

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO
ASCENDENTE (R.A.F.A.) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS DE LA CIUDAD DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

**) YURI FREDY CHUQUITARQUI DE LA CRUZ
) MARCO EDUARDO VELÁSQUEZ HUANCA**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO
ASCENDENTE (R.A.F.A.) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS DE LA CIUDAD DE PUNO”**

TESIS PRESENTADA POR:

**YURI FREDY CHUQUITARQUI DE LA CRUZ Y
MARCO EDUARDO VELÁSQUEZ HUANCA**



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUIMICO

FECHA DE SUSTENTACION: 16 DE ENERO DE 2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

Ing. M.Sc. Norberto Sixto Miranda Zea

PRIMER MIEMBRO

:

Ing. M.Sc. Germán Quille Calizaya

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. M.Sc. Roger Huanqui Pérez

DIRECTOR DE TESIS

:

Dr. Gregorio Palomino Cuela

ASESOR DE TESIS

:

Ing. M.Sc. Juan Ramón Calsin Turpo

AREA: PROCESOS INDUSTRIALES

TEMA: DISEÑO DE EQUIPO DE PROCESO

LINEA: TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres María y Policarpo por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas, Esther y Liliana, por estar conmigo y apoyarme siempre, me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento, las quiero mucho.

A mis amigos, Lidia, Jenny y Giovanni quienes me han brindado su apoyo incondicional, emocional, desinteresado y sus sabias orientaciones e hicieron de esta experiencia una de las más especiales

Marco Eduardo Velásquez Huanca

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Yuri Fredy Chuquitarqui de la Cruz

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.
- Agradezco sinceramente al Jurado Examinador del presente Trabajo de Aptitud Académica, que estuvo conformado por los siguientes miembros: Ing. M. Sc. Norberto Sixto Miranda Zea, Ing. M. Sc. Germán Quille Calizaya, Ing. M. Sc. Roger Huanqui Pérez
- A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la U.N.A. – Puno, por las enseñanzas impartidas a lo largo de mi formación académica.
- Todo esto nunca hubiera sido posible sin el amparo incondicional que me otorgaron y el cariño que me inspiraron mis padres, que de forma incondicional, entendieron mis ausencias y mis malos momentos, que a pesar de la distancia siempre estuvieron a mi lado para saber cómo iba mi proceso. Las palabras nunca serán suficientes para testimoniar mi aprecio y mi agradecimiento.
- Y por último, pero no menos importante, estaré eternamente agradecido a los que en algún momento fueron mis compañeros de estudio y ahora considero mis amigos. Les agradezco a todos ustedes el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables.

Marco Eduardo Velásquez Huanca

Yuri Fredy Chuquitarqui de la Cruz

INDICE

RESUMEN	11
INTRODUCCION	13
CAPÍTULO I	14
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL.	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. ALCANCES.....	18
CAPÍTULO II.....	19
2.1. FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS.....	19
2.1.1. Aspectos generales de un agua residual.....	19
2.1.2. Composición de aguas residuales	19
2.1.3. Fuente de aguas residuales.....	20
2.1.4. Características de las aguas residuales.....	21
2.1.5. Importancia del tratamiento de las aguas residuales.....	22
2.1.6. Aguas residuales urbanas.....	23
2.1.7. Contaminantes en agua residual urbana.....	24
2.1.8. Materia sólida en el agua residual urbana.....	25
2.1.9. Compuestos orgánicos del agua residual urbana	27
2.1.10. Compuestos inorgánicos del agua residual urbana	28
2.1.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	28
2.1.12. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	29
2.1.13. Sólidos Totales Disueltos (STD).....	29
2.1.14. Oxígeno Disuelto (OD)	30
2.1.15. El Potencial de Hidrógeno (pH).....	31
2.1.16. Salinidad.....	31
2.1.17. Temperatura	32
2.1.18. Conductividad Eléctrica (CE)	33
2.1.19. Generación de Aguas Residuales Domésticas de la ciudad de Puno	33

2.1.20.	Fundamentos del proceso RAFA	34
2.1.21.	Tamaño y Forma de Gránulos.....	35
2.1.22.	Digestión Anaerobia.....	36
2.1.23.	Caudal, carga orgánica volumétrica y tiempo de retención hidráulico .	38
2.1.24.	Perfil de lodos	38
2.1.25.	Sedimentación	39
2.1.26.	Velocidad de sedimentación	41
2.2.	MÉTODO DE DISEÑO Y SELECCIÓN	42
2.2.1.	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).....	42
2.2.2.	Síntesis del sistema de remoción de las aguas residuales urbanas	44
2.2.3.	Análisis del sistema integral a nivel piloto	46
CAPÍTULO III.....		49
3.1.	CÁLCULOS DE INGENIERÍA	49
3.1.1.	Configuración geométrica.....	49
3.1.2.	Cálculo del balance de masa en un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	49
3.1.3.	Cálculo basado en la carga orgánica y en el criterio de velocidad de flujo	50
3.1.4.	Cálculo del dimensionamiento del RAFA para volumen y longitud total	50
3.1.5.	Cálculo del diseño de la campana separadora gas – líquido – sólido (G-L-S).....	51
3.2.	VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE DISEÑO	53
3.2.1.	Validación del diseño de reactor para distintos volúmenes y tiempos de residencia:	53
3.2.2.	Validación de las ecuaciones de alturas efectivas del reactor	53
3.2.3.	Validación de las ecuaciones de diseño y construcción del RAFA	54
3.2.4.	Diseño de la campana separadora Gas-Sólido-Líquido (G-S-L)	55
3.3.	ESPECIFICACIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	56
3.3.1.	Obtención de la muestra y análisis de aguas residuales domésticas y monitoreo del RAFA	56
3.3.2.	Valores establecidos para el diseño del RAFA.....	57
3.3.3.	Dimensiones y características del RAFA	58
3.3.4.	Lugar de ejecución del proyecto.....	59
3.3.5.	Materiales.....	59
3.3.6.	Elementos constitutivos del RAFA.....	60

3.3.7. Especificaciones de la puesta en marcha del RAFA.....	66
3.3.8. Análisis de aguas residuales domésticas tratadas por el RAFA	68
3.4. COSTOS DEL EQUIPO	69
CAPÍTULO IV	73
4.1. RESULTADOS	73
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.....	82
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Contaminantes presentes en aguas residuales y sus posibles efectos sobre las aguas receptoras.	21
Tabla N° 2: Parámetros de caracterización de aguas residuales urbanas.....	22
Tabla N° 3: Reúso de las aguas residuales.....	23
Tabla N° 4: Composición típica de las aguas residuales urbanas.	25
Tabla N° 5: Variables conocidas y parámetros de diseño.....	50
Tabla N° 6: Dimensiones y características del RAFA.	59
Tabla N° 7: Valores determinados en laboratorio FIQ-UNA-Puno.....	67
Tabla N° 8: Calidad de agua en función de la DBO5.	68
Tabla N° 9: Costos de los materiales que se utilizan en la construcción del RAFA.....	70
Tabla N° 10: Costos de los materiales e equipos del sistema de control del RAFA.....	70
Tabla N° 11: Costos de mano de obra, máquinas y energía.....	71
Tabla N° 12: Información y trabajos preliminares.....	71
Tabla N° 13: Otros gastos	71
Tabla N° 14: Presupuesto del proyecto.....	72
Tabla N° 15: Características fisicoquímicas de las aguas residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad Puno.....	76
Tabla N° 16: Registro de datos del análisis de campo y muestreo de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno.	77
Tabla N° 17: Valores de ingreso y salida del RAFA	78
Tabla N° 18: Dimensiones y características del RAFA.....	79
Tabla N° 19: Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” en la ciudad Puno.	80
Tabla N° 20: Valores de ingreso y salida del RAFA.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Composición media de un agua residual urbana (Metcalf & Eddy., 1985, 1995).	24
Figura N° 2: Clasificación de los diferentes tipos de materia contenida en un agua residual, adaptado por Droste, (1997).	26
Figura N° 3: Diagrama de flujo de sustrato durante la degradación anaeróbica.	37
Figura N° 4: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).	43
Figura N° 5: Diagrama de tratamiento integral de aguas residuales urbanas.	45
Figura N° 6: Sistema de remoción de aguas residuales urbanas en 3D.	47
Figura N° 7: Esquema general de tratamiento de aguas residuales domésticas.	48
Figura N° 8: Esquema de los componentes del balance de masa de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Fuente: Lettinga et. al. (1980).	50
Figura N° 9: Tanque de almacenamiento de Aguas Residuales Urbanas.	61
Figura N° 10: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).	61
Figura N° 11: Zona de manto de lodos.	62
Figura N° 12: Primera Parte del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).	62
Figura N° 13: Parte superior del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).	63
Figura N° 14: Head plate del RAFA con manómetro instalado.	63
Figura N° 15: Tubería de alimentación y evacuación del RAFA	64
Figura N° 16: Bridas de unión para los cuerpos del RAFA.	64
Figura N° 17: Campana separadora de G-S-L.	65
Figura N° 18: Tuercas y volandas de presión.	65
Figura N° 19: Tanque de almacenamiento de agua residual urbana tratada.	66
Figura N° 20: Tanque de almacenamiento de metano.	66
Figura N° 21: Diagrama de flujo de tratamiento de ARU.	69
Figura N° 22: Rejillas de tamizado	73
Figura N° 23: Campanas separadoras de gas.	74
Figura N° 24: Tanque de almacenamiento.	74
Figura N° 25: Zona de manto de lodos.	75
Figura N° 26: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente 3D.	75
Figura N° 27: Toma de muestra de ARU de la laguna de estabilización “Espinar” – Puno.	77

RESUMEN

Este trabajo presenta una alternativa para el tratamiento de aguas residuales urbanas, provenientes de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno, proponiendo el diseño, construcción y puesta en marcha de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).

El equipo de pruebas cuenta con un tanque de almacenamiento de aguas residuales urbanas, un tanque de almacenamiento de agua tratada, un tanque de almacenamiento de gas metano y el cuerpo principal que es enchaquetado por donde circula agua caliente (30 °C), el equipo tiene un sistema de lazo cerrado, en el cual el agua circula desde y hacia el reactor, se utiliza un sensor electrónico y programable para el control de la temperatura.

Para el diseño del RAFA, se tomó en cuenta los siguientes parámetros: área, volumen, altura, tiempo de residencia hidráulica (TRH) y caudal, para su posterior construcción.

En la puesta en marcha del RAFA se trabajó con un volumen total de 16 L y un tiempo de residencia hidráulica de 9,6 horas, después de instalar todos los accesorios necesarios para el funcionamiento del reactor, se realizó la inoculación con carga microbiana anaeróbica. Durante el arranque se disminuyó lentamente el TRH (de 19,2 a 9,6 horas) consiguiendo valores de remoción, después de haber arrancado el sistema, para la demanda química de oxígeno (DQO) de 77,23 % y para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 80,20 %.

Para el monitoreo se estableció las consideraciones siguientes, las variables: pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad, durante el funcionamiento del reactor se realizaron los ensayos para determinar la demanda química de oxígeno (DQO), de la muestra de agua residual que ingresa al sistema y el de la salida con el agua ya tratada para comprobar la eficiencia del RAFA

Palabras Claves: DQO, DBO, RAFA, remoción, tratamiento.

ABSTRACT

This work presents an alternative for the treatment of urban wastewater from the "Espinar" stabilization lagoon in the city of Puno, proposing the design, construction and start - up of an Anaerobic Upflow Reactor (RAFA).

The test equipment has an urban wastewater storage tank, a treated water storage tank, a methane gas storage tank and the main body that is jacketed where hot water circulates (30 ° C), the equipment has a closed loop system, in which water flows to and from the reactor, an electronic and programmable temperature sensor is used.

For the design of the RAFA, the following parameters were taken into account: area, volume, height, hydraulic residence time (HRT) and flow, for later construction.

In the RAFA start-up, a total volume of 16 L and a hydraulic residence time of 9.6 hours were used, after installing all the necessary accessories for the operation of the reactor, the inoculation with anaerobic microbial load was performed. During the start the TRH (from 19.2 to 9.6 hours) was slowly lowered, obtaining removal values, after starting the system, for the chemical oxygen demand (COD) of 77.23% and for the biochemical demand Of oxygen (BOD5) of 80.20%.

The following considerations were established for the monitoring: pH, temperature, electrical conductivity, total dissolved solids and salinity, during the operation of the reactor, the tests were carried out to determine the chemical oxygen demand (COD), the water sample Residual that enters the system and the one of the exit with the already treated water to verify the efficiency of the RAFA.

Key words: COD, BOD, RAFA, removal, treatment.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la población, el desarrollo y establecimiento de las industrias dentro o cerca de las zonas urbanas ha hecho notar un incremento en el uso y contaminación del líquido de la vida (Chávez, 2007) el agua, debido a la preocupación de asociaciones ecológicas e instancias de control, se han implementado numerosos sistemas para el tratamiento de aguas residuales (Restrepo, 2005) sin embargo no han sido suficientemente efectivos para erradicar deficiencias ya conocidas para el saneamiento del agua, como son: agua mal depurada, los altos costos de operación y mantenimiento, alto consumo de productos químicos y equipos perimetrales, generación de lodos biológicos y químicos, residuos peligrosos, proliferación de plagas e insectos, exagerados costos de inversión, limitación de infraestructura diseñada (Restrepo, 2005).

La aplicación de procesos biológicos, son tratamientos de aguas residuales, donde se tiene como objetivo principal eliminar los componentes definidos como contaminante que tienen efectos nocivos para el medio ambiente de manera tal que se puede ajustar el agua residual, a la calidad de agua establecida dentro de las especificaciones legales existentes, de esta manera la mejor forma de tratar las aguas residuales dependerá de una serie de factores característicos, tales como: el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, las posibilidades de reutilización de la misma, etc. (Da Cámara, Hernández & Paz, 2001).

El tratamiento anaerobio de aguas residuales con niveles de contaminación medianos y altos es en la actualidad aceptado como una tecnología probada. Las tecnologías del tratamiento anaerobio como el reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), está siendo aceptado para tratamiento de aguas residuales Urbanas (ARU) así como los efluentes industriales que no cumplen con las regulaciones ambientales de descarga directa a cuerpos receptores por su elevada DBO, bajo pH y presencia de sólidos en suspensión presentes en niveles superiores a los límites establecidos por el Decreto Supremo Aguas. D.S.015 2015-MINAN PERÚ.

La tecnología de la digestión anaerobia se encuentra firmemente establecida en América Latina, y puede ser adaptable a las características del agua residual a tratar y el lugar donde se quiera implementar (Mendoza, 1999).

CAPÍTULO I

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Existen muchas preocupaciones hoy en día por la vulnerabilidad del medio ambiente, debido a las grandes cantidades de descargas tóxicas, orgánicas e inorgánicas, como consecuencia de las actividades humanas (Cruger, 1993), en la ciudad de Puno se generan 200 L/s, de aguas residuales urbanas aproximadamente esta agua presenta una concentración de DQO, elevada superiores a los Límites Máximos Permisibles (LMP) de descargas permisibles a los cuerpos de aguas superficiales establecidas por la normatividad Peruana (EMSA PUNO, 2016), debido a la naturaleza tóxica de algunos de los compuestos presentes en las aguas residuales urbanas, las normas peruanas limitan el contenido de demanda química de oxígeno (DQO) en 200 mg/L (MINAN, 2015).

Los investigadores Rodríguez, Rodríguez, & Monrroy (2015) en su trabajo publicado presentan los resultados de la digestión anaerobia de los lixiviados generados de la hidrólisis y acidogénesis de la fracción orgánica de los residuos sólidos de la cafetería de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Los lixiviados fueron diluidos con agua residual municipal a diferentes cargas orgánicas (2,3 a 20 g DQO/L d) y metanizados en un reactor RAFA. La producción promedio de biogás en la última carga del reactor RAFA fue de 12 L/L d, con eficiencias de remoción de la DQO mayores al 90 %, y un rendimiento de metano de 0,38 litros de metano. También concluyen que: mediante un proceso de digestión anaerobia en dos fases genera energía que puede ser aplicada en beneficio de las propias comunidades. Calli, Montenegro, & Ferreira, (2010) lograron obtener las mayores concentraciones de metano con el biogás a partir de la observación de los períodos en que el pH era más cerca de la neutralidad (7,00). La adición de hidróxido de sodio (NaOH) es importante para la regulación de la alcalinidad, lo que mejoró el rendimiento del reactor RAFA, además concluyen que los reactores deben contar con el control sistemático de los parámetros que son directamente influentes

a la biomasa, tales como la temperatura, pH y los parámetros físicos. Zepeda, Colin, Corona, Hernández, & Meraz (2011) presentan la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB (siglas en inglés del RAFA) a escala piloto operado con un TRH de 5 horas. Finalmente Pérez & Aldana (2013) indican que el objetivo de su estudio fue la modelación física de un reactor RAFA para simular su patrón de flujo. La metodología consistió en el diseño, cálculo de las relaciones de longitud relativa y construcción, empleando una escala de reducción de 1:8 entre el prototipo y el modelo físico.

El tratamiento de aguas residuales en la región se da mediante lagunas de oxidación, que se encuentran en la mayoría de distritos de la región de Puno (RPP, 2015). Las lagunas de oxidación, necesitan un mantenimiento permanente y adecuado; no obstante, en nuestra región ese mantenimiento no se cumple. Además este problema se agrava con el crecimiento poblacional y ocasiona que se supere la capacidad de carga de las lagunas de oxidación, siendo descargadas a los ríos y lagos (Fiscalía en Materia Ambiental de Puno, 2015). La consecuencia de la descarga de aguas residuales tratadas y no tratadas en la Bahía Interior de Puno es el crecimiento de la planta flotante *Lenma sp* conocida como lenteja de agua (Fonturbél, 2003). En consecuencia el problema queda planteado de la siguiente forma:

¿Cuáles serán las dimensiones del diseño y tipo de construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) a nivel laboratorio, para la degradación de materia orgánica de aguas residuales urbanas?

¿Qué características fisicoquímicas, tendrán las aguas residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno?

¿Qué porcentaje de eficiencia tendrá el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de aguas residuales urbanas de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno?

¿Será eficiente el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), para la producción de metano (CH_4) a partir de la disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) y

demanda bioquímica de oxígeno (BQO) de aguas residuales urbanas de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno?

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

-)] Diseñar y construir un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) a nivel de laboratorio, para la degradación de la materia orgánica de aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

-)] Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno.
-)] Determinar el porcentaje de eficiencia del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de aguas residuales urbanas de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad Puno.
-)] Determinar eficiencia del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), en la producción de metano (CH_4) a partir de la disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de aguas residuales urbanas de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El impacto permanente durante más de 40 años con la contaminación constituye un problema grave porque alteran los terrenos de cultivo, la capa freática y los recursos hídricos naturales, todo esto puede ser convenientemente resuelto disminuyendo los impactos ambientales en una primera etapa y la remediación completa según las conclusiones de este proyecto.

Los sistemas convencionales de tratamiento para aguas residuales ofrecen excelentes eficiencias de tratamiento, sin embargo, no reúnen los criterios necesarios para la sustentabilidad de las inversiones del Perú y países en vías de desarrollo, donde los recursos de capital y mano de obra calificada son limitados. Por ello surge la necesidad de adoptar tecnologías de tratamiento modernos capaces de remover los principales contaminantes (materia orgánica), con bajos costos de construcción, económicamente factibles y auto sostenibles, evitando los riesgos sanitarios de utilizar el agua residual cruda indiscriminadamente, por ejemplo, en riego directo de cultivos.

Los sistemas de tratamiento anaerobios se constituyen en una alternativa atractiva, siendo sus costos de implementación bajos y su eficiencia con respecto a la remoción de contaminantes elevada, por esto resulta conveniente adoptar esta tecnología para el beneficio de países en desarrollo como el nuestro. El RAFA ha sobresalido debido al relativo bajo costo y a la alta calidad del efluente del tratamiento de aguas residuales con baja, mediana y alta carga orgánica. Son varios los beneficios que este proceso ofrece: como la ausencia de equipos de control sofisticados, no requiere de material de soporte adicional, baja producción de lodos, menor consumo energético y producción de gas metano, por estas razones el RAFA se ha establecido como una alternativa para el tratamiento de una amplia variedad de aguas residuales, proporcionando avances importantes en la tecnología y desarrollo del proceso anaerobio.

Según los estudios realizados obtenidos en investigaciones, se ha demostrado que las aguas residuales tratadas con el RAFA conservan nitrógeno en forma molecular fácilmente asimilable y otros iones los cuales enriquecen este residuo y lo hacen propicio para su uso en la irrigación del sector agrícola.

1.4. ALCANCES

Diseñar, construir y poner en marcha el RAFA para la depuración de aguas residuales urbanas y generación de gas metano a partir de materia orgánica, realizar comparaciones con la degradación de otros tipos de aguas residuales y realizar la evaluación del rendimiento del sistema, en diferentes condiciones de operación. Este RAFA está puesto a disposición para las prácticas de laboratorio e investigaciones, realizado por los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química, estudiantes de otras facultades de ingeniería, investigadores y profesionales del campo de la ingeniería que requieran ampliar los conocimientos sobre el tema de tratamiento de aguas residuales.

- a. **Técnica:** el desarrollo del presente proyecto de instalación y evaluación de un equipo de pruebas, nos brinda una visión de la evolución de la tecnología, la misma que es posible adaptarla a nuestro medio y contribuir con el desarrollo de nuevas tecnologías.
- b. **Económica:** la evaluación del diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) es importante en la industria para economizar los costos de operación, instalación, rediseño o la ejecución de nuevos proyectos dirigidos al cuidado del medio ambiente.
- c. **Académica:** este proyecto tiene como fin primordial mejorar el proceso de aprendizaje, la aplicación de las propiedades fisicoquímicas y los conceptos fundamentales de las reacciones químicas, diseño de reactores y balance de materia y energía, entre otros.
- d. **Desarrollo:** capacitar personal profesional, técnico, estudiantes y personal de empresas interesadas en la evaluación de propuestas para generación de gas, tratamiento de aguas residuales, experimentación de medidas de control del proceso y saneamiento ambiental.

CAPÍTULO II

2.1. FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS

2.1.1. Aspectos generales de un agua residual

El agua residual es un producto inevitable de las actividades humanas, se recolecta y transporta por medio de sistemas de alcantarillado hacia un sitio de descarga final, generalmente a cuerpos naturales de agua o hacia una planta de tratamiento. Los diversos tipos de agua residual, se nombran de acuerdo a su procedencia o estado de descomposición, el cual está directamente relacionado con el consumo de oxígeno.

De acuerdo a su procedencia, se clasifica de la siguiente manera.

1. **Domesticas:** utilizada en las actividades de alimentación e higiene personal, proveniente de casas habitación o residencias, edificios comerciales e institucionales.
2. **Municipal:** ha sido utilizada en los servicios urbanos tales como lavado de calles, banquetas, vehículos y riego de áreas verdes de una ciudad o población.
3. **Comercial:** descargadas por establecimientos comerciales como restaurantes, bares, centros comerciales, estadios, lavanderías, etc.
4. **Industrial:** provenientes de los procesos y servicios industriales de manufactura.
5. **Agrícola:** aquella que ocurre de haber sido utilizada en el riego de sembradío.
6. **Pluvial:** proveniente del escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen de los techos, pavimentos y otras superficies de terrenos.
7. **Combinada:** mezclas de aguas domésticas, municipal, comercial, pluvial, etc., recolectada en una misma alcantarilla.

2.1.2. Composición de aguas residuales

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de

las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

2.1.3. Fuente de aguas residuales

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado u otros sistemas, para su envío a la planta depuradora. En general, se considera agua residual urbana a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra a denominar aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales, y aguas grises a las aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros. Por otra parte, las aguas pluviales o de lavado de calles que drenan desde las zonas urbanas aportan una carga importante de contaminación (arrastre de materia sólida inorgánica en suspensión y materia orgánica soluble). El consumo medio de agua por persona y por día (entre 100 y 400 L/hab.día) determina su concentración (cantidad), mientras que la dieta y los usos de la población tributaria caracterizan su composición química (calidad), las sustancias contaminantes presentes en el agua residual pueden estar en forma disuelta (Christensson, 1997), todas estas características se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla N° 1: Contaminantes presentes en aguas residuales y sus posibles efectos sobre las aguas receptoras.

Contaminantes del agua	Impactos más significativos
Materia en suspensión	Aumento de la turbidez del agua (alteración de la fotosíntesis y reducción de la producción de oxígeno). Sedimentación, obstruyendo y cubriendo el lecho de los ríos.
Compuestos Inorgánicos	Eco toxicidad de algunos compuestos, como las sales de metales pesados.
Conductividad	Reacciones con sustancias disueltas en el agua pasando a formar compuestos peligrosos.
Nutrientes	Concentraciones elevadas de sales impiden la supervivencia de diversas especies vegetales del agua.
Materia Orgánica	Su descomposición puede provocar la disminución de la concentración del oxígeno disuelto en el agua hasta condiciones sépticas. Eutrofización del agua.
Compuestos Orgánicos Tóxicos	Emisión de metano en caso de aparición de procesos anaerobios. Toxicidad para la vida acuática. Disminución de la concentración de oxígeno debido a los procesos de biodegradación.
Organismos Patógenos (Bacterias, virus y parásitos)	Producción, en el caso de líquidos no miscibles, de una película superficial que impide la aireación del agua. Inutilización del agua para uso humano. Contaminación de los organismos acuáticos que pueden llegar al hombre con la cadena alimenticia. Enfermedades de transmisión hídrica asociada a la contaminación microbiológica del agua.
Contaminación térmica por descarga de aguas de refrigeración	Modificación de la solubilidad del oxígeno en el agua. Aceleración del metabolismo de la flora y la fauna acuática (eutrofización). Alteración de los ecosistemas acuáticos.

Fuente: (Dewisme, 1997; Matia et. al., 1990).

2.1.4. Características de las aguas residuales

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo de su propósito específico; sin embargo, vale la pena anotar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguran precisión y exactitud en los resultados.

En general, el agua residual urbana contiene un 99 % de agua, la materia sólida está constituida en un 70 % por sustancias orgánicas como proteínas, grasas y carbohidratos; mientras que el 30 % restante es materia mineral insoluble (sustancias inorgánicas) como la arena, la arcilla y las gravas. La sustancias orgánicas de aguas residuales urbanas están constituidas mayoritariamente por material fecal, siendo la contribución diaria de la DBO, por parte la sección fecal de un adulto correspondiente al intervalo de 39 a 42 g, estas corresponden a lo siguiente: 10,3 g corresponden a orina, entre 24,7 y 30,6 g a material fecal y de 2,0 a 3,5 g a materia de limpieza anal (Droste, 1997).

Además, también contienen hidratos de carbono (celulosa, almidón y azúcares), grasas y jabones (sales metálicas de los ácidos grasos), detergentes sintéticos, proteínas y sus productos de descomposición (urea, glicina y cisteína) así como hidróxido de amonio y sales amoniacaes procedentes de la descomposición de complejos nitrogenados (Rivas, 1978).

La gran diversidad que presentan las aguas residuales hace necesario realizar un estudio concreto de la caracterización, en especial cuando se desean definir estrategias de tratamiento y de aplicación de tecnologías adecuadas que aseguren la conformidad con la normatividad de vertido a causas vigentes en la zona de estudio. La tabla 2 indica los principales parámetros empleados para la caracterización de aguas residuales urbanas.

Tabla N° 2: Parámetros de caracterización de aguas residuales urbanas.

Físicos	Químicos	Biológicos
Sólidos totales (ST), mg/l	Materia Orgánica, mg O ² /l	Organismos Patógenos
Sólidos suspendidos	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Coliformes, numero/100 ml
Sólidos volátiles	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Virus, ufc/100 ml ^(b)
Temperatura, °C	pH	
Turbidez, UNT ^(a)	Alcalinidad, mg CaCO ₃ /l	
	Nitrógeno, mg N/l	
	Nitrógeno orgánico	
	Nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N, NH ₄ ⁺ -N)	
	Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	
	Nitratos (NO ₃ ⁻ -N)	
	Fósforo, mg P/l	
	Fósforo orgánico	
	Reactivo soluble (Po ₄ -3-P)	

Fuente: Directiva 91/271; Ecaler, 1997.

^(a) Unidades nefelométricas de turbidez.

^(b) Unidades formadoras de colonias.

2.1.5. Importancia del tratamiento de las aguas residuales

Durante mucho tiempo la naturaleza purifico las aguas diluyendo los desperdicios recibidos, pero con el crecimiento demográfico constante y el desarrollo industrial, genero la diversificación de sus actividades socioeconómicas, produciendo a su vez un aumento inevitable de las aguas negras descargadas en cuerpos receptores sin previo tratamiento, contaminándolos seriamente con el paso del tiempo debido a la insuficiencia de llevar a cabo a la auto purificación de los desechos líquidos acumulados.

Esto dio lugar a la modificación de sus características propias como; aglomeración de sólidos en el fondo de los cauces, proliferación de microorganismos patógenos, aumento de compuestos tóxicos, eutrofización, muerte de flora/fauna, eliminación de oxígeno disuelto y producción de olores desagradables por la descomposición de materia orgánica, dando origen a condiciones insalubres que ocasionan enfermedades graves e incluso la muerte. Por tal motivo, es de vital importancia tomar cartas en el asunto y contribuir al saneamiento ambiental, mediante sistemas que permitan afrontar el problema en sus propias y actuales dimensiones.

En el tratamiento de aguas residuales el objetivo principal es de eliminar su poder nocivo, de tal manera que su uso o disposición final (Tabla 3), pueda ocurrir de acuerdo con las reglas y criterios establecidos por las autoridades legislativas correspondientes, con la finalidad de proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de una sociedad, al reducir la concentración de los contaminantes más importantes.

Tabla N° 3: Reúso de las aguas residuales.

CLASIFICACION GENERAL DE REÚSOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	
Agrícola	Para productos que se consumen crudos
	Para productos que se consumen cocidos o procesados
Industrial	Para enfriamiento
	Para proceso
	Para servicios
Recreativo	Con contacto directo
	Sin contacto directo
Municipal	Para riego de área verdes
	Para Limpieza de calles e hidratantes
Acuicultura	Para cultivos y especies de interés comercial
	Para cultivos y especies de interés ecológico
Recarga de Acuíferos	Por infiltración superficial
	Por inyección directa
Intercambio	Sectorial
	Regional

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2000).

2.1.6. Aguas residuales urbanas

La composición media de un agua residual urbana se esquematiza en la figura 1, las cuales provienen de distintas fuentes dependiendo de las diferentes costumbres de cada

población aportante. En la práctica se asemeja a un agua residual municipal, aunque recientemente algunas veces el 50 %. (Alaerts, 1995).

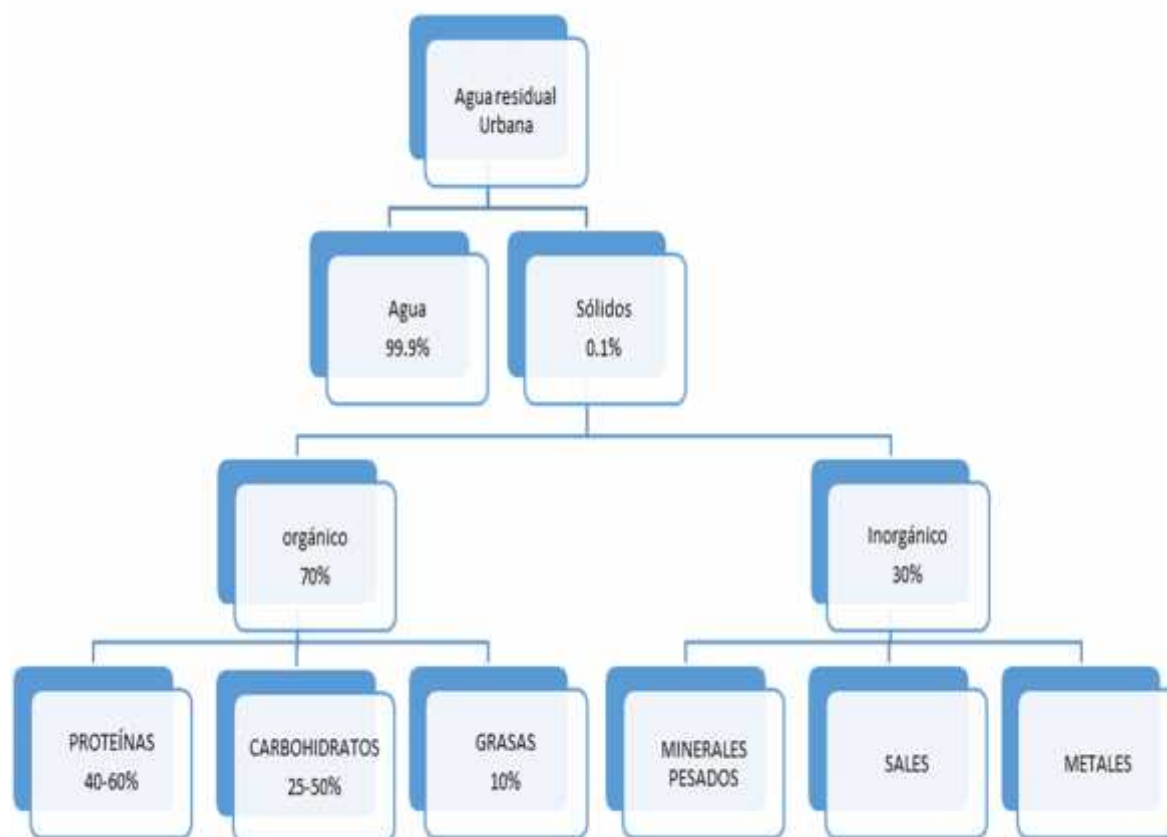


Figura N° 1: Composición media de un agua residual urbana (Metcalf & Eddy., 1985, 1995).

2.1.7. Contaminantes en agua residual urbana

Los parámetros individuales presentes en las aguas residuales urbanas, se muestran en la tabla 4, donde se clasifica como fuerte, media o débil, de acuerdo a la concentración de sus diferentes contaminantes, lo cual varía con la hora, semana, mes del año, tamaño de la población y otras condiciones locales. Estos constituyentes en su conjunto provocan un impacto a la salud humana y al hábitat acuático, por tal motivo existe una importancia relevante desde el punto de vista del saneamiento ambiental, la necesidad del tratamiento de las aguas residuales que incluya la reducción de los contaminantes más significativos.

Tabla N° 4: Composición típica de las aguas residuales urbanas.

Constituyente	Concentración			
	Unidades	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/L	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	850	500	250
Fijos	mg/L	525	300	145
Volátiles	mg/L	325	200	105
Sólidos Suspendidos	mg/L	350	220	105
Fijos	mg/L	75	55	20
Volátiles	mg/L	275	165	80
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	400	220	110
Carbono Orgánico Total	mg/L	290	160	80
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000	500	250
Nitrógeno Total	mg/L	85	40	20
Orgánico	mg/L	35	15	8
Amoniaco libre	mg/L	50	25	12
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo total	mg/L	15	8	4
Orgánico	mg/L	5	3	1
Inorgánico (orto fosfatos)	mg/L	10	5	3
Cloruros	mg/L	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	200	100	50
Grasa	mg/L	150	100	50
Sulfatos	mg/L	34	22	12
pH	Unid.	7.88	SD	SD

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2000).

2.1.8. Materia sólida en el agua residual urbana

La materia sólida del agua residual urbana está presente tanto en forma disuelta como particulada (suspensión). Se distinguen tres tipos de sólidos en el agua: totales, fijos y volátiles. La materia sólida permite valorar la concentración y el estado físico de los constituyentes del agua residual urbana. Es importante determinar la presencia de aquellos sólidos que por su naturaleza le comunican propiedades indeseables al agua. Su concentración permite predecir el mayor o menor grado de depuración que puede obtener, de acuerdo con la eficiencia de las distintas etapas de tratamiento. La figura 2, muestra los distintos tipos de sólidos presentes en una muestra de agua residual urbano.

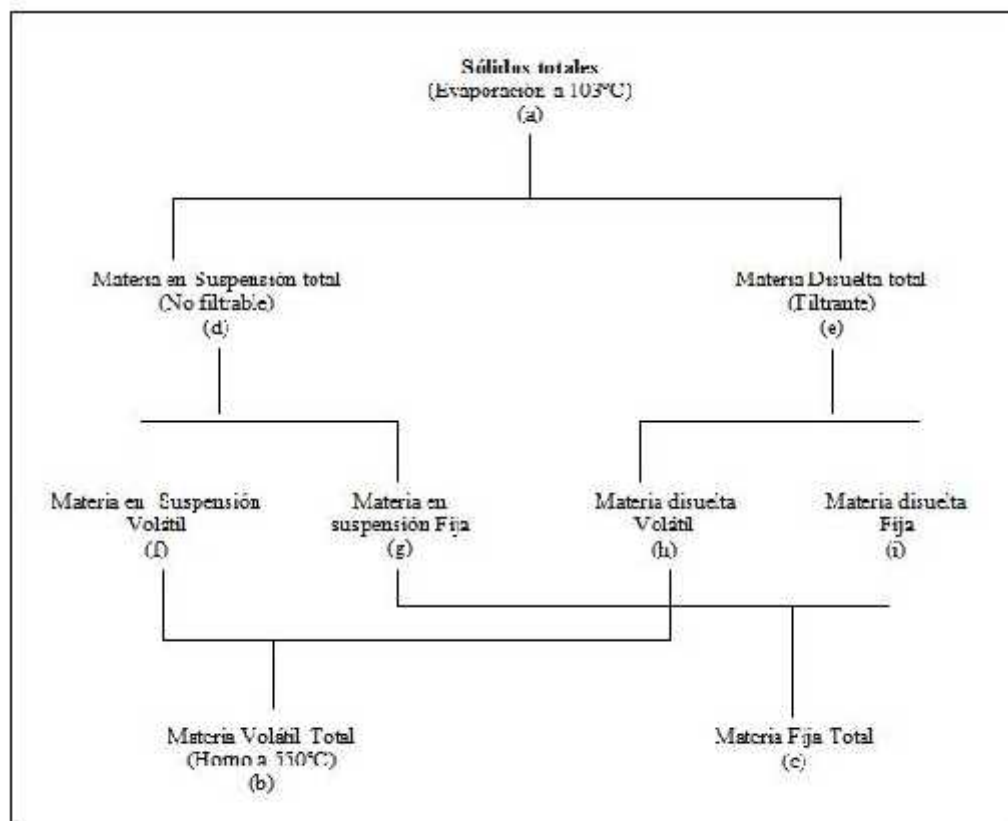


Figura N° 2: Clasificación de los diferentes tipos de materia contenida en un agua residual, adaptado por Droste, (1997).

Siendo: $a=b+c$; $b=f+h$; $c=g+i$; $e=h+i$

Las sustancias obtenidas por decantación, filtración o centrifugación de una muestra de agua residual doméstica, corresponden a la Materia En Suspensión (MES), mientras que aquellas que no pueden separarse por estos métodos y pasan a través del papel filtro (0,45 μ m) se denominan materia disuelta. La materia en suspensión constituye la contaminación más fácil de eliminar del agua, siendo la sedimentación el principal mecanismo de eliminación. (Horan, 1993).

Tanto la materia disuelta como la particulada, están compuestas por materia orgánica e inorgánica. La incineración de 550 °C permite diferenciarlas, pues la pérdida de materia por incineración representa el contenido inorgánico o mineral. La materia soluble de un agua residual está compuesta mayoritariamente por materia inorgánica, mientras que la materia en suspensión es predominante de naturaleza orgánica (Horan, 1993).

Aun cuando los resultados de los residuos (total, fijo y volátil) están sujetos a errores apreciables a causa de la pérdida de compuestos volátiles durante la evaporación (dióxido de carbono, volátiles en la incineración y óxido de calcio en las cenizas), son los más representativos, junto con la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), para estimar el contenido de materia mineral y orgánica de los vertidos líquidos (Rivas, 1978).

2.1.9. Compuestos orgánicos del agua residual urbana

La materia orgánica está constituida por una fracción particulada y una fracción disuelta. La materia volátil ofrece una estimación del contenido de materia orgánica de un agua residual. Sin embargo, para obtener una información más precisa es necesario evaluarla mediante oxígeno requerido para oxidar completamente la materia orgánica a CO_2 , NH_3 .

La presencia de oxígeno disuelto en las aguas residuales urbanas es vital para mantener las distintas formas de vida. La mayoría de los compuestos orgánicos pueden servir de alimento para las bacterias y otros microorganismos, que obtienen la energía necesaria para sus funciones vitales y para la síntesis celular, a partir de la oxidación de la materia orgánica, que puede llegar a agotarlo, produciendo un efecto negativo sobre la vida acuática y propiciando condiciones sépticas (Droste, 1997).

Los compuestos orgánicos del agua residual tienen al menos un átomo de carbono en su estructura, por lo que también se les conoce como compuestos carbonosos. Estos átomos pueden ser oxidados tanto químicos como biológicos para producir dióxido de carbono (CO_2). El método de determinación de materia orgánica mediante su oxidación biológica se denomina demanda bioquímica de oxígeno (DBO); mientras que el método basado en una oxidación química se denomina demanda química de oxígeno (DQO) o demanda total de oxígeno (DTO), dependiendo del agente químico empleado y de la naturaleza de las condiciones de oxidación (Horan, 1993).

Para valorar la carga orgánica de una Estación Depuradora de Aguas Residuales convencional (EDAR), así como su capacidad de eliminación de la materia orgánica se utiliza generalmente el ensayo de DBO_5 (Demanda bioquímica de Oxígeno, ejercida al cabo de 5 días de incubación en la oscuridad y a 20°C).

2.1.10. Compuestos inorgánicos del agua residual urbana

Los compuestos inorgánicos capaces de representar una amenaza seria de contaminación son pocos y además es factible realizar ensayos sencillos para detectar aquellos que resultan ser probablemente los más molestos. El nitrógeno y el fósforo son los compuestos inorgánicos más importantes para el control de la calidad de las aguas residuales. La mayor parte del nitrógeno y del fósforo total de un agua residual urbana se encuentra en su fracción soluble (nitratos, amonio, poli fosfatos y orto fosfatos).

El nitrógeno y el fósforo presentes en los cursos de agua provienen de diferentes fuentes, como por ejemplo los fertilizantes artificiales y los desechos ganaderos aplicados en la agricultura, los efluentes industriales y en particular los efluentes de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales. El nitrógeno de los efluentes de las EDAR, proviene principalmente de las conversiones metabólicas de los compuestos derivados de los excrementos (ureas y proteínas), mientras que el 50 % o más de fósforo procede de los detergentes sintéticos (Horan, 1993).

El nitrógeno y el fósforo son nutrientes esenciales para el crecimiento biológico. El fósforo se asimila en forma de fosfatos, mientras que el nitrógeno puede ser asimilado tanto en forma de amonio como de nitrato, según el organismo de que se trate (Winkler, 1998).

Los organismos que se ocupan de la degradación de las corrientes de agua forman un sistema ecológicamente equilibrado. La descomposición de la materia orgánica produce anhídrido carbónico y consume oxígeno mientras que el crecimiento de los organismo fotosintéticos utiliza el anhídrido carbónico y produce oxígeno (Winkler, 1998).

2.1.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L). Aunque este método pretende medir exclusivamente la concentración de materia orgánica, puede sufrir interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros, etc.).

La DQO está en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc. Por eso, la obtención de los resultados y su interpretación no serán satisfactorios más que en condiciones metodológicas bien definidas y estrictamente respetadas (Morillo & Fajardo, 2005).

2.1.12. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como medida de oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra y como resultado de la acción de oxidación bioquímica anaerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de 3 tipos de materiales:

- a) Materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos.
- b) Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas.
- c) Compuestos químicos reductores, (iones ferrosos, sulfitos sulfuros) que se oxidan por oxígeno disuelto.

2.1.13. Sólidos Totales Disueltos (STD)

La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías:

Sólidos Totales: Sedimentables, suspendidos y disueltos.

Sólidos Suspendidos: porción retenida por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Sólidos Disueltos: porción que pasa por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Estos a su vez se dividen en fijos (quedan después de la ignición de la muestra) y volátiles (pérdida de peso de la muestra durante la ignición). La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos, que junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de la remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor.

Los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) representan la porción orgánica de los Sólidos Suspendidos Totales (SST); estos últimos representan el parámetro ambiental para el cobro de tasa retributiva.

2.1.14. Oxígeno Disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores también afectan los niveles de oxígeno disuelto; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de oxígeno disuelto en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de oxígeno disuelto debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende de la temperatura también. El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente. Una diferencia en los niveles de oxígeno disuelto puede detectarse en el sitio de la prueba si se hace la prueba temprano en la mañana cuando el agua está fría y luego se repite en la tarde en un día soleado cuando la temperatura del agua haya subido. Una diferencia en los niveles de oxígeno disuelto también puede verse entre las temperaturas del agua en el invierno y las temperaturas del agua en el verano. Asimismo, una diferencia en los niveles de oxígeno disuelto puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Además, los niveles de oxígeno disuelto a veces

se expresan en términos de porcentaje de saturación. Sin embargo para este proyecto, los resultados se reportan en ppm (CONASIN SRL, 2013).

2.1.15. El Potencial de Hidrógeno (pH)

Debido a las distintas poblaciones que intervienen en la producción de metano es posible que un reactor se acidifique. Esto puede ocurrir por una desincronización, ya que las bacterias acidogénicas pueden estar produciendo más ácido de lo que pueden consumir las bacterias metanogénicas. Esto sucede cuando se suministra de manera muy rápida o excesiva la cantidad de sustrato. El ácido puede inhibir a las bacterias productoras de metano y disminuir o detener completamente la producción del biogás. Si el equilibrio es alterado y se produce demasiados ácidos orgánicos, el pH del sistema caerá debajo de 6,6 y las bacterias productoras de metano morirán rápidamente sin producir el gas deseado. El rango óptimo de pH se encuentra entre 7,0 y 7,2.

Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos entre 7,2 y 7,4, los acetogénicos entre 6,5 y 7,5. Las bacterias metanogénicas disminuyen su actividad si el pH aumenta por encima de 7,8. Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los ácidos grasos volátiles presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un reactor de acidificación, el pH de este efluente estará entre 4,5 y 6 (Conil, 2000).

2.1.16. Salinidad

El uso doméstico produce un incremento en el contenido en sales propio del agua de abastecimiento usada que suele estar entre: 150-400 mg/L. Este aumento no se altera con la depuración y eso hace que las aguas residuales puedan presentar problemas de salinidad.

El término salinidad representa la cantidad y el tipo de sales disueltas en el agua de riego y su valor se determina mediante la medida de la conductividad eléctrica de la solución. La conductividad eléctrica aumenta al aumentar la salinidad de la solución.

A medida que aumenta la salinidad del agua utilizada para regar, también lo hace la posibilidad de que aparezcan problemas en el suelo, en el agua o en el cultivo agrícola como consecuencia de los efectos osmóticos que la alta concentración salina provoca (en las zonas radicales afecta al flujo de agua en el sistema suelo-planta). Estos problemas

pueden guardar relación con el contenido total de sales, con el contenido de uno o varios tipos de sales o con concentraciones excesivas de uno o varios micro elementos, es pues, uno de los parámetros individuales más importantes para determinar la idoneidad de un agua de riego.

Siempre que se riega se aportan sales al suelo, lo que se debe tener en cuenta es la acumulación de estas, la cual depende de la cantidad de sales aportadas por el agua de riego y de la cantidad de sales eliminadas por el lavado del suelo. A largo plazo las sales aportadas han de igualar las sales eliminadas. La eliminación se facilita por el hecho que la mayoría de sales que se aportan con una agua de riego son solubles y por tanto se arrastran fácilmente con el agua que el cultivo utiliza de un riego, y que de esta manera lava el suelo (es importante un buen drenaje para un movimiento continuo del agua y de las sales). Establecer un flujo descendente tanto de agua como de sales, a través de la zona radicular es la única manera de resolver el problema de la salinidad.

La gestión del riego y, por tanto, la determinación de la fracción de lavado adecuada, variará mucho según el grado de capacidad de drenaje del suelo; en casos de salinidad fuerte la gestión será intensa y puede dar lugar a decisiones que supongan hasta un cambio en el cultivo utilizado, ya que en ciertos cultivos estas aguas pueden suponer reducciones de productividad importantes incluso utilizando la mejor técnica de gestión posible.

2.1.17. Temperatura

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15 °C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15 °C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura pueden subdividirse en tres categorías: psicofílico (0 a 20 °C), mesofílico (20 a 40 °C) y termofílico (45 a 65 °C). Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. En el rango mesofílico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10 °C de descenso por debajo de 35 °C.

Los cambios de temperatura en el intervalo mesofílico pueden tolerarse normalmente, pero cuando la temperatura desciende la carga también debe disminuirse de acuerdo con el descenso de la actividad esperada.

2.1.18. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad es un parámetro de medición reconocido e imprescindible para el análisis de aguas residuales, brutas y el análisis de procesos industriales. Los sistemas de medición de operación continua se utilizan entre otras cosas para vigilar las cargas de sal en las entradas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, en el control de calidad de agua potable y ultra pura o para la determinación de impurezas no específicas en procesos industriales.

La conductividad eléctrica es un parámetro acumulativo de la concentración de iones de una solución. Mientras más sales, ácidos o bases se encuentren disociados en una solución, más alta será su conductividad, al ser los iones de las sales disueltas la causa de la conductividad en las aguas brutas y residuales, con ayuda de este parámetro es posible determinar tanto la concentración de sal en aguas residuales como el grado de pureza del agua. En la producción industrial la conductividad se utiliza por ejemplo en el control de procesos en las industrias farmacéuticas y de alimentos.

La conductividad se mide en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y esta unidad es el producto de la conductancia de la solución y la constante de geometría de la celda conductimétrica. La escala de conductividad de soluciones acuosas comienza con un valor de $0,05 \mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C) para el agua ultra pura. La conductividad de aguas naturales como el agua potable o aguas de superficie oscila entre $100 - 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. En el extremo superior de la escala quedan algunos ácidos y bases.

2.1.19. Generación de Aguas Residuales Domésticas de la ciudad de Puno

El total de descargas de aguas residuales sin tratamiento de la ciudad de Puno es más de 200 L/s. según SENAPA, la cuarta población (más de 23 625 habitantes) de la ciudad de Puno, que tienen conexión de alcantarillado, contribuyen con una carga orgánica de 1,276 kg/día. La mayoría de las descargas provienen de los desechos domésticos (82%), el 17% comercial y el 1% industrial.

Las máximas descargas de aguas residuales suceden entre 8 am y las 3 pm y los caudales mayores provienen durante las lluvias intensas; con las primeras lluvias descargan grandes cantidades de residuos sólidos a la bahía de Puno, acumulados durante la época seca.

Los principales contaminantes del agua dulce son las aguas residuales domésticas, en la ciudad de Puno principalmente procedentes de los desagües, estos se caracterizan porque contiene una serie de contaminantes, tales como materia orgánica, sólidos inorgánicos, nitrógeno, fósforo, metales pesados, cloruro, sulfatos, microorganismos, etc. La composición de un desagüe depende de su origen (desagüe residual doméstico, industrial, mixto, etc.), conocer la naturaleza de las aguas residuales es la base para el diseño y la operación de un sistema de tratamiento y disposición final.

2.1.20. Fundamentos del proceso RAFA

El desarrollo de tecnologías anaerobias para el tratamiento de fangos y residuos de alto contenido de materia orgánica se ha incrementado en los últimos 10 años. En condiciones anaerobias suelen ocurrir procesos como la desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica. La conversión de la materia orgánica presente en el agua residual en metano es realizada por una comunidad microbiológica heterogénea compuesta por dos bacterias: **No Metanogénicas y Metanogénicas.**

La relación simbiótica que debe mantener el grupo de bacterias conserva una asociación sintrófica ya que las bacterias acetogénicas conocidas como bacterias productoras obligadas de Hidrógeno producen Acetato e Hidrógeno, el cual es utilizado por las bacterias metanogénicas y hidrogenoflicas.

Los métodos de tratamiento anaerobio se han desarrollado en dos líneas.

1. Bajas tasas de aplicación (Digestores de Biogás, Tanques Sépticos, Lagunas Anaerobias).
2. Altas tasas de Carga Orgánica (Reactores con Crecimiento Celular en Suspensión, Reactores con Biopelícula Fija).

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y manto de lodo describe un reactor de Biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

2.1.21. Tamaño y Forma de Gránulos

La formación de los gránulos es una importante condición para el servicio eficiente y económico en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Puntos de toma de muestras colocados espaciadamente a lo largo de las alturas de los reactores anaerobios permiten la recolección de lodo, para determinación de la concentración de sólidos.

Los reactores anaerobio de flujo ascendente (RAFA) forman gránulos que son densos conglomerados de microorganismos, el buen desarrollo del lodo granular con una alta fuerza física y buena velocidad es óptimo para el trabajo de un reactor de este tipo. Las ventajas del lodo granular son alta velocidad de sedimentación, fácil asociación de microorganismos para obtener niveles apropiados de sustrato, capacidad de separar la fase líquida y gaseosa por tener altas velocidades.

Un grano de lodo es un agregado de microorganismos formado durante el tratamiento de agua residual en un ambiente con un régimen de flujo hidráulico aproximadamente constante. Sin ningún apoyo, las condiciones de flujo creadas son selectivas para un ambiente en la cual solo estos microorganismos viven y se proliferan.

Se pueden desarrollar diferentes formas de lodo granular, tales como bastón, filamentosos y "con puntas", esto depende de varios aspectos como son la composición del sustrato y la naturaleza de la puesta en marcha.

Para determinar el tamaño y la forma de un lodo, inicialmente se realiza un análisis microscópico de una muestra representativa de cada punto de muestreo seleccionado en el sistema. La muestra previamente lavada, ya que el color oscuro del lixiviado impide la correcta observación de la distribución de los gránulos. Se determina un promedio del tamaño medio observado midiendo su longitud en importancia y además se realiza un

sondeo de las diferentes formas que el lodo presenta. Esta forma de interpretación permite un estudio bidimensional de la forma.

2.1.22. Digestión Anaerobia

El proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular. En ella se obtiene como subproducto el denominado biogás (metano, dióxido de carbono, hidrogeno, amoniaco y sulfuro de hidrogeno).

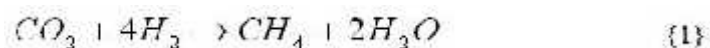
Dicho proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosas especies de microorganismos, que son los intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica en sustratos simples fermentables por las bacterias metanogénicas.

En general, las bacterias son incapaces de alimentarse de material complejo por lo que las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) son hidrolizados previamente por enzimas extracelulares a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos). Esta hidrólisis ayuda a que el material particulado y los polímeros orgánicos que componen las aguas residuales puedan ser asimilados por las bacterias e incorporados a sus procesos metabólicos, así:

-) Proteína a aminoácidos.
-) Carbohidratos a azúcares.
-) Lípidos a ácidos grasos y alcoholes.

Los productos de estas reacciones son acetato, hidrógeno, biomasa y productos intermediarios como propianato y butirato. Estos últimos son degradados a acetato e hidrógeno por un grupo de bacterias conocidas OHPA (Obligate Hydrogen Producing Acetogen) las cuales viven en relación sintrófica con las bacterias metanogénicas utilizadoras de hidrógeno. Estos dos compuestos son finalmente, los sustratos de las bacterias metanogénicas, que se dividen en dos grupos tróficos:

Bacterias Metanogénicas Hidrogenofílicas: Utilizan el hidrógeno generado para reducir el CO_2 . Desarrollándose mediante la siguiente ecuación (1).



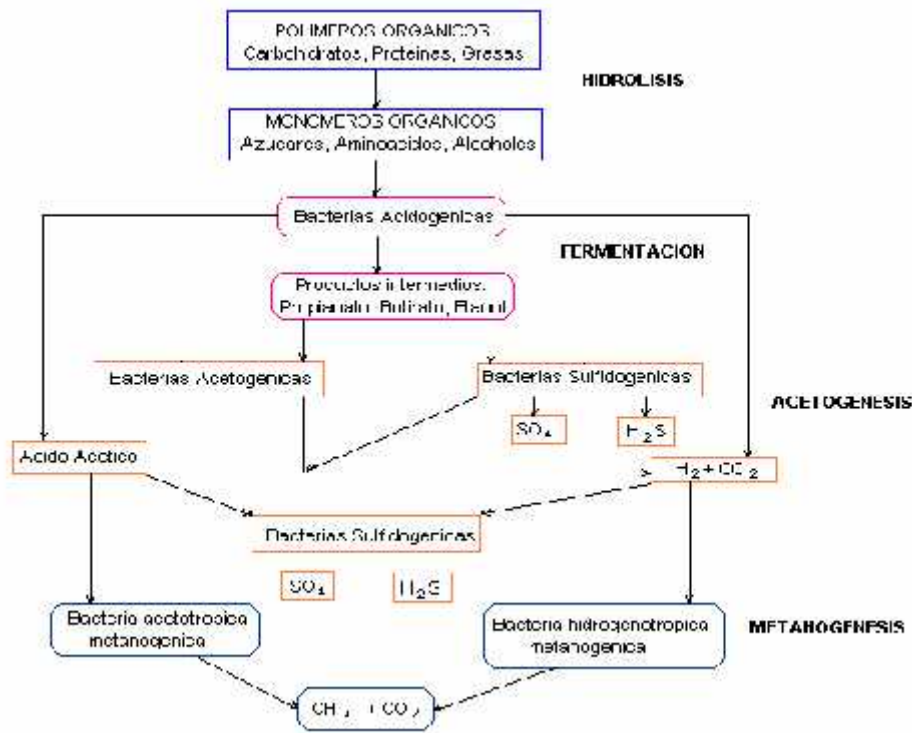
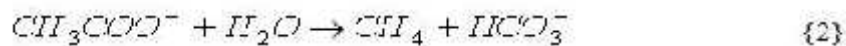


Figura N° 3: Diagrama de flujo de sustrato durante la degradación anaeróbica.

Bacterias Metanogénicas Acetoclástica: Transforman el acetato en CH_4 . Esta transformación constituye el 70% de la producción de metano generado en los reactores.



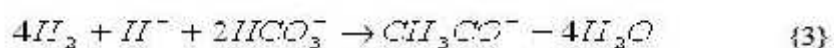
Seis procesos de conversión pueden ser identificados en la digestión anaerobia que son:

1. Hidrólisis de Biopolímeros (proteínas, carbohidratos y lípidos).
2. Fermentación de aminoácidos y lípidos.
3. Oxidación B-anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.
4. Oxidación anaerobia de productos intermedios como ácidos volátiles (excepto acetato).
5. Conversión de acetato a metano.
6. Reducción de CO_2 a CH_4 .

a) *Hidrólisis y Fermentación*, Son las etapas iniciales de la digestión anaerobia donde los biopolímeros son fragmentados por la acción de enzimas hidrolíticas en moléculas más pequeñas

b) **Acetogénesis**, Durante esta etapa las bacterias conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno (OHPA)“, convierten los productos de la fermentación en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. Estos organismos utilizan los ácidos grasos o alcoholes como fuente energética.

c) **Homoacetogénesis**, Dentro de la acetogénesis, existe un grupo de bacterias que pueden transformar la mezcla de H_2 y CO_2 , y algunos azúcares como la glucosa y fructuosa en acetato. La reacción correspondiente es:



d) **Metanogénesis**, La última etapa de la digestión anaerobia se lleva a cabo por la actividad de un grupo de bacterias conocidas como, bacterias metanogénicas. Los representantes de este grupo son anaerobios estrictos.

2.1.23. Caudal, carga orgánica volumétrica y tiempo de retención hidráulico

El caudal es físicamente de gran importancia ya que mide la velocidad superficial del líquido en el interior del reactor, condicionando la sedimentación y por lo tanto, la retención de biomasa. En ocasiones un incremento en el caudal conlleva a un aumento de carga orgánica aplicada, este se mide en volumen por unidad de tiempo. El tiempo de retención hidráulico se expresa en unidades de tiempo, y es el caudal de afluente por unidad de volumen efectivo del reactor, este tiene gran importancia ya que afecta la producción de lodos dentro del reactor.

2.1.24. Perfil de lodos

Es una medida de la concentración de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles y su relación con la altura del reactor, permite el cálculo de la cantidad absoluta de lodo en el reactor. Este valor junto con la actividad metanogénica específica, delimita la carga máxima (Kg DQO/m³dia) aplicable al sistema después de alcanzada la estabilidad en el reactor, la actividad del lodo permanecerá constante, pero el contenido de lodo aumenta regularmente.

Cuando el reactor llega a un estado estable el lodo se divide en lecho (altas concentraciones de sólidos) y manto de lodos (originado por el flujo ascensional). Algunas características de los tipos de lodos son:

- a) **Lodo disperso:** No hay agregación de partículas en el lodo, no presenta cambio importante en propiedades de sedimentación (velocidad de sedimentación 0,05 0.2 *m/h*).
- b) **Lodo floculento:** Agregado en flóculos sueltos con propiedades intermedias resedimentación (2 *m/h*)
- c) **Lodo granular:** Agregado en gránulos compactos de 0,5 a 3 *mm* de diámetro (velocidad media de sedimentación 50 *m/h*).

El lodo crudo se clasifica como un lodo disperso con una relación $SSV/SST = 0,5$ que presenta poblaciones muy bajas de bacterias metanogénicas y a las bacterias sulfato reductoras como población dominante. Con estos valores de relación, el lodo tiene una categoría de disperso y no se presenta cambios relevantes en la relación SSV/SST .

La obtención de un perfil de lodos (relación de la concentración de SSV y SST), a lo alto y largo del reactor y la utilización de un sistema sencillo de integración permite el cálculo de la cantidad absoluta de lodo en el reactor; este parámetro de control es fundamental ya que permite darse cuenta del estado y características del lodo en el reactor, además de conocer su comportamiento cuando se establecen variaciones en su funcionamiento.

2.1.25. Sedimentación

La sedimentación es la separación de las partículas más pesadas en el agua mediante acción de la gravedad. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Este tratamiento tiene como propósito fundamental obtener un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango con una concentración de sólidos que pueda ser tratado con facilidad.

En algunos casos, la sedimentación es el único paso en el tratamiento que se somete el agua residual. En una planta típica de lodos activados la sedimentación se efectúa en tres pasos:

Desarenadores, en donde la materia orgánica se elimina.

Sedimentadores primarios, que preceden al reactor biológico en donde los sólidos orgánicos y otros se separan.

Sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales el lodo biológico se separa del efluente tratado.

En base a la concentración y a la tendencia a la interacción de las partículas pueden efectuarse cuatro clasificaciones generales sobre la forma de dichas partículas que se depositan. Es frecuente que se produzca más de un tipo de sedimentación en un momento dado durante la sedimentación y también es posible que los cuatro tipos se tengan en forma simultánea.

a) **Sedimentación del tipo 1**

Esta se refiere a la sedimentación de partículas discretas en una suspensión de sólidos de concentración muy baja. Las partículas se depositan como entidades individuales y no existe interacción significativa con las partículas más próximas. Un ejemplo típico es una suspensión de partículas de arena. Este tipo de sedimentación también se le conoce como sedimentación libre.

b) **Sedimentación del tipo 2**

Se refiere a una suspensión diluida de partículas que se agregan, o flocculan durante la sedimentación.

Para determinar las características de sedimentación de una suspensión de partículas puede utilizarse una columna de sedimentación, en los cuales los orificios de muestreo deben colocarse a una distancia alrededor de 0,5m. La solución con materia suspendida se introduce a la columna de tal modo que se produzca una distribución de los tamaños de las partículas en todo el tubo.

La temperatura durante el proceso es uniforme a lo largo de todo el ensayo, a fin de eliminar las corrientes de convección. La sedimentación deberá tener lugar en condiciones de reposo. A distintos intervalos de tiempo, se retiran las muestras de los orificios y se analizan para ver el número de sólidos en suspensión.

2.1.26. Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación indica la rapidez con que se sedimenta el lodo expresado en m/h. La elevada velocidad de sedimentación es determinante para mantener altas concentraciones de lodo biológico dentro del reactor.

En los tratamientos de aguas residuales por medio de lodos biológicos con sistemas en los que los procesos naturales son intensificados y concentrados que se puede obtener mediante la retención de altas concentraciones de lodos biológicos bajo un tiempo de retención hidráulico relativamente corto.

En un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) la retención de lodos se efectúa de dos maneras diferentes:

Mediante la selección permanente de lodos con alta sedimentabilidad en el Reactor de Flujo Ascendente.

Mediante un separador Gas – Líquido – Sólido en la parte superior del reactor.

Por lo tanto la sedimentabilidad del lodo en un RAFA es un dato importante en la evaluación de su comportamiento permitiendo evaluar más detalladamente la forma y crecimiento del lodo respecto a la altura del reactor.

En los reactores anaerobios, existen gránulos de lodo, con ciertas propiedades de sedimentación que permiten una mezcla mecánica por las mismas fuerzas de flujo; los procesos de mezcla inducen a la formación de lodo granular, que presenta propiedades como: Alta velocidad de sedimentación (2 - 90 m/h), Alta fuerza mecánica, comunidad microbiana balanceada, resistencia a descargas tóxicas.

Cuando un lodo es liviano y se lava con facilidad favorece la producción o crecimiento de biomasa. Las caracterizaciones de un lodo pueden variar de acuerdo con el tipo y el contenido de sólidos, por tanto la forma de manipular un dispositivo de muestreo depende de las propiedades físicas del lodo.

El lodo granular sedimenta extremadamente rápido y deja el agua completamente clarificada en pocos minutos, un lodo floculante empezará a clarificar en un tiempo mayor comparado con el lodo granular.

2.2. MÉTODO DE DISEÑO Y SELECCIÓN

El método utilizado en el diseño y construcción del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) para la purificación de aguas residuales urbanas se desarrolló de acuerdo al flujograma de actividades presentado en la Fig. 4.

2.2.1. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)

El reactor de flujo ascendente, o también conocido como RAFA es un reactor para tratamiento de aguas residuales del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el efluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad del reactor. El agua residual que ingresa ascendiendo, atravesando por un manto de lodos conformados por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe una campana que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el pos tratamiento los tiempos de permanencia son relativamente cortos.

Este reactor ha sobresalido debido a la alta calidad del efluente producido y al relativo bajo costo del tratamiento de las aguas residuales de baja y mediana carga orgánica; también ampliamente aplicado al tratamiento de aguas residuales complejas con alta carga orgánica en forma de lixiviados.

Los resultados obtenidos de las experiencias a escala piloto y escala real efectuadas en varias partes del mundo, proporcionaron avances importantes en el desarrollo del proceso y tecnología del tratamiento anaerobio. El éxito de estas experiencias, junto a los beneficios presentados por el proceso como la ausencia de equipos de control sofisticados, moderada producción de residuos del proceso (lodos), menor consumo energético y producción de metano (combustible de alto poder calorífico), han establecido al reactor de flujo ascendente (RAFA) como una opción de tratamiento para una amplia variedad de residuos líquidos.

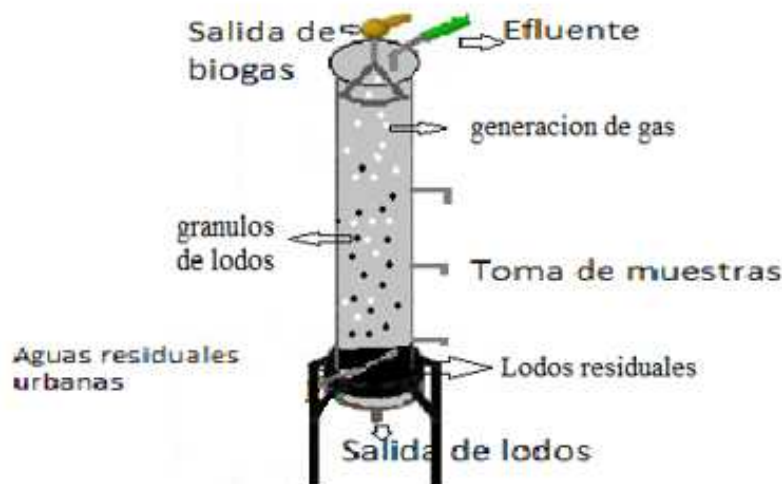


Figura N° 4: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).

En el reactor existe una zona de reacción compartida internamente y un separador de biogas. El agua residual se distribuye en todas las secciones de reacción y en el manto de lodos, en esta sección los contaminante organicos son convertidos en biogás. El biogás provee una adecuada mezcla en el lecho y se recolecta en las tres fases. Trabaja con altas concentraciones de biomasa del orden $20 - 30 \text{ kg biomasa} / \text{m}^3$ ($5\text{kgDQO}/\text{m}^3$) o mejores y con tiempos de retencion hidraulica de 10 horas.

Cuando un reactor RAFA ya está funcionando a plena capacidad y el lodo es activo, se establecen dos partes definidas: El lecho donde se encuentran las altas concentraciones de sólidos y el manto de lodos producido por el flujo ascensional del afluyente a través del lecho por la mezcla que establece el gas producido en el lodo. El manto de lodos es la zona de mayor turbulencia en la que se encuentran partículas que sedimentan y otras que ascienden hasta que se liberan del gas y sedimentan.

Ventajas del RAFA

- a) Menor producción de lodos.
- b) Produce gas metano, que puede ser utilizado como fuente de energía para el alumbrado e incluso para calentar el propio reactor y favorece la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.
- c) Menores costos de operación.

- d) Convierte el 95 % del Carbono en biogás, 5 % es transformado en biomasa microbiana.
- e) El 90 % de la energía es retenida como CH₄, del 5 – 7 % es almacenada en la biomasa.
- f) No requiere energía.
- g) Acepta altas cargas orgánicas.
- h) Degrada compuestos poli clorados.
- i) Requerimiento bajo de nutrientes.
- j) Requiere pequeña área superficial.
- k) El lodo anaerobio puede ser preservado (inactivo) por muchos meses sin serios deterioros.
- l) Una efectiva separación del biogás, desagüe y el lodo.
- m) El lodo anaerobio presenta una buena capacidad de sedimentación y principalmente, se desarrolla como un lodo granular.

Desventajas del RAFA

- a) Requiere largos periodos de arranque, si no se cuenta con lodo adaptado.
- b) No se recomienda para aguas con baja concentración de materia orgánica o aguas diluidas por lluvias.
- c) Por ser recientemente establecidos, tienen bajo desarrollo para aplicaciones específicas y existe poca experiencia práctica, sin embargo la situación respecto a esto está cambiando rápidamente.
- d) La digestión anaerobia normalmente requiere de un adecuado post-tratamiento para la remoción de DBO₅ remanente, amonio y compuestos de mal olor.

2.2.2. Síntesis del sistema de remoción de las aguas residuales urbanas

La síntesis del sistema de remoción de las aguas residuales urbanas se caracterizó por el siguiente procedimiento:

Primera etapa: Sub-sistema de Eliminación, que fue constituido por las rejillas de tamizado ubicadas en la laguna de estabilización de aguas residuales “Espinar”, que permitió la separación de material macroscópico (mayor o igual a 2cm de diámetro) con

el objeto de adecuar y eliminar toda probabilidad de daños físicos y/o mecánicos en el sistema de alimentación (Lettinga G. et al., 2000).

Segunda etapa: Sistema de Alimentación, que permitió suministrar continuamente las aguas residuales urbanas con la posibilidad de variar el flujo al siguiente sistema de tratamiento. (Caicedo Macedo, 2006)

Tercera etapa: Sistema de Tratamiento, que fue constituido por el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, el cual permite la interacción de las bacterias anaerobias con las aguas residuales urbanas para la posterior producción de Biogás, aguas residuales urbanas depuradas y la producción de Lodos. (Caicedo Macedo, 2006).

Cuarta etapa: Sistema de liberación, que fue constituido por una campana extractora de acero inoxidable y una red de tubería unidas a una válvula de cierre tipo bola que permitió la salida del biogás generado en el sistema de tratamiento para su posterior almacenamiento o utilización. (Caicedo Macedo, 2006)

Quinta etapa: Sistema de Recolección, que fue constituido por un tanque de acero inoxidable, que permitió el almacenamiento de aguas residuales urbanas depuradas tratadas en el sistema construido.

Sexta etapa: Sistema de Evacuación de sólidos, que permitió la evacuación de mantos de lodos que fueron producidos en el sistema de tratamiento.

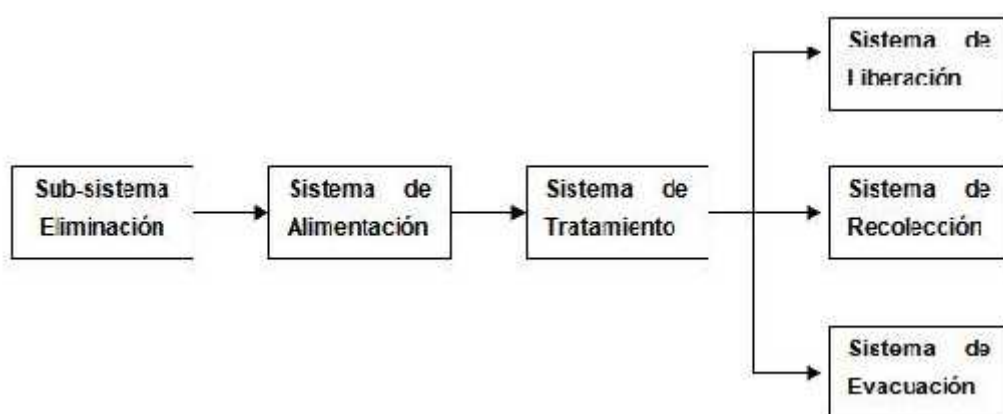


Figura N° 5: Diagrama de tratamiento integral de aguas residuales urbanas.

La secuencia mostrada presenta las principales etapas de síntesis del sistema de remoción de aguas residuales urbanas donde el núcleo principal resultó ser el RAFA.

2.2.3. Análisis del sistema integral a nivel piloto

El análisis integral se caracterizó por las siguientes etapas de acuerdo a la figura 5.

- a) **Subsistema de Eliminación**, se consideró como flujo de entrada el agua residual urbana cruda, que luego pasara por el subsistema y se obtendrán como flujos de salida el agua residual urbana liberada de material macroscópico mayor o igual a 2 cm
- b) **Sistema de separación de grasas y lípidos**, este sistema deberá ser implementado para evitar que las grasas y lípidos ingresen en el sistema de tratamiento para evitar contaminantes o que se realicen procesos no deseados en la remoción de aguas residuales urbanas.
- c) **Sistema de Alimentación**, se consideró como flujo de entrada el agua residual urbana el cual no pasara por ningún proceso manteniendo su composición fisicoquímica y microbiológica.
- d) **Sistema de Tratamiento**, se consideró como flujo de entrada el agua residual urbana libre de material macroscópico, de grasas y lípidos. De este sistema se obtendrán tres productos finales los que corresponden a biogás principalmente (CH_4), aguas residuales urbanas depuradas y lodos.
- e) **Sistema de Liberación**, se consideró como flujo de entrada el biogás metano (CH_4), producto del sistema de tratamiento anaerobio
- f) **Sistema de Recolección**, se consideró como flujo de entrada el agua residual urbana depurada sin grasa ni material macroscópico.
- g) **Sistema de Evacuación**, se consideró como flujo de entrada el lodo formado.

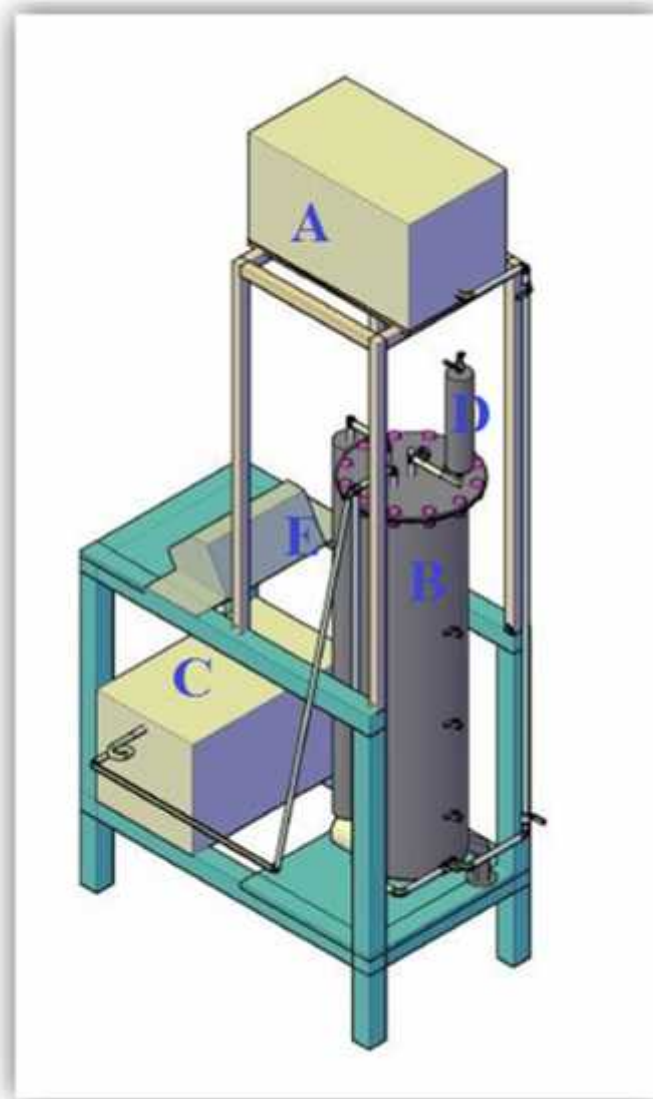


Figura N° 6: Sistema de remoción de aguas residuales urbanas en 3D.

La descripción del sistema integral a nivel piloto, es como sigue:

A: Tanque de almacenamiento de aguas residuales urbanas; **B:** Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente; **C:** Tanque de almacenamiento de aguas residuales urbanas depurada; **D:** Tanque de almacenamiento de biogás, **E:** Tablero de control de temperatura.

El sistema mostrado muestra la distribución completa del sistema con los accesorios necesarios para su funcionamiento, dentro de los cuales se encuentran el sistema de alimentación y el sistema de almacenamiento.

El método de análisis utilizado proporcionó el siguiente esquema para el agua residual urbana (ARU):

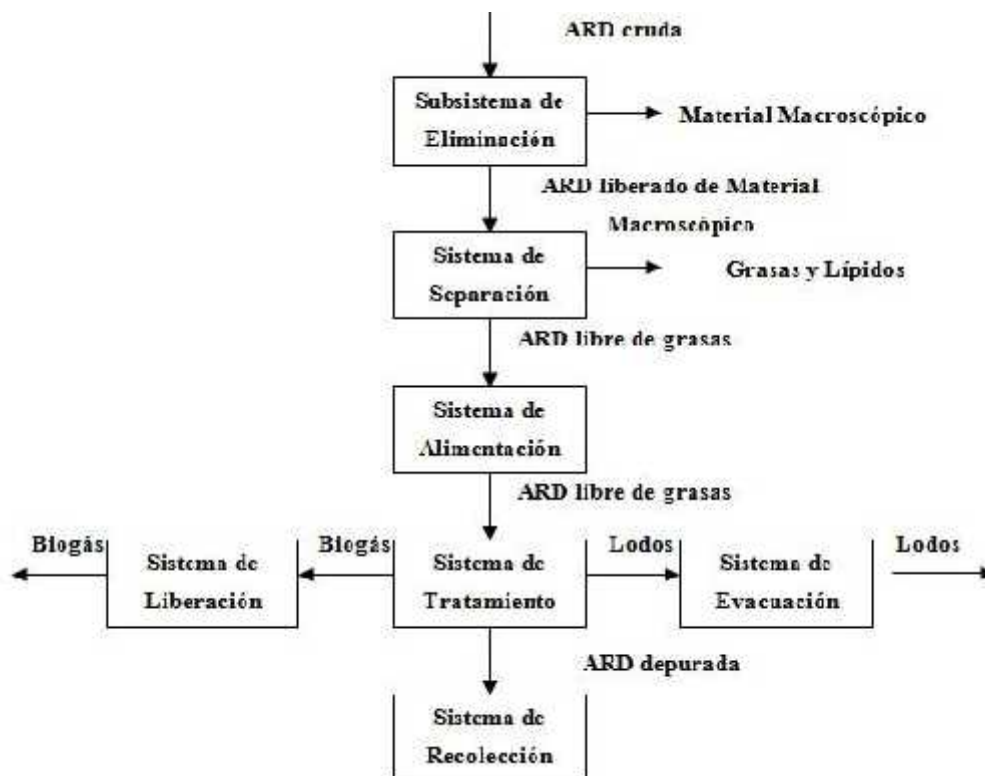


Figura N° 7: Esquema general de tratamiento de aguas residuales domésticas.

El tratamiento de aguas residuales urbanas denominado también doméstica, pasa por un sistema de eliminación donde el material macroscópico se elimina para evitar taponamientos en el sistema de alimentación, después pasa por un sistema de separación de grasas que tiene que ser implementado para mejorar el proceso, continua con el proceso de alimentación manejando la cantidad de flujo al ingreso del sistema de tratamiento. El cual por su parte producirá tres elementos para su utilización como son: el agua residual urbana tratada, Lodos a través de un sistema de evacuación y el Biogás con el sistema de liberación.

CAPÍTULO III

3.1. CÁLCULOS DE INGENIERÍA

3.1.1. Configuración geométrica

El Bioreactor se diseñó tomando como forma geométrica una columna cilíndrica la cual se seleccionó en virtud de las obvias ventajas hidrodinámicas como por ejemplo, la menor posibilidad de formación de zonas muertas, además del tamaño, volumen, carga y caudal.

3.1.2. Cálculo del balance de masa en un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

El balance de masa se define por las variaciones que ocurren durante una reacción en un determinado sistema cerrado o en alguna porción definida de una masa líquida.

En la mayoría de las aplicaciones del tratamiento de aguas residuales urbanas, la solución de las ecuaciones del balance de masa, puede ser simplificada considerando que es de interés la concentración resultante a largo plazo en el régimen permanente (Metcalf & Eddy, 1995):

$$\left(\frac{dM}{dt} \right)_A = \left(\frac{dM}{dt} \right)_E - \left(\frac{dM}{dt} \right)_S + \left(\frac{dM}{dt} \right)_R$$

$$V * \frac{dC}{dt} = Q * C_0 - Q * C - kC^n V \quad \{1\}$$

Donde:

V = Volumen del reactor

C₀ = Concentración en el afluente

Q = Caudal que entra o que sale del reactor

C = Concentración en el reactor y efluente

k = constante de remoción de materia orgánica

$\frac{dC}{dt}$ = Derivada de la concentración con respecto al tiempo

n = Orden de reacción

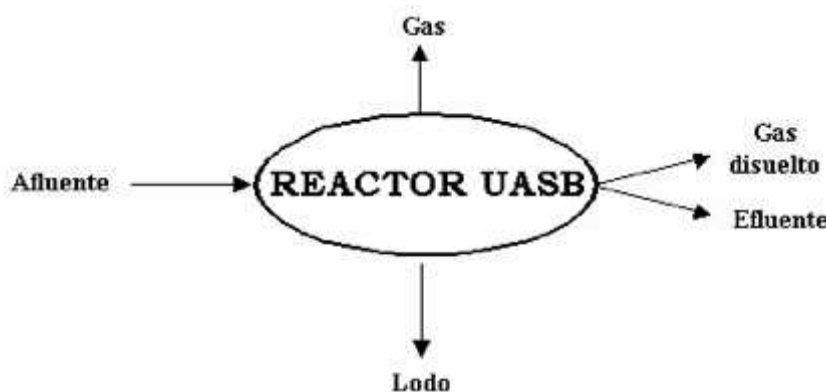


Figura N° 8: Esquema de los componentes del balance de masa de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Fuente: Lettinga et. al. (1980).

3.1.3. Cálculo basado en la carga orgánica y en el criterio de velocidad de flujo

Para la determinación de la velocidad de flujo ascendente como uno de los parámetros de diseño, se partió de variables conocidas tales como: Área y volumen del reactor a partir del diámetro y la altura efectiva, carga típica máxima de diseño y concentración promedio de las aguas residuales urbanas.

Se tomó como tiempo de residencia hidráulico inicial (TRH)₀ 0,8 días. El TRH puede ser 1, 0,9 y 0,8 días, pero por facilidad de seguimiento de las variables de proceso a nivel piloto es recomendable tomarlo como 0,8 día, y con base en estudios realizados en el Relleno Sanitario La Esmeralda (Caicedo F, Molina J, 2003) decidimos tomarlo menor a un día. Con estos datos se realizó el diseño de una manera satisfactoria, según la tabla 5.

Tabla N° 5: Variables conocidas y parámetros de diseño

Variables conocidas parámetros de diseño			
Diámetro de la tubería (cm)	Caudal		Tiempo de Residencia (d)
	Mínimo (mL/min)	Carga (KgDQO/m ³ d)	
14,5	12,5	3,78*10 ⁻⁵	0,8

Fuente. Elaboración propia según cálculo de ingeniería

3.1.4. Cálculo del dimensionamiento del RAFA para volumen y longitud total

➤ Área del Reactor :

$$A_R = \frac{Q}{v_s} \quad \{2\}$$

Donde:

A_R = Área del Reactor (m^2)
 v_s = Velocidad superficial (m/h)
 Q = Caudal (m^3/h)

- **Volumen Del Reactor** (Levenspiel, 2001):

$$V_R = T * Q \quad \{3\}$$

Donde:

V_R = Volumen del reactor (m^3)
 TRH = Tiempo de Residencia Hidráulica (h)
 Q = Caudal (m^3/h)

- **Altura Efectiva del Reactor** (Levenspiel, 2001):

$$L = \frac{4 * V_R}{H * D^2} \quad \{4\}$$

Donde:

L = Altura Efectiva del Reactor
 V_R = Volumen del reactor (m^3)
 D = Diámetro del reactor (m)

- **Flujo másico** (Levenspiel, 2001):

$$F = V_R * C \quad \{5\}$$

Donde:

F = Flujo másico
 Carga = $KgDBO_5/m^3d$

- **Carga hidráulica** (Levenspiel, 2001):

$$C_H = \frac{Q}{A_R} \quad \{6\}$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/h)
 A_R = Área del Reactor (m^2)
 C_H = Carga Hidráulica (m/h)

3.1.5. Cálculo del diseño de la campana separadora gas – líquido – sólido (G-L-S)

- **Velocidad de flujo en la campana** (Levenspiel, 2001):

$$V_F = 4(C_H) \quad \{7\}$$

Donde:

V_F = Velocidad de flujo (m/h)

C_H = Carga Hidráulica (m/h)

- **Campana separadora Gas—Sólido-Líquido (G-S-L)** (Levenspiel, 2001):

$$A_A = \frac{Q}{V_F} \quad \{8\}$$

Donde:

$A_{ABERTURA} = m^2$

Q = Caudal (m^3/h)

V_F = Velocidad de flujo (m/h)

- **Área de sección transversal de la campana** (Levenspiel, 2001):

$$A_{C.} = A_R - A_A = \pi R_C^2 \quad \{9\}$$

Donde:

R_C = Radio mayor de la campana (cm)

- **Ancho de la Abertura** (Levenspiel, 2001):

De la formula: $W_A = R_R - R_C \quad \{10\}$

Donde: W_A = Distancia de separacion entre la campana y reactor (cm)

R_R = Radio del reactor (cm)

R_C = Radio de la campana (cm)

Se asumio para el diseño, tanto el ancho minimo interno de la campana (H_T) y la altura tope del separador GLS sobre la superficie del liquido iguales a 2 cm. Por lo tanto:

$$W_G = R_R - W_A - 0,5(H_T) \quad \{11\}$$

Donde: W_G = Ancho de la abertura (cm)

R_R = Radio del reactor (cm)

W_A = Distancia de separacion entre la campana y reactor (cm)

➤ **Altura de la campana** (Levenspiel, 2001):

El ángulo de la campana sera de 60°.

$$H_G = W_A \operatorname{tang} \mathfrak{S} \quad \{12\}$$

3.2. VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE DISEÑO

3.2.1. Validación del diseño de reactor para distintos volúmenes y tiempos de residencia:

Volumen del Reactor para Tiempo de Residencia Hidráulica 0.8d:

$$V_R = T \cdot Q$$

$$V_R = 0.8d * \left(12,5 \frac{m}{m}\right) * \left(1\,440 \frac{m}{d}\right) = 1\,440\,000\,m^3$$

Volumen del Reactor para Tiempo de Residencia Hidráulica 0,9 d:

$$V_R = T \cdot Q$$

$$V_R = 0.9d * \left(12,5 \frac{m}{m}\right) * \left(1\,440 \frac{m}{d}\right) = 16\,200\,000\,m^3$$

Volumen del Reactor para Tiempo de Residencia Hidráulica 1.0 d:

$$V_R = T \cdot Q$$

$$V_R = 1.0d * \left(12,5 \frac{m}{m}\right) * \left(1\,440 \frac{m}{d}\right) = 18\,000\,000\,m^3$$

3.2.2. Validación de las ecuaciones de alturas efectivas del reactor

Altura Efectiva (L) con volumen 14 400 cm³

$$L = \frac{4 * V_R}{\pi * D^2}$$

$$L = \frac{4 * 14\,400\,cm^3}{\pi * (14,5\,cm)^2} = 87,2040\,cm$$

Altura Efectiva (L) con volumen 16 200 cm³

$$L = \frac{4 * V_R}{\pi * D^2}$$

$$L = \frac{4 * 16\,200 \text{ cm}^3}{\pi * (14,5 \text{ cm})^2} = 98,1045 \text{ cm}$$

Altura Efectiva (L) con volumen 18 000 cm³

$$L = \frac{4 * V_R}{\pi * D^2}$$

$$L = \frac{4 * 18\,000 \text{ cm}^3}{\pi * (14,5 \text{ cm})^2} = 109,0051 \text{ cm}$$

3.2.3. Validación de las ecuaciones de diseño y construcción del RAFA

Para el diseño del equipo se utilizó el programa Microsoft Excel 2013, realizando Spread Sheets, para determinar el área del RAFA, longitud total del reactor, el volumen específico, flujo másico, caudal, carga hidráulica, velocidad de flujo en la campana, área de abertura de campana, área de sección transversal de campana, etc. (Levenspiel, 2001):

Validación del diseño del RAFA para volumen y longitud total

- **Área del reactor (A_R):** Se utilizó ec. (2) para la determinación del Área total del reactor obteniéndose como resultado final:

$$A_R = 165,13 \text{ cm}^2$$

- **Volumen del reactor (V_R):** Se utilizó la ec. (3) para para la determinación del efectivo, trabajando con el tiempo de residencia. Llegando al siguiente resultado:

$$V_R = 14\,400 \text{ ml}$$

- **Altura efectiva del reactor (L):** Para la determinación de la altura efectiva del RAFA se trabajó con la ec. (4) y se obtuvo como resultado el siguiente valor:

$$L = 87,204 \text{ cm}$$

- **Flujo másico (F):** En la determinación de flujo másico se consideró la ec. (5) llegando a obtener el siguiente valor:

$$F = 0,0544 \text{ KgDBO}_5/\text{d}$$

- **Carga hidráulica (C_H):** Para la obtención de la carga orgánica se tomó la ec. (6) llegando a obtener el siguiente valor.

$$C_H = 0,0454 \text{ m/h}$$

Este resultado garantiza incrementos mayores de carga orgánica sin exceder la carga hidráulica típica, la cual es de 1 m/h

3.2.4. Diseño de la campana separadora Gas-Sólido-Líquido (G-S-L)

- **Velocidad de flujo en la campana (V_F):** Como fórmula básica para la determinación de la velocidad de flujo se utilizó la ec. (7) del capítulo de materiales y métodos, teniendo como resultado final el siguiente valor:

$$V_F = 0,1817 \text{ m/h}$$

- **Área de abertura de la campana:** Se utilizó la ec. (8) para la determinación del área de la abertura en la campana separadora G – L – S. y se obtuvo el siguiente resultado:

$$A_{\text{ABERTURA}} = 41,2768 \text{ cm}^2$$

- **Área de seccion transversal de la campana:** Se utilizo la ec. (9) obteniendo como resultado el siguiente valor.

$$A_{\text{CAMPANA}} = 123,8531 \text{ cm}^2, R_C = 6,3 \text{ cm}$$

Donde R_C es el radio mayor de la campana.

- **Ancho de la abertura (W_A):** El ancho de la abertura necesito la ec. (10) y su resultado asumirá para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana (HT) y la altura tope del separador GLS sobre la superficie del líquido iguales a 2.54 cm. Por lo tanto:

$$W_A = 5,03 \text{ cm}$$

- **Altura de la campana (H_G):** El ángulo elegido fue de 60° . Se utilizó la ecuación (12) para la determinación del altura y los resultados fueron:

$$H_G = 8,71 \text{ cm}$$

3.3. ESPECIFICACIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Dentro del contexto del trabajo de diseño y construcción de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) se presenta en este capítulo una descripción de los valores de laboratorio, dimensionales, principales materiales y métodos utilizados en su construcción y puesta en marcha. La construcción del equipo se ejecutará de acuerdo al diseño planteado, determinando el número de cuerpos, puntos de muestreo, entrada y salida de efluente y campana separadora necesaria para el RAFA se precedió a los planos presentados en el anexo VI (planos del RAFA).

3.3.1. Obtención de la muestra y análisis de aguas residuales domésticas y monitoreo del RAFA

En esta etapa de análisis de muestras de aguas residuales urbanas se ubicó como unidad de análisis a la laguna de estabilización “espinar”, instalación a donde llega un alto porcentaje de aguas residuales domésticas provenientes de la ciudad de Puno.

Las etapas de recolección de muestras de Aguas residuales urbanas se siguieron de acuerdo a recomendaciones establecidas en el protocolo de monitoreo de aguas, DIGESA (2006) (anexo III), y que consistió en los siguientes procedimientos:

Los frascos requeridos fueron de vidrio de 1 litro de capacidad, limpios y secos para evitar contaminación. Para determinar los parámetros fisicoquímicos medidos en campo (pH, Temperatura, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos,) se utilizaron frascos de vidrio de boca ancha de 1 litro de capacidad, los mismos que fueron registrados en la ficha de muestreo y cadena de custodia. Para otras características de los recipientes, volumen requerido y tipo de preservante se puede encontrar en el Anexo III de este documento (Protocolo de monitoreo de Aguas, DIGESA, 2006). La toma de muestra microbiológica se realizó a una profundidad de 20 a 30 cm., no fueron sometidos a enjuague, la toma de la muestra fue directa dejando un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de

muestreo. Para la toma de muestra Físicoquímica se llenó completamente el frasco e inmediatamente se selló para su refrigeración.

Se llenaron los registros de cada muestra recolectada (ficha de muestreo) e identificación de cada frasco (etiquetado), inmediatamente procedió al traslado hacia el Laboratorio de Control de Calidad – FIQ – UNA – PUNO, al igual que las pruebas de control de parámetros físicoquímicos. Las pruebas de monitoreo del funcionamiento del RAFA, se realizaron en el laboratorio de tecnologías de Aguas de la FIQ – UNA – PUNO, los mismos que corresponden a los periodos de prueba para la puesta en marcha del RAFA. Se debe indicar que para este procedimiento de muestreo el personal respetado los protocolos de seguridad y calidad de muestreo (uso de mandil, guantes de procediendo, lentes de seguridad y mascara filtro de gases),

3.3.2. Valores establecidos para el diseño del RAFA

Para el diseño y construcción del RAFA, se realizó la revisión literaria recolectada y de los resultados análisis de muestras de aguas residuales, a partir de esta información se tuvieron en cuenta varios factores y recomendaciones, llegando a las siguientes especificaciones:

Los materiales que se utilizaron en el caso del núcleo depurador (RAFA) serán íntegramente de acero inoxidable, incluyendo las válvulas, tuberías de $\frac{1}{2}$ pulgada y $\frac{1}{4}$ de pulgada, las bridas, pernos, tuercas y el cilindro se fabricara con acero inoxidable con un espesor de 3 mm

La altura efectiva del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) contó con las siguientes medidas: la longitud total es de 96 cm y el diámetro interno con 14,5 cm.

El Bioreactor fue diseñado con tres puntos de muestreo distribuidos a lo largo del reactor, ubicados a 12,5cm de distancia una de la otra para realizar la toma de muestra. Cuenta con las siguientes características: tiene una longitud total de 14 cm, 7,3 cm están en el interior del reactor y tienen forma de tejado con el objetivo de tomar la muestra de la parte media del equipo para evitar que la biopelícula formada en las paredes del reactor se absorban; la otra parte está ubicada en la parte exterior del reactor unido al niple y válvula de cierre.

Una característica importante en el diseño de la tubería de ingreso es la forma de flauta invertida agujerada, cuenta con una longitud total de 21 cm; 14 cm de los cuales están en el interior del reactor y los otros 7 cm se encuentran fuera unida a la válvula de cierre.

El diseño del RAFA cuenta con una campana separadora fabricada a 60° de ángulo de abertura.

Se consideró como tiempo de residencia hidráulica inicial (TRH)₀ 0,8 días. (Caicedo Macedo, 2006). El TRH puede tomar valores de 1, 1.5 ó 2 días, pero por la facilidad de seguimiento de las variables de proceso a nivel piloto es recomendable tomarlo como un día, y con base en antecedentes de literatura se decidió tomar un tiempo menor a un día.

Para el buen funcionamiento del tratamiento de aguas residuales urbanas se diseñó tres cilindros concéntricos el primero es para la degradación de materia orgánica (D=14.5, H=96 cm), el segundo es para la recirculación de agua que está conectada a una resistencia que mantendrá la temperatura a un rango de 30 a 35 °C (3 cm de separación entre cilindros) y el ultimo esta encaquetado con fibra de vidrio (2.5 cm de separación entre el segundo cilindro) esto para disminuir las pérdidas de calor y así incrementar la degradación de materia orgánica. Estos valores establecidos se pueden observar en la siguiente tabla 6, valores que se obtuvieron usando Microsoft Excel en entorno 8.

3.3.3. Dimensiones y características del RAFA

A continuación se muestra en el siguiente cuadro los resultados obtenidos usando Microsoft Excel 2013 en entorno Windows 8.

Tabla N° 6: Dimensiones y características del RAFA.

Parámetros	Dimensiones	Unidades
Diámetro interno	14,5	cm
superficie interna	165,13	cm ²
Volumen del reactor con TRH	14,4	L
Volumen total del RAFA	15,85	L
Flujo másico	0,054432	KgDBO5/d
Carga hidráulica	0,05	m/h
Velocidad de flujo en la campana	0,18	m/h
Área de abertura de la campana	41,28	cm ²
Radio de la campana	6,28	cm ²
Área de la campana	123,85	cm ²
Altura de la campana	8,71	cm
Caudal mínimo	12,5	ml/min
Carga	3,78	KgDBO5/m ³ d
Tiempo de residencia	19,2	h

Fuente: Elaboración propia según cálculos de ingeniería.

3.3.4. Lugar de ejecución del proyecto

El presente trabajo de **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.) PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA CIUDAD DE PUNO”** se ejecutó y montó en las instalaciones de los laboratorios de Procesos de la Facultad de Ingeniería Química de la Ciudad Universitaria UNA - PUNO.

3.3.5. Materiales

a) Materiales para la construcción de Bioreactor.

- ∫ Planchas de Acero Inoxidable de 3 mm (AISI 304)
- ∫ Silicona térmica para el sellado del reactor (comercial)
- ∫ Pernos, tuercas y volandas de acero inoxidable (AISI)
- ∫ Válvulas de bola de ¼ de pulgada de acero inoxidable (AISI)
- ∫ Bridas de 6 mm de acero inoxidable (AISI)

- J Niple de ingreso de ½ de pulgada (AISI)
- J Tapa de descarga de acero inoxidable (AISI)
- J Cinta Teflón
- J Codos de ¼, ½ y 1 de pulgada de acero inoxidable (AISI)
- J Niples de ¼, ½ y 1 de pulgada roscada (AISI)
- J Válvulas de bola ½ y ¼ pulgada de acero inoxidable (AISI)
- J Manómetro de presión
- J Tanques de almacenamiento (AISI 304)
- J Tubo de acero inoxidable
- J Campana extractoras de gas de 60°

b) Materiales para muestreo de del agua residual urbana (ARU)

- J Frascos con tapa hermética de 1000 ml. para toma de muestra
- J Vaso precipitado de 50 mL
- J Probetas de 100 mL
- J Manómetro (medidor de presión)
- J Sensor de Temperatura
- J Agua des ionizada, agua destilada, hipoclorito de sodio
- J Bidón de 20 litros,
- J Campana extractora de gases.

c) Materiales para sistema de transporte. Tubo de acero inoxidable de 1/2 de pulgada, niple de ½ pulgada, cinta teflón.

3.3.6. Elementos constitutivos del RAFA

El sistema integral se configuró completamente por un tanque de almacenamiento para agua residual urbana, reactor biológico (cuerpo de reacción, campana extractora de gas, salida de lodos, tres puntos de muestreo), recolector de agua tratada, manómetro de presión, sensor de temperatura, tanque de almacenamiento de aguas residuales urbanas, tanque de almacenamiento del efluente tratado y tanque de almacenamiento de gas obtenido.

a) Tanque de almacenamiento de aguas residuales urbanas

El tanque de almacenamiento fue diseñado y construido de acero inoxidable, con un espesor de 3 mm y una capacidad de almacenamiento de 30 litros; presenta las siguientes dimensiones: longitud 50 cm, altura 20 cm y ancho de 30 cm. consta de un cuerpo donde se alimenta las aguas residuales urbanas y una salida en la parte inferior en donde se instaló una manguera de ½ pulgada, el tanque de almacenamiento se mantuvo cerrado para evitar el ingreso de contaminantes y oxígeno y la salida de gases combustibles producto de la degradación del agua residual tal como se muestra en la figura 9.



Figura N° 9: Tanque de almacenamiento de Aguas Residuales Urbanas.

b) Cuerpo principal del RAFA

El cuerpo principal del RAFA consta de las siguientes características: forma cilíndrica de 96 cm de longitud, por 14,5cm de diámetro con una capacidad total de 16 513,04 cm³ de almacenamiento.



Figura N° 10: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).

En la imagen se observa el RAFA y los 3 puntos de toma de muestra.

c) Zona de manto de lodos

La zona de manto de lodos se encuentra ubicado en la zona inferior del RAFA y consta de las siguientes características: diámetro interno de 14,5cm y diámetro externo de 25,5 cm tiene una parte ovalada de acero inoxidable y una tapa roscada con un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada.



Figura N° 11: Zona de manto de lodos.

La imagen se observa la zona de manto de lodos que se encuentra sellado con una tapa roscada; se puede mostrar con mayor claridad el ángulo de 8° formado para la retención de lodos.

d) Cuerpo del RAFA

El primer cuerpo consta de las siguientes características: diámetro interno de 14,5 cm., en la parte inferior a 2 cm de altura se ubicó una tubería de acero inoxidable que consta de orificios tipo flauta invertida que sirvió para el ingreso del fluido constante, la tubería utilizada fue de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro con una válvula de cierre, tipo bola, para la entrada del agua residual urbana, a una longitud de 12,5 cm se ubicó la primera toma de muestra constituida por una tubería de $\frac{1}{4}$ de pulgada unida a un niple y a una válvula de cierre, tipo bola, de $\frac{1}{4}$ de pulgada que a su vez fue unida a un codo de $\frac{1}{4}$ de pulgada para la toma de muestra.



Figura N° 12: Primera Parte del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).

En la parte superior del RAFA se ubica una columna cerrada que no cuenta con ningún punto de muestreo, ni tubería para ingreso; en su interior está ubicada la campana y la tubería de salida del efluente de aguas residuales urbanas tratada.



Figura N° 13: Parte superior del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA).

e) Placa de cabeza del RAFA (Head plate)

El Head plate del RAFA posee las siguientes características: tapa de acero inoxidable con un diámetro de 33 cm en el medio de su diámetro total se encuentra soldada una tubería roscada de $\frac{1}{2}$ pulgada por la cual se obtuvo la salida de gas que a su vez fue acoplada a una válvula de cierre, tipo bola de $\frac{1}{2}$ pulgada, a un lado de la misma se ubicó otra tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada por donde se obtuvieron los efluentes de ARU tratada a través de una válvula de cierre tipo bola.



Figura N° 14: Head plate del RAFA con manómetro instalado.

f) Tubería de tuberías de alimentación y evacuación del RAFA

La salida del efluente se realizó mediante una tubería de acero inoxidable de ½ pulgada unida a una válvula de cierre, tipo bola, ubicada en la tapa del RAFA, la longitud total de la tubería es de 3.5 m para la alimentación del RAFA y la salida del efluente.



Figura N° 15: Tubería de alimentación y evacuación del RAFA

Tubería utilizada para la alimentación del reactor y para la salida del efluente tratado.

g) Brida de unión

Las bridas de unión permiten asegurar y afirmar las partes del RAFA ya antes mencionadas, cada una posee 12 orificios por los cuales se introducen los pernos con las respectivas tuercas y volandas de presión.



Figura N° 16: Bridas de unión para los cuerpos del RAFA.

h) Separador Gas – Líquido – Sólido – (GLS)

Otra parte importante y crítica en el diseño de un reactor RAFA es la campana o separador GLS, el cual es fundamental para lograr un buen funcionamiento del reactor a fin de mantener un lodo sedimentable (en su mayoría granular), un efluente clarificado (libre de gases) y unos gases adecuadamente separados. Para esto se diseñó y fabricó una campana extractora que tuvieron las siguientes características: posee forma cónica, 60° de ángulo de inclinación respectivamente, el cono posee 12,60 cm como diámetro mayor y su menor diámetro mide 1,27 cm.



Figura N° 17: Campana separadora de G-S-L.

i) Pernos, tuercas y volandas de presión

Se necesitaron pernos de 8*25 mm de medida, tuercas, volandas de presión, todas estas de acero inoxidable para ajustar cada brida y evitar cualquier fuga en el reactor ya que esto no beneficiaría el proceso de tratamiento de las aguas residuales urbanas. Se utilizó material de acero inoxidable para alargar el tiempo de vida y evitar el mal funcionamiento del reactor.



Figura N° 18: Tuercas y volandas de presión.

j) Tanque de almacenamiento del efluente tratado en el RAFA

El tanque de almacenamiento del efluente, fue diseñado y fabricado de material acero inoxidable de 3 mm con una capacidad de almacenamiento de 30 litros, tuvo las siguientes medidas: longitud 50 cm, altura 20 cm y ancho de 30 cm. se utilizó para la recolección

del agua que fue tratada en el RAFA, el tanque es movable, en la parte superior tiene un orificio por el cual ingresa la tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada que a la vez está conectada a una manguera que proviene del sistema.



Figura N° 19: Tanque de almacenamiento de agua residual urbana tratada.

k) Tanque de almacenamiento del gas metano (CH_4) producido

El tanque de almacenamiento del gas producido, fue diseñado y fabricado de material acero inoxidable de 2 mm con una capacidad de 0.707 litros, posee las siguientes medidas: diámetro 6 cm, es un cilindro de unos 25 cm de altura conectados con dos tuberías de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ de pulgada en la parte inferior y superior.



Figura N° 20: Tanque de almacenamiento de metano.

Fue construido de material, acero inoxidable con dos llaves tipo globo para el almacenamiento y evacuación del biogás.

3.3.7. Especificaciones de la puesta en marcha del RAFA

La puesta en marcha del RAFA se inició cargando el cuerpo principal con aguas residuales urbanas precedentes de la planta de tratamiento el espinar, posteriormente se realizó la inoculación con una carga bacteriana proveniente de los frascos sellados

herméticamente cuyas muestras serán tomadas de la planta de tratamiento y se permitirá su sedimentación durante 45 días. Se tomó las muestras de aguas residuales urbanas en la laguna de estabilización “espinar” con la finalidad de determinar los valores de los siguientes parámetros:

Tabla N° 7: Valores determinados en laboratorio FIQ-UNA-Puno

Parámetro	Valor determinado	Método analítico
Potencial de hidrógeno (pH)	8,44	Electrométrico
Temperatura (°C)	13	Electrométrico
Conductividad (μS/cm)	1602,00	Electrométrico
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	808,36	Electrométrico
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	267,14	Volumétrico
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	113,68	Proximal*

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad – FIQ – UNA – Puno (ver anexo IV).

* Valores proximales del agua residual urbana: DBO/DQO = 0.3 – 0.8

Una vez llenado el tanque de almacenamiento de aguas residuales con las aguas residuales urbanas, se procedió a dejar el RAFA totalmente sellado herméticamente en modo BATCH durante un mes, esto para que el proceso de sedimentación, formación de lodos, y la posterior muerte de los microorganismos aeróbicos presente, de tal forma que se optimizó y se formó lodos, durante el mes de sedimentación se tomara agua de los puntos de muestreo para monitorear las variables mencionadas anteriormente.

El proceso de activación de las bacterias anaeróbicas presentes en los lodos de las ARU se fue dando progresivamente durante el mes de sedimentación totalmente libre de oxígeno.

Las Condiciones iniciales para la puesta en marcha del reactor fueron las siguientes:

- J Caudal = 60 mL/min
- J DQO Agua Residual Urbana = 267,14 mg/L
- J DBO Agua Residual Urbana = 113,68 mg/L
- J Carga Orgánica = $3,78 \cdot 10^{-5}$
- J Tiempo de Residencia (TRH) = 0.8 d

- J) Durante la etapa de arranque se aumenta la carga a medida que el reactor logra llegar a su estado estable con su máxima remoción, para lo cual se busca tener una concentración constante.

3.3.8. Análisis de aguas residuales domésticas tratadas por el RAFA

El análisis de aguas residuales tratadas se realizó tomando periódicamente muestras de los tres puntos presentes en el RAFA, para medir los indicadores establecidos en los parámetros de la tabla 8, Conductividad (EC), Sólidos Totales Disueltos (STD).

La medición de la DBO en un curso de agua residual es importante por las siguientes razones:

- Determina la cantidad aproximada de oxígeno necesario para la estabilización biológica de la materia orgánica.
- Determina la conformidad con los valores de descarga permitidos (cumplimiento de normativa ambiental y de calidad vigente). (Chávez, 2007).

Tabla N° 8: Calidad de agua en función de la DBO5.

Calidad de agua	Débil	Media	Fuerte	Muy Fuerte
DBO5(mg/l)	< 200	350	500	> 750

Fuente: (Chávez, 2007).

Los valores de la DBO₅ de un agua residual de origen doméstico oscilan entre los 200-400 mg/L, mientras que los de vertidos de industrias alimentarias suelen ser superiores a los 1000 mg/L, (exceptuando algunas industrias altamente contaminantes como las que vierten aceiteras e industrias alcoholeras), donde la DBO₅ supera los 5000 mg/L. En las industrias depende del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios miles de mg/L, a continuación se presenta el diagrama de flujo del agua residual urbana (ARU).

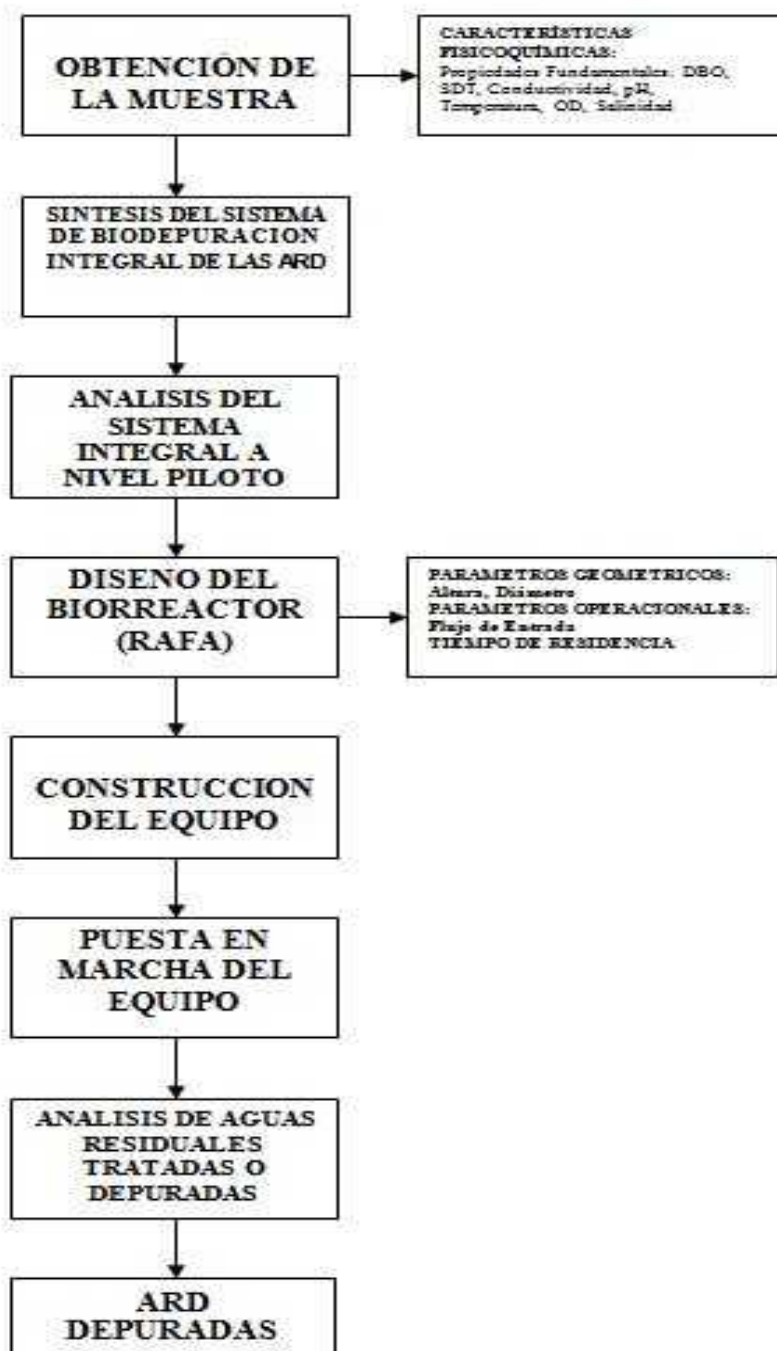


Figura N° 21: Diagrama de flujo de tratamiento de ARU.

En la figura 21, podemos observar la metodología empleada para el diseño, construcción e implementación del módulo didáctico RAFA para el tratamiento biológico de ARU y su posterior purificación.

3.4. COSTOS DEL EQUIPO

Los costos de los materiales se detallan en la tabla 9.

Tabla N° 9: Costos de los materiales que se utilizan en la construcción del RAFA.

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio Unidad (S/.)</i>	<i>Precio Total (S/.)</i>
Tanque de almacenamiento	2	700,00	1 400,00
Tanque de Gas	1	350,00	350,00
Frascos Herméticos	8	19,00	152,00
Bidón	2	10,00	20,00
Manómetros	1	65,00	65,00
Llaves tipo bola DN 1/2"	4	18,00	220,00
Llaves tipo bola DN 3/4"	1	28,00	28,00
Llaves tipo bola DN 1/4"	5	12,00	60,00
Codo 90° de acero inox. DN	6	7,50	45,00
Codo 90° de acero inox. DN	5	4,0	20,00
Codo 90° de acero inox. DN 1"	1	10,00	10,00
Tubo de acero inox. C-304 DN	1	45,00	45,00
Niple roscado de acero inox.	7	20,00	168,00
Niple roscado de acero inox.	4	5,00	20,00
Niple roscado de acero inox. 1"	2	24,00	48,00
Niple roscado de acero inox.	1	20,00	20,00
Te de acero inoxidable DN 1/2"	2	7,00	14,00
Te de acero inoxidable DN 1"	1	12,00	12,00
Resistencia electrica	1	35,00	35
Abrazaderas	4	1,00	4,00
Diseño en Autocad	1	350,00	350,00
Reactor Anaeróbico de Flujo	1	5000,00	5 000,00
		Total	8086,00

En la tabla 10, se detalla los costos del sistema de control instalado al RAFA para su operación.

Tabla N° 10: Costos de los materiales e equipos del sistema de control del RAFA

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>Cant.</i>	<i>Unid.</i>	<i>Precio unitario S/.</i>	<i>Precio total S/.</i>
Módulo sensor de temperatura	1	pza	800	800,00
			SUB TOTAL	800,00

Tabla N° 11: Costos de mano de obra, máquinas y energía.

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>Cant.</i>	<i>Unid.</i>	<i>Precio unitario S/.</i>	<i>Precio total S/.</i>
Ingeniero de diseño	30	días	80,00	1500,00
Técnico electromecánico	60	días	30,00	1800,00
Máquinas	100	h/maq	2,00	200,00
Consumo de energía	200	kW	0,45	90,00
Electrodos	1	kg	160,00	160,00
SUB TOTAL				3750,00

Tabla N° 12: Información y trabajos preliminares.

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>Cant.</i>	<i>Unid.</i>	<i>Precio Unitario S/.</i>	<i>Precio total S/.</i>
Reuniones de coordinación	14	días	21,00	294,00
Búsqueda de información en Internet	80	horas	1,00	80,00
Formato de presentación de perfil	1	ejem.	3,00	3,00
Formato de presentación de borrador	1	ejem.	3,00	3,00
Impresión de perfil de tesis	5	ejem.	10,00	50,00
Impresión de borrador de tesis	5	ejem.	15,00	75,00
Sub total				505,00

Tabla N° 13: Otros gastos

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>Cant.</i>	<i>Unid.</i>	<i>Precio Unitario S/.</i>	<i>Precio total S/.</i>
Movilidad ^(*)	---	---	---	100,00
Pasajes y viáticos ^(*)	---	---	---	500,00
Llamadas telefónicas ^(*)	---	---	---	30,00
Trasporte del equipo ^(*)	---	---	---	150,00
Sub total				780,00

El presente trabajo de tesis titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.) PARA TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES URBANAS DE LA CIUDAD DE PUNO”, esta valorizado en un presupuesto total equivalente a S/. **13 921,00**.

Tabla N° 14: Presupuesto del proyecto.

DESCRIPCION	UNIDADES	Costo (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
Materiales	1	8245,00	8 086,00
Sistema de control	1	800,00	800,00
Información y trabajos preliminares	1	769,00	505,00
Mano de obra, máquina y energía	1	3720,00	3 750,00
Otros gastos	1	930,00	780,00
		TOTAL (S/.)	13 921,00

CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS

➤ Resultados de la síntesis del sistema integral a nivel piloto

Como resultado de la síntesis del sistema integral a nivel piloto se obtuvieron los siguientes resultados:

Primera etapa: En el Sub-sistema de Eliminación, se utilizaron las rejillas de la laguna de estabilización “Espinar” de aguas residuales urbanas que están ubicadas en la entrada de la planta de tratamiento como se observa en la siguiente figura:



Figura N° 22: Rejillas de tamizado

Las rejillas para la eliminación de material macroscópico se encontraron ubicadas en la laguna de estabilización “Espinar”, se recomienda pasar por este proceso antes de alimentar el reactor para evitar taponamientos y desperfectos en el sistema

Segunda etapa: Sistema de alimentación, aprovechando de que el tanque de almacenamiento de ARU está ubicado en la parte superior del RAFA, se suministró las ARU al RAFA por diferencia de alturas a un flujo constante.

Tercera etapa: Sistema de Tratamiento, Como resultado del sistema de tratamiento se obtuvo el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, el cual permitió el tratamiento de aguas residuales urbanas.

El sistema muestra: el reactor, los tanques de almacenamiento, las tuberías, tomas de muestra y manómetro de presión.

Cuarta etapa: Sistema de liberación, Como resultado de este procedimiento se construyeron una campana extractora de acero inoxidable y una tubería de 1 pulgada unidas a una Válvula de cierre tipo bola.

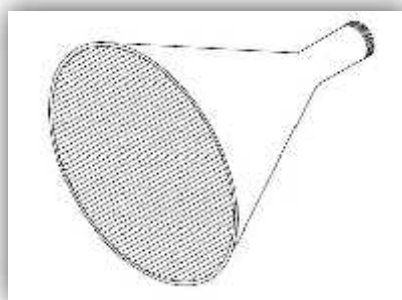


Figura N° 23: Campanas separadoras de gas.

Diseño trabajado en 3D para su posterior construcción y acondicionamiento en el reactor como separador de gas-sólido-líquido

Quinta etapa: Sistema de recolección, que fue constituido por un tanque de acero inoxidable, que permitió el almacenamiento de aguas residuales urbanas tratadas en el sistema.



Figura N° 24: Tanque de almacenamiento.

Plano empleado para la construcción del tanque de almacenamiento que permitió el abastecimiento y acumulación de aguas residuales urbanas.

Sexta etapa: Sistema de evacuación, que permitió la evacuación de mantos de lodos que fueron producidos en el sistema de alimentación.

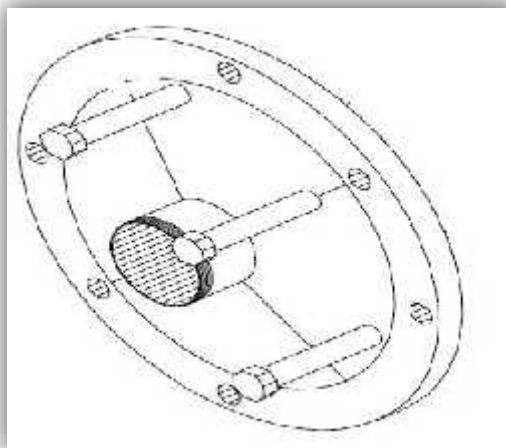


Figura N° 25: Zona de manto de lodos.

Diseño del sistema de montaje de la zona de manto de lodos en 3D que permitió su posterior construcción y acondicionamiento.

Como resultado general de la síntesis del sistema integral del RAFA en planta piloto se utilizó el programa AUTOCAD para la realización del sistema en 3D obteniéndose la siguiente imagen:

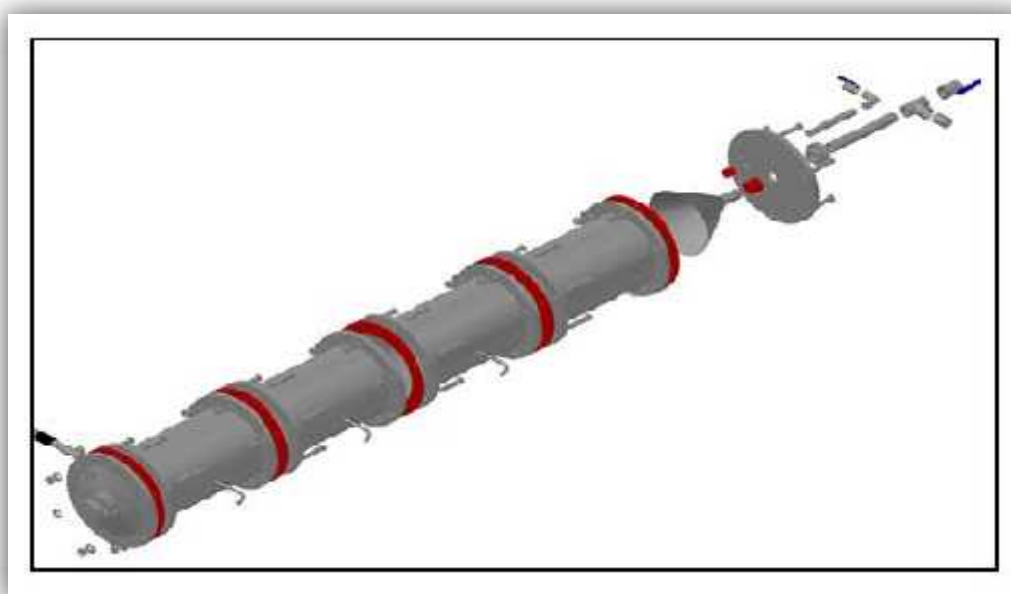


Figura N° 26: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente 3D.

Diseño completo del RAFA en 3D obtenido a partir de la síntesis del sistema a nivel piloto, se pueden ver los accesorios que integran el reactor que permiten la hermeticidad y que el proceso se dé sin interferentes ni contaminantes.; también los pernos y volandas necesarias para asegurar que el fluido en su interior no fugue.

➤ **Resultados de la caracterización físico química de las residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad Puno.**

En el contexto del trabajo de diseño y construcción del RAFA, se presenta en este capítulo los resultados obtenidos, producto de la experimentación en el funcionamiento, que se realizaron para la purificación de aguas residuales urbanas procedentes de los influentes de la laguna de estabilización “Espinar”, la cual se detalla a continuación.

Obtención de la muestra y análisis de ARU

Producto de la recolección de datos estadísticos e información textual se obtuvo como resultado del análisis y estudio la siguiente tabla.

Tabla N° 15: Características fisicoquímicas de las aguas residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad Puno.

Características		
Parámetros	Unidades	valores
DBO ₅	mg/L	113,68
DQO	mg/L	267,14
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	808,36
Conductividad	uS/cm	1 602,00
pH	--	8,44
Temperatura	°C	13
Salinidad	0/0	2,6
Caudal	ml/min	60

Fuente: Laboratorio de control de calidad – FIQ – UNA – Puno (ver anexo IV).

Los valores de esta tabla se utilizaron para el diseño del RAFA.

Análisis de muestras de agua en campo

Del análisis en campo para determinar los parámetros físicos y químicos del agua residual urbana la cual se utilizó para su biodepuración, otorga como resultado (tabla 13) de campo las fichas de muestreo del punto de toma de muestra de la laguna de estabilización “Espinar”, los mismos que se tomaron de la segunda sub laguna facultativa con lo cual se cargó el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 16: Registro de datos del análisis de campo y muestreo de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno.

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES
Temperatura Agua	13 +/- 0,5	°C
pH	8,35 +/- 0.3	
Salinidad	2,6 +/- 0,1	%
TDS	990 +/- 5	mg/L
Conductividad	2 156 +/- 100	μS/cm
Frasco por muestreo	250 ml	Vidrio
Volumen Total	20	L
Preservada	SI:	No: X
Punto de muestreo	Laguna Espinar (2da sub laguna facultativa)	
Hora y fecha	08:30 a.m.	29/11/2016

Fuente: Elaboración propia según protocolos de monitoreo.

Se muestrearon tres repeticiones en distintos tiempos, para obtener un promedio final.



Figura N° 27: Toma de muestra de ARU de la laguna de estabilización “Espinar” – Puno.

Para la correcta medición del muestreo se tuvieron en cuenta los dispositivos de seguridad adecuados para evitar contaminación del personal que efectuó la recolección además se contó con la ficha de muestreo brindada por la DIGESA.

➤ **Resultados del porcentaje de eficiencia del RAFA en función a la DQO y DBO₅**

La determinación del DBO₅ realizado en el Laboratorio de Control de Calidad FIQ, nos muestra los siguientes valores del ARU afluente y efluente del reactor RAFA, de esta manera se pudo determinar el porcentaje de remoción de la materia orgánica, expresado en concentración de la DQO, y DBO.

Tabla N° 17: Valores de ingreso y salida del RAFA

Parámetro	Valor ingreso RAFA	Valor salida RAFA	% de reducción
DQO (mg/L)	267,14	60,83	77,23
DBO ₅ (mg/L)	113,68	22,50	80,20

Fuente: Laboratorio de control de calidad – FIQ – UNA – Puno (ver anexo IV).

➤ **Conclusiones de la eficiencia del RAFA para la producción de metano**

La eficiencia del RAFA para la producción de metano se pudo comprobar a partir de la combustión que es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química:



Sin embargo su mejor aprovechamiento se realizara a presiones que oscilen entre los 7-20 mbar (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).

En conclusión para comprobar la eficiencia cualitativa en la producción de metano a partir de la disminución de los valores del requerimiento de DQO, se ha desarrollado observándose la emisión de una chispa centellante de color azul, que fluye por un conducto muy agudo (niple). La combustión fue tomado en cuenta y registro un tiempo máximo de 1,30 minutos, recordando que los compuestos que forman este gas, son metano y dióxido de carbono (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011)

CONCLUSIONES

-) Las dimensiones del diseño y tipo de construcción de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) a nivel laboratorio, para la degradación de materia orgánica de aguas residuales urbanas, se resume en la siguiente tabla:

Tabla N° 18: Dimensiones y características del RAFA.

Parámetros	Dimensiones	Unidades
Diámetro interno	14,5	cm
superficie interna	165,13	cm ²
Volumen del reactor con TRH	14,4	L
Volumen total del RAFA	15,85	L
Flujo másico	0,054432	KgDBO5/d
Carga hidráulica	0,05	m/h
Velocidad de flujo en la campana	0,18	m/h
Área de abertura de la campana	41,28	cm ²
Radio de la campana	6,28	cm
Área de la campana	123,85	cm ²
Altura de la campana	8,71	cm
Caudal mínimo	12,5	mL/min
Carga	3,78	KgDBO5/m ³ d
Tiempo de residencia	19,2	h

Fuente: Elaboración propia según cálculos de ingeniería.

-) Las caracterizas fisicoquímicas, que tienen las aguas residuales urbanas afluente a la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad de Puno, son las siguientes:

Tabla N° 19: Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales urbanas afluyente a la laguna de estabilización “Espinar” en la ciudad Puno.

Características		
Parámetros	Unidades	valores
DBO ₅	mg/L	113,68
DQO	mg/L	267,14
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	808,36
Conductividad	uS/cm	1602,00
pH	--	8,44
Temperatura	°C	13
Salinidad	0/0	2,6
Caudal	mL/min	60

Fuente: Laboratorio de control de calidad – FIQ – UNA – Puno (ver anexo IV).

-) Los porcentajes de eficiencia del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), en la reducción DQO y DBO, de aguas residuales urbanas de la laguna de estabilización “Espinar” de la Ciudad Puno, cuya muestra fueron tomados de la segunda sub laguna facultativa, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N° 20: Valores de ingreso y salida del RAFA.

Parámetro	Valor ingreso RAFA	Valor salida RAFA	% de reducción
DQO (mg/L)	267,14	60,83	77,23
DBO₅ (mg/L)	113,68	22,50	80,20

Fuente: Laboratorio de control de calidad – FIQ – UNA – Puno (ver anexo IV).

-) La eficiente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) en la producción de CH₄ a partir de la disminución de la DQO y DBO, de las aguas residuales urbanas de la laguna de estabilización “Espinar” de la ciudad Puno, queda demostrado con una prueba de combustión a temperatura y presión ambiental, con una duración de 1 minuto con 30 segundos.
-) Este trabajo es una base para el desarrollo de nuevos proyectos que tendrán como objetivo estudiar el efecto de la temperara en la eficiencia del sistema y realizar la automatización del mismo.

RECOMENDACIONES

- Evaluar los parámetros de funcionamiento del RAFA a través de un diseño experimental que permita la optimización de los parámetros de control, y establecer el modelo matemático que rija el proceso, en función a diferentes tipos de agua residual.
- Instalar al RAFA, un sistema de aprovechamiento de energía solar, de tal manera que se mantenga el valor óptimo de temperatura y propicie la metagénesis a menores costos.
- Evaluar la eficiencia y eficacia de los tipos de bacterias anaerobias existentes, en la depuración de la materia orgánica e inorgánica en aguas residuales.
- Evaluar la eficiencia cuantitativa para determinar la producción de metano haciendo uso de un cromatógrafo de gases.
- Evaluar la relación entre AGV y la alcalinidad del medio (0,3-0,4). porque es un indicador de fallo inminente en el sistema de digestión anaerobia.
- Buscar un método de alimentación que permita mantener un caudal de entrada constante para poder controlar las variables del sistema.
- Realizar un estudio microbiológico de la biomasa para determinar las bacterias predominantes luego del tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Utilizar el reactor RAFA con diferentes tiempos de residencia hidráulica (TRH), para mejorar el sistema de remoción de aguas residuales urbanas.
- Considerar la frecuencia diaria del monitoreo del proceso.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

- Alaerts, G. (1995), “*Wastewater treatment*”, presentado en “Curso – Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas residuales”, febrero 13 – marzo 17 de 1995, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Arenas J, Marín P. (2004). *Operación de un sistema de reactores piloto UASB para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Benavides Salazar, O (1998). *Arranque de un reactor U. A. S. B. para el tratamiento de aguas residuales de cervecería*. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Ingeniería Química.
- Bermúdez Savón, R.C., Rodríguez Pérez, S., Martínez Abreu., Terry Brown A.I., *Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para obtención de biogás.*, Centros de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente
- Bonzano, E., Dapena, J.L (2002). *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales.*, España., Diaz de Santos.
- Caicedo Messa, F.J (2006), *Diseño, Construcción y Arranque de un Biorreactor U.A.S.B piloto para el tratamiento de lixiviados*.
- Caicedo F, Molina J. (2003). *Remoción de materia orgánica de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda por medio de un reactor UASB*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Catalán Lorca F. E (2002). *Modelación del proceso de digestión anaerobia en un reactor UASB para aguas residuales.*, Universidad de Santiago de Chile Facultad de Ingeniería departamento de Ingeniería Geográfica.
- Calli, P., Montenegro, C., & Ferreira, J. (2010). Estudio da variação da concentração de metano no biogás produzido a partir de das aguas residuarias do café. Cienc. agrotec. Labras, Vol 34, N° 2, 475-484.
- Cavalcanti, P. F (2003). *Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions*.
- CEPIS, *Control de calidad del agua, Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua*.

- Comisión Nacional del Agua. (2000), “Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, Subdirección general técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y normas técnicas.
- CONASIN S.R.L. Especialistas ambientales, (2013). “Manual de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas utilizando Reactores UASB”, Cusco.
- Conil,P. (2000). *Tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales domesticas con reactores U.A.S.B y filtros percoladores en el altiplano de Guatemala*. Bucaramanga; Universidad Industrial de Santander; 1996. 145-158 p. II
- Chávez, A.N (2007). *Aspectos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos de la contaminación de aguas*. Índices e indicadores ambientales, Piura Perú.
- Christensson (1997). *Enhanced Biological Phosphorus Removed Carbon Source, Nitrate a electron community*, Suecia.
- Crombet, S., Abalos, A., & Rodríguez, S. &. (2016). Evaluación del tratamiento anaeróbico de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Biocología*, Vol. XVIII, N° 1, 49-56.
- Cruger y Cruger (1993). *Tratamiento de aguas residuales* Ed. Reverte, Barcelona
- Da Cámara, L., Hernández y Paz L.E (2001), *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*.
- Dewisme, (1997); Matia et. al. (1990).
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf;jsessionid=0B3DEF50CEAB894E371144BABDCDFE22.tdx2?sequence=8>
- Digesa, *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos Superficiales*.
- Directiva 91/271; Ecaler (1997).
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf;jsessionid=0B3DEF50CEAB894E371144BABDCDFE22.tdx2?sequence=8>
- Droste, R (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment*, New York, John Wiley & Sons.
- EMSA PUNO. (01 de Enero de 2016). EMSA PUNO. Obtenido de EMSA PUNO Web site: <http://www.emsapuno.com.pe/in/>

- Fiscalía en Materia Ambiental de Puno. (20 de diciembre de 2015). Gestión ambiental de las municipalidades de Puno. Fiscalía en Materia Ambiental identificó que la mayoría de municipalidades no tienen planes de remediación ambiental., págs. 3-4.
- Fonturbél, F. (2003). Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del Lago Titikaka. *Ecología Aplicada*, 75-79.
- Horan, N.J. (1993). *Biological wastewater treatment systems: theory and operation*, Chichester; New York: Willey.
- Jordao, E.P., Além Sobrinho, P (2004). *Investigación y Experiencia con el Post-Tratamiento para Reactores UASB en Brasil*.
- Lettinga, G. Van Velsen, A. Hobma, S. DE Zeeuw, W. y Klapwijk, A (1980). *Use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering*.
- MINAN. (17 de marzo de 2010). Aprueba Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, págs. 415675-415676.
- MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile: CHI/00/G32.
- Pérez, J., & Aldana, G. (2013). Physically modeling of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB). *Revista técnica de ingeniería*, Vol. 36, N°2, 153-163.
- Restrepo S. (2005). *Arranque y operación de los reactores UASB para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Rivas mijares, G. (1978). *Tratamientos del agua residual*. Universidad de Texas: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.
- Rodríguez, R., Rodríguez, S., & Monrroy, O. &. (2015). Producción de metano a partir de la mezcla del lixiviado de residuos sólidos urbanos y el agua residual municipal. *Rev. Cubana de Química*, Vol. 27, N° 3, 243-251.
- RPP . (29 de diciembre de 2015). RPP Noticias. Obtenido de RPP Web site: <http://rpp.pe/peru/actualidad/puno-solo-tres-municipios-cuentan-con-lagunas-de-oxidacion-en-regla-noticia-754906>.

- Winkler, M. (1998). *Tratamiento biológico de aguas de desecho*, 1a. ed. LIMUSA, México.
- Droste L. (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. 1ra edition, United States of America, 800pp.
- López Ruíz R. *Aguas Residuales Municipales y Biológicos, elementos básicos, caracterización, tratamiento reúsos UNAM*, Apunte 10A, México D.F.
- Mejia mendoza J. (1999). *Diseño, construcción de un reactor UASB para tratamiento de aguas residuales*, FCyT – UMMS Cochabamba Bolivia.
- Directiva 91/271/CEE (1997). *Tratamiento de las aguas residuales urbanas*. CEE.
- Levenspiel O. *El omnilibro de los reactores químicos*, Ed, Rerté, S.A, (1985)
- Metcalf & Eddy. (1985, 1995), “*Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*” 2da edición, Ed, Labor S.A. México, D.F., 969pp.
- Zepeda, C., Colin, C., Corona, A., Hernández, C., & Meraz, M. (2011). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada de un reactor UASB escala piloto. *Rev. Mexicana de Ingeniería Química*, Vol 10, N°1, 67-77.

ANEXOS

ANEXO I

D.S.015 2015-MINAN PERÚ

569076

NORMAS LEGALES

Sábado 10 de diciembre de 2015 | El Portuario

PODER EJECUTIVO

AMBIENTE

Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación

DECRETO SUPREMO
N° 016-2015-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho inrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33 de la citada ley, dispone que en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, este Ministerio tiene como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiendo ser aprobados o modificados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y, mediante Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprobaron las disposiciones para la implementación de dichos estándares;

Que, las referencias nacionales e internacionales de toxicidad consideradas en la aprobación los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua han sido modificadas, tal como lo acreditan los estudios de investigación y guías internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, de la Comunidad Europea, entre otros;

Que, asimismo, el Ministerio del Ambiente ha recibido diversas propuestas de instituciones públicas y privadas, con la finalidad de que se revisen las subcategorías, valores y parámetros de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua vigentes, por lo que, resulta necesario modificar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N°

002-2008-MINAM y precisar determinadas disposiciones contenidas en el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM;

Que, en el marco de lo dispuesto en el Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, la presente propuesta ha sido sometida a consulta y participación ciudadana, en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú.

DECRETA:

Artículo 1.- Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

Modifíquese los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, detallados en el Anexo de la presente norma.

Artículo 2.- ECA para Agua y políticas públicas. Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, y en el diseño de normas legales y políticas públicas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Artículo 3.- ECA para Agua e Instrumentos de gestión ambiental.

3.1. Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los Instrumentos de gestión ambiental.

3.2. Los titulares de la actividad extractiva, productiva y de servicios deben prevenir y/o controlar los impactos que sus operaciones pueden generar en los parámetros y concentraciones aplicables a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de sus operaciones, advirtiendo entre otras variables, las condiciones particulares de sus operaciones y los insumos empleados en el tratamiento de sus efluentes; dichas consideraciones deben ser incluidas como parte de los compromisos asumidos en su Instrumento de gestión ambiental, siendo materia de fiscalización por parte de la autoridad competente.

Artículo 4.- Excepción de aplicación de los ECA para Agua.

4.1. Las excepciones para la aplicación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua previstas en el Artículo 7° de las disposiciones para su implementación aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM se aplican de forma independiente.

4.2. El supuesto previsto en el literal b) del citado Artículo 7° constituye una excepción de carácter temporal que es aplicable para efectos del monitoreo de calidad ambiental y en el seguimiento de las obligaciones asumidas por el titular de la actividad.

Artículo 5.- Revisión de los ECA para Agua.

5.1. Conjuntamente con los límites máximos permisibles aplicables a una actividad, las entidades de fiscalización ambiental verifican la eficiencia del tratamiento de efluentes y las características ambientales particulares advertidas en los estudios de línea de base, o los niveles de fondo que caracterizan los cuerpos de agua dentro del área de influencia de la actividad sujeta a control.

5.2. Dicha información se sistematiza y remite al Ministerio del Ambiente, de conformidad con el artículo 9° de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, para efectos de la revisión periódica del ECA para Agua.

Artículo 6.- Actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Actividades en Curso

Para la actualización del Plan de Manejo Ambiental de las Actividades en Curso se observa los siguientes procedimientos:

6.1. El Titular de la actividad extractiva, productiva y de servicios en curso evalúa si las obligaciones ambientales contenidas en su Instrumento de gestión ambiental vigente requieren ser modificadas en virtud a los ECA para Agua establecidos en la presente norma, de modo que su actividad no afecte los cuerpos de agua existentes en el área de influencia de sus operaciones.

6.2. El Titular tiene un plazo de seis (6) meses, contado a partir de la entrada en vigencia de la presente norma, para comunicar a la autoridad ambiental competente si los valores de los ECA para Agua ameritan la modificación de su Instrumento de gestión ambiental vigente.

A partir de la fecha de la comunicación formulada a la Autoridad Ambiental Competente, el Titular tiene un plazo de doce (12) meses adicionales para presentar la modificación del mencionado Instrumento de gestión ambiental.

6.3. La Autoridad Ambiental Competente tiene un plazo máximo de noventa (90) días calendario para evaluar y aprobar el Plan de Manejo Ambiental presentado. En el marco del plazo descrito, la Autoridad Ambiental Competente tiene un plazo máximo de cuarenta y cinco (45) días calendario para revisar y remitir las observaciones al Titular respecto al Plan de Manejo Ambiental presentado, en caso corresponda. El Titular tiene un plazo máximo de treinta (30) días calendario para la presentación del levantamiento de las observaciones que haya efectuado la Autoridad Ambiental Competente al Plan de Manejo Ambiental presentado.

6.4. El plazo máximo para la implementación de las medidas de adecuación, contenidas en la modificación del Instrumento de gestión ambiental, es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

6.5. Si el titular no formula comunicación ni presenta la modificación de su Instrumento de gestión ambiental dentro de los plazos descritos en el presente artículo, son de referencia automática los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 del presente decreto supremo.

La solicitud de modificación no suspende la ejecución de las obligaciones ambientales establecidas en Instrumentos de gestión ambiental previamente aprobados por la Autoridad Ambiental Competente, ni el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, según corresponda.

Artículo 7.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Agricultura y Riego, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud y el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Para efectuar los monitoreos en aplicación de la presente norma, la autoridad ambiental competente debe considerar los parámetros asociados prioritariamente a la actividad extractiva, productiva o de servicios y a aquellos que permitan caracterizar las condiciones naturales de la zona de estudio o el efecto de otras descargas en la zona.

Segunda.- La entidad de fiscalización ambiental supervisa, una vez concluido el plazo para la implementación del Instrumento de gestión ambiental correspondiente, que las actividades extractivas, productivas y de servicios realicen sus operaciones considerando los valores y parámetros establecidos en la presente norma.

Tercera.- El Titular de la actividad minera que se encuentre implementando su Instrumento de gestión ambiental de acuerdo al Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM o el Plan Integral, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2011-MINAM, tiene un plazo de sesenta (60) días calendario para evaluar e informar a dicha autoridad si el plan aprobado requiere ser modificado, a fin de guardar relación con los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 de la presente norma.

A partir de la fecha de la comunicación a la Autoridad Ambiental Competente, el Titular tiene un plazo de doce (12) meses adicionales para presentar la modificación de su Plan Integral o el Instrumento de gestión ambiental que corresponda.

El proceso de evaluación y aprobación del Plan Integral presentado por parte de la Autoridad Ambiental Competente, se rige por lo dispuesto en el artículo 6° de la presente norma.

El plazo máximo para el cumplimiento del proceso de adecuación es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación de la modificación del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

La solicitud de modificación no suspende la obligación de cumplir, como mínima exigencia, con los valores de Límites Máximos Permisibles (LMP) anteriormente aprobados contenidos en su Instrumento de gestión ambiental vigente, hasta la conclusión del proceso de adecuación.

En caso el Titular minero no cumpla con informar a la Autoridad Ambiental Competente la necesidad de la modificación o no presente la modificación de su Plan Integral o el Instrumento de gestión ambiental correspondiente en los plazos establecidos en la presente disposición, se le aplican los compromisos asumidos y el cronograma de ejecución consignado en el Plan Integral aprobado.

Cuarta.- El Titular de la actividad minera que haya cumplido con presentar un Plan Integral, en concordancia con lo establecido en el Decreto Supremo N° 010-2011-MINAM; pero que a la fecha de la publicación de la presente norma no cuente con la aprobación por parte del Ministerio de Energía y Minas, tiene un plazo de sesenta (60) días calendario para evaluar e informar a dicha Autoridad Ambiental si el Plan Integral presentado requiere una actualización a los valores de los ECA para Agua aprobados en el artículo 1 de la presente norma.

Efectuada dicha comunicación, la Autoridad Ambiental Competente devuelve el expediente respectivo al Titular minero en el plazo máximo de diez (10) días calendario. A partir de la fecha de la referida devolución el Titular minero tiene un plazo de doce (12) meses para presentar una actualización del Plan Integral inicialmente presentado.

El proceso de evaluación y aprobación de la actualización del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente, se rige por lo dispuesto en el artículo 6° de la presente norma.

El plazo máximo para el cumplimiento del proceso de adecuación es de tres (03) años, contado a partir de la aprobación del Plan Integral por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

Si el Titular minero no comunica al Ministerio de Energía y Minas la necesidad de actualizar el Plan Integral que fuera presentado, se entiende que no requiere modificar dicho proyecto de Instrumento de gestión ambiental, reanudándose su evaluación.

En caso que el Titular minero, habiendo notificado a la DGAAM del Ministerio de Energía y Minas su disposición a actualizar el Plan Integral presentado no presente dicha actualización en los plazos señalados, puede ser pasible de las sanciones que correspondan por la afectación de la eficacia de la fiscalización ambiental.

Quinta.- En un plazo no mayor a seis (6) meses mediante Resolución Ministerial el Ministerio del Ambiente establece las condiciones sobre los métodos de ensayo aplicables a la medición de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua aprobados por la presente norma.

DISPOSICION COMPLEMENTARIA MODIFICATORIA

Única.- Modificación del artículo 2 de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Modifíquese el artículo 2 de las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobadas por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, de acuerdo a lo siguiente:

“Artículo 2.- Previsiones de las Categorías de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Para la implementación del Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y de la presente norma, se tiene en consideración las siguientes precisiones de las Categorías de los ECA para Agua:

569078

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 / El Portuario

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Sub Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Entiéndase como aquellas aguas, que por sus características de calidad reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

(...)

Sub Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación

Son las aguas superficiales destinadas al uso recreativo, que en la zona costera marina comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea y que en las aguas continentales su amplitud es definida por la autoridad competente

(...)

Categoría 2: Actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales

Sub Categoría C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos en aguas marino costeras

(...)

Sub Categoría C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

(...)

Sub Categoría C3. Otras Actividades en aguas marino costeras

Entiéndase a las aguas destinadas para actividades diferentes a las precisadas en las subcategorías C1 y C2, tales como infraestructura marina portuaria, de actividades industriales y de servicios de saneamiento.

Sub Categoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase a los cuerpos de agua destinadas a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales

Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto.

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallo bajo), tales como plantas de ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallo alto), tales como árboles forestales, frutales, entre otros.

Sub Categoría D2: Bebida de Animales.

(...)

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático
Están referidos a aquellos cuerpos de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento y que cuyas características requerirán ser protegidas.

(...)

Sub Categoría E1: Lagunas y Lagos

Comprenden todas las aguas que no presentan corriente continua, de origen y estado natural y léntico incluyendo humedales.

Sub Categoría E2: Ríos

(...)

Sub Categoría E3: Ecosistemas Marino Costeros

(...)

Marino.- Entiéndase como zona del mar comprendida desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional."

(...)

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los diecinueve días del mes de diciembre del año dos mil quince.

OLLANTA HUMALA TASSO
Presidente de la República

JUAN MANUEL BENITES RAMOS
Ministro de Agricultura y Riego

MANUEL PULGAR-VIDAL OTALORA
Ministro del Ambiente

ROSA MARÍA ORTIZ RÍOS
Ministra de Energía y Minas

ANIBAL VELÁSQUEZ VALDIVIA
Ministro de Salud

TABLA N° 01.- PARÁMETROS Y VALORES CONSOLIDADOS.

CATEGORÍA 1 - A

PARAMETRO	UNID	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado

FIJADOS - QUÍMICOS

Azúcar y glicosa	mg/l	6,5	5,7	5,7
Cloruro Total	mg/l	0,07	0,2	0,3
Cloruro	mg/l	250	250	250
Color (C)	Unidad de Color verdadero escala PtCo	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1.500	1.800	**
Dureza (logarítmica de Calcio (DGD))	mg/l	3	5	10
Dureza	mg/l	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	10	20	20
Fenoles	mg/l	0,003	**	**
Fierro total	mg/l	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/l	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de origen antropogénico:		Ausencia de material flotante de origen antropogénico	Ausencia de Material Flotante de origen antropogénico	Ausencia de Material Flotante de origen antropogénico
Nitrato (NO ₃)	mg/l	50	50	50
Nitrato (NO ₂)	mg/l	3	3	**
Amoníaco-N	mg/l	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (por litro)	mg/l	≥ 5	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,6

El Peruano / Sábado 10 de diciembre de 2016		HORMAS LEGALES			569079
PARAMETRO	UNID	Agua superficial desviada a la producción de agua potable			
		A1	A2	A3	
		Agua que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden potabilizarse con tratamiento convencional	Agua que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	
Sólidos	mg/L	250	500	**	
Temperatura	°C	23	23	**	
Turbiedad	UNT	5	100	**	
MINERALES					
Amonio	mg/L	0,5	5	5	
Nitrato	mg/L	0,30	0,62	**	
Nitrato	mg/L	0,31	0,61	0,15	
Boro	mg/L	0,7	1	**	
Selenio	mg/L	0,012	0,04	0,1	
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4	
Cadmio	mg/L	0,002	0,005	0,01	
Cobalto	mg/L	2	2	2	
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	
Hierro	mg/L	0,3	1	5	
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5	
Molibdeno	mg/L	0,001	0,002	0,002	
Níquel	mg/L	0,07	**	**	
Níquel	mg/L	0,07	**	**	
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05	
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	
Zinc	mg/L	3	5	5	
ORGANICOS					
1. COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES					
Microbios de patógenos amebianos o similares (C16 - C20 y mayores a C20)	mg/L	0,01	0,2	1,0	
Trihalometanos	µg	1,0	1,0	1,0	
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**	
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**	
Dibromo cloroformo	mg/L	0,1	**	**	
Bromo diclorometano	mg/L	0,36	**	**	
Compuestos Orgánicos Volátiles					
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**	
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**	
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**	
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**	
Hexafluorobenzeno	mg/L	0,005	0,006	**	
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**	
Tetracloro de sulfato	mg/L	0,004	0,004	**	
2. COMPUESTOS ORGANICOS SEMI VOLATILES					
2.1. Hidrocarburos Aromáticos					
Tolueno	mg/L	0,07	0,07	**	
2.2. Hidrocarburos Aromáticos					
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**	
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**	
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**	
Xileno	mg/L	0,5	0,5	**	
2.3. Hidrocarburos Aromáticos					
Benzofluorano	mg/L	0,0007	0,0007	**	
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,004	0,006	**	
2.4. Organoclorados					
Metilcloro	mg/L	0,15	0,001	**	
2.5. Organoclorados					
Alcilo + Clorido	mg/L	0,0030	0,0030	**	
Cloruro	mg/L	0,002	0,002	**	
DDT	mg/L	0,005	0,001	**	
Endrin	mg/L	0,0001	0,0001	**	
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0030	0,0030	Retenido	
Unifloro	mg/L	0,002	0,002	**	
2.6. Organoclorados					
Alifáticos	mg/L	0,01	0,01	**	
2.7. Organoclorados					
PCP's	mg/L	0,005	0,005	**	
3. MICROBIOLOGICOS Y PARASITOLOGICOS					
Coliformes Totales (20-27°C)	NMP/100 ml	20	5 000	50 000	
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	20	2 000	20 000	
Fermentos patógenos	Nº Organismos/L	0	**	**	
Exclusivos colif	NMP/100 ml	0	**	**	
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**	
VRB coliforme	Presencia/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos, etc. todos sus estados evolutivos) (c)	Nº Organismos/L	0	<5x10 ³	<5x10 ³	

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)

(b) Después de la filtración simple

(c) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

El Portuario / Sábado 19 de diciembre de 2015		HORMAS LEGALES				569081
PARAMETRO	UNIDAD	CATEGORIA 2				
		AGUA DE MAR			AGUA CONTINENTAL	
		Sub Categoría 1 (C1)	Sub Categoría 2 (C2)	Sub Categoría 3 (C3)	Sub Categoría 4 (C4)	
		Extracción y Cultivo de Moluscos	Extracción y cultivo De otras Especies Acuáticas	Otras Actividades	Extracción y cultivo De otras Especies Acuáticas	
Sulfato	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	
Temperatura	°C	± 3	± 3	± 3	± 3	
INORGANICOS						
Arsénico	mg/L	==	==	==	0,0	
Asmonio	mg/L	0,04	0,04	0,04	==	
Asenico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	
Boro	mg/L	5	5	==	0,75	
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	==	0,01	
Cobalto	mg/L	0,001	0,05	0,05	0,2	
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,15	
Manganeso	mg/L	0,0054	0,001	0,0015	0,0017	
Níquel	mg/L	0,002	0,1	0,074	0,052	
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,03	0,0025	
Selenio	mg/L	0,071	0,071	==	0,025	
Talio	mg/L	==	==	==	0,0050	
Cianuro	mg/L	0,001	0,001	0,12	1,0	
ORGANICO						
Hidrocarburos de Petróleo Total (Huezión aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	==	
ORGANOLEPTICO						
Hidrocarburos de petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	==	
POLICICLOROS BIFENILOS TOTALES						
PCB (s)	mg/L	0,0003	0,0003	0,0003	0,00014	
MICROBIOLOGICO						
Cultivos Termotolerantes (44°C)	NBY100 ml	≤14 (Área Aprobada)(c)	≤30	1.000	100	
	NBY100 ml	*018 (Área restringida)(c)				

Estandar de calidad de concentración del nitrógeno amoniacal en diferente pH y temperatura para la protección de la vida acuática (mg/L de NH3)								
Temperatura (°C)	pH							
	8,0	8,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,740	0,25	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,054
10	102	32,4	10,2	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	68,7	22,0	6,88	2,22	0,715	0,239	0,080	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,450	0,171	0,057	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,38	0,747	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota: Las mediciones de amoníaco total en el medio ambiente acuático a menudo se expresan en mg / L de amoníaco total -N. Los actuales valores de referencia (mg / L de NH3) se pueden convertir a mg/L de amoníaco total -N multiplicando el valor de referencia correspondiente por 0,8224. No recomendado pauta para las aguas marinas

CATEGORIA 3		ESCALA: CATEGORIA 3	
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETRO PARA RIEGO DE VEGETALES	PARAMETRO PARA DESARROLLO DE ANIMALES
		DE RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	DE RIEGO DE ANIMALES
FISICOS - QUIMICOS			
Arsenato y arsenito	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	500	==
Cloruro total	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	==
Color (s)	Color variable escala PtCo	100 (s)	100 (s)
Conductividad	(µS/cm)	2500	5000
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Demanganato (DQMA)	mg/L	0,2	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	0,01
Fluoruro	mg/L	1	==
Nitrato (NO ₃ -N) + Nitrito (NO ₂ -N)	mg/L	100	100
Nitrato (NO ₃ -N)	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5
Sulfato	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	± 3	± 3
INORGANICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	==
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobalto	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo Total	mg/L	0,1	1
Cianuro	mg/L	5	==
Cromo	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	==	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05

Mercurio	mg/L	0,001	==
Níquel	mg/L	0,02	==
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Sulfato	mg/L	10	10
Talio	mg/L	0,001	==

569082

NORMAS LEGALES

Sábado 19 de diciembre de 2015 / El Peruano

CATEGORÍA 3		EPA AGUA: CATEGORÍA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		II: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	III: BEBIDA DE ANIMALES
Dureza	mg/l	2	34
PLUMBISMO			
Plomo	ug/l	35	35
ORGANOCLOROS			
Acido	ug/l	0,064	0,7
Cloruro	ug/l	0,064	7
DDT	ug/l	0,061	33
Dieldrin	ug/l	0,5	0,5
Endosulfan	ug/l	0,01	0,01
Endrin	ug/l	0,064	0,2
Hepacloro y heptacloro epóxido	ug/l	0,01	0,05
Lindano	ug/l	4	4
CARBAMATO			
Kidcarb	ug/l	1	11
POLICLORUROS BIFENILO TOTALES			
Polifenilo Bifenilo Totales (PCBT)	ug/l	0,04	0,045
MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Totales (25-37°C)	NMP/100 ml	1 000	5 000
Coliformes Termotolerantes (45°C)	NMP/100 ml	1 000	1 000
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	20	20
E. coli	NMP/100 ml	100	100
Huevo y larva de helmintos	Huevo/L	<1	<1

(a) para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
(b) Después de Filtración Simple.

- ** : No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.
- Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 4

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		SI: LAGUNAS Y LAGOS	II: RIOS COSTA Y SIERRA		III: ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS MAREJOS	
PHÍSICO - QUÍMICOS						
Acidez y grasas (Mg)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Grasas Totales	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,051	0,051
Color (g)	Color verdadero a 20°C	20 (a)	20 (a)	20 (a)	-	-
Dureza	mg/L	0,008	-	-	-	-
Conductividad	uS/cm	1 000	1 000	1 000	-	-
Densidad						
Requisitos de Oxígeno (DO)	mg/L	5	10	12	15	10
Ferroso	mg/L	2,00	2,00	2,00	5,0	5,0
Fierro total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nitrato (NO ₃ -N)	mg/L	13	13	13	200	200
Amonio	mg/L	1,0	1,0	1,0	2,4	0,05
Nitrogeno Total	mg/L	0,210	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto (ml/l a 20°C)	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6,5-8,0	6,5-8,0	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 100	≤ 100	30

PARÁMETRO	UNIDAD	CATEGORÍA 4				
		SI: LAGUNAS Y LAGOS	II: RIOS COSTA Y SIERRA		III: ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS MAREJOS	
Sulfato	mg/L	0,003	0,02	0,003	0,003	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2
BIOPÉRMICOS						
Asbestos	mg/L	0,01	1,0	0,01	-	-
Asenico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,08	0,08
Boro	mg/L	0,7	0,7	1	1	-
Cadmio	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,008	0,008
Cobalto	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05
Cianuro	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,002	0,002
Plomo	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,001	0,001
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,001	0,001
Talio	mg/L	0,0005	0,0005	0,0005	-	-
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,001	0,001
ORGANICOS						
I. Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos						
Metano	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
ETP						
Hexafluorobenzeno	mg/L	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
OTROS						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Policíclicos						
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Acenapteno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PLUMBISMO						
Organoplumbos						
Plomo	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Plumbano	mg/L	0,00015	0,00015	0,00015	-	-
ORGANOCLORADOS						
Acte	mg/L	0,00004	0,00004	0,00004	-	-
Cloruro	mg/L	0,000045	0,000045	0,000045	0,00004	0,00004
DDT (Dieldrin + DDE)	mg/L	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
Dieldrin	mg/L	0,00006	0,00006	0,00006	0,000019	0,000019
Endosulfan	mg/L	0,00006	0,00006	0,00006	0,000007	0,000007
Endrin	mg/L	0,00006	0,00006	0,00006	0,000029	0,000029
Hepacloro	mg/L	0,000020	0,000020	0,000020	0,000006	0,000006
Hepacloro-epóxido	mg/L	0,000020	0,000020	0,000020	0,000006	0,000006
Lindano	mg/L	0,00006	0,00006	0,00006	-	-
Permetrina (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
CARBAMATO						
Kidcarb	mg/L	0,001	0,001	0,0005	0,0005	0,0005
POLICLORUROS BIFENILO TOTALES						
PCBT	mg/L	0,00014	0,00014	0,00014	0,00005	0,00005
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (MUTP)	NMP/100 ml	100	200	200	100	200

(a) 100 (Para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural)
(b) Después de la filtración simple

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales salvo que se indique lo contrario.
- ** : No presenta valor en ese parámetro para la sub categoría.

NOTA GENERAL:

- Todos los parámetros que se norman para las diferentes categorías se encuentran en concentraciones totales, salvo se indique lo contrario.
- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus Informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1325830-1

ANEXO II

FICHA DE MUESTREO SEGÚN PROTOCOLO

FICHA DE PUNTO DE MUESTREO SEGÚN PROTOCOLO

	VALOR	UNIDADES
Temperatura		°C
Temperatura Agua		°C
pH		
Salinidad		ppm
SDT		Ppm
SDT		mg/L
Conductividad		s
O.D.		mg/L
O.D.		Ppm
Frasco por muestreo	P:	V:
Volumen total		MI
Preservada	SI:	NO:

DESCRIPCION DE PUNTO DE MUESTREO

Responsable del muestreo		
Origen de la fuente		
Punto de Muestreo		
Hora y Fecha		
Localidad		
Distrito		
Provincia		
Departamento		
Coordenadas UTM	S:	W:
Altura		

ANEXO III

PROTOCOLO DE MONITOREO DE AGUAS

DIRECCIÓN EJECUTIVA DE ECOLOGÍA Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE

PROTOCOLO DE MONITOREO DE AGUAS

(Lima, Marzo del 2006)

La dirección general de salud Ambiental (DIGESA) en cumplimiento al mandato establecido por la Ley General de Aguas, D.L. 29338, establece desde el año 1999 el Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos, cuyo objetivo fundamental es la preservación sanitaria y ambiental de la calidad de los recursos hídricos a fin lograr la salud de la población, asegurar la calidad de las aguas en beneficio de las actividades productivas y mantener el equilibrio ecológico en los habitats acuáticos.

MARCO LEGAL DE ACTUACIÓN

Constituido por la Ley General de Aguas y su normatividad complementaria vigente, en donde se establece que:

El ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), es la autoridad Sanitaria responsable de la preservación, monitoreo y control de la calidad de los recursos hídricos.

OBJETIVO

El objetivo del Presente Protocolo de monitoreo es servir de guía técnica para la identificación de puntos de muestreo, tomas de muestra de agua, preservación, conservación y transporte; actividades que desarrollaran de manera conjunta la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA con las Direcciones Ejecutivas de Salud Ambiental – DESAs de las Dirección Regionales de Salud, en el marco del Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos.

PARÁMETROS DE MEDICIÓN EN CAMPO

1. Potencial de hidrógeno (pH)
2. Temperatura (°C)
3. Conductividad (µS/cm)
4. Sólidos Totales Disueltos (mg/L)
5. Oxígeno Disuelto (mg/L)

PARÁMETROS DE MEDICION EN LABORATORIO

1. Metales Pesados (As, Cd, Cr, Pb, Hg, Zn, Mn, Fe y Cu)
2. DBO5
3. Coliformes Totales y Termotolerantes
4. Aceites y Grasas
5. Cianuro
6. Cloruros
7. DQO

UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO Y REGISTRO DE DATOS EN CAMPO

Ubicación del punto de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo deberán cumplir los siguientes criterios:

1. Identificación: El punto de muestreo, debe ser identificado y reconocido claramente, de manera que permita su ubicación exacta en

los muestreos futuros. De preferencia, en la determinación de la ubicación se utilizara el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que se registrara en coordenadas UTM y en el sistema WGS84

2. **Accesibilidad:** Que permita un rápido y seguro acceso al lugar establecido para tomar la muestra.
3. **Representatividad:** Evitar zonas de embalse o turbulencias no características del cuerpo de agua, o menos que sean el objeto de evaluación. Elija un punto en donde el rio este lo más regular, accesible y uniforme en profundidad. Es importante considerar la referencia para la ubicación de un punto de monitoreo pudiendo ser un puente, roca grande, árbol, kilometraje vial y localidad. Además de ubicar el punto de muestreo cerca de una estación de aforo para que se pueda tomar simultáneamente datos sobre el flujo.

Registro de datos de campo

1. Se registrare el código del punto de muestreo, origen de la fuente, descripción clara y definida del punto de muestreo, hora y fecha de muestreo, localidad, distrito, provincia y departamento, coordenadas de ubicación del punto de muestreo, datos personales de quien realizo la toma de muestra, las condiciones climáticas y otras observaciones pertinentes en el punto de muestreo.
2. Se registraran todas las mediciones realizadas en el monitoreo-
3. Los datos requeridos en la Ficha de registro.

MUESTREO, PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN Y ENVÍO DE LAS MUESTRAS AL LABORATORIO DE ANÁLISIS

Recipientes, técnicas de recolección, conservación y manipulación de muestras

1. Los recipientes requeridos pueden ser de polietileno o vidrio, los cuales deben estar limpios y secos.
2. Todo equipo y los recipientes que entren en contacto con la muestra deben estar limpios para evitar contaminación.
3. Generalmente, los recipientes deben ser enjuagados dos o tres veces con el agua que está siendo recolectada (a menos que la botella contenga un preservante).
4. La mayoría de los recipientes para muestras deben ser llenados completamente a menos que sea necesario un espacio de aire para permitir la expansión térmica durante el transporte.
5. Algunas muestras requieren almacenamiento a baja temperatura y/o preservación con químicos para mantener su integridad durante el transporte y antes del análisis en laboratorio.
6. Los preservadores químicos más comunes son ácido clorhídrico, nítrico, sulfúrico, ascórbico e hidróxido de sodio, tiosulfato de sodio y biácidas.
7. Las cajas térmicas (coolers) usadas para el transporte de las muestras deberán ser grandes, herméticas y seguras para almacenar las muestras tomadas, materiales de empaque y hielo.
8. Haga un registro de cada muestra recolectada (ficha de muestra) y marque cada recipiente (etiquetado).
9. Utilice procedimientos formales que rastrean la historia de la muestra desde

la recolección hasta su llegada al laboratorio de análisis (cadena de custodia)

TOMA, PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

Es importante considerar las etapas que se tiene que dar en todo proceso de muestreo, con la finalidad que la muestra sea la más representativa posible y así asegurar la integridad desde su recolección hasta el reporte de los resultados por ellos se debe tener en cuenta lo siguiente:

Toma de muestra:

1. Para la toma de muestras en ríos evitar las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente, y la distancia de separación entre ambas orillas.
2. Si se dispone del equipo adecuado, se hará una toma integral desde la superficie al fondo en la zona media de la corriente o de un lado a otro a una profundidad media de forma que la muestra esté integrada en relación con el flujo. Si solo puede hacerse una toma pequeña, se hará en el centro de la corriente a una profundidad media.
3. Para la toma de muestras en lagos y pantanos que presentan considerables variaciones debidas a causas normales, como la estratificación estacional, la cantidad de lluvia, las descargas y el viento, se evitaría la presencia de espuma superficial.
4. Asimismo, para la toma de muestra de agua de mar se considera la velocidad y dirección de las corrientes, aproximadamente a 10 metros de la línea de marea.
5. El personal que realiza la toma de muestra se colocara en dirección opuesta al flujo del recurso hídrico, deberá enjuagar dos o tres veces el envase con el agua que se va a recolectar (a menos que el envase contenga un preservante), teniendo en cuenta que para la mayoría de los análisis, el llenado de los envases es completo, en tanto que para los análisis microbiológicos se dejara un espacio para aireación espacio de alrededor del 1% de la capacidad de la capacidad del envase (espacio de cabeza) para permitir la expansión térmica.
6. El volumen requerida para la toma de muestra de agua y el tipo de recipiente-

Preservación de la muestras

-) Una vez tomada la muestra de agua se procede a adicionar el preservante requerido de acuerdo al estipulado en el "requisitos para toma de muestra para toma de agua y manipulación".
-) Una vez preservada la muestra, cerrar herméticamente el frasco y para mayor seguridad encintar la tapa para evitar cualquier derrame de líquido.

Identificación de la muestra de agua

Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras se deberá colocar después de la toma de muestra una etiqueta en cada recipiente, en la que se anotara claramente con tinta a prueba de agua la información siguiente:

1. Numero de muestra (referido a la toma de muestra)
2. Código de identificación (punto y/o estación de muestreo)
3. Origen de la fuente

4. Descripción del punto de muestreo
5. Fecha y hora de la toma de la muestra
6. Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.
7. Tipo de análisis requerido.
8. Datos personales, y de los responsables del muestreo.

Conservación y envío de muestra de agua

1. Las muestras recolectadas deberán conservarse en cajas térmicas (coolers) disponiendo para ellos con preservantes de temperatura (ice pack, hielo seco, y otros).
2. Los recipientes de vidrio deben ser embalados con cuidado para evitar roturas y derrames. En el caso de utilizar hielo, colocar este en bolsas herméticas para evitar fugas de la caja donde se transportan las muestras de agua.

Conservación y envío de muestras de aguas

1. Las muestras recolectadas deberán entregarse al laboratorio en el menor tiempo posible, preferentemente dentro de las 24 horas de realizado el muestreo.
2. Para su ingreso al laboratorio de análisis, las muestras deberán ir acompañadas de: Fichas de cadena de custodia, ficha de muestreo y el oficio de la institución solicitante del análisis; documentos que en caso de ser remitidos dentro del "cooler" deberán colocarse en un sobre plastificado a fin de evitar que se deterioren los formatos e información requerida.

MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES NORMAS LEGALES:

- Ley N° 26842, ley general de salud
- Ley N°, 17752, ley general de Aguas.
- Decreto supremo N° 261-69-AP- Reglamento de la Ley General de Aguas

ANEXO IV
RESULTADOS DE LABORATORIO



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



Certificado de Análisis

L.Q - 2017 Nº 017

ASUNTO : Análisis Físico Químico de: AGUA RESIDUAL URBANA DE LA CIUDAD DE PUNO

PROCEDENCIA : Laguna de estabilización "Espinara" de la ciudad de Puno.

INTERESADO : Bach. Yuri Fredy Chuquitarqui de la Cruz
 Bach. Marco Eduardo Velásquez Huanco

MOTIVO : Ejecución de Tesis: "Diseño y construcción de un reactor de flujo ascendente, para el tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno"

MUESTREO : 20/12/2016, por el interesado

ANÁLISIS : 20/12/2016

COD. MUESTRA : 2059/01

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

Características	Unidades	valores
Parámetros		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	113,68
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	267,14
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	808,36
Conductividad Eléctrica (CE)	uS/cm	1 602,00
Potencial de Hidrógeno (pH)	--	8,44
Temperatura	°C	13
Salinidad	0/0	2,6

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Parámetro	Valor afluente RAFA (20/12/2016)	Valor efluente RAFA (11/01/2017)	% de reducción
DQO (mg/L)	267,14	60,83	77,23
DBO ₅ (mg/L)	113,68	22,50	80,20

Puno, C.U. 13 de enero del 2016.
 VºBº



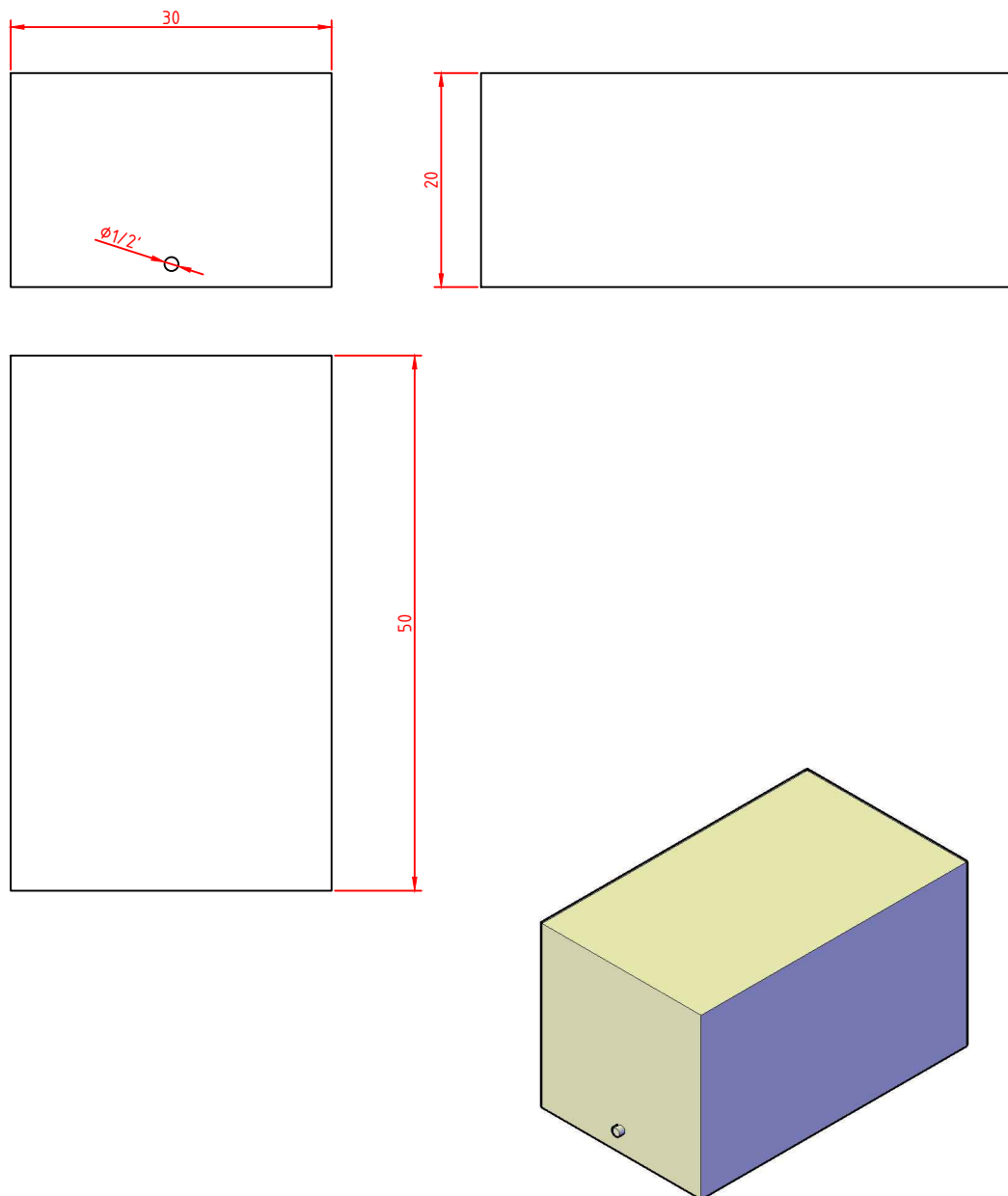
Dr. Edith Tello Palma
 DECANA F.I.Q.



Ing. M.B.C. Maria Rodriguez Melo
 Laboratorio Control de Calidad
 FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
 UNA - PUNO

Ciudad Universitaria Av. Florai s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -352992.

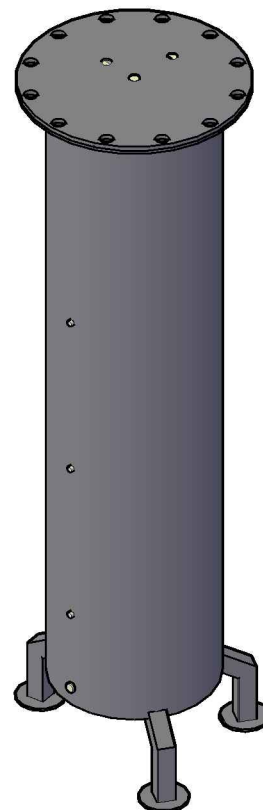
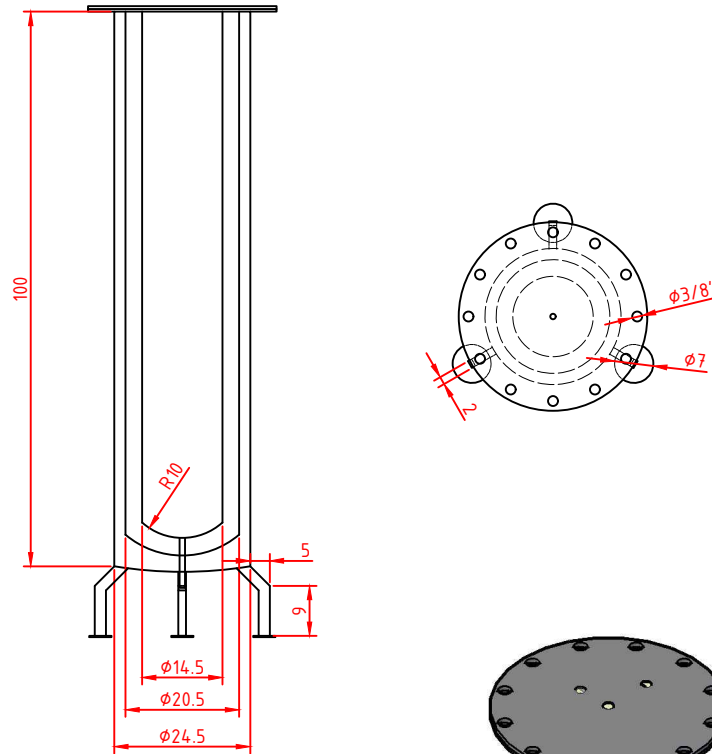
ANEXO V
PLANOS DEL DISEÑO



Tol. gral. ± 0.2
Medidas en cm

002	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	01	ACERO INOXIDABLE CS&L	-
Nº PIEZA	DENOMINACIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES

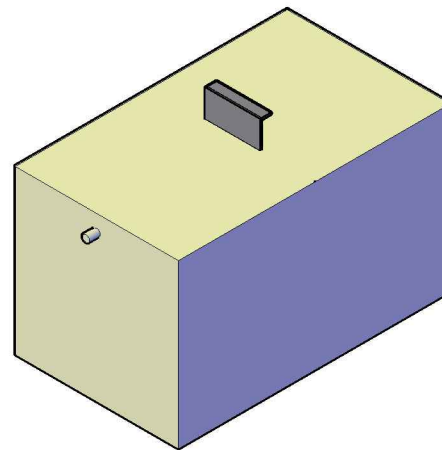
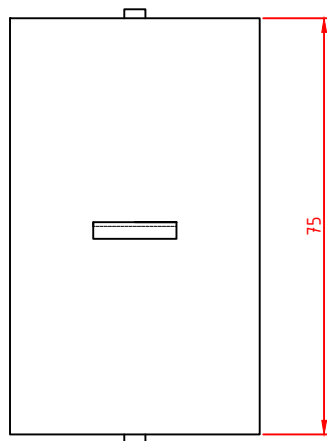
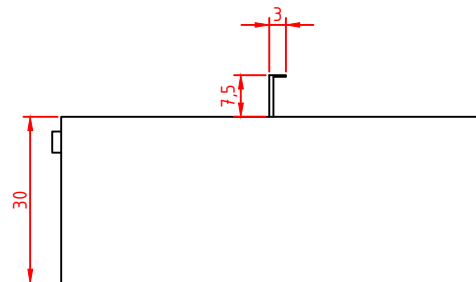
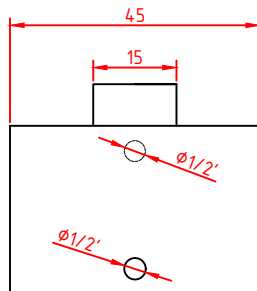
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR: VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO	
REALIZADO POR: CHUQUITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY	
ESCALA: 1:2	PLANO:
FECHA: DICIEMBRE-2016	TANQUE DE ALMACENAMIENTO



Tol. gral. ± 0.2
Medidas en cm

001	TANQUE RAFA	01	ACERO INOXIDABLE 304L	-
Nº PIEZA	DENOMINACIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES

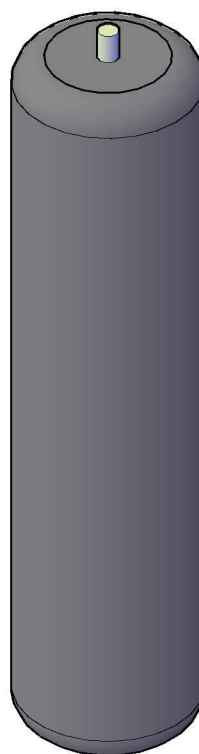
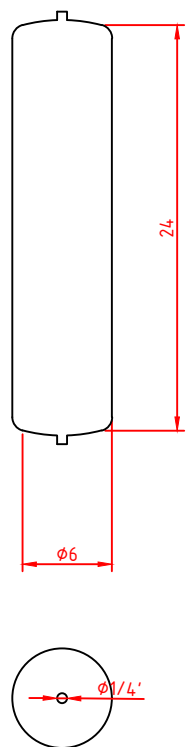
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR: VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO	
REALIZADO POR: CHUQUITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY	
ESCALA: 1:1	PLANO: TANQUE RAFA
FECHA: DICIEMBRE-2016	



Tol. gral. ± 0.2
Medidas en cm

003	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PURIFICADA	01	ACERO INOXIDABLE 304	-
Nº PIEZA	DENOMINACIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES

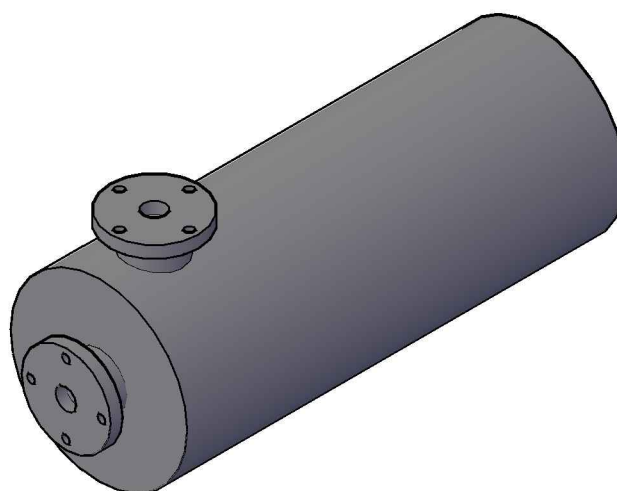
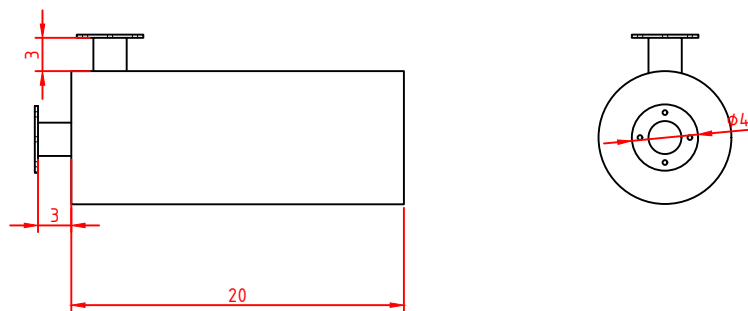
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR:	VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO
REALIZADO POR:	CHUQUITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY
ESCALA:	PLANO:
1:1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PURIFICADA
FECHA:	DICIEMBRE-2016



Tol. gral. ± 0.2
Medidas en cm

Nº PIEZA	DENOMINACIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES
004	TANQUE DE GAS	01	ACERO INOXIDABLE 304	-

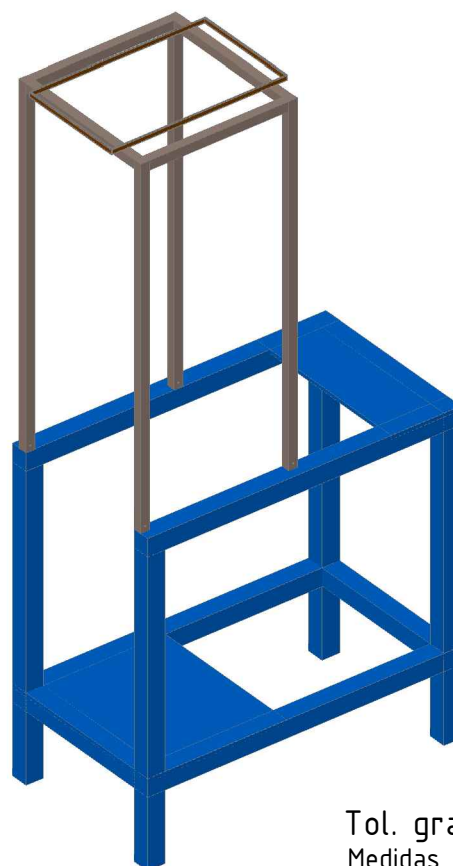
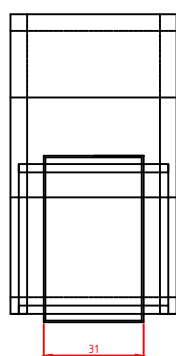
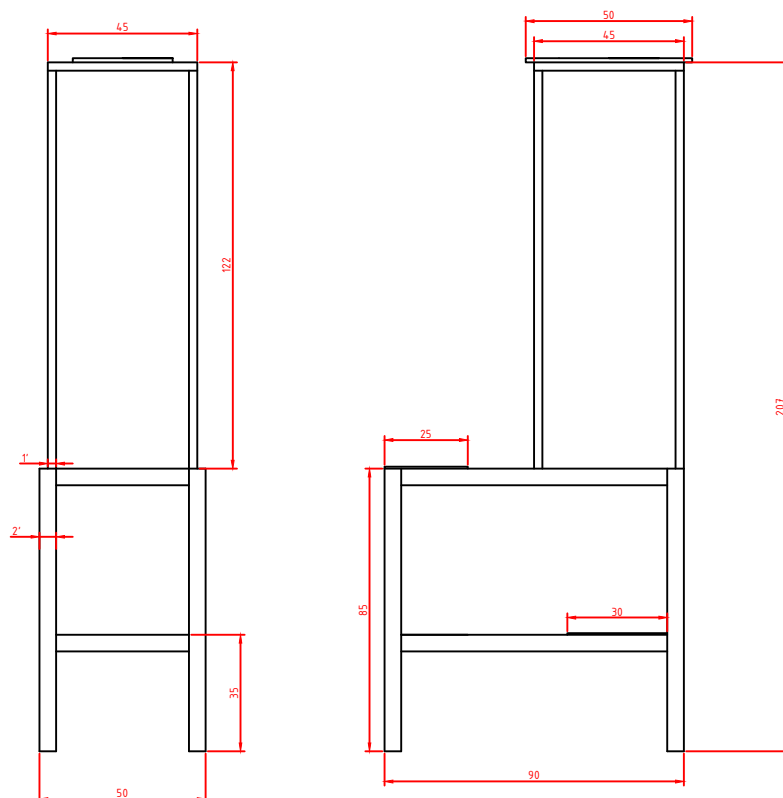
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR:	VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO
REALIZADO POR:	CHUQUITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY
ESCALA:	PLANO:
1:2	TANQUE DE GAS
FECHA:	DICIEMBRE-2016



Tol. gral. ± 0.2
Medidas en cm

005	CALENTADOR	01	ACERO INOXIDABLE 304	-
Nº PIEZA	DENOMINACIÓN	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES

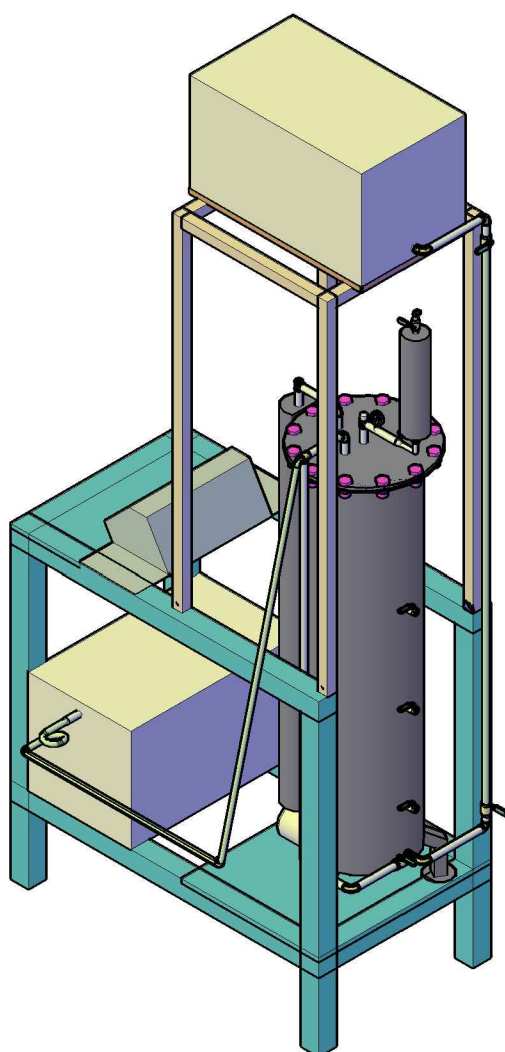
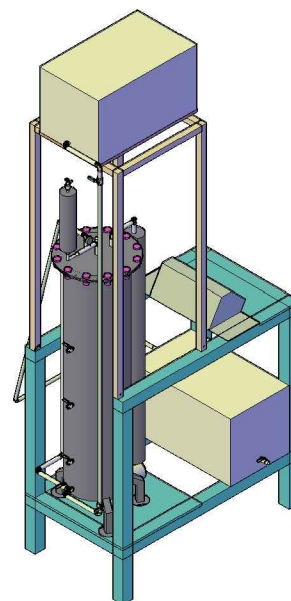
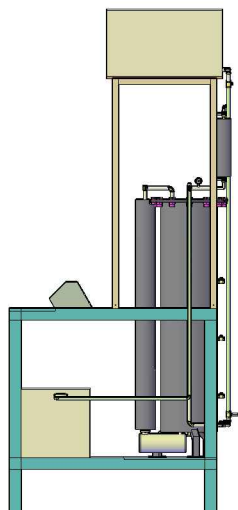
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR: VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO	
REALIZADO POR: CHUQUITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY	
ESCALA: 1:2	PLANO:
FECHA: DICIEMBRE-2016	CALENTADOR



Tol. gral. ± 0.2
Medidas en cm

006	BASE Y SOPORTE	01	ALUMINIO	-
Nº PIEZA	DENOMINACION	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR:	VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO
REALIZADO POR:	CHUQUITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY
ESCALA: 1:2	PLANO:
FECHA: DICIEMBRE-2016	BASE Y SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA	
REALIZADO POR:	VELASQUEZ HUANCA MARCO EDUARDO
REALIZADO POR:	CHUQITARQUI DE LA CRUZ YURY FREDY
ESCALA:	1:1
FECHA:	DICIEMBRE-2016
PLANO:	REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

ANEXO VI

EVIDENCIAS DE LA CONTRUCCIÓN DEL

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

(R.A.F.A.)

PASO N° 1: CORTADO DE LA PLANCHA



PASO N° 2: ROLADO DE LA PLANCHA



PASO N° 3: VARIAS ETAPAS DEL LA CONSTRUCCION DEL RAFA











ANEXO VII

EVIDENCIAS DEL MUESTREO DEL PROCESO

Y ANALISIS EN LABORATORIO

**EVIDENCIAS DEL MUESTREO DE AGUA RESIDUAL EN PROCESO DE
DEGRADACIÓN**



EVIDENCIAS DEL ANALISIS EN LABORATORIO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXÍGENO

