

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN -TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS
EN LA CIUDAD DE ILO**

TESIS

Presentada por:

Bach. Carlos Mollinedo Lupaca

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

Tacna – Perú


2013

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN,
TACNA
Facultad de Ingeniería

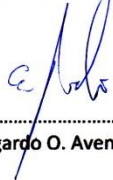
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS
EN LA CIUDAD DE ILO**

Tesis sustentada por el Bachiller CARLOS MOLLINEDO LUPACA,
aprobado el 26 de Noviembre 2013, el Jurado Calificador estuvo integrado por:

Presidente: 
Mgr. Juan Viloche Bazán

Secretario: 
Ing. Luis F. Cáceres Yañez

Vocal: 
Dr. Edgardo O. Avendaño Cáceres

DEDICATORIA

A mi familia:

Gracias a mi esposa Janet, mis hijos Sebastián y Gustavo que son los pilares de mi perseverancia por seguir luchando.

A mis padres:

Gracias a vuestros consejos, por el amor que siempre me han brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad y la perseverancia. ¡Gracias por darme la vida!

CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1 PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Normatividad	3
1.3 Área de influencia del proyecto.....	6
1.4 Justificación	6
1.4.1 En lo social	7
1.4.2 En lo económico.....	8
1.4.3 Medio Ambiente	8
1.4.4 Salud Pública	9
1.5 Definición del Estudio	10
1.6 Limitaciones	11
1.7 Objetivos	12
1.7.1 Objetivo General	12
1.7.2 Objetivos Específicos	12
CAPÍTULO II.....	13
2 ESTUDIO DE MERCADO	13
2.1 Descripción general del área de estudio	13
2.1.1 Ubicación geográfica e importancia económica.....	13
2.1.2 Población.....	14
2.1.3 Clima y Meteorología	16
2.1.4 Fuente de abastecimiento.....	17
2.2 Materia Prima	18
2.2.1 Materia Prima – Agua Residual.....	18
2.2.2 Características Físicas, Químicas y Biológicas de Aguas Residuales.....	19
2.2.3 Características Químicas.....	22

2.2.4	Microorganismos.....	28
2.2.5	El agua residual tratada	29
2.2.6	Subproductos	31
2.3	Análisis de la Oferta y la Demanda	33
2.3.1	El agua residual nivel mundial	33
2.3.2	El agua residual a nivel nacional	34
2.3.3	El Agua Residual Nivel Local.....	36
CAPÍTULO III		40
3	TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN.....	40
3.1	Tamaño del Proyecto	40
3.1.1	Relación tamaño materia Prima	40
3.1.2	Relación tamaño mercado	43
3.1.3	Relación tamaño localización	43
3.1.4	Relación tamaño tecnología	44
3.1.5	Relación tamaño financiamiento.....	45
CAPÍTULO IV		46
4	ASPECTOS TECNOLÓGICOS.....	46
4.1	Tratamiento de Aguas Residuales por el Proceso de Lodos Activados	46
4.1.1	Definición.....	46
4.1.2	Características Operacionales.....	47
4.1.3	Ventajas y Desventajas	48
4.1.4	Control del Proceso.....	49
4.1.5	Problemas de explotación.....	52
4.2	Cinética del crecimiento biológico	54
4.2.1	Crecimiento celular	55
4.2.2	Utilización del sustrato	58
4.2.3	Tasa de crecimiento neto.....	59
4.3	Teoría para diseñar el reactor de mezcla completa con recirculación..	61

4.3.1	Balance de masa para la producción de biomasa	63
4.3.2	Balance de masa alrededor del clarificador	68
4.3.3	Requerimiento de Oxígeno	70
4.4	Tratamiento de lodos.....	70
4.4.1	Estabilización del lodo	71
4.4.2	Digestión anaerobia	72
CAPITULO V.....		83
5	INGENIERÍA DEL ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD.....	83
5.1	Descripción del proceso productivo.....	83
5.1.1	Tratamiento preliminar	84
5.1.2	Tratamiento Primario.....	87
5.1.3	Tratamiento Secundario.....	88
5.1.4	Tratamiento de lodos	92
5.2	Capacidad de Producción	103
5.2.1	Características Operacionales.....	103
5.2.2	Cantidad de productos: Tratamiento preliminar	103
5.2.3	Cantidad de productos tratamiento primario	104
5.2.4	Cantidad de productos del tratamiento secundario.....	108
5.2.5	Cantidad de productos: Tratamiento de lodos	114
5.3	Dimensionamiento de equipos	122
5.3.1	Calculo de la entrada del canal	122
5.3.2	Cámara de rejas.....	123
5.3.3	Calculo del Desarenado.....	125
5.3.4	Diseño del canal de Parshall	127
5.3.5	Calculando el área de la sección, diámetro y altura efectiva del decantador primario	130
5.3.6	Calculando la dimensiones del biorreactor	132
5.3.7	Calculando la dimensiones del decantador secundario.....	136
5.3.8	Dimensionamiento espesado por gravedad.....	138
5.3.9	Dimensionamiento del digestor	140

5.3.10 Dimensionamiento del deshidratador de banda.....	150
5.3.11 Secado de Lodos	150
5.3.12 Calculo de Bombas para desechado de lodos.....	155
5.3.13 Tratamiento terciario etapa de Desinfección.....	157
5.4 Requerimiento Operacional	159
5.4.1 Capacidad de producción	159
5.4.2 Requerimiento de Equipos.....	159
5.4.3 Requerimiento de suministros	160
CAPITULO VI.....	162
6 ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS	162
6.1 Estructura de la inversión	162
6.1.1 Costo de Inversión	162
6.1.2 Costo de operación	163
6.1.3 Ingresos de la planta.....	165
CAPÍTULO VII	167
7 EVALUACIÓN.....	167
7.1 Evaluación Social	167
7.1.1 Evaluación social del componente saneamiento	167
7.1.2 Identificación de impactos ambientales.....	169
CONCLUSIONES	178
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Cuadro de Enfermedades.	2
Tabla II. Marco Legal Normativo.....	3
Tabla III. Población Total	14
Tabla IV. Población total provincia de Ilo	15
Tabla V. Grupo de Microorganismos.....	29
Tabla VI. Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR	30
Tabla VII. Población con suministro de Agua Pública -Saneamiento en Latinoamérica y el Caribe 1995	34
Tabla VIII. Plantas de Tratamiento de aguas Residuales en el Perú	35
Tabla IX. Análisis Físicoquímicos	37
Tabla X. Análisis Físicoquímicos	37
Tabla XI. Características Poblacionales.....	39
Tabla XII. Agua Residual futura.....	41
Tabla XIII. Parámetros Eficiencia decantadores primarios	105
Tabla XIV. Parámetros Eficiencia captura de sólidos	107
Tabla XV. Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados	109
Tabla XVI. Valores normales para diferentes diseños de lodos activados	110
Tabla XVII. Parámetros Eficiencia captura de sólidos	114
Tabla XVIII. Parámetros funcionamiento del Desarenador.....	126
Tabla XIX. Datos de tabla de Parshall.....	128
Tabla XX. Características decantadores primario.....	130

Tabla XXI. Características decantadores secundarios	136
Tabla XXII. Eficiencia de Espesadores de gravedad	138
Tabla XXIII. Parámetros Diseño para digestor doble Etapa	140
Tabla XXIV. Parámetros para digestores anaeróbicos	141
Tabla XXV. Valores de Coeficiente α	142
Tabla XXVI. Valores de Coeficiente λ	142
Tabla XXVII. Característica de los Equipos absorbedores CO ₂ y H ₂ S ofertado por empresa española.....	149
Tabla XXVIII. Valores de Coeficiente rugosidad absoluta	153
Tabla XXIX. Factores de pérdida por fricción (valores aproximados para flujo turbulento)	154
Tabla XXX. Producción de la Planta	159
Tabla XXXI. Descripción y Costos de Equipo	159
Tabla XXXII. Consumo de Energía	160
Tabla XXXIII. Personal de Planta	160
Tabla XXXIV. Costo de Proyecto.....	162
Tabla XXXV. Consumo de Energía	163
Tabla XXXVI. Costo de Operación & Mantenimiento.....	164
Tabla XXXVII. Costo Total	164
Tabla XXXVIII. Producción Energética Biogás.....	165
Tabla XXXIX. Ingresos por Venta de Lodos.....	165
Tabla XL. Ingresos	166
Tabla XLI. Análisis Costo Social.....	168

Tabla XLII. Matriz Leopold – Potenciales impactos ambientales	170
Tabla XLIII. Medidas de Mitigación	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Casos Notificaciones de Enfermedades Diarreicas.....	10
Figura 2. Vista panorámica del punto Contaminante	38
Figura 3: Agua Residual diluida en el mar	39
Figura 4. Proyección Poblacional	42
Figura 5. Proyección Agua residual.....	42
Figura 6. Proyección Poblacional	43
Figura 7. Tratamiento Lodos Activados.....	48
Figura 8. Gráfico representativo de la ecuación de Monod	57
Figura 9. Esquema del proceso de lodos activados	62
Figura 10. Diagrama del proceso de la etapa secundaria	69
Figura 11. Digestor de baja carga	74
Figura 12. Digestor de alta carga	75
Figura 13. Proceso doble etapa.....	75
Figura 14. Diagrama de Flujo	83
Figura 15. Imagen de Rejas	85
Figura 16. Desarenador	86
Figura 17. Canal de Parshall	87
Figura 18. Tratamiento Primario	88
Figura 19. Tratamiento Secundario	90
Figura 20. Decantador secundario	92
Figura 21. Dimensiones Canal Parshall	129

CAPÍTULO I

1 PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Antecedentes

La ciudad de ILO viene enfrentando un problema sanitario ambiental de importancia, proveniente del débil manejo de las aguas residuales, en la actualidad es vertida a la franja costera que se encuentra frente a la ciudad.

Este foco de contaminación es un peligro latente, al cual está expuesta la población y el ecosistema marino, debido a que la ciudad no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, que opere dentro de las normas vigentes.

Actualmente la ciudad de Ilo cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales denominada media luna que se encuentra inoperativa. El agua residual proveniente de las redes de alcantarillado es vertida directamente al mar sin ningún tipo de tratamiento.

Producto de este vertido, se está contaminando el ecosistema marino costero, y por consiguiente la contaminación de los recursos hidrobiológicos en el litoral, lo que ocasiona un incremento de enfermedades o síntomas negativos provenientes

del consumo de estos productos (cuadro enfermedades tabla 1), el deficiente tratamiento ocasiona que la población viva en un constante peligro sanitario.

Según fuentes de la red de salud Ilo (Digesa), el año 2008 se presentaron 3031 casos de enfermedades infecciosas intestinales que representaron el 4 % del porcentaje total (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

En la tabla N° 1 se detalla las enfermedades presentadas en el año 2008 por el ministerio de salud de Ilo.

Tabla I Cuadro de Enfermedades.

Nro de Orden	Grupo	Total	%
1	Infec. Agudas de las vías respiratorias superiores	20270	27%
2	Enfe. De la cavidad bucal	9622	13%
3	Obesidad y otros de hiperalimentación	4364	6%
4	Enfermedades infecciosas intestinales	3031	4%
5	Enf. Inflamatorias órganos pélvicos femeninos	3024	4%
6	Enf. del esófago, estómago y duodeno	2429	3%
7	Infec. c/modo de transmisión sexual	2018	3%
8	Enf. Crónicos de las vías respiratorias inferiores	1821	2%
9	Otros trast. Maternos relacionados con el embarazo	1795	2%
10	Otras enf. Del sistema urinario	1690	2%
11	Dermatitis y eczema	1590	2%
12	Dorsopatias	1457	2%
13	Síntomas y signos generales	1421	2%
14	Micosis	1218	2%
15	Trast Neuróticos, relacionados con el estrés	896	1%
16	Trast. De otras glándulas endocrinas	889	1%
17	Trastornos de la conjuntiva	874	1%
18	Trast. No inflamatorios de órganos genitales femeninos	874	1%
19	Otras infec agudas de vías respiratorias inferiores	859	1%
20	Artropatías	780	1%
	Otras causas de morbilidad	13951	19%
	Total	74873	100%

Fuente: Municipalidad Provincial de Ilo Plan desarrollo concertado 2010-2012

1.2 Normatividad

En el Perú, el sector saneamiento, pertenece al sector público. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El Estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento. La tabla N° 2 muestra el resumen del marco legal en el Perú, para el sector saneamiento.

Tabla II. Marco Legal Normativo

Leyes	N° Ley	Descripción
Constitución Política del Perú.	31/10/1993	Base del ordenamiento jurídico nacional.
Ley de Reforma sobre Descentralización.	Ley N° 27680	Las municipalidades promueven, apoyan y reglamentan la participación vecinal en el desarrollo local.
Ley General de Salud.	Ley N° 26842	El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reuso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilara su cumplimiento.
Ley General del Ambiente	Ley N° 28611	El estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan.
Aprueban los ECA para Agua.	Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM	Aprueban estándares de calidad ambiental para agua publicado en el Diario El Peruano el 31 de Junio de 2008.

Leyes	Nº Ley	Descripción
Aprueban disposiciones para la implementación de los ECAs para Agua.	Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM	Aprueban disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de Abril del 2010.
Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR Domésticas o Municipales.	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Cumplimiento de los límites máximos permisibles de PTAR.
Ley Marco para la Inversión Privada.	D.L. N° 757	Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas en todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la Constitución y las Leyes.
Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.	Ley N° 27902	Regula la participación de los Alcaldes Provinciales y la Sociedad Civil en los Gobiernos Regionales y fortalecer el proceso de Descentralización y Regionalización.
Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM.	D.L. N° 1013	Crea el Ministerio del Ambiente y establece su ámbito sectorial, y regula la estructura orgánica, competencias y funciones del mismo.
Ley Orgánica de Municipalidades.	Ley N° 27972	Establece normas sobre la creación, origen, naturaleza, autonomía, organización, finalidad, tipos, competencias, clasificación y régimen económico de las municipalidades.
Ley del Procedimiento Administrativo General.	Ley N° 27444	Regula las actuaciones de la función administrativa del Estado y el procedimiento administrativo común desarrollados en las entidades.
Ley de Recursos Hídricos.	Ley N° 29338 (2009)	Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.
Resolución Jefatural N°0291-2009-ANA.	R.J. N° 0291-2009-ANA	Disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reusos de aguas residuales tratadas.
Resolución Jefatural N°0351-2009-ANA.	R.J. N° 0351-2009-ANA	Modifican R.J. N° 0291-2009-ANA referente al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas.
Aprobación del TUPA del MINSA y sus Órganos Desconcentrados.	Decreto Supremo N° 013-2009-SA	Unifica y estandariza los procedimientos administrativos que se siguen antes las distintas instancias del MINSA, sus órganos desconcentrados y organismos públicos descentralizados.

Leyes	Nº Ley	Descripción
Ley del Sistema Nacional de evaluación del impacto ambiental.	Ley Nº 27446	Creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas, y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.
Ley General de Servicios de Saneamiento y su Texto único ordenado del Reglamento.	Ley Nº 26338	Regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rural y urbano.
Código Penal.	D. Leg. Nº 635 (03-04-91)	Concreta los postulados de la moderna política criminal, sentando la premisa que el Derecho Penal es la garantía para la viabilidad posible en un ordenamiento social y democrático de derecho.
Norma procesal penal ambiental.	Ley Nº 26631	Para efecto de formalizar denuncia de la legislación ambiental.

FUENTE: Elaborado FONAM 2010

La Ley Orgánica de Municipalidades 27972 establece que las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud ejercen las siguientes funciones:

Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial.

La Ley General de Aguas, en su artículo 22º, establece la prohibición de verter cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas y causar daños o ponen en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora y fauna, o comprometer su empleo para otros usos. La precitada ley señala que dichas descargas deberán ser sometidas al tratamiento previo que sea necesario.

El Reglamento de la Ley General de Aguas, en su artículo 61º del título II, señala que todo vertimiento de residuos a las aguas marítimas o terrestres del país deberá efectuarse previo tratamiento, lanzamiento submarino o alejamiento adecuado, de acuerdo con lo dispuesto por la autoridad sanitaria y deberá contar previamente con la licencia respectiva.

1.3 Área de influencia del proyecto

El área de influencia del proyecto está ubicado en la provincia de Ilo cuya población según el censo del 2007 totalizó 62 837,00 habitantes con una tasa de crecimiento de 1,6 % (INEI, 2008).

Los beneficiarios directos llegan a ser aproximadamente una población de 93 354,12 habitantes aproximadamente para el año 2032 según proyecciones de la tabla N° 12 para la tesis.

1.4 Justificación

Los gobiernos locales deben dar los primeros pasos en la búsqueda de soluciones de los problemas relacionados con salud y medio ambiente, uno de estos la elaboración de planes de desarrollo integrales que involucren: uso adecuado del suelo,

tratamiento de aguas residuales, manejo de desechos sólidos y otros proyectos afines.

La instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales permitirá la reducción contaminante en las playas costeras dentro de los márgenes permitidos por las leyes peruanas como el D.S. 003-2010-MINAM. El proceso de lodos activados permitirá el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas.

1.4.1 En lo social

Se lograra la satisfacción de toda la sociedad en conjunto, con visión de futuro, llegando obtener una calidad de agua residual tratada. La ciudad contará con un estudio de pre factibilidad para el tratamiento de aguas residuales, el cual será de considerable aporte en la toma de decisiones para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona, relacionado con la disminución considerable en enfermedades, de esta manera no afecte la economía de familias bajos recursos por las enfermedades que se presentan por la contaminación del agua residual.

1.4.2 En lo económico

La implementación de un estudio de este tipo, tendrá un efecto positivo para la reactivación de la economía, tanto en la industria pesquera, el comercio y el turismo. Además, el aspecto sanitario se verá beneficiado con la disminución de focos de infección, que conlleva una disminución en la inversión económica para brindar servicio médico por enfermedades sintomatológicas causadas por agentes como virus y bacterias.

Otros indicadores de salud fuertemente asociados al nivel de pobreza es la cobertura de servicios de saneamiento.

El sector pesca en los últimos años ha decrecido en su producción por la sobre explotación y la contaminación del medio marino (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

1.4.3 Medio Ambiente

La preocupante situación ambiental que afronta el mundo pone de manifiesto el poco grado de compromiso del hombre en el equilibrio natural. La evacuación de

aguas residuales sin tratar puede causar problemas de contaminación al medio ambiente en el agua subterránea y superficial como la tierra (Alianza por el Agua Centa, 2008). La ciudad contará con un proyecto para la implementación de un sistema completo y capaz, para evacuar los caudales proyectados del agua residual de llo, por lo que conllevará a evitar el deterioro del ecosistema en la bahía y por consecuencia el Océano Pacífico.

1.4.4 Salud Pública

Se disminuirá la exposición de la población a la proliferación de enfermedades sintomatológicas por agentes como virus y bacterias, por la existencia de moscas, zancudos y otros, lo que a su vez disminuirá en cierta manera la inasistencia laboral y escolar.

En la figura 1 siguiente se observa el incremento de enfermedades diarreicas producidas en el 2013 en toda la región de Moquegua. El ministerio de salud invierte dinero en campañas de control.

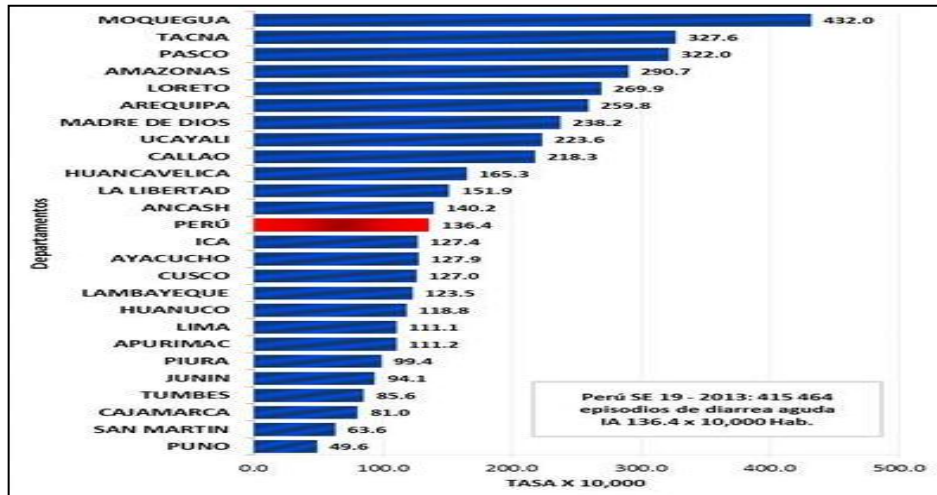


Figura 1. Casos Notificaciones de Enfermedades Diarreicas

Fuente: Red Nacional de Epidemiología (RENACE)-DGE-MINSA

1.5 Definición del Estudio

Se planea realizar el estudio de Pre factibilidad de una planta de tratamiento de aguas residuales que por lodos activados tratará el agua residual de la ciudad antes de verterla al mar cumpliendo los estándares establecidos. El caudal de tratamiento por proyecciones realizadas con datos de partida de la tabla N° 10 para 20 años llega un caudal de 12 661,08 m³ d⁻¹ (tabla N° 11), en la actualidad el DBO₅ vertido al mar oscila en 190,26 mg L⁻¹ (tabla N° 9), que es considerado muy alto, por tanto debe ser reducido hasta los 15 mg L⁻¹ según la norma ambiental para los cuerpos receptores y planta de tratamiento de aguas residuales (D.S. N° 003-2010-MINAM de LMP).

1.6 Limitaciones

El punto de partida para el estudio del dimensionamiento se dará con los DBO_5 , caudales y sólidos en Suspensión, obtenidos en el análisis fisicoquímico.

Se tomara los caudales reportado por la EPS Ilo en años anteriores, debido que la planta de tratamiento de la EPS Ilo, no se encuentra operando en la actualidad.

Otro de los factores limitantes que se encuentra es la carencia de información en cuanto a sistemas de tratamiento de lodos activados en el país por lo cual se contara con información internacional.

El presente análisis de investigación solo alcanzara a los 20 años de proyección poblacional.

Según el D.S. N° 002-2008-MINAM los ECA para en nitrógeno y fosforo total, el vertido cuerpos receptores de agua no se consideran como parámetros de control.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

- Realizar el estudio de Pre-factibilidad de una planta tratamiento de aguas residuales por lodos Activados en la ciudad de Ilo.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Elaborar el diseño de la planta de tratamiento de lodos activados para tratamiento de aguas residuales.
- Dimensionar los equipos de la planta.
- Determinar los costos de instalación y operación de la planta.
- Hacer una evaluación económica del costo – efectividad del proyecto.

CAPÍTULO II

2 ESTUDIO DE MERCADO

2.1 Descripción general del área de estudio

2.1.1 Ubicación geográfica e importancia económica

La Provincia de ILO se ubica en la costa meridional del Perú a 1250 km al sur de la ciudad de Lima, entre las coordenadas 17° 38' 15" y 17° 20' 39" de latitud Sur, y 71° 21' 39" y 71° 22' 00" de longitud Oeste con respecto al Meridiano de Greenwich, ocupando una extensión de 1523.44 km² entre los 0 y 1500 msnm. (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

Los límites de la provincia son los siguientes:

- Por el Norte, con la Provincia de Islay, Región Arequipa.
- Por el Este, con el distrito de Mariscal Nieto, Región Moquegua.
- Por el Sur, con la Provincia de Jorge Basadre, Región de Tacna.
- Por el Oeste, con el Océano Pacífico.

2.1.2 Población

La ciudad de Ilo con 63 780 habitantes el año 2008, se ubica en tamaño en el puesto 27 en el conjunto de las 39 provincias de la costa peruana (INEI, 2008).

En el periodo inter-censal 1993-2005 (12 años) la población de Ilo creció a una tasa anual de 1,5 %, significativamente superior a la tasa nacional que fue de 1,2 % (INEI, 2008).

A nivel interdistrital el distrito de Ilo creció a una tasa de 2,0 % mientras que el distrito de Pacocha decreció con una tasa negativa de -2,7 %.(Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

Tabla III. Población Total

Población	1972	1981	1993	2008
Provincia de Ilo	25 187	38 627	51 481	63 780
Distrito de Ilo	22 172	32 011	44 903	59 132
Distrito de El Algarrobal	294	132	165	247
Distrito de Pacocha	2721	6484	6413	4401

Fuente: Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021

Pobreza y género

Una constante en el Perú, sobre todo en las zonas urbanas, es la relación entre la pobreza extrema y composición familiar del hogar. Los hogares en los cuales

la cabeza del hogar (jefe de familia (a)) es mujer normalmente corresponden a mujeres con hijos, que bien han sido abandonadas por el padre, o a madres solteras que nunca constituyeron pareja, y que en su gran mayoría se encuentran en la condición de pobreza o pobreza extrema. En la tabla N° 4 se aprecia esta situación tal como se presenta en la provincia de Ilo, donde el 28,3 % (5000) de los hogares tiene como jefe de familia a una mujer y dentro de ellos el 24,7 % (4365) corresponden a familias donde no hay presencia de varón esposo o compañero, porcentaje que es ligeramente superior al promedio nacional. (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

Tabla IV. Población total provincia de Ilo

Población por Sexo y Parentesco Jefes de Familia	Total
Provincia de Ilo	61 077
Jefe o Jefa	17 687
Esposa(o)/ compañera(o)	10 246
Hombres	30 354
Jefe o Jefa	12 687
Mujeres	30 723
Esposa(o)/ compañera(o)	635
Jefe o Jefa	5 000
Esposa(o)/ compañera(o)	9 611

Fuente: Municipalidad Provincial de Ilo .Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021

2.1.3 Clima y Meteorología

El clima de ILO es típico de una zona costera, con temperaturas promedio que oscilan entre los 26 °C en verano y 18 °C en invierno, habiéndose registrado temperaturas puntuales en periodos del fenómeno del Nino de hasta 35,7 °C. Como el registrado en febrero del año 1998, así como temperaturas mínimas de hasta 10,4 °C registrado en el mes de setiembre del año 1999 coincidiendo con la fase más acentuada del fenómeno de la Nina (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021)..

La humedad relativa promedio mensual registrada varía entre los 65 % y 95 %, pero eventualmente se presentan periodos en época de verano de mayor humedad atmosférica llegando hasta la saturación, es decir, hasta el 100 % (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

.El tipo de nubosidad que caracteriza a la provincia de Ilo es estacional, presentándose en verano una nubosidad dispersa tipo cirrus y cirrus cúmulos, son nubes altas y que están asociadas a los vientos, en tanto que en

inviernos la nubosidad predominante son estratocúmulos y cúmulos, típicos en toda la franja costera, asociadas a las aguas frías del Océano Pacífico. En el sector del litoral el número de horas sol varía durante el año: es mayor durante la estación verano con un promedio de 8 horas de sol/día, en invierno el número de horas sol se reduce a valores nulos, llegando a 3,5 horas sol/día el resto del año (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

En general el comportamiento del viento mensualmente fluctúa de 4 a 5 m/s en Punta de Coles de 0 a 2 m/s valles de Ilo. (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo Concertado 2009 - 2021).

2.1.4 Fuente de abastecimiento

La ciudad de Ilo cuenta con 2 fuentes de agua superficial provenientes del río Locumba y río Osmore y una fuente de agua subterránea utilizada en casos de emergencia. Los ríos de Locumba y Osmore, tienen un régimen estacional, esto varían según los meses del año. La fuente subterránea comprende dos pozos, solo entran

en funcionamiento en casos de emergencia.
(Municipalidad Provincial de Ilo Plan de Desarrollo
Concertado 2009 - 2021).

2.2 Materia Prima

2.2.1 Materia Prima – Agua Residual

Entonces podemos definir al agua residual como la combinación de los residuos líquidos, que provienen de residencias, instituciones públicas y de establecimientos industriales y comerciales, a los que se les puede agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de recogida que se emplee y puede incluir los siguientes componentes (Ron Crites et al, 2000):

- Aguas Residuales Domésticas ó Domiciliares
- Aguas Residuales Industriales
- Aguas Residuales Agrícolas
- Aguas Pluviales
- Infiltración

2.2.2 Características Físicas, Químicas y Biológicas de Aguas Residuales

Características Físicas

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Hernández et al, (2004)).

Sólidos Totales

Analíticamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103 °C y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentable se expresan en mg L^{-1}

y constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro (Hernández et al, (2004)).

Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Hernández et al, (2004)).

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de potable, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles (Hernández et al, (2004)).

Color

El agua residual suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Cuando llega a este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. Su color gris, gris

oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual (Hernández et al, (2004)).

Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones (Hernández et al, (2004)).

2.2.3 Características Químicas

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza

por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas (Metcalf et al, (1998)).

Materia Orgánica

Cerca del 75 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de una agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos de origen animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (Metcalf et al, 1998).

Los compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en algunos casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40 % - 60 %), hidratos de carbono (25 % - 50 %) y grasas y aceites (10 %). Otro compuesto orgánico con muy importante presencia en el agua residual es la urea,

principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes. Junto con todas estos grupos de sustancias orgánicas, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja, por ejemplo los agentes tenso activos, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola. (Metcalf et al, (1998)).

Características Biológicas (DBO)

El parámetro de contaminación orgánica más empleado, que es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO_5 . La determinación de este está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para (Metcalf et al, (1998)):

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

El periodo de incubación es normalmente de 5 días a 20 °C. La oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración en teoría es infinita. En un periodo de 20 días se completa la oxidación del 95 % al 99 % de la materia carbonosa, y en 5 días que dura el ensayo de la DBO se llega a oxidar entre el 60 % y 70 %. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de temperatura que se da los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en un incubador. Los resultados obtenidos a diferentes temperaturas serán distintos, debido a que las velocidades de las reacciones bioquímicas son función de la temperatura (Metcalf et al, (1998)).

Característica Química (DQO)

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales y residuales. El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuesto tóxico para la vida biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO (Metcalf et al, (1998)).

Materia Inorgánica

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se

incorporan durante el ciclo de uso. Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, como por ejemplo los cloruros, la alcalinidad, el nitrógeno, el azufre, algunos otros compuestos tóxicos inorgánicos y algunos metales pesados como el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el Zinc, el cobre, el hierro y el mercurio (Metcalf et al, (1998)).

Dentro de la materia inorgánica es de suma importancia también hablar de la concentración de ion hidrógeno (pH), ya que es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Metcalf et al, (1998)).

Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran

en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Hilbert et al, (1992)).

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que los cursos de agua generalmente son menores por lo tanto el oxígeno también es menor (Hilbert, et al, (1992)).

2.2.4 Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, bacterias y arque bacterias, como se muestra en la siguiente (Metcalf & Eddy, 1998).

Tabla V. Grupo de Microorganismos

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

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis (Metcalf et al, (1998)).

2.2.5 El agua residual tratada

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos,

químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reusó (Fonam,2010).

El proceso tratamiento de aguas residuales domiciliare e industriales al ser tratada, nos permitirá cumplir con los parámetros establecidos de eliminación de la normativa actual y además, se deberá tomar en cuenta las variaciones del caudal a tratar (Fonam, 2010).

Tabla VI. Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6,5-8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	° C	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

En el cuadro anterior se detalla los límites máximos permisibles que debe cumplir todo efluente para una planta de tratamiento de agua residual.

2.2.6 Subproductos

Residuos de Rejas

En la etapa de desbaste (paso por rejas) se acumulan materiales orgánicos e inorgánicos de un tamaño considerable que son retenidos por rejillas, los cuales han de ser retirados dado que sería perjudicial para el proceso (Metcalf et al, (1998)).

Arena

Las arenas se remueven de las aguas residuales para:

- Proteger los equipos mecánicos de la abrasión y del excesivo desgaste
- Reducir la formación de depósitos de sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo.
- Reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por causa de acumulación excesiva de arenas.

Lodos

Los lodos se utilizan para designar a los sólidos que se sedimentan cuando las aguas negras pasan a través del tanque de sedimentación. El lodo producido por estos tanques está formado por los sólidos orgánicos e

inorgánicos presentes en el agua cruda, al momento de salir del tanque de sedimentación los lodos contienen un 5 % de sólidos y un 95 % de agua (Metcalf et al, (1998)).

Biogás

La composición volumétrica del gas generado en la digestión anaerobia del lodo de aguas residuales contiene 65 % - 70 % metano (CH_4), 25 % - 30 % dióxido de carbono (CO_2), y muy pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y algunos otros gases (Hilbert, Jorge, 1992).

Un metro cúbico de metano, tiene un poder calorífico de 35 800 kJ. Como se mencionó el gas suele tener un 65 % de metano por lo que el poder calorífico del gas de digestión es de $\sim 23\,270 \text{ kJ/m}^3$. Comparado con el gas natural, el cual tiene un poder calorífico de $37\,300 \text{ kJ/m}^3$, su poder calorífico es considerable. El gas de digestión se puede emplear como combustible para calderas y motores de combustión internos que, a su vez, se pueden utilizar para el bombeo de agua residual, generación de electricidad (Hilbert, Jorge, 1992).

2.3 Análisis de la Oferta y la Demanda

2.3.1 El agua residual nivel mundial

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225 000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5 % de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana (Reynolds, et al. (2002)).

En promedio, solamente 10 % de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Además, continúan las dudas acerca del modo apropiado de operar las plantas de tratamiento existentes. Una evaluación de las plantas de tratamiento de aguas de alcantarillado en México calcula que solamente 5 % de las plantas existentes están siendo operadas de manera satisfactoria (Reynolds et al. (2002)).

Tabla VII. Población con suministro de Agua Pública -Saneamiento en Latinoamérica y el Caribe 1995

País	Población (millones, redondeados)		Agua Potable (% hogares conectados)		Saneamiento Público (% hogares conectados)	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Argentina	30.3	4.1	68	24	39	42
Bahamas	0.3	**	88	86	16	100
Barbados	0.1	0.2	98	98	4	98
Belice	0.1	0.1	89	51	44	21
Bolivia	4.2	3.0	74	42	31	39
Brasil	124.5	37.2	74	28	35	43
Chile	12.2	2.0	99	47	79	7
Colombia	26.4	10.3	86	32	65	27
Costa Rica	1.5	1.6	100	99	55	95
Dominicana	5.2	2.9	56	55	28	68
Ecuador	6.5	4.7	79	10	61	26
El Salvador	2.7	3.4	78	24	60	65
Guatemala	4.2	6.1	84	48	70	50
Guyana	0.3	0.5	77	69	27	28
Haití	2.2	4.9	29	39	—	16
Honduras	2.8	3.1	77	66	50	71
Jamaica	1.4	1.1	57	53	34	65
México	68.1	22.7	93	57	81	29
Nicaragua	2.5	1.6	86	28	34	28
Panamá	1.6	1.4	98	73	64	81
Paraguay	2.6	2.4	59	6	20	44
Perú	16.8	6.6	63	31	59	23
Surinam	0.3	0.1	95	70	2	36
Trinidad	0.9	0.4	90	88	32	92
Uruguay	2.7	0.3	90	—	56	—
Venezuela	19.8	1.7	73	79	62	60
Total	340.2	122.4	79	39	52	39

— No disponible. **Insignificante
FUENTE: Edlovitch, E., y K. Ringskog, "Directions & Development: Wastewater Treatment in Latin America, Old and New Options," World Bank, Washington, D.C., 1997.

Fuente: Edlovitch, E., y K Ringskog. "Directions & Development: Wastewart Treatment in Latin América

2.3.2 El agua residual a nivel nacional

En el 2009, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento registro que el volumen de aguas residuales volcado a la red es de 786 379 599 m³ anual, de los cuales solamente el 35 % es tratado. Esta información fue recopilada de la data entregada por las 50 EPS (SUNASS N° 0258-2007).

Asimismo el índice de tratamiento de aguas residuales del año 2009 es de 35 %, valor que se ha incrementado con

respecto al año 2008, en el cual alcanzó un valor de 34,2 %, lo cual ha sido consecuencia principalmente de la entrada en funcionamiento de las nuevas PTAR de SEDAPAL. Esto demuestra la ausencia de inversiones para incrementar el volumen de tratamiento de aguas residuales. Cabe mencionar, que el índice de tratamiento de aguas residuales es bajo, como consecuencia de la influencia de SEDAPAL, quien solamente trata un 21 % del total de aguas recolectadas por el sistema de alcantarillado, el restante 79 % es vertido directamente al mar (Elaboración: SUNASS N° 0258-2007).

De la relación de 143 PTRS presentadas por SUNASS, las diez que son de mayor capacidad de tratamiento, son las que se muestran en la tabla N° 8.

Tabla VIII. Plantas de Tratamiento de aguas Residuales en el Perú

Ranking	COD EPS	Nombre EPS	Localidad	Nombre Planta	Tipo GEN	Q Max
1	26	Sedapal S.A.	Lurín	PTAR San Bartolo	LAM	1 700,00
2	28	Sedalib S.A	Trujillo	PTAR Covicorti	LAM	880,00
3	26	Sedapal S.A.	San Juan de Miraflores	PTAR San Juan	LAM	800,00
4	29	Epsel S.A.	Chiclayo	PTAR 2 - Chiclayo	LAM	618,00
5	15	Epsasa	Huamanga	La Totora	FP	536,00
6	26	Sedapal S.A.	Ate-Vitarte	PTAR Carapongo	LAN	500,00

Ranking	COD EPS	Nombre EPS	Localidad	Nombre Planta	Tipo GEN	Q Max
7	26	Sedapal S.A.	Puente Piedra	PTAR Puente Piedra	LACT-SBR	422,00
8	37	Emapica S.A.	Ica	Cachiche	LF	411,00
9	32	EPS Grau S.A.	Sullana	El cucho	LF	380,00
10	31	EPS Sedacusco S.A.	Cusco	San Jerónimo	FP	320,00

Fuente: Información de las EPS en Agosto 2007 para PTAR. Elaboración: SUNASS N° 0258-2007

2.3.3 El Agua Residual Nivel Local

Debido al crecimiento acelerado de la población de Ilo, las zonas urbanas circundaron la planta de tratamiento de aguas residuales, el cual debido a la paralización del sistema de tratamiento, está originando emanaciones de olores desagradables que son percibidos de manera diaria por los vecinos de Ciudad Nueva y Ciudad Jardín, ocasionando significativamente una contaminación adicional a los lugareños.

El agua residual es vertida al mar sin ningún tratamiento previo debido que la planta de tratamiento de la EPS Ilo se encuentra inoperativa, en el siguiente cuadro se detalla las características de las aguas residuales vertidas al mar.

Tabla IX. Análisis Fisicoquímicos

Descripción	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
DBO ₅	mg/L	120,80	190,26	241,60
DQO	mg/L	205,50	301,64	352,60
SO ₄ (Sulfatos)	mg/L	930,00	1 017,60	1 080,00
N - NH ₃	mg/L	50,40	54,12	57,60
N - Total	mg/L	52,80	56,76	62,00
Sólidos Disueltos	mg/L	4 976,00	5 314,80	5 472,00
Sólidos Suspendidos	mg/L	379,00	433,20	500,00
Sólidos sedimentables	mg/L	0,30	1,36	4,00
Coliformes fecales	NMP/100 mL	9,20E+07	2,52E+08	5,40E+08
Coliformes totales	NMP/100mL	9,20E+07	2,88E+08	5,40E+08
Rcto. de Nemátodos	N° Nemátodos/L	0,00	4,60	10,00
Rcto. de Huevos de Nemátodos	N° Huevos/L	0,00	0,00	0,00

FUENTE: Laboratorio INDECOPI-SNA 2012

Tabla X. Análisis Fisicoquímicos

Elementos	Resultados
Litio Total	0.5020 mg/L
Boro Total	7.0805 mg/L
Berilio Total	< 0.0006 mg/L
Aluminio Total	0.6619 mg/L
Fósforo Total	11.3439 mg/L
Titanio Total	0.0583 mg/L
Vanadio Total	0.0007 mg/L
Cromo Total	0.0089 mg/L
Manganeso Total	0.0359 mg/L

FUENTE: Laboratorio INDECOPI-SNA 2012



Figura 2. Vista panorámica del punto Contaminante

Fuente: Google earth 20013

La zona contaminada como se observa Figura 3 es conocida como Playa de media luna, anteriormente era destinado como un lugar apropiado por veraneantes, pero la actualidad la playa se encuentra no apta por ser considerada una playa vulnerable a brotes epidemiológico (Revista Ilo al Día, 2008). En los cuales los ecosistemas marinos deben cumplir estándares nacionales según Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM presente Anexo L.



Figura 3: Agua Residual diluida en el mar

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla 11 se detalla del crecimiento poblacional al año 2004 - 2008 y la producción de agua residual en los siguientes años:

Tabla XI. Características Poblacionales del Agua Residual

Año	Población	Agua Residual m ³ /d
2004	60 092,00	8 149,93
2005	60 993,00	8 272,13
2006	61 908,00	8 396,23
2007	62 837,00	8 522,22
2008	63 780,00	8 650,12

FUENTE: Elaboración propia base datos EPS Ilo S.A.2008,
Resolución ministerial N° 258-2009-vivienda

CAPÍTULO III

3 TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN

3.1 Tamaño del Proyecto

3.1.1 Relación tamaño materia Prima

El agua residual generada se irá incrementando en función del aumento de la población. Según fuente de la EPS Tacna S.A (Informe N° 022-2010-SUNASS-120-F), del agua potable suministrada a la población el 78 % es vertida al sistema de alcantarillado como agua residual.

Para la determinación de la población de la ciudad de Ilo y la producción de agua residual a través de los años, se recurrió a la información con que cuenta el INEI 2008 sobre el incremento poblacional del 1,6 %.

Se obtuvieron datos de la producción del agua residual en 5 años, desde el año 2004 hasta el año 2008. Los cuales fueron proyectados al año 2032, año en que está proyectada la vida útil de la planta de tratamiento de aguas residuales. La tabla N°12 muestra el número de habitantes cada año y la Grafica N°5 muestra la proyección del agua residual.

En el siguiente cuadro se detalla de la proyección del

agua residual generada en los 20 años futuros.

Tabla XII. Agua Residual futura

N°	Año	Población	Agua Residual m ³ /d
1	2013	69 048,31	9 364,63
2	2014	70 153,08	9 514,46
3	2015	71 275,53	9 666,69
4	2016	72 415,94	9 821,36
5	2017	73 574,60	9 978,50
6	2018	74 751,79	10 13,16
7	2019	75 947,82	10 300,37
8	2020	77 162,98	10 465,17
9	2021	78 397,59	10 632,62
10	2022	79 651,95	10 802,74
11	2023	80 926,38	10 975,58
12	2024	82 221,21	11 151,19
13	2025	83 536,75	11 329,61
14	2026	84 873,33	11 510,88
15	2027	86 231,31	11 695,06
16	2028	87 611,01	11 882,18
17	2029	89 012,78	12 072,29
18	2030	90 436,99	12 265,45
19	2031	91 883,98	12 461,70
20	2032	93 354,12	12 661,08

Fuente: Elaboración Propia

La tabla anterior se desarrolló con una tasa de crecimiento población del 1,6 % y una producción de agua residual por habitante de 0,14 m³ / (hab. d) (EPS ILO. 2008).

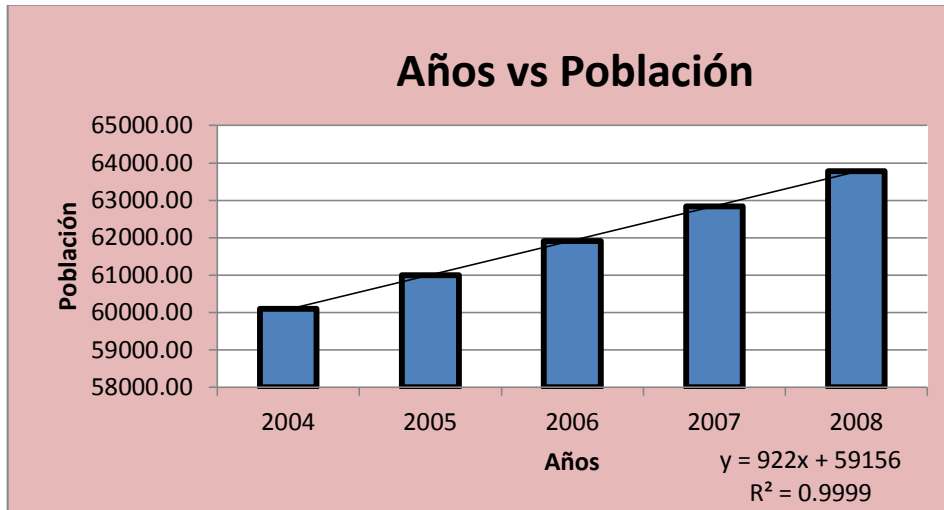


Figura 4. Proyección Poblacional

Fuente: Elaboración Propia

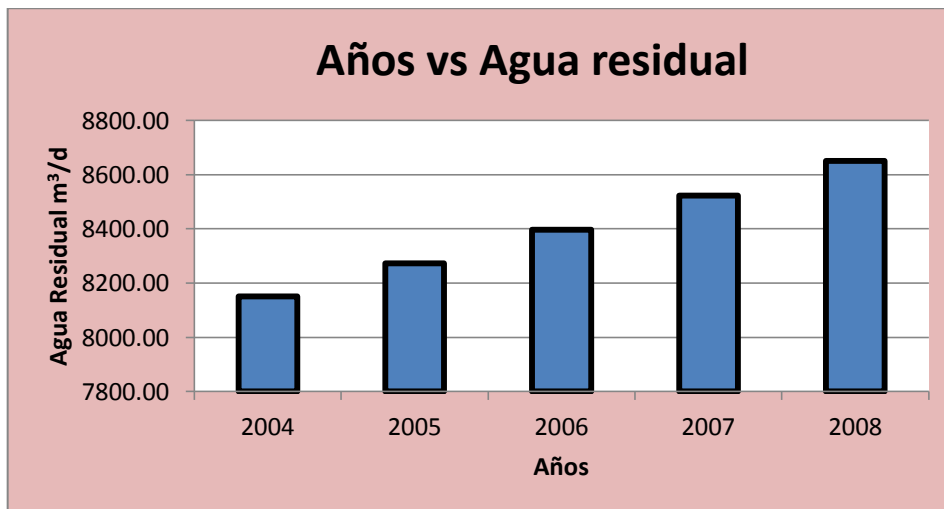


Figura 5. Proyección Agua residual

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla N°10 se grafica el crecimiento población y el agua residual que se genera, por medio de la gráfica se realizó la regresión lineal con los cuales se

hizo la proyección para los 20 años de sustentabilidad del proyecto.

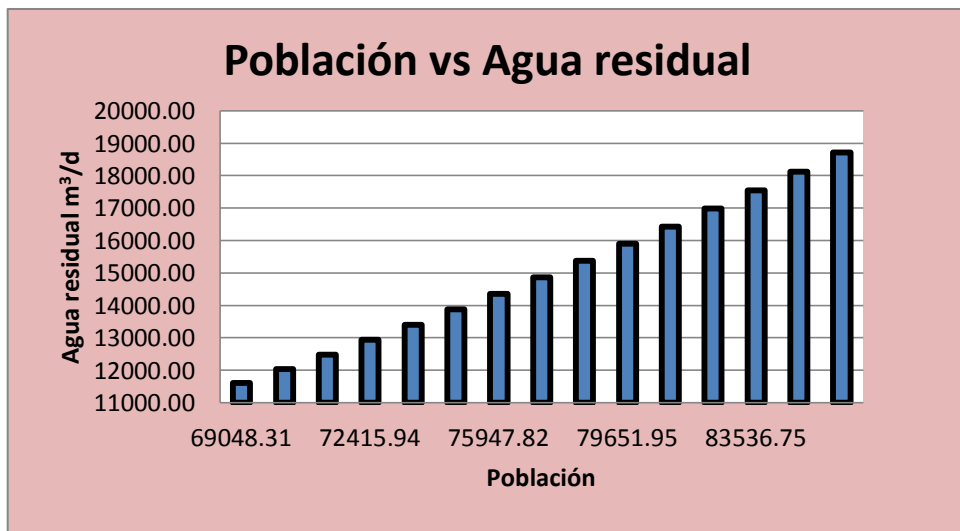


Figura 6. Proyección Poblacional

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Relación tamaño mercado

El agua residual tratada beneficiara directamente a toda la zona urbana de la ciudad de Ilo, la cual después de unos 20 años llegará ser la población beneficiada 93 354,12 habitantes.

3.1.3 Relación tamaño localización

La planta estará ubicada al norte del distrito de Pacocha a unos 5 Km de la ciudad de Ilo,

específicamente entre la estación ferroviaria de S.P.CC, Ciudad Jardín y la playa Media Luna entre las cotas 15 y 10 msnm, debido a que la propiedad le pertenece a la EPS ILO y está destinada para la instalación de planta de tratamiento de aguas residuales (Sunass 2012).

Uno de los factores importantes de la zona es contar con una extensa área destinada para el tratamiento del agua residual, encontrarse alejada de las viviendas aledañas.

3.1.4 Relación tamaño tecnología

El sistema de tratamiento de agua residual por lodos activados no necesita grandes extensiones de terrenos, en donde se involucrara todo el proceso a la salida del efluente, como el tratamiento de los lodos.

La ventaja principal de este proceso es el corto tiempo de residencia de la biomasa en los sistemas, permitiendo tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja, por lo cual se recomienda la desinfección antes de su vertimiento al cuerpo receptor.

3.1.5 Relación tamaño financiamiento

El costo de la instalación y financiamiento de planta de tratamiento por el sistema de lodos activados podrá ser financiado directamente por el estado o por las empresas privadas para luego ser pasadas a la EPS ILO S.A. El costo de operación y mantenimiento deberá ser recaudado por los contribuyentes en la facturación mensual del pago en sus servicios.

CAPÍTULO IV

4 ASPECTOS TECNOLÓGICOS

4.1 Tratamiento de Aguas Residuales por el Proceso de Lodos Activados

4.1.1 Definición

En general, el proceso de lodos activos (lodos activados o fangos activados) es el sistema biológico de depuración más extendido actualmente para tratar aguas residuales, tanto domésticas como industriales y sus aplicaciones han aumentado a medida que se ha avanzado en el conocimiento de la microbiología, cinética y bioquímica relacionada con el proceso (Tchobanoglous et al, (1995)).

La denominación del proceso proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En la actualidad, existen muchas versiones del proceso original, pero todas con la misma base científica (Tchobanoglous et al, (1995)).

4.1.2 Características Operacionales

Los tratamientos biológicos con lodos activados utilizados en la actualidad, constan principalmente de un reactor biológico con aeración donde se produce la asimilación y degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, seguido de un sedimentador donde se separan las partículas de lodo (que salen como un concentrado en el fondo del sedimentador) del agua tratada que constituye al sobrenadante. Algunas variaciones integran el sedimentador dentro del reactor biológico (Castoreña et al, (2002)).

Teniendo en cuenta estas etapas, y según se representa el gráfico N° 8, el proceso de tratamiento por lodos activos consta de un reactor o tanque de aireación (reactor aerobio), bien mezclado y agitado, en el que se pone en íntimo contacto y de forma continua el agua residual a tratar, cargada de materia orgánica disuelta con los microorganismos responsables del proceso (fundamentalmente bacterias, hongos, algas, protozoos, denominados genéricamente lodos activos o biológicos),

que se encuentran en suspensión en el seno del reactor (Castoreña et al, (2002)).

Luego de la aireación el agua residual pasara al tanque de sedimentación en donde todos los sólidos sedimentan. El exceso de lodos una parte será recirculado y la otra será desechada.

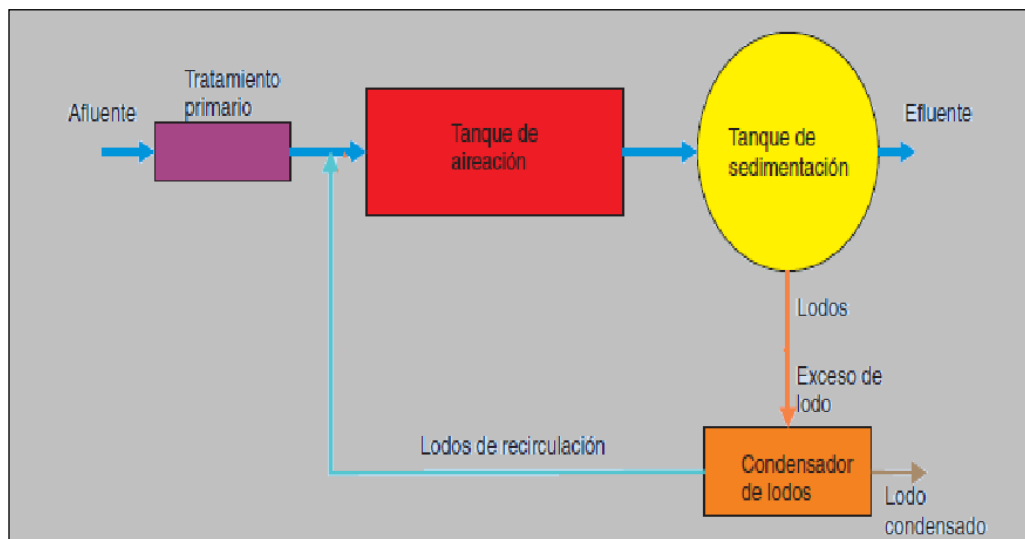


Figura 7. Tratamiento Lodos Activados

4.1.3 Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Adaptado para cualquier tamaño de colectividad (excepto las muy pequeñas).

- Buena eliminación del conjunto de los parámetros de contaminación (SS, DQO, DBO₅, N mediante nitrificación y desnitrificación).
- Adaptado para la protección de medios receptores sensibles.
- Lodos (ver glosario) ligeramente estabilizados.
- Facilidad de implantación de una desfosfatación simultánea.

Desventaja

- Costes de inversión bastante importantes.
- Consumo energético importante.
- Necesidad de personal cualificado y de vigilancia regular.
- Sensibilidad a las sobrecargas hidráulicas.
- Decantabilidad de los lodos que no siempre es fácil de dominar.
- Fuerte producción de lodos que hay que concentrar.

4.1.4 Control del Proceso

Los principales factores que intervienen en el control del proceso son (Metcalf & Eddy Inc.1996):

- a) Mantenimiento de los niveles de oxígeno disuelto en el biorreactor,
- b) Regulación de la cantidad de lodo activado recirculado (RAS)
- c) Control de Purga de lodo activado (WAS).

Control de Oxígeno Disuelto.

Los microorganismos aerobios requieren grandes cantidades de oxígeno (Metcalf& Eddy Inc, 1996, Watts, 1996), para:

- Mantener una alta velocidad de reproducción.
- Oxidar o estabilizar la materia orgánica (DBO_5).
- Lograr un adecuado mezclado.
- Mantener un nivel igual superior a 2 mg/l de oxígeno disuelto.

Control de recirculación de lodos activado (RAS).

Es el elemento fundamental del proceso, debido a que si el proceso sólo dependerá de la presencia de los microorganismos, el tiempo de retención del sistema podría ser tan alto como de cuatro y cinco semanas

(Cochrame et al, (1980)).

La recirculación de lodo permite mantener una concentración suficiente de biomasa o lodo activado ($1500 \text{ mg L}^{-1} - 6000 \text{ mg L}^{-1}$) dentro del biorreactor y de este modo alcanzar el grado de tratamiento para un tiempo de retención establecido (Metcalf et al. (1996)).

$$Q_r = \frac{Q_w X_r - QX}{X - X_r} \quad [1]$$

Dónde:

Q_r = caudal de recirculación de lodos, $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$

Q_w = caudal ingreso del sistema, $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$

X = concentración de SSV biorreactor, SSVLM, mg L^{-1}

X_r = concentración de SSV recircula al reactor, mg L^{-1}

Control de purga de lodo activado en exceso (WAS).

La producción diaria de lodo activado en exceso debe ser purgada del sistema, esto con la finalidad de mantener la relación alimento/microorganismos (A/M) o un tiempo de medio de retención celular adecuada (Metcalf et al, (1996)).

$$\frac{A}{M} = \frac{QS_0}{VX} \quad [2]$$

Dónde:

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{alimento}}{\text{microorganismo}}, \text{ g DBO por día por gramo de}$$

$$\text{SSVLM, d}^{-1}$$

$$Q = \text{caudal del afluente, m}^3\text{d}^{-1}$$

$$V = \text{volumen del biorreactor, m}^3$$

$$S_0 = \text{DBO del agua residual cruda, mg L}^{-1}$$

$$X = \text{concentración de SSV biorreactor, SSVLM, mg L}^{-1}$$

4.1.5 Problemas de explotación

Una planta adecuadamente operada, no debiera tener problemas de explotación. Sin embargo el problema más frecuente que se presenta es la sedimentabilidad de los flóculos para su separación; el cual se debe principalmente al lodo voluminoso (bulking), el lodo ascendente, o la espuma Nocardia (Metcalf et al, (1996)).

Lodo voluminoso (bulking).

El término “bulking”, se aplica a la condición en la cual existe una súper abundancia de organismos filamentosos presentes en el contenido del biorreactor, la cual le da pobres características de sedimentabilidad y escasa compactibilidad al lodo activado, que hace difícil su

separación del agua residual tratada (Metcalf et al, (1996)).

Lodo ascendente

Este fenómeno se produce como consecuencia de la desnitrificación, proceso en el que los nitritos y nitratos del agua residual se convierten en gas nitrógeno.

Conforme se va produciendo gas nitrógeno en el seno de la capa del lodo, gran parte de él queda atrapado, haciendo que la densidad disminuya provocando que flote o ascienda a la superficie haciendo difícil su separación (Metcalf et al, (1996)).

El lodo ascendente se puede diferenciar del lodo voluminoso observado las pequeñas burbujas de gas adherido a los sólidos (Metcalf et al, (1996)).

Espumación Nocardia

Este problema, se caracteriza por la presencia de una espuma viscosa, de color marrón, provocada por la presencia de microorganismos principalmente de la especie Nocardia, que recubre el biorreactor y los

sedimentadores secundarios, ocasionando problemas de seguridad, efluentes de baja calidad y malos olores (Metcalf & Eddy Inc.1996).

4.2 Cinética del crecimiento biológico

Antes de adentrar en el diseño de las distintas partes que componen el tratamiento biológico o secundario, es necesario establecer las bases de su funcionamiento. El primer punto que se debe tratar para entender correctamente los principios que componen el tratamiento es la cinética de crecimiento biológico, es decir, el comportamiento y función de los microorganismos dentro del sistema sólidos (Metcalf & Eddy Inc.1996).

Para asegurar el crecimiento de los microorganismos en un proceso biológico de tratamiento de agua residual se les debe permitir un tiempo de contacto suficiente con el alimento (materia orgánica), de manera que éstos puedan asimilarlo y de paso removerlo del agua. Este tiempo requerido depende de la tasa de crecimiento propia de los microorganismos y ésta a su vez está relacionada con la velocidad con la que los microorganismos metabolizan o utilizan el residuo (Metcalf & Eddy Inc.1996).

Suponiendo que las condiciones ambientales son propicias y se encuentran debidamente controladas, se puede asegurar una estabilización eficaz de la materia orgánica mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos (Metcalf & Eddy Inc.1996).

4.2.1 Crecimiento celular

Con unas condiciones ambientales determinadas, en las cuales se satisfacen todos los requerimientos para que haya crecimiento, es decir, hay una fuente de energía, una fuente de carbón, un aceptor de electrones y un medio adecuado, la biomasa microbial aumentará como resultado de la síntesis celular y disminuirá por causa de la respiración endógena y de la mortalidad (Jairo Romero).

Para cultivo en cochada, se ha demostrado experimentalmente que los microorganismos crecen en proporción a la biomasa presente. Por lo tanto, en crecimiento logarítmico, la biomasa aumenta según la ecuación.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad [3]$$

$$r_x = \mu X \quad [4]$$

Dónde:

$$\frac{dX}{dt} = \text{tasa de crecimiento de la biomasa, mg (L. d)}^{-1}$$

$$r_x = \text{tasa de crecimiento microbial, mg (L. d)}^{-1}$$

$$\mu = \text{tasa crecimiento específico, d}^{-1}$$

$$X = \text{concentración del microorganismos mg L}^{-1}$$

Crecimiento celular y utilización de sustrato

Para representar el aumento de la concentración de biomasa por asimilación de la materia orgánica y la disminución de la misma por la muerte de una parte de microorganismos, se emplea la tasa de crecimiento específico μ . Esta, es definida adecuadamente por la expresión propuesta por Monod.

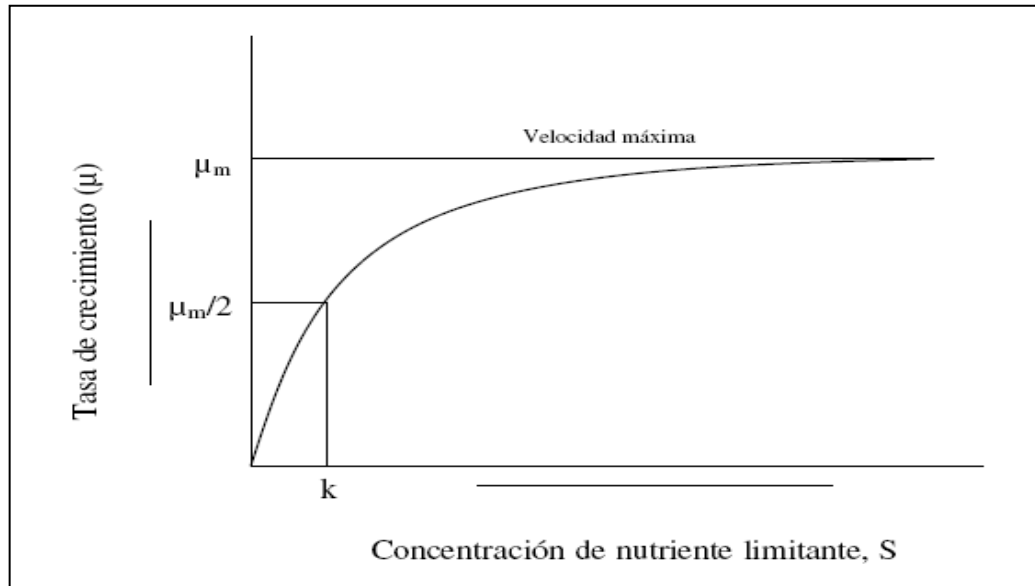


Figura 8. Gráfico representativo de la ecuación de Monod

De la figura puede ser expresada mediante la siguiente expresión:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad [5]$$

Dónde:

μ = tasa de crecimiento específico, d^{-1}

μ_m = máxima tasa de crecimiento específico, d^{-1}

S = concentración sustrato (DBO), limita el crecimiento, $mg L^{-1}$

K_s = constante saturación, numérica igual concentración sustrato, S ,

De (4) en (5), la expresión resultante es:

$$r_x = \frac{dX}{dt} = \mu_m \frac{XS}{K_s + S} \quad [6]$$

4.2.2 Utilización del sustrato

En un reactor biológico, el catabolismo convierte parte del alimento en residuos y, por tanto, la tasa de utilización de alimento es mayor que la producción de biomasa. El crecimiento y la utilización de sustrato están relacionados por la expresión:

$$\frac{dX}{dt} = -Y \frac{dS}{dt} \quad [7]$$

$$\frac{dX}{dt} = -Y r_s \quad [8]$$

$$r_x = -Y r_s \quad [9]$$

El valor de r_s es negativo, porque la biomasa aumenta con el tiempo y, por el contrario, el alimento disminuye.

Además,

$$Y = -\frac{r_x}{r_s} \quad [10]$$

$$Y = \frac{dX}{dS} \quad [11]$$

Dónde:

$\frac{dX}{dt}$ = tasa de cambio la concentración de biomasa,

mg/(L d)

r_x = tasa de crecimiento microbial, mg/(L d)

$r_s = \frac{dS}{dt}$ = tasa de utilización de sustrato, mg/(L d)

$$Y = \frac{(\text{mg/L})\text{de biomasa}}{(\text{mg/L})\text{de alimento balanceado}} \quad [12]$$

Y = fracción del sustrato destinado al crecimiento celular, biomasa/sustrato

De (10) en (6), la expresión resultante es:

$$r_s = -\frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \quad [13]$$

4.2.3 Tasa de crecimiento neto

En un reactor biológico de tratamiento de aguas residuales, la biomasa está compuesta por una población mixta de microorganismos, cada uno de ellos con su curva particular de crecimiento y con una distribución, en el tiempo, muy variable, que hace que las células no coincidan en su etapa de crecimiento logarítmico. Los diferentes factores que contribuyen a la disminución en masa celular o biomasa, dentro del reactor, se acostumbra agruparlos con la denominación respiración endógena y se formula según la ecuación 13. El

metabolismo endógeno, por tanto, está constituido por todas las reacciones celulares que consume la biomasa celular.

$$r_d = -k_d X \quad [14]$$

Dónde:

r_d = declinación endógena. mg/(L d)

k_d = coeficiente de descomposición endógena, d^{-1}

X = concentración de biomasa, mg/L^{-1}

Matemáticamente, la tasa de cambio neto en la concentración de biomasa, o tasa neto de crecimiento r'_x , se expresa la siguiente ecuación:

Tasa de crecimiento = Crecimiento – Declinación

$$r'_x = r_x - r_d \quad [15]$$

Combinando las ecuaciones con (5) en (13), se obtiene la ecuación:

$$r'_x = \mu_m \frac{XS}{K_s + S} - k_d X \quad [16]$$

Dónde:

r'_x = tasa neta de crecimiento bacterial, mg/(L d)

Combinando las ecuaciones (13) y (16), se obtiene

$$r'_x = -Y r_s - k_d X \quad [17]$$

4.3 Teoría para diseñar el reactor de mezcla completa con recirculación

En el sistema de mezcla completa, el líquido del reactor se mezcla completamente, y se supone que el contenido de biomasa activa en el agua que entra al reactor es nulo. El tanque de sedimentación secundario en el que se separan las células del reactor para su posterior recirculación, es una parte integral del proceso de lodos activados. Debido a la presencia de esta unidad de separación de sólidos, la elaboración de un modelo cinético requiere de dos hipótesis adicionales:

- La estabilización biológica de los residuos se produce únicamente en el reactor.
- El volumen utilizado al calcular el tiempo de retención de lodos del sistema sólo incluye el volumen del reactor.

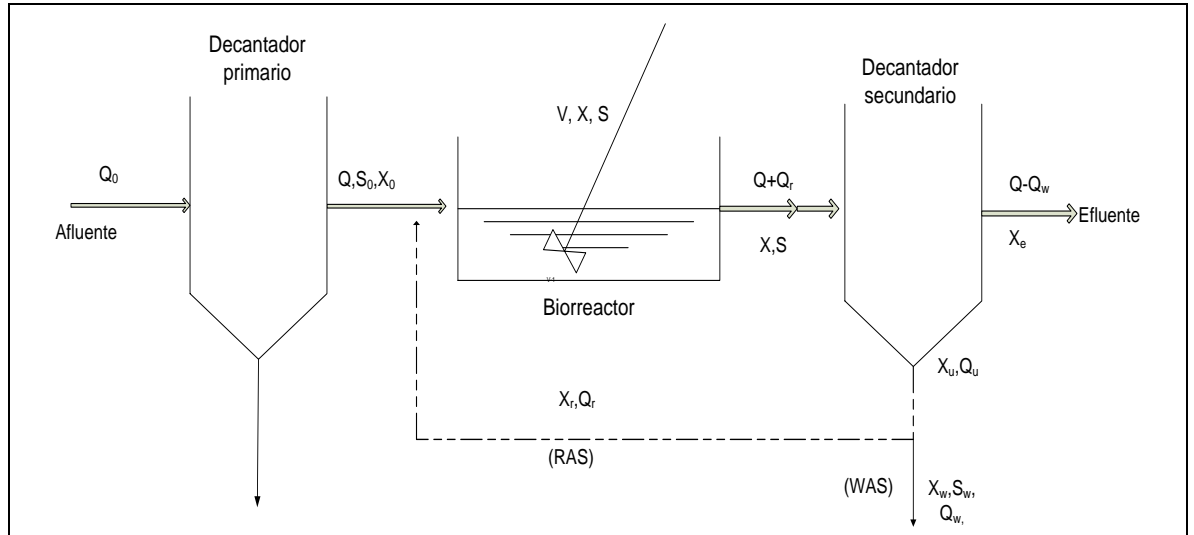


Figura 9. Esquema del proceso de lodos activados

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

V = volumen del biorreactor, m^3

Q_0 = caudal de ingreso a la planta, $m^3 d^{-1}$

Q = caudal de ingreso al sistema, $m^3 d^{-1}$

Q_u = caudal de extracción lodos decantador secundario, $m^3 d^{-1}$

Q_r = caudal de recirculación de lodos, $m^3 d^{-1}$

Q_w = caudal de desachado de lodos, $m^3 d^{-1}$

X = concentración de SSV en biorreactor, SSVLM, $mg L^{-1}$

X_0 = concentración de SSV que ingresa a planta, $mg L^{-1}$

X_e = concentración de SSV que sale del sistema, $mg L^{-1}$

X_r = concentración de SSV que recircula al biorreactor, $mg L^{-1}$

X_w = concentración de SSV sale sistema, mg L^{-1}

S_0 = concentración de substrato ingresa a planta (DBO), mg L^{-1}

S = concentración del substrato en el biorreactor(DBO), mg L^{-1}

S_w = concentración del substrato que sale sistema(DBO), mg L^{-1}

Para la determinación de la cinética del proceso será necesario desarrollar un balance de masa del sistema.

4.3.1 Balance de masa para la producción de biomasa

El planteamiento de un balance de masa, sobre microorganismos, para un reactor de flujo continuo puede expresarse como:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Cambio de} \\ \text{Biomasa} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Biomasa} \\ \text{Afluente} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Biomasa} \\ \text{Efluente} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Crecimiento} \\ \text{Neto} \end{array} \right]$$

Representando simbólicamente ecuación 18 se obtiene

$$V \frac{dX}{dt} = QX_0 - [Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e] + V r'_x \quad [18]$$

Si se desprecia X_0 entonces:

$$V \frac{dX}{dt} = -[Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e] + V r'_x \quad [19]$$

Dónde:

$$r'_x = \text{tasa neta de crecimiento bacterial, mg/(L d)}$$

Para un estado permanente resulta $\frac{dX}{dt} = 0$, es decir no hay cambio en biomasa

$$0 = -[Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e] + V r_x \quad [20]$$

Reemplazando r_x por su valor según la ecuación (17), se obtiene la siguiente la ecuación:

$$0 = -[Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e] + V(-Y r_s - k_d X) \quad [21]$$

$$[Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e] = V(-Y r_s - k_d X) \quad [22]$$

$$\frac{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e}{VX} = -Y \frac{r_s}{X} - k_d \quad [23]$$

Donde

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_s}{X} - k_d \quad [24]$$

La ecuación (23) resulta:

$$\frac{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e}{VX} = \frac{1}{\theta_c} \quad [25]$$

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e} \quad [26]$$

Dónde:

$$\theta_c = \text{tiempo medio de retención celular, } d^{-1}$$

Cuando no se dispone de lodos, $Q_w = 0$ la ecuación (26) queda:

$$\theta_c = \frac{VX}{QX_e} \quad [28]$$

Si el sistema posee una unidad de sedimentación excelente y el lodo es de muy buenas características, X_e es despreciable pues la biomasa en el efluente es muy pequeña y la ecuación (28) se puede simplificar según la siguiente ecuación:

$$\theta_c \approx \frac{VX}{Q_w X_r} \quad [29]$$

Balance de masa para sustrato

En esta etapa proceso se hace el respectivo balance en función del sustrato (DBO_5) por parte de los microorganismos lo cual resulta:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Cambio} \\ \text{en} \\ \text{Sustrato} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Alimento} \\ \text{Afluente} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Alimento} \\ \text{Afluente} \end{array} \right] + [\text{Asimilación}]$$

Representado la ecuación simbólicamente se obtiene:

$$V \frac{dS}{dt} = QS_0 + Q_r S - (Q - Q_r)S + r_s V \quad [30]$$

Para un estado permanente, no hay cambio en la concentración de sustrato (alimento) $\frac{dS}{dt} = 0$. Además,

reemplazando r_s , por su valor según la ecuación (13) la ecuación resulta:

$$0 = QS_0 - QS - \frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)} V \quad [31]$$

Verbalmente, la ecuación (31) es igual a la ecuación:

Alimento afluente = Alimento efluente + Alimento consumido

Simplificando la ecuación:

$$VX \frac{\mu_m S}{(K_s + S)} = YQ(S_0 - S) \quad [32]$$

Combinando la ecuación (13) y (24) la ecuación 33

resulta:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y\mu_m XS}{Y(K_s + S)X} - k_d \quad [33]$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{\mu_m S}{(K_s + S)} - k_d \quad [34]$$

$$\frac{1}{\theta_c} + k_d = \frac{\mu_m S}{(K_s + S)} \quad [35]$$

Reemplazando en la ecuación (4.32) nos da

$$VX \left(\frac{1}{\theta_c} + k_d \right) = YQ(S_0 - S) \quad [36]$$

Despejando el valor de la biomasa se obtiene:

$$VX = \frac{\theta_c YQ(S_0 - S)}{1 + k_d \theta_c} \quad [37]$$

$$X = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S)}{(1 + k_d \theta_c) V} \quad [38]$$

Donde $\frac{Q}{V} = \theta$, resultando la ecuación

$$X = \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{(1 + k_d \theta_c) \theta} \quad [39]$$

Donde la ecuación (39) sirve para calcular la concentración biomasa o sólidos suspendidos volátiles en el reactor. En el sistema de lodos activados se calcula la biomasa en la mezcla líquida. La ecuación (37) sirve para cuantificar el volumen del reactor. Ahora la ecuación (39) se puede transformar a la ecuación (40)

$$\frac{VX}{\theta_c} = \frac{YQ(S_0 - S)}{1 + k_d \theta_c} = P_x \quad [40]$$

Dónde:

P_x = tasa de producción de lodos, g/d

Se encuentra la relación $Y_{OBS} = \frac{Y}{1 + \theta_c k_d}$ donde la nueva ecuación es

$$P_x = Y_{OBS} Q (S_0 - S) \quad [41]$$

O sea,

$$Y_{OBS} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c} \quad [42]$$

Dónde:

$$Y_{OBS} = \text{Coeficiente crecimiento observado}$$

La DBO del efluente puede calcularse por la ecuación (44), la cual representa la diferencia entre la DBO total del efluente y la DBO de los sólidos suspendidos de los mismos, suponiendo que un 65 % de los SS del efluente son biodegradables y que la relación entre la DBO5 y la DBO última carbonácea es igual 0,68.

$$S_e = DBO_e - (0,65) (0,68) (1,42)SS \quad [43]$$

$$S_e = DBO_e - 0,63(SS) \quad [44]$$

Dónde:

$$S_e = \text{DBO del efluente, mg L}^{-1}$$

$$DBO_e = \text{DBO total deseada del efluente, mg L}^{-1}$$

$$SS = \text{sólidos suspendidos del efluente, mg L}^{-1}$$

4.3.2 Balance de masa alrededor del clarificador

Para determinar el caudal de recirculación de lodos, es necesario un balance de masa alrededor del clarificador secundario

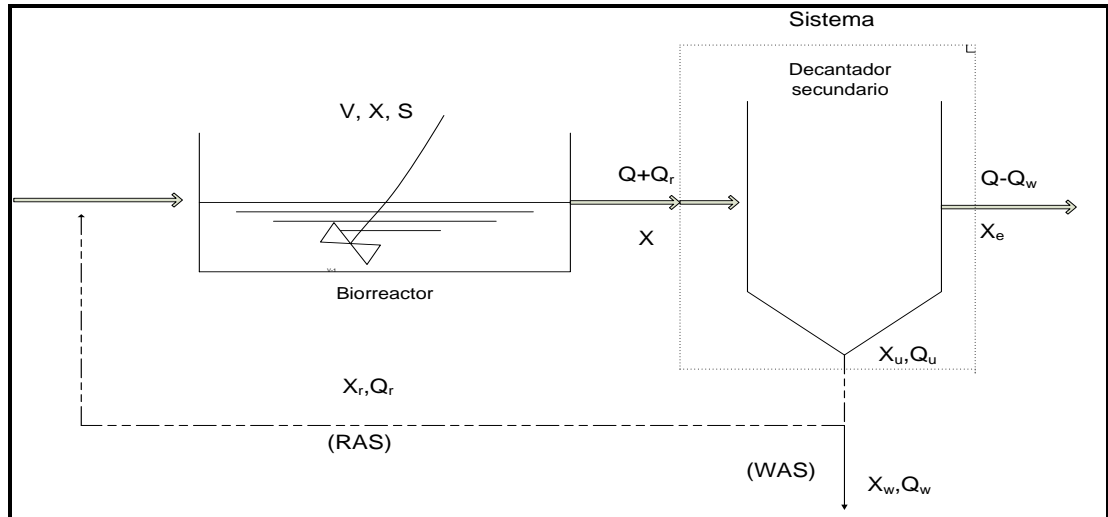


Figura 10. Diagrama del proceso de la etapa secundaria

Del balance de la biomasa alrededor del clarificador es:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Entrada} \\ \text{de} \\ \text{Biomasa} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Producción} \\ \text{de} \\ \text{Biomasa} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Salida} \\ \text{de} \\ \text{Biomasa} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Desechado} \\ \text{de} \\ \text{Biomasa} \end{array} \right]$$

Representando simbólicamente se obtiene

$$(Q + Q_r)X = (Q - Q_w)X_e + Q_u X_r \quad [45]$$

Asumiendo que el reactor trabaja eficientemente $X_e = 0$

De la figura donde $Q_u = Q_r + Q_w$ se llega a modificación de la ecuación (45)

$$(Q + Q_r)X = (Q_r + Q_w)X_r \quad [46]$$

Como $X_r = X_w$ en la figura la ecuación se reduce a

$$Q_r = \frac{Q_w X_r - QX}{X - X_r} \quad [47]$$

4.3.3 Requerimiento de Oxígeno

La necesidad teórica de oxígeno requerido por el biorreactor se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{kg}(\text{O}_2)}{\text{d}} = \frac{Q(S_0 - S)}{f} - 1,42(P_x) \quad [48]$$

Donde

Q = caudal de ingreso a planta, m^3d^{-1}

P_x = tasa de producción de lodos, g d^{-1}

S_0 = concentración sustrato (DBO_5) ingresa biorreactor,
 mg L^{-1}

S = Concentración de sustrato (DBO_5) en el biorreactor,
 mg L^{-1}

f = factor de conversión de DBO_5 en DBO_L (0,45 – 0,68)

4.4 Tratamiento de lodos

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o líquido semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0.25 y el 12 % en peso. El lodo es, por mucho, el

constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y sólo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

Los lodos separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. A continuación se analizarán procesos que se utilizan para reducir el contenido de agua y materia orgánica del lodo, y se utilizan además para acondicionar el fango para su reutilización o evacuación final.

4.4.1 Estabilización del lodo

La estabilización del lodo se lleva a cabo principalmente para: a) reducir la presencia de patógenos, b) eliminar los olores desagradables, y c) reducir o

eliminar su potencial de putrefacción. La supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores en el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del mismo.

Los medios de estabilización más eficaces para eliminar el desarrollo de estas condiciones son: la reducción biológica del contenido de materia volátil; la oxidación química de la materia volátil; la adición de agentes químicos para hacer el lodo inadecuado para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor con el objetivo de desinfectar o esterilizar el lodo.

Las técnicas de estabilización de lodos más recurridas son: la digestión anaerobia; la digestión aerobia; la estabilización con cal; el tratamiento térmico, y el compostaje.

4.4.2 Digestión anaerobia

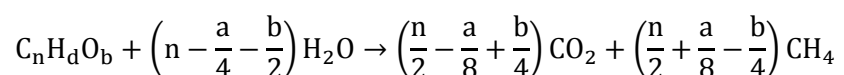
La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de lodos. En este proceso se propicia la degradación de la materia orgánica

contenida en el en ausencia de oxígeno molecular (Valdez C. E. et al, (2003)).

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios se convierte en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) principalmente. El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado. Los lodos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen dentro de estos tanques durante períodos de tiempo considerables. El lodo estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos (Valdez C. E. et al, (2003)).

Reacciones del Proceso de Digestión Anaerobia

Las bacterias generadoras de metano, son muy especializadas, solo emplean determinados substratos, la producción estequiometria de metano a partir de un determinado compuesto orgánico, puede ser determinada por la siguiente expresión (Metcalf& Eddy Inc.1996).



Tipo de digestores anaeróbicos

Los dos tipos de digestores más empleados son los de alta y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga, como se aprecia figura 11, no suelen calentar ni mezclar el contenido del digestor, y los tiempos de retención varían entre 30 y 60 días.

En los procesos de digestión de alta carga (Figura 12-13) el contenido del digestor se calienta y mezcla completamente. El lodo se mezcla mediante recirculación de gas, mezcladores mecánicos, bombeo o mezcladores con tubos de aspiración, y se calienta para optimizar la velocidad de digestión. El tiempo de retención generalmente es menor a 15 días.

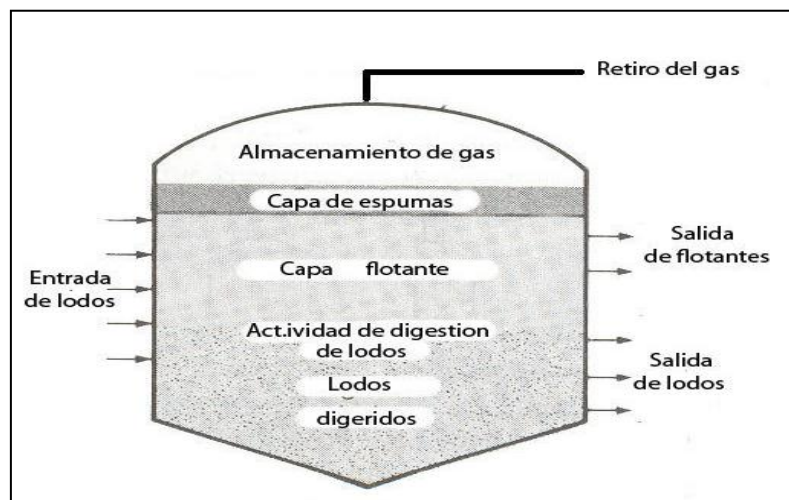


Figura 11. Digestor de baja carga

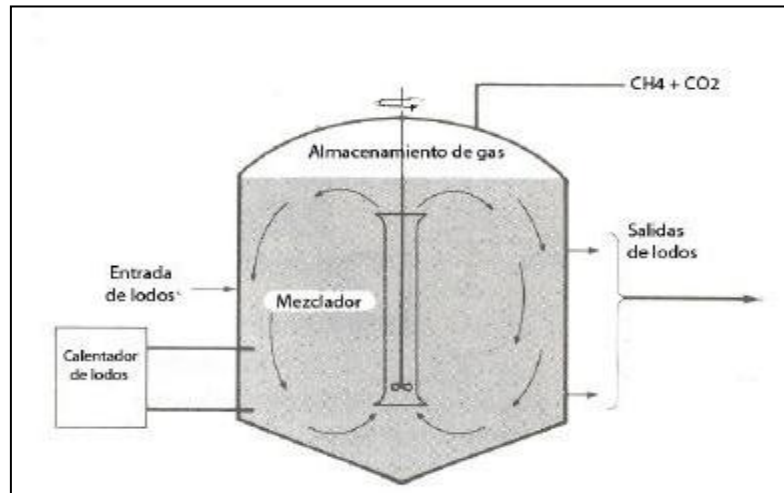


Figura 12. Digestor de alta carga

Fuente: Metcalf & Eddy, INC (1995). Primera Edición. Ingeniería Aguas residuales

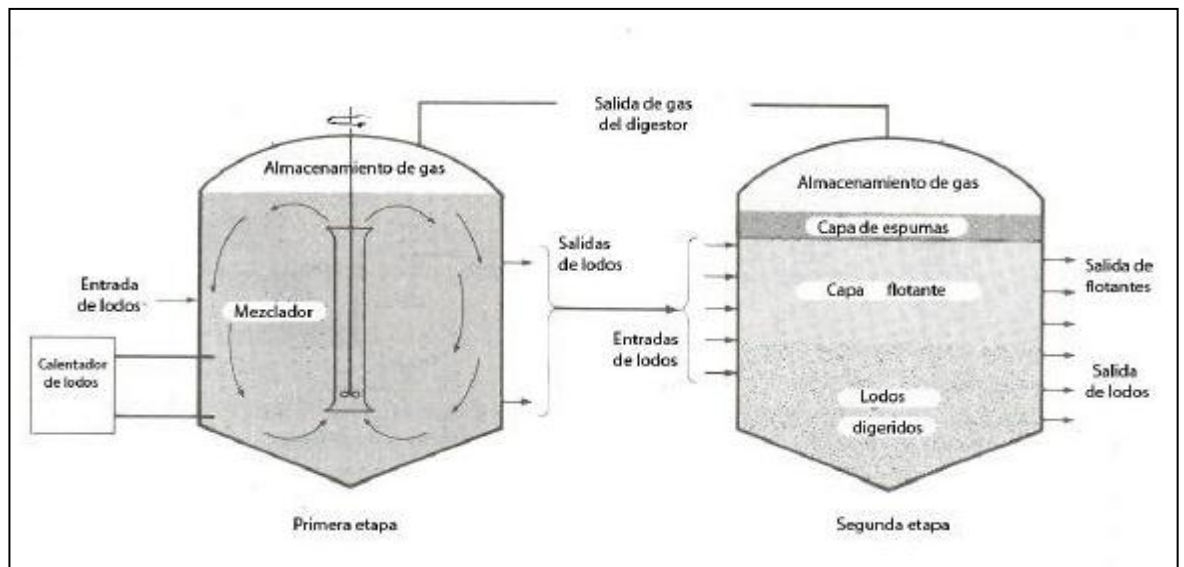


Figura 13. Proceso doble etapa

Fuente: Metcalf & Eddy, INC (1995). Primera Edición. Ingeniería Aguas residuales

La combinación de estos dos procesos se conoce como proceso de doble etapa, la cual se ilustra en la Figura 12.

El primer tanque se utiliza para la digestión, y se equipa con dispositivos para el mezclado. El segundo tanque se utiliza para el almacenamiento y concentración del lodo digerido, y para la formación de un sobrenadante relativamente clarificado.

Los requisitos de calor de los tanques digestores pueden ser calculados determinando el calor requerido para elevar el crudo a la temperatura de digestión y aumentando a esto las pérdidas a través de las superficies externas. Asumiendo que el calor específico del lodo sea parecido al agua.

El cálculo de los requisitos de calor para el lodo resulta de la ley de Fourier de conducción de calor para estado de equilibrio continuo. Los requisitos de calor para el lodo crudo se calculan:

$$q_{\text{fangos}} = Q \times C_p \times (T_2 - T_1) \quad [49]$$

Dónde:

q_{fangos} = cantidad de calor requerida, kg cal/h

Q = masa de lodos crudos, kgm/h

C_p = calor específico del lodo (igual que del agua)

$T_2 - T_1$ = diferencia de temperatura entre el lodo digerido y crudo, ° c

Las pérdidas de calor en diferentes partes del digestor se

calculan utilizando coeficientes generales de transferencia de calor y reformando la ecuación para dar de pérdidas a través materiales compuestos como sigue:

$$q = k \times A \times (T_2 - T_1) \quad [50]$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{k_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_0}} \quad [51]$$

Donde:

k = coeficiente general de transferencia de calor,
cal/h/m²/° c

A = área de material normal a la dirección de la
pérdida calor, m²

k_i = conductancia superficial en la interfase pared
aire fuera tanque, kg cal/h/m²/° c

x_1, x_2 = espesores de los diferentes materiales,
centímetros

k_1, k_2 = conductividad termal de los diferentes
materiales, kg cal/h/m²/° c/cm

Para hallar el volumen del digestor se considera que la tasa de reducción de humedad es esencialmente constante y que por consiguiente el progreso de descomposición es parabólico y entonces la diferencia promedio entre el volumen fresco y lodo digerido es alrededor de 2/3 de la diferencia al final de la digestión.

Asumiendo operación constante se formuló:

$$V = V_f - \frac{2}{3} \times (V_f - V_d) t \quad [52]$$

Dónde:

V = volumen del digestor m^3

V_f = volumen del lodo fresco añadido, $m^3 d^{-1}$

V_d = volumen de lodo digerido, $m^3 d^{-1}$

t = tiempo de digestión, d

Microbiología del proceso

La conversión biológica de la materia orgánica de los lodos se produce en tres tipos de proceso, como se muestra en la grafico 10, 11, 12. El primer paso del proceso comprende el rompimiento de las moléculas “grandes” de materia orgánica en sus monómeros (hidrólisis). El segundo paso, llamado acido génesis se refiere a la conversión bacteriana de los monómeros generados (carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos) en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular. El tercer paso, llamado metano génesis, implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono.

Gas producido

La composición volumétrica del gas generado en la digestión anaerobia del lodo de aguas residuales contiene 65 % -70 % metano (CH_4), 25 % - 30 % dióxido de carbono (CO_2), y muy pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y algunos otros gases (Hilbert, Vijay 1992).

Un metro cúbico de metano, tiene un poder calorífico de ~ 35, 800 kJ. Como se mencionó anteriormente el gas suele tener un 65 % de metano. Comparado con el gas natural, el cual tiene un poder calorífico de 37, 300 kJ/m³, su poder calorífico es considerable. El gas de digestión se puede emplear como combustible para calderas y motores de combustión internos que, a su vez, se pueden utilizar para el bombeo de agua residual, generación de electricidad y funcionamiento de soplantes (Hilbert, Vijay 1992).

Acondicionamiento del biogás

Debido al contenido de H_2S , un gas altamente corrosivo, vapor de agua y CO_2 ; el biogás debe ser

purificado antes de ser empleado como combustible (Hilbert Vijay 1992). Las etapas principales de acondicionamiento son:

Secado-drenaje. El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se le evacúa adecuadamente puede bloquearse los conductos con agua (Hilbert Vijay 1992).

Para evitar este inconveniente, se instalan las tuberías de distribución con una pendiente mínima del 1 % hacia el recipiente denominado trampa de agua, donde está se almacenera y se extrae de manera manual o automática.

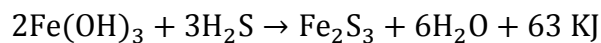
Eliminación del ácido sulfhídrico (H_2S). Para lograr ésta eliminación se puede emplear varios sistemas entre los que se puede mencionar:

- Filtros de hidróxido de hierro ($Fe(OH)_3$).
- Filtros de óxido de hierro (FeO_2).
- Adición de FeO_2 al sustrato
- Aprovechamiento de la condensación de agua
- Por adición de aire, etc.

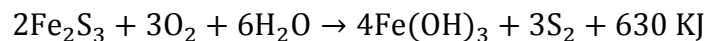
El método más empleado es el filtro de hidróxido de

hierro. El H₂S del gas se combina con hierro formado sulfuro de hierro (Fe₂S₃). Esta reacción es reversible y el hidróxido de hierro puede ser generado exponiendo el sulfuro de aire con cuidado debido a que la reacción es exotérmica (Muche et al, (1992)).

Reacción absorbida



Reacción de regeneración



Los filtros empleados son tierras minerales con contenido de hidróxido de hierro entre 15 % - 20 %.

Eliminación del dióxido de carbono (CO₂). El dióxido de carbono no tiene ningún poder calorífico; sin embargo disminuye el poder calorífico del biogás. El método más empleado es el lavado con agua (Vijay et al, 2006) debido a su solubilidad en dicho elemento (878 mL/L. a 20° C). El esquema del equipo de absorción de CO₂ se aprecia en la figura.

El biogás es comprimido e ingresa a la columna de absorción a una presión de 13, bar, en ella es rociado con agua a 20 °C. El agua sale de la columna con el CO₂

absorbido, este líquido es pasado a un desorbedor en el cual libera el CO_2 ; luego el agua es recirculado al equipo absorbedor. Una vez después del tratamiento el biogás tendrá las siguientes características (Valdez C. E. et al, (2003)):

- 98 % CH_4
- $\text{H}_2\text{S} < 2$ ppm
- $\text{H}_2\text{O} < 3$ ppm

CAPITULO V

5 INGENIERÍA DEL ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

5.1 Descripción del proceso productivo

Los tratamientos para el agua residual, pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza, como primarios, secundarios y terciarios. Los últimos tienen fines muy específicos, pero en su lugar es muy conveniente analizar algunos sistemas alternativos que pueden formar parte crucial en el diseño del proyecto final (Metcalf & Eddy Inc. 1996).

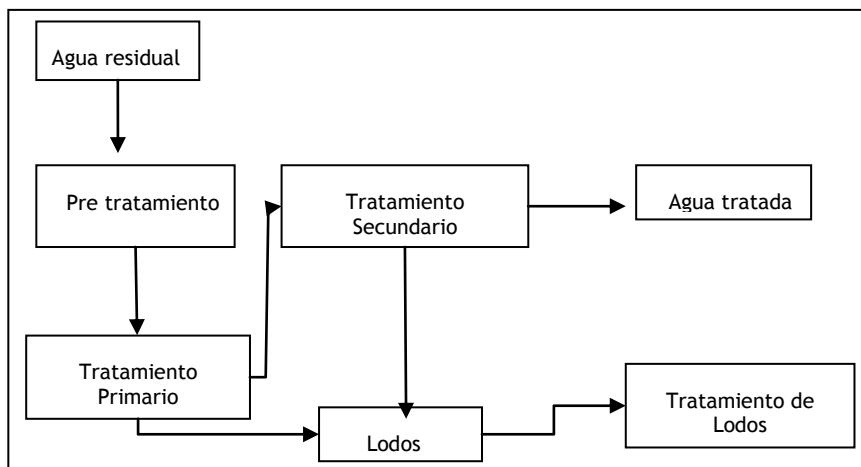


Figura 14. Diagrama de Flujo

Fuente: Elaboración Propia

5.1.1 Tratamiento preliminar

En esta etapa se elimina objetos de gran tamaño como arena, basura de aguas residual previamente antes del ingreso al tratamiento primario.

Desbaste de rejillas de gruesos y finos

Como primer proceso del pre-tratamiento nos encontramos con el desbaste donde se incluyen las operaciones que tienen como principal objetivo la separación de los residuos sólidos de gran tamaño tales como plásticos, ramas, pequeñas piedras, papeles, etc.

Con la inclusión de las rejillas de gruesos se consigue una sensible mejora en el funcionamiento de procesos posteriores evitándose atascos y la acumulación de sólidos contaminantes en otros elementos y, por tanto, la disminución de la eficacia de depurativa.



Figura 15. Imagen de Rejas

Desarenado

Seguidamente después de la rejilla, se instala un canal desarenador, el desarenado tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan quedado retenidas en el desbaste, y que tienen un tamaño superior a 200 micras, sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, etc. Con este proceso se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas.



Figura 16. Desarenador

Diseño del Canal Parshall

El medidor de caudal que se diseñará consiste en una canaleta parshall (ver figura) que está formada por tres partes principales la entrada principal, la garganta “W” o tramo angosto del canal y la salida o parte divergente presentando los cálculos necesarios para sus respectivas dimensiones.



Figura 17. Canal de Parshall

5.1.2 Tratamiento Primario

Una vez ha pasado el agua residual por el pre-tratamiento, donde se han eliminado los sólidos más gruesos, sólidos finos hasta las 200 micras, arenas y grasas, el siguiente proceso de depuración es el tratamiento primario.

El objetivo fundamental de este proceso es continuar eliminando sustancias insolubles (sólidos en suspensión) por métodos puramente físicos, es decir por acción de la fuerza de la gravedad.

El tratamiento primario consistirá en una decantación. De esta forma se consiguen unos rendimientos de eliminación de DBO_5 del 25 % - 35 % y de sólidos en suspensión del 50 % - 65 % (Metcalf et al, 1998).



Figura 18. Tratamiento Primario

5.1.3 Tratamiento Secundario

Los tratamientos biológicos tienen como principal objeto la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales (Galindo Rodas, 2004).

Otros usos, no menos importantes son:

Eliminación de N_2 por medio de la oxidación del nitrógeno amoniacal, nitrificación-desnitrificación (Galindo Rodas, 2004).

- Eliminación del fósforo.
- Eliminación de patógenos (balsas de maduración en lagunas).
- Eliminación de metales y tóxicos (uso de macrófitos, jacinto de agua o el carrizo).

La materia orgánica es eliminada del agua por acción de los seres vivos, que la emplean como fuente de alimento, produciendo nueva materia celular además de obtener la energía necesaria para su supervivencia (Galindo Rodas, 2004).

En función de la fuente de carbono utilizada se clasifican en autótrofos (carbono mineral) y heterótrofos (carbono como materia orgánica) (Galindo Rodas, 2004).

En los procesos biológicos intervienen todo tipo de organismos, según las condiciones de operación de la instalación y el influente, se producirá el predominio de un tipo frente a otro (Galindo Rodas, 2004).

Una vez, el sistema biológico, asimila la Materia Orgánica (MO) presente en el agua residual, podemos decir que el problema se reduce a un problema de separación de sólidos del agua (Galindo Rodas, 2004).

Sistema de Fangos activados

El agua decantada y el fango activado recirculado entran en el tanque de aireación y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud de canal (Galindo Rodas, 2004).

Durante el periodo de aireación, se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario (Galindo Rodas, 2004).



Figura 19. Tratamiento Secundario

Decantador Secundario

Una vez oxidada la materia orgánica, el licor mezcla se envía a un decantador (decantador secundario), para

permitir la separación agua – flóculo (Galindo Rodas, 2004).

De la calidad del flóculo generado se obtendrán mejores condiciones de sedimentación y un clarificado de mayor claridad en efluente final (Galindo Rodas, 2004).

Por último, es necesaria realizar una recirculación, a la cabecera del reactor biológico, del los sólidos decantados en los clarificadores secundarios, con el fin de mantener constante la población bacteriana (Galindo Rodas, 2004).

El excedente de bacterias generado en el proceso se extra del sistema hacia la línea de fangos, purga de fangos en exceso, para controlar la concentración de μ -organismos presentes en el reactor (Galindo Rodas, 2004).



Figura 20. Decantador secundario

5.1.4 Tratamiento de lodos

El volumen de fango generado en una planta depuradora, así como sus propiedades van a depender de las características del agua residual (A.R.) de procedencia y del tratamiento al que haya sido sometida. El origen y principales características de los fangos son (Galindo Rodas, 2004):

a) Fangos primarios

Los fangos primarios son los que se separan en la decantación primaria. Al no haber sufrido un tratamiento biológico, no se han descompuesto, por lo que son altamente inestables y putrescibles (Galindo Rodas, 2004).

Su color es normalmente gris, con altos contenidos de sólidos fecales y otros tipos de desechos (Galindo Rodas, 2004).

Liberan fácilmente su agua de constitución y se espesan bien. Su contenido en humedad varía entre el 95 % y 99 % (Galindo Rodas, 2004).

b) Fangos biológicos

Se denominan comúnmente fangos en exceso y proceden del proceso de fangos activados (Galindo Rodas, 2004).

La materia orgánica de estos fangos está parcialmente descompuesta, son de color marrón oscuro, con un olor a tierra húmeda no desagradable. El contenido en humedad está comprendido entre 98 % y 99,5 %. Son muy difíciles de concentrar (Galindo Rodas, 2004).

Estos fangos en su descomposición posterior se hacen sépticos y producen olores desagradables (Galindo Rodas, 2004).

Pueden espesarse directamente o enviarse a la decantación primaria, donde decantan conjuntamente con

los fangos primarios, dando lugar a los Fangos Mixtos (Galindo Rodas, 2004).

Composición de los fangos

Aunque la estructura de los fangos es heterogénea y depende de su naturaleza y origen, en su composición participan los siguientes elementos (Galindo Rodas, 2004):

Agua: Constituye la mayor parte de su composición variando, generalmente, entre un 50 % y un 99 %, según su estado (Galindo Rodas, 2004).

Materia orgánica: La proporción de materia orgánica en los fangos es muy elevada, disminuyendo de los fangos frescos (60 % -75 % sobre materia ceca) al fango digerido (54 % - 60 %). Si los fangos se someten a un acondicionamiento térmico, el descenso de materia orgánica es aún más sensible, quedando reducida a una proporción del 35 % - 45 % (Galindo Rodas, 2004).

Elementos nutrientes: Son sustancias cuya importancia reside en su repercusión en cuanto a la posible utilización agrícola de los lodos, por favorecer el crecimiento de las plantas. Se trata del contenido de nitrógeno total, fósforo

(expresado como P_2O_5) y potasio (expresado en K_2O) (Galindo Rodas, 2004).

Nitrógeno: Se presenta en forma orgánica y amoniacal, variando su proporción en función del tipo de fango y de su contenido en agua. Es el valor más importante para valorar los fangos residuales en relación a la fertilización. La proporción varía de 3 % a 4 %, en el caso de fangos frescos, reduciéndose en los digeridos (2 % a 3 %). Si son acondicionados térmicamente, la reducción llega a alcanzar una proporción del 1 % al 1,5 % (Galindo Rodas, 2004).

Fósforo: El contenido en ácido fosfórico de los fangos residuales es elevado, superior al de los abonos orgánicos y superior al del estiércol ovino y vacuno (Galindo Rodas, 2004).

En los últimos años se ha comprobado un incremento en la proporción de fósforo de los fangos, probablemente motivado por el uso de detergentes fosfatados (Galindo Rodas, 2004).

Elementos alcalinos: El fango residual es pobre en potasio y en sodio siendo sin embargo importante, su proporción en magnesio (Galindo Rodas, 2004).

Microcontaminantes orgánicos: Se trata de sustancias que pueden ofrecer una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y especialmente su utilización agrícola. Se encuentran entre ellas los productos químicos de síntesis de uso común y particularmente los detergentes y antibióticos que actúan sobre la flora de los lodos (Galindo Rodas, 2004).

Microcontaminantes minerales: Los fangos contienen diversos elementos minerales, algunos de los cuales, en pequeñas proporciones pueden tener una acción positiva, como oligoelementos para la nutrición de las plantas. Otros sin embargo, pueden dar lugar a fenómenos de toxicidad. Entre estos componentes se encuentran, fundamentalmente, los metales pesados (Zn, Pb, Cu, Cd, Hg, Fe) cuya proporción depende del componente industrial del efluente (Galindo Rodas, 2004).

Elementos biológicos: Las aguas residuales contienen una flora y una fauna variadas que se transmiten

parcialmente a los lodos, si bien los procesos de tratamiento modifican la composición biológica y el número de especies. Así, se encuentran bacterias, básicamente de origen fecal, pudiendo, algunas, ser patógenas (Galindo Rodas, 2004).

El lodo contiene también virus, de difícil eliminación en proporción variable, y parásitos, hongos y a veces algas, sobre todo en lodos de lagunaje, e incluso macrofauna como gusanos, larvas, arañas, etc (Galindo Rodas, 2004).

Etapas de Tratamiento en la Línea de Fango

Espesamiento

Los fangos producidos en el tratamiento del agua ocupan volúmenes importantes ya que en su composición más del 95 % es agua. Para reducir los costes de inversión es necesario minimizar en lo posible las instalaciones y equipos para el tratamiento de lodos (Paul Romero, 2006).

Para conseguir este objetivo es necesario separar en lo posible el agua del lodo y concentrar éstos lo máximo posible. Los fangos activados que normalmente se

bombean desde los tanques de decantación secundaria con un contenido de sólidos del 0.8 %, pueden espesarse hasta un contenido del 4 % de sólidos, consiguiéndose de esta manera una reducción del volumen del fango a una quinta parte del volumen inicial (Paul Romero, 2006).

Con ello se obtienen una serie de ventajas:

- Reducción del volumen de los tanques posteriores al espesamiento, así como su equipamiento.
- Reducción de la cantidad de calor requerida para el calentamiento de los fangos en procesos tales como digestión anaerobia, secado térmico e incineración.
- Reducción y mejora de los rendimientos de los equipos de deshidratación.

Los espesadores pueden ser de dos tipos fundamentalmente:

El espesamiento a gravedad es un proceso simple usado desde hace muchos años en lodos primarios. Se trata de un proceso de sedimentación similar al que ocurre en los tanques del subsistema primario. Los lodos fluyen hacia el interior de un tanque, de apariencia muy similar a los clarificadores circulares que se usan en la

sedimentación primaria y secundaria. Los sólidos se posan en el fondo donde una rastra para trabajo pesado los lleva hacia una tolva, de donde son retirados para procesarlos posteriormente (Paul Romero, 2006).

El tipo de lodos influye en el desempeño del espesamiento; los mejores resultados se obtienen con lodos primarios puros, pero al incrementarse la proporción de lodos secundarios decrece el espesamiento de los sólidos sedimentados. La concentración de sólidos de los lodos primarios puros, de 1 % – 3 %, aumenta a 10 % durante el espesamiento. La tendencia actual es usar el espesamiento a gravedad para lodos primarios, flotación para lodos activados y combinar los lodos espesados con ambos métodos para su procesamiento posterior (Paul Romero, 2006).

En el proceso de espesamiento por flotación se inyecta al lodo una gran cantidad de aire a presión (275 a 550 kPa). El lodo, con el aire disuelto, fluye hacia el interior de un tanque abierto en donde, a presión atmosférica, el aire sale de la solución en forma de pequeñas burbujas que se unen por sí mismas a las

partículas sólidas del lodo, dirigiéndose a la superficie donde flotan. En la superficie el lodo forma una capa que se remueve mediante un dispositivo de desnatado para procesarlo posteriormente. El espesamiento por flotación incrementa el contenido de sólidos de los lodos activados de 0.5 % - 1 % a 3 % - 6 %. En general, los lodos activados responden bien a la flotación y mal al espesamiento por gravedad (Paul Romero, 2006).

Digestión anaerobia

El tratamiento anaerobio de desechos complejos considera dos etapas. En la primera, los componentes de los desechos complejos, que incluyen grasas, proteínas y polisacáridos, son hidrolizados a sus subunidades componentes por un grupo heterogéneo de bacterias facultativas y anaerobias. Las bacterias sujetan los productos de la hidrólisis (triglicéridos, ácidos grasos, aminoácidos y azúcares) a fermentación y otros procesos metabólicos, llevando a la formación de compuestos orgánicos simples. Estos compuestos son principalmente de cadena corta (volátiles) ácidos y alcoholes. La primera etapa se denomina comúnmente fermentación ácida. En

esta etapa el material orgánico simplemente se convierte a ácidos orgánicos, alcoholes y nuevas células bacterianas, de manera que se experimenta poca estabilización de DBO o DQO. En la segunda etapa, varias especies de bacterias anaerobias estrictas convierten los productos finales de la primera etapa en gases (principalmente metano y bióxido de carbono). Aquí es donde ocurre la estabilización verdadera del material orgánico (Paul Romero, 2006).

A esta etapa se le llama fermentación de metano. En el gráfico N° 14 se ilustran las dos etapas del tratamiento anaerobio de desechos. Es importante destacar que, no obstante que el proceso anaerobio se presenta como de naturaleza secuencial, las dos etapas tienen lugar de manera simultánea y sinérgica. Los ácidos primarios producidos durante la fermentación ácida son propiónico y acético. La importancia de estos ácidos como precursores de la formación de metano (Paul Romero, 2006)

Filtro de banda

El filtro banda funciona exitosamente con muchos lodos mezclados normales. Los resultados típicos de

deshidratación, de lodos mezclados digeridos con un contenido inicial de cinco por ciento de sólidos, producen una torta de 40 % - 22 % de sólidos a una tasa de 90 - 600 kg/m h (Paul Romero, 2006).

En general, los resultados obtenidos con estas unidades son similares a los que se producen con filtro al vacío (Paul Romero, 2006).

Lechos de secado de lodos

El método de deshidratación más común ha sido el de lechos de secado. Estos lechos son especialmente empleados en las plantas pequeñas debido a la sencillez de su operación y mantenimiento. El procedimiento de operación común a todos los tipos de lechos de secado incluye los siguientes pasos El tipo de lecho de secado más común y antiguo es el de arena. Existen muchas variantes en el diseño, como la configuración de las tuberías, el espesor y tipo de los estratos de grava y arena, y materiales de construcción. Los lechos de secado de arena pueden construirse con o sin remoción mecánica del lodo, y con o sin techo (Paul Romero, 2006).

5.2 Capacidad de Producción

Para determinar la capacidad de producción, se realizará un balance de sólidos, utilizando un procedimiento de cálculo propuesto por (Metcalf & Eddy, 1995),(Aurelio Hernández Lehmann, 1997),(R. S. Ramalho, 1999).

5.2.1 Características Operacionales

Temperatura del agua residual

Verano: 24° C (Laboratorio INDECOPI-SNA 2012)

Invierno: 18° C (Laboratorio INDECOPI-SNA 2012)

Caudal promedio al ingreso a la planta

$$Q = 12\,661,08 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} = 0,147 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Características de calidad del Afluente

$$\text{DBO}_5 = 190,26 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\text{SS} = 433,20 \text{ mg L}^{-1}$$

5.2.2 Cantidad de productos: Tratamiento preliminar

Basura

El contenido de basura del agua residual es mínimo por lo cual se menosprecia en los cálculos (Daniel Sueros, 2007).

Arena

Asumiendo del volumen de la arena a extraer del proceso aproximadamente 50 mL/m³ (Metcalf & Eddy Inc., 1995). El valor típico utilizado se encuentra dentro del rango 40 – 80 mL/m³ según Valdez C. E. et al, (2003).

Calculando el caudal de arena

Trabajando con el caudal $Q = 12\,661,0845 \text{ m}^3/\text{d}$

$$Q_{\text{arena}} = 12\,661,0845 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 50 \frac{\text{mL}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ mL}} = 0,6330 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de arena} &= 1\,600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,6330 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \\ &= 1012,8868 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \end{aligned}$$

5.2.3 Cantidad de productos tratamiento primario

Los parámetros de partida del afluente del agua residual se obtienen de la tabla 8

$$\text{DBO}_5 = 190,26 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\text{SS} = 433,2 \text{ mg L}^{-1}$$

$$Q = 12661,08 \text{ m}^3/\text{d} = 0,147 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde la DBO_5 y SS se pasan a valores máxicos diarios

$$\text{DBO}_5 = 190,26 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 190,26 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 190,26 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{DBO}_5 = 0,19026 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{DBO}_5 = 0,19026 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times Q_{\text{afuente}} = 0,19026 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\text{DBO}_5 = 2\,408,897 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{SS} = 433,2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 433,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 433,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,4332 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{SS} = 0,4332 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times Q_{\text{afuente}} = 0,4332 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} =$$

$$\text{SS} = 5\,484,7818 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Para calcular la eficiencia de la remoción se utiliza la tabla

13

Tabla XIII. Parámetros Eficiencia decantadores primarios

Periodo de retención nominal (horas)	DBO 100 a 200 mg/L		DBO 200 a 300 mg/L	
	DBO	SS	DBO	SS
1.5	30	50	32	56
2	33	53	36	60
3	37	58	40	64
4	40	60	42	66

Fuente: Norma peruana O.S. 0.90

Se trabaja con un periodo de retención de 2 horas y por lo cual la eficiencia del decantador primario será:

$$\text{Rendimiento DBO}_5 = 33 \%$$

$$\text{Rendimiento SS} = 53 \%$$

Calculando la cantidad de DBO₅ y SS eliminados en la etapa primaria, se trabaja con los resultados de ecuaciones anteriores. Las ecuaciones siguientes son las características del lodo.

$$\text{DBO}_5 = 2\,408,8979 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times \text{Eficiencia} = 2\,408,8979 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 0,33 =$$

$$\text{DBO}_5 = 794,9363 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{SS} = 5\,484,7818 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times \text{Eficiencia} = 5\,484,7818 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 0,53 =$$

$$\text{SS} = 2\,906,9343 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

La cantidad de DBO₅ y SS que entran en la etapa secundaria

Los DBO₅ se hallan con la diferencia entre las ecuaciones efluente y el lodo.

$$\text{DBO}_5 = 2\,408,8979 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 794,9363 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 1\,613,9616 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Los SS se hallan con la diferencia entre las ecuaciones

$$\text{SS} = 5\,484,7818 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 2\,906,9343 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 2\,577,8474 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

El caudal del lodo se calcula con parámetros mostrados en la tabla 9. Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión por lo tanto semejante al agua cuya densidad 1 000 kg/m³

(Metcalf et al, (1995)).

Tabla XIV. Parámetros Eficiencia captura de sólidos

Operación	Captura de	
	Intervalo	Típico
Espesamiento por gravedad		
Primario Únicamente	4-10	6
Primario y activado en exceso	2-6	4
Espesado por flotación		
con productos químicos	3-6	4
sin productos químicos	3-6	4
Espesado por centrifugación		
con productos químicos	4-8	5
sin productos químicos	3-6	4
Filtración al vacío		
con productos químicos	15-30	20
Filtros de banda		
sin productos químicos	15-30	22
Deshidratación con centrifuga		
con productos químicos	10-35	22
sin productos químicos	10-30	18

Fuente: Enrique César Valdez Alba B. Vásquez Gonzáles (2003), Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales

La concentración de sólidos primarios está en un rango de 4 – 12 % en la cual el valor típico esta en 6 % a la salida del decantador primario.

Dónde:

Concentración de sólidos en lodo = 6 %

Densidad = 1 000 kg/m³

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = \frac{\text{caudal lodo} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)}{\text{concentración sólidos} \times \text{densidad}} =$$

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = \frac{2\,906,9343 \text{ kg/d}}{0,06 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3} = 48,4489$$

El caudal que ingresa en la etapa secundaria se obtiene restando el afluente menos el caudal del lodo

$$Q = 12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 48,4489 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

5.2.4 Cantidad de productos del tratamiento secundario

En la etapa secundaria el efluente del agua residual deberá cumplir con los siguientes parámetros para ser vertido al mar para ecosistema marino por el DS-002--2008-MINAM. Como se detalla a continuación:

$$\text{DBO}_5 = 15 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\text{SS} = 20 \text{ mg L}^{-1}$$

Calculando el S_0 que entra en el tanque después del porcentaje removido en la etapa primaria.

$$S_0 = 190,26 \times (1 - 0,67) = 89,4222 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Usando la ecuación (44) para calcular el S en el efluente

$$S = 15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,63 \times \left(20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 2,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Calculando el volumen del reactor se usa valores de las

constantes de la tabla 15

Tabla XV. Valores típicos de los coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

Coeficiente	Unidades	Valor	
		Intervalo	Típico
K	d ⁻¹	2-10	5
K _s	mg/L DBO ₅	25-100	60
	mg/L DQO ₅	15-70	40
Y	kg SSV/kg DBO ₅	0,4-0,8	0,6
k _d	d ⁻¹	0,025-0,075	0,06

Fuente: Metcalf & Eddy, INC. (1995). Primera Edición

$$V = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S)}{X(1 + k_d \theta_c)} \quad [53]$$

Donde

V = volumen del biorreactor, m³

$$Q = 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$\theta_c = 10$ d (Valor típico tabla 16)

$$X = 3\,500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ (Valor típico tabla N}^\circ \text{ 16)}$$

$$S_0 = 89,4222 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$S = 2,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$Y = 0,60 \frac{\text{mg}}{\text{mg}} \text{ (Tabla 15)}$$

$$k_d = 0,06 \text{ d}^{-1} \text{ (Tabla 15)}$$

$$V = \frac{12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 10 \text{ d} \times 0,6 \frac{\text{mg}}{\text{mg}} \times \left(89,4222 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 2,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{3\,500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (1 + 0,06 \text{ d}^{-1} \times 10 \text{ d})}$$

$$V = 1\,175,9778 \text{ m}^3$$

Calculando la comprobación de de la carga volúmica

$$C_v = \frac{S_0 \times Q}{V} \quad [54]$$

Donde

C_v = Carga volumétrica

$$S_0 = 89,4222 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$Q = 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$V = 1\,175,9778 \text{ m}^3$$

$$C_v = \frac{89,4222 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{1\,000 \text{ g}} \times 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{1\,175,9778 \text{ m}^3}$$

$$C_v = 0,9590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \text{ d}}$$

El valor de C_v está dentro de los parámetros según tabla 16 para proceso de mezcla completa.

Tabla XVI. Valores normales para diferentes diseños de lodos activados

Variantes del proceso	Edad del fango (d)	Tiempo de retención (h)	Carga másica kg DBO ₅ / MLSSV día	Carga Volúmica (kg DBO ₅ /(m ³ día)	MLSS (mg/l)
Convencional	4-12	4-8	0,2-0,4	0,32-0,64	1 500 – 3 500
Mezcla Completa	4-12	4-8	0,2-0,6	0,8-1,8	2 500 – 4 000

Variantes del proceso	Edad del fango (d)	Tiempo de retención (h)	Carga másica kg DBO ₅ / MLSSV día	Carga Volúmica (kg DBO ₅ / (m ³ día)	MLSS (mg/l)
Aireación Escalanoda	4-12	4-8	0,2-0,4	0,64-1	2 000 - 3 500
Alta Carga	4-8	2-4	0,4-1	1,3-3	4 000 - 10 000
Aireación prolongada	>20	16-24	0,05-0,15	0,16-0,35	3 000 – 6 000

Fuente: Aurelio Hernandez Lehmann "Manual Diseño de Estaciones depuradoras" España-1997

Calculando la cantidad de SSVLM a desechar

Esta cantidad se puede calcular usando las siguientes ecuaciones

$$P_{x(SSVLM)} = Y_{OBS}Q(S_0 - S) \quad [55]$$

O sea,

$$Y_{OBS} = \frac{Y}{1 + k_d\theta_c} \quad [56]$$

Donde

$$\theta_c = 10 \text{ d} \quad (\text{Valor típico tabla 16})$$

$$Y = 0,60 \frac{\text{mg}}{\text{mg}} \quad (\text{Valor típico tabla 15})$$

$$k_d = 0,06 \text{ d}^{-1} \quad (\text{Valor típico tabla 15})$$

$$Y_{OBS} = \frac{0,60 \frac{\text{mg}}{\text{mg}}}{1 + 0,06 \text{ d}^{-1} \times 10\text{d}} = 0,3750$$

Calculando la P_x con el resultado anterior de la siguiente ecuación

$$P_{x(SSVLM)} = 0,3750 \times 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (89,4222 - 2,4) \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\text{g}}$$

$$P_{x(SSVLM)} = 411,5922 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

La cantidad de SSLM a desechar se calcula por la relación $\frac{SSVLM}{SSLM} = 0,8$ (relación entre sólidos volátiles del líquido mezcla y los sólidos suspendidos del líquido mezcla según Servicio evaluación ambiental de Chile e-seia, 2011) y la ecuación resulta

$$P_{x(SSLM)} = \frac{P_{x(SSVLM)}}{0,8} = \frac{411,5922 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0,8} = 514,4903 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando la cantidad del lodo secundario espesado

La masa del lodo espesado se calcula por la diferencia de los SSLM menos los SS en el efluente (Hernandez, A.L, 1997).

$$\text{masa lodo espesado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = \text{SSLM} - \text{SS efluente}$$

$$\text{SS}_{\text{efluente}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = \text{SS efluente} \times \text{caudal entrada la planta}$$

$$\text{SS}_{\text{efluente}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = 20 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\text{g}} \times 12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 253,2216 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Resolviendo la ecuación

Donde

$$\text{SSLM} = 514,4903 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$SS_{\text{efluente}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = 253,2216 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{masa lodo espesado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = 514,4903 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 253,2216 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{masa lodo espesado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = 261,2686 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando el caudal del lodo espesado ecuación (47)

$$Q_w = \frac{VX}{\theta_c X_r} \quad [57]$$

Donde

$$V = 1\,175,9778 \text{ m}^3 \text{ (volumen reactor)}$$

$$\theta_c = 10 \text{ d} \quad \text{(Valor típico tabla 15)}$$

$$X = 3\,500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{1}{0,8} \right) = 4\,375,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$X_r = 10\,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad \text{(valor típico Ramalho, R. S)}$$

$$Q_w = \frac{1\,175,9778 \text{ m}^3 \times 4\,375,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{10 \text{ d} \times 10\,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Caudal de recirculación

Calculando el caudal de recirculación al biorreactor

$$Q_r = \frac{Q_w X_r - Q X}{X - X_r} \quad [58]$$

Donde

$$Q_w = 51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$X = 3\,500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \left(\frac{1}{0,8}\right) = 4\,375,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$X_r = 10\,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ (valor típico Ramalho, R. S)}$$

$$Q = 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_r = \frac{51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 10\,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 12\,612,6356 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 4\,375,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{4\,375,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 10\,000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$Q_r = 9\,756,0453 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

5.2.5 Cantidad de productos: Tratamiento de lodos

En la etapa del espesamiento se trataran los lodos primarios y secundarios

Tabla XVII. Parámetros Eficiencia captura de sólidos

Operación	Captura de sólidos	
	Intervalo	Típico
Espesamiento por gravedad		
Primario Únicamente	85-92	90
Primario y activado en exceso	80-90	85
Espesado por flotación		
con productos químicos	90-98	95
sin productos químicos	80-95	90
Espesado por centrifugación		
con productos químicos	90-98	95
sin productos químicos	80-90	85
Filtración al vacío		

Operación	Captura de sólidos	
	Intervalo	Típico
con productos químicos	90-98	95
Filtros de banda		
sin productos químicos	85-98	87
Deshidratación con centrifuga		
con productos químicos	85-98	90
sin productos químicos	55-90	80

Fuente: Enrique César Valdez Alba B. Vásquez Gonzáles (2003), Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales

Espesamiento por gravedad

Parámetros de partida

Eficiencia del espesador = 85 %

Concentración a la salida del espesado = 4 %

Calculando el caudal que ingresa al espesador

$$\text{caudal ingreso espesador} = Q_{\text{lodo primario}} + Q_{\text{lodo activado}}$$

Donde

$$Q_{\text{lodo primario}} = 48,4489 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_{\text{lodo activado}} = 51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\text{caudal ingreso espesador} = 48,4489 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\text{caudal ingreso espesador} = 99,8979 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Calculando el total de sólidos ingresan al espesador

total de sólidos ingresan = sólidos primarios + sólidos activados

Donde

$$\text{sólidos primarios} = 2\,906,9343 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{sólidos activados} = 261,2686 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{total de sólidos ingresan} = 2\,906,9343 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 261,2686 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{total de sólidos ingresan} = 3\,168,2029 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando la cantidad de lodos retenidos en el espesador

sólidos espesados = eficiencia x total sólidos ingresan

$$\text{sólidos espesados} = 0,85 \times 3\,168,2029 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 2\,692,9725 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando el caudal del lodo espesado

$$\text{lodo espesado} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = \frac{\text{caudal lodo} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)}{\text{concentración sólidos} \times \text{densidad}}$$

$$\text{lodo espesado} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = \frac{2\,692,9725 \text{ kg/d}}{0,04 \times 1\,000 \text{ kg/m}^3} = 67,3243 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Calculando el caudal de refluo a cabecera de planta se obtiene de la resta ecuación

$$\text{caudal refluo} = 99,8979 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 67,3243 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 32,5736 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Luego el caudal de sólidos presente en el refluo se haya

de la diferencia entre la ecuación (5.30)-(5.32)

$$\text{sólidos presente reflujos} = 3\,168,2029 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 2\,692,9725 \frac{\text{kg}}{\text{d}} =$$

$$\text{sólidos presente reflujos} = 475,2304 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Las características del reflujos serán las siguientes:

$$\text{SS} = 475,2304 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{DBO} = 475,2304 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \text{ ss} \times 0,6 \frac{\text{DBO}}{\text{SSV}} \times 0,8 \frac{\text{SSV}}{\text{SS}} = 228,1106 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Digestión de lodos por vía anaerobia

En la etapa del digestor anaeróbico la destrucción de sólidos volátiles según Hernandez se encuentra en un rango 40 % - 55 %, donde el valor típico es 45 %.

Parámetros de partida

Destrucción de sólidos volátiles = 45%

Porcentaje de sólidos volátiles en espesado = 85 %

Calculando los lodos que ingresan al digestor con la siguiente ecuación

$$\text{Caudal de lodos ingreso digestor} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = 67,3243 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Los sólidos totales presente de la ecuación (5.32)

$$\text{Sólidos Totales,} \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 2\,692,9725 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando la cantidad de sólidos volátiles que ingresan al digestor

$$SV, \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 0,8 \times 2\,692,9725 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 2\,154,3780 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Sólidos totales inorgánicos se hayan de la diferencia entre las ecuaciones ST y SV

$$\frac{\text{kg}}{\text{d}} = 2\,692,9725 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 2\,154,3780 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 538,5945 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Cantidad de SV destruidos y eliminados diariamente con ecuación

$$SV \text{ destruidos}, \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 0,45 \times 2\,154,3780 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 969,4701 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Cantidad de sólidos digeridos a salida del digestor diferencia entre

sólidos inorganicos – SV no destruidos

$$538,5945 + (1 - 0,45) \times 2\,154,3780 = 1\,723,5024 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando el biogás producido con el resultado ecuación SV destruidos

$$\text{volumen} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = 1,12 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 969,4701 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 1\,085,807 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\text{cantidad} \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 1\,085,807 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 0,86 \times 1,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 952,4695 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando el caudal másico del Digestor

Espesado por gravedad

$$\text{Caudal masico} = \frac{\text{SST ingresan al digestor}}{\text{Cconcentración en seco}} = \frac{2\,692,973 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0,04}$$

$$\text{Caudal masico} = 67\,324,3131 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Balance de masa salida del digestor

Alimentación = 67 324,3131 kg/d

Producción de gas = 952,4695 kg/d

Salida = 66 371,8437 kg/d

Se determina la distribución de caudales entre el sobrenadante y fango digerido, el lodo digerido contiene una concentración al 4 % de sólidos. Sea S = kg/d sólidos

$$\frac{S}{0,005} + \frac{1\,723,5024 - S}{0,04} = 66\,371,8437$$

$$0,04 S + 8,6175 - 0,005 S = 13,274$$

$$S = 133,053 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{caudal sobrenadante} = \frac{133,053 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0,005 \times 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{caudal sobrenadante} = 26,6106 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ regresa cabeza planta}$$

Calculando los sólidos digeridos que salen del digestor, se realiza la diferencia entre las ecuaciones.

$$1\,723,5024 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 133,053 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 1\,590,4494 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{caudal} = \frac{\text{caudal lodo} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)}{\text{concentración sólidos} \times \text{densidad}} = \frac{1\,590,4494 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0,04 \times 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{caudal} = 39,7612 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Características del caudal de recirculación

$$\text{DBO}_5 \left(6\,000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right), \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 6\,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} \times 26,6106 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$\text{DBO}_5 \left(6\,000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right), \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 159,664 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{SS}, \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 133,053 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Deshidratación de lodos

Datos de Partida

Torta del lodo = 22 %

Peso específico = 1,06

Captura de Sólidos = 87 %

$$\text{DBO}_5 = 300 \text{ mg L}^{-1}(\text{reflujo})$$

Caudal que ingresa al deshidratador de lodos 1 590,4494
kg/d

Caudal SS que sale del Filtro

$$\text{SS}, \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 0,87 \times 1\,590,4494 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 1\,383,691 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Caudal que sale del filtro con ecuación

$$\frac{\text{caudal lodo (kg/d)}}{\text{peso especifico x concentración sólidos x densidad}}$$

$$\frac{1\,383,691 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{1,06 \times 0,22 \times 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5,933 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Caudal que recircula a la cabeza de planta con la
diferencia

$$\text{caudal recirculación} = 39,7612 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 5,933 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 33,828 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Calculando los SS que recircula con el valor de la caudal
que ingresa al filtro de banda

$$\text{SS}, \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 0,13 \times 1\,590,4494 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 206,758 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculo del DBO_5 (300 mg/l) que recircula

$$\frac{\text{Kg}}{\text{d}} = 300 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 1\,000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 33,828 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 10,14 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Secado de lodos

Parámetro

Tiempo de secado = 90 días

Eficiencia del secado = 60 % (peso seco)

La cantidad de lodo seco

$$\text{Cantidad lodo seco, } \frac{\text{kg}}{\text{d}} = \frac{1\,383,6909 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0,6} = 2\,306,1516 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

5.3 Dimensionamiento de equipos

5.3.1 Calculo de la entrada del canal

Entrada canal

El tubo de llegada de la red de alcantarillado tiene un diámetro del mismo ancho del canal

$$\emptyset = 60.96 \text{ cm} \equiv 24 \text{ pulgadas}$$

Para el diseño del dimensionamiento del Pre tratamiento de acuerdo Hernandez Lehmann A. (1997) se trabaja con el caudal punta que obtiene de multiplicar el caudal promedio por 2,5 para obtener el caudal punta

$$Q = 12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 2,5 = 31\,713,0022 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 0,3664 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Calculando el área entrada el rango está 0,3 – 0,6 m/s por Crites y Tchobanoglous. El valor típico 0,6 m/s

$$Q = v \times A \rightarrow A = \frac{Q}{v} = \frac{0,3664 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \text{ m/s}} = 0,814 \text{ m}^2$$

Se asume el ancho del canal = 0,6096 m que equivale al diámetro del red alcantarillado

$$A = h \times b \rightarrow h = \frac{A}{b} = \frac{0,814 \text{ m}^2}{0,6096 \text{ m}} = 1,3355 \text{ m} \cong 1.5 \text{ metros}$$

5.3.2 Cámara de rejas

Desbaste: Reja de Barras

Parámetros de partida

Velocidad de reja limpia = 0,6 m/s (OS.090)

Velocidad de reja obstruida = 0,3 m/s (OS.090)

Separación entre Barras = e = 20 mm (OS.090)

Espesor entre barras = s = 15 mm (OS.090)

Angulo de inclinación = 45 grados (OS.090)

Para hallar el área libre se trabaja con la ecuación

$$Al = \frac{Q_{\text{diseño}}}{V_{\text{velocidad reja limpia}}} = \frac{0,3664 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \text{ m/s}} = 0,612 \text{ m}^2$$

Calculando la altura de la reja

$$Al = b \times h \rightarrow h = \frac{Al}{b_{\text{ancho canla}}} = \frac{0,612}{0,6096} = 1,0016 \text{ m}$$

Dando una altura de seguridad = $1,004 \times 1,5 = 1,505$ m
 $\cong 1,5$ metros

Calculando el largo que se colocaran las rejillas

$$L = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{1,505}{\tan 45} = 0,93 \text{ m}$$

Calculando el largo de reja a emplearse

$$H_{\text{barra}} = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{1,505}{0,851} = 1,77 \text{ m} \cong 2 \text{ metros}$$

Calculando la suma de separación entre barrotes

$$b_g = \frac{e \times ((b - e) + 1)}{s + e} = \frac{20 \times (609,6 - 20) + 1}{15 + 20} = 337,91 \text{ mm}$$

Calculando área de espacios

$$A_e = H \times b_g = 1,769 \times 0,34 = 0,5978 \text{ m}^2$$

Calculando la velocidad que fluye entre las barras con la ecuación

$$v = \frac{Q}{A_e} = \frac{0,367}{0,598} = 0,61 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculando el número de barras se calcula dividiendo entre espesor entre barrotes

$$n^{\circ} = \frac{b_g}{e} - 1 = \frac{337,91}{20} - 1 = 15,9 \cong 16 \text{ barras}$$

La ecuación que se utiliza es propuesta del Libro Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, Crites y Tchobanoglous, Utilizando la

ecuación (5.69)

$$h_1 = \frac{1}{0,7} \times \left(\frac{v^2 - v^2}{2g} \right) = \frac{1}{0,7} \times \left(\frac{0,614^2 - 0,3^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$h_1 = 0,0209\text{m} \cong 2,09 \text{ cm}$$

Las pérdidas de carga no deben pasar de 15 cm. Por lo tanto cuando genere una obstrucción del paso de influente a través de las rejillas deberán ser limpiadas; debido a que, puede generar una reducción de la velocidad del flujo del agua. Se cumple $h_1 \leq 15 \text{ cm}$.

5.3.3 Calculo del Desarenado

El desarenador deberá retener partículas mayores 0,20 mm según norma OS. 090 del cual según bibliografía del Metcalf & Eddy 1998 la velocidad de sedimentación para dicho tamaño de partícula es 0,02 m/s.

Datos de Partida

Velocidad de sedimentación = 0,02 m/s (Metcalf et al, 1998)

$$Q = 0,3664 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ (afluente de entrada)}$$

$$A = \frac{Q}{V_{\text{velocidad horizontal}}} = \frac{0,3664 \text{ m}^3/\text{d}}{0,02 \text{ m/s}} = 15,928 \text{ m}^2$$

El área obtenida se divide entre 2 porque se contara con dos desarenadores cada uno tendrá una área $(15,928/2) = 7,9641 \text{ m}^2$.

Calculando el ancho del desarenado

$$A = 1,5 \times \text{Ancho}^2 \rightarrow \text{Ancho} = \left(\frac{A}{1,5}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{7,9641 \text{ m}^2}{1,5}\right)^{\frac{1}{2}} = 2,3042 \text{ m}$$

Calculando la profundidad del desarenado por la siguiente relación de la tabla 18

Tabla XVIII. Parámetros funcionamiento del Desarenador

Parámetro	Desarenado de flujo horizontal	Desarenado aireado	Desarenado tipo vórtice
Profundidad (m)	2-5	2-5	2.5 - 5
Longitud (m)	-----	8-20	-----
Ancho (m)	-----	2,5-7	-----
Relación Largo: Ancho(m)	2,5 : 1 - 5:1	3:1 - 5:1	-----
Relación Ancho: Profundidad	1:1 - 5:1	1:1 - 5:1	-----
Diámetro (m)			
cámara superior	-----	-----	1 -7
Cámara inferior			1 -2

Fuente: Metcalf & Eddy, INC. (1995). Primera Edición. Ingeniería aguas residuales

$$\frac{\text{Ancho}}{\text{profundidad}} = \frac{1}{1}$$

$$\text{profundidad} = 2,3042 \text{ m} \cong 2,5 \text{ metros}$$

Para nuestros cálculos seguimos usando el dato de profundidad de 2,5 metros, ahora se calculara el largo del desarenado por la relación largo/ancho.

$$\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} = \frac{2,5}{1} \quad [59]$$

$$\text{largo} = 2,5 \times \text{ancho} = 2,5 \times 2,5 = 6,25 \text{ m}$$

Dando un 25 % de seguridad para evitar la turbulencia =

$$6,25 \times 1,25 = 7,8125 \cong 8 \text{ metros}$$

Calculando el tiempo de residencia con la ecuación

$$t_r = \frac{\text{profundidad}}{V_{\text{sedimentación de partícula}}} = \frac{2,3042 \text{ m}}{0,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 100,1835 \text{ segundos}$$

$$t_r \cong 1,67 \text{ minutos}$$

El volumen del desarenador se halla con la relación siguiente

$$V = \frac{Q}{2} \times t_r = 0,1835 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 100,1835 \text{ s} = 18,3512 \text{ m}^3$$

5.3.4 Diseño del canal de Parshall

W= garganta de Parshall

$$T = 2W \rightarrow W = \frac{T}{2} = \frac{0,6096 \text{ m}}{2} = 0,3048 \text{ m} \cong 30,48 \text{ cm}$$

Para poder trabajar con los datos de la tabla 30,5 cm se por medio de la tabla 19 se puede obtener las dimensiones canal de Parshall.

Tabla XIX. Datos de tabla de Parshall

W (cm)	22,9	30,5	45,7
A (cm)	88,0	137,2	144,9
B (cm)	86,4	134,4	142,0
C (cm)	38,0	61,0	76,2
D (cm)	57,5	84,5	102,6
E (cm)	61,0	91,5	91,5
F (cm)	30,5	61,0	61,0
G (cm)	45,7	91,5	91,5
K (cm)	7,6	7,6	7,6
N (cm)	11,4	22,9	22,9
R (cm)	40,6	50,8	50,8
M (cm)	30,5	38,1	38,1
P (cm)	108,0	149,2	167,6
X (cm)	5,1	5,1	5,1
Y (cm)	7,6	7,6	7,6

Fuente: Jairo A. Romero Rojas "Tratamiento aguas residuales". Tercera Edición 2004

Dónde:

W = Tamaño de la garganta

A = Longitud de la pared lateral de la sección convergente

B = Longitud axial de la sección convergente

C = Ancho del extremo de aguas debajo de la canaleta

D = Ancho del extremo de aguas arriba de la canaleta

E = Profundidad de la canaleta

F = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

K = Diferencia de nivel entre el punto más bajo de la canaleta y la cresta

N = Profundidad de la depresión en la garganta debajo de la cresta

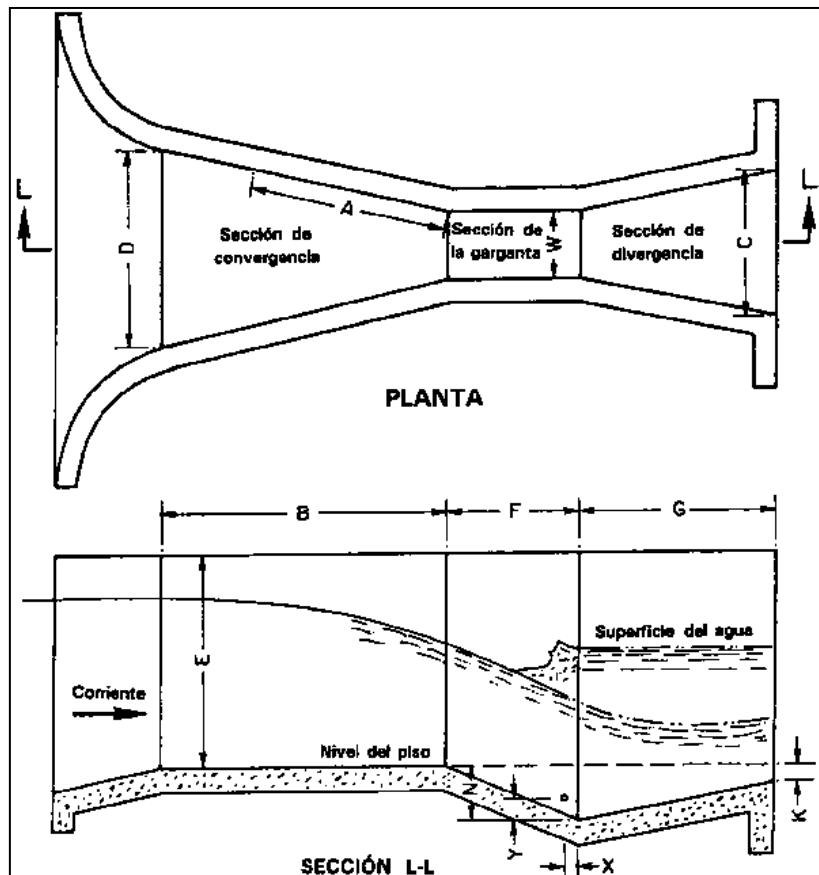


Figura 21. Dimensiones Canal Parshall

5.3.5 Calculando el área de la sección, diámetro y altura efectiva del decantador primario

Para el dimensionamiento del decantador primario se trabaja con el caudal punta y el caudal promedio que llega la planta

Dónde:

$$Q = 12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (caudal ingreso planta)}$$

$$Q_{\text{Punta}} = 12\,661,08 \times 2,5 = 31\,652,71 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Hallando el área mínima del decantador primario, para caudal promedio y caudal punta se usaran carga superficial tabla 20

Tabla XX. Características decantadores primario

Características	Intervalo	Típico
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario		
tiempo de retención, h	1,5-2,5	2
Carga de superficie, m ³ /m ² día		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
Carga sobre el vertedero, m ³ /m día	125-500	250

Fuente: Metcalf & Eddy, INC. (1995). Primera Edición. Ingeniería aguas residuales

Dónde:

$$\text{carga superficie}_{Q_{\text{promedio}}} = 40 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{d}}$$

$$\text{carga superficie}_{Q_{\text{punta}}} = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{d}}$$

$$A = \frac{Q}{\text{carga superficie}}$$

$$A = \frac{12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{40 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{d}}} = 316,5271 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{31\,652,71 \text{ m}^3/\text{d}}{100 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{d}}} = 316,5271 \text{ m}^2$$

Como se pudo observar tanto el caudal promedio y caudal punta se obtiene la misma área mínima.

El área se dividirá en 2 porque se contara con dos decantadores primarios $A/2 = 316,5271/2 = 158,2635 \text{ m}^2$.

Calculando el volumen del reactor en función de un tiempo de residencia 2 horas para obtener las eficiencias esperadas

$$V = \frac{Q}{2} \times t_r = \frac{12\,661,08 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{2} \times 2 \text{ h} \times \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} = 527,545 \text{ m}^3$$

Calculando la nueva área dividida entre la altura recomendada 3 metros

$$\text{Área} = \frac{\text{Volumen decantador}}{\text{altura tanque}} = \frac{527,545 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 175,8481 \text{ m}^2$$

Calculando el diámetro del decantador primario con la ecuación (5.85)

$$D = \left(\frac{4 \times A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4 \times 175,8481 \text{ m}^2}{3,14} \right)^{\frac{1}{2}} = 14,9671 \text{ m} \cong 15 \text{ metros}$$

5.3.6 Calculando la dimensiones del biorreactor

El diseño que se acerca mejor a un sistema de mezcla completa es de forma rectangular.

Parámetros de partida

Largo = 20 m

Ancho = 10 m

Volumen = 1 175,9778 m³

Se asume dos reactores en el cual se calcula la altura de uno de ellos

$$H = \frac{\frac{\text{volumen tanque}}{2}}{\text{largo x ancho}} = \frac{\frac{1\ 175,9778}{2} \text{ m}^3}{20 \text{ m} \times 10 \text{ m}} = 2,9399 \text{ m}$$

$$H \cong 3 \text{ metros}$$

Calculando los Aireadores Mecánicos

Se calculó la estimación de la demanda de oxígeno requerido por la ecuación (60) según Metcalf & Eddy, 1996.

$$\frac{\text{kgO}_2}{\text{d}} = \frac{Q(S_0 - S)}{1\ 000} - 1,42 P_x \quad [60]$$

Dónde:

$$S_0 = 89,4222 \frac{mg}{L}$$

$$Q = 12\,612,6356 \frac{m^3}{d}$$

$$P_x = 411,5922 \frac{kg}{d}$$

$$f = 0,68$$

$$S = 2,4 \frac{mg}{L}$$

$$\frac{kgO_2}{d} = \frac{12\,612,6356 \, m^3/d (89,4222 - 2,40)g/m^3 \times 1kg/1\,000g}{0,68}$$

$$\frac{kgO_2}{d} = 1\,029,6262 \frac{kg}{d} = 42,9010 \frac{kg}{h}$$

Determinación de la potencia de aireación

Parámetro de partida

Trabajando con la temperatura de verano del agua residual (por ser oxígeno menos soluble en agua caliente que en fría (Metcalf et al, (2003))

$$T = 24 \text{ °C}$$

$$N_c = N_{20} \times F \quad [61]$$

$$C_s = 14,652 - 0,41022 T + 0,007991 T^2 - 0,000077774 T^3 \quad [62]$$

$$C_s = 14,652 - 0,41022 \times 24 + 0,007991 \times 24^2 - 0,000077774 \times 24^3$$

$$C_s = 8,3343$$

E= 5 msnm en Ilo (Municipalidad Provincial de Ilo Plan de

Desarrollo concertado 2009-2021)

$$P = 760 e^{\left(\frac{-E}{8005}\right)} = 760 e^{\left(\frac{-5}{8005}\right)} = 759,5254$$

$$p = e^{(1,52673+0,07174 T-0,000246 T^2)} \quad [63]$$

$$p = e^{(1,52673+0,07174 \times 24,18-0,000246 \times 24,18^2)}$$

$$p = 6,2434$$

$$C_{sc} = C_s \times \frac{(P - p)}{(760 - p)} \quad [64]$$

Dónde:

N_{20} = requisitos de oxígeno en condiciones estándares $\text{kg O}_2 \text{ d}^{-1}$

N_c = requisitos de oxígeno en condiciones de campo, $\text{kg O}_2 \text{ d}^{-1}$

F = factor de corrección

α = factor de corrección que relaciona los coeficientes de transferencia de oxígeno del desecho y el agua.

Generalmente este valor se encuentra entre 0,8 – 0,9

Q_L = factor dependencia de temperatura cuya valor se toma 1,024 por aeración mecánica

C_{sc} = concentración de saturación de oxígeno en condiciones de campo (P y T)

β = factor de corrección que relaciona las concentraciones de saturación del desecho y agua. Normalmente se asume el valor 0,95 para aereación mecanica

CI = nivel de oxigeno en el tanque de aeración. Normalmente se

asume entre 1 y 2 mg L⁻¹

CS = concentración de saturación de oxígeno condiciones
nivel del mar y temperatura T

P = Presión atmosférica de campo (a la elevación del lugar),
mm Hg

p = presión de vapor del agua a la temperatura T, mm Hg

E = Elevación del sitio en metros sobre el nivel del mar

Parámetros de partida

$$P = 745,8915$$

$$C_s = 8,3343$$

$$p = 6,2434$$

$$C_{sc} = 8,31 \times \frac{(759,5254 - 6,2434)}{(760 - 6,2434)} = 8,329 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$F = \frac{\alpha \times Q_L^{T-20} (C_{sc} \times \beta - CI)}{9,02} \quad [65]$$

Donde

$$\alpha = 0,85 \quad (\text{Valor típico OS. 090})$$

$$Q = 1,024 \quad (\text{Valor típico OS. 090})$$

$$\beta = 0,95 \quad (\text{Valor típico OS. 090})$$

$$CI = 2 \quad (\text{Valor típico OS. 090})$$

$$F = \frac{0,85 \times 1,024^{(24-20)} \times (8,329 \times 0,95 - 2)}{9,02} = 0,613$$

$$N_c = N_{20} \times F = 2,00 \times 0,598 = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

Calculando la potencia total necesaria para satisfacer la demanda de oxígeno

$$\text{Potencia} = \frac{42,9011 \frac{\text{kg O}_2}{\text{h}}}{1,196 \frac{\text{kg}}{\text{kW h}}} = 35,014 \text{ kW}$$

Se desea trabajar con 8 aireadores

$$\text{Potencia de cada aireador} = \frac{35,883 \text{ kW}}{8} = 4,38 \text{ kW} \cong \frac{4,38}{0,7473}$$

$$\text{Potencia de cada aireador} = 5,857 \text{ hp}$$

5.3.7 Calculando la dimensiones del decantador secundario

Para hallar el área del decantador se trabajara con dos caudales el promedio y de punta

Parámetro de partida

$$Q = 12661,0845 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (caudal de ingreso a planta tabla 11)}$$

$$Q_{punts} = 12\ 661,0845 \times 2.5 = 31\ 652,71 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Tabla XXI. Características decantadores secundarios

Tipo de Tratamiento	Carga superficie $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$		carga $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ h}$		Profundidad (m)
	media	máxima	media	máxima	
sedimentación a continuación de lodos activados (excluida la aireación extendida)	16-32	40-48	3,0-6,0	9,0	3,5 - 5

Fuente: Norma Peruana O.S. 0.90, Planta tratamiento aguas residuales

Trabajando con la tabla 21 se halla diferentes áreas donde se trabaja con dos valores de carga de superficie una a caudal medio y máximo

$$\text{Área} = \frac{\frac{Q}{2}}{\text{carga superficie}} \quad [66]$$

Donde

$$Q \text{ promedio} = \text{carga superficie} = 32 \frac{m^3}{m^2 d}$$

$$Q \text{ punta} = \text{carga superficie} = 48 \frac{m^3}{m^2 d}$$

$$\text{caudal promedio} = \text{Área} = \frac{\frac{12\,661,0845}{2} \frac{m^3}{d}}{32 \frac{m^3}{m^2 d}} = 197,8294 \text{ m}^2$$

$$\text{caudal punta} = \text{Área} = \frac{\frac{31\,652,71}{2} \frac{m^3}{d}}{48 \frac{m^3}{m^2 d}} = 329,7157 \text{ m}^2$$

Trabajando con el área mayor, calculamos el volumen de decantador y con una altura recomendada 3,5 metros (tabla 21).

$$V = \text{área} \times \text{altura} = 329,7157 \text{ m}^2 \times 3,5 \text{ m} = 1\,154,00 \text{ m}^3$$

Calculando el diámetro

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \text{área}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 329,7157 \text{ m}^2}{3,14}} = 20,4943 \text{ m}$$

Calculando el tiempo de residencia

$$t_r = \frac{V}{Q_{punta}} = \frac{1\,154,00\, m^3}{\frac{31\,652,71\, m^3}{2} \frac{m^3}{d}} = 0,0729\, d = 1,75\, horas$$

5.3.8 Dimensionamiento espesado por gravedad

Se trabaja con dos espesadores, los SS entran a la etapa del espesamiento proviene de lodos primarios y secundarios. Calculando el caudal total de sólidos al espesado de las ecuaciones (5.6) y (5.24)

$$\text{total} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = 2\,906,9343 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 261,2686 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 3\,168,2029 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Calculando la superficie del espesado

Tabla XXII. Eficiencia de Espesadores de gravedad

Tipo de lodo	No espesados	Espesados	Carga de sólidos para espesado por gravedad kg/m ² h
Separados			
Lodos primarios	2 - 7	5 - 10	4 - 6
Lodos de filtros percoladores	1-4	3 - 6	1.5 - 2.0
Contactores biológicos rotatorios	1 - 3.5	2 - 5	1.5 - 2.0
Lodos activados	0.5 - 1.5	2 - 3	0.5 - 1.5
Lodos del proceso con oxígeno puro	0.8 - 3.0	2.5 - 9	1.04 - 2.08
Lodos terciarios			
CaO alto	3 - 4.5	12 - 15	5 - 12
CaO bajo	3 - 4.5	10 - 12	2 - 6
Fe	0.5 - 1.5	3 - 4	0.5 - 2.0
Combinados			
Lodos primarios y de lodos activados	0.5 - 4	4 - 7	1 - 3.5
Lodos primarios y de filtros percoladores	2 - 6	5 - 9	2 - 4
Lodos primarios y de contactores biológicos	2 - 6	5 - 8	2 - 3
Lodos primarios + Fe	2	4	1
Lodos primarios + CaO bajo	5	7	4

Tipo de lodo	No espesados	Espesados	Carga de sólidos para espesado por gravedad kg/m ² h
Lodos primarios + CaO alto	7.5	12	5
Lodos primarios y de lodos activados + Fe	1.5	3	1
Lodos primarios y de lodos activados + Al	0.2 - 4	4.5 - 6.5	2 - 3.5
(Lodos primarios + Fe) y de filtros percoladores	0.4 - 0.6	6.5 - 8.5	3 - 4
(Lodos primarios + Fe) y de lodos activados	1.8	3.6	1
Lodos activados y de filtros percoladores	0.5 - 2.5	2 - 4	0.5 1.5

Fuente: Enrique César Valdez Alba B. Vásquez Gonzáles (2003), Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales

La carga sólidos se hallara con ayuda de la tabla la carga superficial

$$\text{carga sólidos} = 3,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}} = 84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{d}} \text{ (Valor típico tabla 22)}$$

$$\text{Área} = \frac{\frac{\text{SS}}{\text{d}}}{\text{carga de sólidos}}$$

$$\text{Área} = \frac{3\,168,2029 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{d}}} = 37,7167\text{m}^2$$

Como se trabajara con dos espesadores, cada una tendrá un área $(37,7167/2) = 18,8583 \text{ m}^2$

Calculando el volumen con resultado ecuación (5.113) y una profundidad recomendada 3 m.

$$V = \text{área} \times \text{profundidad} = 18,8583 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 56,5750 \text{ m}^3$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \text{área}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 18,8583 \text{ m}^2}{3,14}} = 4,9013 \text{ m}$$

El operamiento óptimo fluctúa entre 2,5 y 3 m altura.

5.3.9 Dimensionamiento del digestor

Calculando el volumen del digestor con los parámetros de las tablas y ecuaciones de dimensionamiento.

Tabla XXIII. Parámetros Diseño para digestor doble Etapa

Parámetros de diseño	Digestor primario	Digestor secundario
Parámetros de retención (días)	10-15	5-8
Carga de Sólidos (kg. SSV/m ³ d)	1,6 - 4,8	

Fuente: Aurelio Hernandez Lehmann "Manual Diseño de Estaciones depuradoras" España-1997

$$Q_{\text{medio solidos}} = Q_{\text{entrada}} - \frac{2}{3} \times (Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{salida digerido}}) t$$

Donde

$$Q_{\text{entrada}} = 67,3243 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (Ecuación 5.34)}$$

$$Q_{\text{salida digerido}} = 39,7612 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (Ecuación 5.52)}$$

$$t = 15 \text{ días}$$

$$V_{\text{dig prim}} = 67,3242 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - \frac{2}{3} \times \left(67,3242 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 39,7612 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \times 15 \text{ d}$$

$$V_{\text{digstor primario}} = 734,2339 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{dig sec}} = 67,3242 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - \frac{2}{3} \times \left(67,3242 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 39,7612 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \times 8 \text{ d}$$

$$V_{\text{digetor secundario}} = 391,5910 \text{ m}^3$$

Mezclado del Digestor

Para determinar la energía necesario para el mezclado de lodos en el digestor se trabaja con el dato de partida

Tabla XXIV. Parámetros para digestores anaeróbicos

Parámetro	Definición	Valor típico
Potencia específica	Potencia de los equipos de mezcla dividida por el volumen del reactor (kw/m^3)	Sistemas mecánicos: 0,004175 - 0,00788
Caudal de gas unitario	Caudal de gas suministrado por los sistemas de inyección de gas dividido por el volumen del digestor ($\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$)	Sistemas de gas no confinados: 0,0045 - 0,005 $\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$. Sistemas de gas confinados 0,005 - 0,007 $\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$
Gradiente de velocidad	Raíz cuadrada de la relación entre la potencia específica y la viscosidad absoluta del lodo (ecuación de Camp y Stein), $\text{G} \cdot \text{s}^{-1}$	Todo sistema de mezclado 50 - 80 s^{-1}
Tiempo de renovación	Volumen del digestor dividido por el caudal de lodo	Sistema de mezcla de gas confinado y sistemas mecánicos 20 - 30 min

Fuente: Metcalf & Eddy, INC. (1995). Tercera Edición. Ingeniería de aguas residuales: Madrid España

Se emplea tabla 24 el parámetro de potencia específica con valor de $0,004175 \text{ kw}/\text{m}^3$ para el volumen del digestor primario = $734,2339 \text{ m}^3$.

Calculando la potencia del agitador

$$\text{Potencia agitador} = 0,004175 \frac{\text{kw}}{\text{m}^3} \times 734,2339 \text{ m}^3 = 3,0654 \text{ kw}$$

$$\text{Cada agitador tendrá una potencia} = \frac{3,0654}{0,7457} = 4,17 \cong 4 \text{ hp}$$

Se considera 2 agitadores uno para la operación y otro de reserva.

Requerimiento energético para el digestor Primario

Se toman las dimensiones unitarias

Diámetro de los cilindros = 10 m

Altura h_1 = 9,5 m

Altura inclinada inferior h_2 = 1.5 m

Altura inclinada superior h_3 = 1.5 m

Profundidad de enterramiento = 03 m

Calentamiento del Digestor

Adoptamos los siguientes Valores de Diseño:

Tabla XXV. Valores de Coeficiente α

Superficie en Contacto	Coeficiente alfa (Kcal/ h m ² ° C)
Pared - fango	300
Pared - suelo	20
Pared - suelo	50

Fuente: Aurelio Hernandez Lehmann "Manual Diseño de Estaciones depuradoras" España-1997

Tabla XXVI. Valores de Coeficiente λ

Materiales de construcción	Coeficiente lambda (Kcal/h m ² ° C)
Hormigón armado	1,4
Hormigón en masa	1,1

Materiales de construcción	Coeficiente landa (Kcal/h m ² °C)
Espuma de poliuretano	0,02
Aire	0,02
Fábrica de ladrillo	0,35
Mortero de cemento	0,60

Fuente: Aurelio Hernandez Lehmann "Manual Diseño de Estaciones depuradoras" España-1997

Temperatura

Temperatura del Digestor = 35°C

Temperatura del Fango fresco = 15 °C

Temperatura del aire ambiente = 26 °C – 18 °C

Coeficientes de transferencia de calor:

Coeficientes de Conductividad

Capa de espuma de Poliuretano = 0,02 k cal/ h m² °C

Coeficiente de Conductividad

Hormigón armado = 1,1 k cal/ h m² °C.

Coeficiente de Conductividad

del hormigón en masa = 1,1 k cal/ h m² °C.

Coeficiente de convección

Pared-fango = 300 k cal/ h m² °C

Coeficiente de convección

Pared-aire = 20 k cal/ h m² °C.

Coefficiente de convección

$$\text{Pared-suelo} = 50 \text{ kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ$$

Espesores de materiales empleados

$$\text{Espesor del hormigón en cúpula} = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Espesor del hormigón en pared vertical} = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Espesor del hormigón en solera} = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Espesor del hormigón en masa} = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Espesor de capa espuma poliuretano} = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$C_p = 4\,200 \text{ J/kg } ^\circ \text{C} = 1,0031 \text{ kcal/kg } ^\circ \text{C}$$

Calculando el calor necesario para el fango

$$Q_{\text{promedio de sólidos}} = Q_{\text{entrada}} - \frac{2}{3} \times (Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{salida}})$$

$$Q_{\text{medio sólidos}} = 2\,692,9725 - \frac{2}{3} \times (2\,692,9725 - 1\,590,4494)$$

$$Q_{\text{medio sólidos}} = 1\,958,6921 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Donde

$$Q_{\text{promedio sólidos}} = 1\,958,6921 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\Delta T = \text{Temp digestor} - \text{temp lodo ingreso} = 35^\circ \text{C} - 15^\circ \text{C}$$

Hallando el calor necesario del fango

$$q_{\text{fango}} = 1\,958,6921 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 1,0038 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ \text{C}} \times (35 - 15) ^\circ \text{C}$$

$$q_{\text{fango}} = 39\,297,2005 \frac{\text{kcal}}{\text{d}} = 1\,637,38 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Calculando la superficie de paredes, solera y cubierta

Superficie de la pared cilíndrica situada sobre el terreno

$$S_p = 2 \times \pi \times r \times h_{\text{sobre el terreno}} = 2 \times 3,14 \times 5 \times 6,5 = 204,10 \text{ m}^2$$

Superficie de la pared cilíndrica situada bajo el terreno

$$S_p = 2 \times \pi \times r \times h_{\text{sobre el terreno}} = 2 \times 3,14 \times 5 \times 3 = 94,20 \text{ m}^2$$

Superficie de cúpula

$$S_c = \pi \times r \times (r^2 + h_3^2)^{\frac{1}{2}} = 3 \times (5^2 + 1,5^2) = 85,565 \text{ m}^2$$

Superficie de la solera

$$S_s = \pi \times r \times (r^2 + h_2^2)^{\frac{1}{2}} = 3 \times 7,5 \times (5^2 + 1,5^2) = 81,96 \text{ m}^2$$

Calculando los coeficientes de conductividad

Coefficiente conductividad de la cúpula

$$k_c = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0,3}{1,4} + \frac{0,04}{0,02} + \frac{1}{20}} = 0,4409 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Coefficiente de conductividad de la pared cilíndrica sobre el terreno

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0,3}{1,4} + \frac{0,04}{0,02} + \frac{1}{20}} = 0,4341 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Coefficiente conductividad de la pared cilíndrica bajo terreno

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0,4}{1,4} + \frac{0,04}{0,02} + \frac{1}{50}} = 0,4398 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Coefficiente conductividad en la solera

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{300} + \frac{0,4}{1,4} + \frac{0,2}{1,1} + \frac{1}{50}} = 2,1970 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Calculando las pérdidas de calor

Se emplea la siguiente ecuación

$$q = S \times k \times \Delta T \quad [67]$$

Donde

q = perdida calor

S = seperficie

ΔT = variación temperatura disgestor lodo

Perdidas en la cúpula

$$q_c = S_c \times k_c \times (T_f - T_a) = 85,565 \times 0,44 \times (35 - 18) = 641,47 \frac{\text{k cal}}{\text{h}}$$

Donde

$$S_c = 85,565 \text{ m}^2$$

$$k_c = 0,4409 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$T_{f(\text{digestor})} = 35^\circ \text{ C (Hernandez A.L, 1997)}$$

$$T_{a(\text{lodo})} = 18^\circ \text{ C (Hernandez A.L, 1997)}$$

Perdidas en la pared cilíndrica sobre el terreno

$$q_p = S_p \times k_p \times (T_f - T_a) = 204,1 \times 0,4341 \times (35 - 18)$$

$$q_p = 1\,506,38 \frac{\text{k cal}}{\text{h}}$$

Donde

$$S_p = 204,10 \text{ m}^2$$

$$k_p = 0,4341 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$T_{f(\text{digestor})} = 35^\circ \text{ C} \quad (\text{Hernandez A. L, 1997})$$

$$T_{a(\text{lodo})} = 18^\circ \text{ C}$$

Perdidas en la pared cilíndrica bajo el terreno

$$q_p = S_p \times k_p \times (T_f - T_a) = 94,2 \times 0,4398 \times (35 - 18) = 704,428 \frac{\text{k cal}}{\text{h}}$$

Donde

$$S_p = 94,20 \text{ m}^2$$

$$k_p = 0,4398 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$T_{f(\text{digestor})} = 35^\circ \text{ C} \quad (\text{Hernandez A. L, 1997})$$

$$T_{a(\text{lodo})} = 18^\circ \text{ C} \quad (\text{Laboratorio INDECOPI – SNA 2012})$$

Perdidas en la solera

$$q_s = S_s \times k_s \times (T_f - T_a)$$

$$q_s = 81,956 \times 2,1970 \times (35 - 18) = 3\,061,09 \frac{\text{k cal}}{\text{h}}$$

Donde

$$S_p = 81,956 \text{ m}^2$$

$$k_p = 2,1970 \frac{\text{k cal}}{\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$T_{f(\text{digestor})} = 35^\circ \text{ C} \quad (\text{Hernandez A. L, 1997})$$

$$T_{a(\text{lodo})} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Laboratorio INDECOPI – SNA 2012)}$$

Calculando la pérdida total previstas con los resultados de las ecuaciones hallando las perdidas en las diferentes partes del cilindro

$$q_T = q_c + q_p + q_p + q_s$$

Capacidad necesaria para el intercambiador de calor

$$Q_{\text{calor}} = q_{\text{perdida total}} + q_{\text{fango}}$$

$$Q_{\text{calor}} = 5\,913,366 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} + 1\,637,383 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 7\,550,7497 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Adoptando un margen de reserva 25 % de la capacidad de la caldera

$$Q_{\text{caldera}} = 1,25 \times Q_{\text{calor}} = 1,25 \times 7\,550,7497 = 9\,438,44 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Los equipos de refinación para biogás

El principio de funcionamiento de este sistema incluye dos procesos tecnológicos de CO₂, H₂S y eliminación de la humedad. EL biogás de entrada está inicialmente comprimido a la presión de funcionamiento 8 -10 bar. Luego el biogás es dirigido a la columna de purificación con agua purificada y enfriada bajo presión. El agua es suministrada por el sistema de refrigeración de la parte

superior de la columna en la dirección opuesta al flujo de biogás. En ese camino CO_2 y H_2S se eliminan los aditivos en la columna de purificación gracias a su solubilidad en el agua si lo comparásemos con el metano. La columna se rellena con material especial para garantizar una buena capacidad de rendimiento y la conductividad del calor.

Tabla XXVII. Característica de los Equipos absorbedores CO_2 y H_2S ofertado por empresa española

Características	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Eficiencia m^3 / hora	50-100	100-250	250-500	500-1000
Consumo de electricidad Kw / hora	30	72	145	290
Consumo de agua por día	2.5	6	12	24
Equipo				
Columna de separación de gas	1	1	1	1
Columna de Purificación	1	1	1	1
Columna de regeneración del metano	1	1	1	1
Bio columna de filtración	1	1	1	1
Columnas bomba de recirculación	1	1	1	1
Compresor	1	2	2	2
Transporte de la bomba	1	1	1	1
Compresor de Biogas	1	1	1	1
Unidad de secado	1	1	1	1

Fuente: ABT-Grupo (2013)

5.3.10 Dimensionamiento del deshidratador de banda

Calculando la cantidad de sólidos secos a la semana

$$\text{Sólidos secos semana} = 1\,383,691 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 7 \frac{\text{d}}{\text{semana}}$$

$$\text{Sólidos secos semana} = 9\,685,84 \frac{\text{kg}}{\text{semana}}$$

Calculando el ancho de la banda

$$\text{Ancho de Banda} = \frac{\text{Tasa horaria}}{\text{Carga}} = \frac{242,1459 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{250 \frac{\text{kg}}{\text{m h}}} = 0,9685 \text{ m}$$

Donde la carga sobre los filtros de banda fluctúa entre

$$250 \frac{\text{kg}}{\text{m h}} - 350 \frac{\text{kg}}{\text{m h}}$$

5.3.11 Secado de Lodos

Con la finalidad de obtener el lodo deshidratado 60 % – 65 % (Daniel Sueros, 2007)

Criterios de diseño

Área requerida: 0,14 – 0,28 m² /hab (descubierto)

0,10 – 0,20 m² /hab (cubierto)

Considerando la población de 94 000 habitantes en la ciudad

$$0,28 \frac{\text{m}^2}{\text{hab}} \times 94\,000 \text{ hab} = 26\,320,00 \text{ m}^2 = 2,6 \text{ ha}$$

Potencia de Bombas

Potencia del motor para reflujo en los biorreactores

Características del líquido bombear que regresa a los biorreactores después de la decantación secundaria (Q_r).

Densidad (ρ) = $1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (Hernandez A. L, 1997)

Viscosidad (μ) = $0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$ (Hernandez A. L, 1997)

Para la determinación de la potencia de la bomba necesaria para recircular el lodo activado se empleará la ecuación de Bernoulli:

$$\Delta \frac{1}{2} v^2 + g\Delta h + \int_{P_1}^{P_2} \frac{1}{\rho} dP + \widehat{W} + \sum_i \left(\frac{1}{2} v^2 \frac{L}{D} 4f \right) + \sum_i \left(\frac{1}{2} v^2 e_v \right)_i$$

Pérdida por tubería

Pérdida accesorios

Para la solución de esta ecuación se empieza a calcular el diámetro interno de la tubería

El diámetro mínimo interior aproximado de la tubería se halló por la ecuación Darcy Weisbach, donde la ecuación 5.152 queda de la siguiente manera:

$$D = 29,1346 \sqrt{Q}$$

Donde

$$Q = 9\,756,0453 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Trabaja con dos sistemas el caudal

se divide el caudal en dos lo que resulta $(9\,756,0453/$

$$2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}) = 4\,878,0226 \text{ m}^3/\text{d} = 0,05645 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde se trabajara con una velocidad en el sistema de 1,5 m/s.

Se considera un factor de seguridad del 15 % donde al multiplicar al caudal será $(0,05645 \times 1,15) = 0,06492 \text{ m}^3/\text{s}$

Reemplazando en la ecuación se obtiene

$$D = 29,1346 \sqrt{0,06492} = 0,218969 \text{ m} \cong 218,9142 \text{ mm}$$

Ahora se procede a calcular el número de Reynolds

$$Re = \frac{4 \times Q \times \rho}{\mu \times \pi \times D}$$

Reemplazando datos:

$$Re = \frac{4 \times 0,06492 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \times 3,14 \times 0,234819 \text{ m}} = 3,28 \times 10^5$$

El valor indica que es un fluido turbulento. Los valores de rugosidad absoluta para diferentes materiales

Tabla XXVIII. Valores de Coeficiente rugosidad absoluta

Material	Rugosidad absoluta (mm)
PVC	0.0015
PE	0.0015
Cobre y latón	0.0015
Asbesto Cemento (A-C)	0.025
Acero rolado nuevo	0.05
Fierro Fundido nuevo	0.25
Fierro Galvanizado	0.15
Concreto Presforzado Freyssinet	0.025

Fuente: Claudio Mataix (1986), Mecanica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. Segunda Edición

Del cuadro se halla la rugosidad absoluta $e = 0,0015 \text{ mm}$

Ahora calculando la rugosidad relativa $e/D = 0,0000069$

Con la ayuda de la figura que se encuentra en el Anexo K.

El factor de fricción de Fanning que resulta $0,014218$

Reemplazando los valores obtenidos tenemos:

$$\sum_i \left(\frac{1}{2} v^2 \frac{L}{D} 4f \right)_i$$

$$\frac{2 v^2}{D} \sum_i L_i = \frac{2 \left(1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 0,0140344}{0,234819 \text{ m}} \times (4,5 + 20,5 + 6 + 3) \text{ m}$$

$$\frac{2 v^2}{D} \sum_i L_i = 9,9348 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Calculando la pérdida de presión por accesorios

Tabla XXIX. Factores de pérdida por fricción (valores aproximados para flujo turbulento)

Obstáculos	e_v
Cambios bruscos del área de la sección transversal	
Entrada normal de tubería	0,05
Contracción brusca	0,45 (1- β)
Ensanchamiento brusco	(1-1/ β) ²
Accesorios y válvulas	
Codo de 90° (curvados)	0,4-0,9
Codo de 90° (en ángulo)	1,3-1,9
Codos de 45°	0,3-0,4

Fuente: Bird, R.B. Stewart, W.E. Y Lightfoot, (1993). Fenomenos de Transporte

Será

$$\sum_i \left(\frac{1}{2} v^2 e_v \right)_i = \frac{1}{2} \left(1,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 (0,45 + 3(0,4) + 1) = 2,9812 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Calculando la potencia de la bomba

Aplicando la ecuación de Bernouilli aplicando los resultados de las ecuaciones (5.157) (5.158)

$$\Delta \frac{1}{2} v^2 + g\Delta h + \int_{P_1}^{P_2} \frac{1}{\rho} dP + \hat{W} + \sum_i \left(\frac{1}{2} v^2 \frac{L}{D} 4f \right) + \sum_i \left(\frac{1}{2} v^2 e_v \right)_i$$

$$0 + \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (8 - 5) + 0 + \hat{W} + 9,9348 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 2,9812 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 0$$

$$\hat{W} = -42,3460 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Este el trabajo (unidad de masa) producido por el fluido en la bomba. Por lo tanto la bomba comunica al fluido que

circula un trabajo $+42,3460 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ ó $42,3460/9,81 = 4,3166$

m kg_f/kg_m

Por lo tanto la velocidad de flujo de masa es:

$$S_c = \pi \times r \times (r_2^2 + h_3^2) = 3 \times (5^2 + 1,5^2) = 85,565 \text{ m}^2$$

$$w = Q\rho = 0,05645 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 56,4585 \frac{\text{kg}_m}{\text{s}}$$

Por tanto

$$-W = -w \widehat{W} = 56,4585 \frac{\text{kg}_m}{\text{s}} \times 4,3166 \text{ m} \frac{\text{kg}_f}{\text{kg}_m}$$

$$W = 243,7103 \frac{\text{kg}_f \text{ m}}{\text{s}} = \frac{243,7103}{76,05} = 3,2046 \text{ hp}$$

5.3.12 Calculo de Bombas para desecho de lodos

Calculo Potencia del decantador al pozo

Se calcula la Potencia de la bomba para enviar el lodo (Q_w) al pozo antes de ser enviado al espesado por gravedad.

Datos de instalación

Tubería vertical = 23,5 metros (Anexo B)

Tubería horizontal = 2,5 metros (Anexo B)

Codos de 90° de radio medio = 3 (Anexo B)

Características del líquido bombear

Caudal, $Q = 51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$ (Valor Anexo A)

$$\text{Densidad } (\rho) = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (Hernandez A. L, 1997)}$$

$$\text{Viscosidad } (\mu) = 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \text{ (Hernandez A. L, 1997)}$$

Datos de instalación

Tubería vertical = 23,5 metros (Anexo B)

Tubería horizontal = 2,5 metros (Anexo B)

Codos de 90° de radio medio = 3 (Anexo B)

Características de la bomba

$$\text{Caudal } , (Q) = 51,4490 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$\emptyset = 1,5$ " (catalogo anexo F)

$$\text{Re} = 1,95 \times 10^4$$

$$\frac{e}{D} = 0,00196$$

$$f = 0,0301$$

$$\text{Potencia} = 0,1222 \text{ hp}$$

Calculo de la potencia de la bomba para enviar del pozo al espesador

Características del líquido bombear

$$\text{Caudal, } Q = 99,8979 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{ (Hernandez A. L, 1997)}$$

$$\text{Densidad } (\rho) = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (Hernandez A. L, 1997)}$$

$$\text{Viscosidad } (\mu) = 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \text{ (Hernandez A. L, 1997)}$$

Datos de instalación

Tubería vertical = 23,5 metros (Anexo B distribución de planta)

Tubería horizontal = 2,5 metros (Anexo B)

Codos de 90° de radio medio = 3 (Anexo B)

Características de la bomba

$\emptyset = 1,5$ " (catalogo anexo F)

$Re = 1,89 \times 10^4$

$\frac{e}{D} = 0,00199$

$f = 0,0303$

Potencia = 0,09 hP

5.3.13 Tratamiento terciario etapa de Desinfección

La etapa de desinfección se lleva a cabo por medio de la

Cloración donde los parámetros partida son:

Tiempo contacto = 30 minutos (Contreras Barros K. E, 2009)

relación = $\frac{A}{L} = \frac{2}{1}$ (Contreras Barros K. E, 2009)

Altura = 2 metros (Contreras Barros K. E, 2009)

$Q_{\text{efluente}} = 2\,805,1413 \text{ m}^3/\text{d}$ (Anexo A diagrama flujo)

Calculamos el caudal punta que se obtiene de multiplicar el caudal efluente 2,5

$$Q_{\text{punta}} = Q_{\text{efluente}} \times 2,5 = 2\,805,1413 \times 2,5 = 7\,012,8532 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_{\text{nec}} = Q_{\text{punta}} \times \text{tiempo contacto}$$

$$V_{\text{nec}} = 7\,012,8532 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 30 \text{ min} \times (0,0208) \frac{\text{d}}{\text{min}}$$

$$V_{\text{nec}} = 4\,376 \text{ m}^3$$

La superficie necesaria es

$$S = \frac{V_{\text{nec}}}{H}$$

$$S = \frac{4\,376 \text{ m}^3}{2} = 2\,188 \text{ m}^2$$

Calculando el ancho y largo del cámara de cloración por la siguiente ecuación

$$A = \sqrt{S_{\text{nec}}}$$

$$A = \sqrt{2188 \text{ m}^2} = 46.7760 \text{ m}$$

$$\frac{A}{L} = \frac{2}{1} \rightarrow A = 2 \times 46.7760 \text{ m} = 93,5521 \text{ m}$$

5.4 Requerimiento Operacional

5.4.1 Capacidad de producción

La producción de la planta se detalla en cuadro siguiente:

Tabla XXX. Producción de la Planta

Producto	Día	Mes	Año
Agua Tratada,m ³	4 900,08	147 002,32	1 764 027,79
Lodo Seco (60 %), kg	2 224,70	66 741,07	800 892,83
Biogas,m ³	1 544,37	46 331,13	555 973,50

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Requerimiento de Equipos

La planta de tratamiento para el óptimo desarrollo del proceso deberá contar con el siguiente equipamiento.

Tabla XXXI. Descripción y Costos de Equipo

Descripción	Cantidad	Moneda americana \$/.	Moneda nacional S/.
Tratamiento preliminar	1	161 354,39	451 792,30
Sedimentación Primaria	2	558 198,76	1 562 956,54
Tratamiento secundario lodos activados	2	2,568 581,05	7 192 026,93
Espesamiento por gravedad	2	321 522,49	900 262,96
Digestor anaeróbico	2	1 629 375,31	4 562 250,87
Filtro de banda	2	95 155,22	266 434,62
Lechos de secado	1	167 977,29	470 336,41
Cloración para la desinfección	1	52 100,00	145 880,00
Generador de Electricidad	1	218 300,00	611 240,00
Edificio de mantenimiento y laboratorio	1	388 821,23	1 088 699,43
Total		6 287 460,73	17 251 880,06

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3 Requerimiento de suministros

Requerimiento de energía

Uno de los valores determinantes para el consumo de energía en la operación del proceso es el caudal del afluente que pueda variar a lo largo del día. Dichas consideraciones son resumidas en el cuadro siguiente:

Tabla XXXII. Consumo de Energía

Descripción	Kw teórico	Consumo al día kW h	Consumo x Factor de Corrección	Consumo real al día	Consumo al año kW h
Aireación	224,85	5396,47	0,65	3507,70	1 280 312,01
Sedimentación	20,84	500,26	0,35	175,09	63 907,77
Bombeo	32,35	776,46	0,55	427,05	155 874,57
Control, monitoreo e iluminación	9,50	228,07	0,25	57,02	20 811,36
Tratamiento de lodos	88,48	2123,53	0,5	1061,76	387 544,19
Tratamiento de biogás	586,23	14 069,58	0,25	3517,39	1 283 848,86
Total	962,27	23 094,36	2,55	8746,02	3 192 298,77

Fuente: Elaboración Propia

Requerimiento de personal

El personal y la remuneración que se detalla se trabajó con la escala salarial dentro de la Resolución de directorio N° 011-2019 EPS ILO.

Tabla XXXIII. Personal de Planta

Personal	Unidad	Cantidad	Precio mensual S/.	Total mensual S/.	Costo anual S/.
Jefe de Planta	Personal	1,00	1663,00	1663,00	19 956,00
Supervisor de Planta	Personal	1,00	1579,00	1579,00	18 948,00

Personal	Unidad	Cantidad	Precio mensual S/.	Total mensual S/.	Costo anual S/.
Técnico electromecánico	Personal	1,00	1579,00	1579,00	18 948,00
Operadores de Planta	Personal	3,00	1145,00	3435,00	41 220,00
Laboratorista	Personal	1,00	1579,00	1579,00	18 948,00
Guardián de planta	Personal	2,00	1145,00	2290,00	27 480,00
Total				12 125,00	145 500,00

Fuente: Elaboración Propia

Requerimiento de terreno

Según fuente de Asociación Nacional de Empresas de Servicio de agua Potable y Alcantarillado de Bolivia (ANESAPA-2010), se requiere de 0,25 m²/hab para un sistema de lodos activados. El cual para nuestra planta depuradora con una proyección de población de 95 000.00 habitantes se deberá contar con área mínima 23 750 m².

CAPITULO VI

6 ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

6.1 Estructura de la inversión

6.1.1 Costo de Inversión

El costo de Inversión para la instalación y compra de equipos se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla XXXIV. Costo de Proyecto

Componentes	Porcentajes %	Monto total S/.
Costo Directo Equipos		17 251 880,06
Instalación y montaje	39	6 728 233,22
Instrumentación y control	15	1 009 234,98
Instalación de tuberías	30	302 770,50
Instalación de electricidad	10	30 277,05
Obras civiles	25	7 569,26
urbanización y paisajismo	10	765,93
Instalación de servicios	15	113,54
Costo Indirecto		8 078 955,48
Costo total (D+I)		25 330 835,54
Gastos Generales	15	3 799 625,33
utilidades	10	2 533 083 ,55
Costo total		31 663 544,42
I.G.V.	19	6 016 073,44
Total del Proyecto		37 679 617,86

Fuente: Elaboración Propia

El presente análisis de los porcentajes del proyecto se

tomó como referencia de la instalación de una planta depuradora por lodos activados en la comuna Lo Barnechea – Chile en el año 1998.

6.1.2 Costo de operación

En la tabla 35 se detalla el consumo de energía de la planta en cada etapa de tratamiento y el costo de energía que demandara el costo del sistema de tratamiento. La descripción del cuadro de demanda energía se toma como referencia Asociación Nacional de Empresas de Servicio de agua Potable y Alcantarillado de Bolivia (ANESAPA-2010) para un sistema de lodos activados.

Tabla XXXV. Consumo de Energía

Descripción	Consumo al año kW h	Costo unitario kW h	Costo total S/.
Aireación	1 280 312,01	0,31	396 896,72
Sedimentación	63 907,77	0,31	19 811,41
Bombeo	155 874,57	0,31	48 321,12
Control, monitoreo e iluminación	20 811,36	0,31	6 451,52
Tratamiento de lodos	387 544,19	0,31	120 138,70
Tratamiento de biogás	1 283 848,86	0,31	397 993,15
Total	3 192 298,77	0,31	989 612,62

Fuente: Elaboración Propia

Costo de Mantenimiento, Personal y otros

En la tabla N° 36 se detalla el costo de operación y mantenimiento de la Asociación Nacional de Empresas de Servicio de agua Potable y Alcantarillado de Bolivia (ANESAPA-2010).

Tabla XXXVI. Costo de Operación & Mantenimiento

Descripción	Mensual S/.	Total año S/.
Personal	12 125,00	145 500,00
Cloro	4 742,39	56 908,67
Análisis	2 845,43	34 145,20
Accesorios	14 227,17	170 726,02
Mantenimiento	18 969,56	227 634,69
Total		634 914,59

Fuente: Elaboración Propia

Costo total de operación y mantenimiento

En la Tabla 37 se detalla el costo anual de gasto de energía, pago de personal y mantenimiento de la planta.

Tabla XXXVII. Costo Total

Descripción	Monto anual S/.
Energía	989 612,62
Personal	145 500,00
Mantenimiento	489 414,59
Total	1 624 527,21

Fuente: Elaboración Propia

6.1.3 Ingresos de la planta

Ingresos por biogás

El biogás producido por digestión anaerobia obtiene una eficiencia de un 30 % para la generación eléctrica según el Instituto para la diversificación de ahorro de la Energía “Biomasa de digestores Anaerobios” (IDEA 2007-España)

Tabla XXXVIII. Producción Energética Biogás

Valor energético de biogás producido	Anual	Factor de conversión kW h/m ³	Eficiencia %	Producción anual kw h	Producción real kW h	P.U. S/. /(kw h)	COSTO TOTAL S/.
Biogás producido anualmente (CH ₄)	390 890,35	9,944	30	3 887 013,62	1 166 104,09	0,31	361 492,27

Fuente: Elaboración Propia

Ingresos por lodos digeridos

Tabla XXXIX. Ingresos por Venta de Lodos

Descripción	Kg al año	Nº sacos X 50 kg	P. U. S/.	Costo total S/.
Lodo Seco (60 %)	830 214,57	16,604	20,00	332 085,83

Fuente: Elaboración Propia

El precio unitario por la venta de lodos en España 0,26 euros la presentación de 50 kg que convertido a moneda nacional llega ser S/ 20,00 soles, como se observa en la tabla N° 38.

Cuadro de resumen de ingresos de la planta

La planta después del sistema de tratamiento genera residuos los cuales son aprovechados para generar ingresos a planta como el biogás y el lodo seco que puede ser comercializado como abono orgánico

Tabla XL. Ingresos

Descripción	Total Año	Ingresos Total Año S/.
Biogás Producido m ³	390 890,35	361 492,27
Lodo seco (60%) kg	830 214,57	332 085,83
Total		693 578,09

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro anterior se puede observar el ingreso de la planta de tratamiento llega a un monto de S/. 693 578,09 nuevos soles, se hace una diferencia con los costos de operación y mantenimiento que resulta S/. 930 949,12 nuevos soles. Es el gasto anual para mantener la planta en funcionamiento

CAPÍTULO VII

7 EVALUACIÓN

7.1 Evaluación Social

En este caso, los costos y beneficios no se aplican al análisis en la etapa saneamiento del proyecto se establecen desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. En un estudio de pre inversión, a nivel de pre-factibilidad, la evaluación social se efectúa con la metodología costo/efectividad. Con este objetivo se logró determinar el índice del costo/efectividad del proyecto (costo por población beneficiario), que tuvo que encontrarse por debajo de la línea de corte.

7.1.1 Evaluación social del componente saneamiento

La evaluación por método costo/efectividad, se analiza costo por poblador beneficiario se debe encontrar en el análisis por debajo de la “línea de corte”.

Tabla XLI. Análisis Costo Social

Año	Total inversión S/.	Factor de corrección	Total de costo social S/.	Población beneficiada total
0	25 330 835,54	0,785	19 884 705,90	
1				70 153,08
2				71 275,53
3				72 415,94
4				73 574,60
5				74 751,79
6				75 947,82
7				77 162,98
8				78 397,59
9				79 651,95
10				80 926,38
11				82 221,21
12				83 536,75
13				84 873,33
14				86 231,31
15				87 611,01
16				89 012,78
17				90 436,99
18				91 883,98
19				93 354,12
				94 847,79
Fuente: Elaboración Propia				
		VAC =	S/. 19 884 705,90	
		POB BENE =	82 500,44	
		ICE =	S/. 241,025	

El análisis del indicador ICE (Índice de Costo/efectividad)
241,025 S/. / Hab. Que está por debajo por la línea de

corte 311,74 S/. / Hab. El ICE se trabaja en base al costo de inversión y no incluye los costos de O & M.

7.1.2 Identificación de impactos ambientales.

Con base en la elaboración de un estudio de impacto ambiental para acciones del proyecto de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad, se considera haber más efectos benéficos que adversos muy significativos, el proyecto es viable, pues cumple con las condiciones necesarias para su realización.

Para la identificación de los impactos probables a generarse durante la etapa de construcción y operación del Proyecto, se ha elaborado la Matriz que se presenta en el cuadro siguiente:

SIMBOLOGÍA :			Construcción										Operación				
			ACCIONES DEL PROYECTO														
			Limpieza y nivelación en el área de trabajo	Manejo de concreto y material suelto (derrame)	Excavaciones y remoción de suelos	Instalaciones e infraestructura temporales	Disposición temporal de materiales excedentes	Utilización de herramientas	Ocupación de mano de obra	Explotación y manejo de material de construcción	Construcción de obras de interés comunal	Generación de ruidos	Elimina. Y depósito de material excedentes	Generación de desechos sólidos y líquidos	Generación de ruidos	Ocupación de mano de obra	
		d.	Elimina. Residuos y material exced.														
		e.	Barreras														
		f.	Corredores														
D. RELACIONES ECOLÓGICAS		a.	Salinización de recursos de agua														
		b.	Eutrofización														
		c.	Vectores de enfer. - insectos														
		d.	Cadena alimenticia														
		e.	Salinización de mat. Superficial														
		f.	Invasión de maleza														

Fuente: Matriz de Leopold Modificado

Descripción de los principales impactos ambientales.

Las actividades que se ejecutaran durante el horizonte de vida útil del proyecto pueden producir efectos positivos o negativos en el medio ambiente. Se menciona en las líneas siguientes los impactos positivos y negativos

del proyecto en el medio ambiente, son considerados como impactos todos aquellos efectos que tenga el proyecto sobre los recursos naturales de la zona.

Impactos Positivos

- El principal impacto que generara el proyecto es la mejora de la calidad de vida de la población de la ciudad de ILO, debido a que la construcción del PTAR permitirá incrementar la cobertura de atención de servicios básicos como es el servicio de alcantarillado y por consiguiente reducir las necesidades básicas insatisfechas de la población.
- El según impacto positivo del proyecto será la de reducir significativamente la contaminación ambiental del medio marino costero ya que en la actualidad se viene arrojando las aguas residuales sin tratamiento alguno al medio marino.
- Como efecto de la reducción de la contaminación ambiental en el medio marino costero se producirá una disminución de la contaminación de los productos hidrobiológicos y una reducción de las enfermedades gastrointestinales de la población que consume estos

productos.

- Asimismo, las actividades inducirán a la ocupación de numerosas personas en forma indirecta, que desarrollaran actividades conexas; como comercio, transporte, alimentos etc.
- Se producirá un incremento de la actividad económica local debido a la demanda de bienes y servicios que generara las actividades de construcción del proyecto. El incremento de estos ingresos permitirá mejorar las condiciones de vida de la población, que se traducirán en una mejor nutrición, salud y educación.

Impactos Negativos

A. En la etapa de Ejecución se producirán los siguientes impactos:

- La instalación de los campamentos, patio de máquinas, producirá la generación de residuos molestos y emisión de polvo afectando el medio suelo y aire en forma temporal.
- La construcción de obras civiles como edificaciones e instalaciones electromecánicas que demandara el Sistema de Tratamiento Preliminar

- Avanzado demandará el uso de maquinaria, y mano de obra intensiva, los que generaran impactos en el medio físico suelo y aire.
 - La construcción de las obras civiles referidas al emisario submarino generaran un impacto directo al medio marino afectando el ecosistema de la zona donde se instalara el emisario.
 - En la etapa de abandono de obras se generan materiales de desecho producto del campamento, patio de máquinas y almacenes construidos.
- B. En la etapa de operación del proyecto se generarán los siguientes impactos.
- El sistema de tratamiento preliminar de las aguas servidas producirá la generación de residuos deberán ser tratados sin que produzcan daños al medio ambiente.
 - La disposición final de las aguas servidas por medio del vertimiento al mar producirá un contaminación directa al medio marino por consiguiente se deberá llevar un control riguroso del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Medidas de mitigación ambiental.

A continuación se detalla la tabla de mitigación de cada etapa del proceso constructivo y el de la operación.

Tabla XLIII. Medidas de Mitigación

ETAPA	ACTIVIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTA
Construcción	Instalación de campamentos	Contaminación del aire por emisión de polvos y generación de ruidos molestos	Humedecimiento de la zona de trabajo y control de maquinaria para disminución de ruidos.
	Movimiento de Tierras	Contaminación del aire por emisión y contaminación suelo por generación de escombros.	Humedecimiento de la zona de trabajo, eliminación de escombros en botaderos municipales autorizados.
	Construcción de obras civiles edificaciones e instalaciones electromecánicas	Contaminación del suelo por generación de residuos del proceso constructivo y riesgo de accidente personal de obra.	Eliminación de escombros en botaderos municipales autorizados equipamiento del personal de obra en implementos de seguridad.
	Construcción de Emisario Submarino	Contaminación del medio marino en zona del litoral	Control de construcción para minimizar el impacto medio marino
	Abandono de Obra	Contaminación del suelo y aire por desmontaje de campamento y otros	Humedecimiento de la zona de trabajo y eliminación de residuos en botaderos municipales.
Operación	Tratamiento preliminar - Tamizado de aguas servidas	Contaminación del suelo por generación de residuos lodos y grasas.	Tratamiento previo de residuos descontaminación y eliminación de rellenos sanitarios.
	Eliminación de Aguas Residuales	Contaminación del medio marino por vertimiento del efluente de la PTAR.	Control del cumplimiento de los ECAs referidos a conservación del ambiente acuático.

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- La tecnología de lodos activados del tipo del reactor de mezcla completa es viable para la ciudad de Ilo al encontrarse ICE (Índice costo efectividad) por debajo de la línea de corte.
- El costo total del proyecto asciende S/. 37 679 617,86 para un sistema de lodos activados los cuales se encuentra considerado la instalación de la planta.
- El dimensionamiento para el sistema de tratamiento en cada etapa del proceso contara con dos equipos, para darle una operatividad constante a la planta cuando uno de ellos se encuentre en mantenimiento.
- Según el dimensionado y diseño del sistema de tratamiento, se requiere de aproximadamente 23 750 m² de terreno para su implementación, estos terrenos están disponibles, ya que no existen viviendas ni construcciones aledañas cerca para su operatividad.
- Para el dimensionamiento de equipos y eficiencia, se trabajó con variables que fueron extraídos de tesis y textos bibliográficos, los

cuales son recomendaciones de mismos autores para obtener una operación óptima en el sistema.

- El costo de Operación y mantenimiento haciende S/. 1 624 527,21 soles anuales. De los cuales por ingresos propios de la planta por el tratamiento de lodos haciende a la suma de S/. 693 578,09 soles anuales. Donde se obtiene el costo real de operación y mantenimiento de la planta $S/ 1 624 527,21 - S/. 693 578,09 = S/. 693 578,09$ soles anuales. Los cual representa una reducción del 42,69 %.
- Según la bibliografía la remoción de nitrógeno y fósforo para sistema de lodos activados llega alcanzar un 50 % del afluente tratado.
- En la actualidad el pago por servicio de la red de alcantarillado haciende S/. 1,36 soles el incremento tendrían un monto de S/. 5,42 mensuales para los 20 años de operación de la planta, los cuales llegarían a cubrir el costo del proyecto, la operación y mantenimiento de las aguas residuales. El análisis anterior se llegó al dividir la población beneficiada entre 4(promedio de habitantes por vivienda según Banco central reserva Perú- 2010), llegándose obtener un total 23 711,95 viviendas, que dividida entre el total del proyecto y la operación nos da incremento en las tarifas.

- Como comentario final cabe destacar la utilidad que puede llegar a tener esta tesis como una base práctica para la continuación del proyecto y por consiguiente la implementación del mismo, lo cual brindaría una gran satisfacción a quienes lo realizamos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- CASTOREÑA TORRES Y COLS. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales mediante el Sistema de Lodos Activados. Departamento de Sistemas Biologicos.UAM. México, 52-70 p
- FOUST A.S. Y COLS. (1983). Principios de operaciones unitarias. C.E.C.S.A. México, 80-90 p.
- WINKER, M. (1986). Ingeniera sanitaria de aguas residuales. 1a ed. Editorial Limusa S.A. de C.V., México. 338 p.
- FOUST A.S. Y COLS. (1983). Principios de operaciones unitarias. C.E.C.S.A. México.
- HILBERT, JORGE. (1992). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural. I.N.T.A. Bogotá Colombia
- KEMMER, FRANK AND MCCALLION, JOHN. (1997). Manual del agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. NALCO Chemical Company. McGraw-Hill. México.
- LAMA, ABRAHAM.(2001) PERU: Aguas servidas envenenan el pacifico. Revista Terramerica. Perú.
- LINDE-KCA-DRESDEN GMBH. (2003). La aplicación técnica de procesos biológicos especiales para la depuración eficiente económica de aguas residuales. Manchen-Alemania, 75-80 p.

- HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. (2004), Galán Martínez, P., “Manual depuración Uralita”. 44-90 p
- METCALF & EDDY. (Mc. Graw-Hill, 1998), “Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y restauración”. Tomo I, 750 p. Tomo II 704 p.
- INEI, Instituto Nacional de Estadística (2007).
- MARA, D. D. & S. CAIRNCROSS. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretus en agricultura y acuicultura. Medidas de protección de la salud pública. Organización Mundial de la Salud. 1990. Ginebra. CH.
- GARRIDO, A., SEGOVIA, J., SÁNCHEZ, M., LÓPEZ, J.F., GADEA, A., EGEA, R. (2006). “Manual de especificaciones técnicas para proyectos de construcción, ampliación o reformas de estaciones depuradoras de aguas residuales “(Diego Marín, 1ªedición)
- HERNANDEZ LEHMANN A. (1997).”Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de aguas Resisduales”. España primera edición. 225 p.
- HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. (1998). “Depuración de aguas residuales. 4a ed. Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid”. España. 1005 p.

- ISLA DE JUANA, RICARDO. (2005) “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas” (Bellisco Ediciones, 1ª edición).
- RON CRITES et al; (2000). Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados. Editorial Mac Graw Hill Interamericana S.A. 62-86 p.
- ROJO BLANCO, E.; (2002). Aspectos Biológicos del Lagunaje. Consejería de Política territorial y Obras Públicas. España. 150 p
- SHUVAL, H.I.; (1991). “Estudio de los aspectos de la contaminación de los suelos relacionados con la salud pública. Bol. Oficina Sanitaria Panamericana. 70. Bogotá, Colombia”. 35-46 p
- JAIRO A. ROMERO ROJAS;(2004). “Tratamiento de aguas Residuales” Bogota Colombia. 30-320 p.
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado SEDA ILO; (2009). Boletín Informativo N° 01 de setiembre de 2009. Perú.
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado SEDA ILO; (1999). Boletín Informativo N° 04 de Junio de 1999. Perú.
- JULIO MOSCOSO Y TOMAS ALFARO. (2008)” Panaroma de Experiencias de Tratamiento Usos Aguas Residuales en Lima Metropolitano y Callao ”.Lima-Perú 45-60 p

- SUNASS. (2008).” Diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de las Aguas residuales en las EPS del Perú y propuesta de solución”
- WOLFGANG WAGNER, (2010). “Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia.” Paz-Bolivia

TESIS

- PAUL ROMERO V.J. (2006) “Ampliación de la tecnología de tratamiento mediante contactores Biológicos rotativos a los Efluentes de una industria alimentaria”. Proyecto de Carrera Ingeniería Química - Universidad de Cádiz.
- GALINDO RODAS L.F. (2004)” Tratamiento del Agua residual para una Planta de Envasado de bebidas por medio Lodos Activados”. Escuela de Ingeniería Química -Universidad San Carlos de Guatemala.
- PERAL ÁLVARO P., (2012)” Diseño de una estación depuradora de aguas residuales con aprovechamiento de energía solar en el Alto Iregua”. Universidad de Rioja – España.

- CONTRERAS KATHERINE, (2009), "Diseño de un sistema tratamiento secundario de la descarga de aguas grises y negras en el terminal GLP Oyambaro". Quito – Ecuador.
- SANCHEZ MENDEZ GENNY, (2005). "Análisis Tecnológico de un sistema para el manejo integrado de los lodos generados en los biorreactores de la planta tratamiento de las aguas residuales de río frío". Universidad industrial Santander – Bucaramanga.
- DANIEL SUEROS T.R, (2007). "Estudio de prefactibilidad para la instalación de una Planta tratamiento de aguas residuales por método de lodos activados en la ciudad de Tacna". Tacna-Perú.
- BANCO DE PROYECTOS SNIP, (2009). "Ampliación y mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna, provincia de Tacna – Tacna". Tacna - Perú

PÁGINAS DE INTERNET

- Informe Técnico de Estadísticas Ambientales N° 05 Mayo, 2009. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Consultado el 17 de Octubre del 2013. Disponible en: http://www.inei.gob.pe/web/Boletines_Vermas.asp?pagina=5&id=5.
- PTAR La Encalada. Agua para el Río Rímac. Agencia de Promoción para la Inversión Privada. Ministerio de Economía y

Finanzas. Consultado el 17 de Octubre del 2013. Disponible en:
www.proinversion.gob.pe

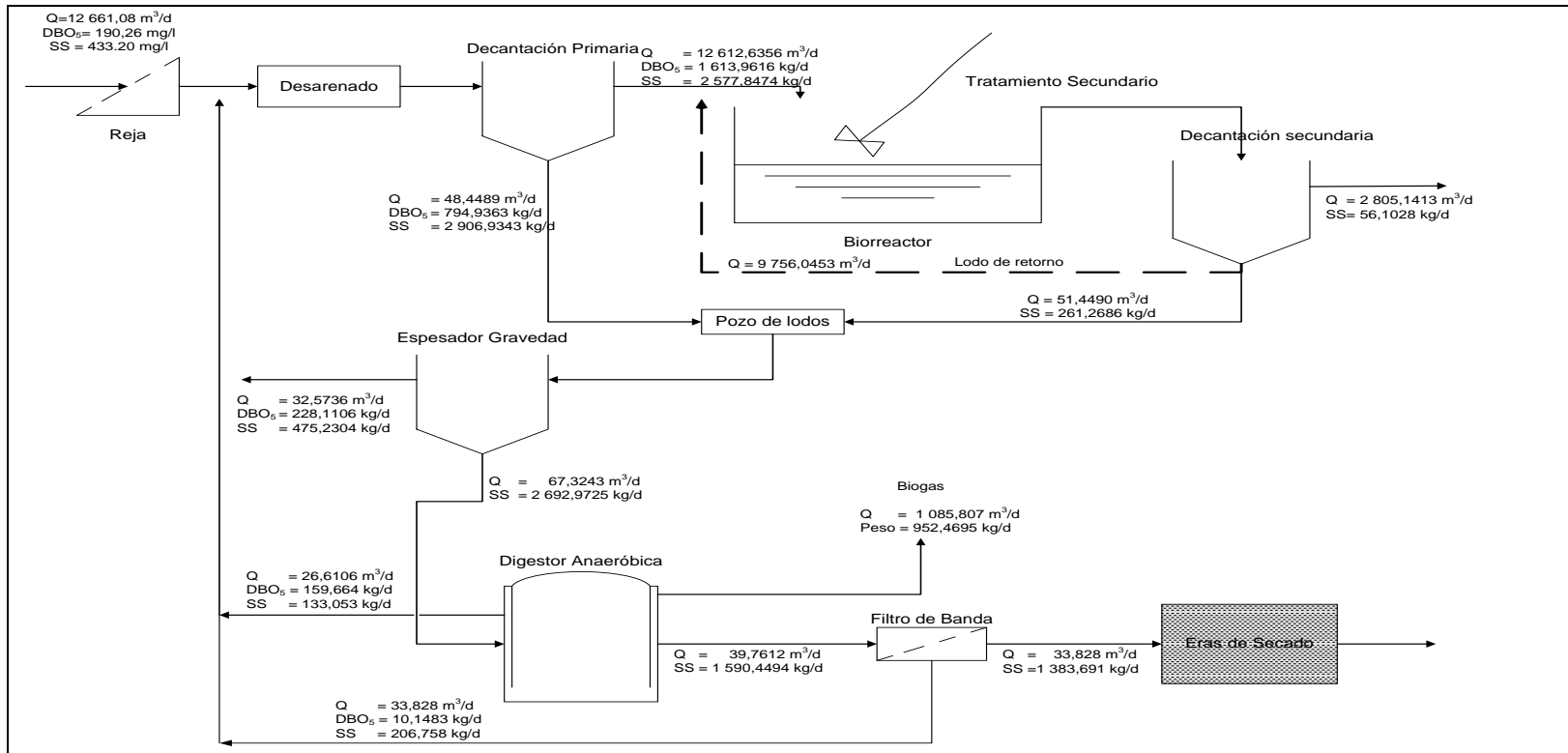
- Propuestas para Mejorar la Eficiencia Operativa de las PTAR. Megaforo del Agua – CIP. Johnny Marchán Peña, Gerencia de Supervisión y Fiscalización. SUNASS, 2007. Consultado el 26 de Octubre del 2013. Disponible en: www.sunass.gob.pe/doc.
- Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Msc. Jenny Alexandra Rodríguez V. Universidad el Valle. Cali – Colombia. Consultado el 26 de Octubre del 2013. Disponible en : <http://www.ingenieroambiental.com>
- Saneamiento Básico en Municipalidades. Curso: Gestión Ambiental en Instituciones Educativas. 2007. Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental DESA Dr. JHON YAGUA. Consultado el 30 de Octubre del 2012. Disponible en: www.regiontacna.gob.pe/
- Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. Kelly A. Reynolds, MSPH, Ph.D. Revista Agua Latinoamérica. Consultado el 30 de Octubre del 2009. Disponible en: www.agualatinoamerica.com/docs/pdf
- Avances latinoamericanos en la gestión de los servicios de agua y saneamiento. Memoria del Simposio Latinoamericano “Nuevos modelos de gestión para los servicios de agua y saneamiento en

pequeñas ciudades de América Latina”, 2008. Water and Sanitation Program. Consultado el 2 de Noviembre del 2009. Disponible en: www.perusan.org.

- Tratamiento de Desagües por Lagunas de Estabilización. Manual de operación y mantenimiento. Ing. Teresa Lampoglia. GTZ/PROAGUA. 2001. Consultado el 2 de Noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca>.

ANEXOS

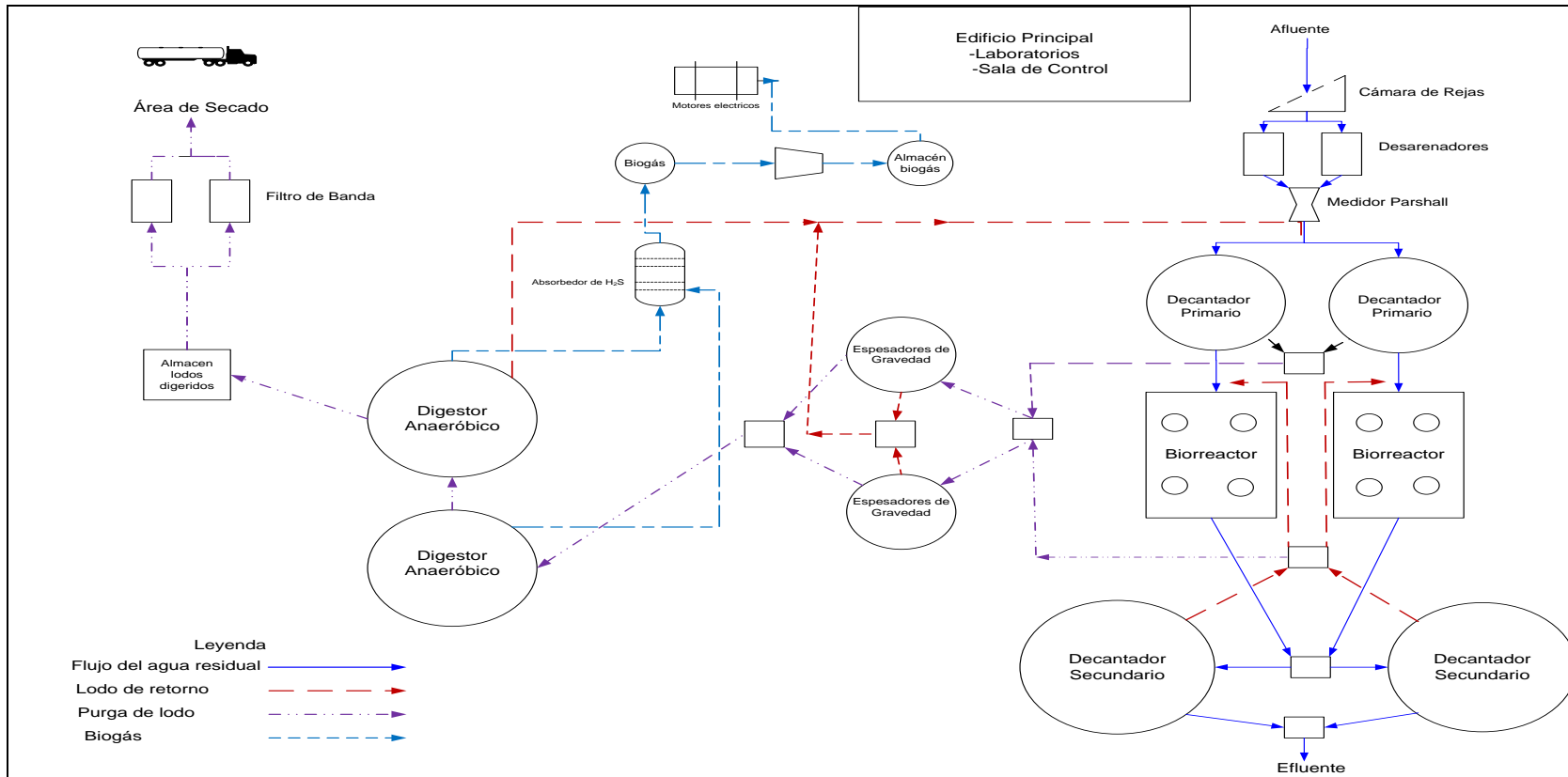
Anexo A Diagrama de Flujo



Fuente: Elaboración Propia

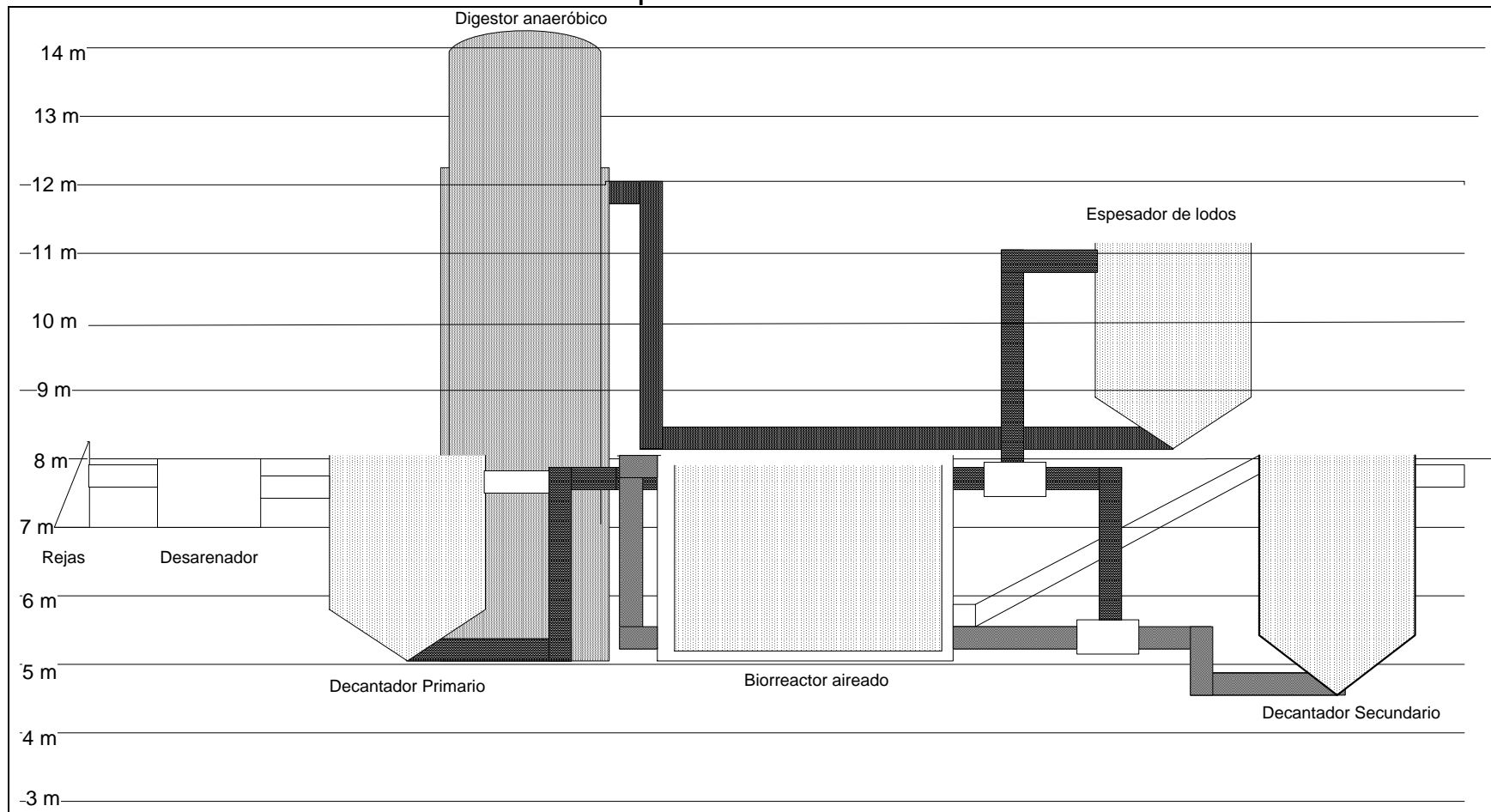
Anexo B

Distribución de Planta



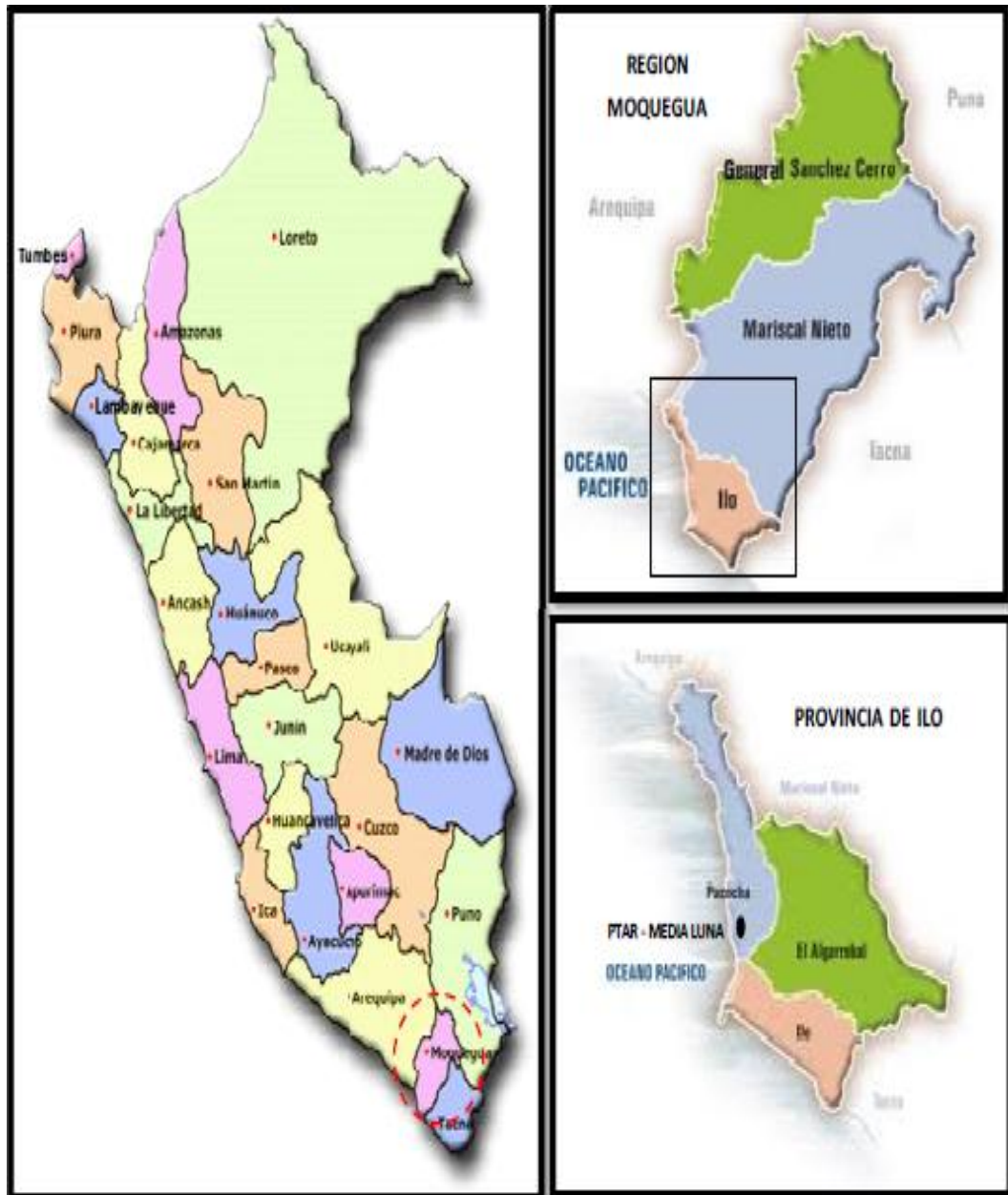
Fuente: Elaboración Propia

Anexo C Línea piezométrica



Fuente: Elaboración Propia

Anexo D Ubicación del Proyecto



Anexo D.1

Ubicación del Proyecto-Fotografía Satelital



Anexo F

Sector Saneamiento Parámetros de Proyectos de Saneamiento

Costos Per-cápita en el área urbana

Componente	Costo per cápita (US\$/Hab.)
Ampliación del servicio de agua potable (costo total)	297
Ampliación de redes y conexiones de agua potable, sin incluir obras primarias	183
Ampliación del servicio de alcantarillado (costo total)	282
Ampliación de redes y conexiones alcantarillado, sin incluir obras primarias	224
Ampliación tratamiento de aguas servidas	109
Rehabilitación sistema agua potable	38
Rehabilitación sistema alcantarillado	15
Costo de pileta	50
Rehabilitación de los servicios de tratamiento de aguas servidas	17
Costo promedio por medidor instalado (incluye caja y accesorios)	75

Fuente: Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública Resolución Directoral N° 003-2011-EF/68.01 Anexo SNIP 09 V1.1

Anexo G

Factores de conversión a precios Sociales

Componente	Factores de Corrección
Planta de Tratamiento de Agua Potable	0,797
Línea de agua Potable	0,802
Obras civiles estructura	0,759
Equipamiento e instalaciones hidráulicas	0,838
Líneas de alcantarillado	0,772
Planta de Tratamiento de desagüe	0,785

Fuente: MEF. DGPI. ANEXO SNIP N°1

Anexo H

Características de Equipos de Aireación Superficial





Referencia: **Id211**

Aireador Superficial

AquaSystem

Modelo: Aqua Turbo AER-AS

Dado las continuas exigencias de los servicios de salud del país en cuanto a los residuos Industriales líquidos, se deben hacer mejoras en muchos sistemas de tratamiento de agua, especialmente en lagunas facultativas.

Nuestro equipo aireador Aqua Turbo permite mezclar y oxigenar grandes extensiones con un costo energético muy razonable. Además por su impulsor en forma de tornillo y la velocidad de giro permite la eliminación de algas en las lagunas utilizadas para sedimentación.

Diseño :

El diseño del impulsor, es el gran avance de este aereador superficial, frente a otros del mismo tipo, su forma de tornillo, hace que el agua esté más tiempo en contacto con el impulsor, transmitiéndole mayor energía cinética al agua, logrando mejores rendimientos de transferencia de oxígeno.

El equipo está completamente fabricado en acero inoxidable y el flotador está relleno en espuma de poliuretano, protegiendo al equipo de la agresividad del medio.

Sistema sin engranajes, eje conectado directamente al impulsor.

Con ello se consigue :

- Mejores eficiencias de transferencia de oxígeno por la forma del impulsor.
- Cambiando el cono inferior, se puede adaptar a una gran variedad de lagunas, no importando la altura ni la forma.
- Materiales de alta resistencia al medio, todo el equipo está realizado en acero inoxidable.
- Mínima mantención, gracias a que no posee engranajes de ningún tipo. Además todas las partes engrasadas son de por vida.
- Por la velocidad que le imprime al agua el impulsor, esta es expelida casi horizontalmente, evitando la producción de aerosoles.



E3
Tratamiento

1-3

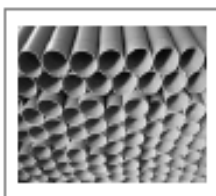
Anexo I

Características de Tuberías

PLASTIFER, S.A.

5. Tubería Evacuación PVC

Tubería EVACUACION SERIE B



Fabricada según norma UNE EN 1329. Tubería apta para la evacuación de aguas residuales, a baja y alta temperatura, en el interior de la estructura de los edificios o en el exterior fijada a la pared.

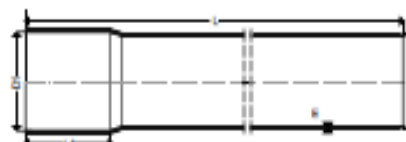
Boca lisa para unión por encolado. Color gris RAL 7037.



Presentación en tubos de: 1; 2.5; 3 o 5 metros.

LAS TUBERÍAS EVACUACIÓN SERIE B PLASTIFER TIENEN CONCEDIDA LA MARCA AENOR DE PRODUCTO

D mm	E mm	LI mm	DI mm
32	3.0	22	32.1
40	3.0	26	40.1
50	3.0	30	50.1
75	3.0	40	75.2
90	3.0	46	90.2
110	3.2	48	110.2
125	3.2	51	125.2
160	3.2	58	160.3
200	3.9	60	200.4



D mm	Longitud (m)											
	1m			2.5m			3m			5m		
Código	Atados	Palet	Código	Atados	Palet	Código	Atados	Palet	Código	Atados	Palet	
32	--	--	--	--	--	--	--	--	TB325	10tubos	--	
40	--	--	--	--	--	--	--	--	TB405	10tubos	--	
50	--	--	--	--	--	--	--	--	TB505	5tubos	--	
75	TB751	5tubos	--	TB7525	5tubos	--	TB753	5tubos	174tubos	TB755	+	174tubos
90	TB901	5tubos	--	TB9025	5tubos	--	TB903	5tubos	116tubos	TB905	+	116tubos
110	TB1101	5tubos	--	TB11025	5tubos	--	TB1103	5tubos	77tubos	TB1105	+	77tubos
125	TB1251	5tubos	--	TB12525	5tubos	--	TB1253	5tubos	61tubos	TB1255	+	61tubos
160	TB1601	5tubos	--	TB16025	+	--	TB1603	+	34tubos	TB1605	+	34tubos
200	TB2001	5tubos	--	--	--	--	TB2003	+	25tubos	TB2005	+	25tubos

+ Disponibilidad de unidades sueltas

Anexo I.1

Características de Tubería

PLASTIFER, S.A.

Unión JUNTA ELÁSTICA



Fabricada según norma UNE EN 1452. Tubería apta para el transporte de agua a presión, enterrada o no en el exterior e interior de la estructura de los edificios, destinada al consumo humano y para usos generales.

Color gris oscuro RAL 7011.

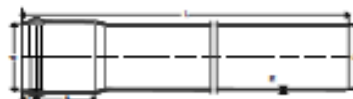
SISTEMA RIEBER: La tubería se suministra con la junta firmemente integrada durante su fabricación.

Presentación en tubos de 6 metros (L).



LAS TUBERÍAS DE PVC PRESIÓN UNIÓN JUNTA ELÁSTICA PLASTIFER TIENEN CONCEDIDA LA MARCA AENOR DE PRODUCTO.

D (mm)	d mín. (mm)	A mín. (mm)	C mín. (mm)
90	90.4	61	36
110	110.5	64	40
125	125.5	66	42
140	140.6	68	44
160	160.6	71	48
200	200.7	75	54
250	250.9	81	62
315	316.1	88	72



D mm	6 bar		10 bar		16 bar	
	Código	E (mm)	Código	E (mm)	Código	E (mm)
90	TPNIE906	2.8	TPNIE9010	4.3	TPNIE9016	6.7
110	TPNIE1106	2.7	TPNIE11010	4.2	TPNIE11016	6.6
125	TPNIE1256	3.1	TPNIE12510	4.8	TPNIE12516	7.4
140	TPNIE1406	3.5	TPNIE14010	5.4	TPNIE14016	8.3
160	TPNIE1606	4.0	TPNIE16010	6.2	TPNIE16016	9.5
200	TPNIE2006	4.9	TPNIE20010	7.7	TPNIE20016	11.9
250	TPNIE2506	6.2	TPNIE25010	9.6	TPNIE25016	14.8
315	TPNIE3156	7.7	TPNIE31510	12.1	TPNIE31516	18.7

Consultar stock.

Fabricación bajo pedido de otros diámetros y presiones no contemplados en el catálogo.

La junta elástica forma parte de la tubería, lo que elimina muchos de los inconvenientes de las juntas de sellado independientes. La junta es colocada en su campana durante la fabricación del tubo y este diseño la sostiene firmemente en su posición durante el transporte del tubo y su posterior ensamble.

La junta Rieber es igualmente efectiva bajo condiciones tanto positivas como negativas de presión (vacío). El elemento reforzante impide que la junta se desplace dando una larga vida de servicio a la tubería.

Con presión negativa la junta se comprime hacia atrás, dilatándose radialmente tanto contra el macho como contra la campana y evitando que penetren partículas sólidas. Este es un problema que se da frecuentemente en las juntas convencionales. Con presión positiva, el segmento de goma se comprime hacia delante realizando un cierre más eficaz. A mayor presión, mayor fuerza de cierre.

Anexo J

Diseño de Pozo de Bombeo



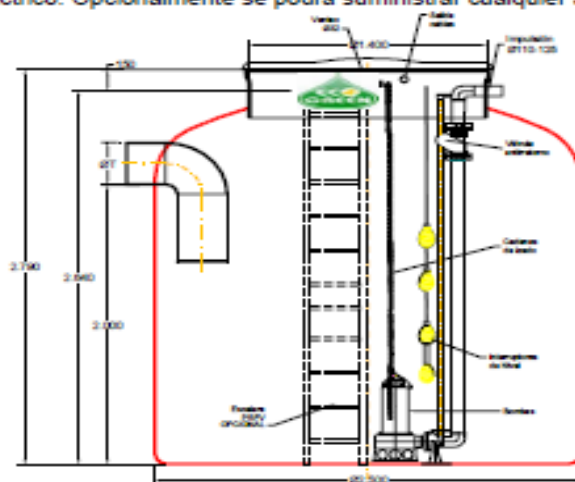
Página N°10

6

GAMA MAXI-MONOCANAL
REF: ECO6117POZO

Pozos de bombeo para aguas residuales y pluviales. Construidos según norma UN-EN- 12050-1

El modelo base consta de carcasa de PRFV con 2 bombas con funcionamiento alternativo, 4 interruptores de nivel, válvulas antirretorno, válvulas de cierre, Acoplamiento automático de las bombas, para su izado a depósito lleno y Cuadro eléctrico. Opcionalmente se podrá suministrar cualquier accesorio.



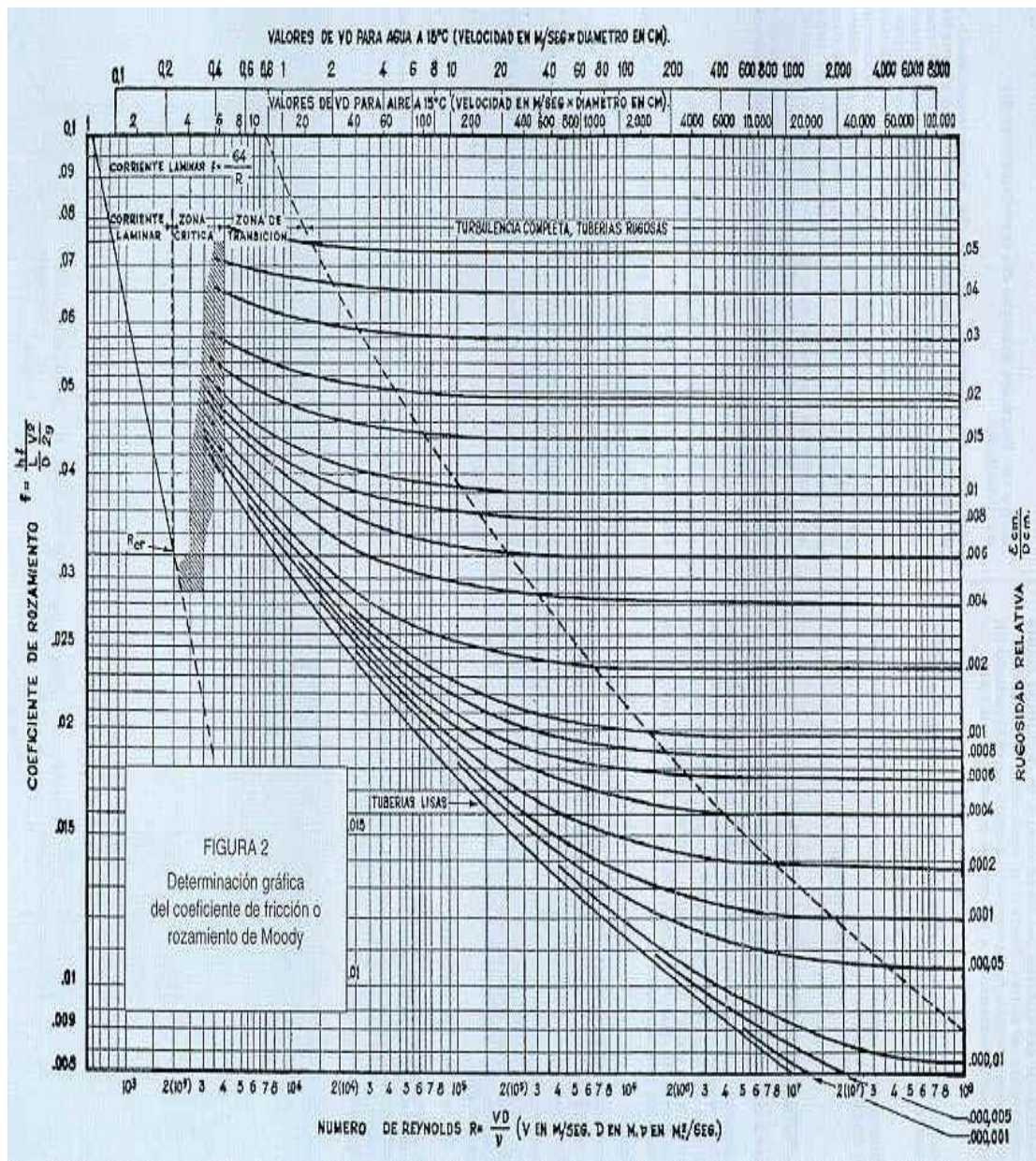
REFERENCIA	Vol.Total [litros]	Vol. Útil [litros]	REF. BOMBA	Bombas Uds./kw/tensión	Ø [mm]	Altura [mm]	Ø T [mm]
ECO6117POZO	11.800	9.800	17	5,5 Kw III	2.500	2.790	110-300
ECO6118POZO	11.800	9.800	18	7,5 Kw III	2.500	2.790	110-300
ECO6119POZO	11.800	9.800	19	11 Kw III	2.500	2.790	110-300
ECO6120POZO	11.800	9.800	20	15 kW III	2.500	2.790	110-300

CARACTERÍSTICAS BOMBAS: RODETE IMPULSOR MONOCANAL

Bomba	Potencia Nominal (Kw)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Caudal											Ø Paso sólidos	
				L/min	340	680	1.020	1.350	1700	2000	2500	3000	3400	4200		5000
17	5,5	400V T	12,6	M3/h	20	40	60	80	100	120	150	180	200	250	300	96
18	7,5	400V T	16,9	m.c.a.		16,8	14,8	13	11,5	10	8	5,8	4			96
19	11	400V T	22,8			20	18	16,3	14,9	13,5	11,3	9	7,2			100
20	15	400V T	30,0				25	23,5	22	20,2	17,8	14,8	12,7	7,2		100
							31,5	29,8	28	26,1	23,6	21	19	14,1	9	100

Anexo K

Diagrama de Moody



Anexo L

Estándares de Calidad Ambiental para el Agua

PARÁMETRO	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RIOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FISICOS Y QUIMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0.02	0.02	0.05	0.05	0.08
Temperatura	Celsius					Delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	Unidad pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5		6.8 – 8.5	6.8 – 8.5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25 - 100	30.00
INORGANICOS						
Arsénico	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	--
Cadmio	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005
Cianuro Libre	mg/L	0.022	0.022	0.022	0.022	--
Clorofila A	mg/L	10	--	--	--	--
Cobre	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fenoles	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	
Fosfatos Total	mg/L	0.4	0.5	0.5	0.5	0.031 – 0.093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales		Ausente			Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0.07 – 0.28
INORGANICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1.6	1.6		--	--
Niquel	mg/L	0.025	0.025	0.025	0.002	0.0082
Plomo	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.0081	0.0081
Silicatos	mg/L	--	--	--	--	0.14 – 0.7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.06
Zinc	mg/L	0.03	0.03	0.3	0.03	0.081
MICROBIOLOGICOS						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000	2000		1000	≤30
Coliformes Totales	NMP/100 mL	2000	3000		2000	

