5
12:45	13	34,08	0,15	0,2
13:00	13	34,42	0,15	0,2
13:15	13	131,77	0,04	0,1
13:30	13	0,00	0,00	0,0

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DEL CAUDAL:

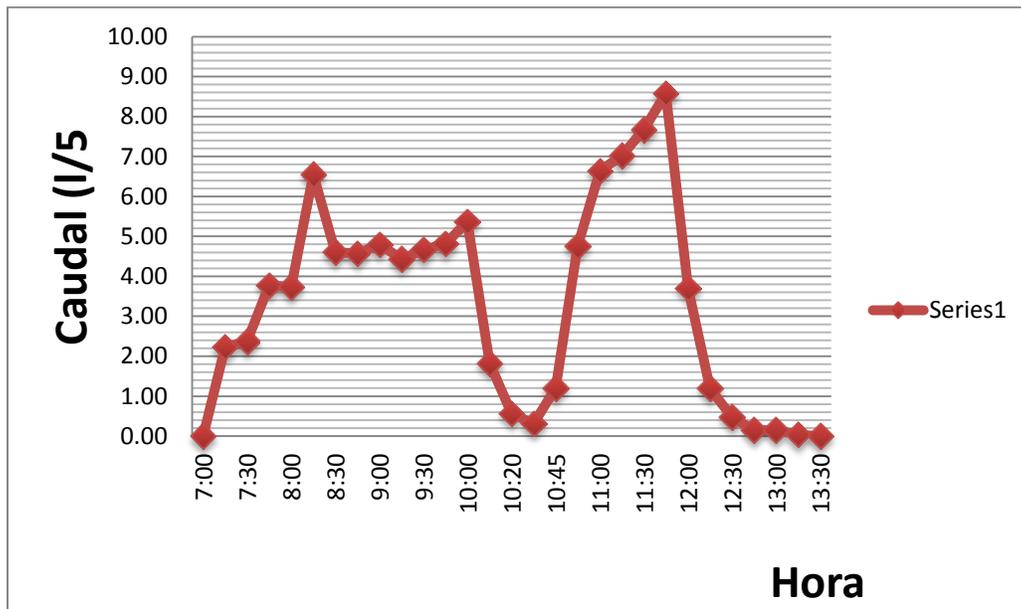
$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{5 \text{ l}}{2,25 \text{ s}} = 2,23 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Se llevaron a cabo 29 mediciones con intervalos de 15 minutos, de las cuales, la primera y la última se puede observar que no hubo descarga, por lo tanto el caudal es igual a cero.

El proceso de faenado en el matadero es de 07:30 am (Q=2,37 l/s) a 10:30 am (Q=0,31 l/s), a esta última hora se puede observar que hubo un descenso de caudal, a partir de las 10:45 am (Q=1,20 l/s) vuelve a subir el caudal ya que a esta hora se comienza con la limpieza del día. (Ver Figura 30).

Figura 30. Variación del caudal en el proceso de faenado.



Fuente: Elaboración propia.

Con estas mediciones se obtuvo la relación entre el tirante de agua y el caudal escurrido, lo cual nos permite medir la variación horaria del caudal durante la jornada de trabajo.

Con los datos obtenidos en la medición, se realizó una correlación entre el tirante y el caudal, por la función Potencial, donde se puede observar que es igual a una ecuación de vertedero.

$$Q = a * h^b$$

Dónde:

Q: Caudal (l/s)

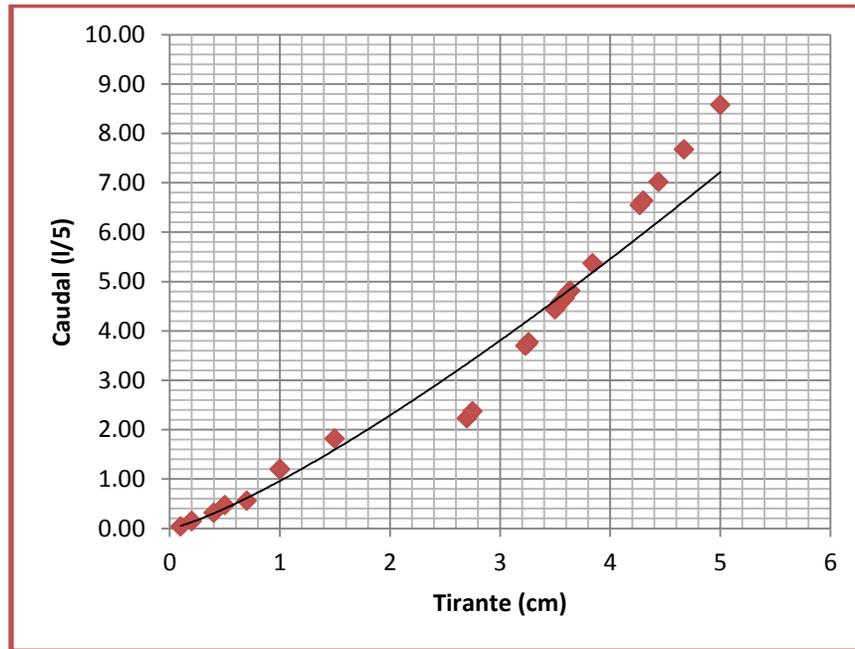
h: Tirante (cm)

a,b: Constantes de regresión

a: 0,9612

b: 1,2526

Figura 31. Tirante vs Caudal



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Variaciones de Caudal.

Hora	H (cm)	Q (l/s)
7:00	0	0,00
7:25	2,7	3,34
7:30	2,75	3,41
7:45	3,26	4,22
8:00	3,25	4,21
8:15	4,27	5,92
8:30	3,56	4,72
8:45	3,55	4,70
9:00	3,63	4,83
9:15	3,5	4,62
9:30	3,59	4,77
9:45	3,64	4,85
10:00	3,84	5,18

10:15	1,5	1,60
10:20	0,7	0,61
10:30	0,4	0,31
10:45	1	0,96
10:50	3,61	4,80
11:00	4,3	5,97
11:15	4,44	6,22
11:30	4,67	6,63
11:45	5	7,22
12:00	3,23	4,17
12:15	1	0,96
12:30	0,5	0,40
12:45	0,2	0,13
13:00	0,2	0,13
13:15	0,1	0,05
13:30	0	0,00

Fuente: Elaboración propia.

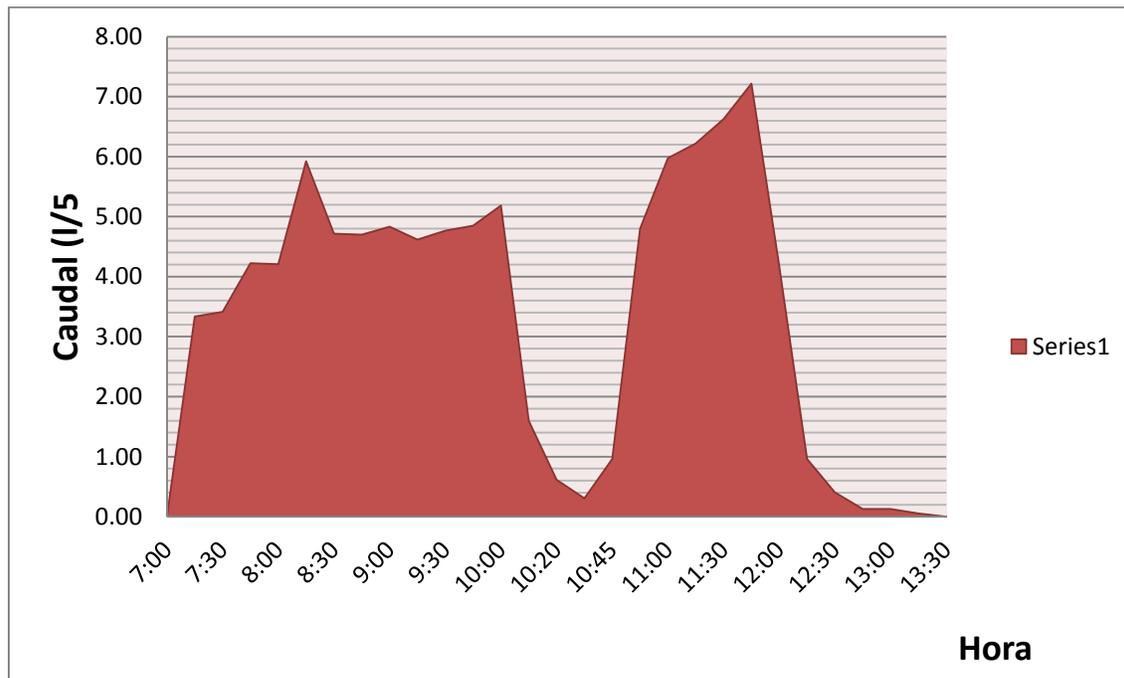
CALCULO DEL CAUDAL:

$$Q = 0,9612 * h^{1,2526}$$

$$Q = 0,9612 * 2,7^{1,2526}$$

$$Q = 3,34 \frac{l}{s}$$

Figura 32. Variación horaria de caudal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Volumen de agua residual.

Hora	Q (l/s)	Δt (s)	Volumen (l)
7:00	0,00	0	0,00
7:25	3,34	1500	5003,01
7:30	3,41	300	1023,87
7:45	4,22	900	3801,13
8:00	4,21	900	3786,53
8:15	5,92	900	5330,04
8:30	4,72	900	4244,27
8:45	4,70	900	4229,34
9:00	4,83	900	4349,06
9:15	4,62	900	4154,86
9:30	4,77	900	4289,11

9:45	4,85	900	4364,07
10:00	5,18	900	4666,48
10:15	1,60	900	1437,57
10:20	0,61	300	184,46
10:30	0,31	600	183,02
10:45	0,96	900	865,08
10:50	4,80	900	4319,07
11:00	5,97	900	5376,99
11:15	6,22	900	5597,17
11:30	6,63	900	5962,70
11:45	7,22	900	6495,10
12:00	4,17	900	3757,36
12:15	0,96	900	865,08
12:30	0,40	900	363,07
12:45	0,13	900	115,22
13:00	0,13	900	115,22
13:15	0,05	900	48,36
13:30	0,00	900	0,00
		23400	84927,21

Fuente: Elaboración propia

CAUDAL MEDIO:

El caudal medio de agua residual de la jornada de trabajo se puede obtener del gráfico de variación diaria de caudal.

Tabla 33. Caudal medio.

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)	Q. medio (l/s)
21/03/2019	84927,21	23400,00	3,63

Fuente: Elaboración propia.

El caudal medio es:

$$Q = 3,63 \text{ (l/s)}$$

Pero este caudal es solo del tiempo en el que se trabaja en el día, para el cálculo del diseño se debe obtener un caudal medio en 24 horas.

Tabla 34. Caudales horarios.

Hora	Q (l/s)
7:00	0,00
8:00	4,21
9:00	4,83
10:00	5,18
11:00	5,97
12:00	4,17
13:00	0,13
	24,50

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{md} = \frac{24,50}{24} = 1,02 \text{ (l/s)}$$

El caudal medio horario es:

$$Q = 1,02 \text{ (l/s)}$$

Caudal máximo es:

$$Q_{max} = 7,22 \text{ (l/s)}$$

Caudal mínimo es:

$$Q_{min} = 0,05 \text{ (l/s)}$$

VOLUMEN MEDIO DE AGUA OCUPADO PARA CADA ANIMAL FAENADO.

El volumen de agua mínimo que se debe ocupar según SENASAG para el faenado de cada bovino es 800 litros y para cada porcino es 400 litros, y el porcentaje de agua para limpieza es del 20% del volumen total, entonces:

$$V_T = 800l + 400l = 1200l$$

El porcentaje de agua que ocupara cada bovino será:

$$\frac{80\%}{1200l} = \frac{\%_{bov}}{800l}$$

$$\%_{bov} = 53\%$$

Y para cada porcino:

$$\%_{por} = 80 - 53 = 27\%$$

El volumen total de agua residual de la jornada de trabajo es:

$$V_t = 84927,21 l$$

Entonces, de acuerdo al volumen utilizado el día en que se realizó el aforo de caudal y considerando el número de animales faenados ese día (Anexo 3), se realizó el cálculo del volumen de agua que se utiliza para cada animal.

- Para bovinos:

$$VT_{bov} = 84927,21 l * 0,53 = 45011,42 l$$

$$V_{bov} = \frac{45011,42}{53} = 849,27 l$$

- Para porcinos:

$$V_{por} = 84927,21 l * 0,27 = 22930,34 l$$

$$V_{por} = \frac{28025,98}{60} = 382,17 l$$

4.4.2. CÁLCULO DEL CAUDAL SEGÚN LA DEMANDA PROMEDIO DE ANIMALES FAENADOS.

ÍNDICE DE CONSUMO DE CARNE (ICC).

$$ICC = \frac{CC}{Pa}$$

Dónde:

CC: Consumo promedio diario de animales.

Pa: Población actual, en hab.

Para animales bovinos (bov):

CC= 69 bov/d

Pa₂₀₁₉= 236291 hab

$$ICC_{bov} = \frac{69 \text{ bov/d}}{236291 \text{ hab}}$$

$$ICC_{bov} = 0,000292 \text{ bov/hab/d}$$

Para animales porcinos (por):

CC= 106 por/d

Pa₂₀₁₉= 236291 hab

$$ICC_{por} = \frac{106 \text{ por/d}}{236291 \text{ hab}}$$

$$ICC_{por} = 0,000449 \text{ por/hab/d}$$

La demanda futura (Df) de carne se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Df = Pf * ICC$$

Para animales bovinos:

$$Pf_{2049} = 766386 \text{ hab}$$

$$ICC_{\text{bov}} = 0,000292 \text{ bov/hab/d}$$

$$Df_{\text{bov}} = 766386 * 0,000292 = 223,78 \text{ bovinos/d} \approx 224 \text{ bovinos/d}$$

Para animales porcinos:

$$Pf_{2049} = 766386 \text{ hab}$$

$$ICC_{\text{bov}} = 0,000449 \text{ por/hab/d}$$

$$Df_{\text{por}} = 766386 * 0,000449 = 334,1 \text{ porcinos/d} \approx 335 \text{ porcinos/d}$$

La dotación de agua por bovino es 800 litros y por porcino es 400 litros. El caudal futuro de aguas residuales por faenamiento de animales será:

$$Qf = Df * D$$

Dónde:

Qf: Caudal futuro (l/s)

Df: Demanda futura (bov/d)

D: Dotación de agua por animal (l/bov)

Para animales bovinos (bov):

$$Df = 224 \text{ bov/d}$$

$$D = 800 \text{ l/bov}$$

$$Qf_{\text{bov}} = 224 \text{ bov/d} * 800 \text{ l/bov}$$

$$Qf_{\text{bov}} = 179200 \text{ l/d} = 2,07 \text{ l/s}$$

Para animales porcinos (por):

Df=335 por/d

D=400 l/por

$$Qf_{bov} = 335 \text{ por/d} * 400 \text{ l/por}$$

$$Qf_{bov} = 134000 \text{ l/d} = 1,55 \text{ l/s}$$

$$Qf = 2,07 \text{ l/s} + 1,55 \text{ l/s}$$

$$Qf = 3,62 \text{ l/s}$$

El caudal futuro calculado de 3,62 l/s solo contempla la demanda de agua por animal faenado, pero no considera la limpieza de las instalaciones del matadero.

La cantidad de agua consumida para la limpieza según encuestas realizadas por el gobierno autónomo municipal de la ciudad de Tarija a través de su proyecto E.D.T.P.: Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para el matadero municipal de la ciudad de Tarija es de 70 m³/d (0,81 l/s), entonces el caudal de diseño es:

$$Q = 3,62 \text{ l/s} + 0,81 \text{ l/s} = 4,43 \text{ l/s}$$

4.4.3. CÁLCULO DEL CAUDAL SEGÚN LA DEMANDA MÁXIMA DE ANIMALES FAENADOS.

ÍNDICE DE CONSUMO DE CARNE (ICC):

$$ICC = \frac{CC_{\max}}{Pa}$$

Dónde:

CC_{max}: Consumo promedio diario de animales

Pa: Población actual

Para animales bovinos (bov):

$$CC_{\max} = 170 \text{ bov/d}$$

$$Pa_{2019} = 236291 \text{ hab}$$

$$ICC_{bov} = \frac{170 \text{ bov/d}}{236291 \text{ hab}}$$

$$ICC_{bov} = 0,000719 \text{ bov/hab/d}$$

Para animales porcinos (por):

$$CC_{\max} = 217 \text{ por/d}$$

$$Pa_{2019} = 236291 \text{ hab}$$

$$ICC_{por} = \frac{217 \text{ por/d}}{236291 \text{ hab}}$$

$$ICC_{por} = 0,000918 \text{ por/hab/d}$$

La demanda futura (Df) de carne se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Df = Pf * ICC$$

Para animales bovinos:

$$Pf_{2049} = 766386 \text{ hab}$$

$$ICC_{bov} = 0,000719 \text{ bov/hab/d}$$

$$Df_{bov} = 766386 * 0,000719 = 551 \text{ bovinos/d}$$

Para animales porcinos:

$$Pf_{2049} = 766386 \text{ hab}$$

$$ICC_{por} = 0,000918 \text{ por/hab/d}$$

$$Df_{por} = 766386 * 0,000918 = 703,5 \text{ porcinos/d} \approx 704 \text{ porcinos/d}$$

De acuerdo a la demanda futura máxima de consumo de carne, se observa un valor elevado de bovinos y porcinos debido al incremento de la población de la ciudad de Tarija proyectada a 30 años, de acuerdo a las características que presenta el matadero, este puede cumplir con dicha demanda ya que el proceso del faenado tiene una sola velocidad de funcionamiento, con el tiempo lo único que variará serán las horas de trabajo.

La dotación de agua por bovino es 800 litros y por porcino es 400 litros. El caudal futuro de aguas residuales por faenamiento de animales será:

$$Qf = Df * D$$

Dónde:

Qf: Caudal futuro (l/s)

Df: Demanda futura (bov/d)

D: Dotación de agua por animal (l/bov)

Para animales bovinos (bov):

Df=551 bov/d

D=800 l/bov

$$Qf_{bov} = 551 \text{ bov/d} * 800 \text{ l/bov}$$

$$Qf_{bov} = 440800 \text{ l/d} = 5,10 \text{ l/s}$$

Para animales porcinos (por):

Df=704 por/d

D=400 l/por

$$Qf_{bov} = 704 \text{ por/d} * 400 \text{ l/por}$$

$$Q_{f_{bov}} = 281600 \text{ l/d} = 3,26 \text{ l/s}$$

$$Q_f = 5,10 \text{ l/s} + 3,26 \text{ l/s}$$

$$Q_f = 8,36 \text{ l/s}$$

El caudal futuro calculado de 8,36 l/s contempla la demanda máxima de agua por animal faenado, más la cantidad de agua ocupada para la limpieza:

$$Q = 8,36 \text{ l/s} + 0,81 \text{ l/s} = 9,17 \text{ l/s}$$

El caudal que se utilizará para realizar los cálculos será el obtenido por el método teórico (9,17 l/s), el cual considera la cantidad de animales máximos faenados en el año 2018, no se utilizará el caudal aforado ya que el día en que se realizó la medición se registró un número menor de animales faenados en comparación con el número máximo registrado.

$$Q_{md} = 9,17 \text{ l/s}$$

4.4.4. CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DIARIO.

De la Tabla 5, se considera un nivel medio alto de complejidad del sistema, por lo tanto se usará un coeficiente de consumo máximo diario (K_1) de 1,20.

$$Q_{máx.d} = K_1 * Q_{md} = 1,2 * 9,17 = 11,00 \text{ l/s}$$

Con el caudal máximo diario se diseñará el tanque de regulación, y a partir de éste, las siguientes unidades de la planta de tratamiento.

4.4.5. CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO HORARIO.

De la Tabla 6, se obtiene el coeficiente de consumo máximo horario (K_2) de 1,50, considerando un nivel de complejidad medio alto y red menor de distribución.

$$Q_{máx.h} = 1,5 * 11,00 = 16,50 \text{ l/s}$$

Con el caudal máximo horario se diseñará el canal encargado de guiar el agua residual procedente de los procesos del faenado hasta el tanque de regulación, así como también el canal con rejilla y la trampa de grasas que se colocará antes de llegar al tanque de regulación para evitar taponamiento y obtener un funcionamiento mejor.

CAPITULO 5

DISEÑO DE LA INGENIERÍA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL PARA EL MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

5.1. CANAL ENCARGADO DE GUIAR EL AGUA HASTA EL TANQUE DE REGULACIÓN.

Los factores que se consideró en el diseño del canal ubicado antes del sedimentador primario son:

- La clase de material que conforma el cuerpo del canal, que define el coeficiente de rugosidad de Manning como $n = 0,013$ para revestimiento en concreto.
- La velocidad mínima permisible que evita la sedimentación del material sedimentable presenta en el agua residual es de $0,3 - 0,6$ m/s.
- El caudal de diseño corresponde a $0,0165$ m³/s.
- Se asume un ancho de canal de $0,30$ m.

De la ecuación de continuidad:

De la Ec. 2.8:

$$Q = A * V$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,0165}{0,3} = 0,055 \text{ m}^2$$

Para un canal rectangular:

$$A = b * h$$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{0,055}{0,3} = 0,183 \approx 0,20 \text{ m}$$

Bordo libre:

$$BL = \frac{h}{2} = \frac{0,20}{2} = 0,10 \text{ m}$$

$$h_T = h + BL = 0,20 + 0,10 = 0,30 \text{ m}$$

Mediante la fórmula de Manning (Ec. 2.10) se determina la pendiente del canal:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * S^{1/2}$$

Radio hidráulico:

El radio Hidráulico es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas. De la Ec. 2.9:

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

Su cálculo está en función de la forma geométrica de la sección transversal del canal, en nuestro caso es una sección de tipo rectangular, por lo tanto para su cálculo se emplea:

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2 * h}$$

Entonces:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} * \left(\frac{b * h}{b + 2 * h} \right)^{2/3} * S^{1/2}$$

Se utilizara un coeficiente de Manning de 0,013 para canales revestidos como el que se va a diseñar en la presente propuesta:

$$\frac{0,0165}{0,30 * 0,30} = \frac{1}{0,013} * \left(\frac{0,30 * 0,30}{2 * 0,30 + 0,30} \right)^{2/3} * S^{1/2}$$

$$S = 0,00122 = 0,12\%$$

5.2. TUBERÍA ENCARGADA DE GUIAR EL AGUA A TRAVÉS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Para sección circular llena, de la Ec. 2.10:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{2/3} * S^{1/2}$$

Área de un círculo:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Perímetro de un círculo:

$$P = \pi * d$$

Radio hidráulico de un círculo:

$$R_H = \frac{d}{4}$$

Reemplazando en la Ec. 2.10

$$V = \frac{1}{n} * \frac{d^{2/3}}{4} * S^{1/2}$$

Datos:

$$n=0,013$$

$$S=2,5\%=0,025 \text{ m/m}$$

$$Q=0,011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por continuidad:

$$Q = V * A = V * \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi * d^2}{4}}$$

$$\frac{0,011}{\frac{\pi * d^2}{4}} = \frac{1}{0,013} * \frac{d^{2/3}}{4} * 0,025^{1/2}$$

$$d = 0,11 \text{ m}$$

Adoptar:

$$d = 0,152 \text{ m} = 6''$$

Comprobar velocidad:

$$V = \frac{0,011}{\frac{\pi * 0,152^2}{4}} = 0,61 \text{ m/s}$$

5.3. DISEÑO DEL TANQUE DE REGULACIÓN.

Debe tenerse en cuenta, que el caudal que entra a la planta de tratamiento está sometido a variaciones horarias generadas por el proceso productivo. Para evitar estas variaciones en el caudal, las cuales pueden dificultar el proceso de tratamiento se instalará un tanque de regulación de caudal con el objetivo de que la planta trabaje constantemente a caudal medio. De manera que el caudal de salida del tanque de regulación será el caudal medio, por lo que a partir de ese punto la planta trabajará a caudal medio constantemente.

Volumen de Regulación:

La capacidad del Tanque de Regulación se calcula con la Ec. 2.11:

$$V_r = C * Q_{m\acute{a}x.d} * t$$

Datos:

$$C = 0,15$$

$$Q_{m\acute{a}x.d} = 11,00 \text{ l/s} - 950,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

t=1 día

$$V_r = 0,15 * 950,4 * 1$$

$$V_r = 142,56 \text{ m}^3$$

Agitador:

De acuerdo al volumen del tanque de regulación calculado, se utilizará un agitador vertical sumergible de acero inoxidable Hansa DRX 200-42/250 con las siguientes características:

Diámetro de la Hélice: 0,28 m

Peso: 31 Kg

Potencia: 3,4 CV

Ubicación del agitador:

$$h = \frac{1}{3} * H$$

Dónde:

h= Altura de ubicación del agitador, en m

H= Altura del tanque, en m

$$h = \frac{1}{3} * 5,80 = 1,93 = 2 \text{ m}$$

Tubería de bombeo:

Caudal de bombeo:

El equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{máx.d} * \frac{24}{N}$$

Dónde:

Q_b =Caudal de bombeo, en l/s

$Q_{\text{máx.d}}=11,00 \text{ l/s}=39,6\text{m}^3/\text{h}=0,011 \text{ m}^3/\text{s}$

N =Número de horas de bombeo

El número de horas de bombeo será de 24 horas, ya que la planta de tratamiento trabajará todo el día.

$$Q_b = 11,00 * \frac{24}{24} = 11,00 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 39,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Diámetro de la tubería de bombeo:

Para la elección del diámetro de la tubería de impulsión, se utiliza la fórmula empírica de Bresse.

$$d = \sqrt{Q} = \sqrt{0,011} = 0,10 \text{ m} = 3,94''$$

$$d_{\text{COMERCIAL}} = 4'' = 0,1016 \text{ m}$$

La tubería de impulsión será de fierro galvanizado (FG).

Velocidad media del flujo:

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi * d^2}{4}} = \frac{0,011}{\frac{\pi * 0,1016^2}{4}} = 1,36 \text{ m/s}$$

Rugosidad relativa:

Para el fierro galvanizado la rugosidad absoluta es igual a:

$k=0,00015 \text{ m}$

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,00015}{0,1016} = 0,00147$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

Para una temperatura del agua de 21°C la viscosidad cinemática es igual a:

$$\nu = 0,981 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{1,36 * 0,1016}{0,981 \times 10^{-6}} = 140852,19 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

Perdida de carga debido a la fricción.

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

f=Factor de fricción

L= longitud de la tubería, en m

D= diámetro de la tubería, en m

V= velocidad media del fluido, en m/s

g= aceleración de la gravedad, en m/s²

Factor de fricción, por Coolebrok:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,1286}{Re^{0,89}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{0,00147}{3,7} + \frac{5,1286}{140852,19^{0,89}} \right)$$

$$f = 0,0233$$

Datos:

$$f = 0,0233$$

$$L = 7,65 \text{ m}$$

$$D = 0,1016 \text{ m}$$

$$V = 1,36 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$hf = 0,0233 * \frac{7,65}{0,1016} * \frac{1,36^2}{2 * 9,81} = 0,165 \text{ m}$$

Perdida de carga por accesorios:

Tabla 35. Perdida de carga por accesorios

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	1	1,00
Salida	1,00	1	1,00
Curva 90°	0,65	1	0,65
Curva 45°	0,25	0	0,00
Curva 30°	0,20	0	0,00
Te Normal	0,35	0	0,00
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	0	0,00
Ampliación	0,65	1	0,65
V.E.	0,18	0	0,00
V.M.	0,35	1	0,35
V.R.	2,50	0	0,00
TOTAL SUMA DE Kt			3,65

Fuente: Elaboración propia.

$$hm = Kt * \frac{V^2}{2 * g} = 3,65 * \frac{1,36^2}{2 * 9,81} = 0,344 \text{ m}$$

La altura manométrica para una bomba sumergible es:

$$Hm = H_{geométrica} + hf + hm + \frac{V^2}{2 * g}$$

Datos:

Cota inicial=1886,60 m.s.n.m

Cota final=1892,40 m.s.n.m

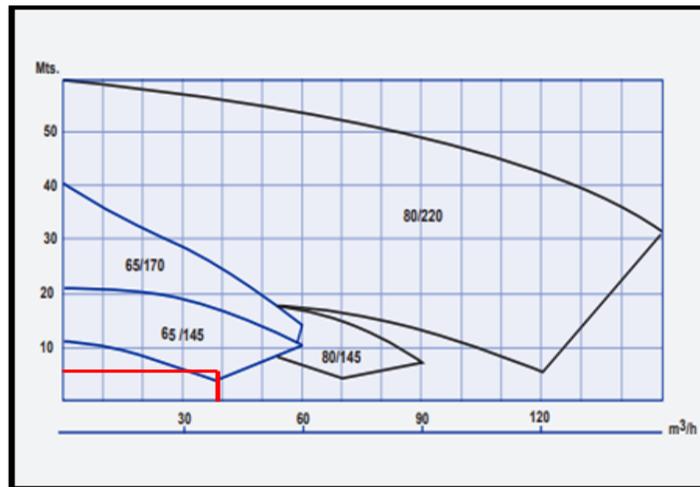
$$Hm = 1892,40 - 1886,60 + 0,165 + 0,344 + \frac{1,36^2}{2 * 9,81} = 6,40 \text{ m}$$

Potencia de bomba sumergible:

$$P_b = \frac{Q_b * \gamma * Hm}{76 * n} = \frac{0,011 * 1000 * 6,40}{76 * 0,85} = 1,1 \text{ HP}$$

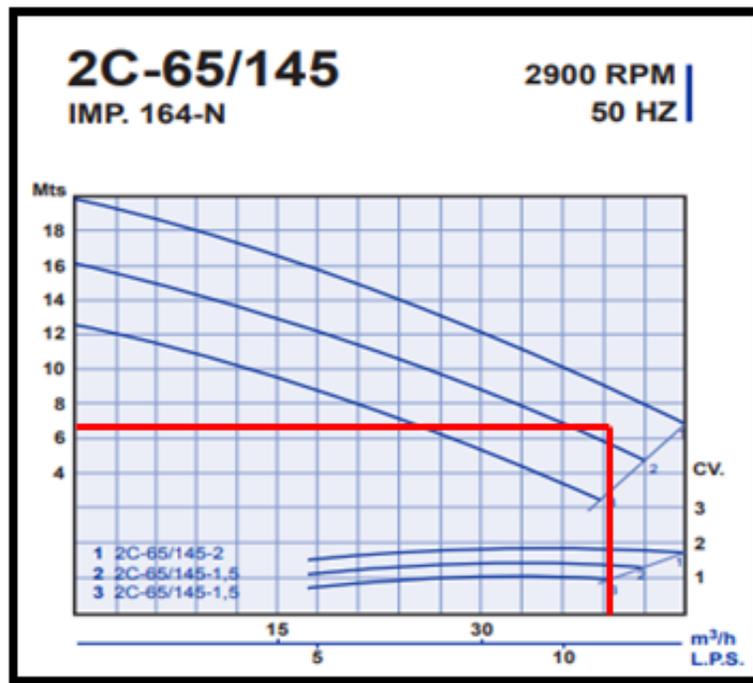
De acuerdo al cálculo de la potencia de la bomba sumergible, y teniendo el caudal de bombeo y la altura manométrica, se entra a la siguiente grafica para la selección del tipo de bomba adecuado.

Figura 33. Selección del tipo de bomba (Altura manométrica en función del caudal)



Fuente: Bombas OMEGA-HANSA.

Figura 34. Selección de la potencia de bomba (Altura manométrica en función del caudal)



Fuente: Bombas OMEGA-HANSA.

De acuerdo a la figura 33 y 34 se utilizará una bomba sumergible 2C-65/145-1,5 OMEGA-HANSA para aguas residuales con una potencia de 1,5 HP.

5.4. PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR.

Es el tratamiento básico que se da a los vertimientos con el fin de remover sólidos gruesos y objetos que puedan impedir el funcionamiento de bombas y equipos o causar taponamiento en las redes de drenaje internas, o para evitar el deterioro de las estructuras posteriores. Para el caso de mataderos, este material lo compone residuos de lavado de panzas, lavado de corrales, carnazas, entre otros.

5.4.1. DISEÑO DE CANAL CON REJILLAS.

El canal recibirá el efluente de todas las áreas del proceso de matanza: aguas grasas y sanguinolentas.

El caudal con el que se diseñará el canal con rejilla será el caudal máximo horario, ya que se colocara antes del tanque de regulación.

$$Q_{\text{máx.h}} = 0,0165 \text{ m}^3/\text{s}$$

De Tabla 7 Características de las rejillas de barras, se obtienen los siguientes parámetros de diseño:

- Espacio entre barras (b)=2,5 cm
- Espesor de barra (w)=1 cm
- Velocidad asumida entre barras=0,6 m/s
- Pendiente con la vertical=45°

Porcentaje de área de flujo:

De la Ec. 2.13:

$$E = \frac{b}{b + w} = \frac{2,5}{2,5 + 1} = 0,71 = 71\%$$

Área útil del canal en la zona de la rejilla:

De la Ec. 2.12:

$$A_u = \frac{Q_{máx.h}}{V}$$

Datos:

$$Q_{máx.d}=0,0165 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V=0,6 \text{ m/s}$$

$$A_u = \frac{0,0165}{0,6} = 0,0275 \text{ m}$$

Área Total en la zona de rejillas:

De la Ec. 2.14:

$$A_t = \frac{A_R}{E} = \frac{0,0275}{0,71} = 0,0387 \text{ m}$$

Profundidad en la zona de rejillas:

De la Ec. 2.15:

$$P = Q * \frac{b + L}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) * V_P * L * B_C}$$

Datos:

P = Profundidad en la zona de rejillas, en m

$Q = 0,0165 \text{ m}^3/\text{s}$

$V_p = 0,6 \text{ m/s}$

$b = 0,01 \text{ m}$

$B_c = 0,3 \text{ m}$

$L = 0,025 \text{ m}$

$G = 30\%$

$$P = 0,0165 * \frac{0,01 + 0,025}{\left(1 - \frac{30}{100}\right) * 0,6 * 0,025 * 0,3} = 0,183 \text{ m}$$

Ancho de rejilla:

De la Ec. 2.16:

$$W_r = \frac{A_t}{P} = \frac{0,0387}{0,183} = 0,22 \text{ m}$$

Ancho útil de rejillas:

De la Ec. 2.17:

$$W_u = \frac{A_u}{P} = \frac{0,0275}{0,183} = 0,14 \text{ m}$$

Ancho total barras:

De la Ec. 2.18:

$$W_b = W_r - W_u = 0,22 - 0,14 = 0,08 \text{ m}$$

Número de barras:

De la Ec. 2.19:

$$N = \frac{W_b}{W} = \frac{0,08}{0,01} = 8 \text{ barras}$$

Perdida de carga en la rejilla:

De la Ec. 2.20:

La pérdida de carga para rejillas limpias según la fórmula de Kirshmer, está dada por:

$$hf = k * \left(\frac{w}{b}\right)^{3/4} * \sin \alpha * \frac{V^2}{2 * g}$$

Datos:

K=Factor, para sección circular es 2,42

W=0,01 m

b= 0,025 m

V= 0,6 m/s

g=9,81 m/s²

$$hf = 2,42 * \left(\frac{0,01}{0,025}\right)^{3/4} * \sin 45 * \frac{0,6^2}{2 * 9,81} = 0,0158 \text{ m}$$

Cuando las rejillas están sucias, la velocidad puede duplicarse y la velocidad de acceso aguas arriba quedaría inalterada. Por lo tanto, la pérdida de carga sería:

$$hf = 2,42 * \left(\frac{0,01}{0,025}\right)^{3/4} * \sin 45 * \frac{2 * 0,6^2}{2 * 9,81} = 0,0316 \text{ m}$$

Altura total:

Se adopta un bordo libre de 0,30 m.

$$T = \frac{P + hf + BL}{\tan 45^\circ} = \frac{0,183 + 0,0316 + 0,30}{\tan 45^\circ} = 0,534 \approx 0,55 \text{ m}$$

Largo de la rejilla:

$$L = \frac{T}{\cos 45^\circ} = \frac{0,534}{\cos 45^\circ} = 0,73 \approx 0,75 \text{ m}$$

5.5. TRATAMIENTO PRIMARIO.

5.5.1. DISEÑO DE TRAMPA DE GRASAS.

La trampa de grasas será construida después del canal con rejilla y antes del tanque de regulación, por lo tanto se diseñará con el caudal máximo horario.

$$Q_{\text{máx.h}}=0,0165 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tiempo de retención hidráulico:

De la Tabla 8, se obtiene un tiempo de retención de 4 minutos para caudales entre 10 a 19 l/s.

$$T_r = 4 \text{ min}$$

Volumen del sistema:

De la Ec. 2.21:

$$V = Q * T_r * 60 = 0,0165 * 4 * 60 = 3,96 \text{ m}^3$$

Área superficial:

De la Ec. 2.22:

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

El valor de la carga superficial, debe estar entre 2,50 a 4,00 l/s/m², por lo cual se asume:

$$q_s = 4 \text{ l/s/m}^2$$

$$A_s = \frac{16,50}{4} = 4,13 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que la relación ancho:largo según la norma RAS 2000 debe estar entre 1:4 a 1:18, se asume para el diseño la relación 1:4.

$$L = 4 * b$$

$$A_s = 4 * b * b = 4 * b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{4}} = \sqrt{\frac{4,13}{4}} = 1,00 \text{ m}$$

$$L = 4 * 1,00 = 4,00 \text{ m}$$

$$h = \frac{V}{A_s} = \frac{3,96}{4,13} = 0,96 \approx 1,00 \text{ m}$$

Cálculo de la remoción de DBO₅ y Sólidos Suspendidos.

En función a los análisis realizados de las muestras de aguas residuales expuestos en la Tabla 27, se tiene Aceites y Grasas con un valor de 389,030 mg/l, un DQO de 3495,370 mg/L y un DBO₅ de 2460,0 mg/L.

Remoción de Aceites y grasas:

De la Ec. 2.24:

Datos:

$$AyG_{inicial}=389,030 \text{ mg/l}$$

$$\% \text{Remoción}=95 \%$$

$$AyG_{salida}=\text{Concentración a la efluente del sistema, en mg/l}$$

$$(AyG)_{salida} = 389,030 - \frac{95}{100} * 389,030 = 19,45 \text{ mg/l}$$

Remoción de la DQO.

De la Ec. 2.26:

Datos:

$$DQO_{inicial}=3495,37 \text{ mg/l}$$

$$\% \text{Remoción}=20 \%$$

$$DQO_{salida}=\text{Concentración de la DQO del efluente del sistema, en mg/l}$$

$$(DQO)_{salida} = 3495,370 - \frac{20}{100} * 3495,370 = 2796,30 \text{ mg/l}$$

Remoción de la DBO₅.

De la Ec. 2.28:

Datos:

$$DBO_{5inicial}=2460,00 \text{ en mg/l}$$

$$\% \text{Remoción}=20 \%$$

$$DBO_{5salida}=\text{Concentración de la DBO}_5 \text{ del efluente del sistema, en mg/l}$$

$$(DBO_5)_{salida} = 2460,00 - \frac{20}{100} * 2460,00 = 1968,00 \text{ mg/l}$$

5.5.2. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO.

Cálculo del volumen del tanque:

Se calcula a partir de la Ec. 2.30 del tiempo de retención hidráulica que se describe a continuación:

De la Tabla 10 se obtiene el tiempo de retención hidráulica para un sedimentador primario.

Datos:

$$Tr=2,50 \text{ h}$$

$$Q=39,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = Q * tr = 39,6 * 2,50 = 99,00 \text{ m}^3$$

Cálculo del radio mayor del tanque.

Se calcula en base a la Ec. 2.31, y de acuerdo a la tabla 9 se establece una altura de 3,50 m:

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} = \sqrt{\frac{99,00}{\pi * 3,50}} = 3,00 \text{ m}$$

Cálculo del diámetro mayor del tanque.

Se determina usando la Ec. 2.32 en función al radio determinado anteriormente.

$$d = 2 * r = 2 * 3,00 = 6,00 \text{ m}$$

Cálculo del área del tanque.

El área del tanque se calcula mediante la Ec. 2.33:

$$A_S = \pi * r^2 = \pi * 3,00^2 = 28,27 \text{ m}^2$$

Cálculo de la carga superficial.

Se calcula a partir de la Ec. 2.34:

Dato:

$$Q=950,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$C_S = \frac{Q}{A_S} = \frac{950,4}{28,27} = 33,63 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}}$$

De acuerdo a la Tabla 10, la carga superficial calculada se encuentra dentro del rango.

Fondo del sedimentador.

Considerando un radio menor del sedimentador de 0,15 m:

$$\Delta x = r - r_m = 3,00 - 0,15 = 2,85 \text{ m}$$

El gradiente hidráulico debe estar entre el rango del 10 al 20 %, por lo tanto para determinar Δy se tendrá la $\text{tg } \alpha=0,2$, reemplazando en la Ec. 2.36:

$$\Delta y = 0,2 * 2,85 = 0,57 \approx 0,60 \text{ m}$$

Cálculo de la remoción.

Remoción de DBO_5

La eficiencia de remoción de DBO_5 y sólidos suspendidos, está en función de la concentración del afluente y del tiempo de retención con la Ec. 2.37 y los valores de a y b se encuentran en la Tabla 11.

$$R_{DBO_5} = \frac{tr}{a + b * tr} = \frac{2,50}{0,018 + (0,02 * 2,50)} = 37 \%$$

En función a los cálculos de remoción en el tratamiento anterior, se tiene una DBO₅ en el afluente del sedimentador primario de 1722,0 mg/L, por lo tanto la cantidad de DBO₅ en el efluente será de:

$$DBO_5' = 1968,00 * 0,37 = 728,16 \text{ mg/l}$$

$$DBO_5 = 1968,00 - 728,16 = 1239,84 \text{ mg/l}$$

Remoción de sólidos suspendidos totales.

Para el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos:

$$R_{SST} = \frac{tr}{a + b * tr} = \frac{2,50}{0,0075 + (0,014 * 2,50)} = 59 \%$$

$$SST = 854,00 * 0,59 = 503,86 \text{ mg/l}$$

$$SST = 854,00 - 503,86 = 350,14 \text{ mg/l}$$

Remoción de DQO.

Para el cálculo se utilizó un porcentaje de remoción del 40 %

De la Ec. 2.39:

Datos:

$$DQO = 2796,30 \text{ mg/l}$$

$$\% \text{ Remoción} = 40 \%$$

$$DQO = \text{Concentración de la DQO a la efluente del sistema, en mg/l}$$

$$(DQO)_{salida} = 2796,30 - \frac{40}{100} * 2796,30 = 1677,78 \text{ mg/l}$$

Remoción de Sólidos Sedimentables.

De la Ec. 2.43:

Datos:

$$SSed_{inicial} = 92,0 \text{ mg/l}$$

$$\% \text{ Remoción} = 90 \%$$

$$SSed_{salida} = \text{Concentración de la SSed a la efluente del sistema, en mg/l}$$

$$(SSed)_{salida} = 92,0 - \frac{90}{100} * 92,0 = 9,20 \text{ mg/l}$$

5.6. TRATAMIENTO SECUNDARIO.

5.6.1. DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODO GRANULAR EXPANDIDA (EGSB).

Datos a utilizar:

Demanda química de oxígeno DQO=3495.370 mg/l

Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅=2460.000 mg/l

Sólidos suspendidos totales SST=854.000 mg/l

Temperatura T= 21 °C

Potencial de hidrógeno pH=6,95

Tiempo de retención hidráulica.

De la Ec: 3.2:

$$TRH = \frac{h}{V}$$

Las velocidades ascensionales a las que puede trabajar un reactor EGSB, utilizando lodo granular, pueden alcanzar valores que van desde 2,5 m/h hasta 10 m/h, para el diseño se utilizara una velocidad ascensional de 2,5 m/h.

Asumiendo una altura de 6 m.

Datos:

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

$$V=2,5 \text{ m/h}$$

$$TRH = \frac{6}{2,5} = 2,40 \text{ horas} = 0,10 \text{ días}$$

Volumen total del reactor:

De la Ec: 3.3:

Datos:

$$TRH=0,10 \text{ d}$$

$$Q=950,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_R = TRH * Q = 0,10 * 950,4 = 95,04 \text{ m}^3$$

Como el volumen total del reactor es menor a 500 m^3 se considera un solo reactor.

Volumen útil de operación:

De la Ec: 3.4:

$$V_U = 0,9 * V_R = 0,9 * 95,04 = 85,54 \text{ m}^3$$

Caudal de alimentación:

De la Ec: 3.5:

$$Q = \frac{V_U}{TRH} = \frac{85,54}{2,40} = 35,64 \text{ m}^3/h$$

Área del reactor:

De la Ec: 3.7:

$$A_R = \frac{V_U}{h} = \frac{85,54}{6} = 14,26 \text{ m}^2$$

Diámetro del reactor:

De la Ec: 3.9:

$$d_R = \sqrt{\frac{A_R * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{14,26 * 4}{\pi}} = 4,25 \approx 4,30 \text{ m}$$

Carga hidráulica:

De la Ec: 3.10:

$$C_H = \frac{Q}{A_R} = \frac{35,64}{14,26} = 2,50 \text{ m/h}$$

Volumen del cuerpo del reactor:

De la Ec: 3.11:

$$V_C = 0,80 * V_U = 0,80 * 85,54 = 68,43 \text{ m}^3$$

Altura del cuerpo del reactor:

De la Ec: 3.13:

$$H_C = \frac{V_C}{\pi * r_R^2} = \frac{68,43}{\pi * 2,15^2} = 4,71 \approx 4,75 \text{ m}$$

Diámetro de la cabeza:

De la Ec: 3.14:

$$d_H = 1,5 * d_R = 1,5 * 4,30 = 6,45 \approx 6,50 \text{ m}$$

$$r_H = 3,25 \text{ m}$$

Volumen de cabeza:

De la Ec: 3.15:

$$V_H = 0,25 * V_C = 0,25 * 68,43 = 17,11 \text{ m}^3$$

Altura de cabeza:

De la Ec: 3.17:

$$V_H = \pi * r_H^2 * H_H$$

$$H_H = \frac{V_H}{\pi * r_H^2} = \frac{17,11}{\pi * 3,25^2} = 0,52 \approx 0,55 \text{ m}$$

Volumen del conector cuerpo-cabeza:

De la Ec: 3.18:

$$V_{C-H} = \frac{V_H}{3} = \frac{17,11}{3} = 5,70 \text{ m}^3$$

Altura del conector cuerpo-cabeza:

De la Ec: 3.20:

$$H_{C-H} = \frac{3 * V_{C-H}}{\pi * (r_H^2 + r_R^2 + r_H * r_R)} = \frac{3 * 5,70}{\pi * (3,25^2 + 2,15^2 + 3,25 * 2,15)} = 0,25 \text{ m}$$

Volumen del cono de soporte:

De la Ec: 3.21:

$$V_S = 0,5 * V_{C-H} = 0,5 * 5,70 = 2,85 \text{ m}^3$$

Altura del cono de soporte:

De la Ec: 3.23:

$$H_S = \frac{3 * V_S}{\pi * r_R^2} = \frac{3 * 2,85}{\pi * 2,15^2} = 0,58 \approx 0,60 \text{ m}$$

Altura del reactor:

De la Ec: 3.24:

$$H_R = H_C + H_S + H_{C-H} + H_H = 4,75 + 0,60 + 0,25 + 0,55 = 6,15 \text{ m}$$

Altura del efluente en cabeza:

De la Ec: 3.26:

$$H_E = \frac{4 * (V_R - V_U)}{\pi * d_H^2} = \frac{4(95,05 - 85,54)}{\pi * 6,50^2} = 0,29 \approx 0,30 \text{ m}$$

Altura del control de nivel:

$$H_{Nmax} = H_E = 0,30 \text{ m}$$

$$H_{Nmin} = \frac{1}{3} * H_C = \frac{1}{3} * 4,75 = 1,58 \approx 1,60 \text{ m}$$

Flujo de la campana:

De la Ec: 3.27:

$$F_C = 4 * C_H = 4 * 2,50 = 10,00 \text{ m/h}$$

Área de apertura de la sección transversal de la campana:

De la Ec: 3.28:

$$A_G = 4,5 * \left(\frac{Q}{F_C} \right) = 4,5 * \left(\frac{35,64}{10,00} \right) = 16,04 \text{ m}^2$$

Radio de la campana:

De la Ec: 3.29:

$$r_G = \sqrt{\frac{A_G}{\pi}} = \sqrt{\frac{16,04}{\pi}} = 2,26 \approx 2,30 \text{ m}$$

$$d_G = 4,60 \text{ m}$$

Altura de la campana:

De la Ec: 3.30:

$$H_G = r_G * \tan 60 = 2,30 * \tan 60 = 0,74 \approx 0,75 \text{ m}$$

DQO a la entrada del reactor:

$$S_M = DQO + 0,5 * (SST) = 3495,37 + 0,5 * (854) = 3922,37 = 3,92 \text{ Kg/m}^3$$

Carga orgánica:

$$CO = S_M * Q = 3,92 * 792,29 = 3105,78 \text{ Kg/d}$$

Lodos producidos:

Rendimiento de lodo:

$$RL = 0,04 \frac{\text{Kg lodos secos}}{\text{Kg DQO removido}}$$

$$PLS = (CO * nDQO) * RL = (3105,78 * 0,90) * 0,04 = 111,81 \text{ Kg Ls/d}$$

Producción de gas metano:

La tasa de conversión de metano a partir de DQO es:

$$TG_{CH_4} = 0,34 \frac{m^3 CH_4}{Kg DQO}$$

$$G_{CH_4} = TG_{CH_4} * (CO * nDQO) = 0,34 * (3105,78 * 0,90) = 950,37 m^3 CH_4/d$$

Poder calorífico del BIOGAS:

$$H_{CCH_4} = 8000 Kcal/m^3$$

$$P_{CCH_4} = H_{CCH_4} * G_{CH_4} = 8000 * 950,37 = 7602960 Kcal/d$$

Valor calorífico del BIOGAS:

$$1Kw * h = 859,84 Kcal$$

$$7602960 Kcal/d = 316790 Kcal/h$$

$$V_{CCH_4} = \frac{316790}{859,84} = 368,43 Kw$$

En el proceso EGSB, el agua residual influente, es alimentada desde el fondo del módulo de manera uniforme y fluye hacia arriba asegurando el máximo contacto entre biomasa y el agua por tratar. En la parte superior del sector, se instala la campana separadora de 3 fases, que separa al biogás y a los sólidos (biomasa granular) del agua. Esto asegura que a biomasa se mantenga dentro del reactor y que se produzca un efluente libre de sólidos.

Alimentación.

Para calcular en número de boquillas en la alimentación, se calcula primero, el área del cuerpo del reactor.

$$A_{CR} = \pi * r_R^2 = \pi * 2,15^2 = 14,52 m^2$$

Los fabricantes de reactores de EGSB, recomiendan instalar una boquilla por metro cuadrado o una boquilla por cada dos metros cuadrados, por lo que tendríamos que instalar entre 8 y 15 boquillas en la alimentación en el fondo del reactor.

Se colocaran 10 boquillas.

Tubería de bombeo:

Caudal de bombeo:

El equipo de bombeo y tubería de recirculación deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{m\acute{a}x.d} * \frac{24}{N}$$

Dónde:

Q_b =Caudal de bombeo, en l/s

$Q_{m\acute{a}x.d}$ =11,00 l/s=39,6m³/h=0,011 m³/s

N=Número de horas de bombeo

El número de horas de bombeo será de 24 horas, ya que la planta de tratamiento trabajará todo el día.

$$Q_b = 11,00 * \frac{24}{24} = 11,00 \text{ l/s}$$

Diámetro de la tubería de bombeo:

Para la elección del diámetro de la tubería de impulsión, se utiliza la fórmula empírica de Bresse.

$$d = \sqrt{Q} = \sqrt{0,011} = 0,10 \text{ m} = 3,94''$$

$$d_{COMERCIAL} = 4'' = 0,1016 \text{ m}$$

La tubería de impulsión será de fierro galvanizado (FG).

Velocidad media del flujo:

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi * d^2}{4}} = \frac{0,011}{\frac{\pi * 0,1016^2}{4}} = 1,36 \text{ m/s}$$

Rugosidad relativa:

Para el fierro galvanizado la rugosidad absoluta es igual a:

$$k=0,00015 \text{ m}$$

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,00015}{0,1016} = 0,00147$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

Para una temperatura del agua de 21°C la viscosidad cinemática es igual a:

$$\nu=0,981 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{1,36 * 0,1016}{0,981 \times 10^{-6}} = 140852,19 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

Perdida de carga debido a la fricción.

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

f=Factor de fricción

L= longitud de la tubería, en m

D= diámetro de la tubería, en m

V= velocidad media del fluido, en m/s

g= aceleración de la gravedad, en m/s²

Factor de fricción, por Coolebrok:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,1286}{Re^{0,89}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{0,00147}{3,7} + \frac{5,1286}{140852,19^{0,89}} \right)$$

$$f = 0,0233$$

Datos:

$$f=0,0233$$

$$L= 5,60 \text{ m}$$

$$D= 0,1016 \text{ m}$$

$$V= 1,36 \text{ m/s}$$

$$g= 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$hf = 0,0233 * \frac{5,60}{0,1016} * \frac{1,36^2}{2 * 9,81} = 0,12 \text{ m}$$

Perdida de carga por accesorios:

Tabla 36. Perdida de carga por accesorios

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	1	1,00
Salida	1,00	1	1,00
Curva 90°	0,65	1	0,65
Curva 45°	0,25	0	0,00
Curva 30°	0,20	0	0,00
Te Normal	0,35	1	0,35
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	0	0,00
Ampliación	0,65	1	0,65
V.E.	0,18	0	0,00
V.M.	0,35	0	0,00
V.R.	2,50	0	0,00
TOTAL SUMA DE Kt			3,65

Fuente: Elaboración propia

$$hm = Kt * \frac{V^2}{2 * g} = 3,65 * \frac{1,36^2}{2 * 9,81} = 0,344 \text{ m}$$

La altura manométrica para una bomba sumergible es:

$$Hm = H_{geométrica} + hf + hm + \frac{V^2}{2 * g}$$

Datos:

Cota inicial=1886,80 m.s.n.m

Cota final=1891,60 m.s.n.m

$$Hm = 1891,60 - 1886,80 + 0,12 + 0,344 + \frac{1,36^2}{2 * 9,81} = 5,36 \text{ m}$$

Potencia de bomba de recirculación:

$$P_b = \frac{Q_b * \gamma * Hm}{76 * n} = \frac{0,011 * 1000 * 5,36}{76 * 0,85} = 0,91 \text{ HP}$$

Se utilizará una bomba peristáltica para recircular el agua en el reactor EGSB de 1 HP con las siguientes características:

Tabla 37. Características técnicas bomba de recirculación.

Características Técnicas	
Potencia	1 Hp
Máxima profundidad de sumersión	8 m
Temperatura del fluido	Hasta +40°C
Tipo de motor	Trifásico 380V
Modelo	50C 2.75S-52-Hansa

Fuente: HANSA – Industria y Construcción

Cálculo de la remoción de DQO.

De la Ec. 3.32:

Dónde:

$$DQO_{\text{inicial}}=1677,78 \text{ en mg/l}$$

$$\% \text{ Remoción}=80 \%$$

DQO_{salida} =Concentración de la DQO del efluente del sistema, en mg/l

$$(DQO)_{\text{salida}} = 1677,78 - \frac{80}{100} * 1677,78 = 335,56 \text{ mg/l}$$

Cálculo de la remoción de DBO₅.

De la Ec. 3.34:

Dónde:

$$DBO_{5\text{inicial}}=1239,84 \text{ en mg/l}$$

$$\% \text{ Remoción}=80 \%$$

$DBO_{5\text{salida}}$ =Concentración de la DBO₅ del efluente del sistema, en mg/l

$$(DBO_5)_{\text{salida}} = 1239,84 - \frac{80}{100} * 1239,84 = 247,97 \text{ mg/l}$$

Remoción de Sólidos Suspendidos Totales.

De la Ec. 3.36:

Dónde:

$$SST_{\text{inicial}}=350,14 \text{ mg/l}$$

$$\% \text{ Remoción}=60 \%$$

SST_{salida} =Concentración de la SST a la efluente del sistema, en mg/l

$$(SST)_{\text{salida}} = 350,14 - \frac{60}{100} * 350,14 = 140,06 \text{ mg/l}$$

5.7. DISEÑO DEL LECHO DE SECADO.

Carga de Sólidos que ingresa al sedimentador:

De la Ec. 2.46:

Datos:

$$Q=11,00 \text{ l/s}$$

$$ST=854,00 \text{ mg/l}$$

$$C = 11,00 \frac{l}{s} * 854,00 \frac{mg}{l} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1 Kg}{1000 g} * \frac{86400 s}{1 d} = 811,64 \frac{Kg}{d}$$

Masa de Sólidos que conforman los lodos:

De la Ec. 2.47:

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) =$$

$$(0,5 * 0,7 * 0,5 * 811,64) + (0,5 * 0,3 * 811,64) = 263,78 \frac{Kg}{d}$$

Volumen diario de lodos digeridos:

De la Ec. 2.48:

Datos:

$$\rho_{lodo}=1,04 \text{ Kg/l}$$

$$\%_{sólidos}=12 \%$$

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left(\frac{\%Sólidos}{100\%}\right)} = \frac{263,78}{1,04 * \frac{12}{100}} = 2113,62 \frac{l}{d}$$

Volumen de lodos a extraerse:

De la Ec. 2.49:

Datos:

$$Td=38 \text{ d}$$

El tiempo de digestión se obtuvo de la Tabla 13. Para una temperatura de 21 °C.

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} = \frac{2113,62 * 38}{1000} = 80,32 \text{ m}^3$$

Área del Lecho de secado:

De la Ec. 2.50:

Datos:

$$H_a = 0,40 \text{ m}$$

$$A_{ls} = \frac{Vel}{H_a} = \frac{80,32}{0,40} = 79,92 \text{ m}^2$$

Área individual de los lechos de secado:

De la Ec. 2.51:

Datos:

$$N^\circ \text{ Lechos} = 4 \text{ lechos}$$

$$A_{ls_i} = \frac{A_{ls}}{N^\circ \text{ Lechos}} = \frac{79,92}{4} = 19,98 \text{ m}^2$$

Longitud del lecho de secado:

De la Ec. 2.52:

Dónde:

$$b = 4 \text{ m}$$

$$L = \frac{A_{ls_i}}{b} = \frac{19,98}{4} = 4,99 \approx 5,00 \text{ m}$$

Cantidad de arena y grava.

Se usará una profundidad de 12 pies (0,30 m) de grava y 9 pies (0,20 m) de arena en el lecho de secado:

Volumen total de arena requerida:

$$V_{ds} = 20 * N * LN * \left(\frac{9}{12}\right)$$

Dónde:

N=Nunero de lechos

LN=Longitud total de los lechos, en m

$$V_{ds} = 20 * N * LN * \left(\frac{9}{12}\right) = 15 * 4 * 16 = 960 \text{ pies}^3 = 27,18 \text{ m}^3$$

Volumen total de grava requerida:

$$V_{dg} = 20 * N * LN$$

$$V_{dg} = 20 * 4 * 16 = 1280 \text{ pies}^3 = 36,25 \text{ m}^3$$

Horas de bombeó al año para el lecho de secado.

$$\rho = 1,04 \frac{Kg}{l} = 1,04 \frac{ton}{m^3}$$

Transformando el volumen diario de lodos digeridos a toneladas por litro:

$$Vld = 1,04 \frac{ton}{m^3} * 2,14 \frac{m^3}{d} = 2,23 \frac{Ton}{d}$$

Como el volumen de lodo digerido es de 2,23 Ton/d, entonces se calcula el nunero de horas de bombeo por día:

$$Vld > 0,8 \frac{Ton}{d} \rightarrow H = 1066,4 * Vld$$

$$H = 1066,4 * 2,23 = 2378,07 \frac{h}{año} = 6,52 \text{ h/d}$$

Tubería de bombeo para reconducir el agua filtrada hacia el tratamiento secundario:

Caudal de bombeo:

El equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal sólido, considerando que se presenta un porcentaje de humedad del 88%

$$Q = 88\% * 2113,6 \frac{l}{d} = 1859,97 \frac{l}{d}$$

Considerando el número de horas de bombeo al día:

$$Q_b = 0,79 \frac{l}{s}$$

Diámetro de la tubería de bombeo:

Se recomienda que el diámetro de la tubería que recirculará el agua filtrada del lecho del secado sea de 2 pulgadas para la longitud total de los lechos.

$$d_{COMERCIAL} = 2" = 0,0508 \text{ m}$$

Velocidad media:

$$V = \frac{7,9 \times 10^{-4}}{\frac{\pi * 0,0508^2}{4}} = 0,39 \frac{m}{s}$$

La tubería de impulsión será de fierro galvanizado (FG).

Rugosidad relativa:

Para el fierro galvanizado la rugosidad absoluta es igual a:

k=0,00015 m

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,00015}{0,0508} = 0,00295$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

Para una temperatura del agua de 21°C la viscosidad cinemática es igual a:

$$\nu = 0,981 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0,39 * 0,0508}{0,981 \times 10^{-6}} = 20195,72 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

Pérdida de carga debido a la fricción

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

f=Factor de fricción

L= longitud de la tubería, en m

D= diámetro de la tubería, en m

V= velocidad media del fluido, en m/s

g= aceleración de la gravedad, en m/s²

Factor de fricción, por Coolebrok:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{\epsilon}{3,7} + \frac{5,1286}{Re^{0,89}} \right)$$
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{0,00295}{3,7} + \frac{5,1286}{16053,01^{0,89}} \right)$$
$$f = 0,0327$$

Datos:

$$f = 0,0327$$

$$L = 34,33 \text{ m}$$

$$D = 0,0508 \text{ m}$$

$$V = 0,31 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$hf = 0,0327 * \frac{34,33}{0,0508} * \frac{0,39^2}{2 * 9,81} = 0,171 \text{ m}$$

Perdida de carga por accesorios:

Tabla 38. Pérdida de carga por accesorios.

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	1	1,00
Salida	1,00	1	1,00
Curva 90°	0,65	1	0,65
Curva 45°	0,25	0	0,00
Curva 30°	0,20	0	0,00
Te Normal	0,35	1	0,35
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	0	0,00
Ampliación	0,65	1	0,65
V.E.	0,18	0	0,00
V.M.	0,35	1	0,35
V.R.	2,50	0	0,00
TOTAL SUMA DE Kt			4,00

Fuente: Elaboración propia.

$$hm = Kt * \frac{V^2}{2 * g} = 4,00 * \frac{0,39^2}{2 * 9,81} = 0,031 \text{ m}$$

La altura manométrica para una bomba sumergible es:

$$Hm = H_{geométrica} + hf + hm + \frac{V^2}{2 * g}$$

Datos:

Cota inicial=1885,20 m.s.n.m

Cota final=1887,00 m.s.n.m

$$Hm = 1887,00 - 1885,20 + 0,171 + 0,031 + \frac{0,39^2}{2 * 9,81} = 2,01 \text{ m}$$

Potencia de bomba sumergible:

$$P_b = \frac{Q_b * \gamma * Hm}{76 * n} = \frac{7,9 \times 10^{-4} * 1000 * 2,01}{76 * 0,85} = 0,2 \text{ HP}$$

Se utilizará una bomba centrífuga TRUPER 10071/BOAC-1/4 para reconducir el agua filtrada en el lecho de secado hacia el tratamiento secundario de 1/4 HP con las siguientes características:

Tabla 39. Características técnicas bomba de recirculación

Características Técnicas	
Potencia	1/4 Hp
Flujo máximo	70 L/min
Máxima profundidad de sumersión	8 m
Ø Entrada / salida	2 NPT
Temperatura del fluido	Hasta +40°C
Tipo	Centrífuga
Modelo	50C 2.75S-52-Hansa

Fuente: Bombas TRUPER S.A.

5.8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Se realizó el reconocimiento del lugar, determinando el espacio físico disponible y punto de muestreo del agua residual en el tubo de salida del efluente, se tomaron 4 muestras simples en función al caudal, obteniendo 1 muestra compuesta durante toda la jornada laboral del matadero de Tarija, la misma que fue analizada en el laboratorio RIMH y al obtener los resultados se realizó un análisis comparativo con los límites de descarga al alcantarillado sanitario. Los siguientes parámetros se encuentran fuera de los límites permisibles:

- Sólidos Suspendidos Totales=854,00 mg/l.
- Sólidos Sedimentables=92,00 mg/l.
- DBO₅=2460,00 mg/l.
- DQO=3495,37 mg/l.
- Grasas y Aceites=389,03 mg/l.

El Caudal de diseño se lo calculó en función a la cantidad máxima de animales bovinos y porcinos faenados el año 2018, para esto se calculó la población futura para un periodo de diseño de 30 años, que será beneficiada con el servicio, es decir, con el consumo de carne, y con la cantidad de agua utilizada por animal faenado, obteniendo los siguientes caudales de diseño:

- Caudal medio diario= 9,17 l/s.
- Caudal máximo diario=11,00 l/s.
- Caudal máximo horario de 16,50 l/s.

Se tabularon los datos y se procedió a realizar los cálculos de ingeniería, llegando a determinar:

CANAL.

Tabla 40. Características del canal principal.

Caudal	0,0165 m³/s
Sección	Rectangular
Ancho del canal	0,30 m

Altura del agua	0,20 m
Altura del canal	0,30 m

Fuente: Elaboración propia

TANQUE DE REGULACIÓN.

Tabla 41. Características del tanque de regulación

Volumen	145 m³
Largo	5,00 m
Ancho	5,00 m
Altura total	5,80 m

Fuente: Elaboración propia

CANAL CON REJILLAS.

Tabla 42. Características de la rejilla

Ancho del canal	0,30 m
Número de barras	8
Espesor de barras	1 cm
Espacio entre barras	2,5 cm

Fuente: Elaboración propia

TRAMPA DE GRASAS.

Tabla 43. Características de la trampa de grasas

Volumen	2,64 m³
Ancho	1,00 m
Largo	4,00 m
Altura	1,00 m
Bordo libre	0,25 m

Fuente: Elaboración propia

SEDIMENTADOR PRIMARIO.

Tabla 44. Características del Sedimentador Primario

Caudal	950,4 m³/s
Diámetro mayor	6,00 m
Altura	3,50 m
Diámetro menor	0,30 m
Altura del cono	0,60 m

Fuente: Elaboración propia

REACTOR ANAEROBIO DE CAMA DE LODO GRANULAR EXPANDIDA (EGSB).

Tabla 45. Características del Reactor EGSB

Caudal	950,4 m³/s
Área del reactor	14,26 m ²
Diámetro del reactor	4,30 m
Altura del cuerpo del reactor	4,75 m
Diámetro de la cabeza	6,50 m
Altura de cabeza	0,55 m
Altura del conector cuerpo-cabeza	0,25 m
Altura del cono de soporte	0,60 m
Altura del reactor	6,15 m
Altura del efluente en cabeza	0,30 m
Diámetro de la campana	4,60 m
Altura de la campana	0,75 m

Fuente: Elaboración propia.

LECHO DE SECADO.

Tabla 46. Características del lecho de secado.

Volumen		80,32m ³
N° Lechos	4	
Ancho	4,00 m	
Largo	5,00 m	
Altura	0,40 m	

Fuente: Elaboración propia.

Con el tratamiento diseñado, se logró llegar a valores dentro de los límites permisibles:

- Sólidos Suspendidos Totales=140,06 mg/l.
- Sólidos Sedimentables=9,20 mg/l.
- DBO₅=247,97 mg/l.
- DQO=335,56 mg/l.
- Grasas y Aceites=19,45 mg/l.

CAPITULO 6

PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

6.1. PRESUPUESTO.

Tabla 47. Presupuesto General.

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO PARCIAL (Bs)
MODULO 1. OBRAS PRELIMINARES					75.729,81
1	INSTALACIÓN DE FAENAS	glb	1	5.430,44	5.430,44
2	DESBROCE Y NIVELACIÓN	m ²	840	83,19	69.879,60
3	LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS	glb	1	419,77	419,77
MODULO 2. TUBERIA Y ACCESORIOS					57.699,80
1	PROV. Y COLOCADO TUBERÍA PVC 6"	ml	77	270	20.790
2	PROV. Y COLOCADO TUBERÍA FG 4"	ml	50	422	21.100
3	VÁLVULA TIPO CORTINA 6"	pza	13	1.089,60	14.164,80
4	CODOS PVC 90° 6"	pza	11	95	1.045
5	TEE DE PVC 6"	pza	6	100,00	600
MODULO 3. CANAL DE REJAS					5.116,88
1	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES	m ²	1,44	2,51	3,61
2	EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO)	m ³	0,96	55,46	53,24
3	BASE DE HORMIGÓN POBRE	m ³	0,43	1.221,89	525,41
4	HORMIGÓN SIMPLE 1:2:3	m ³	1	2.369,06	2.369,06

5	REVOQUE INTERIOR	m ²	3,03	178,55	541,01
6	REVOQUE EXTERIOR	m ²	5,4	197,28	1.065,31
7	PROV. Y COLOC. DE REJILLA ACERO	pza	1	559,24	559,24
MODULO 4.TRAMPA DE GRASAS					31.783,81
1	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES	m ²	5,60	2,51	14,06
2	EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO)	m ³	7,00	55,46	288,22
3	BASE DE HORMIGÓN POBRE	m ³	1,12	1.221,89	1.368,52
4	HORMIGÓN ARMADO LOSA	m ³	4,20	3.674,68	15.433,70
5	REVOQUE INTERIOR	m ²	22,00	178,55	3.928,10
6	REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE	m ²	22,00	201,47	4.432,34
7	REVOQUE EXTERIOR	m ²	15,70	197,28	3.097,30
8	TAPA DE HORMIGÓN ARMADO	m ³	1,12	2.876,40	3.221,57
MODULO 5.TANQUE DE REGULACIÓN					303.812,22
1	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES	m ²	40,96	2,51	102,81
2	EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO)	m ³	103,49	55,46	5.739,56
3	BASE DE HORMIGÓN POBRE	m ³	6,27	1.221,89	7.661,25
4	HORMIGÓN ARMADO LOSA	m ³	25,86	3.674,68	95.027,22
5	REVOQUE INTERIOR	m ²	141	178,55	25.175,55
6	REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE	m ²	141	201,47	28.407,27

7	REVOQUE EXTERIOR	m ²	136,64	197,28	26.956,34
8	PROV. E INSTALACIÓN BOMBA SUMERGIBLE(1,5HP)	pza	2	17.225,55	34.451,10
9	TAPA DE HORMIGÓN ARMADO	m ³	8,19	2.876,40	23.557,72
10	PRO. Y COLOC. AGITADOR	pza	2	28.366,7	56.733,40
MODULO 6.SEDIMENTADOR PRIMARIO					114.339,9
1	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES	m ²	32,17	2,51	80,75
2	EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO)	m ³	26,95	55,46	1.494,65
3	BASE DE HORMIGÓN POBRE	m ³	2,18	1.221,89	2.663,72
4	HORMIGÓN ARMADO LOSA	m ³	14,9	3.674,68	54.752,73
5	REVOQUE INTERIOR	m ²	93,19	178,55	16.639,07
6	REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE	m ²	93,19	201,47	18.774,99
7	REVOQUE EXTERIOR	m ²	101,04	197,28	19.933,17
MODULO 7.REACTOR EGSB					183.634,68
1	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES	m ²	33,18	2,51	83,28
2	EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO)	m ³	131,21	55,46	7.276,91
3	BASE DE HORMIGÓN POBRE	m ³	1,7	1.221,89	2,077.21
4	HORMIGÓN ARMADO LOSA	m ³	17,57	3.674,68	64.564,13
5	REVOQUE INTERIOR	m ²	128,49	178,55	22.941,89
6	REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE	m ²	128,49	201,47	25.886,88

7	REVOQUE EXTERIOR	m ²	149,65	197,28	29.522,95
8	ACERO INOXIDABLE	m ²	0,79	161,17	127,32
9	PINTURA EPOXICA INTERIOR	m ²	0,79	46,97	37,11
10	QUEMADOR DE GAS	glb	1	1,225,80	1.225,80
11	PROV. COLOC. TUBERÍA FG 1/4" (RECOLECCIÓN DE GAS)	m	2,7	53,92	145,58
13	BOMBA DE AGUA 1HP	pza	2	14.872,81	29.745,62
MODULO 9.LECHO DE SECADO DE LODOS					334.584,84
1	REPLANTEO DE ESTR. Y EDIF.	m ²	352	2,51	883,52
2	EXC. 0-2 M. (NT)	m ³	1.611,20	55,46	89.357,15
3	BASE DE HORMIGÓN POBRE	m ³	28,51	1.221,89	34.836,08
4	HORMIGÓN ARMADO LOSA	m ³	31,04	3.674,68	114.062,07
5	REVOQUE INTERIOR	m ²	137,6	178,55	24.568,48
6	REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE	m ²	137,6	201,47	27.722,27
7	REVOQUE EXTERIOR	m ²	62,72	197,28	12.373,40
8	MEDIO FILTRANTE (ARENA)	m ³	27,18	191,80	5.213,12
9	MEDIO FILTRANTE (GRAVA)	m ³	36,25	191,80	6.952,75
10	BOMBA DE AGUA ¼ HP	pza	2	9.308,0	18.616,0
PRECIO TOTAL					1.106.701,94

Son: Un Millón Ciento Seis Mil Setecientos Uno con 94/100 Bolivianos.

6.2.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

6.2.1. OBRAS PRELIMINARES.

6.2.1.1.INSTALACIÓN DE FAENAS.

Descripción. - Este Ítem comprende los trabajos necesarios para la Instalación de Faenas, siendo está emplazada en depósitos alquilados o la construcción de campamentos, además de ello involucra la colocación de letreros, informativos que deben estar localizados en sectores donde el Supervisor indique, (todo el material pertinente para una adecuada señalización en obra), limpieza del sector de emplazamiento, movilización , transportar,

descargar, instalar, mantener, proveer maquinarias, herramientas y materiales necesarios para la ejecución de las obras. El SUPERVISOR DE OBRA constatará que el equipo y materiales colocados en la obra, guarden concordancia con la lista de equipo ofertado por el CONTRATISTA y tenga relación con el cronograma de ejecución de las obras presentado en la misma oferta. Asimismo comprende el traslado oportuno de todas las herramientas, maquinarias y equipo para la adecuada y correcta ejecución de las obras y la desmovilización del mismo una vez realizada la recepción final del Proyecto.

Materiales, herramientas y equipo. - El CONTRATISTA deberá disponer de depósitos para Garantizar que todos los materiales y accesorios, estén protegidos de las condiciones climáticas y otras externas que puedan afectar los mismos. Las condiciones mínimas para la instalación de faenas serán:

- Tablones de Madera o Piso de Cemento, etc.; como base de asiento para el material.
- Carpas o Semi-Sombras, Tinglados, etc.; para el resguardo del material del sol o lluvia.

Forma de ejecución. - Respecto a la instalación de faenas, el CONTRATISTA deberá obtener las autorizaciones que correspondan respecto a la ubicación de depósitos e instalaciones con anterioridad al inicio de obras, para realizar la movilización del equipo y personal a la obra, mismo que deberá ser apto para el acopio de material para obras mecánicas. Para ello se deberá presentar al SUPERVISOR DE OBRA un Croquis; en el cual se indicara el lugar donde será emplazado el Depósito o Campamento para la Instalación de Faenas.

El CONTRATISTA hará uso de un espacio que se encuentre a no más de 500 metros del sector de construcción de la obra. Dicha ubicación debe ser autorizada por el SUPERVISOR DE OBRA. Este predio o sector será de uso exclusivo, para el resguardo de los materiales o accesorios quedando a responsabilidad del CONTRATISTA realizar la Correspondiente delimitación, para no tener inconvenientes con otras actividades dentro de la Instalación de Faenas. En todo el desarrollo de la obra el CONTRATISTA deberá realizar la respectiva señalización para prevenir accidentes, siendo el responsable en cualquier situación donde no exista la misma. La verificación de equipos y maquinaria la realizará el SUPERVISOR DE OBRA de acuerdo a la lista de equipo ofertado antes del inicio de la obra y durante la ejecución de la misma. Respecto a los letreros de señalización, el SUPERVISOR DE OBRA acordará y aprobará el lugar de emplazamiento del o los

letreros de señalización como de Obra, verificando la estructura portante de los mismos y todos los procedimientos que garanticen la estabilidad de los letreros, siendo el CONTRATISTA responsable de resguardarlos contra robos y destrucciones.

Medición. - El ítem de instalación de faenas será medido en forma global, en concordancia con lo establecido en los requerimientos técnicos, los cuales serán aprobados y reconocidos por el SUPERVISOR DE OBRA. La forma de pago se efectuara de acuerdo al precio unitario de la propuesta aceptada y deberá respaldarse con un registro fotográfico de cada actividad que se realice en el presente ítem.

6.2.1.2. LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS.

Descripción. - Este ítem comprende los trabajos necesarios para el carguío, retiro y traslado de todos los escombros resultantes de la obra, así como también, el deshierbe y nivelación del terreno, para realizar los trabajos de excavación en los diferentes tramos del Proyecto. La limpieza se la deberá hacer permanentemente con la finalidad de mantener la obra limpia y transitable

Los escombros deberán ser recogidos cada tramo, no dejando esta actividad postergada hasta el final de la obra. Una vez terminada la obra de acuerdo con el contrato y previamente a la recepción provisional de la misma, el CONTRATISTA estará obligado a ejecutar, además de la limpieza periódica, la limpieza general del lugar. La limpieza periódica deberá realizarse en cada tramo concluido, dejando el área libre de materiales excedentes y de residuos.

Materiales, herramientas y equipo. – El CONTRATISTA proporcionará todos los materiales, herramientas y equipos necesarios (Volquetas, camionetas, etc.) Para la ejecución de los trabajos, los mismos deberán ser aprobados por el SUPERVISOR al inicio de la actividad.

Forma de ejecución. - Los trabajos de limpieza y retiro de escombros serán ejecutados una vez concluidas cada una de las actividades del proyecto, se recogerán todos los excedentes de materiales: escombros, basura, herramientas, equipo, piedras y cuando corresponda el material extraído por el deshierbe y nivelación del sector, etc., además de ello se realizara un barrido del polvo remanente y se transportarán fuera de la obra y del área de trabajo

todos los materiales señalados y transportados hasta los lugares o botaderos establecidos para el efecto por las autoridades municipales locales.

Los materiales que indique y considere el SUPERVISOR reutilizables, serán transportados y almacenados en los lugares que este indique, aun cuando estuvieran fuera de los límites de la obra.

El CONTRATISTA deberá cumplir con los componentes de desmovilización y limpieza final, donde el SUPERVISOR constatará que no haya residuos remanentes de las actividades realizadas durante la obra proveniente de equipos o plantas, que puedan causar efectos nocivos en los habitantes en el sitio de la obra.

Una vez terminada la obra de acuerdo con el contrato y previamente a la recepción provisional de la misma, el CONTRATISTA estará obligado a ejecutar, además de la limpieza periódica, la limpieza general del lugar.

Medición. – El ítem de limpieza y retiro de escombros será medido en forma global, y de acuerdo al avance que se tenga en obra pero solo con el objeto de compatibilizar lo ejecutado, ya que queda plenamente establecido que la obra a ser entregada, deberá estar libre de todo tipo de residuos que obliguen a ejecutar algún trabajo adicional referente a la limpieza y retiro de escombros dejados por la propia obra, los cuales serán aprobados y reconocidos por el SUPERVISOR. La forma de pago se efectuará de acuerdo al precio unitario de la propuesta aceptada.

Dicho pago será la compensación total por los materiales, mano de obra, herramientas, equipo y otros gastos que sean necesarios para la adecuada y correcta ejecución de los trabajos.

6.2.2. TUBERÍA Y ACCESORIOS.

6.2.2.1. PROV. Y COLOCADO TUBERÍA PVC 6".

Descripción. – Comprende el suministro e instalación de tubos sanitarios de PVC 6 pulgadas de diámetro, con todos sus accesorios, y que cumplan con la norma ASTM D-3035, de acuerdo a los planos respectivos y/o instrucciones del Supervisor de obra.

Instalación. – Una vez definidas las cotas de solera y determinado el trazo de las tuberías en el terreno, se procede con la instalación de las mismas tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

Los diferentes tramos de la tubería deberán tener una pendiente uniforme de acuerdo a los planos.

Medida. – El tendido de tubos de PVC realizado de acuerdo a las especificaciones de este Ítem, se medirá por metro lineal instalado, tomando en cuenta sólo la longitud neta ejecutada y aprobada.

6.2.3. CANAL DE REJAS.

6.2.3.1. REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES.

Descripción. - El CONTRATISTA habrá de ejecutar los diferentes trabajos de topografía necesarios para la buena ejecución de las obras. El SUPERVISOR entregará al CONTRATISTA puntos con referencia de nivel (RN) que servirán de base para el replanteo y, otras referencias para el trazado y orientación de los ejes de obras. Para las referencias topográficas el CONTRATISTA tendrá que recolocar mojones estables y protegerlos contra daños. Para la buena ejecución de las obras, antes de iniciar los trabajos en el terreno, el CONTRATISTA estará obligado a realizar la verificación de todos los datos topográficos indicados en los planos y corregirlos en el caso de que encuentre divergencias entre las condiciones reales en el terreno y los datos de los planos, de conformidad con el SUPERVISOR. Los ejes de construcción y niveles deberán marcarse en el terreno en forma segura y permanente mediante una señalización (cuñas, estacas, etc.). Las marcas deberán ser precisas, claras y estables, cuantos más importantes sean los ejes y elementos a replantear. Para realizar estos trabajos el CONTRATISTA deberá contar con equipo topográfico de precisión y calidad así como con el personal especializado y con experiencia en éste tipo de trabajo. El CONTRATISTA someterá a la aprobación del SUPERVISOR los trazos, niveles y replanteos ejecutados, antes de iniciar los trabajos.

Materiales, herramientas y equipo. - Todos los materiales y herramientas para la realización de éste ítem, deberán ser provistos por el CONTRATISTA, como ser equipo

topográfico, pintura, cemento, arena, estuco, cal, etc., con la fiscalización del SUPERVISOR.

Forma de ejecución. –

- **Trazos, Niveles y Replanteos:** El CONTRATISTA debe realizar los diferentes tipos de trabajos de topografía necesarios para la buena ejecución de la(s) Obra(s). Existen en las cercanías de los emplazamientos de las diferentes Obras mojones de hormigón, como muestran los Planos de Licitación, que serán entregados en sitio al CONTRATISTA.

El CONTRATISTA debe realizar una revisión en el campo, mantener y asegurar los mojones y en el caso de que los mismos estén destruidos, él está obligado a reinstalar los mismos. El CONTRATISTA será responsable de la corrección y exactitud de la topografía del replanteo de la(s) Obra(s) con relación a los puntos originales, líneas y niveles de referencia establecidos y dados por escrito por el SUPERVISOR y de la exactitud de las posiciones, niveles, dimensiones y alineamiento de todas las partes de la(s) Obra(s), así como de la provisión de todos los instrumentos de alta precisión y calidad, herramientas y mano de obra calificada necesarias para ello. Si durante la ejecución de la(s) Obra(s) aparecieran errores de posición, nivel, dimensión o alineamiento en cualquier parte de la(s) Obra(s), el CONTRATISTA rectificará a su propio costo dichos errores, a entera satisfacción del SUPERVISOR. La verificación de cualquier replanteo o de cualquier línea o nivel efectuado por el SUPERVISOR, no relevará en ningún caso al CONTRATISTA de su responsabilidad sobre la exactitud de los mismos y el CONTRATISTA velará por la preservación de todas las estacas o marcas utilizadas en el replanteo. El CONTRATISTA dará al SUPERVISOR todas las facilidades para efectuar la verificación del replanteo de la(s) Obra(s).

- **Amojonamiento:** Durante el replanteo el CONTRATISTA restituirá o colocará mojones de referencia en las obras según las necesidades para un fácil, rápido y adecuado replanteo de las mismas, o como indique el SUPERVISOR. Los mojones de orientación o kilometraje para el emisario y tuberías serán colocados según lo indicado para esas obras o como indique el SUPERVISOR. Los mojones serán

fabricados de hormigón en bloques con una base de 20 x 20 cm y una altura de 60 cm, vaciados en sitio. El cabezal del mojón estará elevado 10 cm sobre el terreno natural. En el centro del mojón se colocará una barra metálica inoxidable de 10 cm de longitud, de los cuales 9 cm estarán empotrados. El detalle del diseño definitivo de los mojones será acordado en obra entre el SUPERVISOR y el CONTRATISTA. Antes del comienzo de la fabricación de los mojones, el CONTRATISTA presentará al SUPERVISOR una muestra de los mismos para su aprobación.

Medición. – El replanteo de las construcciones de estructuras será medido en metros cuadrados, tomando en cuenta únicamente las magnitudes netas de la construcción.

6.2.3.2. EXCAVACIÓN 0-2 m. (NIVEL DEL TERRENO).

Descripción. - Este ítem comprende todos los trabajos de excavaciones con retroexcavadora ejecutadas en diferentes clases de terreno, en las zonas donde no se tenga empedrado o el terreno no se encuentre debidamente compactado y no sea adecuado para el vaciado de pavimento.

Materiales, Herramientas Y Equipo. - Para los fines de cálculo de costos y de acuerdo a la naturaleza y características del suelo a excavarse, se establece la siguiente clasificación:

- ❖ Suelo Clase I (blando): Suelos compuestos por materiales sueltos como humus, tierra vegetal, arena suelta y de fácil remoción con pala y poco uso de picota.
- ❖ Suelo Clase II (semiduro): Suelos compuestos por materiales como arcilla compacta, arena o grava, roca suelta, conglomerados y en realidad cualquier terreno que requiera previamente un ablandamiento con ayuda de pala y picota.
- ❖ Suelo Clase III (Duro): Suelos que requieren para su excavación un ablandamiento más riguroso con herramientas especiales como barretas.
- ❖ Roca: Suelos que requieren para su excavación el uso de barrenos de perforación, explosivos, cinceles y combos para fracturar las rocas, restringiéndose el uso de explosivos en áreas urbanas.

El contratista deberá proveer todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la realización de este ítem como ser retroexcavadora.

Forma de ejecución. - Se procede al aflojamiento y extracción de los materiales en los lugares demarcados. Los materiales que vayan a ser utilizados posteriormente para rellenar

zanjas o excavaciones, se apilaran convenientemente a los lados de las mismas, a una distancia prudencial que no cause presiones sobre sus paredes. Los materiales sobrantes de la excavación serán trasladados y acumulados en los lugares indicados.

A medida que progrese la excavación, se tendrá especial cuidado del comportamiento de las paredes, a fin de evitar deslizamientos. Si esto sucediese no se podrá fundar sin antes limpiar completamente el material que pudiera llenar al fondo de la excavación.

Cuando las excavaciones demanden la construcción de entibados y apuntalamientos, estos deberán ser proyectados por el contratista. El fondo de las excavaciones será horizontal y en los sectores donde el terreno destinado a fundar sea inclinado, se dispondrá de escalones de base horizontal.

Medición. - Las excavaciones serán medidas en metros cúbicos, tomando en cuenta únicamente el volumen neto del trabajo ejecutado.

Este ítem ejecutado en un todo de acuerdo a las presentes especificaciones, medido de acuerdo a lo señalado y aprobado por el supervisor de obra.

6.2.3.3. BASE DE HORMIGÓN POBRE.

Descripción. - Este ítem se refiere al colocado del concreto en los muros y piso de la cámara. Los materiales a usar son: cemento Pórtland I, agregados y agua, comprende la fabricación, transporte, colocación, compactación, protección y curado del hormigón, ajustándose estrictamente al trazado, alineación, elevaciones y dimensiones señaladas en los planos y/o instrucciones del Supervisor de Obra.

- **Pruebas Preliminares:** Antes de iniciarse la producción normal del concreto se deberán ejecutar pruebas expeditivas o de campo sobre todos los materiales, para la obtención del concreto de las resistencias requeridas, con el fin de obtener concretos de acuerdo a las especificaciones recomendadas. A pesar de la aprobación del Inspector, el Ingeniero Residente será responsable de mantener una buena calidad del concreto de acuerdo a las especificaciones técnicas.
- **Cemento:** La cantidad de cemento será la necesaria para alcanzar la resistencia especificada. Se empleará Cemento Pórtland Tipo I estándar y que corresponda a las

normas americanas ASTM, y que deberán encontrarse en perfecto estado al momento de su utilización. Deberá almacenarse en construcciones apropiadas que lo protejan de la humedad y la intemperie, el ambiente de almacenaje será suficientemente amplio, para permitir una ventilación conveniente. El tiempo de almacenaje debe ser tal que no se permita los riesgos de pre hidratación e inicio del fraguado, fenómeno que se manifiesta con el endurecimiento del material. Su uso estará supeditado a la verificación de sus propiedades iniciales.

- **Agua:** El agua empleada será fresca y potable, libre de sustancias perjudiciales como aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan perjudicar o alterar el comportamiento eficiente del concreto, acero y otros; tampoco deberá tener partículas de carbón, humus ni fibras vegetales. Se podrá usar agua no potable cuando las probetas cúbicas de mortero preparado con dicha agua, cemento y arena normal de Ottawa tengan por lo menos el 90% de la resistencia a los 7 y 28 días de las preparadas con agua potable, normas ASTM C 199.
- **Agregados:** Los agregados a usarse son fino (arena), gruesa (piedra partida). Ambos deberán considerarse como ingredientes separados del cemento. Deben estar de acuerdo con las especificaciones para agregados según norma ASTM C 33 se podrá usar otros agregados siempre y cuando se haya demostrado por medio de la práctica o ensayos especiales, que produzcan concreto con resistencia y durabilidad adecuada, toda variación deberá estar avalada por laboratorio. Agregado fino (arena); deberá cumplir con los siguientes requisitos:
 - Grano grueso y resistente.
 - No contendrá un % con respecto al peso total de más del 5% del material que pase por tamiz N° 200, en caso contrario el exceso deberá ser eliminado mediante lavado correspondiente.
 - El porcentaje total de arena en la mezcla puede variar entre 30 y 45% de tal manera que consiga la consistencia deseada del concreto. El criterio general para determinar la consistencia será el emplear concreto tan consistente como se pueda, sin que deje de ser fácilmente trabajable dentro de las condiciones de llenado que se está ejecutando.

La trabajabilidad del concreto es muy sensitiva a las cantidades de material que

pasen por los tamices N° 50 y N° 100, una deficiencia de estas medidas puede hacer que la mezcla necesite un exceso de agua y se produzca afloramiento y las partículas finas se separen y salgan a la superficie. No debe haber menos del 15% de agregado fino que pase por la malla N° 50 ni 5% que pase por la malla N° 100. Esto debe tomarse en cuenta con el concreto expuesto. La materia orgánica se controlará por el método ASTM C 40 y el fino por ASTM C 17.

Agregados gruesos (piedra partida) deberá cumplir con lo siguiente:

- El agregado grueso deberá ser piedra partida o grava limpia, libre de partículas de arcilla plástica en su superficie y proveniente de rocas que no se encuentran en proceso de descomposición.
- El ingeniero Residente de Obra tomará las correspondientes muestras para someter los agregados a los ensayos correspondientes de durabilidad ante el sulfato de sodio y sulfato de magnesio y ensayo de ASTM C 33.
- El tamaño máximo de los agregados será de 1 ½” para el concreto armado.
- El tamaño máximo del agregado en general, tendrá una medida tal que no sea mayor de 1/5 de la medida más pequeña entre los costados interiores de las formas dentro de las cuales se vaciará el concreto, ni mayor de 1/3 de peralte de losas o que el ¾ mínimo espacio libre entre barras individuales de refuerzo entre grupos de barras.

Materiales, Herramientas y Equipo. - Todos los materiales, herramientas y equipos requeridos para la preparación y vaciado del hormigón pobre serán proporcionados por el CONTRATISTA y aprobados por el SUPERVISOR.

Las dosificaciones a ser empleadas para cada caso deben corresponder a las resistencias proyectadas para el hormigón, que deben ser verificadas por el SUPERVISOR.

Los materiales y suministros transables deben contar con el certificado de buena calidad

Forma de Ejecución. - La forma de aplicación del hormigonado seguirá los pasos secuenciales como ser: Encofrados, mezclados de hormigón, transporte, vaciado, vibrado, desencofrado, protección y curado, juntas de dilatación, reparación del hormigón defectuoso, ensayos, evaluación y aceptación del hormigón, aceptación de la estructura y medición.

Medición. – La unidad de medida es el metro cúbico medidos sobre el terreno.

6.2.3.4. HORMIGÓN.

Descripción. - Este ítem comprende la fabricación, transporte, colocación, compactación, protección y curado de hormigón. Las mismas que pueden ser empleadas para los diferentes tipos de estructuras, que se encuentran en los formularios de presentación de propuestas y/o planos.

Materiales, Herramientas Y Equipo. – Los materiales, herramientas que sean necesarios para la ejecución de este ítem, deben ser provistos por el CONTRATISTA, previa revisión y aprobación del SUPERVISOR. Los materiales y suministros en general deben ser certificados por alguna entidad correspondiente del fabricante, que verifique la calidad exigida de acuerdo a la normativa vigente en la medida en que se introduzca en el país la obligatoriedad de la certificación de calidad, todos los materiales que se utilice deberán contar con su correspondiente certificado.

Forma de ejecución. – Se construirán con hormigón ciclópeo los elementos indicados en los planos, con las dimensiones y en los sitios indicados previa verificación y aprobación del SUPERVISOR. La superficie sobre la que se asentará la estructura será nivelada y limpia, debiendo estar totalmente libre de cualquier material nocivo o suelto. El vaciado se hará por capas de 20 cm de espesor, dentro de las cuales se colocarán las piedras desplazadoras, cuidando que entre piedra y piedra haya suficiente espacio para ser completamente cubiertas por el hormigón. El colocado de las piedras debe ser manual. En ningún caso las piedras desplazadora podrán ser lanzadas. El hormigón ciclópeo se compactará a mano, mediante varillas de fierro, cuidando que las piedras desplazadoras, se coloquen sin tener ningún contacto con el encofrado y estén a una distancia mínima de 3 cm. Las piedras deben estar previamente lavadas y humedecidas al momento de ser colocadas en la obra, deberán descansar en toda su superficie de asiento, cuidando de dar la máxima compacidad posible y que la mezcla de dosificación 1:3:4 rellene completamente todos los huecos. El hormigón ciclópeo tendrá una resistencia a la compresión simple en probetas cilíndricas de 160 Kg/cm² a los 28 días.

Medición. – Todos los tipos de hormigón serán medidos en metros cúbicos, considerando solamente los volúmenes netos ejecutados y corriendo por cuenta del CONTRATISTA cualquier volumen adicional que hubiera construido al margen de las instrucciones del SUPERVISOR y/o planos de diseño.

6.2.3.5. ENCOFRADO Y DESENCOFRADO.

Descripción. –

- **Encofrado:** Los encofrados se ajustarán a la forma, las líneas y las dimensiones de los elementos según lo especificado en los planos y serán sólidos y suficientemente herméticos para evitar la segregación del mortero. Estarán arrostrados o unidos adecuadamente para mantener su posición y su forma. En el diseño del encofrado deberán considerarse los siguientes factores: Velocidad y método de colocar el concreto. Cargas, incluyendo carga viva, muerta, lateral e impacto. Selección de materiales y esfuerzos. Deflexión, contra flecha, excentricidad y presión. Arrostramiento horizontal y diagonal. Empalmes de pies derechos. Compresión perpendicular a la fibra. Cargas sobre el piso o sobre una estructura vaciada previamente.
- **Desencofrado:** Ninguna porción de la estructura que no esté apuntalada soportara durante la construcción cargas que excedan las consideradas en el diseño estructural. Ninguna porción de la estructura soportada carga, ni se quitarán puntales de ninguna parte de la estructura durante la construcción, hasta que dicha porción de la estructura haya obtenido suficiente resistencia para soportar con seguridad su peso y las cargas que se coloquen. Esta resistencia puede comprobarse mediante especímenes de ensayos. El constructor proporcionará tales análisis y ensayos al proyectista. Se desencofrará de tal manera que se asegure siempre la completa seguridad de la estructura. Cuando la estructura en conjunto está adecuadamente apoyada en puntales, los encofrados removibles para pisos, las caras laterales de vigas secundarias y principales, de columnas y otros encofrados verticales semejantes, se pueden quitar después de 24 horas, siempre y cuando el concreto esté lo suficientemente fuerte para no sufrir daños.

Medición. - La unidad de esta partida es en metro cuadrado.

6.2.3.6. REVOQUE EXTERIOR E INTERIOR.

Descripción. - Este ítem se refiere al acabado de las superficies de muros ladrillo, paramentos de hormigón (muros y losas) y otros en los ambientes interiores de las construcciones, de acuerdo al formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del SUPERVISOR.

Materiales, Herramientas y Equipo. - El mortero de cemento y arena fina a utilizarse debe ser en una dosificación 1:3 y 1:5 (cemento y arena), salvo indicación contraria señalada en el formulario de presentación de propuestas y/o en los planos.

Forma de ejecución. – Como trabajo preliminar al revoque de los muros se colocarán maestras a distancias no mayores a dos (2) metros, cuidando de que éstas, estén perfectamente niveladas entre sí, a fin de asegurar la obtención de una superficie pareja y uniforme en toda la extensión de los paramentos.

De acuerdo al tipo de revoque especificado en el formulario de presentación de propuestas se seguirán los procedimientos de ejecución que a continuación se detallan:

Revoque grueso de cemento, Revoque de cemento enlucido.

Si los revoques de cemento tuvieran que realizarse sobre estructuras de hormigón, previamente se picarán las superficies a revestirse para obtener una mejor adherencia del mortero.

Medición. - Los revoques de las superficies de muros y tabiques en sus diferentes tipos se medirán en metros cuadrados, tomando en cuenta únicamente las superficies netas.

6.2.3.7. PROV. Y COLOC. DE REJILLA ACERO.

Descripción. - Son rejas de fierros de 1 cm soldados a espacios de 2,5 cm en marco del mismo diámetro de fierro tal como se indica en plano que se empotrará en forma fija al ingreso de la cámara de la rejilla. Todo accesorio será revisado cuidadosamente antes de ser instalados a fin de descubrir defectos, tales como roturas, rajaduras, porosidades, etc.

Medición. - La unidad de medición es por pieza o unidad.

6.2.4. TANQUE DE REGULACIÓN.

6.2.4.1. REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES.

Ídem al ítem 6.2.3.1.

6.2.4.2. EXCAVACIÓN 0-2 m. (NIVEL DEL TERRENO).

Ídem al ítem 6.2.3.2.

6.2.4.3. BASE DE HORMIGÓN POBRE.

Ídem al ítem 6.2.3.3.

6.2.4.4. HORMIGÓN.

Ídem al ítem 6.2.3.4.

6.2.4.5. ACERO ESTRUCTURAL.

Descripción.- Este ítem comprende el suministro, cortado, doblado, colocación y armado de Acero Estructural fy 5000 ósea no se aceptara una resistencia menos de $F_y 5000 \text{ Kg/cm}^2$, estas armaduras o enfierraduras de refuerzo para las estructuras de hormigón armado se colocaran en las cantidades, tipo, dimensiones y diámetros establecidos en los planos de diseño, formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del CONTROL Y MONITOREO y de acuerdo a las exigencias y requisitos establecidos en la Norma Boliviana del Hormigón Armado CBH-87.

Materiales, Herramientas Y Equipo. - Los materiales a emplearse serán proporcionados por el Contratista, así como las herramientas y equipo necesario para el cortado, amarre y doblado del fierro.

Los aceros de distintos diámetros y características se almacenarán separadamente, a fin de evitar la posibilidad de intercambio de barras.

Queda terminantemente prohibido el empleo de aceros de diferentes tipos en una misma sección.

La fatiga de fluencia mínima del acero estructural será 5000 Kgr/cm² y no menos.

Forma De Ejecución. - Las barras de fierro se cortarán y doblarán ajustándose a las dimensiones y formas indicadas en los planos y las planillas de fierros, las mismas que deberán ser verificadas por el CONTROL Y MONITOREO antes de su utilización.

El doblado de las barras se realizará en frío, mediante el equipo adecuado y velocidad limitada, sin golpes ni choques.

Queda terminantemente prohibido el cortado y el doblado en caliente.

Las barras de fierro que fueron dobladas no podrán ser enderezadas, ni podrán ser utilizadas nuevamente sin antes eliminar la zona doblada.

El radio mínimo de doblado, salvo indicación contraria en los planos será:

Acero 5000 Kg/cm² o más (fatiga de fluencia): 15 veces el diámetro

• **Limpieza y colocación.** - Antes de introducir las armaduras en los encofrados, se limpiarán adecuadamente mediante cepillado vigoroso con cepillos de cerdas de acero, librándolas de polvo, barro, grasas, pinturas y todo aquello que disminuya la adherencia.

Si en el momento de colocar el hormigón existieran barras con mortero u hormigón endurecido, éstos se deberán eliminar completamente previo a vaciado del hormigón.

Todas las armaduras se colocarán en las posiciones precisas establecidas en los planos estructurales.

Para sostener, separar y mantener los recubrimientos de las armaduras, se emplearán soportes de mortero (galletas) con ataduras metálicas que se construirán con la debida anticipación mínimo 10 días, de manera que tengan formas, espesores y resistencia adecuada. Se colocarán en número suficiente para conseguir asegurar las armaduras en las posiciones adecuadas, quedando terminantemente prohibido el uso de piedras como separadores u otros.

Se cuidará especialmente que todas las armaduras queden protegidas mediante los recubrimientos mínimos de 3 pulgadas en muros y 4 pulgadas en base para tanques de hormigón armado que contienen agua residual.

La armadura superior de las losas se asegurará adecuadamente, para lo cual el Contratista tendrá la obligación de construir caballetes en un número conveniente pero no menor a 4 piezas por m².

Todos los cruces de barras deberán atarse en forma adecuada.

- **Empalmes en las barras.** - Queda prohibido efectuar empalmes en barras sometidas a tracción, además la longitud mínima de empalme será 50 veces el diámetro.

Si fuera necesario realizar empalmes, éstos se ubicarán en aquellos lugares donde las barras tengan menores solicitaciones.

En una misma sección de un elemento estructural solo podrá aceptarse un empalme cada cinco barras.

La resistencia del empalme deberá ser como mínimo igual a la resistencia que tiene la barra.

Se realizarán empalmes por superposición de acuerdo al siguiente detalle:

a) Los extremos de las barras se colocarán en contacto directo en toda su longitud de empalme, los que podrán ser rectos o con ganchos de acuerdo a lo especificado en los planos, no admitiéndose dichos ganchos en armaduras sometidas a compresión.

b) En toda la longitud del empalme se colocarán armaduras transversales suplementarias para mejorar las condiciones del empalme.

c) Los empalmes mediante soldadura eléctrica, no se deben de realizar por ningún motivo.

Medición. - Este ítem se medirá en kilogramos, de acuerdo a lo establecido en el formulario de presentación de propuestas y en correspondencia a la armadura colocada y señalada en los planos y planillas de fierros correspondientes.

Queda establecido que en la medición del acero de refuerzo no se tomará en cuenta la longitud de los empalmes, ni las pérdidas por recortes de las barras, las mismas que deberán ser consideradas por el Contratista en su análisis de precio unitario.

6.2.4.6. REVOQUE EXTERIOR E INTERIOR.

Ídem al ítem 6.2.3.6.

6.2.4.7. REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE.

Descripción. - Este Ítem se refiere a la impermeabilización de diferentes elementos y sectores de una construcción, de acuerdo a lo establecido en los planos de construcción, formulario de presentación de propuesta y/o instrucciones del Supervisor de Obra, los mismos que se señalan a continuación:

- En losas de hormigón de cubiertas de edificios, de tanques de agua, de casetas de bombeo, de muros de tanque y otros que se encuentren.

Materiales, Herramientas y Equipo. - El Contratista deberá proporcionar todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de este Ítem.

En los trabajos de impermeabilización se emplearán: alquitrán o pintura bituminosa, polietileno de 200 micrones, cartón asfáltico, lamiplast y otros materiales impermeabilizantes que existen en el mercado, previa la aprobación del Supervisor de Obra.

Forma de ejecución. – Durante la ejecución de las impermeabilizaciones se deberá tomar todas las precauciones y medidas de seguridad, a fin de evitar intoxicaciones, inflamaciones y explosiones.

La impermeabilización en todos los casos exige un trabajo completamente estanco de agua, de manera que además de los materiales se deberá utilizar las técnicas adecuadas.

En la impermeabilización de muros y losas se podrán emplear hidrófugos apropiados, láminas asfálticas, alquitrán y otros, de acuerdo al detalle señalado en los planos correspondientes y en el formulario de presentación de propuestas. Dichos materiales deberán ser aprobados por el Supervisor de obra, previo su empleo en obra.

Una vez limpiadas cuidadosamente las superficies o paramentos que deberán ser impermeabilizados, se aplicará al alquitrán en caliente (diluido), debiendo conformar dos capas alternadas de alquitrán y gravilla. La capa de alquitrán tendrá un espesor no menor a 2 mm. y el tamaño de la gravilla no será mayor a 1/4" La superficie terminada deberá estar perfectamente homogénea.

La impermeabilización con otros materiales se deberá efectuar siguiendo estrictamente las recomendaciones e instrucciones de los fabricantes.

Medición. - La impermeabilización de los sobrecimientos, pisos, columnas de madera, losas de cubiertos y otros será medida en metros cuadrados, tomando en cuenta únicamente el área neta del trabajo ejecutado y de acuerdo a lo establecido en los planos de construcción.

6.2.4.8. PROV. E INSTALACIÓN BOMBA SUMERGIBLE.

Descripción. - Este ítem se refiere a la provisión e instalación de equipos de bombeo que serán utilizados para la impulsión de las aguas residuales desde el tanque de almacenamiento, de acuerdo a lo establecido en los planos de construcción, y/o indicaciones del Supervisor.

Materiales, Herramientas y Equipo. - Todos los materiales, herramientas y equipos necesarios para la provisión e instalación de los equipos de bombeo, serán proporcionados por el CONTRATISTA, de acuerdo a lo especificado y recomendado por los fabricantes o proveedores de los equipos de bombeo. Los materiales y suministros en general deben ser certificados por alguna entidad correspondiente del fabricante, que verifique la calidad exigida de acuerdo a la normativa vigente en la medida en que se introduzca en el país la obligatoriedad de la certificación de calidad, todos los materiales que se utilice deberán contar con su correspondiente certificado.

Forma de ejecución. – El CONTRATISTA debe verificar que la bomba cumpla con las condiciones de operación como altura dinámica total de bombeo, caudal requerido, tensión de servicio, longitud de columna de bomba. El CONTRATISTA está obligado a entregar a la SUPERVISIÓN el material descriptivo del equipo instalado, redactado en castellano consignando lo siguiente: Especificaciones Técnicas de diseño, construcción y material de todos los componentes del equipo. Curvas características certificadas de la bomba a

suministrar: Caudal vs. Presión, eficiencia, potencia. Características como marca, modelo, potencia, velocidad, ciclaje, dimensiones, altura dinámica total, velocidad de giro, aislamiento, según las siguientes características: Bomba sumergible para suministro de agua sin tratar, descenso del nivel freático y aumento de presión.

El CONTRATISTA debe presentar la garantía por parte del proveedor, por el lapso de tres años, para los motores de las bombas.

Medición. - Los equipos de bombeo serán medidos por pieza debidamente instalada, verificada y aprobada en forma escrita por el SUPERVISOR.

6.2.5. TRAMPA DE GRASAS.

6.2.5.1. REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES.

Ídem al ítem 6.2.3.1.

6.2.5.2. EXCAVACIÓN 0-2 m. (NIVEL DEL TERRENO).

Ídem al ítem 6.2.3.2.

6.2.5.3. BASE DE HORMIGÓN POBRE.

Ídem al ítem 6.2.3.3.

6.2.5.4. HORMIGÓN.

Ídem al ítem 6.2.3.4.

6.2.5.5. ACERO ESTRUCTURAL.

Ídem al ítem 6.2.4.5.

6.2.5.6. REVOQUE EXTERIOR E INTERIOR.

Ídem al ítem 6.2.3.6.

6.2.5.7. REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE.

Ídem al ítem 6.2.4.6.

6.2.6. SEDIMENTADOR PRIMARIO.

6.2.6.1. REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES.

Ídem al ítem 6.2.3.1.

6.2.6.2. EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO).

Ídem al ítem 6.2.3.2.

6.2.6.3. BASE DE HORMIGÓN POBRE.

Ídem al ítem 6.2.3.3.

6.2.6.4. HORMIGÓN.

Ídem al ítem 6.2.3.4.

6.2.6.5. ACERO ESTRUCTURAL.

Ídem al ítem 6.2.4.5.

6.2.6.6. REVOQUE EXTERIOR E INTERIOR.

Ídem al ítem 6.2.3.6.

6.2.6.7. REVOQUE INTERIOR IMPERMEABLE.

Ídem al ítem 6.2.4.6.

6.2.7. REACTOR EGSB.

6.2.7.1. REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES.

Ídem al ítem 6.2.3.1.

6.2.7.2. EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO).

Ídem al ítem 6.2.3.2.

6.2.7.3. BASE DE HORMIGÓN POBRE.

Ídem al ítem 6.2.3.3.

6.2.7.4. HORMIGÓN.

Ídem al ítem 6.2.3.4.

6.2.7.5. ACERO ESTRUCTURAL.

Ídem al ítem 6.2.4.5.

6.2.7.6. REVOQUE EXTERIOR E INTERIOR.

Ídem al ítem 6.2.3.6.

6.2.7.7. PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS PARA RECOLECCIÓN DE BIOGÁS.

Descripción. – Este ítem comprende la provisión e instalación de accesorios de recolección de biogás en el reactor anaeróbico, de acuerdo a los planos constructivos y de detalle, formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del SUPERVISOR.

Materiales, Herramientas y Equipo. – Las tuberías de fierro galvanizado deben cumplir con las propiedades y características citadas en la NB-689. Los accesorios como ser: codos, tees a ser colocadas en las tuberías de FG deben ser también de fierro galvanizado con sus extremos compatibles con las uniones de las tuberías y en conformidad a las Normas ISO pertinentes. Se debe rechazar todas las piezas y tuberías que presenten exudaciones, burbujas o filtraciones cuando sean sometidas a pruebas hidráulicas y las que presenten cavidades porosas con profundidades mayores a 0,1 mm. Las llaves de paso deben ser de aleación altamente resistente a la corrosión con rosca interna (hembra) en ambos lados. En cuanto a su acabado debe presentar superficies lisas y aspecto uniforme, tanto externa como internamente, sin porosidades, rugosidades, rebabas o cualquier otro defecto de fabricación. La rosca interna, en ambos lados de las llaves de paso de fundición de bronce tipo cortina, debe ser compatible con la de las tuberías. El quemador de biogás D=2” deberá estar de acuerdo a las normas vigentes. El CONTRATISTA debe ser el responsable del transporte, manipuleo y almacenamiento de la tubería y sus accesorios, debiendo reemplazar antes de

su utilización en obra todo aquel material que presentara daños o que no cumpla con las normas y especificaciones señaladas.

Forma de Ejecución. – Cortado y tarrajado de las tuberías Los cortes deben ser ejecutados empleando prensas de banco y corta tubos de discos y deben ser perpendiculares al eje del tubo. Una vez realizado el corte, los bordes deben ser alisados con lima o esmeril. El CONTRATISTA debe contar con un equipo completo para efectuar las roscas (tarrajado) en todos los diámetros requeridos. El tubo debe sujetarse mediante prensas de banco, (por lo menos con una longitud de 2m) y durante el proceso de tarrajado se debe utilizar aceite para la lubricación del corte. Forma de Instalación Todo acople entre tubos, o entre accesorios y tubos, debe ser ejecutado limpiando previamente las limaduras y colocando cinta teflón en el lado macho de la unión y utilizando pintura especial apropiada para este trabajo. Al ejecutar uniones roscadas en piezas a unir, debe garantizarse la penetración del tubo en porciones iguales dentro del acople. La longitud roscada del extremo del tubo debe ser cuando menos igual al 65% de la longitud de la pieza de acople. El ajuste de piezas en diámetros mayores a una pulgada debe ser efectuado utilizando llaves de cadena.

Al fin de la jornada y toda vez que el extremo de una tubería tenga que dejarse al descubierto por un tiempo mayor a 6 horas, el CONTRATISTA debe, en forma obligatoria, colocar un tapón metálico roscado para garantizar la limpieza interior del tubo. En ningún caso se permitirá la colocación de tapones hechizos o de otros materiales no seguros, fácilmente destruibles por animales o intrusos. En el transporte, traslado y manipuleo de los tubos, deben utilizarse métodos apropiados para no dañarlos. La unión de los tubos entre sí se debe efectuar de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones por el fabricante del material. Para asegurar que los tubos colocados estén siempre limpios, se debe jalar por el interior de los mismos una estopa que arrastre consigo cualquier material extraño. En caso de interrupción o conclusión de la jornada de trabajo, se debe cubrir convenientemente las bocas libres del tendido, para evitar la entrada de cuerpos extraños. El CONTRATISTA debe poner a disposición el equipo necesario y dispositivos para el tendido y el personal con amplia experiencia en instalaciones. Se instalara el quemador en el tramo final de la tubería de disposición de biogás que sale del reactor anaeróbico, considerando la disposición de los planos y formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del SUPERVISOR. Se recomienda al CONTRATISTA verificar las tuberías de disposición

final del biogás antes de ser colocadas, puesto que no se reconocerá pago adicional alguno por concepto de reparaciones o cambios. Antes de proceder a la instalación de los accesorios de conexión al quemador, éstos deberán ser verificados. En el caso de las válvulas, éstas deberán maniobrase repetidas veces y su cierre deberá ser hermético. En casos especiales, deberá consultarse al SUPERVISOR

Medición. - La provisión e instalación de accesorios de recolección de biogás será medido en forma global (glb), ejecutados y aprobados por el SUPERVISOR.

6.2.7.8. PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS DEL REACTOR.

Descripción. – Este ítem comprende la provisión e instalación de accesorios en el reactor anaeróbico, de acuerdo a los planos constructivos y de detalle, formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del SUPERVISOR.

Materiales, Herramientas y Equipo. – Los accesorios serán de PVC, tipo, clase, espesor y resistencia especificada en los planos de construcción o en el formulario de presentación de propuestas.

Las superficies externa e interna de los accesorios deberán ser lisas y estar libres de grietas, fisuras, ondulaciones y otros defectos que alteren su calidad. Los extremos deberán estar adecuadamente cortados y ser perpendiculares al eje del tubo, además de ser de color uniforme.

Los accesorios (codos, tees, nipples, reducciones, etc.) procederán de fábrica por inyección de molde, no aceptándose el uso de piezas especiales obtenidas mediante cortes o unión de tubos cortados en sesgo.

Las juntas serán del tipo campana-espiga.

Las juntas tipo campana-espiga, se efectuarán utilizando el tipo de pegamento recomendado por el fabricante para tuberías de PVC. Los accesorios de PVC por ser livianos son fáciles de manipular, sin embargo se deberá tener sumo cuidado cuando sean descargados y no deberán ser lanzados sino colocados en el suelo.

El CONTRATISTA será el único responsable de la calidad, transporte, manipuleo y almacenamiento de los accesorios, debiendo reemplazar antes de su utilización en obra todo aquel material que presentara daños o que no cumpla con las normas y especificaciones señaladas, sin que se le reconozca pago adicional alguno.

Forma de Ejecución. – La tubería deberá ser cortada de tal forma que la sección de corte

quede perpendicular al eje de la tubería. A continuación se efectuará un biselado en la punta de la espiga con inclinación de 15 grados y un largo de 2 veces el espesor de la pared del tubo. El espesor del extremo biselado deberá quedar en la mitad aproximada del espesor de la pared original y no menor.

A continuación se marcará la longitud de la espiga que deberá introducirse en la campana de acuerdo a recomendaciones del fabricante. Luego se limpiará perfectamente las superficies de la tubería a la altura de la junta y del anillo de goma, aplicándose el lubricante recomendado por el fabricante en la parte biselada del tubo.

Se introducirá la tubería con ayuda de un tecele pequeño. También se podrá introducir aprovechando el impulso al empujar energicamente la tubería, girando levemente y haciendo presión hacia adentro. Se deberá tener cuidado de que la inserción no se haga hasta el fondo de la campana ya que la unión opera también como junta de dilatación.

Es conveniente que las uniones se efectúen con dos operarios o más (dependiendo del diámetro del tubo), con el objeto de que mientras uno sostiene el extremo del tubo con campana, el otro u otros efectúen la inserción a la campana, cuidando la alineación del tubo además cuidando que los accesorios no sufran ningún daño.

Se deberá verificar siempre los planos de detalle para la instalación de los accesorios con las tuberías en el reactor anaeróbico, contando siempre en todos los casos con la aprobación del SUPERVISOR.

Medición. - La provisión e instalación de accesorios en el reactor anaerobico, será medido en forma global (glb), ejecutados y aprobados por el SUPERVISOR.

6.2.7.9. BOMBA PERISTÁLTICA.

Descripción. - Una bomba peristáltica es un tipo de bomba hidráulica de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba. Un rotor con un número de rodillos, zapatas o limpiadores unidos a la circunferencia externa comprimen el tubo flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte del tubo bajo compresión se cierra forzando, de esta manera, el fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso de la restitución, el flujo del fluido es inducido a la bomba.

Materiales, Herramientas y Equipo. - Todos los materiales, herramientas y equipos necesarios para la provisión e instalación de los equipos de bombeo, serán proporcionados por el CONTRATISTA, de acuerdo a lo especificado y recomendado por los fabricantes o proveedores de los equipos de bombeo. Los materiales y suministros en general deben ser certificados por alguna entidad correspondiente del fabricante, que verifique la calidad exigida de acuerdo a la normativa vigente en la medida en que se introduzca en el país la obligatoriedad de la certificación de calidad, todos los materiales que se utilice deberán contar con su correspondiente certificado.

Forma de ejecución. – El CONTRATISTA debe verificar que la bomba cumpla con las condiciones de operación como altura dinámica total de bombeo, caudal requerido, tensión de servicio, longitud de columna de bomba. El CONTRATISTA está obligado a entregar a la SUPERVISIÓN el material descriptivo del equipo instalado, redactado en castellano consignando lo siguiente: Especificaciones Técnicas de diseño, construcción y material de todos los componentes del equipo. Curvas características certificadas de la bomba a suministrar: Caudal vs. Presión, eficiencia, potencia. Características como marca, modelo, potencia, velocidad, ciclaje, dimensiones, altura dinámica total, velocidad de giro, aislamiento, según las siguientes características: Bomba sumergible para suministro de agua sin tratar, descenso del nivel freático y aumento de presión.

El CONTRATISTA debe presentar la garantía por parte del proveedor, por el lapso de tres años, para los motores de las bombas.

Medición. - Los equipos de bombeo serán medidos por pieza debidamente instalada, verificada y aprobada en forma escrita por el SUPERVISOR.

6.2.8. LECHO DE SECADO DE LODOS.

6.2.8.1. REPLANTEO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES.

Ídem al ítem 6.2.3.1.

6.2.8.2. EXCAVACIÓN 0-2 M. (NIVEL DEL TERRENO).

Ídem al ítem 6.2.3.2.

6.2.8.3. BASE DE HORMIGÓN POBRE.

Ídem al ítem 6.2.3.3.

6.2.8.4. HORMIGÓN.

Ídem al ítem 6.2.3.4.

6.2.8.5. ACERO ESTRUCTURAL.

Ídem al ítem 6.2.4.5.

6.2.8.6. REVOQUE EXTERIOR E INTERIOR.

Ídem al ítem 6.2.3.6.

6.2.8.7. BOMBA CENTRIFUGA ¼ HP.

Descripción. - Este ítem se refiere a la ejecución de las pruebas hidráulicas en las tuberías, accesorios, válvulas, piezas especiales, a objeto de verificar y certificar la correcta ejecución de los trabajos, de acuerdo a lo señalado en los planos, formulario de presentación de propuestas y/o instrucciones del CONTROL Y MONITOREO.

Materiales, Herramientas y Equipo. - Todos los materiales, herramientas y equipo para la ejecución de este ítem deberán ser provistos por el Contratista.

El Contratista deberá disponer de bombas y manómetros en la cantidad necesaria y durante todo el tiempo que duren las pruebas hidráulicas.

Forma De Ejecución. - El equipo deberá tener una placa adherida al cuerpo mecánico de la bomba, conteniendo el procedimiento en el idioma español del proceso de su operación. Así mismo, deberá contener una placa que contenga las especificaciones técnicas de la bomba (presión y gasto por cada diámetro de cilindro y revoluciones por minuto típicas) en el idioma español

Medición. - Las pruebas hidráulicas a presión serán medidas en metros lineales, tomando en cuenta únicamente los tramos de tuberías sometidas a las pruebas y aprobadas por el CONTROL Y MONITOREO.

CAPITULO 7

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En complemento a un buen diseño y a un correcto proceso constructivo, es de destacar la importancia que tiene la elaboración de un manual de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento, ya que esto garantizara el buen funcionamiento y mantendrá los parámetros de vida útil, ya que si no se elabora en un menor tiempo se corre el riesgo de quedar inutilizadas.

7.1. Objetivo del Manual de Operación y Mantenimiento.

Establecer criterios para determinar el número y tipo de personal administrativo de operación y mantenimiento que requiere la planta de tratamiento, conjuntamente con una descripción de sus responsabilidades.

Describir los procesos de operación en condiciones de: operación inicial al ejecutarse, operaciones de rutina (indicaran mediciones, análisis y registros a mantenerse) y operaciones de limpieza.

7.2. Unidades del Sistema de Tratamiento.

Las unidades compuestas se enlistan a continuación:

- Rejillas.
- Tanque de regulación.
- Trampa de grasas.
- Sedimentador Primario.
- Reactor Anaerobio de Cama de Lodo Granular Expandida.
- Patio de Secado de Lodos.

EXPLICACIÓN GENERAL DE CADA COMPONENTE:

7.2.1. REJILLA.

Función: Retener objetos y sólidos de mayor tamaño que son arrastrados en el flujo de aguas residuales industriales, generadas por el matadero municipal de la ciudad de Tarija.

Operación:

a) Las rejillas manuales tienen que ser limpiadas dos veces por día, por la mañana y por la tarde. Si la rejilla no se limpia y vigila regularmente, puede impedir el paso del agua y en consecuencia se puede provocar un reflujo.

b) La rejilla frena siempre la velocidad del paso de agua, lo que provoca con frecuencia la formación de depósitos de arenas arriba de la rejilla. Lo que se recomienda realizar la limpieza con un rastrillo metálico elaborado solo para este trabajo y evacuar dichos depósitos.

c) Es de mucha importancia de que cada persona que realiza la limpieza debe de usar guantes de protección de hule, para retirar los objetos retenidos en la rejilla evitando el riesgo de infección.

d) Los residuos retirados de la rejilla se coloca en la placa perforadora para su escurrimiento y luego retirarlos, utilizando recipientes móviles y tapados; si es posible retirar todos los días los lodos de patios de secado.

Mantenimiento de la Rejilla.

- Limpiar toda la semana con agua a presión toda la rejilla.
- Asegurarse que la placa perforada para escurrimiento se mantenga limpia y libre de sólidos.
- Para evitar los malos olores producido por el resto de material secado de la rejilla aplicar oxido de calcio hidratado (cal).

- Revisar la rejilla cada mes, y si, se encuentran puntos de corrosión limpiar y pintar con pintura anticorrosiva.

7.2.2. TRAMPA DE GRASAS.

Función:

Las trampas de grasa están diseñadas para atrapar la grasa residual y los sólidos antes de que entren en el flujo de agua. Se usan para eliminar la cantidad de Aceites y Grasas que entran en el sistema principal de aguas residuales. Los altos volúmenes de Aceites y Grasas pueden colapsar con facilidad las instalaciones de tratamiento, lo que se traduce en vertidos, atascos, paradas y malos olores.

Operación:

Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. Generalmente, esta debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo.

Mantenimiento:

Dentro de las actividades de mantenimiento semanal y mensual que se debe realizar a las trampas de grasas son las siguientes:

- Retiro de sólidos, nata de grasa y demás elementos que se encuentren en su interior.
- Retiro de lodos sedimentados.
- Verificación de su estado físico como paredes, tabiques y tapas superiores.

7.2.3. TANQUE DE REGULACIÓN.

Función:

El tanque de regulación tiene por objeto cambiar un régimen de aportaciones, que siempre deriva caudales de forma variable a un régimen de consuno constante.

Mantenimiento:

El interior de los depósitos requerirá un mantenimiento y limpieza periódica. Se tendrán las precauciones necesarias que durante el periodo que dure la limpieza, el mantenimiento o la reparación de un depósito, no se interrumpa el servicio de suministro de agua.

En depósitos de grandes dimensiones, es recomendable que estos estén divididos en dos celdas independientes. La limpieza del interior de los depósitos deberá hacerse con chorros de agua a presión y un cepillo duro capaz de remover las partículas adheridas a las paredes y al piso.

Es recomendable que la unión entre los muros y el piso termine en un zordo curvo, para facilitar la limpieza en dicha intersección. Para el mismo objeto, el piso interior de los depósitos se terminará con una ligera pendiente, de aproximadamente 1 o 2 % hacia el cárcamo recolector.

7.2.4. SEDIMENTADOR PRIMARIO.**Función:**

Separar de las aguas la mayor cantidad de sólidos en suspensión y sedimentación.

Operación:

a) Cada dos días, se deberá retirar de la superficie de los sedimentadores, las grasas, natas, espumas y sólidos flotantes, se deberá utilizar un mallas fina tipo zaranda sujeta a un extremo de un palo largo, como los usados para limpiar piscinas, estos residuos serian conducidos a los lechos de secados, mediante una carretilla manual pintada con pintura anticorrosiva.

b) El lodo acumulado en el fondo del sedimentador primario, deberá ser drenado hacia los patios de secados, para esto se procede a abrir una válvula inmediata de acero fundido, por un tiempo determinado, al momento que visualice la transición del color oscuro al gris entonces se debe cerrar la válvula.

c) A partir de evacuar los lodos, se registra esta información la cual será utilizada para cuando sea necesario repetir esta actividad. Cada 7 días, repetir el proceso llevando registro en la bitácora de operación.

Mantenimiento:

Se deberán mantener todas las superficies libres de acumulaciones de espumas, sólidos, grasas o material similar. Para ello se realizarán los siguientes procesos.

- Para remover los sólidos flotantes utilizar una zaranda de malla número ¼” realizando este proceso diariamente y luego ser llevados al patio de secado.
- Las grasas acumuladas en las paredes próximas al nivel del agua retirarlas utilizando un raspador tipo escobilla efectuándose semanalmente.
- Una vez al año localizar los puntos de corrosión en las estructuras metálicas y pintar con pintura anticorrosiva para evitar el deterioro del material.

7.2.5. REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODO GRANULAR EXPANDIDA.

Operación y Mantenimiento:

La operación debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico, del proceso biológico respectivo. El control operativo debe centrarse en tres puntos importantes:

- a) distribución uniforme del afluente en el fondo del reactor
- b) lodo anaerobio con buena capacidad de sedimentación y de digestión
- c) efectiva separación del biogás del líquido y del lodo.

La operación debe contemplar actividades rutinarias de limpieza o semanal y trabajos ocasionales y así mismo los parámetros de control operativo.

Limpieza de tuberías de distribución del afluente.

- El operador diariamente debe revisar la distribución del caudal del afluente en cada una de las cámaras.
- Las tuberías de ingreso no se encuentren obstruidas por algún cuerpo extraño, plásticos, otros y revisar con una varilla.

Limpieza del canal colector.

- La limpieza del canal colector debe ser programado con una frecuencia semanal y la limpieza con un cepillo plástico de mango largo
- Es de importancia evaluar la presencia de sólidos suspendidos que son arrastrados por el efluente del reactor el cual permite tomar decisiones en cuanto a purga de lodos.

Control de nivel del lodo.

- a) se tiene un cálculo teórico del tiempo de estimación para la purga de lodo, antes que llegue a la altura de los baffles de campana.

Purga de lodos.

- Se considera exceso de lodos desde una altura de 1.5 m de la profundidad del reactor, es conveniente evacuar desde el fondo del reactor, con el fin de evitar que se consolide lodo con poca actividad biológica.
- La purga debe ser realizada hacia un lecho de secado de lodos. Dependiendo del sistema de purga que presenta el reactor, puede ser mediante:
 - a) sistema de bomba.
 - b) purga por la base del reactor con sistema de llaves y tubería por gravedad si existe carga hidráulica.
 - c) finalmente un sistema de sifonamiento con mangueras cuando exista diferencia de alturas entre el reactor y el lecho de secado de lodos.

7.2.6. PATIO DE SECADOS DE LODOS.

Función.

Eliminar el contenido de agua de lodos digeridos procedentes del sedimentador primario, esta deshidratación se logra mediante la infiltración y evaporación del agua contenida en el lodo.

Operación:

- a) Cada uno de los patios de secado deberá recibir lodos digeridos frescos con frecuencia mínima de 15 días. Extender los lodos en el patio de secado en capas de 20 a 25 centímetros de espesor y dejar que se sequen.
- b) Cuando los lodos ya estén deshidratados se procede a la limpieza del patio de secados y dejarlo apto para recibir otra descarga.
- c) El lodo deshidratado proveniente de los patios de secado, depositarlo en un relleno sanitario y también se puede utilizar como abono orgánico en las áreas verdes de la Planta de Tratamiento. Esto evitará La acumulación excesiva en los alrededores de los lechos de secado.

Mantenimiento.

- Para no acumular actividades operativas se debe tratar que cuando un patio tenga lodos frescos, la otra unidad ya tenga un promedio de 7 días de secado.
- Verificar cada vez que los lodos son extraídos del patio de secados y llevados al relleno sanitario, que los ladrillos de barro no sufran alguna modificación, caso contrario colocar cada uno en su posición correcta.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES.

- ✓ Se realizó la recopilación de información de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas residuales industriales procedentes del proceso de faenado como base de investigación para la elección del tratamiento.
- ✓ Con la caracterización de las aguas residuales se obtuvo un análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, con estos resultados se realizó un análisis estadístico de parámetros de caracterización junto con la información histórica del lugar para obtener los parámetros del diseño de acuerdo al Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM).
- ✓ Se realizó la medición del caudal de agua residual industrial en el tubo de salida y el cálculo del caudal teórico en función al número de ganado bovino y porcino que se faena en un día de trabajo, obteniendo un caudal de diseño de 11,00 l/s.
- ✓ Se tabularon los datos y se procedió a realizar los cálculos de ingeniería, llegando a determinar las siguientes etapas de tratamiento:
 - Tratamiento preliminar: Rejilla.
 - Tratamiento primario: Trampa de Grasas y Sedimentador Primario.
 - Tratamiento secundario: Reactor de lecho de lodo granular expandido (EGSB).
 - Tratamiento de lodos: Lecho de Secado de Lodo.

Obteniendo con estas etapas parámetros que están por debajo de los límites permisibles.

- ✓ Se realizó la estimación de los costos de cada una de las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.
- ✓ Se elaboró un manual de operación y mantenimiento de cada una de los componentes del diseño de la planta de tratamiento.

8.2. RECOMENDACIONES.

- ✓ Los lodos obtenidos del lecho de secado, se pueden utilizar para abono, a manera de aprovechar los nutrientes que se producen en este tipo de agua residual.
- ✓ Debido a que cada animal bovino gasta 800 litros y cada porcino gasta 400 litros en el proceso de sacrificio, genera altos costos en el tratamiento. En este sentido es necesario fomentar procesos educativos para reducir el consumo innecesario de agua.
- ✓ Es importante recolectar la sangre en su totalidad, porque que es el residuo más contaminante. Para ello se deben tomar medidas en el momento de sacrificar el animal y verter la sangre en las tuberías.
- ✓ Es muy importante que exista una buena fase de operación y mantenimiento ya que por tratarse de un sistema poco común en el medio es preferible que no se presenten inconvenientes.
- ✓ En el caso de que haya un crecimiento en la población, no habría problema, ya que el sistema de tratamiento de este proyecto de grado está previsto para 30 años.
- ✓ Preparar y capacitar al personal encargado del saneamiento ambiental, haciendo énfasis en el recurso hídrico ya que es un bien valioso en la actividad humana y para la definición de medidas que reduzcan la contaminación hacia los cuerpos receptores.