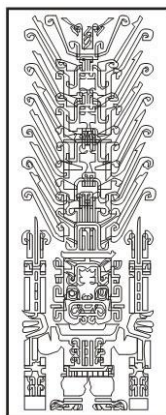


UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO



TESIS

**“GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL METANO GENERADO
EN LOS BIODIGESTORES IMHOFF DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA –
AYACUCHO, 2015”.**

PRESENTADO POR:

ALFREDO ARIAS JARA

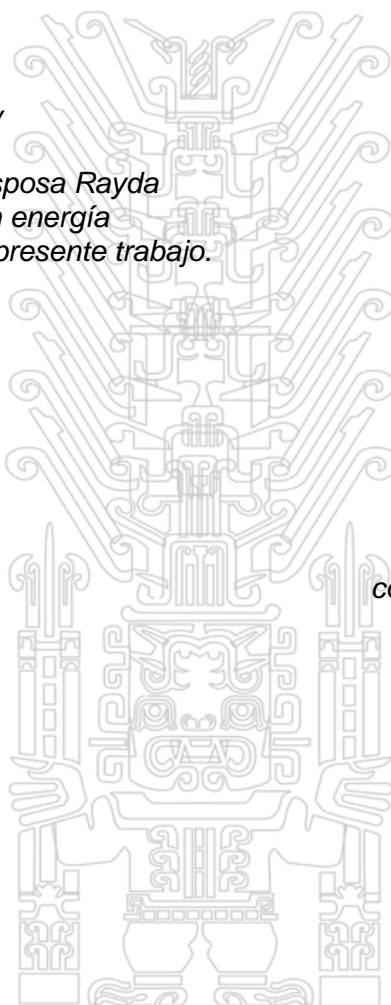
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

LIMA – PERÚ

2018

*A mi familia,
por su valioso apoyo y
sustento permanente,
especialmente a mi esposa Rayda
por su respaldo y gran energía
para el desarrollo del presente trabajo.*



*A todos aquellos que
consideran a nuestro planeta
como su hogar y
luchan para preservarla.*

AGRADECIMIENTOS

A cada uno de los grandes maestros de la Universidad Nacional Federico Villarreal que aportaron a la formación profesional, con gran sensibilización filosófica en la concepción del ambiente y el desarrollo sostenible, como una estrategia de comprender el ambiente, al hombre y su responsabilidad holística, con una gran responsabilidad en el desarrollo sostenible que garantice el bienestar de las siguientes generaciones.

Igualmente expreso mi sincero reconocimiento y agradecimiento a mi *alma mater*, forjadora de mi formación profesional y ejercicio laboral, que es la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a través de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, donde se ha forjado el fortalecimiento de las Ciencias de la Ingeniería Química, orientada en el marco del desarrollo de las tecnologías limpias, que convocan a los procesos de transformación industrial con responsabilidad ambiental y social.

A la EPS SEDA – Ayacucho, específicamente a los profesionales y amigos vinculados a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR de Totorá en la ciudad de Ayacucho, por el apoyo y facilidades prestadas en sus instalaciones, donde se ha evaluado el circuito de tratamiento de aguas servidas, con énfasis en la operación y funcionamiento de los tanques Imhoff, donde se han realizado las mediciones y evaluaciones de la emisión del biogás.

Finalmente, mis sinceros reconocimientos a la orientación y asesoría del Dr. Jorge Lescano Sandoval, un distinguido y extraordinario profesional, cuya contribución ha permitido consolidar el presente trabajo de investigación.

A. ARIAS J.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x
SIMBOLOGÍA	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xix
LISTA DE ANEXOS	xxi

CAPÍTULO I

PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1	Descripción del contexto	1
1.1.2	Delimitación del problema	5
1.1.3	Formulación del problema	6
1.2	OBJETIVOS	8
1.3	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	8
1.4	BASES CIENTÍFICAS	10
1.5	ANTECEDENTES	13
1.6	HIPÓTESIS	14
1.7	VARIABLES	15
1.8	MATRIZ DE CONSISTENCIA	17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	AGUAS RESIDUALES	20
2.1.1	Aguas servidas domésticas	20
2.1.2	Biodegradabilidad	22
2.1.3	Tratamiento de aguas residuales	23
2.1.4	Biodegradación anaeróbica	27

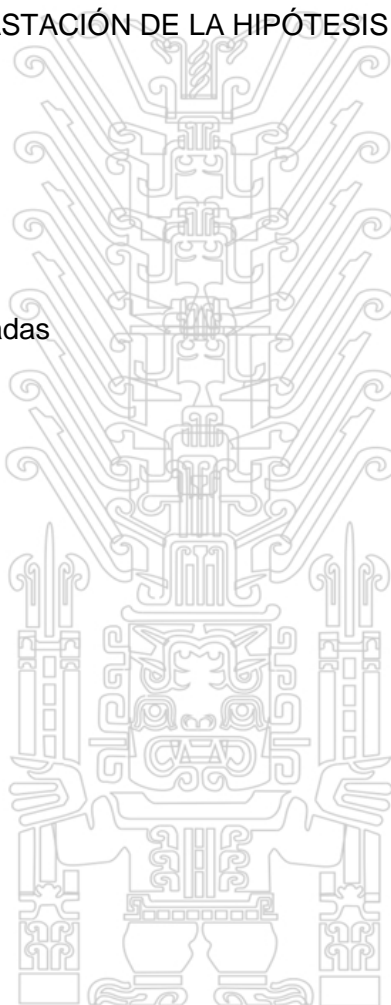
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

2.1.5	Metano y Biogás	29
2.1.6	Emisiones de metano	30
2.2	REACTORES BIOLÓGICOS Y TANQUES IMHOFF	33
2.2.1	Biodigestores para el tratamiento de aguas residuales	33
2.2.2	Tanques Imhoff	34
2.3	GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CONTAMINACIÓN DEL AIRE	37
2.4	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ	42
2.4.1	Las PTARs en el Perú	42
2.4.2	Tecnologías de las PTARs	43
2.5	PTAR DE TOTORA EN AYACUCHO	46
2.5.1	Ubicación y antecedentes	47
2.5.2	Aspectos técnicos	49
2.5.3	Tanques Imhoff	53
2.6	ASPECTOS NORMATIVOS Y ORGANIZACIONES	53
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA		
3.1	ASPECTOS METODOLÓGICOS	58
3.2	TÉCNICAS DE EVALUACIÓN	60
3.3	MATERIALES E INSTRUMENTOS	62
3.4	DESARROLLO EXPERIMENTAL	62
3.4.1	Evaluación del proceso de tratamiento de aguas residuales	62
3.4.2	Datos técnicos de operación de Planta	62
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS		
4.1	OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR TOTORA	65
4.1.1	Descripción de las operaciones de tratamiento	66
4.1.2	Distribución de unidades y diagramas del proceso	83

4.2	TANQUES IMHOFF DE LA PTAR TOTORA	87
4.3	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LA PTAR TOTORA	93
4.3.1	Análisis del laboratorio	94
4.3.2	pH y Temperatura	96
4.3.3	Caudal del afluente a la PTAR	98
4.3.4	Degradación de carga orgánica en la PTAR	103
4.4	PARÁMETROS DE LOS TANQUES IMHOFF	104
4.4.1	Dimensiones y parámetros generales	105
4.4.2	Biodegradación de la materia orgánica	107
4.5	MEDICIÓN DEL BIOGÁS GENERADO	115
4.5.1	Estado de los Canales de ventilación	116
4.5.2	Cierre del Canal de ventilación	118
4.5.3	Manga de captura de biogás	122
4.5.4	Resultados de la medición del biogás generado	124
4.6	COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS	130
CAPÍTULO V		
DISCUSIÓN		
5.1	EVALUACIÓN DE LA EMISIÓN DE GAS METANO	132
5.1.1	Metano emitido de acuerdo a Directrices del IPCC	134
5.1.2	Metano emitido según registros experimentales en los tanques Imhoff	136
5.1.3	Impactos Ambientales	140
5.2	FORMULACIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO	144
5.2.1	Emisiones de biogás y metano en PTARs	144
5.2.2	Captura y aprovechamiento energético del biogás en PTARs	146
5.2.3	Alternativas de control de emisión de metano	148
5.2.4	Cogeneración a partir del metano emitido	152
5.2.5	Propuesta del proceso de aprovechamiento energético del biogás	155

5.3	SISTEMA DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE	162
5.3.1	Diagnóstico general en la operación de la PTAR de Totorá	164
5.3.2	Sistemas de Gestión Ambiental	166
5.3.3	Lineamientos del SGA al entorno de los tanques Imhoff	172
5.3.4	Sistema de gestión de la calidad del aire	183
5.3.5	Contaminación atmosférica en la ciudad de Ayacucho	197
5.4	ANÁLISIS Y CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL	201
	CONCLUSIONES	205
	RECOMENDACIONES	210
	BIBLIOGRAFÍA:	
	Textos y Revistas Especializadas	211
	Páginas de Internet	216
	ANEXOS	218



RESUMEN

La descarga de gases de efecto invernadero a la atmósfera constituyen un serio problema ambiental que va incrementando el calentamiento global y el cambio climático en diversas regiones; razón por la cual, se ha evaluado la emisión del gas metano generado por biodigestión anaeróbica en los seis tanques Imhoff, instalados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR de Totorá en la ciudad de Ayacucho; medidos en las cámaras de ventilación por cierre del canal así como la instalación de la manga de captura de biogás, con el propósito de cuantificar los niveles de emisión de metano y formular el sistema de aprovechamiento energético a través de un sistema de gestión que permita mitigar la contaminación del aire en la zona, con los consecuentes beneficios sociales, económicos y ambientales para la ciudad de Ayacucho.

La PTAR de Totorá recibe un promedio de 353,5 L/s de aguas servidas, que ingresan con un DBO₅ promedio de 370,3 mg/L a los seis tanques Imhoff de la planta, con una reducción del 46,4 % por sedimentación y biodegradación anaeróbica en la cámara de digestión, alcanzando a la salida los 198,5 mg/L, con generación de lodos y biogás con un contenido del 70,5 % de metano, que alcanzan una tasa de emisión anual observada de 19,55 toneladas de metano, con máximo potencial de emisión de hasta 1149,13 t/año de acuerdo a las directrices del IPCC.

El aprovechamiento energético del metano contenido en el biogás a través de un sistema de pretratamiento y cogeneración CHP permitiría la obtención de por lo menos 81,53 MW.h de energía eléctrica y 122,30 MW.h de energía térmica al año, con una reducción notable del efecto invernadero que provoca el biogás en la atmósfera, cuya descarga actual equivalen a una contaminación térmica de 506 t CO₂-eq/año.

Palabras claves: calidad del aire, biogás, metano, aguas residuales.

ABSTRACT

The discharge of greenhouse gases into the atmosphere is a serious environmental problem that increases global warming and climate change in various regions; for this reason, the emission of methane gas generated by anaerobic biodigestion was evaluated in the six Imhoff tanks, installed inside Wastewater Treatment Plant of Totorá located in Ayacucho city; this was measured in the ventilation chambers by closure of the channel and biogas capture sleeve installations, with the purpose of quantifying the levels of methane emission to formulate the energy utilization system of biogas through an environmental management system that allows to mitigate the air pollution in the locality area, with the consequent social, economic and environmental benefits for the city of Ayacucho.

Totorá's WWTP receives an average of 353,5 L/s of wastewater, which are fed at an average BOD₅ of 370,3 mg/L to the six Imhoff tanks of the WWTP, with a reduction of 46,4% by sedimentation and anaerobic biodegradation in the Imhoff digestion chamber, reaching 198,5 mg/L in liquid effluent, with the generation of sludge and biogas with a content of 70,5% of methane, which reach an observed annual emission rate of 19,55 tons of methane, with maximum emission potential of up to 1149,13 t/year according to the IPCC guidelines.

The energy utilization of methane contained in biogas, through a pretreatment and CHP cogeneration system would allow obtaining at least 81,53 MW.h of electrical energy and 122,30 MW.h of thermal energy per year, with is a significant reduction of the greenhouse effect caused by biogas in the atmosphere, whose current discharge corresponds to a thermal contamination of 506 tCO₂-eq/year.

Key words: air quality, biogas, methane, wastewater.

INTRODUCCIÓN

El permanente crecimiento de las poblaciones urbanas han incrementado los diversos requerimientos urbanísticos y servicios en general, y porque no decir también han influido en los problemas sociales, económicos y ambientales asociados a los grandes centros urbanos; siendo uno de éstos problemas el suministro de agua potable, su consumo en la población y la eliminación de las aguas servidas a través de las alcantarillas urbanas hacia sumideros o cuerpos de agua sin procesos de tratamiento de aguas residuales en muchos casos, constituyendo un grave problema sanitario y de contaminación ambiental.

La gestión y administración pública de diversos centros urbanos del país han desarrollado proyectos sobre el tratamiento de aguas residuales, implementando diversas alternativas de tratamiento en función a sus realidades, necesidades y volumen de generación de aguas servidas; de tal manera que en la región de Ayacucho, se tiene la zona metropolitana que incluye a la capital que Ayacucho constituida por cinco distritos metropolitanos, que en conjunto alcanzan alrededor de los 205 mil habitantes, está la infraestructura de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) llamado Totorá, cuyas instalaciones se encuentran a unos 3,5 km al noreste de la ciudad de Ayacucho, donde se recibe un afluente de unos 350 L/s de aguas residuales con alta tasa de materia orgánica y coliformes, que luego del circuito de tratamiento produce un efluente final con parámetros que cumplen las exigencias dispuestas para efluentes líquidos de PTARs dispuestas en el D.S. N° 003-2010-MINAM, procediéndose finalmente al vertido en el cauce del río Alameda que surca la parte inferior de la planta.

Las instalaciones de la PTAR de Totorá datan aún del año 1974, con una segunda etapa de ampliación de capacidad instalada desarrollada entre los años 2000 a 2004; en la actualidad se tiene un inminente acercamiento a su máxima capacidad de operación, con potencial sobrecarga de la planta en algunos momentos críticos. Entre sus instalaciones destacan la captación y eliminación de sólidos de las aguas residuales, los canales de desarenación, los seis tanques Imhoff de tratamiento primario donde se realiza la biodigestión anaeróbica, los filtros percoladores cilíndricos y las diversas lagunas de estabilización entre otras operaciones.

La operación y funcionamiento de los seis tanques Imhoff en paralelo, en cuya cámara de digestión anaeróbica se realiza la degradación de la materia orgánica sedimentada, generan por acción microbiana metanogénica el biogás, percibido por el intenso burbujeo superficial en las aguas de las cámaras de ventilación de los tanques Imhoff, desde la cual se libera y descarga directamente al aire, dispersándose en la atmósfera, percibiéndose ocasionalmente el mal olor asociado al biogás en las poblaciones aledañas a la planta.

El biogás liberado contiene alrededor del 70 % de metano, acompañado con dióxido de carbono y otros componentes menores, descargando actualmente al aire alrededor de 20 toneladas de metano por año, con un potencial de descarga máxima que puede alcanzar hasta los 1150 toneladas de metano estimados de acuerdo a las directrices del IPCC; descarga considerada como gases de efecto invernadero calificados como contaminantes del aire, con alto potencial de calentamiento global debido a la presencia del metano, responsables del incremento de la temperatura global media de la atmósfera, reconocido mundialmente como el fenómeno de calentamiento global que está vinculado al cambio climático, reflejado en éstos últimos tiempos por los diversos desastres naturales que han asolado nuestro país.

El biogás, caracterizado por su contenido de metano, considerado como un gas con alto contenido energético, calificado como un hidrocarburo limpio, debe ser recuperado indiscutiblemente para su aprovechamiento energético en la planta, a cambio de su descarga directa al aire con los problemas ambientales y las consecuencias que ello implica en la región y el país. El aprovechamiento energético más apropiado en los ciclos de potencia es el sistema de cogeneración CHP, con generación simultánea de electricidad y calor de alto rendimiento, con integración energética a favor de la planta, que implica considerables beneficios económicos y ambientales.

Finalmente, las fuentes donde se identifican las emisiones de gases de efecto invernadero, como es el caso del metano en los tanques Imhoff, debe generar el compromiso ambiental de las entidades, empresas, instituciones en general, gobiernos locales y regionales, organizaciones ambientales y la población en general, a establecer medidas y sistemas de gestión ambiental que permitan reducir dichas emisiones, mitigando la contaminación atmosférica y beneficio de la población.

SIMBOLOGÍA

Notación utilizada en fórmulas:

B₀	Capacidad o máximo potencial de producción de metano
C_A	Carga orgánica en la entrada (afluente)
C_E	Carga orgánica en la salida (efluente)
DOT	Desechos Orgánicos Totales degradados
E	Emisión de metano
E_b	Emisión volumétrica total de biogás
E_{CH4}	Emisión volumétrica de gas metano
E_t	Emisión anual de metano
FCM	Factor o fracción de conversión del metano
FE	Factor de emisión de metano en la operación anaeróbica
P	Presión del gas
Q	Caudal del líquido
R	Constante universal de los gases
RM	Recuperación de metano
T	Temperatura
V	Volumen del gas

Acrónimos:

CAM	Comisión Ambiental Municipal
CAR	Comisión Ambiental Regional
CER	Certificado de Reducción de Emisiones
CHP	Combined Heat and Power (Generación combinada de calor y electricidad)
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente
COP	Conference of the Parties (Conferencia sobre Cambio Climático)
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
EPA	Environmental Protection Agency
EPS	Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GESTA	Grupo de Estudio Técnico Ambiental

HFC	Hidrofluorocarbonados
HT	Hidrocarburos Totales
INCA	Índice de Calidad del Aire
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	Organización Internacional de Estandarización / Normalización (International Organization for Standardization)
LMP	Límites Máximos Permisibles
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MINAM	Ministerio del Ambiente
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCG	Poder de Calentamiento Global
PCG	Poder de Calentamiento Global
PFC	Perfluorocarbonados
PLANAA	Plan Nacional de Acción Ambiental
PM	Material Particulado
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppb	Partes por billón
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
SNGA	Sistema Nacional de Gestión Ambiental
SS	Sólidos Solubles
SST	Sólidos Suspendidos Totales
ST	Sólidos Totales
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
TRH	Tiempo de Retención Hidráulica
TRS	Tiempo de Retención de Sólidos
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente)
WWTP	Wastewater Treatment Plant
ZAP	Zonas de Atención Prioritaria

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** Mapa de la región de Ayacucho, provincia de Huamanga y sus distritos. (DGCF- MTC, 2017).
- Figura 1.2** Biodigestores Imhoff de la PTAR de Totorá, Ayacucho, con canales abiertas al ambiente.
- Figura 2.1** Vertidos directos de aguas residuales y contaminación de acuíferos.
- Figura 2.2** Esquema típico de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR.
- Figura 2.3** Balance de transformación de DQO en digestión aeróbica y anaeróbica (Rodríguez J.A., 2003).
- Figura 2.4** Etapas y mecanismo de la digestión anaerobia y generación de metano (Menéndez y Pérez, 2007).
- Figura 2.5** Efecto de la temperatura en el tiempo de la digestión anaeróbica de aguas residuales.
- Figura 2.6** Elección de factores de emisión de metano para diversas operaciones en México (Ramírez y Vázquez, 2012).
- Figura 2.7** Esquema constructivo de los tanques Imhoff e identificación de sus compartimientos (CEPIS, 2005).
- Figura 2.8** Anomalía de la temperatura media mundial afectando el cambio climático (Centro Hadley, NOAA).
- Figura 2.9** Diagrama de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por sectores - 2012 (ASN Bank, Ecofys)
- Figura 2.10** Tasas crecientes de las emisiones antropogénicas mundiales de GEI (Climate Change 2007).
- Figura 2.11** Esquema de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (SUNASS, 2015).
- Figura 2.12** Diagrama de flujo de la PTAR TOTORA de EPSASA - Ayacucho (SUNASS, 2015).
- Figura 2.13** PTAR – Totorá de Ayacucho (SEDA, 2016).
- Figura 2.14** Vista panorámica de la PTAR de Totorá en Ayacucho (SEDA, 2016).

- Figura 4.1** Cámara de recepción de aguas residuales que ingresa a la PTAR de Totorá.
- Figura 4.2** Cámara de rejas gruesas para retener sólidos gruesos acarreados por las aguas residuales.
- Figura 4.3** Rejillas horizontales cercanas al punto de derivación.
- Figura 4.4** Cámara de rejas intermedias para retener sólidos.
- Figura 4.5** Rejillas de limpieza automatizadas con máquinas Huber, con tornillo transportador para evacuar los sólidos.
- Figura 4.6** Canales desarenadores de flujo horizontal.
- Figura 4.7** Bafle para separación de aceites, grasas y ceras flotantes, instaladas al final del canal desarenador.
- Figura 4.8** Medidor de caudal ultrasónico KAFAGUI instalado en el canal colector de aguas servidas luego del desarenado.
- Figura 4.9** Canaleta de paso (Parshall) y carga de aguas servidas a la red de distribución subterránea.
- Figura 4.10** Cámara de distribución de aguas residuales, que alimentan a los tanques Imhoff.
- Figura 4.11** Vista panorámica de cuatro tanques Imhoff de la PTAR de Totorá (Imhoff 1, 2, 3 y 4, enumerados de derecha a izquierda).
- Figura 4.12** Vista panorámica de dos tanques Imhoff de la PTAR de Totorá (Imhoff 5 y 6, enumerados de derecha a izquierda).
- Figura 4.13** Tanques Imhoff 1 y 2, con dos cámaras de sedimentación y tres canales de venteo de emisión de biogás.
- Figura 4.14** Esquema dimensional de la vista superior del tanque Imhoff (3 al 6) de la PTAR de Totorá.
- Figura 4.15** Esquema de vista frontal del tanque Imhoff (3 al 6) que detalla su componentes y la descarga de lodos de fondo.
- Figura 4.16** Tanque Imhoff 3, con canaleta de entrada de aguas residuales en la cabecera y canales longitudinales de sedimentación y ventilación de biogás
- Figura 4.17** Lechos de secado de lodos descargados desde los tanques Imhoff
- Figura 4.18** Filtros percoladores cilíndricos de la PTAR de Totorá
- Figura 4.19** Rociador Geiger con distribuidor rotatorio en aspa instalado sobre cada filtro percolador.
- Figura 4.20** Ventanas de aireación natural instaladas en el contorno inferior del filtro percolador.

- Figura 4.21** Lagunas facultativas 1 y 2 (las de adelante) seguidas por las lagunas de maduración y pulimento (al fondo).
- Figura 4.22** Espejo de agua de la laguna facultativa 2.
- Figura 4.23** Sedimentadores naturales integrados para post sedimentación.
- Figura 4.24** Drenado del líquido del sedimentador integrado para el secado de lodos y limpieza final.
- Figura 4.25** Canal disipador de energía y descarga del efluente de la PTAR de Totorá hacia el cauce del río Alameda.
- Figura 4.26** Laboratorio de control de calidad de la PTAR de Totorá.
- Figura 4.27** Área geográfica de la planta y distribución de unidades de tratamiento instaladas en la PTAR de Totorá.
- Figura 4.28** Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá.
- Figura 4.29** Diagrama de flujo de la PTAR de Totorá
- Figura 4.30** Vista isométrica del detalle constructivo y de componentes de los tanques Imhoff 3 y 4.
- Figura 4.31** Vista frontal y detalle de las tres cámaras de sedimentación con extremo V abiertas a las cámaras de digestión piramidal invertida del fondo y las tuberías de descarga de lodos.
- Figura 4.32** Vista superior y vista lateral a escala del tanque Imhoff, que detalla los dos fondos piramidales invertidos para la digestión.
- Figura 4.33** Vista frontal a escala del tanque Imhoff, con las tres cámaras de sedimentación ancladas al interior del tanque.
- Figura 4.34** Remoción de tierras para la configuración del tanque Imhoff, con refino de la pirámide inferior (cámara de digestión).
- Figura 4.35** Encofrado de las cámaras de sedimentación con fondo tipo V abierta con traslape hacia el fondo.
- Figura 4.36** Tanque Imhoff concluida con extremo V abierta de las tres cámaras de sedimentación hacia el fondo piramidal.
- Figura 4.37** Variación del pH promedio mensual de las aguas residuales en la PTAR de Totorá para el año 2015 (SEDA, 2016).
- Figura 4.38** Variación de la temperatura promedio mensual de las aguas residuales de la PTAR de Totorá para el año 2015 (SEDA, 2016).
- Figura 4.39** Variación del caudal promedio anual del afluente a la PTAR de Totorá (SEDA, 2016).

- Figura 4.40** Variación del caudal promedio mensual del afluente a la PTAR de Totorá para el año 2015 (SEDA, 2016).
- Figura 4.41** Variación del caudal promedio diario del afluente a la PTAR de Totorá, diciembre 2015 (SEDA, 2016).
- Figura 4.42** Variación del caudal promedio horario del afluente a la PTAR de Totorá, de un día de diciembre 2015, (SEDA, 2016).
- Figura 4.43** Variación del DBO₅ de aguas residuales en el afluente y efluente de la PTAR de Totorá, 2015 (SEDA, 2016).
- Figura 4.44** Variación del DBO₅ de las aguas residuales afluente y efluente a la PTAR, y a la salida del tanque Imhoff 03 (SEDA, 2016).
- Figura 4.45** Variación del % de remoción promedio anual de DBO₅ desarrollado por el tanque Imhoff 03 de la PTAR de Totorá (SEDA, 2016).
- Figura 4.46** Variación del % de remoción promedio anual de DBO₅ desarrollado por cada tanque Imhoff de la PTAR Totorá (SEDA, 2016).
- Figura 4.47** Porcentaje de remoción promedio en cinco años de evaluación para cada tanque Imhoff de la PTAR de Totorá (SEDA, 2016).
- Figura 4.48** Variación del promedio anual del DBO₅ afluente y efluente de la PTAR Totorá, en el periodo de 2011 al 2015 (SEDA, 2016).
- Figura 4.49** Parámetros promedio globales consolidados para la biodegradación desarrollada en la PTAR de Totorá.
- Figura 4.50** Canales de ventilación saturados con natas, costras, lodos secos, residuos sólidos e inclusive con vegetación.
- Figura 4.51** Limpieza del canal de ventilación izquierdo del tanque Imhoff 3, para proceder con las instalaciones de registro de biogás.
- Figura 4.52** Instalación de la estructura de soporte metálico sobre el canal de ventilación y cierre con manto triple de polietileno.
- Figura 4.53** Cierre hermético del canal de ventilación con tubo emisor de biogás.
- Figura 4.54** Balance de biogás en el sistema del canal de ventilación cerrado.
- Figura 4.55** Instalación de la manga flexible para la colección del biogás, instalada sobre el líquido del canal de ventilación.
- Figura 4.56** Balance de biogás capturado en el sistema de la manga flexible.
- Figura 4.57** Resultados típicos de la medición de biogás generado en el canal de ventilación.
- Figura 4.58** Resultados típicos de la medición de biogás acumulado en la manga de captura de biogás.

- Figura 4.59** Manga flexible de polietileno cargado a su máxima capacidad con biogás.
- Figura 4.60** Prueba de combustión con el biogás de los tanques Imhoff.
- Figura 5.1** Horizonte de emisiones de metano en equivalente de CO₂ para (a) el Perú y (b) el mundo (Banco Mundial, OCDE/AIE).
- Figura 5.2** Índice de la temperatura media global de la superficie con un intervalo de confianza del 95 % (<https://data.giss.nasa.gov>)
- Figura 5.3** Estimación mundial de emisiones de metano provenientes de aguas residuales municipales de 10 países del mundo (2010) (<http://www.globalmethane.org>)
- Figura 5.4** Instalación del quemado directo del biogás en TEA, PTAR de San Martín de los Llanos, Colombia (Donado, 2013)
- Figura 5.5** Instalación de reactores anaerobios UASB para PTARs.
- Figura 5.6** Eficiencia en los sistemas de ciclo combinado de potencia y calor (<http://todoproduktividad.blogspot.pe>)
- Figura 5.7** Conversión energética estimada a partir de 1 kg de metano neto contenido en el biogás utilizando el sistema CHP.
- Figura 5.8** Diagrama de bloques para la captura, tratamiento previo y aprovechamiento energético del biogás.
- Figura 5.9** Cierre hermético de un biodigestor anaeróbico con cubierta flexible de AQFlex (Aqua Limpia Engineering)
- Figura 5.10** Sopladoras y compresoras de una etapa para biogás (Aqua Limpia Engineering).
- Figura 5.11** Esquema del generador de energía eléctrica con aprovechamiento térmico.
- Figura 5.12** Etapas para la implementación de la norma EMAS.
- Figura 5.13** Estructura y componentes vitales de un Sistema de Gestión Ambiental.
- Figura 5.14** Establecimiento del compromiso de la entidad para la gestión ambiental referido a los tanques Imhoff.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.1** Identificación de los distritos de la zona metropolitana de Ayacucho.
- Tabla 2.1** Análisis composicional típico de aguas residuales
- Tabla 2.2** Potencial de calentamiento global (PCG) de gases de efecto invernadero (Climate Change 2007).
- Tabla 2.3** Propuesta de alternativas de mejoramiento de la PTAR Totora (EPSASA, 2012).
- Tabla 3.1** Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR (MINAM, 2010)
- Tabla 4.1** Datos de control de calidad de aguas realizados por el Laboratorio interno de la PTAR de Totora
- Tabla 4.2** Datos de control de calidad para efluentes de la PTAR de Totora, evaluados según el D.S. N° 003-2010-MINAM.
- Tabla 4.3** Valor promedio de parámetros de control de calidad del efluente de la PTAR de Totora del año 2014.
- Tabla 4.4** Parámetros de diseño y construcción de los tanques Imhoff y de operación según el proyecto.
- Tabla 4.5** Parámetros operativos promedios registrados en el tratamiento de aguas residuales en los tanques Imhoff.
- Tabla 4.6** Biodegradabilidad de las aguas residuales alimentadas a los tanques Imhoff.
- Tabla 4.7** Resultados de emisión de biogás consolidados de los datos del cierre de canal de ventilación.
- Tabla 4.8** Resultados consolidados de la emisión de biogás acumulado en la manga flexible.
- Tabla 4.9** Emisión específica promedio de biogás medido desde los canales de ventilación de los tanques Imhoff.
- Tabla 4.10** Evaluación composicional proximal promedio del biogás emitido por los biodigestores Imhoff

- Tabla 5.1** Estimación de la emisión de metano desde los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, de acuerdo a las directrices del IPCC.
- Tabla 5.2** Determinación de la emisión de metano desde los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, de acuerdo a los resultados experimentales.
- Tabla 5.3** Poder calorífico del gas metano puro (Pérez & Martínez, 1995: GPSA-80)
- Tabla 5.4** Energía eléctrica y térmica anual obtenida a partir del biogás emitido en la PTAR de Totorá.
- Tabla 5.5** Identificación de aspectos ambientales en la operación de los tanques Imhoff.
- Tabla 5.6** Evaluación de las salidas de materiales alrededor de los tanques Imhoff y los potenciales de contaminación.
- Tabla 5.7** Establecimiento de objetivos y beneficios operativos y ambientales proyectados para la PTAR de Totorá.
- Tabla 5.8** Resultados de la calidad del aire para la ZAP Huamanga (MINAN, 2015)



LISTA DE ANEXOS

- A-01** Potencial de Calentamiento Global de Gases de Efecto Invernadero (PCG o GWP)
- A-02** NTPs vinculadas con Gases de Efecto Invernadero
- A-03** Vistas fotográficas de la historia constructiva de los tanques Imhoff en la PTAR de Totorá
- A-04** Aprobación de los LMPs para los efluentes de PTARs
- A-05** Índice de Calidad del Aire: INCA
- A-06** NTP ISO 26000: Guía de Responsabilidad Social



CAPÍTULO I

PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre los diversos problemas que actualmente enfrenta la contaminación del aire en la ciudad de Ayacucho, especialmente en la zona urbana con una población creciente y una expansión territorial relativamente desordenada, está la emisión de gases de combustión del parque automotor y las diversas actividades comerciales de la ciudad; a lo cual se estaría sumando la potencial emisión del biogás conteniendo metano, que es liberado en el proceso de biodigestión anaeróbica que ocurre en los tanques Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá, cuya descarga directa a la atmósfera constituyen los denominados gases de efecto invernadero, que afectarían potencialmente la contaminación del aire de acuerdo a su tasa de emisión, reflejándose en el calentamiento global y el cambio climático.

1.1.1 Descripción del contexto

La región de Ayacucho, ubicada en la sierra centro sur del Perú, presenta una topografía accidentada y una diversidad de pisos ecológicos, con un suelo accidentado por el cruce de las cordilleras con características orográficas tipo montañosa y selvática en el extremo norte, con marcada serranía al centro alternada con valles interandinos, con altiplanicies en la zona sur y quebradas en el extremo sur, con una altitud media departamental de unos 5746 msnm,

poblados, con días soleados en la mayor parte del año, ocupando una extensión territorial de 43 815 km², mayormente rurales. Tiene una población total estimada de 700 314 habitantes para el año 2016 (proyectada con una tasa de crecimiento del 1,5 %, con referencia al censo poblacional 2007 – INEI).

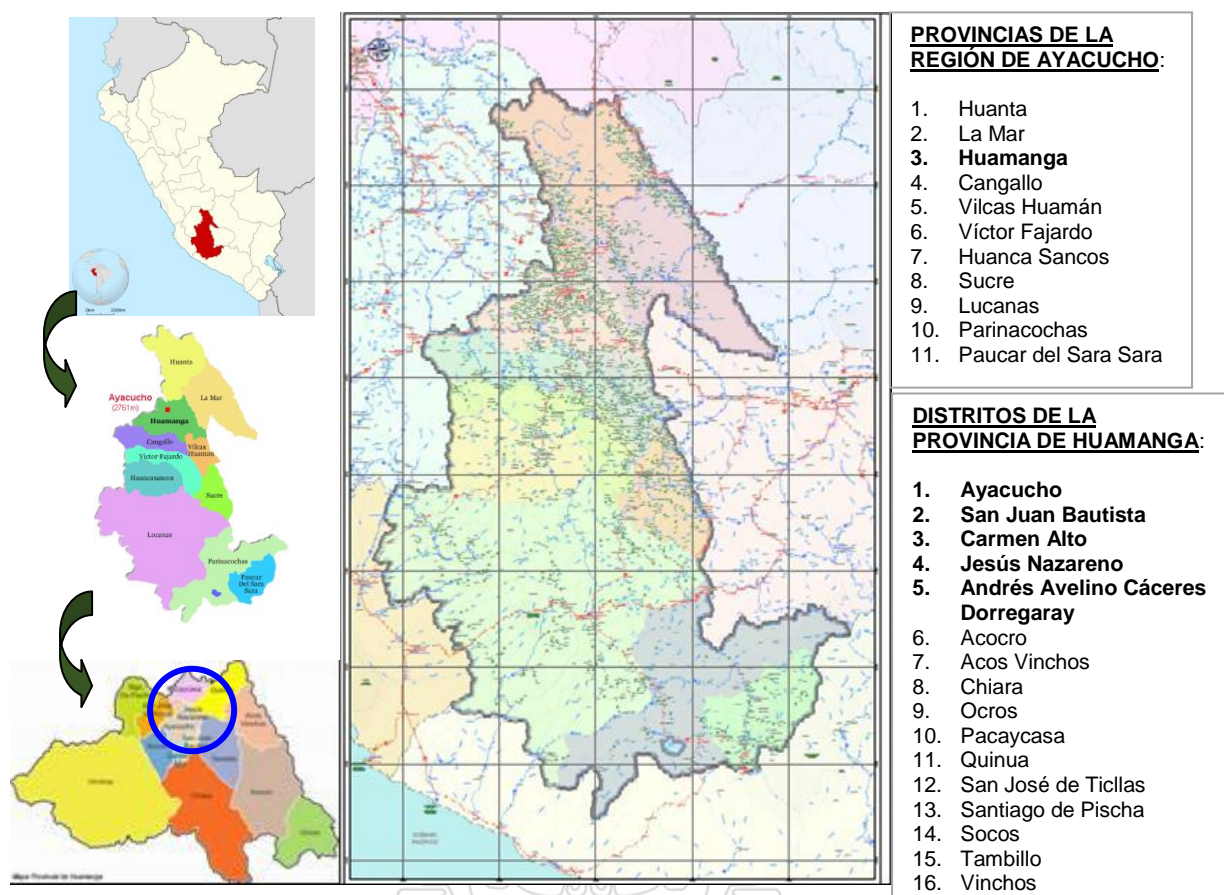


Figura 1.1 Mapa de la región de Ayacucho, provincia de Huamanga y sus distritos. (DGCF- MTC, 2017)

La región de Ayacucho está políticamente dividida en 11 provincias, relativamente centralizada en la provincia de Huamanga que consta de 16 distritos, ver la Fig. 1.1, en la cual se ubica la capital del departamento que es la ciudad de Ayacucho ubicada a una altitud de 2746 msnm.

La provincia de Huamanga alberga cerca del 40 % de la población total regional, de los cuales el 73 % viven asentados en la zona urbana. La capital de la región confina la zona metropolitana territorialmente integrada por cinco

distritos (de los 16 que tiene la provincia de Huamanga), que son los distritos de **Ayacucho** (capital de la región), **San Juan Bautista**, **Carmen Alto**, **Jesús Nazareno** y el nuevo distrito de **Andrés Avelino Cáceres Dorregaray** (*creado el 28-abril-2013*), que en conjunto albergan cerca de 205 mil habitantes, que vienen a ser el 74 % de la población total provincial, con una alta densidad poblacional en su distribución territorial.

Tabla 1.1 Identificación de los distritos de la zona metropolitana de Ayacucho.

N°	Ubigeo	Distrito	Altitud (msnm)	Coordenadas UTM		Población (2015)
1	050101	Ayacucho	2 746	584114.93 m E	8544244.88 m S	93 222
2	050110	San Juan Bautista	2 610	584387.16 m E	8544119.19 m S	50 429
3	050104	Carmen Alto	2 800	584467.87 m E	8542871.02 m S	21 350
4	050115	Jesús Nazareno	2 780	584538.88 m E	8545984.28 m S	18 004
5	050116	Andrés Avelino Cáceres Dorregaray	2 590	585206.37 m E	8544737.30 m S	21 585
Población total de la zona metropolitana						204 590
Población total de la provincia de Huamanga						277 224
Población total de la región de Ayacucho						688 657

Fuente: INEI (<http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>)

La zona metropolitana, conocida también como los distritos metropolitanos, centralizan las diversas actividades económicas, comerciales, financieras y demás servicios de la región, representada por la zona urbana central de arquitectura colonial y antigua en gran parte, que alberga la mayor parte de las iglesias y casonas coloniales, bordeada por la zona urbana de franco crecimiento horizontal y acordonada por una gran zona urbano marginal, cuya población fue acrecentada de manera inesperada por los problemas socio políticos vividos en la región hacia los años 80's.

El **GT - GESTA zonal de Aire de Huamanga** identifica a los cinco distritos metropolitanos indicados, con una extensión de 141,13 km², para propósitos de evaluación de la calidad del aire como la **Zona de Atención Prioritaria (ZAP) de la Cuenca Atmosférica de Huamanga** (MINAM, 2015); siendo necesario precisar que, históricamente existió la "ciudad de Huamanga" fundada el 25 de

Tesis publicada en el 2015 con el nombre de "San Juan de la Frontera de Huamanga", que No olvide citar esta tesis

UNFV

luego de la batalla de Ayacucho cambió su nombre a la ciudad de Ayacucho; tal que en la división política actual viene a ser el distrito de Ayacucho, capital de la región de Ayacucho, que pertenece a la provincia de Huamanga; razón por la cual hoy no existe la ciudad de Huamanga como tal, pero que sí se usa como una denominación emblemática y señorial en diversas actividades sociales y políticas de la región.

La población relativamente concentrada en la zona metropolitana demandan con gran intensidad los servicios de agua, desagüe y electricidad, generando el discurrir de una gran cantidad de **aguas residuales** que se colectan y confluyen hacia la **PTAR de Totorá** para su tratamiento, en cuyas instalaciones el funcionamiento de los tanques Imhoff desprenden el biogás conteniendo metano, que viene a ser un gas de efecto invernadero que contribuye al problema ambiental del calentamiento global.

Las aguas residuales se canalizan desde la región metropolitana hacia la PTAR de Totorá a través de una red de colectores y una alcantarilla de unos 3,5 km de ducto, con un caudal acumulado de unos 350 L/s, que ingresan a las instalaciones de la PTAR para su procesamiento, constituidos por el tratamiento físico mecánico de separación de materiales sólidos y arena, biodigestión en seis tanques Imhoff, combinados con lagunas facultativas y filtros percoladores, asociados con sedimentadores integrados y lagunas de maduración, que finalmente confluyen a la cámara de cloración para su descarga final hacia el río Alameda, que surca por la parte lateral inferior de la planta.

En el circuito de tratamiento de las aguas residuales, se encuentran seis tanques Imhoff, encargadas de la biodigestión anaeróbica de la materia orgánica, recibiendo las aguas residuales con un contenido de unos 370 mg/L de DBO y reduciendo en la descarga hasta unos 200 mg/L de DBO, operando con un tiempo de retención hidráulica de unos 55 días, produciendo además lodos estabilizados que son retirados periódicamente por el fondo cónico de los tanques. Sin embargo, durante su funcionamiento, debido a la degradación de materia orgánica, por acción de los microorganismos metanogénicos, se libera permanentemente por burbujeo hacia la superficie líquida de los seis tanques Imhoff el **biogás**, constituido principalmente por el metano, que es un gas de

efecto invernadero, que actualmente se ventila y descarga directamente hacia la atmósfera.

Asociado al biogás liberado, también se tiene la presencia del sulfuro de hidrógeno y otros vapores orgánicos menores, que con las corrientes de aire que surcan la PTAR de Totora y su proximidad a la ciudad de Ayacucho, invaden con un olor característico y desagradable a las poblaciones y urbanizaciones de la zona norte de la región metropolitana.

1.1.2 Delimitación del problema

La **delimitación temática** del presente trabajo está definida por el fenómeno de la **emisión del gas de efecto invernadero metano generado por los biodigestores Imhoff**, ver Fig. 1.2, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totora ubicada al norte de la ciudad de Ayacucho, evento que amerita la evaluación del metano liberado hacia la atmósfera para proponer la gestión de la contaminación del aire, a fin de mitigar la emisión contaminante del biogás que provoca el calentamiento global, a su vez formular el aprovechamiento energético del metano liberado, que en esencia es un hidrocarburo con alto contenido de energía utilizable, a cambio de la descarga directa hacia la atmósfera.



Figura 1.2 Biodigestores Imhoff de la PTAR de Totora, Ayacucho, con canales abiertas al ambiente.

En el contexto de la **delimitación social**, la emisión potencial del gas de invernadero metano en la PTAR de Totora, compromete localmente a la población de los cinco distritos metropolitanos; social y ambientalmente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

representan una población sensible y potencialmente vulnerables a los efectos de la contaminación atmosférica adicionalmente generado por la emisión de biogás, el evidente problema del actual parque automotor y comercios que ya afronta la ciudad; quienes con una cobertura de alcantarilla de unos 75 %, generan y evacuan aguas servidas hacia la PTAR de Totorá.

En lo referente a la **delimitación espacial**, en aspectos técnicos, la emisión del gas de invernadero metano, se delimita como espacio de estudio a las plataformas rectangulares de cada una de los seis tanques Imhoff instalados en la PTAR de Totorá, cuya emisión indiscutiblemente afecta la región espacial de los distritos metropolitanos referidos, cuyos efectos en términos de contaminación atmosférica y del ambiente no se limita al área territorial de la región metropolitana, ya que la contaminación atmosférica no se restringe a términos fronterizos, puesto que sus efectos afectan en una acción compleja a todo el planeta.

Finalmente en la **delimitación temporal**, la identificación y evaluación de las instalaciones y procesos del tratamiento de aguas servidas en la PTAR de Totorá se realizarán con los datos e información histórica pertinente, enfatizando la generación y emisión del gas de efecto invernadero metano por parte de los tanques Imhoff así como la propuesta de su aprovechamiento energético hasta el año base de 2015.

1.1.3 **Formulación del problema**

A la luz de las diversas investigaciones científicas, se admite como un problema global el **cambio climático** de nuestro planeta, admitido por el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) y la EPA (*Environmental Protection Agency*), caracterizado por el cambio desmesurado de los patrones del clima que va desde una región específica hasta el contexto terrestre, fundamentalmente atribuida a la actividad humana. Entre los diversos factores del cambio climático adquiere relevancia el **calentamiento global**, que constituye específicamente el incremento de la temperatura de la atmósfera y del océano por acción antropogénica.

Por otro lado, el problema de la **contaminación del aire** comprendido como la alteración de su composición y calidad, acrecentado por la actividad humana en los últimos tiempos, se debe en parte a los **gases de efecto invernadero**, cuya tasa de descarga a la atmósfera contribuyen al calentamiento global.

Entre los principales gases de efecto invernadero se identifican al dióxido de carbono y al metano; contenidos en el **biogás** y otras fuentes de origen natural y antropogénicas, tal como ocurren en los biodigestores anaerobios de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que al ser liberadas directamente a la atmósfera, constituyen un gran problema ambiental promotor del calentamiento global. Por otra parte, el metano es un hidrocarburo con alto contenido energético, que debe ser aprovechado con una gestión ambiental y tecnológica apropiada.

PROBLEMA GENERAL:

- ¿De qué manera la gestión de la calidad del aire por aprovechamiento energético del gas metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá, Ayacucho, contribuyen a la mejora de la calidad ambiental?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS:

1. ¿Es factible evaluar la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá y los impactos ambientales que provoca en la ciudad de Ayacucho?
2. ¿Es viable formular un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totorá con el propósito de su integración energética en la Planta?
3. ¿Es factible desarrollar un sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado y los consecuentes beneficios que podrían esperarse en la ciudad de Ayacucho?

1.2 **OBJETIVOS**

OBJETIVO GENERAL:

- Proponer medidas de gestión para una mejora de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá en la ciudad de Ayacucho en base a las operaciones del año 2015.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Evaluar la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá y sus impactos ambientales en la ciudad de Ayacucho.
2. Formular el sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totorá para su integración energética en la Planta.
3. Desarrollar el sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR Totorá y los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.

1.3 **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El presente trabajo de investigación se justifica en diversos escenarios, porque la gestión de la calidad del aire por reducción de emisión de GEI a la atmósfera local contribuirán al beneficio social, económico y ambiental de la región de Ayacucho; además que fortalece la actividad académica y científica en el área de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible; con una propuesta de gestión para mitigar la contaminación del aire provocada por la emisión del metano y mejorar la calidad del aire en la región, reduciendo los malos olores que afectan a la población.

Es un trabajo de investigación ambiental que permite cuantificar la emisión del biogás, compuesto en gran parte por metano, que viene a ser un gas de efecto

invernadero (GEI), con una inspección de ingeniería en el circuito de tratamiento de aguas residuales, cuya propuesta de aprovechamiento energético del metano con eficiencia, en el contexto de la ciencia y tecnología del sistema de cogeneración, permita la integración energética en la planta.

La investigación también se justifica desde el punto de vista político y normativo, por responder a las Políticas Nacionales de Acción Ambiental formuladas por el MINAM, implementadas en los gobiernos regionales y locales a través de diversos grupos técnicos y organizaciones ambientales que buscan propender la calidad ambiental; dentro del conjunto de normas de control ambiental como los ECAs y LMPs. Las reducciones de emisión de GEI se justifican por la reducción del efecto invernadero y el calentamiento global, que en la actualidad es un gran problema ambiental, con compromisos y políticas ambientales que vienen desde el Protocolo de Kyoto, las conferencias mundiales del Cambio Climático, los informes del IPCC y distintas organizaciones ambientales.

La identificación y cuantificación de la emisión de metano en la PTAR de Totorá, con propuesta de aprovechamiento energético e integración energética a la planta, reduce el suministro externo de energía, que justifica los aspectos de beneficio económico y ambiental de la entidad, con posibilidad de gestionar los bonos y certificados en el marco de los proyectos MDL, con gestión ambiental para la sostenibilidad de la planta.

En el caso de la ciudad de Ayacucho, no puede omitirse la actividad turística y cultural asociada a su riqueza histórica, sus tradiciones y costumbres, centros arqueológicos y casonas coloniales, renombradas iglesias que sustentan la semana santa, tierra de artesanos, con variada y exótica cultura gastronómica, con fiestas patronales diversas, música, folklor, etc., actividades que exigen gestionar y conjugar con una gran calidad ambiental en la región, que garanticen una buena imagen turística y ambiental, como es el caso de la gestión de la calidad del aire propuesta para reducir los GEI emitidos por los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá.

La protección del ambiente es una responsabilidad universal, que necesariamente debe considerarse para el desarrollo sostenible de nuestras regiones, del país en conjunto y holísticamente conectados a la protección

ambiental de nuestro planeta; por lo tanto, las contribuciones de reducción de emisiones de GEI benefician a la población en general, tanto de los distritos metropolitanos de Ayacucho, en cuya jurisdicción se formula la reducción de metano generado en los biodigestores Imhoff, que beneficia indiscutiblemente a la región, aportando a la disminución del inventario nacional de gases de efecto invernadero, adquiriendo importancia para la gestión ambiental conjunta emprendida por los gobiernos locales, regionales y nacional, en la cual deben incorporarse el compromiso ambiental de las entidades públicas y privadas, tal es el caso de la EPS SEDA Ayacucho, conjuntamente con la población en general, coadyuvada por la investigación y generación de conocimientos y tecnología desarrollada por las universidades.

Complementariamente, cabe resaltar la gran importancia de programas y actividades internacionales vinculadas con los temas de cambio climático y calentamiento global, tal como fue el marco de la reunión de la voz del clima a través de la cumbre internacional sobre el Cambio Climático de la ONU denominado **COP20 | CMP10 – Lima**, realizada entre el 1 al 12 de diciembre de 2014, en el marco de la caravana climática por América Latina con conferencias que sensibilizan sobre los efectos de las gases invernaderos, que afectan negativamente en el cambio climático, provocando el calentamiento global (ONU, onu.org.pe/cop20/), con actividades de sensibilización ambiental en las que se considera importante aportar a la mitigación en la contaminación atmosférica, dado que el metano conjuntamente con otros gases son considerados como gases de efecto invernadero con gran potencial en el calentamiento global, que vienen generando estragos evidentes en el clima regional, nacional y el contexto global. Actividades que han proseguido en la COP21 desarrollada en Paris - Francia (2015) con el Acuerdo de Paris, COP22 en Marruecos – Norte de África (2016) con la consolidación de la Agenda de Acción Climática Global, siendo el próximo COP23 en Bonn – Alemania, con una participación de unos 200 países (<http://newsroom.unfccc.int>)

1.4 BASES CIENTÍFICAS

A pesar de los aspectos sociales, económicos y ambientales que involucran a las poblaciones urbanas, con aspectos técnicos y de ingeniería en las operaciones funcionales de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

(PTAR) y las emisiones de gases de efecto invernadero desde diversos puntos

No olvide citar esta tesis

UNFV

del proceso de tratamiento, con un claro efecto sobre la contaminación del aire y el ambiente, es sumamente importante determinar las bases científicas de los temas fundamentales que delinear y sustentan el presente trabajo de investigación.

Entre los principales términos temáticos con base científica que sustentan el presente proyecto se tienen:

- El **agua** es un compuesto molecular conformada por un átomo de oxígeno unido por enlace covalente polar a dos átomos de hidrógeno, con un enlace angular cercano a 105°. En su estado puro es incoloro, inodoro e insípido, que en condiciones normales se presenta en estado líquido, con un punto de congelamiento a 0 °C y un punto de ebullición de 100 °C, considerado como un disolvente universal, muy útil como medio de disolución y de gran importancia en los procesos bióticos y ambientales. El agua como una sustancia absolutamente pura no está disponible directamente en la naturaleza; se encuentra en estado sólido en los nevados, glaciares, zonas polares; en estado vapor en las permanentes evaporaciones y masas de nubes transientes; y como líquido en los diversos acuíferos, lagunas, lagos, ríos, manantiales, aguas subterráneas, mares y océanos, y al interior de los diversos cuerpos biológicos; estableciendo en conjunto el importante ciclo del agua. De acuerdo a los componentes incorporados en el agua se tienen las disoluciones y suspensiones, observadas en la naturaleza o en la utilización y aplicaciones cotidianas, adquiriendo una denominación específica, como es el caso de las aguas residuales (Jenkins, 2002; Ramalho, 1993).
- Las **aguas residuales municipales** son las aguas líquidas residuales emitidas por una población o comunidad, cuya colección se realiza a través de la red de alcantarillado; está compuesta mayormente por agua líquida conteniendo materiales residuales domésticos (sanitarias) provenientes de la actividad poblacional (materia orgánica, partículas, solventes, detergentes, etc.), también incluyen materiales residuales comerciales e industriales (que deberían estar regulados por las normas sanitarias y municipales) así como las infiltraciones y conexiones incontroladas hacia la red (escorrentías de lluvias y aguas subterráneas), (Ramalho, 1993)

- Las **Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales** (PTAR), también conocidas como aguas servidas, son instalaciones complejas constituidas por diversas operaciones unitarias, que reciben las aguas residuales municipales con el propósito de realizar el tratamiento sistemático y conferir algún grado de purificación para su vertido final, controlado y regulado de acuerdo a las normas de efluentes, sin afectar al ambiente, potenciando su reutilización en función a las normas de control de calidad de aguas. Las PTARs se fundamentan en procesos físicos, químicos, reactivos y biológicos que permiten separar, degradar o eliminar las diversas sustancias contaminantes y microorganismos patógenos transportados en las aguas residuales, con fines sanitarios y de regulación, con viabilidad de reutilización (Ramalho, 1993; Metcalf & Eddy, 2003).
- Los **biodigestores** son reactores biológicos que operan por cargas o a régimen estacionario, utilizando materiales residuales que contienen compuestos orgánicos biodegradables (aguas residuales), requieren una carga microbiana inoculada de acuerdo al tipo de biodigestor, que operan bajo ciertas condiciones y parámetros controlados que definen la cinética de las reacciones bioquímicas y el rendimiento de conversión de los materiales. Los **biorreactores anaeróbicos** son sistemas que operan exentas de oxígeno, orientadas fundamentalmente a la generación del biogás, trabajan con bacterias metanogénicas, generando el gas metano con un gran potencial energético (Metcalf & Eddy, 2003).
- Los **gases de efecto invernadero** (GEI) representados por el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), halocarbonos y otros componentes; son gases que en cantidades anormales o con altas tasas de emisión en el aire, incrementan la resistencia al escape de la radiación reflejada naturalmente por la tierra hacia el espacio, tal que dicha energía radiante atrapada se convierte en calor, provocando el incremento inapropiado y permanente de la temperatura atmosférica, conocido como efecto invernadero, que repercute en el cambio climático global de nuestro planeta (Glynn y Heinke, 1999)

1.5 ANTECEDENTES

Se registra en la UNSCH la Tesis de Maestría de **Julián G. Gonzales Ch.** titulado como **Caracterización de los gases emanados del reactor anaeróbico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá y su influencia en el ambiente** (2011), enfocado en el análisis químico de los gases emitidos en los reactores anaeróbicos utilizando la técnica de cromatografía de gases; reportando valores promedios de 81,15 % de metano; 11,47 % de dióxido de carbono y 7,38 % de otros gases como el nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y sulfuro de hidrógeno; luego efectúa las estimaciones correlativas de emisión de metano a la atmósfera (Gonzales, 2011).

En la revista **Ecología Aplicada**, 7(1,2), 2008, publicada en la Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima, **Chuchón S.** y **Aybar C.** investigadores de la UNSCH, presentan el artículo titulado **Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “La Totorá”, Ayacucho-Perú**, desarrollan la investigación microbiológica para determinar la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de la PTAR “La Totorá”, reportando una capacidad de remoción del 99,9850 % de BCF y del 86,2 % de la DBO₅, con descargas promedio en el efluente líquido del orden de 1,29x10⁵ NMP/100 mL de BCF y con 15 mg/L de DBO₅, mayores a los límites permisibles exigidos por la Ley de Aguas (D.L. 17752) para aguas de Clase III (Chuchón, 2008).

Existen varias publicaciones y trabajos vinculantes a los temas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, Municipales e Industriales en otros contextos geográficos, así como los tratamientos anaeróbicos y la generación de metano en reactores de tercera generación (principalmente reactores UASB), que constituyen material de información referente para realizar el estudio de los tanques Imhoff que operan en la PTAR de Totorá en Ayacucho; igualmente existe información sobre la contaminación atmosférica, los gases de efecto invernadero (GEI) y su repercusión en el calentamiento global, así como el cambio climático que afecta al planeta.

1.6 **HIPÓTESIS**

Como declaraciones de presuposición vinculantes a los objetivos definidos en el presente trabajo se tienen:

HIPÓTESIS GENERAL:

Hipótesis sustantiva: H_s

- La gestión de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá contribuye a la mejora de la calidad ambiental en la ciudad de Ayacucho.

Hipótesis nula: H_0

- La gestión de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá no contribuye a la mejora de la calidad ambiental en la ciudad de Ayacucho.

HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

H_{s1}

- La evaluación de la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá permitirá identificar impactos ambientales a la calidad del aire en la ciudad de Ayacucho.

H_{o1}

- La evaluación de la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá no permitirá identificar sus impactos ambientales en la ciudad de Ayacucho.

H_{s2}

- La formulación de un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totorá viabilizaría su integración energética en la planta.

Ho2

- La formulación de un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totorá no viabilizaría su integración energética en la planta.

Hs3

- El desarrollo de un sistema de gestión de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado aportaría a los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.

Ho3

- El desarrollo de un sistema de gestión de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado no aportaría a los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.

1.7 VARIABLES

1) Independiente

**X = METANO GENERADO EN LOS BIODIGESTORES IMHOFF
DE LA PTAR DE TOTORA**

Indicadores:

X1 = Diagnóstico del proceso operativo de los biodigestores Imhoff

X2 = Evaluación de los gases producidos por la digestión anaeróbica

X3 = Tasa de emisión de gas metano a la atmósfera

2) Dependiente

Y = IMPACTOS Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

Indicadores:

Y1 = Poder de calentamiento del metano emitido en los biodigestores Imhoff

Y2 = Impactos ambientales por la emisión del metano.

Y3 = Sistema de gestión de la calidad del aire

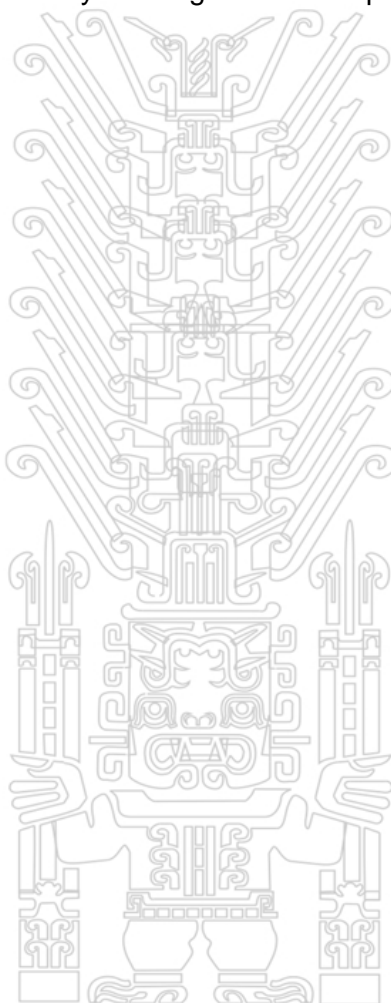
3) Interviniente

Z = SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL METANO

Indicadores:

Z1 = Operación y funcionamiento de las instalaciones físicas de los biodigestores Imhoff de la PTAR de Totora en Ayacucho.

Z2 = Propuesta del sistema de aprovechamiento energético del gas metano generado y su integración en la planta.



1.8 MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO DEL PROYECTO:	RESPONSABLE DE EJECUCIÓN:
GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL METANO GENERADO EN LOS BIODIGESTORES IMHOFF DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA – AYACUCHO, 2015	Alfredo ARIAS JARA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p style="text-align: center;">PRINCIPAL</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿ De que manera la gestión de la calidad del aire por aprovechamiento energético del gas metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá, Ayacucho, contribuyen a la mejora de la calidad ambiental? <p>ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿Es factible evaluar la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá y los impactos ambientales que provoca en la ciudad de Ayacucho? 	<p style="text-align: center;">GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> Proponer medidas de gestión para una mejora de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá en la ciudad de Ayacucho en base a las operaciones del año 2015. <p>ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> Evaluar la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá y sus impactos ambientales en la ciudad de Ayacucho. 	<p style="text-align: center;">GENERAL</p> <p>Hipótesis sustantiva: Hs</p> <ul style="list-style-type: none"> La gestión de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá contribuye a la mejora de la calidad ambiental en la ciudad de Ayacucho. <p>Hipótesis nula: Ho</p> <ul style="list-style-type: none"> La gestión de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá no contribuye a la mejora de la calidad ambiental en la ciudad de Ayacucho. <p>ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> Hs₁ La evaluación de la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá permitirá identificar impactos ambientales a la calidad del aire en la ciudad de Ayacucho. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>X = METANO GENERADO EN LOS BIODIGESTORES IMHOFF DE LA PTAR DE TOTORA</p> <p><u>Indicadores:</u> X1 = Diagnóstico del proceso operativo de los biodigestores Imhoff X2 = Evaluación de los gases producidos por la digestión anaeróbica X3 = Tasa de emisión de gas metano a la atmósfera</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Y = IMPACTOS Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE</p> <p><u>Indicadores:</u> Y1 = Poder de calentamiento del metano emitido en los biodigestores Imhoff Y2 = Impactos ambientales por la emisión del metano. Y3 = Sistema de gestión de la calidad del aire.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACION. Aplicada</p> <p>NIVEL INVESTIGACION Descriptivo Histórico Explicativo Experimental</p> <p>MÉTODO Deductivo-Inductivo Análisis Síntesis Descriptivo Estadístico</p> <p>DISEÑO Avance progresivo por objetivos.</p> <p>POBLACIÓN Constituida por los seis tanques Imhoff y su entorno.</p> <p>MUESTRA Por la naturaleza del caso, consideramos a los seis tanques Imhoff.</p>

<p>2) ¿Es viable formular un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totora con el propósito de su integración energética en la Planta?</p> <p>3) ¿Es factible desarrollar un sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado y los consecuentes beneficios que podrían esperarse en la ciudad de Ayacucho?</p>	<p>2) Formular el sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totora para su integración energética en la Planta.</p> <p>3) Desarrollar el sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR Totora y los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.</p>	<p>H₀₁ La evaluación de la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totora no permitirá identificar sus impactos ambientales en la ciudad de Ayacucho.</p> <p>2) H_{s2} La formulación de un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totora viabilizaría su integración energética en la planta.</p> <p>H₀₂ La formulación de un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totora no viabilizaría su integración energética en la planta.</p> <p>3) H_{s3} El desarrollo de un sistema de gestión de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado aportaría a los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.</p> <p>H₀₃ El desarrollo de un sistema de gestión de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado no aportaría a los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.</p>	<p>VARIABLE INTERVINIENTE Z = SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL METANO</p> <p><u>Indicadores:</u> Z1 = Operación y funcionamiento de las instalaciones físicas de los biodigestores Imhoff de la PTAR de Totora en Ayacucho. Z2 = Propuesta del sistema de aprovechamiento energético del gas metano generado y su integración en la planta.</p>	<p>TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis documental (reportes de la PTAR y de su laboratorio) • Inspección del proceso y de los tanques Imhoff. • Análisis instrumental y químico (laboratorios). • Medición de caudal de emisión (registro en campo). • Medición dimensional de los tanques Imhoff. • Tratamiento y análisis de resultados <p>INSTRUMENTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reportes operativos del proceso • Reportes de resultados de análisis de laboratorio • Guía de observación de campo • Materiales y equipos de laboratorio • Procesador estadístico de datos • Modelos y funciones matemáticas • Ecuaciones de balance de materia y energía • Simuladores de operaciones y procesos • Bases legales
--	---	--	---	--



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El aire es un recurso natural gaseoso que conforma la atmósfera y rodea a nuestro planeta, involucrado en diversos procesos biológicos y posibilitando el desarrollo de la vida, compuesto principalmente por oxígeno y nitrógeno, en la cual se aprovecha el oxígeno para la respiración de los seres vivos, garantizando su función biológica para una vida saludable y permanente. La libre disponibilidad del aire con una buena calidad es un requerimiento fundamental para la vida y el soporte del ambiente, la cual se debe administrar con una gran responsabilidad ambiental para la preservación del planeta y el desarrollo sostenible.

El desarrollo industrial y las diversas actividades humanas no sustentables de los últimos tiempos han ido contaminando vertiginosamente el aire y el ambiente en general, modificando los niveles de concentración de componentes, adicionando compuestos nocivos y perturbadores de las propiedades físico químicas y bacteriológicas de los diversos medios, que en una interacción compleja han deteriorado gradualmente el ambiente, provocando diversos trastornos como son el calentamiento global y el cambio climático.

El dióxido de carbono y el biogás generado en niveles alarmantes por la actividad antropogénica y descargados irresponsablemente en el aire, interfieren el tránsito de la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

radiación solar en la atmósfera, provocando el incremento de la temperatura del aire por ser gases de efecto invernadero, generando el problema conocido como el efecto de calentamiento global, la cual repercute en los cambios climáticos inclusive a proporciones planetarias, que se evidencian en la actualidad por los problemas de alteraciones desmesuradas en los niveles de precipitación, vientos, temperatura ambiental, modificación de suelos y de corrientes marinas, inundaciones, descongelamiento de nevados permanentes, desertificaciones, alteraciones de las estaciones, etc.

El crecimiento urbano se hace crítico cuando muchas ciudades importantes del país carecen de un eficiente manejo de servicios en general, tales como los sistemas de tratamiento de aguas servidas generadas por sus poblaciones, reportándose en muchos casos las descargas irresponsables de las aguas residuales directamente sobre los recursos hídricos y suelos colindantes, que acrecientan la contaminación del ambiente con agravio a la salud pública y la calidad de vida del poblador y su entorno.

2.1 AGUAS RESIDUALES

El uso del agua, luego de cumplir con su función en diversos sistemas, adquiere algunos componentes indeseables, convirtiéndola en aguas residuales relativamente inservibles para su uso directo, que deben ser tratadas hasta niveles apropiados para su reutilización o vertido. Se reconoce como fuente de aguas residuales a los de origen doméstico o urbanos, residuales industriales, escorrentías de usos agrícolas y las pluviales (Ramalho, 1993). Las aguas residuales también se conocen como aguas negras, aguas servidas, aguas fecales, aguas cloacales o aguas de alcantarillas, que son transportadas por los colectores de los centros urbanos, que pueden incorporar en el trayecto parte de infiltraciones de aguas de lluvias y otros.

2.1.1 Aguas servidas domésticas

Parte del agua potable que utiliza una población, al final de sus necesidades y actividades diarias, se convierte en aguas residuales o aguas servidas domésticas que son desechadas o eliminadas a través de las alcantarillas o desagües; que en algunos casos son vertidos directamente a los cuerpos de agua provocando contaminaciones como se reportan en la Fig. 2.1. Las aguas residuales domésticas contienen mayoritariamente materiales de desecho

orgánico (solubles, particulados en suspensión, aceites y grasas), residuos biológicos (materia fecal y orinas), residuos de aseo y limpieza (detergentes), materiales inorgánicos (sales, arcillas, etc.), microorganismos, entre otros tipos de materiales.



Figura 2.1 Vertidos directos de aguas residuales y contaminación de acuíferos.

La confluencia de las aguas residuales domésticas, con algunos vertidos de aguas industriales previamente tratadas e infiltraciones de aguas pluviales a las alcantarillas, es también conocida como aguas residuales municipales (OEFA, 2014; César y Vázquez, 2003).

Es necesario aclarar que, las aguas residuales de origen industrial (*RILes*), que pueden contener sustancias tóxicas y de composición variable en función a las actividades que éstos realizan, de acuerdo a la base legal y disposiciones municipales están prohibidas su vertido directo a las alcantarillas públicas, estando obligados a realizar tratamientos previos para realizar las descargas controladas en acorde y cumplimiento a las normas de vertido; sin embargo, en la práctica algunas pequeñas empresas y muchos centros comerciales de las zonas urbanas descargan directamente sus residuos líquidos a las alcantarillas públicas.

Las características físico químicas y microbiológicas de las aguas residuales varían de acuerdo a las actividades de la población, las estaciones y nivel de infiltraciones de aguas de lluvias en los colectores. Es de primer orden el contenido de sólidos que pueden ser solubles, coloidales y en suspensión, que pueden estar conformadas por material orgánico e inorgánico; entre el material orgánico se destacan los componentes biodegradables. Los sólidos

química; mientras que, los sólidos solubles por oxidación química o tratamientos biológicos entre otros (Ramalho, 1993)

2.1.2 **Biodegradabilidad**

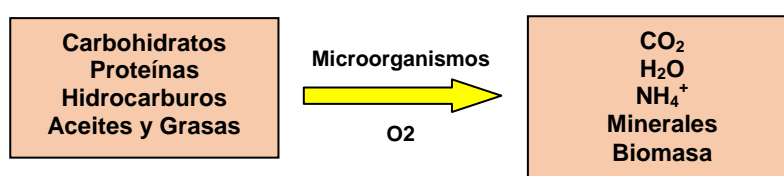
Es importante definir la biodegradabilidad en el tratamiento de aguas residuales, que está referida a la degradación biológica de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, con el objeto de depurar las aguas residuales, realizada por la acción de microorganismos que en su metabolismo y reproducción generan compuestos simples y energía; para éstos casos es frecuente determinar la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en las aguas residuales (Glynn y Heinke, 1999).

Demanda Química de Oxígeno: DQO

La demanda química de oxígeno, DQO (en inglés: COD – *Chemical Oxygen Demand*), corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos todos los compuestos orgánicos (disuelta y particulada) contenidos en las aguas residuales a productos finales: CO_2 y H_2O . En la práctica, la materia orgánica contenida en la muestra de agua es oxidada utilizando el $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ bajo condiciones severas con ácido sulfúrico concentrado a una temperatura de $160\text{ }^\circ\text{C}$, tal que la cantidad de oxígeno del dicromato usado, es determinada y expresada como DQO.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO

La demanda bioquímica de oxígeno, DBO (en inglés: BOD – *Biochemical Oxygen Demand*), se define como la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos no fotosintéticos a una temperatura controlada de $20\text{ }^\circ\text{C}$, para metabolizar todos los compuestos orgánicos degradables biológicamente contenidas en la muestra de agua residual.



Para obtener un resultado estable y reproducible, es usual la medición del oxígeno consumido por los microorganismos en un medio controlado (pH, temperatura, etc.).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

temperatura, inóculo, nutrientes, oscuridad) en un periodo de cinco días, cuyo resultado se denomina como DBO_5 (BOD_5), aplicable para evaluar la biodegradabilidad de las aguas residuales.

Los procesos de biodegradación de materia orgánica, se monitorean a través del cambio de la demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO), siendo la relación DBO_5/DQO un parámetro que nos indica la biodegradabilidad de las aguas residuales, siendo recomendable entre unos 0,55 a 0,70 para tratamientos biológicos; éste parámetro define el tipo de tratamiento biológico y biorreactor, utilizando lodos activados constituidos por poblaciones específicas de microorganismos, que actúan bajo ciertas condiciones en el reactor seleccionado para dicho fin (Menéndez y Pérez, 2007).

DBO_5/DQO = Biodegradabilidad del agua residual	
Menor a 0,2	Poco biodegradable
Entre 0,2 a 0,4	Biodegradable
Mayor a 0,4	Muy biodegradable

2.1.3 Tratamiento de aguas residuales

El mayor componente de las aguas residuales o servidas es el “agua”, razón por la cual deben ser sometidos a un tratamiento para depurar el agua, basados en un conjunto de operaciones y procesos unitarios de tipo físicos, químicos y biológicos, a través de una estrategia de tratamiento apropiado, en acorde a las Leyes y Reglamentos de los Recursos Hídricos y las autorizaciones de vertido, para poder ser reutilizadas en diversas actividades como el riego de parques y jardines, recarga de acuíferos, vertido y dilución a ríos para su utilización en riegos de plantaciones, etc., cuidando los Límites Máximos Permisibles (LMP), ECA – Agua y especialmente el control de microorganismos patógenos finales en niveles permitidos (OEFA, 2014).

Para determinar el tipo de tratamiento de las aguas servidas es necesario conocer el caudal o volúmenes de emisión total generados por la población, la caracterización física, química y microbiológica del agua residual, que permite establecer fundamentalmente el nivel de contaminación de las aguas residuales, siendo usual la medición de materia orgánica biodegradable

se debe tener en cuenta las normas de regulación y calidad final de efluentes, condiciones climáticas, topografía, tecnología y recursos económicos disponibles, criterios que establecen el proceso de tratamiento y las instalaciones físicas que correspondan.

En la Tabla 2.1 se presenta el análisis composicional típico de aguas residuales municipales caracterizados para tres categorías de contaminación, el del tipo fuerte, medio y débil, en la cual se reporta el valor medio referencial de los contaminantes presentes (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabla 2.1 Análisis composicional típico de aguas residuales

Constituyente	Concentración, mg/l *		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos, totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables, ml/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20° C (DBO ₅)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

* A menos que se especifique otra.

Fuente: **Metcalf & Eddy**, 2003.

entre unos 10 a 20 °C de acuerdo al clima de la localidad, con contaminantes que podrían variar desde unos 200 a más de 1000 mg/L, de las cuales alrededor del 70 % son sustancias orgánicas y el 30 % inorgánicas, con niveles de DBO que varían entre 70 a 700 mg/L, igualmente es importante conocer los sólidos totales (ST), sólidos solubles (SS), sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno a 5 días y 20 °C (DBO₅), pH, nitrógeno, fósforo entre otros.

El procesamiento de aguas servidas se realiza en las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales – PTAR o Aguas Servidas – PTAS, denominados también como Estación Depuradora de Aguas Residuales – EDAR, que en la denominación inglesa son conocidos como Wastewater Treatment Plant – WWTP y otras denominaciones según el país; son instalaciones que comprenden una secuencia organizada de operaciones unitarias de acuerdo a su concepción funcional, diseño y aplicación en concordancia a la realidad de la zona en la cual se efectúa su instalación, que se fundamentan en procesos de separación de materiales sólidos, la degradación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos y la reducción de microorganismos letales, que se diseñan como niveles de tratamiento de aguas residuales en función a las normas de calidad de aguas exigidas para el efluente final (Ramalho, 1993; Metcalf & Eddy, 2003) y que se pueden dividir en cuatro etapas, indicadas de manera esquemática en la Fig. 2.2, siendo las siguientes:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

El **pretratamiento** o tratamiento preliminar tiene como objetivo retirar los sólidos mayores o gruesos acarreados por la corriente de aguas residuales a través de un conjunto de rejillas, decantar las arenas y gravas y retirar aceites y grasas; también normaliza y regula el caudal de agua que debe ingresar al proceso de tratamiento, desviando en casos que se produzcan una sobre carga de afluente, además se debe realizar la medición del caudal de líquido.

El **tratamiento primario** elimina gran parte de sólidos intermedios, finos y en suspensión por el uso de sistemas de filtración, sedimentación, fosas sépticas,

tanques de sedimentación o clarificación primaria, algunos tipos de lagunas, tanques Imhoff, etc.; se logra eliminar alrededor del 60% de los sólidos suspendidos y unos 35% de la DBO.

En el **tratamiento secundario** se reduce la materia orgánica en disolución y estado coloidal, se recurren a aplicaciones químicas y biológicas con el principal objetivo de remover gran parte de los componentes orgánicos a través de la degradación o descomposición de la materia orgánica que ocurre en los biorreactores, para producir componentes elementales como dióxido de carbono, metano, agua, biomasa, etc.; en ésta etapa se elimina alrededor del 30% de sólidos suspendidos y unos 55% de la DBO. La degradación de la carga orgánica contenida en las aguas residuales puede ocurrir a través de los siguientes bioprocesos:

- Aeróbicos
- Anaeróbicos
- Facultativos

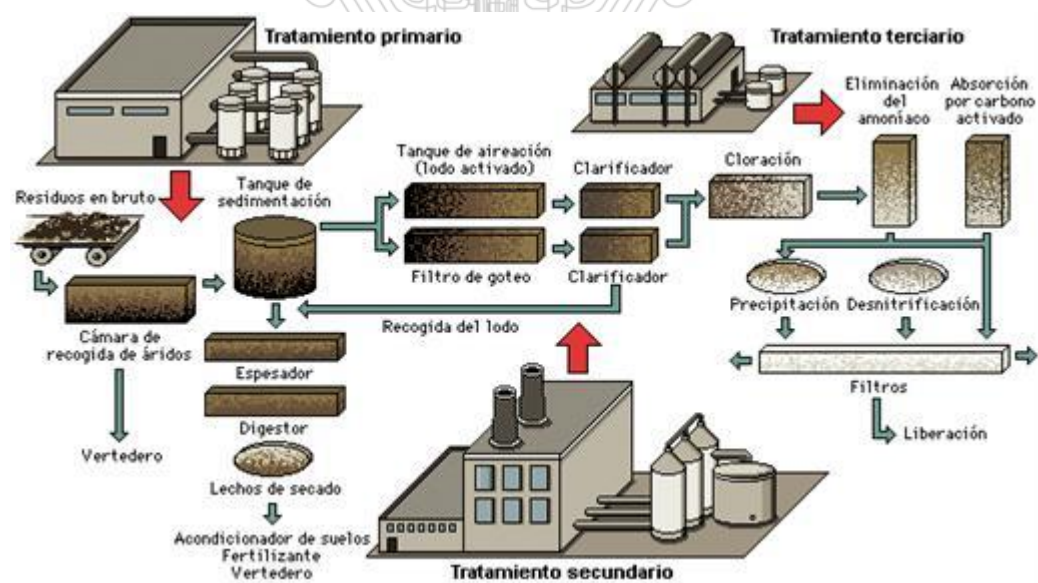


Figura 2.2 Esquema típico de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR.

El **tratamiento terciario** está orientado a eliminar la carga orgánica residual y la reducción de contaminantes específicos como fosfatos, nitratos, nutrientes,

purificación y desinfección del agua, como son las resinas de intercambio iónico, adsorción en carbón activo, ultrafiltración, ósmosis inversa, membranas y otras alternativas, implementadas de acuerdo a los requerimientos del proceso.

2.1.4 **Biodegradación anaeróbica**

Se trata de la remoción o biodegradación de la materia orgánica a través del metabolismo bacteriano en sistemas exentos de oxígeno denominado como procesos anaeróbicos, que pueden conducirse a unos 35 °C. Las bacterias utilizan la fuente de carbono y energía para generar nueva biomasa (anabolismo o síntesis) o es acompañado por la liberación de energía (catabolismo). El catabolismo puede ser oxidativo (aeróbicos) o fermentativo (anaeróbicos).

La biodegradación o **digestión anaeróbica** genera metano y dióxido de carbono, mezcla conocida como biogás, que se forma por la interacción de diversas poblaciones bacterianas, especialmente las metanogénicas, que operan en el rango de temperatura mesofílica combinada con fases termofílicas para aplicaciones especiales (Metcalf & Eddy, 2003). Debido a la baja velocidad de la biogénesis del metano generado por las bacterias, es necesario que los biodigestores operen a mayor temperatura, tengan una considerable capacidad de retención de biomasa, con bajos tiempos de retención hidráulica (TRH) y con altos tiempos de retención de sólidos (TRS), para mejorar la eficiencia. El biogás se forma naturalmente en ciertos lodos, pantanos, suelos anóxicos, tractos digestivos, etc., pero que se pueden desarrollar a gran escala en los biodigestores controlados en los procesos de tratamiento de aguas residuales que ocurren en una PTAR; la reacción de conversión química que ocurre en la degradación anaeróbica se puede expresar como:



En la evaluación del tratamiento anaeróbico de aguas residuales, la conversión y biodegradación de la materia orgánica se establece a través del balance de

Tesis publicada con autorización del autor. No olvide citar esta tesis

UNFV

transformación equilibrada a lodo y calor con emisión de oxígeno; pero en la digestión anaeróbica la décima parte se transforma en lodo y la gran diferencia se transforma en gas metano, que es un producto gaseoso que almacena energía química en su estructura, con un gran potencial energético, balance presentado en la Fig. 2.3 (Rodríguez J.A., 2003).

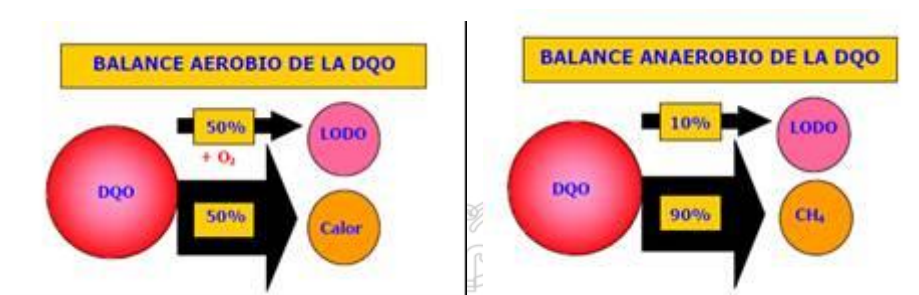


Figura 2.3 Balance de transformación de DQO en digestión aeróbica y anaeróbica (Rodríguez J.A., 2003).

La digestión anaerobia es un proceso complejo donde intervienen grupos tróficos de bacterias que realizan una secuencia de transformación en la biodegradación de la materia orgánica contaminante a través de una gran variedad de reacciones bioquímicas de conversión intermedias, en etapas como son la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y la metanogénesis final, en la cual se libera el gas metano, esquematizado en la Fig. 2.4 (Metcalf & Eddy, 2003; Menéndez y Pérez, 2007).

La eficiencia de la biodegradación anaeróbica de materia orgánica en un biorreactor dependen de las características físicas y químicas del afluente, de la calidad y concentración de la carga microbiana, concentración de nutrientes, pH, temperatura, agitación; siendo el factor determinante la temperatura, influyendo en la actividad de las bacterias mesofílicas y termofílicas, que pueden operar incluso hasta los 60 °C, tal como se presenta en la Fig. 2.5, definiendo el tiempo de retención hidráulica del material en el biodigestor.

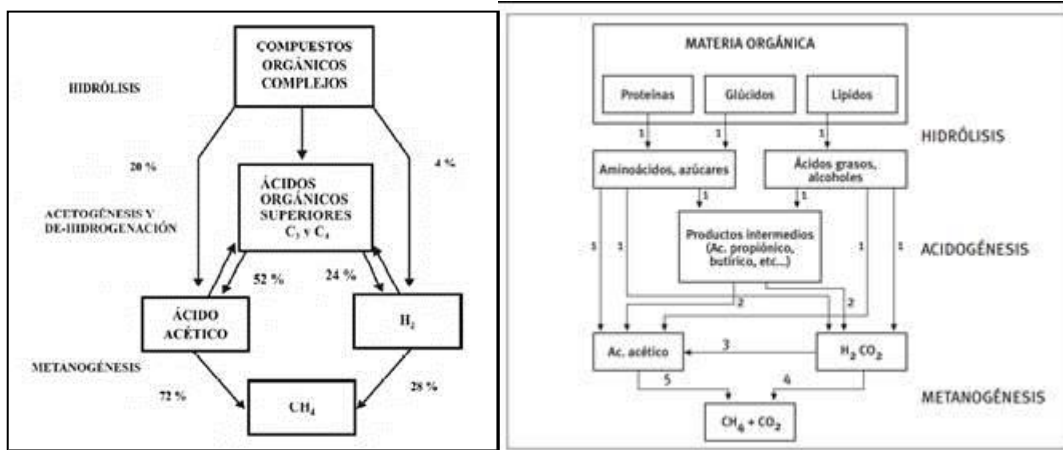


Figura 2.4 Etapas y mecanismo de la digestión anaerobia y generación de metano (*Menéndez y Pérez, 2007*).

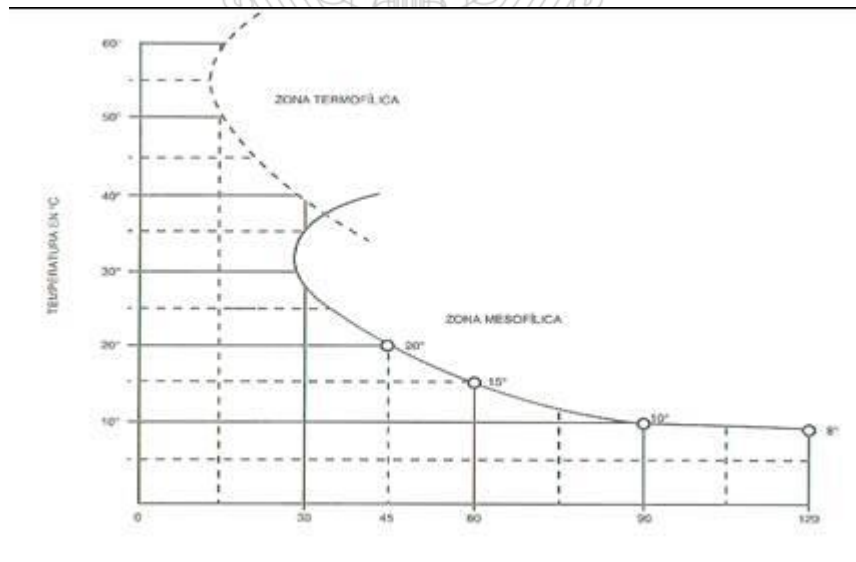


Figura 2.5 Efecto de la temperatura en el tiempo de la digestión anaeróbica de aguas residuales.

2.1.5 Metano y Biogás

El metano es un hidrocarburo gaseoso (el más liviano), cuya fórmula química es CH_4 , y que viene a ser el principal componente del biogás y del gas natural, es incoloro e inodoro en su forma pura; existe naturalmente en algunos suelos y lodos anóxicos, pero que no se registran en la composición normal del aire atmosférico; sin embargo, por la acción antropogénica, se pueden descargar cantidades significativas hacia la atmósfera, como son en la manipulación de

yacimientos mixtos de petróleo y gas natural, manejo de biodigestores de gran

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

escala (como ocurre en las plantas y estaciones depuradoras de aguas servidas), afectando en el cambio climático y calentamiento global.

El biogás generado en los biodigestores anaeróbicos tiene una composición variable de acuerdo al contenido de carbohidratos, proteínas y grasas contenidas originalmente en las agua residuales, así como a las condiciones de operación del reactor, pudiendo registrarse contenidos de 50 a 85 % de metano en el biogás, acompañado por dióxido de carbono y pequeñas cantidades de compuestos azufrados (responsables del mal olor propagado alrededor de los biodigestores anaeróbicos).

En condiciones de operación normal de un biorreactor anaeróbico se puede producir entre 0,2 a 0,7 m³/kg de DQO removido (medidos a condiciones normales: 101,3 kPa y 0 °C) o un equivalente de 1 m³/kg de sólido volátil estabilizado, según las características del afluente suministrado (Menéndez y Pérez, 2007).

El biogás se utiliza fundamentalmente como combustible gaseoso, luego de un proceso de depuración y endulzamiento; el metano es calificado como un combustible limpio (su combustión es completa y no emite partículas ni otros gases tóxicos), el poder calorífico neto del metano es de 8500 kcal/m³ de gas medido en condiciones normales (Ramalho, 1993).

2.1.6 Emisiones de metano

Entre las principales fuentes de emisión antropogénica de metano se tienen por el manejo de residuos sólidos (domésticos, ganadería, industriales y otros orgánicos) y el tratamiento de aguas residuales (domésticos e industriales); para fines de la estimación del inventario nacional anual de emisiones de gases de efecto invernadero, tal como es el metano, se utilizan las directrices del **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change, traducido como Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, creado el año 1988), que presenta diversos métodos de acuerdo a las circunstancias, se debe realizar la elección del método de acuerdo al árbol de decisiones aplicable a la emisión de metano, siendo una buena práctica utilizar el método **DPO** (Descomposición de Primer Orden) ya que refleja una mayor exactitud en

La cantidad de metano emitido hacia el ambiente depende de la cantidad de desechos o materia orgánica degradable, de la temperatura y el tipo de sistema de tratamiento aplicado a las aguas residuales, que definen un factor de emisión específico; se debe identificar al metano quemado en antorcha y al metano recuperado para generar energía. La ecuación general de emisión por fracciones de población es la siguiente (IPCC, 2006):

EMISIONES TOTALES DE CH₄ PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j) \right] (TOW - S) - R$$

Que puede simplificarse para el caso de una vía de tratamiento o tipo de operación anaeróbica desarrollada en una planta de tratamiento de aguas residuales a la expresión:

$$E = DOT \cdot FE - RM$$

donde:

E = Emisión de metano

DOT = Desechos orgánicos totales degradados

FE = Factor de emisión de metano en la operación anaeróbica

RM = Recuperación de metano

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, el uso de lagunas y reactores anaeróbicos constituyen una fuente considerable en la emisión de metano, con potencial contaminante por ser gas de efecto invernadero si no se recupera para la generación de energía o no es quemado en antorcha (IPCC, 2006). El factor de emisión (FE) es una función del máximo potencial de producción de metano que presente el material orgánico degradable y el factor o fracción de conversión a metano en la vía de tratamiento, expresado como:

$$FE = Bo \cdot FCM$$

donde:

FE = Factor de emisión de metano (kg de CH₄/kg de DBO)

Bo = Capacidad o máximo potencial de producción de metano

(kg de CH₄/kg de DBO o DQO)

FCM = Factor o fracción de conversión del metano

Si no se dispone de datos específicos para el valor del máximo potencial de producción de metano (B_o) en el país, se puede usar por defecto el valor de 0,6 kg de CH_4 /kg de DBO degradado. Las aguas residuales domésticas sin tratar tienen comúnmente un valor de DQO (mg/L) que es 2 a 2,5 veces mayor que el de la DBO (mg/L), luego es una buena práctica usar un valor de 0,60 kg de CH_4 /kg de DBO o de 0,25 kg de CH_4 /kg de DQO. Si el valor de B_o está basado en el BQO se puede convertir a un valor basado en el DBO, multiplicándolo por un factor de 2,4.

Mientras el IPCC considera el valor de 0,6 kg de CH_4 /kg de DBO degradado, la NACWA (National Association of Clean Water Agencies) sugiere un valor conservador de 0,40 kg de CH_4 /kg de DBO (Kozak J., 2007)

Con respecto al valor del factor o fracción de conversión (FCM), para el caso de digestores, reactores y lagunas profundas de operación anaeróbicas se considera el valor de 0,8 de conversión, en ocasiones pueden trabajar en rangos de 0,8 a 1,0 de acuerdo a la tecnología y sus condiciones de operación (IPCC, 2006).

Existen aplicaciones como es el caso del ***Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector aguas residuales en México TC1241.3***, en la que se definen los factores de emisión indicados en las directivas IPCC, tal como se indica en la Fig. 2.6; además se menciona que varias plantas de tratamiento de aguas residuales realizan la quema de biogás y algunas presentan instalaciones de cogeneración de energía, como son las PTAR de El Ahogado de Jalisco, Dulces Nombres de Nuevo León y San Pedro Mártir de Puebla (Ramírez y Vázquez, 2012).

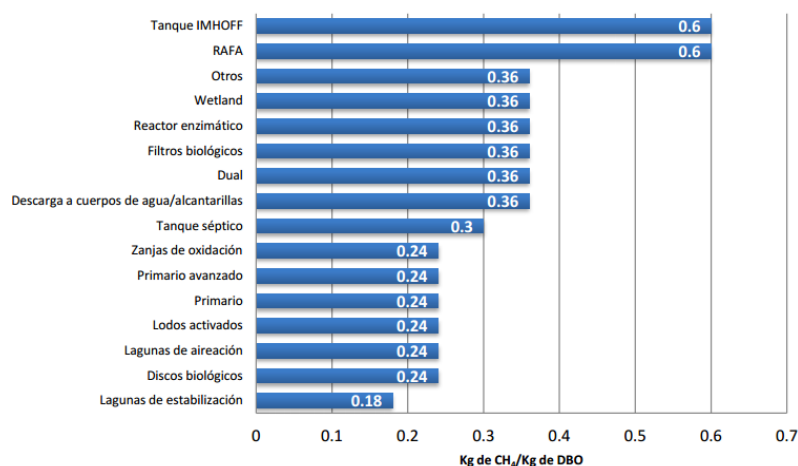


Figura 2.6 Elección de factores de emisión de metano para diversas operaciones en México (Ramírez y Vázquez, 2012).

2.2 REACTORES BIOLÓGICOS Y TANQUES IMHOFF

Los procesos de biodegradación de materia orgánica se desarrollan en tanques o recipientes denominados como “reactores”, y se implementan en diversos tipos, ya sea de acuerdo al régimen de operación, tipo de contacto sustrato y microorganismos, separación sólido-líquido-gas, recirculación de lodos, etc. (Metcalf & Eddy, 2003); pueden operar con lodos o fangos activados, lechos bacterianos, bacterias en suspensión o fijas en sólidos portantes o inertes, para cuyo propósito utilizan diversos tipos de *reactores biológicos* ya sean de lecho fijo, de lecho fluidizado o de lecho móvil, así como los sistemas de lagunaje o estanques variados, que procesan y descomponen la materia carbonosa en subproductos básicos y materia celular.

2.2.1 Biodigestores para el tratamiento de aguas residuales

Entre los principales biodigestores instalados en el tratamiento de aguas residuales, que han ido variando en función al desarrollo tecnológico, capacidad operativa, rendimiento en la biodegradación y demás criterios, se tienen los siguientes:

- Reactores de mezcla continua: CSTR
- Tanques Imhoff
- Filtros percoladores
- Reactores de lecho suspendido: UASB

- Biodiscos o Reactores biológicos rotativos de contacto: RBC
- Contactor biológico rotativo anaerobio: AnRBC
- Reactor de contacto con material de soporte: CASBER
- Reactor de lecho expandido: AAFEB
- Reactor de lecho fluidizado: AAFB
- Etc.

Los procesos de digestión anaerobia se desarrollan en una gran variedad de reactores, de acuerdo a su capacidad de procesamiento y factores de operación. La evolución tecnológica de los biorreactores permite reconocer las siguientes categorías:

a) **Reactores de primera generación**

Biomasa en reposo relativo y sin recirculación.

b) **Reactores de segunda generación**

Caracterizado por el uso de lechos en las que se fijan los microorganismos a través de biopelículas.

c) **Reactores de tercera generación**

Caracterizado por la suspensión de microorganismos en biopelículas adheridas a soporte que se expanden o fluidizan continuamente en el reactor y con un sistema de recirculación.

Los de tercera generación son los más apropiados para la producción y aprovechamiento del biogás generado, operando con pequeños tiempos de retención y altos rendimientos en la biodegradación de la materia orgánica (Menéndez y Pérez, 2007).

2.2.2 Tanques Imhoff

Pertencen a los reactores de primera generación, desarrollado por el Ing. Karl Imhoff en Alemania alrededor de los años 1905, caracterizados por ser grandes cámaras con paso cónico, en la cual se desarrolla la región de biodegradación anaeróbica, con tiempos de retención hidráulica (TRH) muy altos y un contacto inadecuado entre la biomasa celular activa, la materia orgánica y sustratos para

la biodegradación; sin embargo, son de operación simple sin requerimientos de partes mecánicas (Rodríguez J.A., 2003; CEPIS, 2005).

En la actualidad aún se usan los tanques Imhoff en las grandes plantas junto con tanques de sedimentación, con remoción de lodos productos de la digestión, caracterizados por su simplicidad de operación en el tratamiento primario de las aguas negras, instalados preferentemente en zonas cálidas y tropicales, como ocurre en muchas PTAR de Latinoamérica.

El **tanque Imhoff** o **tanque de decantación-digestión** es un depósito de forma rectangular (algunas son de forma circular), está compuesta por tres compartimentos o zonas (CEPIS, 2005), que son:

- ***Cámara de sedimentación o decantación***

Se sitúa en la parte superior del depósito donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, en la cual se produce la separación sólido-liquido, sedimentando las partículas pesadas a través de las paredes inclinadas por gravedad hacia el fondo de dicha cámara, ingresando a la siguiente cámara de digestión por la apertura traslapada. Este primer compartimento tiene el fondo en V, con una pendiente de unos 12% y una pequeña apertura de traslape de fondo, por la cual circulan los fangos por gravedad al compartimento inferior de digestión de lodos, a su vez que desvían por su pared externa los gases generados durante la biodigestión anaeróbica, con burbujas que ascienden hacia la superficie de las cámaras de ventilación adyacentes.

- ***Cámara de digestión de lodos***

Es la parte inferior del tanque, con mayor dimensión, donde se realiza la digestión anaerobia de los lodos, por la acción de una gran variedad de microorganismos a través de reacciones múltiples y complejas; el biogás generado no interfiere con el ingreso de sólidos que sedimentan por el traslape, desviándose hacia la cámara de natas gracias a las paredes inclinadas.

- ***Área de ventilación y cámara de natas***

Es el compartimento lateral del depósito, en cuya superficie líquida se irán acumulando las grasas y residuos de menor densidad, a la vez que

burbujan y se liberan permanentemente el biogás generado en la digestión anaerobia, finalmente descargados a la atmósfera; estos gases se caracterizan por el mal olor que difunden en su área de instalación.

Los lodos acumulados al fondo del tanque, luego de la digestión anaeróbica, se retiran periódicamente (podría ser mensual) a través del tubo de salida de lodos y se envían a las canchas o lechos de secado, para reducir el agua por infiltración y su posterior tratamiento.

De acuerdo al diseño de los tanques Imhoff, al tiempo de retención hidráulico y a la velocidad ascensional, se puede eliminar entre unos 40 a 50% de los sólidos suspendidos, con una reducción de 25 a 60 % de la materia orgánica expresadas como DBO.

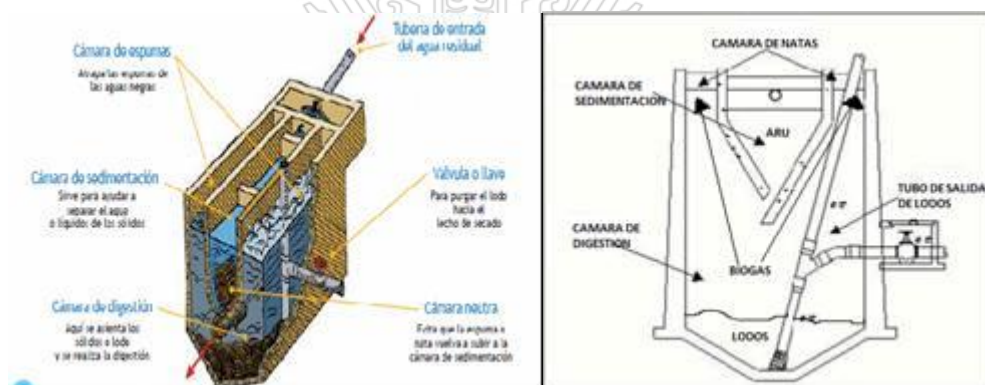


Figura 2.7 Esquema constructivo de los tanques Imhoff e identificación de sus compartimientos (CEPIS, 2005).

La decisión de instalación de un tanque Imhoff requiere evaluar las ventajas y desventajas de los mismos (CEPIS, 2005)

Ventajas:

- Contribuye a la digestión de lodo mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.
- No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales.
- El lodo se evacúa y luego se seca con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de

- Las aguas servidas que se introducen en los tanques Imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.
- El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.
- Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.

Desventajas:

- Son estructuras profundas (mayores a los 6 m).
- Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.
- El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
- En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.

2.3 GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CONTAMINACIÓN DEL AIRE

En la actualidad están claramente identificados los gases de efecto invernadero (GEI) cuya descarga e incremento de su composición en la atmósfera constituyen una contaminación del aire, dado que provocan inevitablemente el aumento de la temperatura atmosférica y del suelo, produciendo el calentamiento global por encima de las condiciones normales.

Los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, etc.) se caracterizan por incrementar la resistencia al escape de la radiación reflejada por la tierra hacia el espacio, retienen la energía radiante que llega a la atmósfera y la convierten en calor, incrementando la temperatura de la atmósfera más allá de sus valores normales, conocido como el efecto invernadero (Glynn y Heinke, 1999).

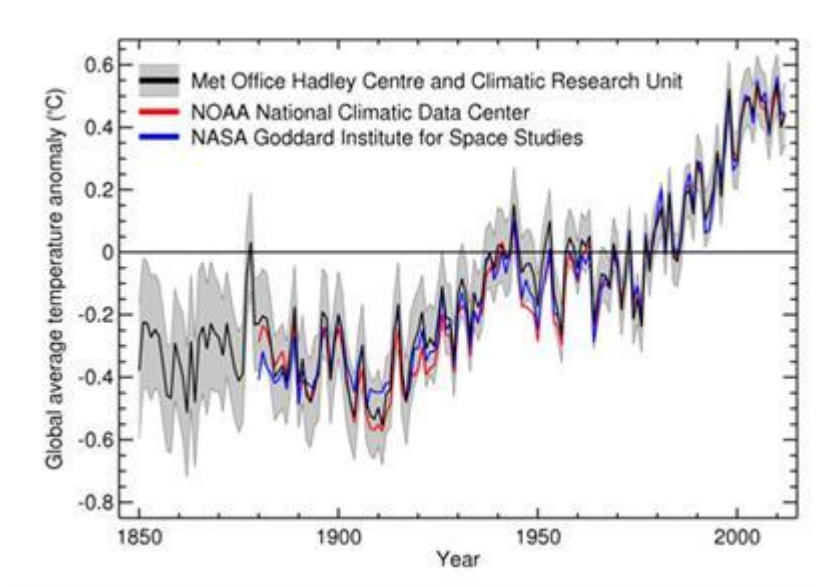


Figura 2.8 Anomalía de la temperatura media mundial afectando el cambio climático (**Centro Hadley, NOAA**).

La contaminación atmosférica altera la calidad del aire y produce efectos negativos en los procesos biológicos y los ecosistemas, ya sean desde los efectos locales, los efectos regionales (como la lluvia ácida) y los efectos globales que afectan a todo el sistema terrestre (como es el cambio climático).

Entre los principales gases de efecto invernadero (GEI) se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua (H_2O), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), y ozono (O_3); más aquellos totalmente producidos por el hombre como son los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro utilizadas en los refrigerantes industriales, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal; sin embargo, además del CO_2 , N_2O , y CH_4 , el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC).

A pesar que el clima es naturalmente variable en nuestro planeta; sin embargo, se tiene conocimiento de que la temperatura media del planeta viene sufriendo un incremento significativo y acelerado en los últimos tiempos denominado como el calentamiento global; tal que, el incremento de la temperatura media en unos $2\text{ }^\circ\text{C}$ a $3\text{ }^\circ\text{C}$ podrían originar transformaciones importantes y rápidas en el clima y afectar de forma muy importante a la Tierra y a nuestro sistema de vida, como un efecto negativo producido por los gases de efecto invernadero.

La emisión y concentración del hidrocarburo metano (CH₄) en la atmósfera mundial se ha incrementado considerablemente con respecto a su valor preindustrial, desde unos 715 ppb hasta 1732 ppb registrados a comienzos de los años 90, alcanzando en el 2012 valores de 1819 ppb; atribuidos a la extracción de los combustibles fósiles, vertederos y descomposición de materia orgánica, actividad agrícola y ganadera.

Los diferentes gases de efecto invernadero tienen un determinado poder o Potencial de Calentamiento Global (PCG), en inglés como GWP (Global Warming Potential), definido como *índice que mide el forzamiento radiativo tras una emisión de una unidad de masa de cierta sustancia, acumulada durante un horizonte temporal determinado* (normalmente de 20, 100 y 500 años), en comparación con el causado por la sustancia de referencia: el dióxido de carbono (CO₂), (IPCC, 2014), cuyos valores se presentan en la Tabla 2.2. Los valores PCG fueron publicadas por el IPCC en su informe del año 1996 (Climate Change 2007, Synthesis Report) luego de algunas evaluaciones técnicas realizadas para las sustancias que agotan el ozono y sus reemplazos se toman datos del IPCC / TEAP (2005) que se presentan en el Anexo 01 para mayor detalle.

Tabla 2.2 Potencial de calentamiento global (PCG) de gases de efecto invernadero (*Climate Change 2007*).

Global Warming Potentials of Greenhouse Gases		
(when compared to CO ₂)		
Greenhouse Gas	GWP After 20 Years	GWP After 100 Years
Carbon Dioxide	1	1
Methane	72	25
Nitrous Oxide	310	298
HFC-23	12000	14800
HFC-125	6350	3500
HFC-134a	3830	1430
HFC-143a	5890	4470
CF ₄	5210	7390
C ₂ F ₆	8630	12200
SF ₆	16300	22800

(para 100 años); sin embargo, se aplica en los diversos protocolos de evaluación de los GEI el Segundo Reporte de Evaluación: SAR-1995 que considera el índice PCG para el metano de 21 seguido por el Cuarto Reporte: AR4-2007 que considera el **índice de 25 para el metano**, que también se presentan en el Anexo 01; actualmente el IPCC viene trabajando el AR6 (IPCC <http://www.ipcc.ch/#null>); parte de los índices PCG AR4-2007 son los que figuran en la Tabla 2.2, cuyos valores son aplicados en el presenta trabajo de investigación. Luego, el metano se caracteriza por tener un índice PCG de 25 veces más intenso para atrapar calor que el CO₂ (para un horizonte temporal de 100 años); además, el metano presenta un alto periodo de permanencia en la atmósfera, que varía entre 5 a 10 años.

El gas GEI con mayor tasa de emisión mundial es el dióxido de carbono, con una emisión de 36,2 Gt para el año 2015, con un aporte acelerado en los últimos cinco años por las emisiones de China, siendo igualmente considerable las emisiones de los Estados Unidos, la Unión Europea e India (NPL, 2016); el metano es el segundo GEI con mayor emisión con niveles de 8,01 Gt (equivalentes de CO₂) para el año 2012, también en constante incremento anual (Banco Mundial).

El conjunto de gases de efecto invernadero emitidos se expresan en unidades equivalentes de CO₂ en función al PCG de cada gas cuyos valores se presentan en la Tabla 2.2; las emisiones mundiales de GEI publicadas por el IPCC, PNUMA, CAIT y otras entidades como se ve en la Fig. 2.9, representan a las fuentes de emisión (mayormente emisiones directas y procedentes del carbón), los sectores y la distribución porcentual, tal que la emisión del CO₂ alcanza el 73,5 % del total GEI, seguido por el CH₄ que representa el 19,0 % más otros gases como el óxido nitroso, HFCs, PFCs y SF₆, que en conjunto provocan cambios significativos en las medidas del clima (como la temperatura, la precipitación, el viento, etc.).

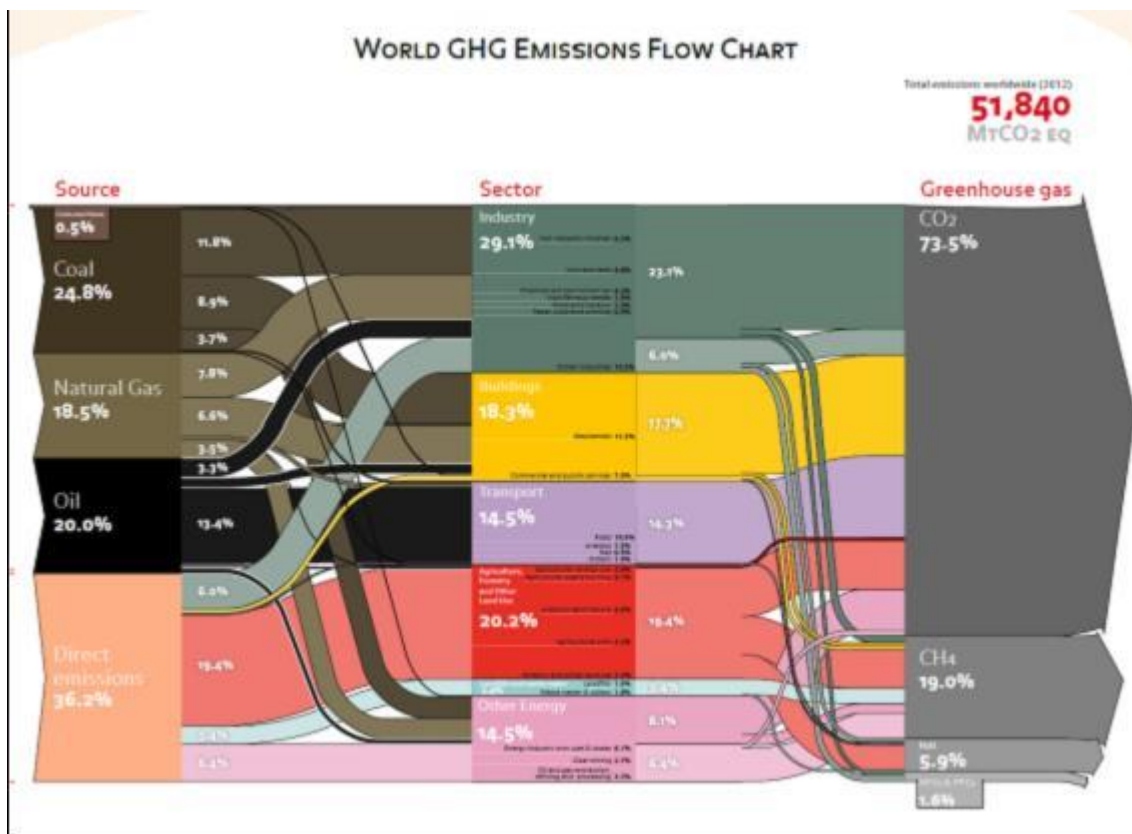


Figura 2.9 Diagrama de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por sectores - 2012 (ASN Bank, Ecofys)

Las crecientes emisiones de GEI reportadas en los últimos tiempos vienen a ser el resultado de las intensas actividades humanas, como se aprecia en la Fig. 2.9, emitidas por los sectores de industria (29,1 %), edificaciones (18,3 %), transporte (14,5 %), agricultura, forestación, cambios en el uso de suelos, lagunas y aguas residuales, entre otras fuentes antropogénicas; con un registro total de **51,84 Gt CO₂-eq de GIE** para el año **2012**, con un claro incremento de más del 6,6 % con respecto al año 2010 (48,63 Gt CO₂-eq), que igualmente se va proyectando de manera creciente hacia el futuro.

Lamentablemente, de acuerdo al informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Berlín (2014), se informa que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han aumentado a niveles sin precedentes a pesar de un número creciente de políticas para reducir el cambio climático. Las emisiones aumentaron más rápidamente entre 2000 y 2010 que en cada uno de los tres decenios anteriores, como se ve en la Fig.

2.10, que confirma el incremento alarmante de la emisión mundial de GEI, por lo que se proyecta un aumento de las emisiones mundiales de GEI en los próximos años. No olvide citar esta tesis

UNFV

ejemplo la emisión anual total del año 2010 (46,0 Gt CO₂-eq) representa un incremento del 35 % con respecto al año de 1990 (IPCC, 2008; EPA, 2016).

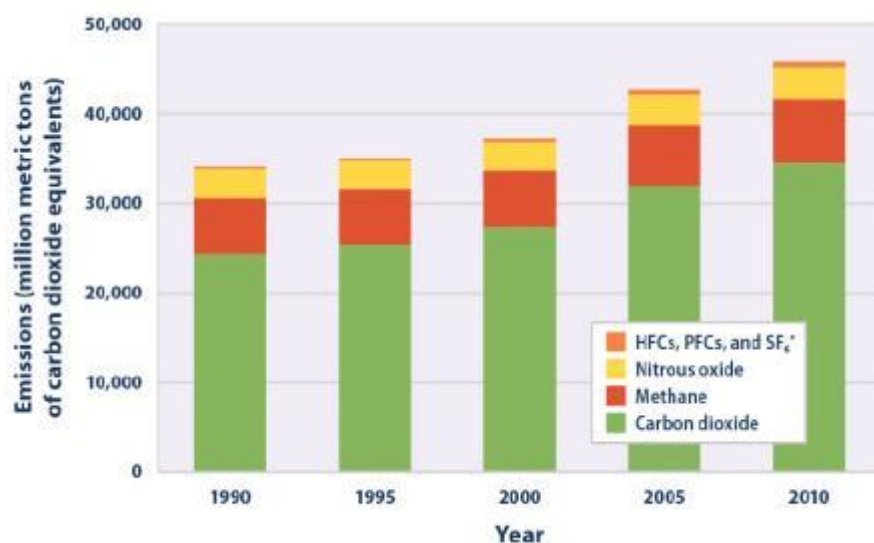


Figura 2.10 Tasas crecientes de las emisiones antropogénicas mundiales de GEI (EPA, 2016).

Es necesario indicar con respecto a las emisiones de metano a la atmósfera que, cerca de un 30 % son emisiones naturales provenientes de los humedales y pantanos naturales, de los océanos (liberación de hidratos de metano), bosques y animales (biodegradación anaeróbica natural); mientras que, el 70 % provienen de las emisiones antropogénicas, cifra que va en incremento por las distintas actividades humanas (GISS, <https://icp.giss.nasa.gov>).

2.4 **SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ**

En el Perú existen 50 Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) de agua potable y alcantarillado distribuidos en el ámbito nacional (SUNASS, <http://www.sunass.gob.pe/>) que también administran las plantas de tratamiento de aguas residuales: PTAR.

2.4.1 **Las PTARs en el Perú**

De acuerdo a SUNASS se reportó para el año 2007 un inventario de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales: PTARs, de las cuales el 92% se componen de lagunas de estabilización en sus diferentes variedades de

comportamiento biológico (anaerobias, facultativas o aireadas); además, cerca del 64% de la población urbana total tuvo servicio de alcantarillado administrado por EPS. Mientras que, para el año 2015 se reporta un total de 204 PTAR, de las cuales 163 estarían operativas, 32 en construcción y 9 paralizadas.

Para el año 2007 se estimaba una descarga nacional de aguas residuales de alrededor de los 747,3 millones de m³, de los cuales sólo el 29,1 % ingresaban a una PTAR, siendo la diferencia descargada en diversos cuerpos de aguas, infiltrada en suelos y clandestinamente utilizadas para fines agrícolas; en ese contexto se proponía la meta de los Objetivos del Milenio para el 2015, proponiéndose alcanzar una cobertura del 100 % para el 2015 en el tratamiento de las aguas residuales del ámbito urbano del país; sin embargo, a pesar de las inversiones y políticas para el saneamiento de aguas, SUNASS informa para el año 2015, un conjunto de desafíos y dificultades en el tratamiento de aguas residuales, reportando que de un total de 253 localidades administradas por las EPS, 89 localidades no cuentan con PTAR, lo cual evidenciaría que prosiguen las descargas directas de aguas residuales que contaminan el ambiente y afectan a la salud pública, problema que se agudiza por la falta de autorización sanitaria para su funcionamiento y la carencia de los respectivos planes de adecuación y manejo ambiental: PAMA, que afecta a la mayoría de las PTARs del país, que son instrumentos de control y vigilancia que deben ser autorizadas por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento: MVCS, para propósitos de vertimiento o reúso en conformidad a las normas vigentes que cumplan con los LMPs, ECAs y otros controles de calidad, sujetos al Programa de Adecuación de Vertimiento y Reúso del Agua Residual (PAVER) de acuerdo a la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento (SUNASS, <http://www.sunass.gob.pe/>).

2.4.2 Tecnologías de las PTARs

Con respecto a las diferentes tecnologías de tratamiento aplicadas en las PTARs, se informa que la tecnología del tratamiento secundario por lagunas facultativas es la más aplicada en el Perú (en unas 100 PTAR), la tecnología de lagunas de estabilización (lagunas anaerobias y facultativas) sin sistemas de aireación representa el 75% de todas las PTARs, características definidas

de operación y disponibilidad de terreno para la construcción de las PTAR; lo cual indica un gran potencial de generación de biogás en el ámbito nacional, por la predominancia de los sistemas anaeróbicos y facultativos.

El tipo de tecnología en una PTAR depende de la calidad del efluente que se requiera alcanzar para ser vertido a un cuerpo natural o reusado sin afectar la salud de las personas y cumplir con la normatividad ambiental vigente; el proceso de tratamiento de aguas residuales responde en su mayoría a un esquema genérico que involucra diversas etapas de tratamiento en una PTAR, tal como se indica en la Fig. 2.11, que son reguladas en su diseño final de acuerdo a las normas OS.090 (SUNASS, 2015).

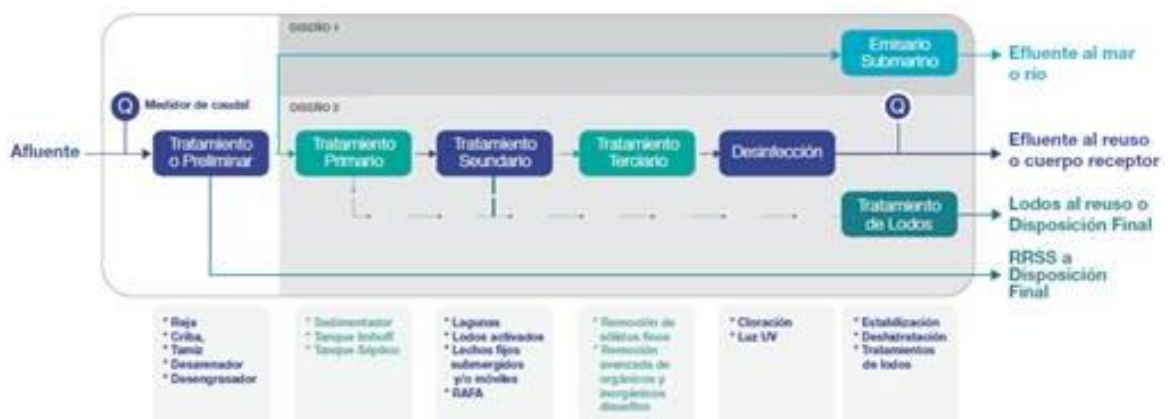


Figura 2.11 Esquema de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (**SUNASS, 2015**).

De las 204 PTARs del ámbito nacional, estarían operativas 163 PTARs, de las cuales se resumen los siguientes aspectos tecnológicos y operativos:

- 71 PTARs disponen de una infraestructura de medición para el registro del caudal de afluente.
- 34 PTARs presentan un caudal de afluente de aguas residuales mayor a los 100 L/s, de las cuales sólo 23 miden y registran el caudal con infraestructura de medición.
- En el tratamiento preliminar de las aguas residuales, que implican

desarenador y desengrasador, se reportan que 74 PTARs disponen infraestructura para rejas o cribas (22 son automáticas) y 39 PTARs presentan instalación de desarenadores.

- En el tratamiento primario, para la remoción de la materia en suspensión, sin incluir la materia coloidal o disuelta, con producción de lodo orgánico que requiere un tratamiento adicional (estabilización), se reporta que 15 PTARs cuentan con tratamiento primario, de las cuales 7 aplican los tanques Imhoff, 5 el tanque séptico y 3 el sedimentador primario; incorporan en su diseño la estabilización de los lodos sedimentados.
- En el tratamiento secundario, para remover la materia orgánica biodegradable y los sólidos en suspensión, necesario para cumplir con los LMPs referidos a DBO₅, DQO y sólidos suspendidos, se aplica en unas 100 PTARs las lagunas facultativas (61%), en 22 PTARs las lagunas facultativas combinadas con lagunas anaerobias (13%), seguidas de lagunas aireadas (4%), filtros percoladores (4%), lodos activados (6%) en las variedades de flujo continuo y SBR, lechos fijos sumergidos, y reactores anaerobios tipo RAFA en algunas PTARs.
- En el tratamiento terciario, caracterizado por la implementación de procesos físicos químicos o biológicos con la finalidad de mejorar la remoción de sólidos en suspensión, huevos de helmintos, remoción de compuestos orgánicos complejos e inorgánicos disueltos, se reporta unas 5 PTARs manejando filtración por arena y eliminación de nutrientes como es el caso de nitrógeno, ninguna remueve fósforo.
- Con etapa de desinfección, para remoción de microorganismos patógenos en las aguas efluentes y el cumplimiento de los LMPs de coliformes termotolerantes, se tienen 20 PTAR con desinfección química, de las cuales 2 presentan dispositivos de cloración, y 16 con instalación de lagunas de pulimento.
- Las diferentes tecnologías aplicadas por las PTARs producen lodos en cantidades considerables con intervalos de purga típicas en cada caso, requiriendo la estabilización de lodos, ya sea aeróbica, anaeróbica o química, seguida por algún mecanismo de secado apropiado; se reporta que 13 PTARs estabilizan lodos dentro del tratamiento primario, 143 en el tratamiento secundario; siendo la estabilización anaerobia dentro de

2.5.1 Ubicación y antecedentes

El complejo de tratamiento de las aguas residuales se denomina **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de TOTORA (PTAR de Totora)**, que se encuentra ubicada en la zona nor-este del centro de la ciudad de Ayacucho, siendo el acceso a unos 3,5 km de distancia partiendo desde la ciudad de Ayacucho a través de la carretera asfaltada vía Ayacucho – Huanta, tomando un desvío al margen derecho de la mencionada vía.

Geográficamente la PTAR de Totora se ubica en:

Comunidad	Totora
Localidad	Totora
Distrito	Jesús Nazareno
Provincia	Huamanga
Región	Ayacucho

La planta de tratamiento fue un proyecto desarrollado y ejecutado con **GTZ – KfW** de la República Federal de Alemania, con instalaciones físicas ubicadas en la comunidad de Totora, por la cual pasa el río Alameda, abarcando la planta unas 25 hectáreas de extensión territorial.



Figura 2.13 PTAR de Totora en Ayacucho (**SEDA, 2016**).

La **PTAR de Totora** es el resultado de un gran esfuerzo constructivo iniciado hacia los años de 1974 con apoyo del BID y por la Cooperación Internacional de la República de Venezuela en su **1ra. Etapa**, con construcciones básicas de rejilla, desarenador, dos digestores Imhoff y dos lagunas de estabilización;

posteriormente, se da lugar al Estudio de Factibilidad para la Rehabilitación del PTAR - Totora en el año 1995, consolidado hacia el 2000 como el inicio de la **2da. Etapa** de la planta, con el objetivo de “Asegurar la recolección y tratamiento centralizado de las aguas servidas en condiciones higiénicas y ecológicas adecuadas”, con pleno funcionamiento hacia el año 2004 y proyectándose hasta el 2010 y 2020, con indicadores orientados a buscar un gran potencial en la calidad del efluente que garanticen una aplicación en el riego de considerables zonas de cultivo aguas abajo del vertido.

De las diversas alternativas formuladas para la 2da. etapa, indicadas en la Tabla 2.3, **EPSASA/KfW** propone a la **Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA**, según informe **N° 043 –2000/DESAB**, en la que se admite el mejoramiento y ampliación de la PTAR de Totora, a través de la alternativa del tratamiento primario **IMHOFF** seguidos por las lagunas facultativas 1 y 2 existentes y con biofiltros percoladores, complementado con lagunas de maduración tanto para las lagunas facultativas como para los biofiltros percoladores.

Tabla 2.3 Propuesta de alternativas de mejoramiento de la PTAR Totora (**EPSASA, 2012**).

N°	DESCRIPCION BREVE DEL TRATAMIENTO	ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO		OBSERVACIONES
		HORIZONTE 2010	HORIZONTE 2020	
1	RAFA's seguidos de lagunas de estabilización facultativas	Rejillas Desarenador 14 RAFAS 6 Lagunas Facultativas (LF) con área total 25 há	+ 6 RAFA's + 2 LF con área adic. 11 há	. Alto requerimiento de área . Funcionamiento cuestionado de los RAFA por algunos especialistas
2	RAFA's seguidos de lagunas aereadas y lagunas de maduración	Rejillas Desarenador 14 RAFAS 4 Lagunas Aereadas (LA) 3 Lagunas de maduración LM con área total 14 há	+ 6 RAFA's + 2 LA + 1 LM con área adic. 6,1 há	. Alto requerimiento de área . Funcionamiento cuestionado de los RAFA por algunos especialistas
3	RAFA's seguidos de lagunas de estabilización facultativas 1 y 2 existentes y de lagunas aereadas en paralelo. Tratamiento complementado con Lagunas de Maduración tanto para las lagunas facultativas como de las aereadas	Rejillas Desarenador 14 RAFAS 2 LF existentes 2 LA 3 LM con área total 16,6 há	+ 6 RAFA's + 2 LA + 1 LM con área adic. 6,1 há	. Alto requerimiento de área . Funcionamiento cuestionado de los RAFA por algunos especialistas
4	RAFA's seguidos de las lagunas 1 y 2 existentes y de sistemas de lodos activados por aereación extendida en paralelo. Tratamiento complementado con lagunas de maduración tanto para las lagunas facultativas como para los efluentes de lodos activados	Rejillas Desarenador 14 RAFAS 2 LF existentes 1 LM 4 Tanques de aereación 4 Sedimentadores 2 espesadores de lodos 2 filtros banda con área total 12,7 há	+ 6 RAFA's + 2 TA + 2 S + 1 E + 1 FB con área adic. 6,1 há	. Funcionamiento cuestionado de los RAFA por algunos especialistas . Área actual de la PTAS suficiente . Alto requerimiento de energía (225,000 US\$/a fin 1er horizonte; 335,000 US\$/a fin segundo horizonte) . Sin requerimiento adicional de área
5	Imhoff's seguidos de lagunas facultativas 1 y 2 existentes y tratamiento primario Imhoff seguido de biofiltros o filtros percoladores. Tratamiento complementario con lagunas de maduración, tanto para las lagunas facultativas como para los biofiltros	Rejillas Desarenador 2 Imhoff's existentes 4 Imhoff's 4 Tanques de aereación 2 LF existentes 4 Filtros percoladores 6 Lechos de secado 4 Sedimentadores integrados en lagunas 3 Lagunas de maduración con área total 12,0 há	+ 2 IMH + 2 FP + 6 sediment. Secundarios + 3 Digestores abiertos de lodos + 1 Estación de deshidratación mecánica con área adic. 1,0 há	. Tratamiento tradicional . Área actual de PTAS suficiente

2.5.2 Aspectos técnicos

En la Memoria Descriptiva de la Empresa EPSASA (2012) se publica con respecto al sistema de alcantarillado sanitario lo siguiente:

- 1) **CONEXIONES DOMICILIARIAS:** La cobertura del servicio de desagüe asciende a 76,54 %, que representa a una población servida de 146,541 habitantes, que tiene la distribución siguiente:

a) Categoría Social	27
b) Categoría Doméstico	31 819
c) Categoría Comercial	4 026
d) Categoría Industrial	58
e) Categoría Estatal	209
TOTAL	36 139

- 2) **REDES COLECTORAS:** El sistema de alcantarillado sanitario está compuesto por redes secundarias, primarias, interceptor y emisor, que recolecta las aguas servidas provenientes de las conexiones de las categorías descritas en el párrafo anterior, y luego transporta a través de redes indicadas hasta el afluente de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá**; el conjunto del sistema de alcantarillado sanitario consta de un total de 304 527 m lineales, de diferentes diámetros que van de 6", 8", 10", 12", 14" entre colectores secundarios y primarios, y de mayor diámetro el interceptor y emisor.

- 3) **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** El emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la ciudad de Ayacucho denominada PTAR TOTORA, se encuentra planimétricamente ubicada en las siguientes coordenadas:

NORTE	585.654 E – 8 547.489 N
SUR	585.762 E – 8 546.611 N
ESTE	585.996 E – 8 547.037 N
OESTE	585.442 E – 8 547.220 N

Topográficamente, el área donde se encuentra emplazada las unidades de proceso de la PTAR de Totorá, tiene cotas que varían desde 2606 msnm

Tesis publicada con autorización del autor. No olvide citar esta tesis

UNFV

1974 para una población de 60 000 habitantes aproximadamente; en diciembre de 2004, ha sido puesta en operación el **Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de la PTAR de la ciudad de Ayacucho** estimada para atender una población total de 208 000 habitantes (2010), teniendo como base los siguientes datos:

DESCRIPCIÓN	HORIZONTE	HORIZONTE
	2010	2020
Población total (hab)	208 282	278 215
Cobertura (%)	75	80
Población servida (hab)	156 212	222 572
Caudal diario (lps)	443	618
Caudal medio horario (lps)	537	697
Caudal pico (lps)	769	989
Caudal mínimo (lps)	274	435

Igualmente el proyecto ha establecido alcanzar los valores de la calidad del agua residual conforme se describe a continuación:

PARÁMETROS	HORIZONTE	HORIZONTE
	2010	2020
Temperatura media (°C)	15	15
Condiciones Iniciales		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1x10 ⁸	4x10 ⁸
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/l)	204	208
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/l)	408	417
Condiciones finales		
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1,1x10 ⁶	5,6x10 ⁶
Remoción de CF (%)	98,8	98,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/l)	18	18
Remoción de DBO (%)	91	91
50 g/hab/d DBO		
100 g/hab/d DQO		

La PTAR de Totorá, luego de su ampliación y operación desde diciembre del año 2004, con una actual vista panorámica que se muestra en la Fig. 2.14, consta con los siguientes componentes en sus instalaciones físicas (EPSASA, 2012; <http://www.epsasa.com.pe/home.htm>)

- 01 Obra de Ingreso
- 01 Cámara de materiales gruesos.
- 01 Rejillas manuales de 2" de espaciamiento.
- 01 Lecho de grava.
- 01 Desarenador de 03 canales.
- 02 Rejillas automáticas finas de 6 mm.
- 01 Tornillo transportador de basuras
- 01 Lecho de arena.
- 01 Medidor ultrasónico de caudales.
- 06 Tanques Imhoff.
- 03 Lechos de secado.
- 04 Filtros Percoladores.
- 04 Sedimentadores integrados o Ats.
- 02 Lagunas facultativas.
- 03 Lagunas de maduración.
- 01 Laguna de cloración.
- 01 Edificio de operación y laboratorio.
- 01 Estación de Bombeo.
- 01 Casa fuerza o grupo electrogeno.
- 01 Estación de cloración.
- Misceláneos equipos de bombeo y otros



Figura 2.14 Vista panorámica de la PTAR de Totorá en Ayacucho (SEDA, 2016).

Sistema de Rejas

Conformado por rejas gruesas manuales y dos rejillas automáticas, que permiten remover el material grueso (piedras, plásticos, ramas, animales muertos, trapos, etc.)

Desarenadores

Conformado por dos unidades tipo canal y uno de reserva, que remueven el material sólido (arena) los mismos que se descargan al lecho de grava.

Medidor de caudal

Un medidor de caudal por ultrasonido tipo Khafagi de registro continuo y automático que mide el caudal de ingreso de aguas servidas a la Planta.

Tanques Imhoff

Constituido por seis unidades que permiten separar el material sedimentable del agua servida, cuyos lodos estabilizados son descargados a los lechos de secado. Los efluentes se distribuyen: 17% a las lagunas facultativas y 83% a los filtros percoladores.

Filtros Percoladores

Son cuatro estructuras circulares, rellenas de piedras tipo pómez de origen volcánico, que permiten reducir la materia orgánica (DBO) por acción de las bacterias aeróbicas.

Lagunas facultativas

Dos unidades que remueven parte de la carga orgánica y coliformes.

Lagunas de maduración

Dos unidades que complementan la depuración de las aguas servidas.

Lagunas de maduración final

Complementa el tratamiento de las aguas provenientes de las lagunas facultativas y de maduración, las mismas que se verterán al río Alameda.

Lechos de secado

Unidades con material filtrante, para la deshidratación de lodos provenientes de los tanques Imhoff

2.5.3 Tanques Imhoff

De los seis tanques Imhoff conocidos como presedimentadores, dos son de construcción antigua y cuatro son construidos en el proyecto de ampliación; el diseño de los tanques Imhoff está compuesto de dos compartimentos principales, en el superior se produce un proceso de sedimentación y una reducción de la carga orgánica; el material sedimentado pasa por gravedad hacia el compartimento inferior por medio de una abertura y se van acumulando en ésta dando lugar a un proceso de digestión de los lodos. (CES Consulting Engineers, 2002)

La zona de sedimentación se diseña para una tasa de aplicación superficial de $1 \text{ m}^2/\text{m h}$ calculado en base al caudal horario. El período de retención nominal recomendado se encuentra en el rango de 1 a 2,5 h. Acorde al período de retención se produce una mayor o menor remoción de la carga orgánica.

La zona de sedimentación del tanque Imhoff se compone de 3 canales con una sección transversal en forma de V y pendientes de 50° respecto a la horizontal. En la zona convergente de las paredes del canal se deja una abertura para el paso de sólidos de 20 cm. Uno de los lados se ha prolongado de tal manera de obtener en la proyección horizontal un traslape de 30 cm (mínimo recomendado 15 cm) de manera de impedir el ascenso del gas producto de la digestión de los lodos hacia el canal de sedimentación y producir un cortocircuito que disminuiría notablemente el proceso de sedimentación. La superficie libre (zona de natas / sobrenadante / espumas) comprendidas entre las paredes del digester y las del sedimentador, o entre los canales sedimentadores, son las cámaras de ventilación por la cual se da la emisión de los gases de la biodigestión y tienen un espaciamiento libre de 1 m. (CES Consulting Engineers, 2002)

2.6 ASPECTOS NORMATIVOS Y ORGANIZACIONES

En el ámbito regional, nacional e internacional existen una variedad de leyes, normas y reglamentos que regulan el uso y manejo de los recursos hídricos, del vertimiento de aguas residuales, del tratamiento de residuos líquidos, reutilización de agua residual, prestaciones de servicios y fiscalización por parte de las Municipalidades, LMPs para efluentes de PTARs, emisiones

gaseosas, así como los estímulos y beneficios de la captura de dióxido de carbono, entre otros compromisos ambientales.

A continuación se presentan algunas referencias de base legal vinculantes al tema (OEFA, 2014).

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos
- Reglamento de la Ley N° 29338
- Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento – Ley N° 26338.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAN – Decreto Supremo que aprueba Límites Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica o Municipales.
- Reglamento General de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, aprobado por D.S. N° 017-2001-PCM
- D.S N° 003-2008- MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.
- Decreto Supremo N° 062-2010-EM que aprueba los Límites Máximos Permisibles para las emisiones gaseosas y de partículas de las actividades de hidrocarburos.

Tras reconocer la existencia del problema que plantea el posible cambio climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crearon conjuntamente el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, del inglés, Intergovernmental Panel on Climate Change) en el año 1988. Una de las actividades del IPCC consiste en complementar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante su trabajo en materia de metodologías para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006).

Las directrices de 1996 incluyeron las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996, junto con la Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y la Orientación sobre

silvicultura. Las Directrices de 2006 tomaron como base este trabajo y evolucionaron a partir de allí, para garantizar que la transición de las directrices anteriores a las nuevas fuera lo más directa posible. Estas nuevas directrices incluyen fuentes y gases nuevos, así como actualizaciones de los métodos publicados con anterioridad, en la medida en la que ha mejorado el conocimiento científico y técnico desde la publicación de las directrices anteriores.

Las normas ISO son emitidas por la Organización Internacional de Estandarización / Normalización (*International Organization for Standardization*) aplicado a diversos productos y servicios; que para el caso de los gases de efecto invernadero presenta la **Norma ISO 14064**, que consta de las siguientes partes (ISO, <https://www.iso.org>):

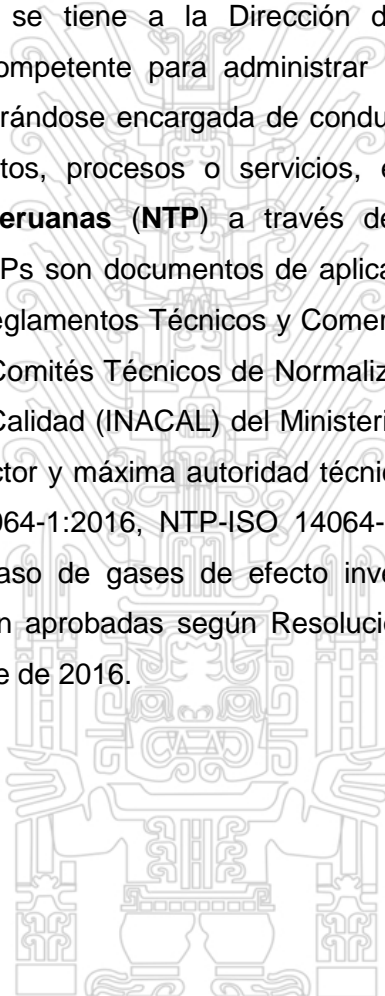
- 1) **ISO 14064-1:2006, Parte 1:** Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
- 2) **ISO 14064-2:2006, Parte 2:** Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero.
- 3) **ISO 14064-3:2006, Parte 3:** Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero.

Complementados con:

- **ISO 14065:** Requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de gases de efecto invernadero, para su uso en acreditación u otras formas de reconocimiento.
- **ISO 14066** Requisitos de competencia para los equipos de validación y de verificación de gases de efecto invernadero.
- **ISO/TR 14069:** Cuantificación e información de la emisiones de GEI para las organizaciones, orientación para la aplicación de la norma ISO

Se viene desarrollando una nueva norma de orientación – ISO 14080 – guía para metodologías sobre acciones climáticas, que proporcionará a los involucrados en la acción climática, de un marco para metodologías consistentes, comparables y mejoradas para guiar las actividades de mitigación y adaptaciones eficaces, y también mejorar el acceso y la disponibilidad de financiamiento para el clima y otros recursos (ISOfocus, 2016)

En el caso del Perú que es miembro pleno de la Organización Internacional de Normalización (ISO), se tiene a la Dirección de Normalización como la Autoridad Nacional competente para administrar la política y gestión de la Normalización, encontrándose encargada de conducir el desarrollo de normas técnicas para productos, procesos o servicios, encargada de aprobar las **Normas Técnicas Peruanas (NTP)** a través del Comité Permanente de Normalización; las NTPs son documentos de aplicación voluntaria, aprobadas por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales -CNB del INDECOPI y elaboradas por los Comités Técnicos de Normalización; administradas por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) del Ministerio de la Producción, que en su calidad de ente rector y máxima autoridad técnico normativa administra las normas NTP-ISO 14064-1:2016, NTP-ISO 14064-2:2016 y NTP-ISO 14064-3:2016 referidas el caso de gases de efecto invernadero (resumidas en el Anexo 02), que fueron aprobadas según Resolución Directoral N° 023-2016-INACAL/DN en octubre de 2016.





CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Con la finalidad de proponer la gestión de la mitigación de la contaminación del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá en la ciudad de Ayacucho en base a las operaciones del año 2015, se ha realizado una revisión del proceso integral del tratamiento de aguas residuales de la Planta de Tratamiento PTAR – Totorá de Ayacucho, poniendo mayor énfasis en la operación de los seis tanques Imhoff instalados, cuyas cámaras de ventilación se encuentran directamente abiertas al ambiente.

Los tanques Imhoff 1 y 2 son de la primera generación constructiva, de dimensiones menores que los siguientes tanques Imhoff 3, 4, 5 y 6 que tienen dimensiones similares; las pruebas y mediciones de emisión de biogás se han desarrollado mayormente en las cámaras de ventilación del tanque Imhoff 3, que al estado de evaluación presentaba un estado de operación regular, dado que las demás se encontraban relativamente colmatadas con natas superficiales y estaban en el programa de limpieza, cuyas pastas acumuladas en los canales de ventilación afectan la emisión regular del biogás.

Objetivo general → objetivos específicos → conclusión parcial →
conclusión final → Análisis de la Hipótesis

Fundamentado en el desarrollo de las diversas actividades programáticas y el análisis de los resultados vinculantes a los objetivos específicos formulados en la presente investigación, que deben aportar al objetivo general, que debe plasmarse en el análisis final de la Hipótesis.

El diseño general de la presente investigación reconoce y exige el cumplimiento sistemático de las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica.
- Inspección de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de Totorá.
- Evaluación del estado operativo actual de los tanques Imhoff.
- Revisión y análisis de los datos operativos registrados en la PTAR de Totorá.
- Análisis y sistematización de la información recabada.
- Medición experimental de la emisión de biogás en el tanque Imhoff.
- Análisis del biogás y determinación de la tasa de emisión de metano.
- Formulación del sistema de captación y aprovechamiento energético del metano generado en los tanques Imhoff.
- Evaluación del metano como gas de efecto invernadero de acuerdo a su tasa de emisión.
- Elaboración del sistema de gestión para la mitigación de la contaminación del aire
- Contrastación de la hipótesis
- Formulación de conclusiones

POBLACIÓN

Constituida por los seis tanques Imhoff y su entorno.

MUESTRA

Por la naturaleza del caso, consideramos a los seis tanques Imhoff, con evaluaciones enfatizadas en el tanque Imhoff 3.

TÉCNICAS

- Análisis documental (reportes de la PTAR y de su laboratorio)
- Inspección del proceso y de los tanques Imhoff
- Análisis instrumental y químico (laboratorios)
- Medición de caudal de emisión (registro en campo)
- Medición dimensional de los tanques Imhoff
- Tratamiento y análisis de resultados

INSTRUMENTOS

- Reportes operativos del proceso
- Reportes de resultados de análisis de laboratorio
- Guía de observación de campo
- Materiales y equipos de laboratorio
- Procesador estadístico de datos
- Modelos y funciones matemáticas
- Ecuaciones de balance de materia y energía
- Simuladores de operaciones y procesos
- Bases legales

3.2 TÉCNICAS DE EVALUACIÓN

Con el propósito de disponer los datos operativos de la PTAR de Totorá se revisan los datos técnicos del proceso de tratamiento, luego se instalan diversos sistemas de captación y medición del biogás generado a través de las cámaras de ventilación de los tanque Imhoff, para determinar la magnitud de emisión de gas metano hacia el ambiente desde los canales de ventilación.

A continuación se describen brevemente algunos procedimientos utilizados:

1. Captación de biogás emitido

Se ha instalado una estructura metálica simple de soporte sobre una fracción del canal de ventilación, para luego realizarse la cobertura de cierre del canal con tres capas de polietileno que garanticen su funcionamiento en el tiempo de evaluación, como es la de resistir al deterioro por la acción solar externa intensa en el día, a los vientos y lluvias ocasionalmente torrenciales, a la presión mecánica de sellado implantado en las paredes del canal de ventilación así como al contacto interno de la estructura interna con los gases húmedos de la cámara interior; considerando a un extremo de la cobertura de cierre la instalación de la tubería colectora y de descarga lateral para el biogás, que permita realizar la medición de emisión de gas.

Paralelamente, se instala una manga flexible de polietileno con cierre hermético, que se asienta a través de una estructura de soporte circular sólido sobre la superficie líquida de las aguas servidas del canal de ventilación, para realizar la colección y medición de biogás que se va insuflando hacia la manga, de acuerdo a la velocidad de emisión natural del biogás por área de control en el biodigestor Imhoff; además, en el extremo superior de la manga se instala una válvula de evacuación y un sensor de temperatura. El gas insuflado y capturado en la manga se retira a través de la válvula de evacuación para la toma de muestra del biogás y su análisis composicional, pruebas de quemado y demás evaluaciones requeridas en la investigación.

2. Análisis composicional del biogás

La muestra de biogás colectado es remitida al laboratorio para el análisis composicional, siendo lo más apropiado el análisis de cromatografía de gases, que es una técnica de separación en la que la elusión se produce por el flujo de una fase móvil constituida por un gas inerte, a fin de que no interacciona con las moléculas del analito, la separación de los analitos se desarrolla dentro de una columna cerrada en la que se encuentra retenida la fase estacionaria.

3.3 MATERIALES E INSTRUMENTOS

El material que se procesa en los tanques Imhoff son las aguas residuales de la ciudad, que son canalizadas hacia la planta, las que luego de las operaciones de filtración y desarenación son distribuidas a los seis tanques Imhoff para su pre sedimentación y biodigestión.

Para los fines de estudio, se han construido diversos gasómetros como sistemas de captación del biogás, con la finalidad de medir el volumen generado por unidad de área superficial de descarga del canal de ventilación con respecto al tiempo de emisión; adicionalmente se han utilizado diversos instrumentos:

- Termómetro digital
- Anemómetro digital
- Higrómetro
- Materiales de laboratorio
- Materiales informáticos

3.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con la finalidad de alcanzar el objetivo propuesto se han desarrollado sistemática y progresivamente diversas actividades experimentales en la PTAR de Totora en Ayacucho, así como en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y algunos servicios complementarios de análisis composicional, siendo las actividades más relevantes:

3.4.1 Evaluación del proceso de tratamiento de aguas residuales

Se ha realizado una inspección y evaluación operativa del circuito de tratamiento de aguas residuales, desde la tubería de entrada de aguas residuales a la PTAR de Totora que suministra las aguas residuales a la planta, los sistemas de tratamientos preliminares, primarios y secundarios, hasta la descarga final hacia el río Alameda.

3.4.2 Datos técnicos de operación de Planta

En coordinación con el responsable de planta, se ha tenido acceso a la información y datos técnicos concernientes al monitoreo de las operaciones de

tratamiento, las cuales no se encuentran sistematizados, existiendo ciertas dificultades en su consolidación.

La PTAR de Totorá cuenta con un laboratorio propio, que se encarga de diversos análisis físico químicos y microbiológicos, con monitoreos periódicos que venía operando regularmente hasta el año 2013; entre los principales análisis de laboratorio realizados que figuran en sus reportes están:

- Temperatura
- pH
- DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L)
- DQO (Demanda Química de Oxígeno, mg/L)
- STS (Sólidos Totales en Suspensión, mg/L)
- AyG (Aceites y Grasas, mg/L)
- CT (Coliformes termotolerantes, NMP/100 mL)
- Turbidez (NTU)
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- % de sal
- STD (Sólidos Totales Disueltos, mg/L)
- ST (Sólidos Totales, mg/L)
- SSed (Sólidos Sedimentables, mL/L)
- DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L)
- Caudal (L/s)

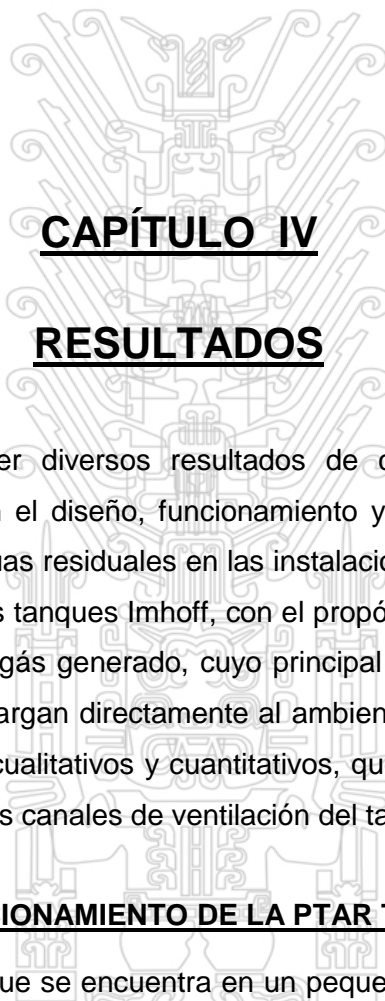
Sin embargo, en amparo al D.S. N° 003-2010-MINAM que ***Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales***, en atención al párrafo del Art. 4.3 que especifica que sólo será considerado válido el monitoreo realizado por *Laboratorios acreditados*, ha hecho de que la gestión de la entidad transfiera el control de calidad de aguas hacia laboratorios externos para el cumplimiento apropiado del reglamento; sin embargo, equívocamente se ha debilitado la atención logística y la frecuencia de los múltiples análisis de control de calidad y monitoreo del proceso de tratamiento de aguas residuales realizados por el laboratorio de la planta (MINAM, 2010).

Se informa que los laboratorios acreditados, tales como NSF ENVIROLAB SAC y CERTIMIN SA, que monitorean los parámetros de LMPs del efluente de la PTAR – Totorá, realizan mensualmente la evaluación de los siete parámetros exigidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM, cuyo texto se presenta en el Anexo 02, de la cual se extrae los parámetros indicados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR (MINAM, 2010)

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Igualmente, es recomendable para la entidad, con el propósito único de mejorar la eficiencia y calidad de procesamiento en la planta, atender y superar la precariedad observada en la atención de los servicios de mantenimiento en general y suministros, que dificultan la operación normal de los servicios de medición de caudal, funcionamiento de las máquinas limpiadoras Hubber, monitoreo y control de calidad del circuito.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Con el propósito de obtener diversos resultados de campo requeridos para la investigación, vinculados con el diseño, funcionamiento y operación de las diversas etapas del tratamiento de aguas residuales en las instalaciones de la PTAR de Totorá, teniendo mayor énfasis en los tanques Imhoff, con el propósito de interpretar y evaluar el nivel de generación de biogás generado, cuyo principal componente es el metano, que en la actualidad se descargan directamente al ambiente, se desarrolla y describe la generación de resultados cualitativos y cuantitativos, que implican las instalaciones de captura de biogás sobre los canales de ventilación del tanque Imhoff.

4.1 OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR TOTORA

La PTAR de Totorá, que se encuentra en un pequeño valle comprendido entre el río Alameda y el río Wichccana, recibe el afluente de las aguas residuales a través de la tubería emisor de alcantarilla, que descarga a la cámara de recepción abierta, desde la cual se inicia el tratamiento de las aguas residuales.

La actual infraestructura e instalaciones de la PTAR cuenta con un conjunto de operaciones unitarias para el tratamiento de las aguas residuales, que comprenden desde el emisor principal, unidad de cámara de rejillas (gruesas y finas), desarenado de flujo horizontal, medidor de caudal ultrasónico, seis

unidades de tanques Imhoff, tres unidades de canchas de secado, cuatro unidades de filtros percoladores, cuatro unidades de sedimentadores integrados, dos unidades de lagunas facultativas, tres unidades de lagunas de maduración, caseta de desinfección con su respectivo equipo de cloración, laguna de cloración y vertimiento final mediante trasvase y canal disipador al río Alameda, cuyas aguas son utilizadas corrientes abajo principalmente para la irrigación.

4.1.1 Descripción de las operaciones de tratamiento

La planta es un conjunto interconectado de diversas operaciones, que permiten el tratamiento de las aguas residuales; todo el sistema de flujo y transporte de las aguas servidas en la planta discurren por gravedad, favorecido por los gradientes y pendientes topográficos de la planta, que van desde la entrada del afluente hasta el punto de vertido de aguas efluentes en el río Alameda; con un diseño hidráulico apropiado en todo su trayecto y que interconectan las distintas operaciones, a través de un sistema de canales abiertos y tuberías subterráneas. A continuación se describen resumidamente las diversas unidades evaluadas en el circuito de tratamiento de aguas residuales.

1. Cámara de recepción

Llamado también como obra de ingreso, se ve en la Fig. 4.1, es de forma rectangular, en la cual se descarga las aguas residuales a través de una tubería de concreto de 32 pulg, ingresando el afluente de aguas residuales a la PTAR de Totorá.



Figura 4.1 Cámara de recepción de aguas residuales que ingresa a la PTAR de Totorá.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

2. Cámara de Rejas: Gruesa N° 1

Seguido a la cámara de recepción, en el canal de ingreso se encuentran instaladas dos parrillas o rejillas metálicas verticales gruesas, con una inclinación atenuada al paso de las aguas residuales, con apertura de unas 2 ½ pulg, como se ve en la Fig. 4.2, en la cual se retienen los materiales sólidos mayores como botellas, plásticos, ramas, palos, etc., las que van siendo removidas manualmente por los operadores de acuerdo a su grado de acumulación.



Figura 4.2 Cámara de rejas gruesas para retener sólidos gruesos acarreados por las aguas residuales.

Seguidamente, en el mismo canal de entrada, las aguas servidas se cargan sobre unas rejillas horizontales, a manera de colador grueso, como se ve en la Fig. 4.3; luego se tiene un sistema de derivación o desviación, que en casos atípicos de sobre carga de aguas servidas permita desviar el exceso de aguas, evitando la sobrecarga de la PTAR.



Figura 4.3 Rejillas horizontales cercanas al punto de derivación.

3. Cámara de Rejas: Intermedia N° 2

Luego las aguas servidas ingresan a una cámara de concreto cuadrangular de unos 4 m x 4 m, en la cual existen dos rejillas metálicas de 1,4 m de ancho, ver Fig. 4.4, ancladas con una ligera inclinación al curso de las aguas, de 2 pulg de apertura, donde se retienen los sólidos intermedios tales como plásticos, telas, botellas, palos medianos, etc., las cuales también son retiradas en forma manual de acuerdo al grado de acumulación, desde una pequeña plataforma interna.



Figura 4.4 Cámara de rejas intermedias para retener sólidos.

4. Rejillas de limpieza automática

Luego las aguas servidas se conducen a la cámara de rejillas implementado con equipo de limpieza automatizada, consistente en una rejilla escalonada seguida por un tornillo transportador. La infraestructura consta de tres canales de flujo, actualmente se encuentran instaladas las Máquinas de limpieza HUBER en dos canales, que reciben las aguas controladas por válvulas de compuerta, las rejillas escalonadas Huber (ver Fig. 4.5) son mucho más finas con una apertura de unos 6 mm, que retienen los materiales particulados menores, como pequeños plásticos, hojas, cáscaras, etc., que al ir obstruyendo gradualmente el paso del líquido provocan un incremento del nivel en el canal, con la cual se activa automáticamente el rastrillaje y separación del material sólido, retirándose hacia un transportador de tornillo ubicado en la parte posterior, con la descarga de sólidos a un contenedor metálico para su disposición y eliminación final.



Figura 4.5 Rejillas de limpieza automatizadas con máquinas Huber, con tornillo transportador para evacuar los sólidos.

5. Desarenadores

Posteriormente, se encuentran tres canales desarenadores de flujo horizontal construidas en concreto, ver Fig. 4.6, con dimensiones de 1,20 m de ancho por unos 30 m de longitud cada una; las aguas servidas discurren a través de dos canales, con válvulas de compuerta a la entrada. A lo largo del canal los sólidos de alta densidad como grava, arenas y demás partículas arrastradas por las aguas servidas van sedimentando hacia el fondo del canal.



Figura 4.6 Canales desarenadores de flujo horizontal.

6. Separador de aceites, grasas y ceras

Al final del canal desarenador se encuentra instalada un baffle de corte superficial, sumergido sobre nivel del líquido, ver Fig. 4.7, en la cual se obstruye el paso del material flotante conformado especialmente por aceites, grasas y ceras, las que son retiradas con palas manuales de acuerdo al grado de acumulación.



Figura 4.7 Bafle superficial para separación de aceites, grasas y ceras flotantes, instaladas al final del canal desarenador.

7. Medidor de caudal ultrasónico

Las aguas servidas procedentes de los desarenadores se vuelven a coleccionar en un canal de colección, donde se encuentra instalado un medidor ultrasónico digital de caudal marca KAFAGUI, ver Fig. 4.8, que registra y almacena información del caudal de aguas servidas desarenadas que ingresan al circuito de tratamiento de la planta, expresado en litros por segundo (L/s). El medidor está instalado al interior de una cámara metálica rectangular para mayor protección.



Figura 4.8 Medidor de caudal ultrasónico KAFAGUI instalado en el canal colector de aguas servidas luego del desarenado.

Luego de la medición de caudal, las aguas servidas pasan por un canal de concreto abierto de configuración equivalente a la canaleta Parshall, ver Fig. 4.9, no implementada como tal, ingresando a una red de distribución

subterránea, que alimenta las aguas servidas hacia la cámara de distribución rectangular.



Figura 4.9 Canaleta de paso (Parshall) y carga de aguas servidas a la red de distribución subterránea.

8. Cámara de distribución

Por la tubería subterránea se alimenta el agua residual al eje central de la cámara de distribución, de concreto cuadrangular de 6 m por 6 m, ver Fig. 4.10, desde la cual se distribuye por rebose dinámico las aguas servidas hacia los diferentes tanques Imhoff.



Figura 4.10 Cámara de distribución de aguas residuales, que alimentan a los tanques Imhoff.

9. Tanques IMHOFF

Los tanques Imhoff o *tanques de decantación-digestión* son construcciones rectangulares de concreto abiertas al ambiente, de arquitectura especial, debido a los compartimientos o cámaras que conforman su diseño combinadas con un fondo cónico, cuyas vistas panorámicas se presentan en las Fig. 4.11 y 4.12. Los tanques Imhoff reciben continuamente las aguas servidas que ingresan a las cámaras de sedimentación, propendiendo que el material sedimentable circule hacia el fondo cónico o cámara de digestión gracias a la gravedad, en la cual ocurre la biodigestión anaeróbica con generación de biogás, que asciende a través de las cámaras laterales de natas, percibidos por un intenso burbujeo de biogás que se descarga a la atmósfera. Los lodos productos de la biodigestión se acumulan hacia el fondo de la cámara que tiene una forma piramidal invertida, desde la cual se evacúan periódicamente para su deshidratación natural en las canchas de secado.



Figura 4.11 Vista panorámica de cuatro tanques Imhoff de la PTAR de Totorá (Imhoff 1, 2, 3 y 4, enumerados de derecha a izquierda).



Figura 4.12 Vista panorámica de dos tanques Imhoff de la PTAR de Totorá (Imhoff 5 y 6, enumerados de derecha a izquierda).

La PTAR de Totora tiene un total de seis tanques Imhoff, que operan en forma paralela. Los dos primeros tanques corresponden a la 1ra. Etapa del proyecto (1975) y los cuatro siguientes a la 2da. Etapa (2004).

Los dos primeros tanques Imhoff (1 y 2), de construcción antigua, son de unos 13 m x 31 m, que en superficie presentan dos cámaras o canales mayores de sedimentación, que intercalan con tres canales o cámaras de venteo o descarga de gases productos de la biodigestión anaeróbica, ver Fig. 4.13; su capacidad de operación es menor que los siguientes tanques Imhoff.



Figura 4.13 Tanques Imhoff 1 y 2, con dos cámaras de sedimentación y tres canales de venteo para emisión de biogás.

Los siguientes cuatro tanques Imhoff (3, 4, 5 y 6), tienen un diseño rectangular con dimensiones similares, construidos en concreto armado de 18,70 m de ancho, con 33,20 m de longitud y una profundidad de 11,50 m, con dos canales transversales en sus extremos para la alimentación y descarga de aguas tratadas respectivamente; longitudinalmente en la superficie de los tanques Imhoff se observan las cámaras de sedimentación como canales más anchos, que se intercalan con las cámaras de natas o de ventilación como canales más delgados, cargados permanentemente con aguas residuales en proceso de tratamiento; hacia el fondo del tanque se encuentran las cámaras de digestión de sólidos sedimentados, conformada por dos compartimientos de forma piramidal invertida, desde cuyo fondo emergen los tubos de descarga de lodos.

de 0,60 m de ancho por 18,20 m de longitud, que cargan aguas servidas a las cámaras de sedimentación, percibidas como tres canales longitudinales de 4,00 m de ancho por 30,50 m de longitud, alternadas con las cámaras de natas o de venteo de biogás, vistas como canales de 1,00 m de ancho y 15,05 m de largo, que se proyectan en dos tramos hasta el otro extremo del tanque Imhoff (separadas al centro por el muro divisor que se eleva desde las cámaras inferiores de digestión), finalmente al extremo inferior se encuentra la canaleta de descarga de aguas clarificadas de 0,60 m por 18,20 m; el detalle gráfico dimensional obtenido para los tanques Imhoff se esquematizan en las Fig. 4.14 y 4.15.

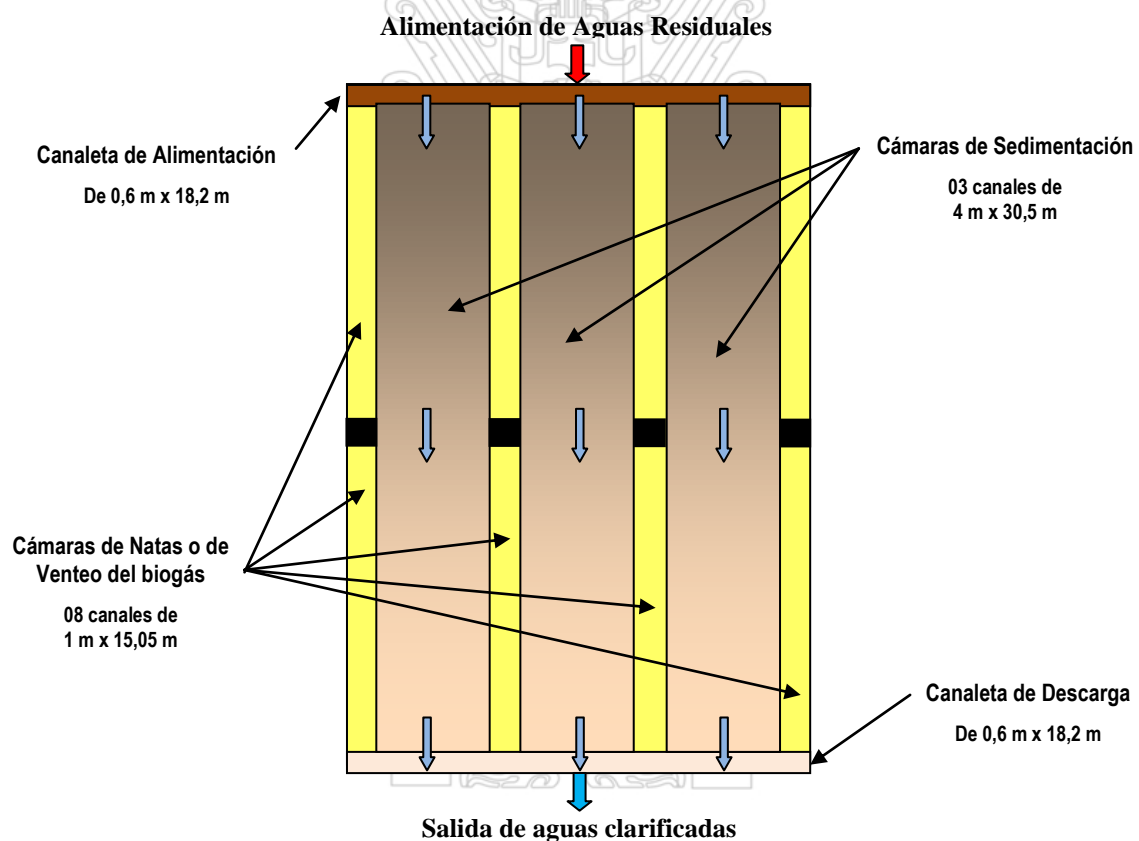


Figura 4.14 Esquema dimensional de la vista superior del tanque Imhoff (3 al 6) de la PTAR de Totora.

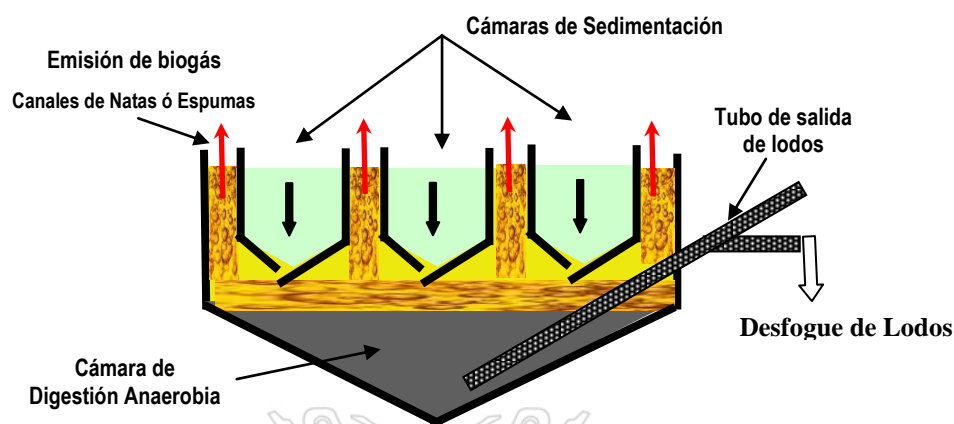


Figura 4.15 Esquema de vista frontal del tanque Imhoff (3 al 6) que detalla su componentes y la descarga de lodos de fondo.

Los sólidos van decantando y pasando por la apertura V del fondo de las cámaras de sedimentación, ver Fig. 4.15, ingresando a la cámara de digestión anaerobia, que es una construcción piramidal invertida al fondo, en la cual se desarrolla la biodegradación anaeróbica de la materia orgánica, con generación de biogás que asciende como burbujas a través de las cámaras de natas o espumas por la cual se ventila el biogás, tal como indica la Fig. 4.16 para el caso del tanque Imhoff 3, liberándose hacia la atmósfera; mientras que, los lodos se van sedimentando hacia el fondo y son descargados periódicamente a través de los tubos de descarga de lodos.



Figura 4.16 Tanque Imhoff 3, con canaleta de entrada de aguas residuales en la cabecera y canales longitudinales de sedimentación y ventilación de biogás

Los dos primeros tanques Imhoff (construcción antigua) pueden procesar hasta un máximo de 60 L/s de inyección, los siguientes seis tanques Imhoff pueden procesar hasta 110 L/s; en la práctica el segundo grupo viene trabajando con unos 60 a 80 L/s. Aproximadamente cada 45 días se retiran unos 30 m³ de lodos de cada tanque Imhoff, que se realiza a través de dos tubos de descarga de 10" en PVC, que emergen en forma inclinada desde el fondo de cada una de las pirámides invertidas que componen la construcción de cada tanque Imhoff, los lodos se conducen a los lechos de secado.

Es necesario indicar que no existe mayor control de temperatura ni de la actividad microbiana que ocurre en la cámara de digestión anaeróbica de los tanques Imhoff; las aguas servidas ingresan a cada tanque tal cual proceden de los desarenadores y la cámara de distribución, a temperatura ambiental, desarrollándose las reacciones bioquímicas en el lodo activado, cuyas condiciones naturales repercuten en el rendimiento del digestor y la generación y emisión del biogás.

El efluente de los tanques Imhoff, cuyas aguas son relativamente clarificadas, en unos 80 % son derivados a los filtros percoladores y los 20 % restantes se cargan hacia las lagunas facultativas, para proseguir con el tratamiento.

10. Lechos de Secado

Los lodos descargados de los tanques Imhoff se derivan directamente a los pozos o lechos de secado, conformado por unos diez lechos como se ve en la Fig. 4.17, que son pozos de concreto de unos 20 m x 30 m, con un lecho de arena sobre la cual se descargan los lodos, provocando la percolación del agua a través del lecho a un falso fondo colector de líquido; mientras que, la torta se va secando gradualmente al ambiente en un promedio de unos 45 a 60 días.



Figura 4.17 Lechos de secado de lodos descargados desde los tanques Imhoff

11. Filtros Percoladores

Las aguas efluentes de los tanques Imhoff se alimentan a dos cajas de distribución, la primera caja recibe cerca del 80 % del líquido total y abastece a una cámara de carga hidráulica que se encarga de alimentar los cuatro filtros percoladores de construcción cilíndrica, que inyecta las aguas servidas a través de inyectoros rotatorios o rociadores **Geiger** instalado sobre cada filtro percolador, ver Fig. 4.18 y 4.19, que están conectadas a un aspa tubular de acero, encargados de la distribución líquida por aspersion sobre el lecho, con un giro aproximado de 0,7 rpm.



Figura 4.18 Filtros percoladores cilíndricos de la PTAR de Totora

Los cuatro filtros percoladores, son estructuras cilíndricas de concreto armado, de unos 32 m de diámetro x 14 m de altura, que se encuentran rellenas con piedras pómez de gran porosidad, estratificadas con distintos tamaños, desde unas 4 pulg en el fondo hasta 1 pulg hacia la superficie.



Figura 4.19 Rociador Geiger con distribuidor rotatorio en aspa instalado sobre cada filtro percolador.

Adheridas a las gravas del lecho se encuentra la biomasa de microorganismos aeróbicos, que trabajan en el tratamiento secundario, degradando el material orgánico remanente de las aguas residuales, que ocurren en una acción aeróbica, gracias a la inyección natural de aire ascendente a través del lecho, que ingresan desde las ventanas de ventilación inferior de los tanques cilíndricos y discurren ascendentemente por el lecho, ver Fig. 4.20, reduciendo la carga orgánica biodegradable expresada como DBO de unos 200 mg/L en la entrada hasta unos 45 mg/L en la descarga de dichos filtros percoladores.



Figura 4.20 Ventanas de aireación natural instaladas en el contorno inferior del filtro percolador.

Las aguas residuales que emergen de los filtros percoladores se colectan y descargan hacia las pequeñas lagunas denominadas como **sedimentadores naturales o integrados**, con la finalidad de retener el

arrastre de biomasa de microorganismos, luego se cargan a las lagunas de maduración.

12. Lagunas Facultativas

La segunda caja de distribución canaliza el 20 % restante de las aguas efluentes de los tanques Imhoff hacia las dos lagunas facultativas de la planta, ver Fig. 4.21, que tienen la mayor proporción de espejo de agua en la vista panorámica, con la finalidad de reducir el contenido de la materia orgánica residual y la presencia de coliformes fecales, a través de su gran superficie expuesta a la radiación solar.



Figura 4.21 Lagunas facultativas 1 y 2 (las de adelante) seguidas por las lagunas de maduración y pulimento (al fondo).

Las lagunas facultativas 1 y 2 tienen la mayor extensión de espejo de agua, ver Fig. 4.22, seguida por las lagunas de maduración 1 y 2 que son de menor tamaño, luego se encuentra la laguna de pulimento o maduración 3, que colindan con las cuatro pequeñas lagunas de sedimentación natural o integrada.



Figura 4.22 Espejo de agua de la laguna facultativa 2.

Las lagunas facultativas tienen cerca de 1,5 m de profundidad, con una capacidad de unos 33 000 a 35 000 m³, las aguas tratadas, luego de cumplir con su tiempo de residencia en las lagunas facultativas 1 y 2, son derivadas hacia la laguna de maduración final o de pulimento.

13. Sedimentadores Naturales Integrados

Son cuatro pequeñas lagunas que se encuentran cercanas a los filtros percoladores cilíndricos, desde las cuales reciben las aguas tratadas aeróbicamente a través de una tubería subterránea, con el objetivo de permitir la post sedimentación libre o natural de lodos desprendidos en la biorreacción desarrollada en el lecho de gravas, ver Fig. 4.23, luego por rebose a través de la toma cuadrangular se transfieren las aguas clarificadas hacia las lagunas de maduración 1 y 2.



Figura 4.23 Sedimentadores naturales integrados para post sedimentación.

Los sedimentadores integrados son de unos 1300 m² de superficie, con fondo inclinado; al cabo de unos tres meses, se registra una acumulación de sedimentos, luego se programa la evacuación del líquido y se somete a secado natural del lodo de fondo, como se aprecia en la Fig. 4.24, que dura aproximadamente un mes, para finalmente retirar y limpiar el material seco y proseguir con el ciclo operativo del mismo.



Figura 4.24 Drenado del líquido del sedimentador integrado para el secado de lodos y limpieza final.

14. Lagunas de Maduración

Existen dos lagunas de maduración, que reciben las aguas provenientes de los sedimentadores integrados, en las cuales se realiza la estabilización de las aguas tratadas, teniendo como principal objetivo la reducción de coliformes fecales, en una acción sinérgica con la radiación solar que reciben en su espejo de agua, para luego ser conducidos a la laguna de maduración final o pulimento.

Las lagunas de maduración 1 y 2, tienen una profundidad aproximada de dos metros, con una capacidad de 24 000 a 32 000 m³, tienen una extensión de espejo de agua menor que las lagunas facultativas; las lagunas de maduración se encuentran instaladas en forma contigua y posteriores a los sedimentadores naturales o integrados.

15. Laguna de Pulimento

Es la última laguna del proceso de la PTAR de Totorá, conocido como la laguna de maduración final o en algunos documentos como laguna de maduración 3, tiene unos 2 m de profundidad, con una capacidad de unos 32 600 m³, a la cual concurren tanto las aguas de las Lagunas Facultativas 1 y 2 y las de Maduración 1 y 2, así como el líquido drenado de los lechos de secado.

En la laguna de maduración final o pulimento se reducen adicionalmente los coliformes fecales, se homogeniza y estabiliza las aguas tratadas en la

planta, para finalmente ser conducidos al sistema de desinfección con cloro y poder ser vertido hacia el río Alameda.

16. Caseta de desinfección por cloración

Las aguas procedentes de la laguna de pulimento ingresan a un pequeño estanque de cloración, en la cual se aplica gas cloro proveniente de la caseta de cloración, en niveles que garanticen la desinfección de las aguas tratadas para su vertido final. La cloración permite regular la población bacteriana del efluente, principalmente los coliformes termotolerantes, garantizando la descarga se acuerdo a las normas que regulan el vertido de aguas tratadas a cuerpos hídricos receptores.

17. Vertido o Disposición final

Las aguas tratadas y desinfectadas, con un control de DBO_5 final promedio de unos 40 mg/L son finalmente transportados a través de un canal de descarga con rejilla final y disipación energética del efluente, para poder ser vertido al cauce del río Alameda, que surca por la parte lateral baja de la planta, como se ven en la Fig. 4.25; durante el vertido se aprecia una tendencia a la formación de espumas.

Las corrientes de agua del río Alameda se perciben bastantes turbios especialmente en las temporadas de lluvias, caracterizadas por el arrastre de gran cantidad de tierras y arcillas, a la cual se añaden las aguas tratadas efluentes de la PTAR de Totorá.



Figura 4.25 Canal disipador de energía y descarga del efluente de la PTAR de Totorá hacia el cauce del río Alameda.

18. Laboratorio

La planta cuenta con un laboratorio para el análisis físico químico y microbiológico de muestras en diversos puntos del proceso de tratamiento de aguas de la PTAR, implementado y operativo, ver Fig. 4.26. Existen registros de los resultados de análisis con relativa frecuencia hasta el año 2015, utilizados en los informes y documentos de gestión interna de la entidad; sin embargo, debe admitirse que no están consolidados y organizados como archivos físicos disponibles para el acceso directo.

Como se indicó en el ítem 3.4.2, a consecuencia de los últimos requerimientos normativos exigidos para los efluentes líquidos de las PTARs, los análisis son desarrollados por laboratorios certificados externos, provocando un descuido en los análisis de laboratorio que se venía realizando en el circuito de tratamiento.

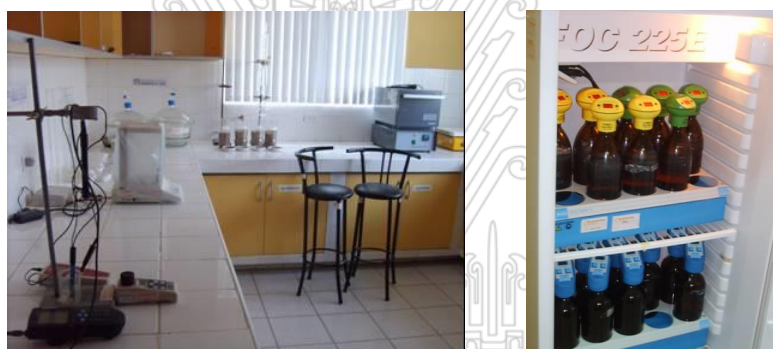


Figura 4.26 Laboratorio de control de calidad de la PTAR de Totorá.

4.1.2 Distribución de unidades y diagramas del proceso

Las unidades descritas anteriormente se distribuyen en el área geográfica de la planta, tal como se representa en la Fig. 4.27, con todas sus unidades distribuidas en plano, donde el circuito de tratamiento de aguas residuales inicia con el ingreso del afluente (A) observado al lado izquierdo del plano, seguido por las cámaras de rejillas, el desarenador, la distribución de los seis tanques Imhoff (IMH 1 al 6), los lechos de secado, los filtros percoladores y las diferentes lagunas de tratamiento, hasta el efluente que se descarga al río Alameda; el plano está bordeado por la carretera pavimentada Ayacucho – Huanta y por la parte inferior está la trayectoria del río Alameda.

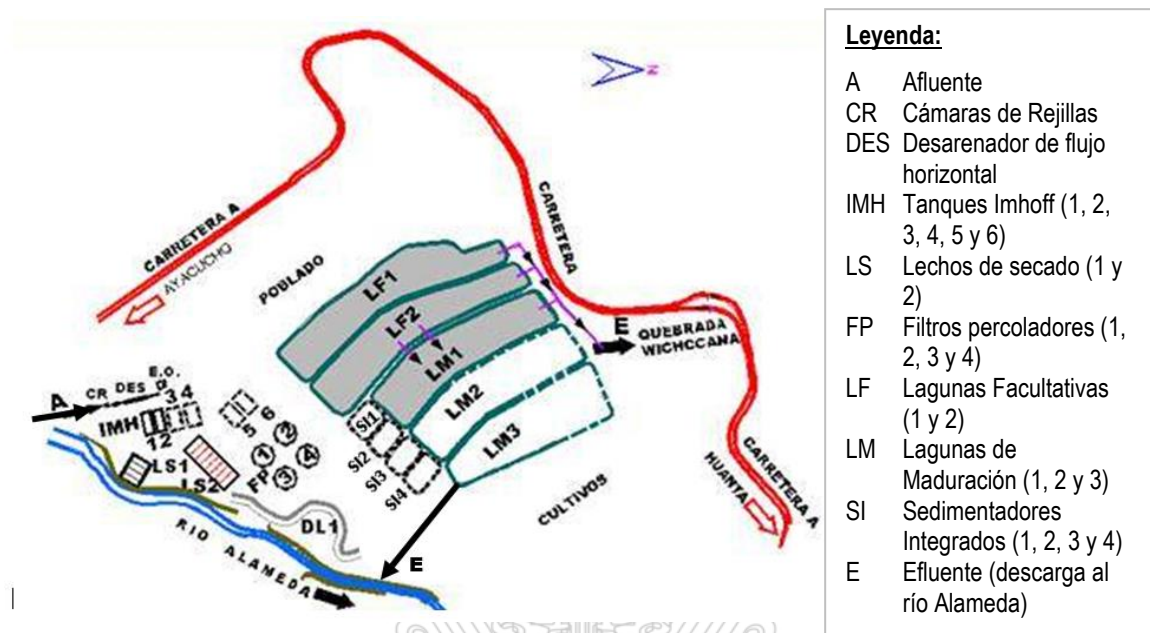
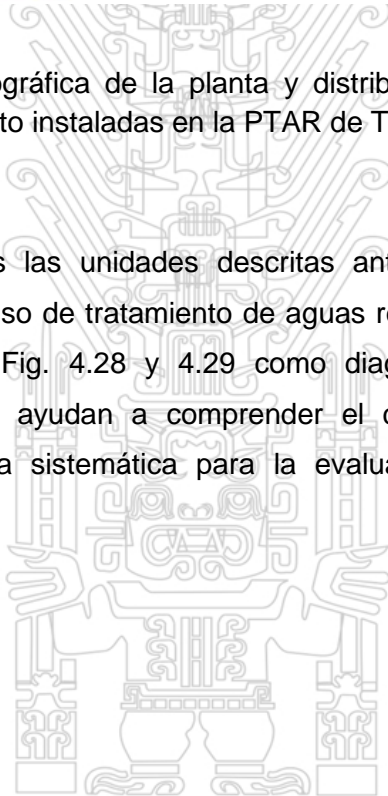


Figura 4.27 Área geográfica de la planta y distribución de unidades de tratamiento instaladas en la PTAR de Totorá.

Por otra parte, todas las unidades descritas anteriormente conforman las operaciones del proceso de tratamiento de aguas residuales, cuyo proceso se esquematiza en las Fig. 4.28 y 4.29 como diagramas de bloque y flujo respectivamente, que ayudan a comprender el circuito de movimiento de materiales de manera sistemática para la evaluación de la ingeniería de procesos.



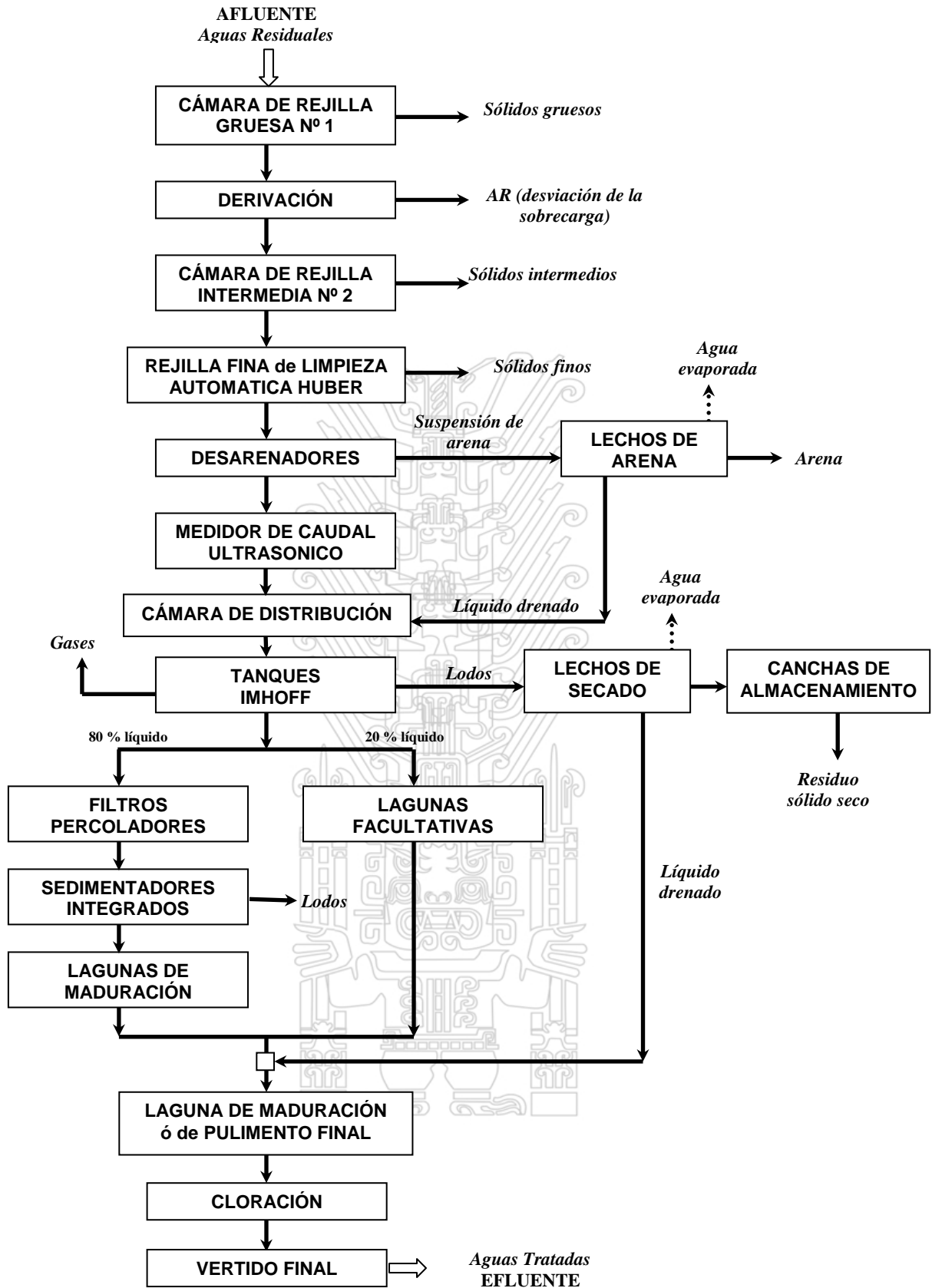


Figura 4.28 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

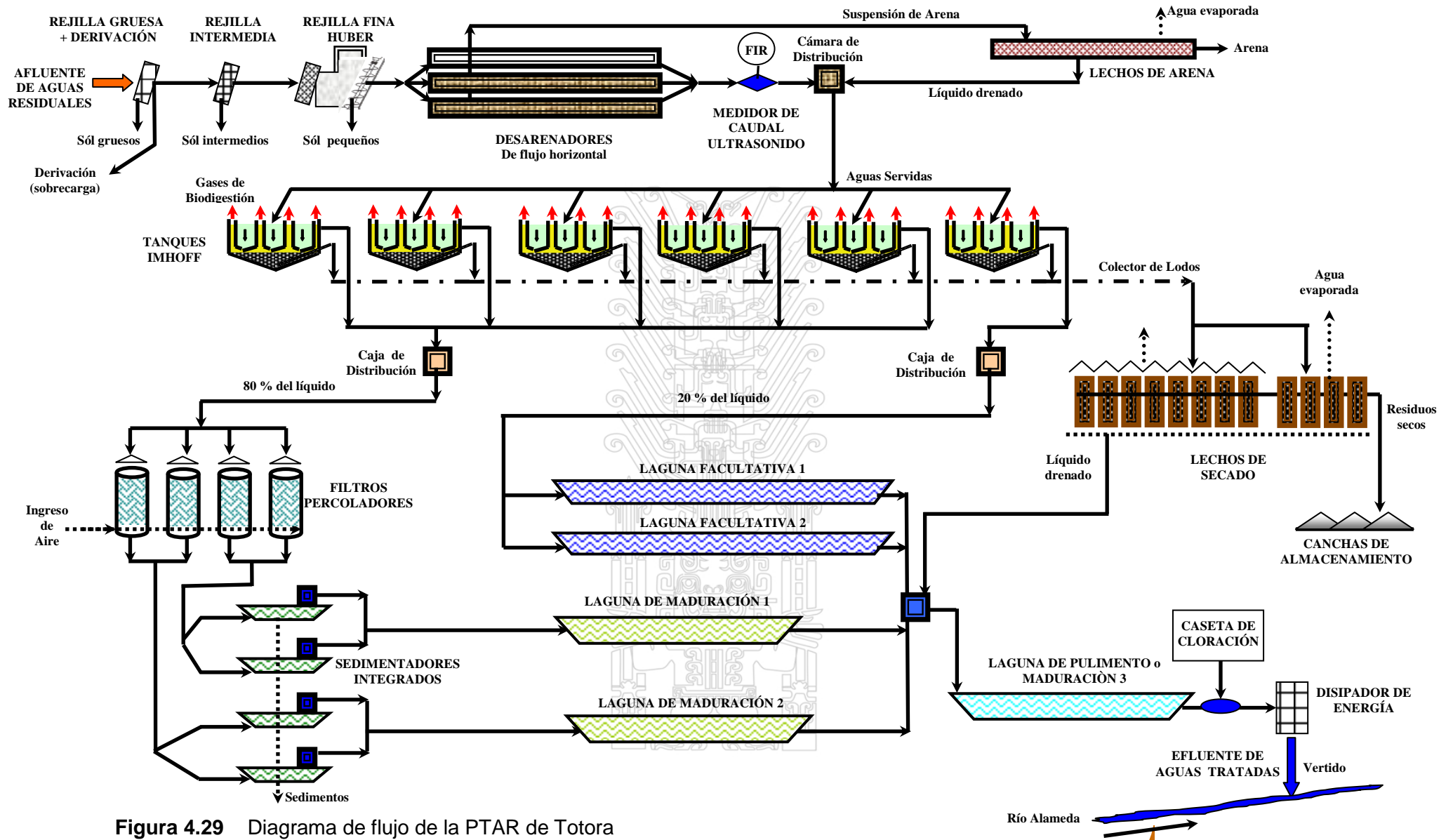


Figura 4.29 Diagrama de flujo de la PTAR de Tota

4.2 TANQUES IMHOFF DE LA PTAR TOTORA

Los tanques Imhoff de la PTAR de Totora están instalados y ubicados por pares consecutivos, la Imhoff 1 y 2 (antiguas y más pequeñas), luego la 3 y 4, y a cierta distancia las dos últimas: la 5 y 6; en las Fig. 4.30 y 4.31 se presentan algunos detalles referidos a la vista geometría de los tanques Imhoff, teniéndose como referencia a los últimos cuatro tanques construidos con las mismas dimensiones, en concreto armado reforzado con acero, con un volumen de tratamiento de unos 4500 m³.

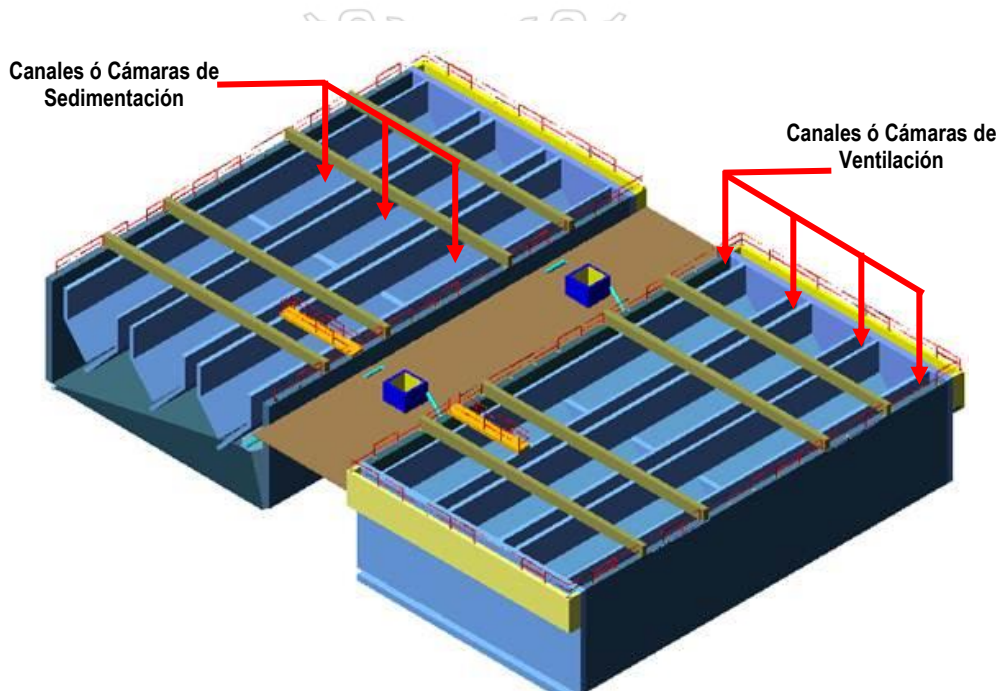


Figura 4.30 Vista isométrica del detalle constructivo y de componentes de los tanques Imhoff 3 y 4.

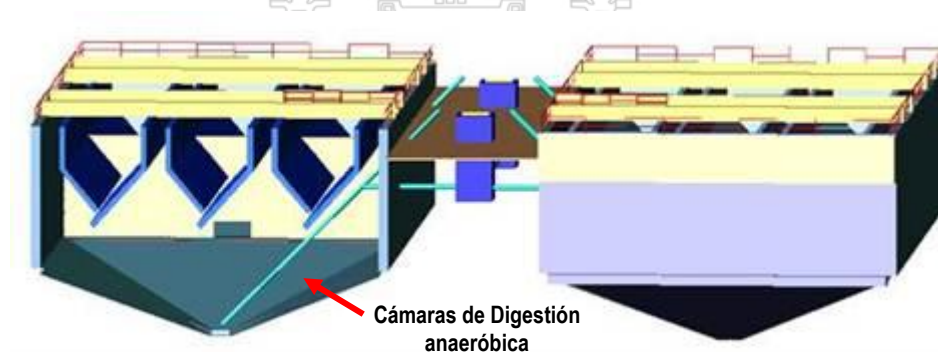


Figura 4.31 Vista frontal y detalle de las tres cámaras de sedimentación con extremo V abiertas a las cámaras de digestión piramidal invertida del fondo y las tuberías de descarga de lodos.

Se pueden percibir en cada tanque Imhoff, las tres cámaras longitudinales de sedimentación con fondo V abiertos hacia el fondo que es la cámara de digestión de sólidos sedimentados, los canales de sedimentación en la superficie son de 4 m de ancho; los espacios de separación entre las cámaras de sedimentación y el espacio de éstas con las paredes laterales del tanque constituyen las cámaras de natas o de ventilación, cuyos canales en la superficie son de 1 m de ancho, desde las cuales emerge por burbujeo el biogás generado en la cámara de digestión anaeróbica. Como información complementaria, en las Fig. 4.32 y 4.33 se presentan el esquema de planos.

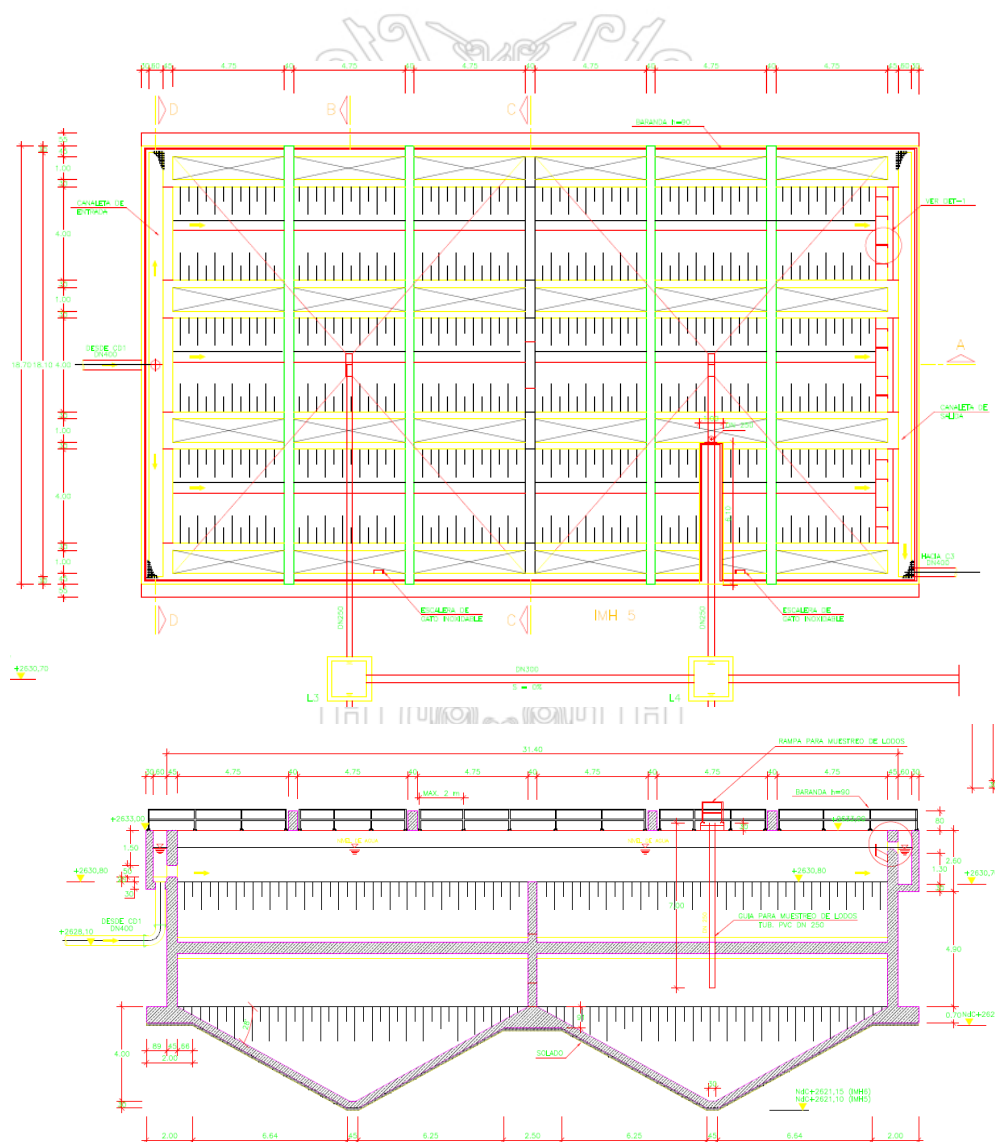


Figura 4.32 Vista superior y vista lateral a escala del tanque Imhoff, que detalla los dos fondos piramidales invertidos para la digestión.

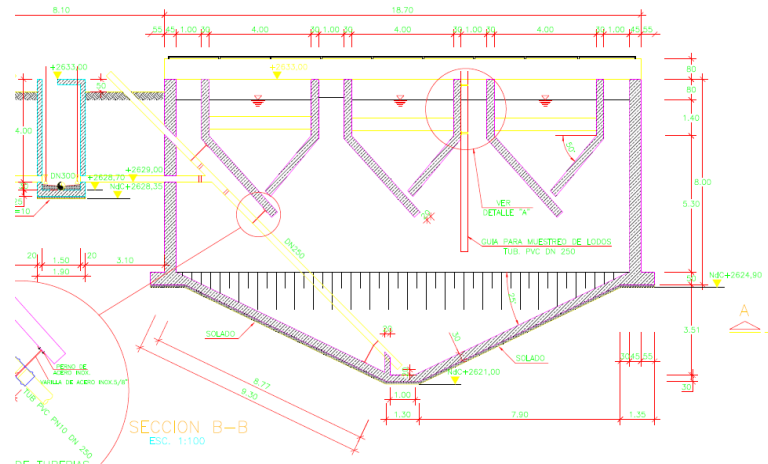


Figura 4.33 Vista frontal a escala del tanque Imhoff, con las tres cámaras de sedimentación ancladas al interior del tanque.

Para comprender la estructura constructiva y detalles físicos internos de los tanques Imhoff, que en superficie se observan solamente de una forma rectangular, se considera importante presentar en las Fig. 4.34 al 4.36 algunas vistas fotográficas de las obras de construcción de los tanques Imhoff realizadas en la segunda etapa del proyecto de ampliación de la PTAR de Totora (más vista en el Anexo 03).



Figura 4.34 Remoción de tierras para la configuración del tanque Imhoff, con refinado de la pirámide inferior (cámara de digestión).



Figura 4.35 Encofrado de las cámaras de sedimentación con fondo tipo V abierta con traslape hacia el fondo.



Figura 4.36 Tanque Imhoff concluida con extremo V abierta de las tres cámaras de sedimentación hacia el fondo piramidal.

En el Informe Final del CES - Consulting Engineers Salzgitter GmbH (2002) se encuentra información relacionada a los parámetros de diseño de los tanques Imhoff 3 al 6, tal que las dimensiones de los tanques Imhoff diseñados responden a los siguientes criterios:

- Caudal medio horario (2010) : 538 L/s
- Caudal hacia el Imhoff existente (IMH1 y 2) : 66 L/s
- Caudal hacia el nuevo Imhoff (IMH3 al 6) : 101 L/s

- Área de sedimentación totalizado:
 - $2 \times 8 \times 29,6 = 474 \text{ m}^2$ (con los 2 Imhoff antiguos)
 - $4 \times 12 \times 30,50 = 1\,464 \text{ m}^2$ (con los 4 Imhoff nuevos)
 - Area total = $1\,938 \text{ m}^2$
- Área de sedimentación requerida : $1.937 \text{ m}^2 (< 1.938 \text{ m}^2)$
- Tasa de aplicación superficial existente : $0,99 \text{ m}^2/\text{m.h}$
- Período de retención mínimo existente :
 - $474 \times 1,0 / 2 \times 238 = 1,0 \text{ h}$ (por Imhoff antiguo)
 - $1.464 \times 1,5 / 4 \times 364 = 1,5 \text{ h}$ (por Imhoff nuevo)
- Período de retención recomendado : $1 - 2,5 \text{ h}$
- Remoción para TR 1h – 1,5 h : 25%
- Carga orgánica remanente : $5.858 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$
- Concentración efluente : 153 mg/L

Con respecto a la **cámara de digestión** o el compartimento inferior de almacenamiento y digestión de sólidos sedimentados, esta tiene una forma de tronco de pirámide invertida, con paredes de inclinación recomendada entre 15° a 30° respecto a la horizontal, en el diseño se han considerado inclinaciones de 25° a 28° . El volumen requerido de almacenamiento es función de la cantidad de lodos sedimentados y el período de tiempo requerido para el proceso de mineralización. Este período es función de la temperatura del proceso. Para el diseño y por ser el caso más desfavorable se ha partido de la temperatura mínima del agua registrada durante las campañas de medición realizadas en época fría y que asciende a 15° C . (CES Consulting Engineers, 2002)

Con los requerimientos técnicos de diseño mencionados se comprueban las dimensiones de los tanques diseñados:

- Aporte de agua cruda en SS no filtrables : 70 g/hab.d
- Carga específica remanente para TR = 1-1,5 h: 35 g/hab.d
- Habitantes servidos al 2010 : $156\,212 \text{ hab}$
- Producción de lodos (2010) : $5\,467 \text{ kg/d}$
- Porcentaje de contenido de sólidos : $4,5 \%$
- Volumen de lodos : $122 \text{ m}^3/\text{d}$

- Período de digestión : 55 d
- Volumen de digestión requerido : 6 683 m³
- Volumen de la pirámide trunca:

$$\text{Vol} = \frac{h}{3} \times (\text{As} + \sqrt{\text{As} \times \text{Ai}} + \text{Ai})$$

Donde: As = Area superior

Ai = Area inferior

Para los **tanques antiguos** (altura de la tolva = 2,60 m, altura disponible sobre la tolva considerando 50 cm de distancia desde el vértice inferior de la pared inclinada traslapada = 1,20 m):

$$\text{As} = 12 \times 14,80 = 178 \text{ m}^2$$

$$\text{Ai} = 3,75 \times 1 = 3,75 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol 1} = 2 \times 2 \times 180 = 720 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol 2} = 2 \times 2 \times 178 \times 1,20 = 854 \text{ m}^3$$

Volumen total disponible en los 2 tanques antiguos: 1 574 m³

Para los **tanques nuevos** (altura de la tolva = 4,00 m, altura disponible sobre la tolva considerando 50 cm de distancia desde el vértice inferior de la pared inclinada traslapada = 1,50 m):

$$\text{As} = 15,05 \times 17,80 = 268 \text{ m}^2$$

$$\text{Ai} = 1,30 \times 0,30 = 0,39 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol 1} = 4 \times 2 \times 372 = 2 976 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol 2} = 4 \times 2 \times 268 \times 1,50 = 3 216 \text{ m}^3$$

Volumen total disponible en los 4 tanques nuevos: 6 192 m³

Volumen total disponible (con los 6 Imhoff) : 7 766 m³
(> 6 683 m³)

En lo referente a los coliformes fecales o termotolerantes (CF), se acepta para tanques Imhoff una remoción del 60%, con lo que, partiendo de una concentración afluente de 1×10^8 NMP/100 mL, se tiene una concentración en efluente de CF de 4×10^7 NMP/100 mL.

adicionalmente de una pasarela ubicada paralelamente a la canaleta de salida, en cuyo extremo existe un tubo PVC DN 250 con 7 m de longitud que sirve de guía para la toma de muestras de lodo.

El ingreso del agua hacia los canales sedimentadores se produce a través de orificios rectangulares ubicados en la cabecera de cada canal. La longitud de tales orificios coincide con el ancho del sedimentador y su altura se ha definido en 50 cm. En lo que respecta a la estructura de salida esta se compone de un vertedero ajustable de arista viva conformado por una lámina de acero inoxidable AISI 304 ubicado a la salida de cada uno de los canales sedimentadores ascendiendo por lo tanto a 12 m la longitud disponible de vertedero. El caudal efluente de cada tanque Imhoff es entregado a una canaleta de salida.

El efluente de los Imhoff antiguos así como de los Imhoff nuevos 3 al 5 son conducidos hacia los filtros percoladores; mientras que, el efluente del Imhoff 6 se alimenta a las lagunas facultativas 1 y 2.

Para la remoción de los lodos digeridos se han previsto por cada tanque 2 tuberías de purga de PVC DN 250 que desembocan en cajas de revisión comunes a cada dos tanques. A partir de aquí y por operación de las compuertas planas deslizantes DN 250 ubicadas en las cajas mencionadas se transportan los lodos a través de una tubería de PVC DN 300 hacia los lechos de secado nuevos, denominados LS 2 y ubicados en la parte sur de la PTAR de Totorá paralelamente al río. (CES Consulting Engineers, 2002)

4.3 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LA PTAR TOTORA

Complementario a la información de las instalaciones y los aspectos operativos descritos para toda la PTAR de Totorá así como el detalle expuesto para los tanques Imhoff, es importante conocer los principales parámetros de operación de la PTAR Totorá y especialmente el de los tanques Imhoff, tal que permitan comprender y evaluar los niveles de generación del biogás y la emisión de metano que se descarga directamente hacia el ambiente.

4.3.1 Análisis del laboratorio

Aproximadamente hasta el año 2013 se tenía un registro permanente e intenso de los análisis físicos, químicos y biológicos de la planta así como de algunas unidades de la cadena del tratamiento de aguas residuales, analizados por el propio laboratorio de la PTAR de Totorá, que registraban desde caudal, temperatura, pH, turbidez, conductividad eléctrica, porcentaje de sal, sólidos totales, sólidos totales disueltos, sólidos totales en suspensión, sólidos sedimentables, aceites y grasas, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno DBO y DBO₅, entre otras propiedades, tal como se aprecia en un reporte cualquiera presentado en la Tabla 4.1. Posteriormente, en el marco de las nuevas políticas de control de calidad de aguas, que exigían análisis acreditados por un laboratorio certificado, se realizan el muestreo de las aguas residuales en la planta a través de laboratorios externos, como son NSF ENVIROLAB SAC y CERTIMIN SA, quienes realizan la evaluación mensual de muestras para determinar tan solamente los parámetros requeridos según el D.S. N° 003-2010-MINAM, tal como se reporta en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1 Datos de control de calidad de aguas realizados por el laboratorio interno de la PTAR de Totorá.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA																
MES : JULIO																
AÑO : 2011																
CIUDAD : AYACUCHO																
CUADRO 9																
	PUNTO DE MUESTREO	HORA	Temp. [°C]	pH	Turb. [NTU]	Conduc. [µS/cm]	SAL. %	STD [mg/l]	ST [mg/l]	STsusp. [mg/l]	Ssed. [ml/L/2hora]	Caudal l/s	Aceites y Grasas mg/L	DQO [mg/l]	DBO5 [mg/l]	C. Termotolerantes NMP/ 100ml
	AGUA DE ENTRADA	9:18	19.17	7.31	238.67	922.33	0.43	449.67	969.33	646.00	9.00	382.33	128.00		420.00	5.00E+10
	SALIDA DESPUES DE REJAS															
	TANQUE IMHOFF 1	9:06	19.60	6.68	103.90	1041.67	0.50	514.67	584.50	398.00	0.40				220.00	3.50E+09
	TANQUE IMHOFF 2	9:28	19.00	6.64	89.20	1040.00	0.50	520.00	582.00	0.00	0.10				225.00	1.10E+09
	TANQUE IMHOFF 3	8:56	19.37	7.11	197.00	1096.67	0.53	545.67	597.00	325.00	0.99				75.00	2.10E+08
	TANQUE IMHOFF 4	9:28	18.05	6.87	183.00	1093.50	0.55	542.00	651.00	402.00	1.15				210.00	5.00E+08
	TANQUE IMHOFF 5	9:32	17.40	7.02	110.00	1088.00	0.50	544.00	576.00	560.00	0.04				215.00	1.10E+09
	TANQUE IMHOFF 6	9:24	17.70	7.61	176.00	1161.00	0.60	576.00	740.00	668.00	0.08					1.40E+09
	CD4 (UNION IMH)	10:32	18.70	6.90	148.00	1105.00	0.55	552.50	648.00	504.00	0.05				207.50	1.60E+09
	BIO FILTRO 1	9:56	18.95	7.70	67.00	882.00	0.40	441.00	542.00	429.00	1.70				185.00	7.00E+06
	BIO FILTRO 2	10:04	18.95	7.73	51.65	913.50	0.45	456.50	538.00	422.00	1.80				170.00	1.70E+07
	BIO FILTRO 3	10:24	19.05	7.78	57.80	915.00	0.45	457.50	567.00	331.50	1.65				0.00	9.00E+06
	BIO FILTRO 4	10:41	19.00	7.88	68.75	944.50	0.50	472.50	544.00	297.50	1.50				155.00	1.40E+07
	UNION FILTROS	10:13	19.40	7.61	59.20	914.75	0.48	455.25	515.50	370.00	1.90				140.00	1.10E+08
	EFLUENTEAT1	10:13	19.43	7.32	48.40	930.33	0.47	462.33	510.67	442.00	2.50				80.00	3.60E+06
	EFLUENTEAT2	10:34	19.30	7.37	43.48	943.50	0.48	469.50	514.50	344.00	1.50				80.00	2.80E+07
	EFLUENTEAT3	10:38	19.53	7.43	47.77	951.33	0.50	475.67	493.33		0.35				80.00	
	EFLUENTEAT4	9:40	18.70	7.46	42.90	929.00	0.50	465.00	488.00		0.50				0.00	
	SALIDA LAGUNA 1 FACULTATIVA	10:20	20.00	7.13	151.00	921.00	0.50	460.00							222.50	
	SALIDA LAGUNA 2 FACULTATIVA	10:12	19.15	7.06	118.50	967.50	0.50	483.50	596.00						195.00	6.00E+06
	SALIDA LAGUNA 1 MADURACION	10:26	19.30	7.61	15.72	932.00	0.50	466.00	452.00		0.05				80.00	1.40E+06
	SALIDA LAGUNA 2 MADURACION	10:39	19.35	7.59	19.11	933.50	0.50	466.50	456.00		0.08				80.00	4.00E+05
	SALIDA LAGUNA 3 MADURACION	10:12	20.05	7.65	43.80	907.50	0.45	453.50	424.00	768.00	0.01				80.00	
	EFLUENTE LC	10:26	20.20	7.58	42.40	909.50	0.45	455.00	438.00	776.00	0.05				70.00	
	SALIDA PL. TOTORA	10:12	20.80	7.67	40.00	934.00	0.50	467.00	442.00	922.00	0.07		35.60		76.00	1.10E+07
	RIO ALAMEDA	10:32	20.60	7.85	6.26	799.00	0.40	400.00	506.00	830.00	0.00				5.00	2.70E+06
	Desp. Unión R. Alameda*	10:29	21.70	7.81	17.98	853.00	0.40	427.00	416.00	780.00	0.10				64.00	3.40E+06
	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (LMP)		<35	6.5 - 8.5						150.00			20.00	200.00	100.00	1.00E+04

Fuente: Laboratorio PTAR Totorá

En la Tabla 4.1 se presenta el caso del registro promedio de los principales parámetros analizados en el propio laboratorio de la planta, que corresponden al mes de julio del año 2011, que comprenden desde la entrada del afluente, en las principales etapas del tratamiento de aguas residuales, a la salida final o efluente de la planta, en las corrientes del río Alameda antes del punto de mezcla y luego de la mezcla con las aguas tratadas de la planta, constituyendo información valiosa para el estudio, evaluación e investigación en el circuito de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá; labor venida a menos en los últimos tiempos.

Tabla 4.2 Datos de control de calidad para efluentes de la PTAR de Totorá, evaluados según el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Reporte de Resultados de Monitoreo de Efluentes de PTAR TOTORA					
I. Resultados del Monitoreo					
Fecha del monitoreo:	28 de agosto de 2014				
Nombre de la PTAR:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "TOTORA"				
Parámetro	Tipo de muestra	Resultado de análisis		LMP	Eficiencia PTAR
		Afluente	Efluente		
pH, unidad	-	7.22	7.88	6,5 - 8,5	-
Temperatura, °C	-	19	20	<35	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L (1)	simple	463	55	100	88%
Demanda Química de Oxígeno, mg/L (1)	simple	879.1	143.02	200	84%
Sólidos Totales en Suspensión, mg/L	simple	343	22	150	94%
Aceites y Grasas, mg/L	simple	32.21	5.26	20	84%
Coliformes Termotolerantes	simple	7.90E+05	3.30E+04	10,000	99.582%
Caudal del afluente, L/s (2)		329.8		Método de	MEDIDOR ULTRASONICO
Caudal del efluente, L/s (2)				Método de	
Nombre del laboratorio acreditado	Se realizó los análisis en el LABORATORIO ACREDITADO "ENVIROLAB PERU S.A.C"				
Responsable de la PTAR	Fecha				Firma
	15 de diciembre DEL 2014				

Fuente: Laboratorio PTAR Totorá

En la Tabla 4.2 se presenta un caso típico de reporte de parámetros de control de calidad del efluente de la planta, realizado con fecha 28 de agosto de 2014

en un laboratorio acreditado externo, de acuerdo a las exigencias del D.S. N° 003-2010-MINAM (publicación completa en el Anexo 04). Luego de una

búsqueda y consolidación de reportes de evaluación de parámetros, se obtuvo para el año 2014 el valor promedio de éstos que se presentan en la Tabla 4.3, con resultados favorables que indican que se ha cumplido con los LMPs exigidos en la norma para el efluente final de las aguas tratadas en la PTAR de Totorá.

Tabla 4.3 Valor promedio de parámetros de control de calidad del efluente de la PTAR de Totorá del año 2014.

PARÁMETROS	UNID.	VALOR PROMEDIO	
		Afluente	Efluente
pH	Unid	7,3	7,9
Temperatura	°C	19,9	20,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	409,2	39,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	849,2	141,2
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	319,0	59,7
Aceites y Grasas	mg/L	64,9	12,4
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	4,74 E+10	7201

Fuente: Laboratorio PTAR Totorá

De los resultados expuestos en la Tabla 4.3, cabe poner énfasis en la variación del contenido de DBO en la planta, que presenta una reducción desde 409,2 mg/L en la entrada hasta 39,0 mg/L en la descarga final, que implica una reducción del 90,5 % de la materia orgánica biodegradable en las diversas etapas de proceso al interior de la planta de tratamiento de las aguas residuales; de las cuales, la operación de los seis tanques Imhoff trabajando en biodegradación paralela aportan más del 50 % de la remoción total de DBO registrada en la planta.

4.3.2 **pH y Temperatura**

Es importante el monitoreo del pH y de la temperatura de las aguas residuales afluentes y efluentes a la PTAR de Totorá, ya que son parámetros que definen la actividad y velocidad de biodegradación microbiana en los biodigestores.

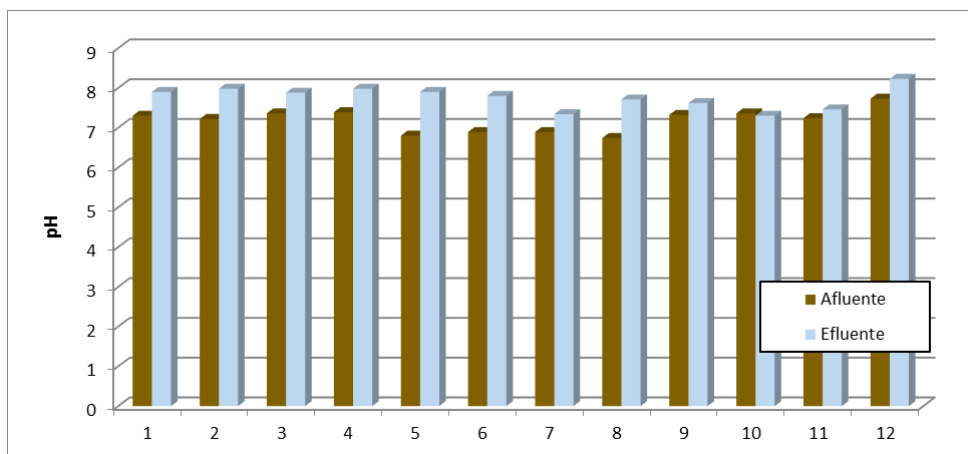


Figura 4.37 Variación del pH promedio mensual de las aguas residuales en la PTAR de Totorá para el año 2015 (SEDA, 2016).

En la Fig. 4.37 se observa que el pH promedio del afluente para el año 2015 es de $7,2 \pm 0,29$ y del efluente de $7,8 \pm 0,28$, con un valor muy levemente alcalinizado, considerado como un parámetro bastante regular, que también se mantiene casi invariable en el circuito interno de la planta; además no se conoce la regulación o modificación del pH de las aguas residuales en ninguna de las etapas del tratamiento; los resultados de pH son bastantes similares al reportado para el año 2014, quedando dentro del rango LMP exigido, que van de 6,5 a 8,5.

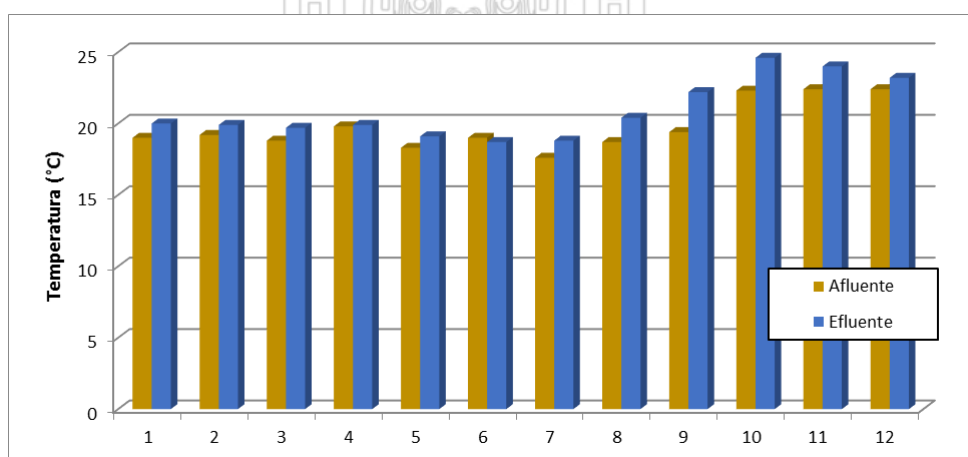


Figura 4.38 Variación de la temperatura promedio mensual de las aguas residuales de la PTAR de Totorá para el año 2015 (SEDA, 2016).

En la Fig. 4.38 se observa para el año 2015 que la temperatura promedio del afluente es de $19,7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y del efluente de $20,9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, también bastante similares al del año anterior; la temperatura de las aguas servidas presenta cierta uniformidad a lo largo de todo el circuito de tratamiento en la planta, a pesar de que la temperatura del aire ambiental puede variar algo más significativamente en el tiempo; esta conducta térmica de las aguas se ha podido verificar en campo, probablemente debido a una autorregulación térmica y al carácter hidrodinámico convectivo de las corrientes de agua a través de los canales, de los tanques biodigestores e inclusive de las propias lagunas; se percibe un pequeño incremento de temperatura en el efluente final, que debe ser el efecto de la acción solar sobre los espejos de agua, que a su vez se contraponen con los niveles de evaporación superficial.

4.3.3 Caudal del afluente a la PTAR

La medición del caudal se realiza en la estación de medición KAFAGUI, registrado por un medidor digital de ultrasonido, que reporta el caudal en L/s de aguas filtradas que ingresan a la PTAR de Totorá, o en otros puntos del circuito de acuerdo a la instalación de los sensores.

Evaluación anual

De acuerdo a los datos obtenidos en la PTAR de Totorá, el caudal promedio anual, expresado en litros por segundo (L/s), de las aguas residuales tratadas en la planta han ido incrementando progresivamente en los últimos diez años, tal como se observa en la Fig. 4.39, para registros anuales evaluados en el periodo del 2004 al 2015.

Para el año 2015 se tiene un promedio anual de 353,5 L/s de afluente de aguas residuales que ingresan a la planta, que equivale a un 9,2 % de tasa de incremento con respecto al año 2014, seis veces mayor que la tasa de crecimiento poblacional de la región, situación que nos indica la rápida tendencia a alcanzar y sobrepasar la máxima capacidad de diseño de la PTAR de Totorá. En el circuito de tratamiento de las aguas residuales al interior de la planta se pierde cerca del 8 % del material líquido procesado, reportándose un caudal promedio de 325,2 L/s de efluente para el año 2015, las pérdidas de líquido se atribuyen al drenaje de agua de lodos en las canchas de secado y

mayoritariamente a la evaporación superficial del agua en la gran extensión de espejos de agua de todas las lagunas y demás unidades.

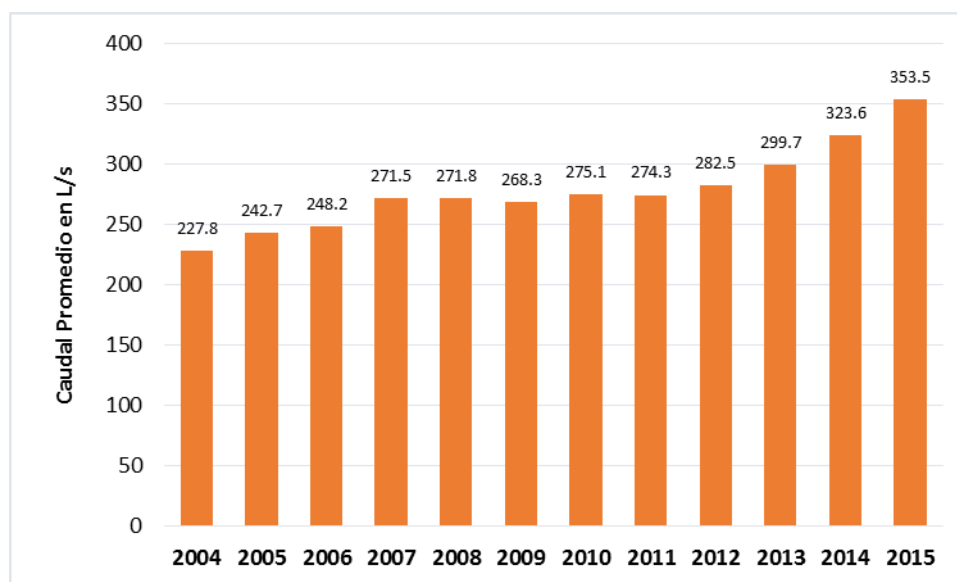


Figura 4.39 Variación del caudal promedio anual del afluente a la PTAR de Totorá (SEDA, 2016).

El incremento anual del afluente responde a la tasa de incremento de la población y en mayor grado al incremento de la capacidad de captación de aguas residuales en la red de alcantarillas; el mayor incremento de caudal se percibe a partir del año 2012, debido a la interconexión y adición de las aguas servidas colectadas de gran parte de las poblaciones adyacentes a La Totorá, Yanamilla y San José, efectuadas a través del colector número ocho; también se tiene el impacto por la mejora constructiva en la red de alcantarilla en la zona urbana paralelo a las obras de drenaje pluvial, que han incrementado y mejorado las conexiones de desagüe a los colectores principales y a su vez han disminuido las infiltraciones por el cambio de las redes de desagüe antiguas.

Evaluación mensual

Las estaciones del año y el periodo de lluvias también afectan el caudal total de las aguas residuales a lo largo del año calendario; en la Fig. 4.40 se evalúa la variación mensual del caudal promedio de aguas residuales para el año 2015

(ampliadas en la escala de las ordenadas desde los 300 L/s, a fin de enfatizar las fluctuaciones mensuales).

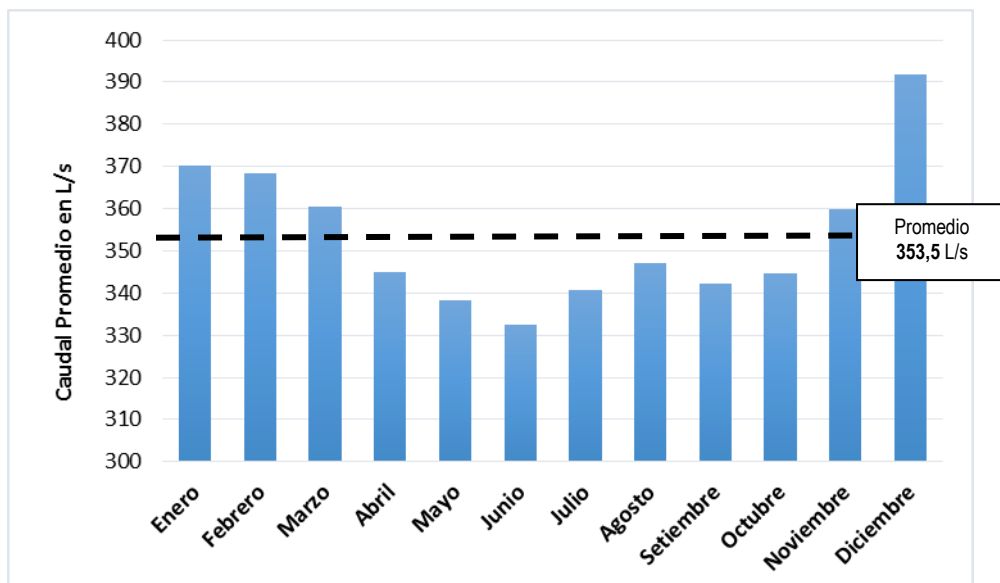


Figura 4.40 Variación del caudal promedio mensual del afluente a la PTAR de Totorá para el año 2015 (SEDA, 2016).

Para el periodo de lluvias que inicia en noviembre y se extiende hasta marzo, se observa claramente en la Fig. 4.40 el incremento gradual del caudal del afluente, debido a la intensidad de las lluvias en la región, que se infiltran en las redes de alcantarilla de la ciudad, percibiéndose inclusive en muchas oportunidades el colapso de la red por sobrecarga de flujo en la zona urbana, con apertura de las tapas de buzones y rebose de aguas residuales por las calles durante las lluvias torrenciales, situación que ya vienen disminuyendo con la nueva red de drenaje pluvial. Para el año 2015, el caudal mensual promedio más bajo se ha reportado para el mes de junio con 333 L/s, y el más alto para el mes de diciembre con 392 L/s, obteniéndose un promedio anual de 353,5 L/s de aguas residuales servidas que ingresan a la PTAR de Totorá.

Evaluación diaria

El caudal promedio también varía día a día, de acuerdo a las actividades de la población en el transcurso de la semana; en la Fig. 4.41 se presenta la variación del caudal promedio diario del afluente reportado para los 31 días del mes de diciembre del año 2015, con la finalidad de analizar las fluctuaciones de

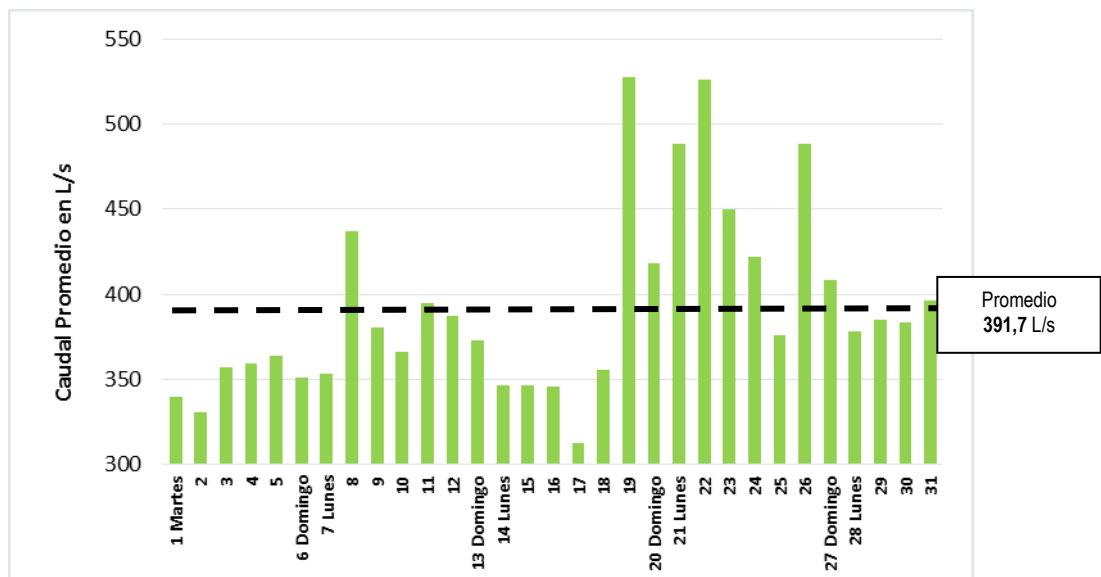


Figura 4.41 Variación del caudal promedio diario del afluente a la PTAR de Totorá, diciembre 2015 (SEDA, 2016).

El nivel de fluctuación en el caudal promedio diario es mucho mayor y más irregular que del caudal mensual y anual; reportándose un mínimo de 312 L/s para el día jueves 17 y un máximo de 527 L/s para el día sábado 19 de diciembre de 2015. Al parecer existe un incremento reiterativo del caudal de afluente hacia los fines de semana probablemente debido a las actividades domésticas típicas de fin de semana, combinadas con los días festivos y el periodo de días de lluvias ocurridas en el mes de diciembre. El caudal máximo de 527 L/s de aguas residuales registradas por el medidor de ultrasonido, es el caudal de aguas filtradas que habrían ingresado al proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá, que no considera la desviación del exceso de aguas residuales desviados en la cámara de derivación, por el probable hecho que se habría recibido a través del colector de entrada una sobrecarga de aguas residuales, que obligatoriamente son “bypaseados” o derivados al río Alameda para no provocar una sobrecarga de entrada a la planta que podría dañar y perturbar las operaciones.

Evaluación horaria

En el caudal promedio horario de un día cualquiera del mes de diciembre de 2015 se observa también una fluctuación progresiva del caudal, vinculadas a las actividades cotidianas tanto domésticas y comerciales de la ciudad que se

dan en el transcurso del día, variando considerablemente entre la noche, la mañana y la tarde del día, tal como se observa en la Fig. 4.42 para un día miércoles 30 de diciembre de 2015, conducta que se repite de forma similar para otros días.

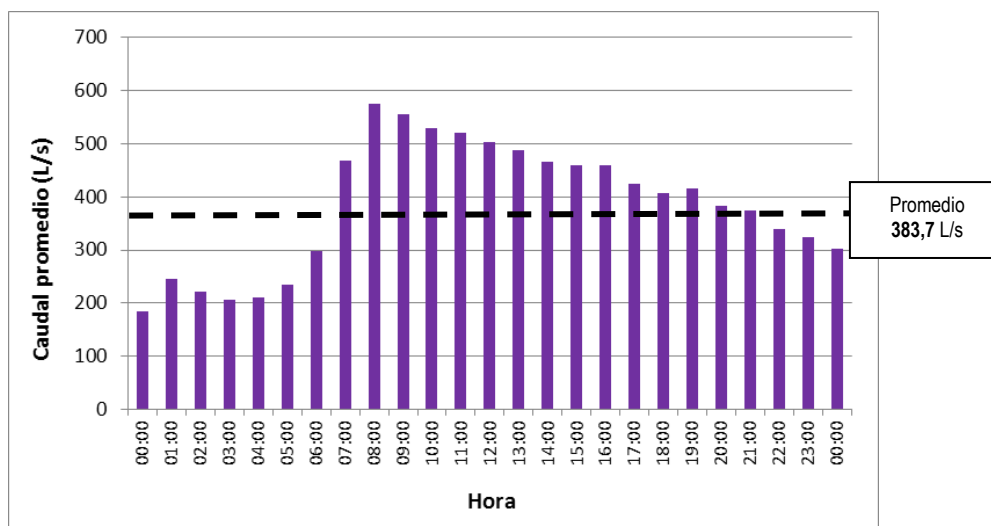


Figura 4.42 Variación del caudal promedio horario del afluente a la PTAR de Totorá, de un día de diciembre 2015, (SEDA, 2016).

Por la naturaleza de las actividades de la población, entre la media noche hasta las cinco de la mañana se registra el menor caudal de aguas residuales hacia la planta, incrementándose rápidamente a partir de las seis hasta las nueve de la mañana, conducta asociada a las actividades matutinas de la población e inicio de todas las actividades domésticas, laborales, escolares, comerciales entre otras, disminuyendo gradualmente en el transcurso del día. El menor valor de caudal de 184 L/s se registra a las cero horas (media noche) y el mayor caudal de 575 L/s a las ocho de la mañana.

La evaluación del caudal promedio de aguas residuales que ingresan al circuito de tratamiento de la PTAR de Totorá, conjuntamente con la información de los análisis de DQO y DBO, nos permiten conocer la cantidad de material orgánico que debe biodegradarse en las distintas etapas de proceso; además, para el año 2015 la capacidad de recuperación promedio de las aguas residuales en la planta fue del 92,0 % que son vertidos al cauce del río Alameda; la diferencia se pierden mayormente por evaporación y en lodos, la evaporación superficial

tiene un clima templado y seco, con un valor medio ambiental de unos 17,5 °C de temperatura y 55 % de humedad relativa.

En vista de la considerable fluctuación del caudal de aguas servidas que ingresan al proceso de tratamiento, la cual no debería ocurrir en una planta con operación a régimen estacionario, dado que las fluctuaciones afectan el rendimiento operativo de los biodigestores; por lo tanto, debería preverse la futura instalación de una unidad de recepción de aguas residuales para el amortiguamiento de carga y proveer el suministro uniforme y controlado hacia la planta, garantizando la operación adecuada del sistema, especialmente de las unidades de biodegradación, como son los tanques Imhoff y los filtros percoladores.

4.3.4 Degradación de carga orgánica en la PTAR

Las aguas residuales afluentes a la PTAR de Totorá, por presentar fuertes fluctuaciones en su caudal, repercuten considerablemente en la eficiencia de biodegradación de la materia orgánica en las instalaciones de la planta; ya que las perturbaciones endógenas y exógenas del proceso hacen que ésta se desvíe del régimen estacionario que caracteriza a los procesos perfectamente continuos.

Con la información de las evaluaciones mensuales del análisis de DBO₅ para el año 2015, tanto en el afluente como en el efluente, se observan en la Fig. 4.43 la presencia de fluctuaciones considerables. A diferencia de los registros permanentes y significativos del caudal de afluente en la planta para las evaluaciones promedio, los registros de DBO no tienen una frecuencia de análisis significativo al mes, puesto que casi siempre es un único análisis realizado mensualmente, sujeto a muchos factores que podrían afectar a la muestra tomada, como podrían ser la hora de muestreo, el día de la semana, los días de lluvia y sobrecarga de aguas residuales entre otros, siendo un claro indicador de esta debilidad de análisis el último registro de DBO en el afluente con un valor sumamente bajo de 99 mg/L, que podría ser puntualmente atribuible a la dilución ocurrida debido a la sobrecarga de agua de lluvias del momento, que estadísticamente no representa el estado promedio de la carga de DBO del afluente en todo el último mes de dicho año.

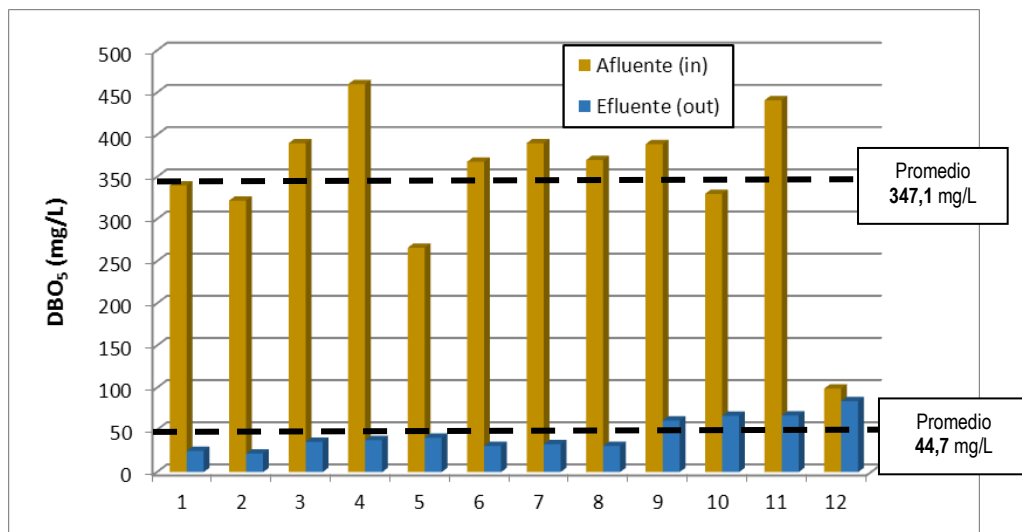


Figura 4.43 Variación del DBO₅ de aguas residuales en el afluente y efluente de la PTAR de Totorá, 2015 (SEDA, 2016).

Para el año 2015, las aguas residuales afluentes que ingresan al proceso de tratamiento contienen una carga orgánica promedio de 347,1 mg/L \pm 93,9 mg/L de DBO₅, reduciéndose en las diversas etapas del tratamiento de la planta hasta un valor promedio de 44,7 mg/L \pm 19,9 mg/L en el efluente, condiciones en las cuales se descarga en el río Alameda, que representa una remoción promedio total del 87,1 % en el proceso de tratamiento de la planta. En la evaluación de DBO para otros años anteriores se observa un comportamiento similar, con fluctuaciones mensuales y la debilidad del laboratorio en la frecuencia de análisis mensual.

Los valores de DBO y otros parámetros registrados en el afluente de la planta prácticamente son la carga orgánica y el estado de la calidad de aguas residuales con la cual ingresan las aguas a los seis tanques Imhoff para su sedimentación y degradación anaeróbica en la cámara de digestión.

4.4 PARÁMETROS DE LOS TANQUES IMHOFF

Los seis tanques Imhoff operan en forma simultánea y paralela, procesando todo el afluente que llega a la planta, alimentadas desde la cámara de distribución luego que las aguas residuales hayan sido desarenadas; para los propósitos del trabajo se han realizado mediciones, observaciones y evaluación histórica de datos vinculados con los tanques Imhoff.

4.4.1 Dimensiones y parámetros generales

De acuerdo a la información recogida en la entidad y las observaciones y mediciones realizadas en los tanques Imhoff instalados en la planta, se presenta en la Tabla 4.4 un resumen de los parámetros de diseño y construcción de los tanques Imhoff, las dimensiones básicas relacionadas a las cámaras de la biodigestión, los parámetros de operación previstas en función al caudal de diseño máximo y la cobertura prevista en el proyecto. Mientras que, en la Tabla 4.5 se resume los parámetros operativos promedios en el tratamiento de las aguas residuales que realizan dichos tanques.

Tabla 4.4 Parámetros de diseño y construcción de los tanques Imhoff y de operación según el proyecto.

Características	Imhoff antiguos	Imhoff nuevos
Número de tanques instalados	02	04
Codificación de los tanques	IMH01, IMH02	IMH03, IMH04 IMH05, IMH06
Caudal de operación máxima ($Q_{m\acute{a}x}$)	66 L/s	101 L/s
Dimensiones generales (c/tanque)	13 x 31 m profundidad \approx 9 m	18,7 x 33,2 m profundidad = 11,50 m
Número de cámaras de sedimentación	02	03
Número de cámaras de ventilación	03	08
Número de pirámides invertidas (en la cámara de digestión al fondo)	02	02
Dimensiones del canal de alimentación o entrada	0,4 m x 10 m	0,6 m x 18,2 m
Dimensiones del canal de descarga o salida	0,4 m x 10 m	0,6 m x 18,2 m
Dimensiones de cada cámara de sedimentación	4 m x 29,6 m	4 m x 30,5 m
Altura efectiva de sedimentación	1 m	1,5 m
Área superficial (espejo de agua) de las cámaras de sedimentación del tanque (A_{sed})	236,8 m ²	366 m ²
Volumen efectivo del sedimentador (V_{sed})	236,8 m ³	549,0 m ³
Tiempo de retención ($TR = V_{sed}/Q_{m\acute{a}x}$)	1,0 h	1,5 h
Dimensiones de cada cámara de ventilación o canaleta de natas	(2) 0,7m x 26,8m (1) 1,4m x 26,8m	1 m x 15,05 m
Área superficial (espejo de agua) de las cámaras de ventilación (emisión de biogás)	75,04 m²	120,4 m²
Porcentaje de superficie libre de ventilación	24,1 %	24,8 %

Dimensiones de cada tolva o cámara de digestión anaeróbica (Pirámide truncada invertida: As= área superior, Ai= área inferior, h _t = altura tolva, h _{st} = altura sobre la tolva)	As=12m x 14,8m Ai =3,75m x 1m h _t = 2,6 m h _{st} = 1,2 m	As=15,05m x 17,8m Ai =1,30m x 0,30m h _t = 4,0 m h _{st} = 1,5 m
Volumen total de digestión ($V_{dig} = V_{st} + V_t$)	785,3 m ³	1546,3 m ³
Remoción prevista de carga orgánica (para un TR de 1 h a 1,5 h)	25 %	25 %
Remoción prevista de Coliformes Termotolerantes	60 %	60 %

Fuente: Consolidado de datos SEDA Ayacucho.

Tabla 4.5 Parámetros operativos promedios registrados en el tratamiento de aguas residuales en los tanques Imhoff.

Características	Imhoff antiguos	Imhoff nuevos
Número de tanques instalados	02	04
Caudal de operación máxima	66 L/s	101 L/s
Caudal de operación promedio actual	50 L/s	65 L/s
Temperatura promedio anual del afluente	19,6 °C	19,6 °C
Temperatura promedio anual del efluente	19,4 °C	18,7 °C
pH promedio anual del afluente	7,25	7,25
pH promedio anual del efluente	6,95	7,35

Fuente: Consolidado de datos SEDA Ayacucho.

Las variaciones de la temperatura y pH de las aguas residuales a lo largo del circuito de tratamiento son bajos, igual sucede en los tanques Imhoff, a pesar de las variaciones ambientales externas, debido a la hidrodinámica y desplazamiento permanente de las aguas servidas a través de los tanques, que favorecen a la uniformidad de temperatura y pH.

Cabe mencionar que, durante los trabajos de campo realizados en la PTAR de Totorá, por estar cerca al Valle de Muyurina, presenta un clima más cálido que la ciudad de Ayacucho, reportándose temperaturas ambientales entre unos 20 °C hasta más de 30 °C en el día, con intenso sol radiante durante el día, salvo

ocasiones de vientos y lluvias, de acuerdo a la temporada; por otra parte, los

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

registros de humedad relativa ambiental varían entre unos 25 % hasta más del 50 %, que se incrementa con las lluvias, los registros más altos se dan cercanos a los espejos de agua de los tanques y lagunas, pero en términos generales la humedad ambiental se considera semiseco en gran parte del año, situación que intensifica la evaporación superficial del agua desde las grandes extensiones de espejos de agua, especialmente en las lagunas.

4.4.2 Biodegradación de la materia orgánica

Con respecto a la biodegradación de la materia orgánica alcanzada en la operación de los tanques Imhoff, el laboratorio de control de calidad de la planta presenta mediciones mensuales de forma regular hasta el año 2015, considerando que la medición de DBO₅ en el afluente de la Planta representa las condiciones de entrada a los tanques Imhoff, conociendo el registro de DBO₅ realizado a la salida de cada uno de los tanques, se puede evaluar en la diferencia el nivel de degradación de materia orgánica por dichas unidades; las aguas efluentes de los tanques Imhoff se alimentan a los filtros percoladores donde continua la biodegradación de la carga orgánica residual.

En el laboratorio de la planta no se tienen mediciones regulares de DQO, éste parámetro se ha evaluado con énfasis a partir del año 2013, en respuesta a los parámetros exigidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM; con cuyos resultados se ha evaluado la biodegradabilidad de las aguas residuales que ingresan a los tanques Imhoff, tal como se presenta en la Tabla 4.6, consolidados para el periodo de enero 2014 a julio 2016.

Tabla 4.6 Biodegradabilidad de las aguas residuales alimentadas a los tanques Imhoff.

Parámetros	Estimación para el Proyecto	Promedios (2014 – 2016*)
DQO (mg/L), afluente	408	624 ± 239
DBO ₅ (mg/L), afluente	204	328 ± 102
DBO ₅ /DQO afluente	0,50	0,54 ± 0,18

(*) Hasta julio 2016

Fuente: Consolidado de datos SEDA Ayacucho.

De acuerdo a los resultados de la relación DBO_5/DQO obtenidos, se puede decir que la biodegradabilidad del proyecto es cercano a los resultados de la operación promedio actual de la planta, con un valor medio cercano al rango de 0,55 a 0,70 recomendado para tratamientos biológicos, teniendo en cuenta que cuando la relación $DBO_5/DQO > 0,4$ permite calificar a las aguas residuales como muy biodegradables.

Cabe mencionar que, entre los años de 2009 al 2011 se han reportado datos de evaluación del DBO_5 entre el afluente a la planta y la salida de rejillas (luego de los filtros mecánicos), encontrándose una diferencia media de 42,9 mg/L en el DBO, lo cual significaría que los biodigestores Imhoff estarían recibiendo aguas residuales con una carga orgánica algo menor que el afluente, equivalente a $\{ DBO_5 \text{ afluente} - 42,9 \text{ mg/L} \}$; éste fenómeno de alguna manera es válido debido a la separación preliminar y sedimentación parcial de la materia orgánica que ingresa a la planta, que sucede en las primeras etapas de procesamiento, antes de ingresar a cada tanque Imhoff.

La determinación del porcentaje de remoción de materia orgánica en una operación unitaria, una unidad o en toda la planta, que permite evaluar el nivel de biodegradación, se realiza con la expresión siguiente:

$$\% \text{ remoción} = \left(\frac{C_{\text{Afluente}} - C_{\text{Efluente}}}{C_{\text{Afluente}}} \right) \times 100$$

donde:

C_{Afluente} Carga orgánica en la entrada
 C_{Efluente} Carga orgánica en la salida

Con los valores de DBO reportados desde el año 2005 al 2015, en el afluente y efluente de la planta, así como a la salida de los tanques Imhoff, se ha considerado evaluar éste parámetro tal como se aprecia en la Fig. 4.44, considerando la salida del tanque Imhoff 3; observándose la variación promedio anual del DBO_5 con mayor fluctuación en el afluente a la planta y su repercusión directa en la salida del tanque Imhoff 3, situación similar que se ha encontrado en el análisis de los demás tanques Imhoff (no presentadas en la

Fig. 4.44), la fluctuación en el efluente de la planta es mucho menor en los últimos tiempos.

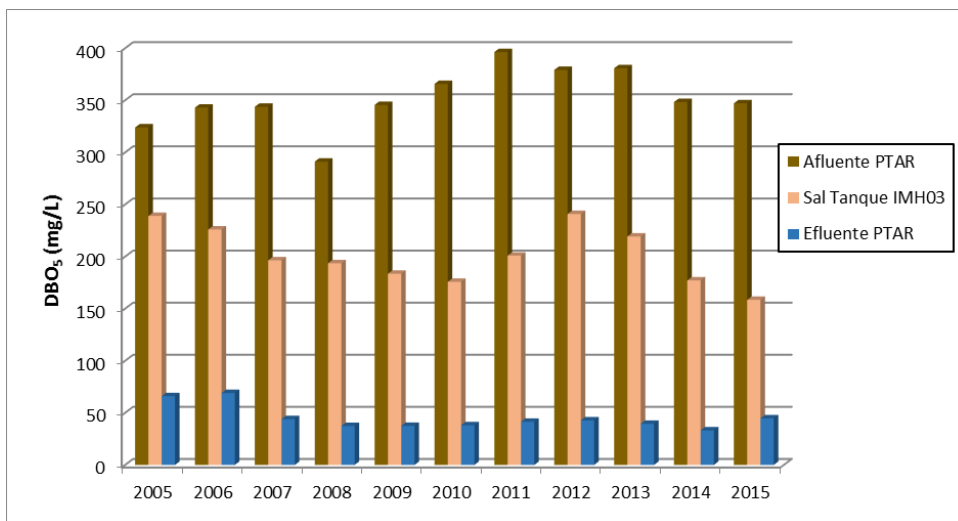


Figura 4.44 Variación del DBO₅ de las aguas residuales afluente y efluente a la PTAR, y a la salida del tanque Imhoff 03 (SEDA, 2016).

Con el propósito de evaluar la efectividad operativa de los tanques Imhoff, se considera práctico el diagnóstico de la biodegradación de materia orgánica que ocurre en cada tanque a través de la determinación del porcentaje de remoción de materia orgánica en función a la variación del DBO₅; evaluación aplicada al caso de la operación del tanque Imhoff 3, en el mismo periodo de evaluación del año 2005 al 2015, cuyos resultados se presentan en la Fig. 4.45.

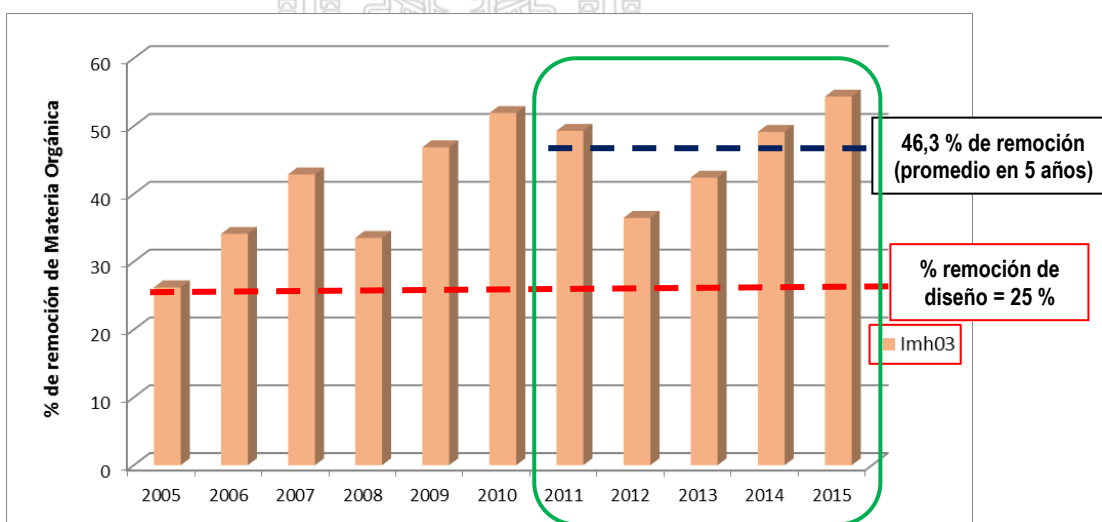


Figura 4.45 Variación del % de remoción promedio anual de DBO₅ desarrollado por el tanque Imhoff 03 de la PTAR de Totorá (SEDA, 2016).

Los resultados del porcentaje de remoción anual de materia orgánica en un tanque Imhoff deberían ser más estable o con baja fluctuación, sin embargo se observa un incremento gradual en la primera parte del horizonte, situación que nos indica la relativa inestabilidad operativa de la unidad desde el punto de vista de la acción microbiana en los mecanismos de la biodigestión de la materia orgánica, a parte de las fluctuaciones propias del afluente y la carga orgánica de entrada, sumadas con la falta de control térmico de la unidad, monitoreo de la actividad microbiana en la cámara de digestión y descarga periódica apropiada de los lodos; situaciones que afectan la eficiencia en la biodegradación de la carga orgánica del tanque Imhoff provocando las fluctuaciones observadas.

Considerado pertinente evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica en los últimos cinco años del horizonte, tal como se delimita en la Fig. 4.45, se tiene un porcentaje de remoción promedio de $46,3 \% \pm 7,0 \%$ para el tanque Imhoff 3; un valor bastante mayor que el propuesto por el diseño que es alcanzar un 25% de remoción.

Con el propósito de comprender la biodegradación alcanzada por los demás tanques Imhoff y realizar un análisis comparativo, en la Fig. 4.46 se presenta el porcentaje de remoción de materia orgánica de cada tanque Imhoff en el periodo de 2011 al 2015; en términos generales, las magnitudes de remoción y las fluctuaciones de cada tanque son relativamente similares entre sí, siendo el funcionamiento del tanque **Imhoff 4** mucho más regular con una desviación baja de $\pm 3,0 \%$ en la remoción promedio anual, por el contrario el **Imhoff 2** (tanque antiguo) presenta mayor dispersión del $\pm 10,0 \%$ (debido a los valores del año 2012).

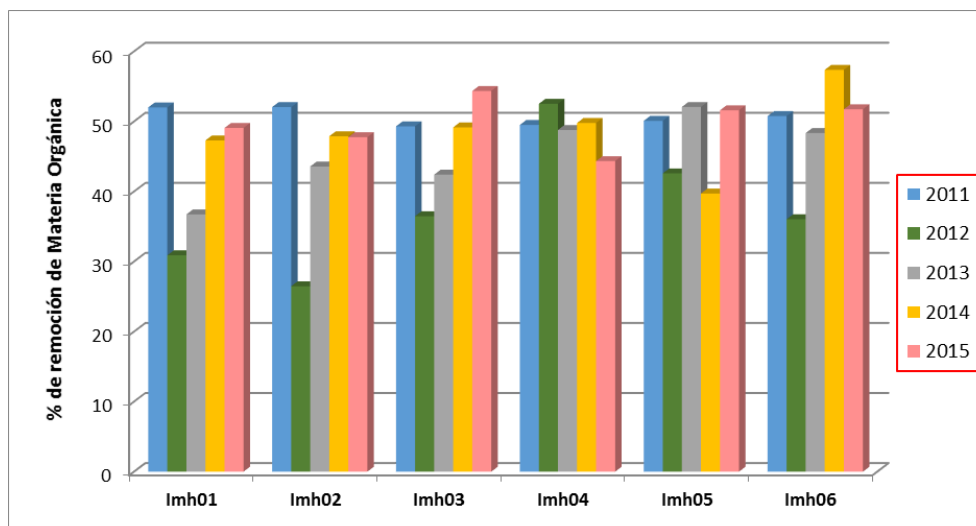


Figura 4.46 Variación del % de remoción promedio anual de DBO_5 desarrollado por cada tanque Imhoff de la PTAR Totorá (SEDA, 2016).

A fin de comprender el estado de degradación promedio de cada uno de los tanques Imhoff dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, en función a los valores anuales del periodo 2011 al 2015, en la Fig. 4.47 se presenta el porcentaje de remoción promedio de cinco años para cada uno de los tanques Imhoff, con la misma estrategia de análisis realizada para el tanque Imhoff 3 en la Fig. 4.45 donde se obtenía un 46,3 % de remoción promedio en los últimos cinco años de evaluación.

De acuerdo a la Fig. 4.45 el mayor porcentaje de remoción de DBO_5 promedio se observa en el Imhoff 4 con un valor del 49,0 %, y el menor porcentaje en el Imhoff 1 con un valor del 43,2 %; sin embargo, todos los tanques Imhoff presentan un porcentaje de remoción casi equivalente en los últimos cinco años, con un valor medio global del 46,4 % de remoción de materia orgánica.

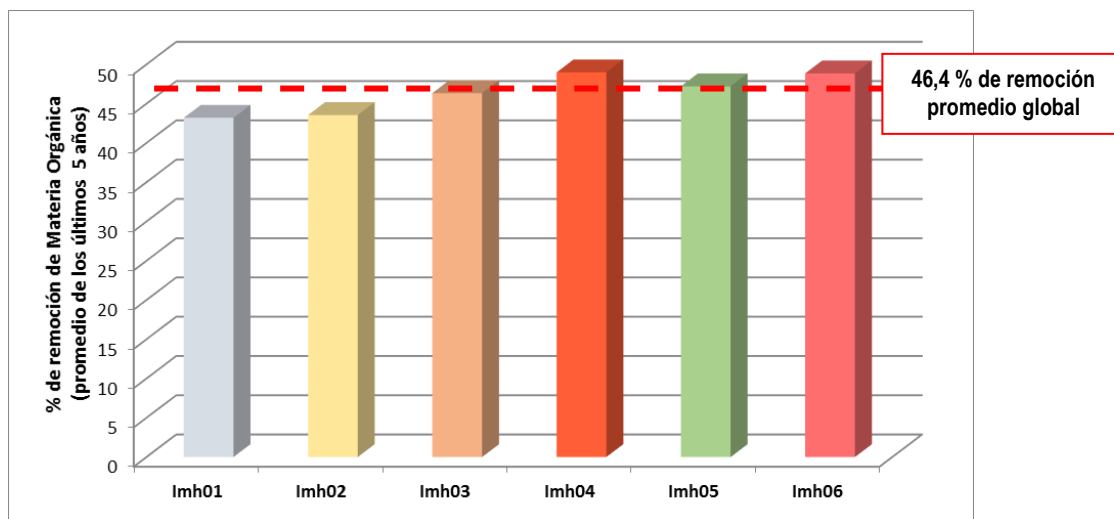


Figura 4.47 Porcentaje de remoción promedio en cinco años de evaluación para cada tanque Imhoff de la PTAR de Totorá (SEDA, 2016).

En concordancia al análisis global en los últimos cinco años de los tanques Imhoff, también es importante evaluar el valor medio global del DBO₅ afluente y efluente de la PTAR de Totorá en el periodo de los cinco años indicados, éstos resultados se presentan en la Fig. 4.48, con valores que no tienen mayores discrepancias entre sí.

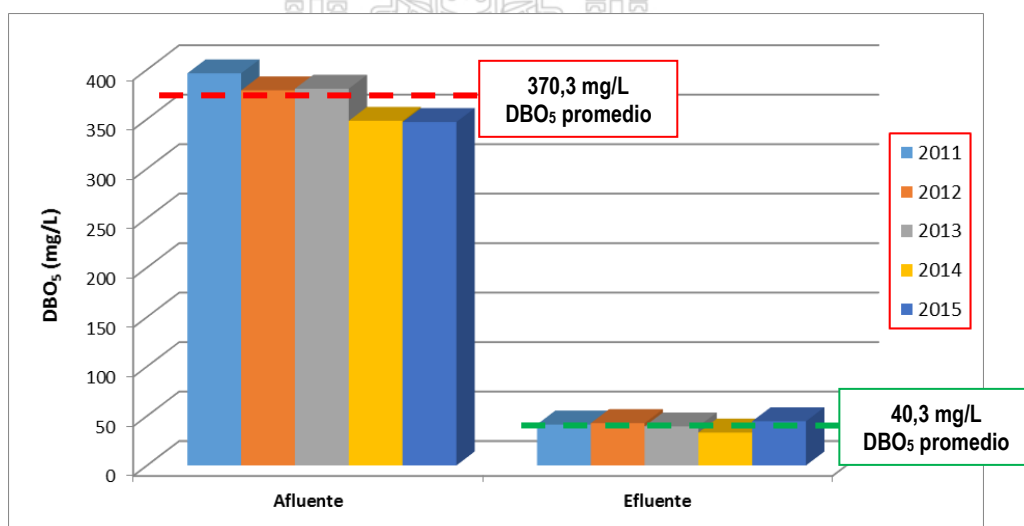


Figura 4.48 Variación del promedio anual del DBO₅ afluente y efluente de la PTAR Totorá, en el periodo de 2011 al 2015 (SEDA, 2016).

El DBO_5 afluente a la planta presenta en los últimos cinco años un promedio global de 370,3 mg/L, concordante con el análisis general presentado para los valores de la Fig. 4.43 y los resultados de la Tabla 4.6; el valor de 370,3 mg/L para la carga orgánica del afluente real es mucho mayor que el valor de 204 a 208 mg/L propuesto en el proyecto original de diseño y construcción de la segunda etapa de la PTAR de Totorá, situación que pone de manifiesto la mayor carga orgánica presente en las aguas residuales que exigen más a las operaciones de degradación de la planta.

Los resultados del DBO_5 promedio global del efluente es de 40,3 mg/L para los últimos cinco años, que indica un buen cumplimiento con el LMP exigido en el DS N° 003-2010-MINAM que es menor a los 100 mg/L para el efluente de las PTARs, pero es un valor mucho mayor que el DBO de salida previsto en el proyecto de instalación de la planta propuesta en un DBO final de 18 mg/L.

Con los resultados expuestos en las Fig. 4.47 y 4.48 se puede afirmar para la PTAR Totorá que, en los últimos cinco años el DBO_5 promedio global del afluente es de 370,3 mg/L y para el efluente de 40,3 mg/L, lo cual significa una remoción promedio global del 89,1 % de materia orgánica biodegradable en todo el circuito de tratamiento de la planta, resultados que permiten sistematizar también la degradación de materia orgánica ocurrida en los tanques Imhoff tal como se consolida en la Fig. 4.49.

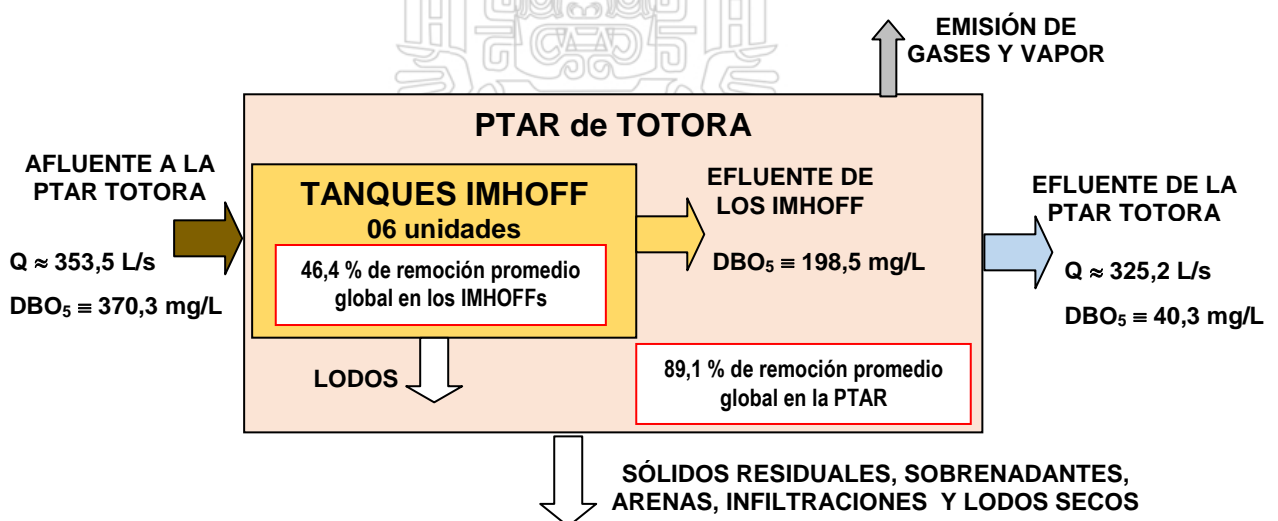


Figura 4.49 Parámetros promedio globales consolidados para la biodegradación desarrollada en la PTAR de Totorá.

Cabe señalar que, el proyecto estimaba una remoción del 91 % de materia orgánica en la planta, pero el valor del 89,1 % se considera bastante apropiado en vista que la actual carga orgánica del afluente a la planta es 80 % mayor que el valor propuesto inicialmente por el proyecto.

Por otra parte, el conjunto de los tanques Imhoff, recibiendo las aguas residuales con la carga orgánica global indicada para el afluente, desarrollan una remoción promedio global del 46,4 % de la materia orgánica biodegradable, reportando a la salida un promedio global de 198,5 mg/L de DBO₅; lo cual significa una operación de sedimentación y biodegradación bastante buena, considerando la sobrecarga de materia orgánica que reciben en el afluente y que además, el proyecto consideraba solamente una remoción promedio del 25 % para los tanques Imhoff.

En las condiciones de operación actual, el conjunto de tanques Imhoff, contribuyen con un 52 % en la reducción de carga orgánica total de la planta, con la ventaja de que los tanques Imhoff operan en la etapa inicial del proceso, donde es mucho más fácil la reducción de materia orgánica en alta carga, dificultándose la reducción hacia las etapas finales cuando la carga orgánica es mucho más baja, conformada mayormente por coloides y solubles.

De acuerdo a las observaciones y evaluaciones realizadas en planta, se puede afirmar que la degradación de la materia orgánica desarrollada en los tanques Imhoff no es atribuible absolutamente a una digestión anaeróbica con una producción exclusiva de biogás conteniendo metano; en vista que los tanques Imhoff operan abiertas al ambiente, con una biodigestión anaeróbica no controlada en la cámara de digestión, sin mayor control de los parámetros biológicos, la reducción del DBO₅ reportada en los tanques Imhoff se debería en alguna medida a los siguientes fenómenos:

- A la degradación aeróbica (que no genera biogás) que ocurre hacia la superficie de las cámaras de sedimentación, que en conjunto son una gran superficie de espejo de agua en contacto con el ambiente, con aireación y ventilación natural. Para el caso de los tanques Imhoff 3 al 6 se reporta para cada tanque una superficie líquida en las cámaras de sedimentación de 366 m² y en los canales de ventilación de 120,4 m².

- A la degradación anaeróbica, que constituiría gran parte de la degradación total, que ocurre hacia la zona inferior de las cámaras de sedimentación, en las cámaras de digestión de los tanques Imhoff. La inoportuna descarga de lodos de fondo conduce a la colmatación de los tanques Imhoff, observados en planta, que producen una depresión de la acción anaeróbica en la cámara de digestión, observándose presencia irregular de burbujes permanentes en la superficie líquida de los canales o cámaras de sedimentación.
- Retiro de carga orgánica asociada a los lodos sedimentados, considerado como otra fracción en la reducción de carga orgánica; obviamente los tanques Imhoff son un pre sedimentador con digestión anaeróbica en la cámara de digestión; sin embargo, la sedimentación por gravedad y la acumulación de materia orgánica hacia el fondo, no implica una total biodegradación de la misma, ya que luego del retiro de los lodos hacia las canchas de secado, se observa una pos degradación anaeróbica de los lodos con emisión de biogás.

4.5 **MEDICIÓN DEL BIOGÁS GENERADO**

Con el propósito de cuantificar la descarga de biogás por cada uno de los tanques Imhoff que operan en la PTAR de Totorá, teniendo en cuenta las dimensiones y aspectos operativos de las mismas, se ha desarrollado las instalaciones necesarias para evaluar la medición de la emisión de biogás desde los canales de ventilación del tanque Imhoff.

Del conjunto de los seis tanques Imhoff, el que operaba de manera regular sin saturación de lodos y con bajos niveles de natas y espumas en sus canales de ventilación era el tanque Imhoff 3, a diferencia de las anomalías encontradas para los demás tanques como se ve en la Fig. 4.50; por lo tanto, se ha considerado apropiado iniciar las instalaciones de medición y registro de biogás en dicho tanque; además, el tanque Imhoff 3, al ser de dimensiones iguales a los tanques Imhoff 4 al 6, que operan también con el mismo caudal de afluente, constituye una unidad representativa en su operación y funcionamiento del grupo de nuevos tanques que procesan más del 75 % de las aguas residuales, validado por los niveles similares de porcentaje de remoción de materia orgánica reportados en la Fig. 4.47.



Figura 4.50 Canales de ventilación saturadas con natas, costras, lodos secos, residuos sólidos e inclusive con vegetación.

4.5.1 Estado de los Canales de ventilación

Se ha realizado la observación directa de los canales de ventilación de los diversos tanques Imhoff, a fin de reportar los aspectos operativos y el estado en la cual se encontraban los mismos, reportándose los siguientes hechos:

- Al inicio de la investigación, varios canales de ventilación se encontraban colmatadas y saturadas con material sólido, con natas sobre acumuladas, muchas totalmente reseca, con sólidos flotantes en la superficie e inclusive con desarrollo de vegetación (tal como se observa en la Fig. 4.50), formadas por la flotación y acumulación progresiva de sólidos hacia la superficie que suscitan en los canales de ventilación, que por falta de mantenimiento permanente y oportuno prácticamente bloquean la formación de espumas y emisión natural del biogás en dichos canales.
- En algunos canales de ventilación, las capas semisólidas sobrenadantes, eran bastantes rígidas, sobrepasando los 50 a 80 cm de espesor; en las de menor espesor, se perciben la formación de pequeños cráteres superficiales alineados hacia las paredes laterales, desde la cual burbujea el biogás de manera intermitentemente, que prenden y flamean de manera oscilante al ser encendidas.

- La saturación y bloqueo progresivo de los canales de ventilación ha hecho de que se perciba un burbujeo superficial en los espejos de agua de los canales de sedimentación, fenómeno irregular que no debería ocurrir en una operación normal de los biodigestores Imhoff, provocando un movimiento convectivo ascensional del líquido en las cámaras de sedimentación, afectando la dirección de sedimentación libre de los sólidos hacia las cámaras de digestión.
- En los tanques relativamente colmatados, también se ha percibido en los canales de sedimentación una presencia de natas superficiales y sólidos sobrenadantes, atribuidos al periodo de mal funcionamiento de las rejillas mecanizadas y la separación mecánica defectuosa de los sólidos gruesos en el afluente.
- Los tanques con canales de ventilación libres de natas y exentas de sólidos sobrenadantes, con una purga controlada de lodos del fondo, sin colmatación, presentan una operación apropiada observada a través un burbujeo permanente del biogás, con burbujas de tamaño medio a fino que se liberan a lo largo de todo el canal de ventilación, con mayor intensidad hacia el primer tramo del canal de ventilación (ceranos a la cabecera o alimentación de aguas servidas); además, debido a que el gas se genera anaeróbicamente en la cámara de digestión, al ascender van reptando desde el borde inferior de la superficie externa de las paredes en V de las cámaras de sedimentación, emergen más burbujas pegadas hacia lo largo de las paredes de las cámaras de ventilación, adyacentes de las cámaras de sedimentación.
- A la vez que se percibe el constante burbujeo del biogás, periódicamente se observa en los canales de ventilación un movimiento convectivo ascensional natural de las aguas servidas del fondo, con movimientos suaves y similares al agua en ebullición. Se ha medido la variación de temperatura con la profundidad, reportándose un pequeño incremento de la temperatura de las aguas residuales hacia el fondo, de unos 2 °C a 3 °C con respecto a la temperatura superficial.

4.5.2 Cierre del Canal de ventilación

Previa a las instalaciones experimentales, se ha realizado la zonificación y limpieza del canal de ventilación, como se observa en la Fig. 4.51, iniciado en el canal de ventilación izquierdo frontal del tanque Imhoff 3: luego se ha procedido con la instalación de cierre, captura y medición del biogás generado en el canal de ventilación.



Figura 4.51 Limpieza del canal de ventilación izquierdo del tanque Imhoff 3, para proceder con las instalaciones de registro de biogás.

Sobre parte del canal de ventilación limpio se ha procedido con la instalación de un sistema de cierre, utilizando una estructura metálica simple de arcos que trabajan por presión sobre marcos de madera, luego se cierra la superficie con un manto de polietileno de tres capas, una interior para la captura de gas, una intermedia para el refuerzo y seguridad mecánica y una tercera externa de color blanca, para proteger contra los agentes externos, como son el deterioro por radiación solar, vientos, precipitaciones, insectos y otros observados en el medio; el manto de polietileno se instala entre la pared de concreto y los marcos de madera, con el respectivo cierre por presión producido por los arcos metálicos instalados al interior, tal como se muestra en las siguientes Fig. 4.52 y 4.53, luego se extiende un cordón periférico de silicona para evitar las fugas.

de gas, finalmente se instalan la tubería de salida de biogás, para efectos de recolección y medición de biogás.



Figura 4.52 Instalación de la estructura de soporte metálico sobre el canal de ventilación y cierre con manto triple de polietileno.



Figura 4.53 Cierre hermético del canal de ventilación con tubo emisor de biogás.

A continuación se presenta una descripción del cierre de una parte del canal de ventilación, para lo cual se ha dispuesto de algunos materiales básicos, sin afectar el concreto ni realizar labores intrusivas en la estructura constructiva de los tanques Imhoff, teniendo en cuenta los siguientes procedimientos:

1. Para los nuevos tanques Imhoff, un canal de ventilación es de 15 m de longitud por 1 m de ancho libre, en la cual se encuentran las aguas residuales, cuya superficie líquida está a una profundidad de 0,75 m con respecto al borde de los muros, bordeada por paredes de concreto de 50 cm de ancho hacia los bordes externos del tanque y de 30 cm de ancho en la separación interna entre las cámaras de ventilación y de sedimentación, en cuya región se realizan las instalaciones con los cuidados pertinentes.
2. Se usan listones de madera con cuadros de inserción para los arcos metálicos espaciados a cada 1 m, distribuidos en el contorno superior del canal de ventilación para permitir la sujeción por presión de las capas de polietileno triple.
3. Se instalan los arcos metálicos de tensión, de fierro corrugado de 3/8 pulg, de 110 cm de longitud, para el cierre por presión, distribuidos con un espaciamiento de 1 m, unidos transversalmente a través de un perfil de madera por la parte central, para conformar una sola estructura y sujetas a un cable de acero.
4. Todas las partes de la estructura están unidas y sujetas a través de un cordel de acero a un punto de sujeción externo, a fin de evitar caídas al canal y garantizar al final de la evaluación su retiro total en el proceso de la desinstalación, sin riesgos de que cualquier parte pueda caer al fondo.
5. Manto de polietileno de triple capa, de contextura doble, para garantizar el cierre a lo largo del canal de ventilación, incluida el cierre de la parte posterior del canal.
6. Instalación de un tubo de PVC de 4 pulg, para la salida libre del biogás generado desde el canal de ventilación cerrado con el manto de polietileno; incluye algunos accesorios de reducción, usados de acuerdo a las necesidades de medición.
7. Control del cierre hermético evaluado en la unión entre el manto de polietileno y la pared de concreto del canal de ventilación, utilizando silicona

líquida en todo el contorno.

8. Periodo de estabilización y supervisión del biogás capturado al interior de la cámara cerrada en el canal de ventilación. Como al inicio del cierre, el gas al interior de sistema cerrado está conformado mayormente por aire, es imprescindible dejar pasar algunos días, de tal manera que, el biogás que burbujea en la superficie líquida cerrada se vaya difundiendo y cargando en el volumen de cierre, evacuando gradualmente al aire, hasta alcanzar su estabilización.
9. Luego se realizan las mediciones permanentes del caudal de gas generado en el canal de ventilación a través del ducto de salida, igualmente se pueden realizar la toma de muestras para las evaluaciones pertinentes.

El sistema descrito es una captura de biogás en una estructura relativamente rígida, cuyas fronteras son las paredes internas de concreto del canal de ventilación, por el fondo la superficie líquida por donde burbujea y se desprende el biogás como techo el manto de polietileno; el sistema siempre está abierta al ambiente a través del ducto de descarga de PVC, la cual garantiza que el sistema no se presuriza en ningún momento. Por lo tanto, para el sistema instalado y esquematizado en la Fig. 4.54, en el volumen de cierre se cumple la dinámica de balance de materiales para el biogás que transita en régimen estacionario cumpliéndose que, la tasa de carga de biogás emitido desde la superficie líquida evaluada es igual a la tasa de biogás que se libera al ambiente a través del ducto de control de salida.

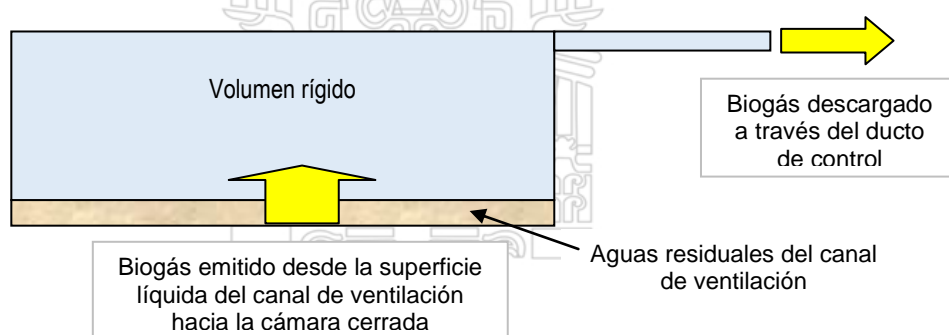


Figura 4.54 Balance de biogás en el sistema del canal de ventilación cerrado.

4.5.3 Manga de captura de biogás

Paralelamente al cierre del canal de ventilación, se ha diseñado y construido una manga cilíndrica de polietileno flexible de instalación vertical, como se observa en la Fig. 4.55, en cuyo extremo inferior se ha adaptado un marco cilíndrico rígido que va sumergido en la superficie líquida del canal de ventilación, y en el extremo superior de la manga plástica va instalado una tubería y válvula de ½ pulg, un sensor de temperatura y un manómetro de control de presión; la manga se evacúa totalmente al inicio del experimento, desde el fondo a través del marco sumergido se permita coleccionar el biogás al interior de la manga, permitiendo su carga y evaluación.



Figura 4.55 Instalación de la manga flexible para la colección del biogás, instalada sobre el líquido del canal de ventilación.

El sistema es relativamente portátil, de manipulación versátil, en el diseño e instalación de la manga de polietileno flexible sobre el canal de ventilación se ha utilizado diversos materiales y procedimientos que se describen a continuación:

1. Para el marco inferior se ha utilizado un cilindro de plástico rígido, que se sumerge parcialmente sobre las aguas residuales del canal de ventilación, produciendo un cierre controlado al biogás en la base de la manga; al cilindro se adosa y sella herméticamente el extremo inferior de la manga flexible; además se fija una correa de contrapeso, a fin de mantener sumergida el cilindro parcialmente en el agua, ya que, cuando

la manga se encuentra llena de gas la manga cilíndrica se levanta y voltea si no tiene el contrapeso necesario.

2. Se usa una manga flexible de polietileno, de unos dos metros de altura, de forma cilíndrica y sin costura lateral, cuyo extremo inferior se adosa y sella herméticamente al cilindro plástico rígido; al extremo superior de la manga se adosa herméticamente a una tubería de $\frac{1}{2}$ " de PVC, en la cual se instala una válvula de paso, un sensor flexible de temperatura (termopar tipo K) y un manómetro tipo piezómetro que trabaja con agua.
3. Una vez construido el sistema, se ha realizado una prueba de cierre hermético en laboratorio, sin pérdida de presión por un espacio de siete horas; se confirma la resistencia de la manga a la carga de gas, irguiéndose verticalmente sin elasticidad significativa hasta una presión manométrica de prueba de 20 mm de agua, con el termopar tipo K suspendido al eje interior de la manga.
4. Adicionalmente se construye una estructura simple de soporte en madera, instalado sobre el canal de ventilación, tal que permita nivelar y suspender el cilindro de plástico verticalmente y mantener sus contrapesos a una determinada altura de inmersión en la superficie del agua del canal (como se ve en la Fig. 4.55).
5. Una vez instalado el sistema, se abre la válvula del tope superior, luego se expulsa todo el gas inicial contenido en la manga, se cierra la válvula y se da inicio a la dinámica de carga de la manga flexible, se realizan las mediciones de volumen de biogás capturado, la temperatura y la presión en función del tiempo de evaluación.

A diferencia del sistema anterior, éste es un sistema cerrado con volumen inicial totalmente evacuado gracias a la flexibilidad del material, que al ir recibiendo la carga del biogás desde la superficie líquida inferior cerrada a la manga, se va cargando y llenando gradualmente en función al tiempo de observación, no hay salida, es un sistema de carga o acumulación positiva (como se presenta en el esquema de la Fig. 4.56) y se cumple que, la tasa de carga de biogás emitido desde la superficie líquida evaluada es igual a la velocidad de acumulación del biogás en el interior de la manga flexible.

Adicionalmente, la presión de carga del biogás al interior de la manga se mantiene constante e igual a la presión externa gracias a la flexibilidad de la manga (la presión local en la ciudad de Ayacucho es de 548 mmHg); cuando la manga se carga y alcanza su máxima capacidad, recién se empieza a observar el incremento gradual de la presión en el manómetro. El registro de la temperatura al interior de la manga que va cargando el biogás, varía concordantemente con la temperatura local del aire que rodea la manga.

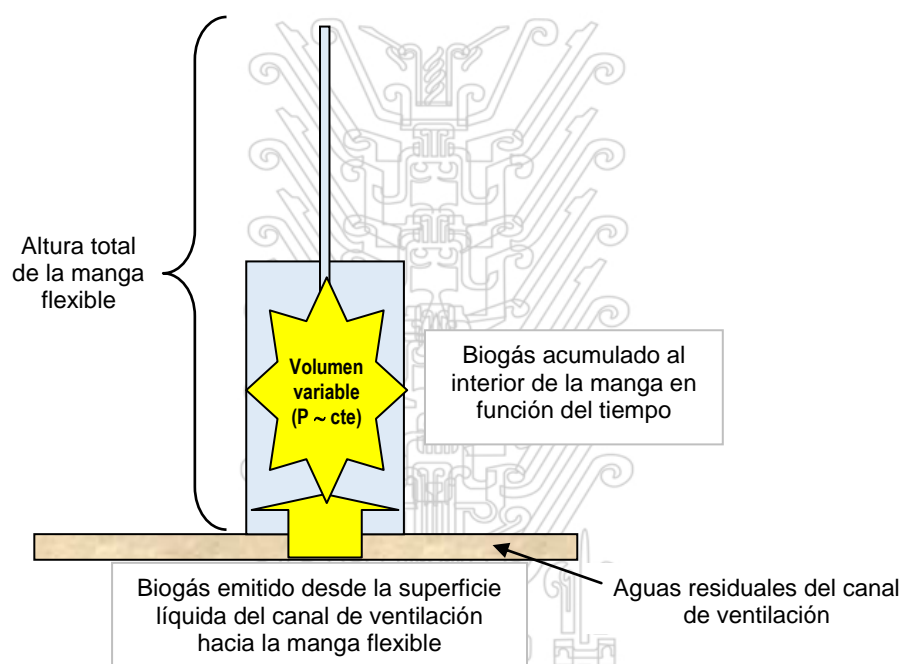


Figura 4.56 Balance de biogás capturado en el sistema de la manga flexible.

4.5.4 Resultados de la medición del biogás generado

A continuación se presentan los resultados provenientes de los dos sistemas de captura y medición de biogás liberados en el canal de ventilación del tanque Imhoff.

1. Cierre del canal de ventilación:

Una vez conseguida el cierre hermético del canal de ventilación y la emisión estable del biogás, como se ve en la Fig. 4.53, el biogás se descarga de manera controlada a través del ducto de salida, cuyo diámetro de descarga se puede variar con el conjunto de reducciones, en la cual se realizan

mediciones de temperatura, humedad y fundamentalmente del caudal, complementado con el recojo de gas para su transporte y evaluación cualitativa y cuantitativa en el laboratorio; una evaluación típica del volumen emitido por cada hora de monitoreo, en el transcurso del tiempo se presenta en la Fig. 4.57.

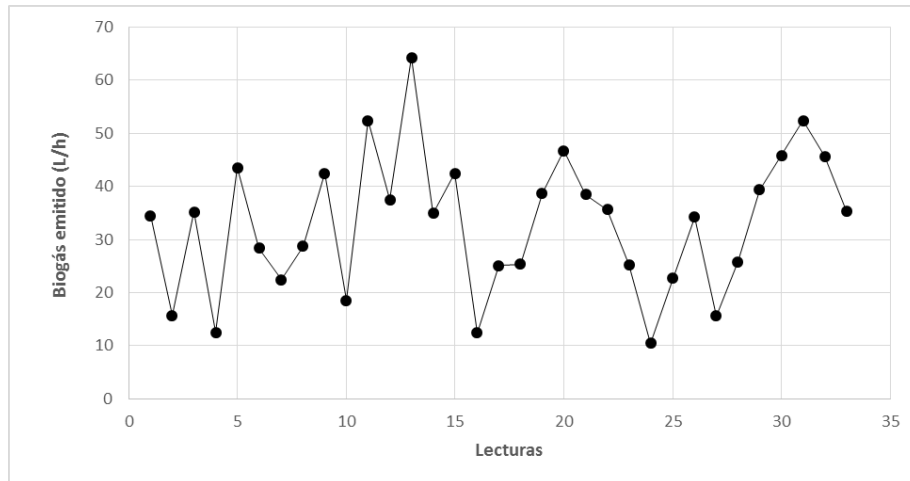


Figura 4.57 Resultados típicos de la medición de biogás generado en el canal de ventilación.

La ventaja de efectuar la medición en el canal de ventilación es que se tienen volúmenes integrados de generación de gas por cada hora de medición experimental, que se van observando como un conjunto de lecturas a lo largo del horizonte de evaluación. Los resultados consolidados para distintos grupos de valores de emisión de biogás se presentan en la Tabla 4.7 y corresponden a un área fija de espejo de agua cerrada en la instalación del canal de ventilación.

Tabla 4.7 Resultados de emisión de biogás consolidados de los datos del cierre de canal de ventilación.

Característica	Valor medio
A_{emis} Área de superficie líquida con burbujeo de gas en el canal de ventilación	3,15 m ²
E_{eb} Emisión específica promedio de biogás	11,25 L/m².h
σ Desviación media estándar	± 3,82 L/m ² .h
P Presión local	548 mmHg
T Temperatura media del biogás	26,4 °C

La desviación estándar observado para los datos de emisión son atribuibles a:

- a) Variación de la temperatura del ambiente durante el día de evaluación, que afecta el contenido térmico y la expansión volumétrica del biogás capturado bajo el polietileno, con registro mínimo de 18 °C (hacia las noches) y máximo de 35 °C (para días con insolación intensa) y mayormente reportados en los experimentos entre los 22 a 28 °C; obteniéndose en los registros de campo para el biogás evaluado una temperatura media de 26,4 °C.
- b) Desvío del régimen estacionario en la operación de los tanques Imhoff de la PTAR la Totorá, a pesar que el flujo de entrada y salida de aguas servidas a través del tanque se observa aparentemente constante, con un nivel de agua invariable en el interior, la biodegradación anaeróbica presenta un régimen relativamente no estacionario en cada tanque Imhoff; porque, tal como evidencian los registros de laboratorio para el análisis del caudal y DBO del afluente, éstas presentan fluctuaciones permanentes, ya sea de acuerdo a la hora del día, los meses del año, las estaciones de lluvia y otros factores, que afectan permanentemente la dinámica de la cámara de digestión y emisión de biogás en los tanques Imhoff.
- c) Acumulación de natas y material sobrenadante de forma gradual en los canales de ventilación, observados para los casos de experimentación prolongada, debido a la deficiencia mecánica en la etapa anterior de separación de sólidos en las cámaras de rejillas y mayormente por el proceso de espumas y burbujeo que levanta algunos materiales flotantes, con el riesgo de la irregular emisión del biogás a través de los canales de ventilación del tanque Imhoff.

2. Manga de captura de biogás:

La instalación de la manga flexible para la captura de gas, como se ve en la Fig. 4.55, tiene la ventaja de efectuar la medición del volumen diferencialmente acumulada o cargada hacia el interior de la manga en función del tiempo de evaluación, permitiendo evaluar por regresión la pendiente de la función que corresponde a la tasa promedio de emisión de

biogás; un resultado típico de ésta evaluación se presenta en la Fig. 4.58, representando el volumen acumulado de biogás (L) en la manga en función del tiempo (h).

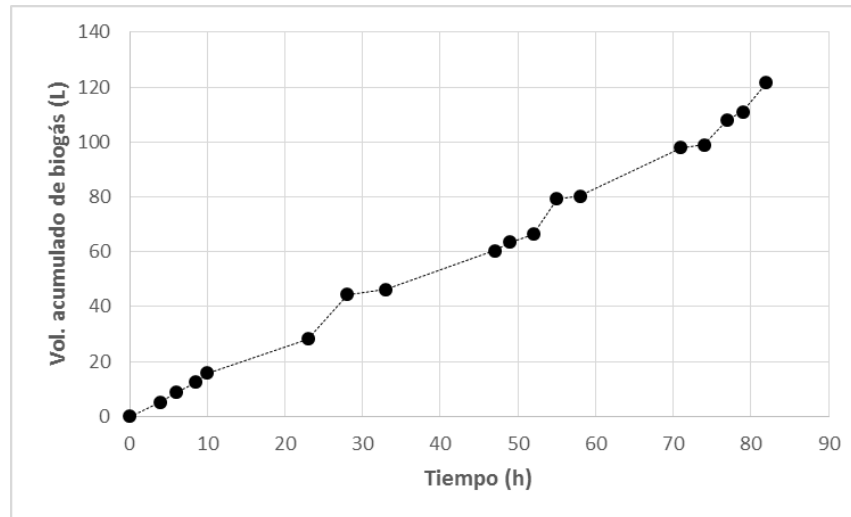


Figura 4.58 Resultados típicos de la medición de biogás acumulado en la manga de captura de biogás.

El área de la base colectora de la manga que se encuentra sumergida en las aguas residuales del canal de ventilación constituye el área de emisión superficial del biogás que se va cargando hacia la manga flexible; durante la evaluación se mide la altura neta de gas recolectado en la manga flexible en función del tiempo; los resultados consolidados del conjunto de mediciones efectuadas se presentan en la Tabla 4.8, con índices de regresión lineal aceptables

Tabla 4.8 Resultados consolidados de la emisión de biogás acumulado en la manga flexible.

Característica	Valor medio
A_{emis} Área de superficie líquida con burbujeo de gas en la base colectora de la manga	0,1385 m ²
E_{eb} Emisión específica promedio de biogás	10,11 L/m ² .h
r^2 Índice de regresión lineal	> 0,95
P Presión local	548 mmHg
T Temperatura media del biogás	28,0 °C

Los resultados expuestos en la Tabla 4.8 son concordantes con los valores obtenidos en el sistema de cierre de canal; durante las pruebas de acumulación del biogás en la manga flexible se reportaron algunos fenómenos y observaciones:

- a) El biogás acumulado en la manga flexible también está sujeta a la variación de la temperatura del ambiente externo; la temperatura promedio de los registros fueron de 28,0 °C.
- b) En la carga gradual del biogás hacia la manga no se observa incremento de la presión interna, debido a la flexibilidad de la manga que carga compensando la presión local exterior, manteniéndose entre unos 3 a 5 mm de columna de agua.
- c) El biogás emitido desde la superficie líquida asciende gradualmente por la manga flexible acumulándose hacia el tope superior de la manga, fenómeno que confirma la menor densidad que tiene el gas metano con respecto al aire.
- d) Las muestras de biogás retiradas de la manga, fueron utilizadas para diversas evaluaciones, siendo relevante el ensayo de combustión y llama a través de un pequeño quemador, produciendo una flama completamente azul, típica del metano contenido en el biogás.



Figura 4.59 Manga flexible de polietileno cargado a su máxima capacidad con biogás.

Las observaciones vinculadas con la desviación estándar de las mediciones en el cierre de canal también sustentan al índice de regresión de los datos para la manga flexible. Un estado extremo de carga total de biogás en la manga flexible se puede apreciar en la Fig. 4.59, desde la cual se pueden extraer muestras de biogás para los diferentes análisis, aperturando la válvula del tope superior.

Finalmente, en la Tabla 4.9 se consolidan los resultados para la emisión específica de biogás promedio a partir de los resultados obtenidos para cada sistema de evaluación.

Tabla 4.9 Emisión específica promedio de biogás medido desde los canales de ventilación de los tanques Imhoff.

Sistemas / Características	Valores promedio
Cierre de canal de ventilación	11,25 L/m ² .h
Manga flexible	10,11 L/m ² .h
Promedio de emisión específica de biogás	10,68 L/m².h
Presión del biogás (local)	0,72 atm
Temperatura promedio del biogás	27,2 °C

En la Fig. 4.60 se aprecia la prueba de combustión realizada con muestras de biogás retiradas de la manga flexible.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 4.60 Prueba de combustión con el biogás de los tanques Imhoff.

UNFV

4.6 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

Las evaluaciones de cromatografía de gases para muestras de biogás recogido en bolsas y selladas para su remisión al laboratorio, presentan valores medios de composición que se presentan en la Tabla 4.10, donde la presencia del metano en el biogás es mayoritario con valores del 70,5 %, seguido por el dióxido de carbono con 22,6 % en volumen.

Tabla 4.10 Evaluación composicional proximal promedio del biogás emitido por los biodigestores Imhoff

Componentes	% (vol/vol)
Metano	70,5
Dióxido de carbono	22,6
Vapor de agua	3,2
Otros gases	3,7

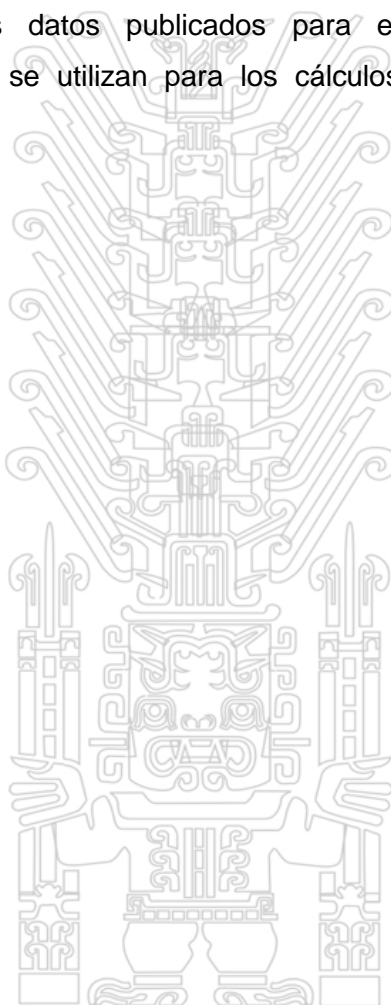
El biogás burbujeante que emerge desde la superficie líquida de los canales de ventilación, prácticamente se encuentra saturada con vapor de agua, que alcanza el valor promedio del 3,2 % en volumen; mientras que, los 3,7 % de otros gases probablemente sean nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, oxígeno, etc.

De las diversas informaciones teóricas sobre la composición química del biogás emitido en digestores anaeróbicos se sabe que la composición oscila de acuerdo al sustrato digerido y el tipo de tecnología anaeróbica desarrollada en el reactor, con resultados típicos de 50 a 70 % de metano, 30 a 40 % de dióxido de carbono y valores menores para otros gases como el nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, etc. (IDAE, 2007).

En el trabajo de **Caracterización de los gases emanados del reactor anaeróbico** de la PTAR de Totorá y su influencia en el ambiente (González, 2011) reporta como valores promedios finales una composición del 81,15 % de metano, 11,47 % de dióxido de carbono y 7,38 % de otros, reportados en base seca y con valores algo mayores para el contenido de metano que los obtenidos en la Tabla 4.10; cuyos resultados por determinación cromatográfica

corresponden al año 2010, en la cual los tanques Imhoff operaban en condiciones relativamente diferentes al estado actual, en lo que se refieren al mantenimiento, control de natas y purga de lodos. Como referencia adicional se tiene que, en la planta de tratamiento de aguas **ETAR** de **Portinho da Costa** (Portugal) la composición del biogás reportado es de 69% de CH₄, 28% de CO₂ y un 3% de N₂ y O₂ (Pistonesi, 2010).

En consecuencia, la composición química del biogás emitido por los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá reportadas en la Tabla 4.10 refleja valores compatibles con los datos publicados para eventos similares; valores composicionales que se utilizan para los cálculos posteriores del presente trabajo.





CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

El análisis y discusión de los resultados se presentan en concordancia progresiva a los objetivos formulados para el presente trabajo de investigación.

5.1 EVALUACIÓN DE LA EMISIÓN DE GAS METANO

Con respecto al primer problema específico vinculado a la evaluación de la emisión del gas metano generado por los biodigestores se ha formulado el primer objetivo específico de la siguiente manera:

Evaluar la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá y sus impactos ambientales en la ciudad de Ayacucho.

En el trabajo de investigación se ha comprobado la emisión del biogás generado por los tanques Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá en la ciudad de Ayacucho; cuya información sistematizada va a permitir evaluar la cantidad de metano asociado al biogás que se descarga al ambiente; además, de acuerdo a la información especializada, el metano es reconocido indiscutiblemente como un gas de efecto invernadero (GEI), con un poder de calentamiento global de 25 veces

mayor que el dióxido de carbono, aportando al incremento de la temperatura atmosférica y su impacto en los cambios climáticos regionales y nacionales, claramente evidenciados a través de los diversos desastres ocurridos en los últimos tiempos.

El metano es el principal componente del biogás generado por la degradación de la materia orgánica que ocurre en un biodigestor anaeróbico; luego, los seis tanques Imhoff con las que cuenta la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá han confirmado la emisión de biogás, que en la actualidad son descargados directamente al ambiente; por lo tanto, la cuantificación de emisión de metano se puede estimar teniendo en cuenta las directrices publicadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – **IPCC** o directamente con los resultados experimentales presentados por los sistemas de medición de biogás.

Las normas **NTP-ISO 14064** (Parte 1, 2 y 3):2006, también hacen referencia a los Gases de Efecto Invernadero (GEI), que incluyen la emisión del metano (resumidas en el Anexo 02), en cuya *Parte 1: Especificaciones con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero, 4.3 Cuantificación de emisiones y remociones de GEI*, señala:

- Etapas y exclusiones de la cuantificación.
- Identificación de fuentes y sumideros de GEI
- Selección de las metodologías de cuantificación
- Selección y recopilación de datos de la actividad de GEI
- Selección o desarrollo de los factores de emisión o remoción de GEI
- Cálculos de emisiones y remociones de GEI

Por lo cual, la fuente directa de emisión de metano constituyen los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, con niveles de emisión de GEI descargados directamente al aire, que se considera significativo e importante como impacto ambiental negativo, motivo de la presente investigación; la norma deja a consideración de la organización la selección y uso de la metodología de cuantificación, recomendando que el método a utilizarse debe minimizar razonablemente la incertidumbre y producir resultados exactos, coherentes y

mediciones o combinación de ambos. A continuación se realiza los cálculos de emisión de metano usando los modelos y factores de emisión propuestos por las directrices del IPCC seguido por el análisis de resultados obtenidos por las mediciones directas realizadas sobre los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá usando las dos técnicas experimentales, descritas en el ítem 4.5.4 del capítulo anterior de resultados.

5.1.1 Metano emitido de acuerdo a Directrices del IPCC

De acuerdo al IPCC la estimación de emisión de metano: E, se determina con la siguiente expresión (IPCC, 2006):

$$E = DOT \cdot FE - RM$$

Donde:

RM = 0 (No existe recuperación de metano)

FE = 0,6 kg de CH₄/kg de DBO degradado (Factor de Emisión máximo)

DOT = (DBO_{ent} - DBO_{sal}) = 370,3 - 198,5 = 171,8 mg/L = 1,72x10⁻⁴ kg/L

DOT = 1,72 x 10⁻⁴ kg de DBO / L de aguas residuales tratadas
(Desechos orgánicos totales degradados)

$$E = 1,03 \times 10^{-4} \text{ kg de CH}_4/\text{L de aguas residuales tratadas}$$

En la PTAR de Totorá aún no existe ningún mecanismo de recuperación de metano, dado que absolutamente todo el metano generado en los tanques Imhoff son descargados naturalmente desde los canales de ventilación hacia el ambiente, diluyéndose y difundándose convectivamente hacia las corrientes de aire que surcan las superficies de dichas instalaciones, razón por la que se considera RM = 0.

Con respecto al factor de emisión, de acuerdo al IPCC se tiene que:

$$FE = Bo \cdot FCM,$$

Donde el **máximo potencial de producción de metano: Bo**, puede tomar por defecto el valor de 0,6 kg de CH₄/kg de DBO degradado cuando no se dispone de datos específicos como es el caso del tanque Imhoff de la PTAR de Totorá, y el **factor de conversión del metano: FCM** se consideraría como 1 para el

Tesis publicada en el valor máximo potencial de un sistema perfectamente anaeróbico con
No olvide citar esta tesis

UNFV

máxima conversión; valores que son concordantes con los estudios en el sector de aguas residuales realizado en México (Ramírez y Vázquez, 2012).

Mientras que, el **desecho orgánico total degradado: DOT**, es una característica operativa específica de los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, que de acuerdo a los resultados descritos en el ítem 4.4.2 de biodegradación de la materia orgánica evaluada en los tanques Imhoff, con los valores globales promedios para cinco años de evaluación como indican las Fig. 4.47 y 4.48, consolidado en la Fig. 4.49, con un promedio de afluente de aguas servidas de 353,5 L/s a la PTAR de Totorá con una carga promedio global de 370,3 mg/L de DBO₅, se suministran en paralelo a los seis tanques Imhoff de la planta, saliendo de los mismos con un promedio global de 198,5 mg/L de DBO₅, la cual representa un 46,4 % de remoción de materia orgánica biodegradable, continuando su remoción en las siguientes operaciones unitarias de la planta hasta alcanzar en el efluente final una remoción total promedio de 89,1 % con una salida de 40,3 mg/L de DBO₅; por lo tanto, el cálculo de DOT = (DBO_{ent} – DBO_{sal}) es de 171,8 mg de materia orgánica total degradado por los biodigestores Imhoff por cada 1 L de aguas residuales procesadas en dichos tanques.

Las publicaciones e informaciones sobre las tasas de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se expresan mayormente en kilo toneladas equivalentes de CO₂ por cada año: kt CO₂-eq/año, incluso en Gt CO₂-eq/año para emisiones de gran magnitud, para lo cual la masa de cualquier gas de efecto invernadero emitido deberá multiplicarse por su respectivo potencial de calentamiento global, a fin de expresar para el conjunto de los GEI el total de emisión referidos al CO₂; luego, como el metano calienta 25 veces más la atmósfera que el dióxido de carbono, se dice que cada 1 tonelada de metano gas equivale al efecto de 25 toneladas de dióxido de carbono para aspectos de calentamiento global.

En la siguiente Tabla 5.1 se presenta el resultado de emisión de metano desde los biodigestores Imhoff de la PTAR de Totorá, utilizando las directrices del IPCC, expresados con referencia al CO₂.

Tabla 5.1 Estimación de la emisión de metano desde los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, de acuerdo a las directrices del IPCC.

Descripción	Magnitud
E (Emisión de metano)	$1,03 \times 10^{-4}$ kg de CH ₄ /L de agua tratada afluente
Q _a (Caudal promedio de afluente a los seis tanques Imhoff)	353,5 L/s
Et (Emisión anual de metano)	1149,13 t de CH₄/año 1,15 kt de CH ₄ /año 28,73 kt CO₂-eq/año

Estimación basada estrictamente en la variación del DBO degradado en los tanques Imhoff, para el supuesto caso que dichos tanques operen como sistemas perfectamente anaeróbicos, con una producción máxima de gas metano bajo un factor de conversión del 100 %; los resultados basados en las directrices del IPCC alcanzan una emisión anual de 1149,13 toneladas de gas metano; que se considera como el escenario óptimo de máxima emisión de metano que podrían generar los seis tanques Imhoff que operan en la PTAR de Totorá de la ciudad de Ayacucho.

5.1.2 Metano emitido según registros experimentales en los tanques Imhoff

De acuerdo a los resultados obtenidos en las observaciones experimentales de los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá consolidados en la Tabla 4,9 se tiene un promedio de emisión específica de biogás de 10,68 L/m².h liberados desde las superficies de los canales de ventilación; determinando el área total de los canales de ventilación disponibles en los seis tanques Imhoff y considerando que todas emiten biogás en condiciones y niveles similares hacia el ambiente, permanentemente durante el año de operación, nos permite estimar la emisión total de metano y su equivalente como CO₂, resultados que se presentan en la Tabla 5.2.

Dado que la medición de emisión es de naturaleza volumétrica y para el biogás, se utiliza la composición promedio del gas metano contenido en el biogás para determinar la emisión volumétrica neta de gas metano, luego usando la ecuación de los gases ideales se determina la emisión másica de

metano, en las condiciones de medición que son la presión local y la temperatura media del biogás. Las ecuaciones utilizadas en los cálculos son:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

$$E_b = E_{cb} A$$

$$E_{CH_4} = E_b y_{CH_4}$$

$$PV = nRT$$

$$E_t = \left(\frac{P}{RT} \right) M E_{CH_4}$$

Tabla 5.2 Determinación de la emisión de metano desde los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, de acuerdo a los resultados experimentales.

Descripción	Magnitud
E_{cb} (Emisión específica de biogás, ref. Tabla 4.9)	10,68 L/m ² .h
A (Área superficial total de los canales de ventilación, ref. Tabla 4.4) Tanques Imhoff 1 al 2 : 75,04 m ² c/u Tanques Imhoff 3 al 6 : 120,4 m ² c/u	631,68 m ²
E_b (Emisión volumétrica total de biogás)	6746,34 L/h 6,75 m³/h
% Composición de metano (ref. Tabla 4.10)	70,5 % v/v
y_{CH_4} (fracción volumétrica de metano en el biogás)	0,705
E_{CH_4} (Emisión volumétrica de gas metano)	4,76 m³/h
P (Presión local, Ayacucho)	0,72 atm
T (Temperatura media del biogás, ref. Tabla 4.9)	27,2 °C 300,4 K
M=PM (Peso molecular del gas metano)	16,04 kg/kmol
R (Constante universal de los gases)	0,082057 atm.m ³ /kmol.K
E_t (Emisión anual de metano)	2,23 kg de CH ₄ /h 19,55 t de CH₄/año 0,49 kt CO₂-eq/año

De acuerdo a las mediciones experimentales efectuadas se tiene una emisión anual de 19,55 toneladas de gas de metano, que representa el 1,7 % del valor determinado en su máxima emisión basadas en el método IPCC; los cual nos estaría indicando un bajísimo factor de conversión en la metanogénesis de la materia orgánica degradada, cuyos resultados responden a la naturaleza de operación real que se han diagnosticado en los tanques Imhoff durante el

Tesis publicada con autorización del autor
período de evaluación, que se enfatizan a continuación:
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Los tanques Imhoff no son equipos que operen y degraden la materia orgánica en un proceso de biodegradación anaeróbica absoluta, ya que son tanques de gran superficie líquida abiertas al ambiente (con 486,4 m² de espejo de agua para cada uno de los tanques Imhoff 3 al 6, ref. Tabla 4.4); por lo tanto, existe la posibilidad de una fracción de degradación aeróbica hacia la superficie.
- La variación del DBO entre el afluente y efluente reportados para los tanques Imhoff no se deben exclusivamente a una biodegradación anaeróbica de la materia orgánica en la cámara de digestión, existe una fracción de degradación aeróbica así como una gran remoción de materia orgánica por la simple sedimentación que se retira como lodos de fondo, que se evacúan periódicamente hacia los lechos o canchas de secado de lodos (Fig. 4.17).
- Los lodos descargados a las canchas de secado continúan con el proceso de biodegradación anaeróbica, con una considerable liberación adicional de biogás, cuya emisión asociada con gases ácidos como el sulfuro de hidrógeno, han corroído notablemente las estructuras metálicas de los techos y estructuras metálicas de las canchas de secado. De acuerdo a los procesos de tratamientos secundarios, es recomendable la digestión anaeróbica controlada de los lodos para su estabilización, deshidratación y secado, en la cual se tendría también la captura y aprovechamiento del biogás conteniendo metano.
- No existe un manejo técnico controlado en la operación de los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá; vale decir, en el periodo de evaluación se ha percibido la colmatación permanente de los canales de ventilación con tortas resacas y vegetación desarrollada en la superficie de dichos canales (Fig. 4.50), estado que afecta negativamente la emisión y medición del biogás, incluso se percibe un burbujeo irregular del biogás liberado a través de la superficie líquida de las cámaras de sedimentación.
- La biodigestión desarrollada en los tanques Imhoff no se manejan de manera supervisada y controlada en el marco de la ingeniería de procesos para un sistema bioquímico anaeróbico; si se pudiera controlar la temperatura de digestión, el pH, los nutrientes y condiciones

de digestión metanogénica, se obtendría una mejor eficiencia de generación de biogás con una biodegradación anaeróbica efectiva de la materia orgánica en los tanques Imhoff y un alto factor de conversión de metano, situación que favorecería y sustentaría el proyecto del aprovechamiento energético del metano en la PTAR de Totora en la ciudad de Ayacucho.

Ambientalmente, de acuerdo a los datos de emisiones antropogénicas mundiales de GEI expuestas en las Fig. 2.9 y 2.10, la **emisión mundial del metano** bordea los 19,0 % del total de gases de efecto invernadero GEI, cifras concordantes con la base de datos publicados en la Web del Banco Mundial (<http://datos.bancomundial.org>), que reporta emisiones crecientes de metano como se ven en la Fig. 5.1 (a) y (b) para el Perú y el mundo respectivamente, reportando para el año 2012 la emisión de 19 321,45 kt CO₂-eq de metano en el Perú y de 8 014 066,56 kt CO₂-eq de metano para el mundo (8,01 Gt CO₂-eq/año), que conjuntamente con las emisiones del CO₂ presentan cifras de emisión total de GEI superiores a los 50 Gt CO₂-eq/año.

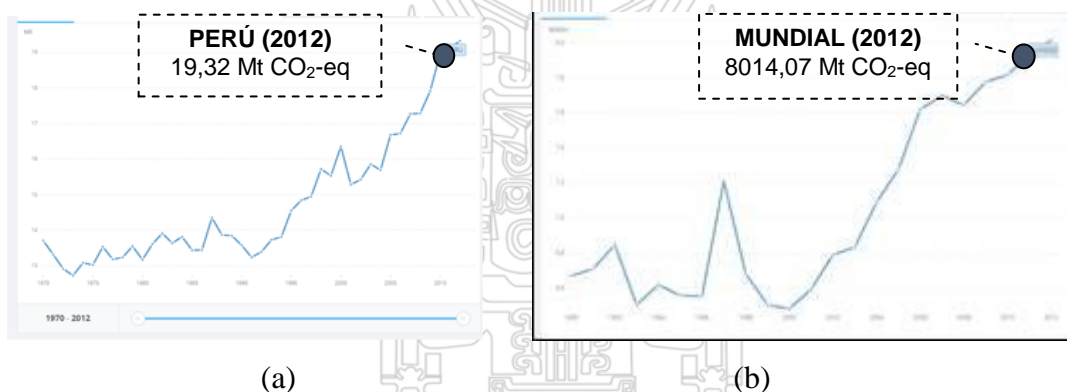


Figura 5.1 Horizonte de emisiones de metano en equivalente de CO₂ para (a) el Perú y (b) el mundo (Banco Mundial, OCDE/AIE).

Los niveles de emisión anual de gas metano, expresados como equivalente de dióxido de carbono, determinados para la PTAR de Totora en las tablas 5.1 y 5.2 podrían ser casi insignificantes comparado con el total de emisión nacional; sin embargo, considerando las más de 200 PTAR registrados en

gas metano, el inventario nacional de emisión de metano alcanzaría niveles significativos, que acrecientan los GEI e impactan en el calentamiento global.

Complementariamente, *Global Anthropogenic Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases* de la **EPA** reporta que, en el año 2010 el Perú ocupó el 45° lugar de los países con emisión antropogénica de metano a nivel mundial, estimando que el 30 % de sus emisiones (6,23 Mt CO₂-eq/año) provienen de residuos sólidos municipales (vertederos), gas natural y petróleo, así como de **aguas residuales**, igualmente, se considera elevado el aporte de las actividades de la agricultura (Global Methane Initiative); comentario que evidencia la participación de las aguas residuales en la emisión de gas metano a través de las diversas PTARs de nuestro país.

5.1.3 Impactos Ambientales

Es a saber de que el **cambio climático** implica las alteraciones climáticas de orden local, regional o global a lo largo del tiempo, que pueden ser naturales y que han ido adquiriendo gran influencia antropogénica en los últimos tiempos; éstos cambios involucran factores energéticos, temperatura, precipitaciones, humedad, vientos y otros sucesos meteorológicos, cuyas alteraciones van alcanzando efectos alarmantes y desbastadores en diversas partes de nuestro planeta.

Por otra parte, el **calentamiento global** está involucrado directamente con el incremento de la temperatura media de la atmósfera en la tierra, muy a pesar que la variación energética de todo el planeta implica una alta tasa de almacenamiento de energía térmica en los océanos (93,4 %), en la atmósfera (2,3 %), así como en continentes y en la fusión de hielos y glaciares; como causa principal del calentamiento global se tiene a la emisión **de gases de efecto invernadero** (GEI), que por su constante incremento composicional en la atmósfera, interceptan a la reflexión natural de la energía radiante emitida por el planeta convirtiéndola en calor y provocando el incremento de la temperatura media del aire, afectando la calidad térmica del aire.

En el ámbito científico se viene confirmando fehacientemente los efectos del cambio climático y del calentamiento global provocados en gran parte por acción antropogénica, admitiéndose la emisión creciente de los gases de

efecto invernadero como son el **dióxido de carbono** (76 %) seguido por el **metano** (16 %) entre otros gases, provenientes mayoritariamente del sector energético (35 %), agricultura, selvicultura y otros usos del suelo (24 %), industria (18 %), vehículos de transporte (14 %), así como de edificaciones y mal manejo de residuos en general; siendo los países con mayor tasa de emisiones acumuladas los Estados Unidos (26,0 %), China (10,7 %), seguidos por Rusia, Alemania, Reino Unido y Japón.

El gas metano tiene un poder o **potencial de calentamiento global** de 25 veces más que el dióxido de carbono, de acuerdo a la Tabla 2.2; luego, por ser el segundo gas de efecto invernadero con alta tasa de emisión hacia la atmósfera, contribuye considerablemente en el efecto invernadero, afectando la calidad térmica del aire; fenómeno científicamente evidenciado con el incremento de la anomalía térmica como temperatura media global en la superficie de la tierra, tal como se percibe en la Fig. 2.8 y 5.2, gráficos basados en **GISS Surface Temperatura Analysis – NASA**, que describe el incremento térmico alarmante de la temperatura en el último medio siglo, fenómeno sin precedentes en la historia geológica de la tierra.

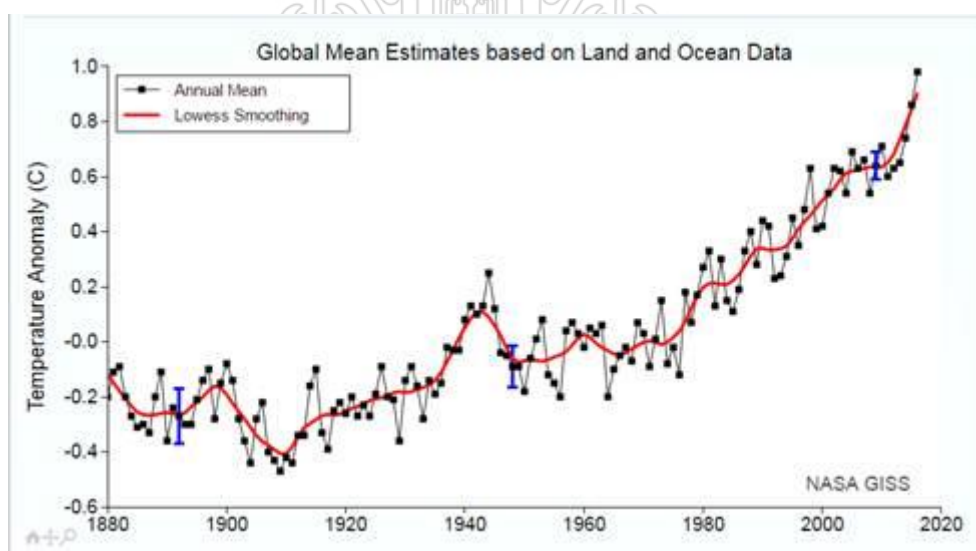


Figura 5.2 Índice de la temperatura media global de la superficie con un intervalo de confianza del 95 % (<https://data.giss.nasa.gov>)

decenio anterior desde 1850", lo cual se refleja en que "**el clima de América Latina ya está cambiando y se están sintiendo los impactos**", por las claras tendencias de calentamiento medio con incrementos de temperatura entre 0,7 a 1 °C, aumento de las precipitaciones con deslizamiento de tierras e inundaciones repentinas, así como la tasa de elevación media anual del nivel del mar entre 1,3 a 1,7 mm (IPCC, 2014).

Por otra parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) proporcionan en su **Quinto Informe de Evaluación** (AR5, 2014) aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos del cambio climático; además afirman que, la mayor parte del calentamiento global es causada por las crecientes concentraciones de los gases de efecto invernadero.

El año 2015 se desarrolla la XX1 **Conferencia Mundial del Cambio Climático** (COP21) realizada en París - Francia, con la participación de muchos países, que finalmente han reconocido la existencia del problema y el requerimiento urgente de tomar medidas de mitigación, concretados en el Acuerdo de París, frente al creciente fenómeno del calentamiento global que se va convirtiendo en una amenaza mundial; entre las principales medidas del acuerdo destacan los compromisos para fomentar la reforestación y reducir la deforestación, reducción de emisión de gases de efecto invernadero, desarrollo de agricultura limpia, reactivación del protocolo de Montreal y control de los HFCs, reducción de combustibles fósiles y reorientación a combustibles limpios, desarrollo de la captura y almacenamiento del dióxido de carbono, fomentando la construcción de sistemas resilientes a sus impactos y probable ingeniería climática futura; además, la mayoría de países conforman la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático** (CMNUCC), con esfuerzos y compromisos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Finalmente, luego de evaluar los niveles de emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá en su estado de operación actual y sus impactos ambientales en el marco del primer objetivo, cuya hipótesis sustantiva específica enunciada es:

La evaluación de la emisión del gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR de Totorá permitirá

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

identificar impactos ambientales a la calidad del aire en la ciudad de Ayacucho.

Se admite dicha hipótesis, en vista que la evaluación de **emisión de gas metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff**, observados en la PTAR de Totorá, **es del orden de 0,49 kt de CO₂-eq/año**, con un potencial máximo de emisión de hasta 28,73 kt de CO₂-eq/año de acuerdo al IPCC para una operación técnicamente controlada que maximizaría su eficiencia; ésta magnitud registrada de emisión directa del metano al aire es una **identificación evidente del impacto ambiental que ello implica en la calidad del aire en la ciudad de Ayacucho**, que lamentablemente contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, cuyos impactos ambientales son indudables por el calentamiento global que ellos generan y los distintos trastornos climáticos ocasionados de manera progresiva y acelerada en los últimos tiempos, tanto en el ámbito regional y nacional, percibidos como el aumento de la sensación térmica, vientos inusitados, lluvias torrenciales e incremento de caudal de ríos, con carga de huaycos que han provocado destrucción de grandes áreas de cultivo, de poblaciones ribereñas, cobrando inclusive muchas vidas humanas, afectando la salud en general, provocando daños materiales y económicos, afectando el suministro alimentario y la calidad de vida, que han puesto en grave riesgo a muchas poblaciones de nuestro país y otros del planeta.

Efectos y fenómenos claramente sustentados y advertidos por las diversas entidades e investigaciones vinculadas al calentamiento global y el cambio climático; que en el caso de nuestro país ha tomado niveles indescritibles, asociados a la irresponsabilidad en la gestión pública regional y nacional destinados a la prevención de desastres naturales, conminados con la corrupción generalizada en los diversos sistemas de la administración pública, con desastres naturales de gran impacto social y económico, que nos deberían enseñar y sensibilizar cada vez más a asumir con responsabilidad y compromiso la defensa del ambiente, fomentando y haciendo efectivo la mitigación de la contaminación en todos sus términos a fin de promover la gestión de una buena calidad del aire en nuestro medio.

5.2 **FORMULACIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO**

El segundo problema específico de la investigación está comprometido con la viabilidad de la formulación del sistema de aprovechamiento energético del biogás emitido en los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, la cual ha permitido formular el segundo objetivo específico de la forma siguiente:

Formular el sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totorá para su integración energética en la Planta.

En la evaluación del biogás emitido por los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá en la ciudad de Ayacucho, se tiene en promedio que el 70,5 % del biogás está constituido por metano, ref. Tabla 4,10, componente de alto contenido energético, que viene a ser un hidrocarburo gaseoso y ligero, también principal componente del gas natural, caracterizado por ser un combustible más limpio y menos contaminante.

Actualmente el biogás generado por los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, al igual que en otras plantas de tratamiento de aguas residuales del país, no cuentan con un sistema de aprovechamiento energético integrado, dado que el biogás emitido directamente a la atmósfera contiene en gran proporción metano que es una valiosa fuente de energía limpia, que se descarga en los niveles señalados en el ítem anterior, generando diversos impactos ambientales negativos. Dado que la emisión de biogás desde los tanques Imhoff es mucho más localizada desde el área de los canales de ventilación, a diferencia de las extensas áreas superficiales de las lagunas facultativas, se considera inapropiado y contraproducente la actual descarga directa del biogás al aire, porque es el desperdicio de un combustible natural gaseoso, cuya captura a parte de mitigar la contaminación del aire con el gas metano constituiría un recurso energético para la planta de tratamiento de aguas residuales.

5.2.1 **Emisiones de biogás y metano en PTARs**

De acuerdo a la información publicada por **Iniciativa Global de Metano - IGM** Tesis publicada con autorización del autor (<http://www.globalmethane.org>), del cual el Perú es un país asociado, las No olvide citar esta tesis

UNFV

emisiones de metano provenientes de aguas residuales representan el 7 % del total de emisiones de metano a nivel mundial para el año 2010, que representan 512 Mt CO₂-eq/año, siendo los países con mayor emisión de metano a partir del tratamiento de aguas residuales municipales (PTARs) China, Nigeria y México, y en Latinoamérica Brasil y Argentina, como se percibe en la Fig. 5.3. Además, las aguas residuales municipales incrementan directamente con la tasa de crecimiento poblacional y se espera que las emisiones de metano provenientes de las aguas residuales a nivel mundial aumenten en aproximadamente 19 por ciento entre 2010 y 2030, siendo los de mayor crecimiento África, el Oriente Medio, Asia, y las regiones de Centro y Sur América (IGM, 2013). Estos valores confirman las emisiones importantes de metano por parte de las PTARs en el mundo y su potencial energético para los proyectos de aprovechamiento.

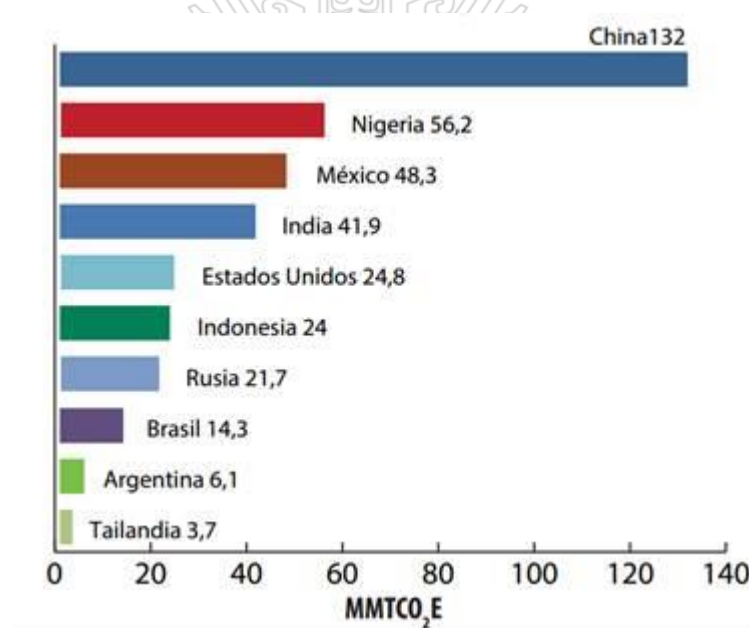


Figura 5.3 Estimación mundial de emisiones de metano provenientes de aguas residuales municipales de 10 países del mundo (2010) (<http://www.globalmethane.org>)

Siendo el metano un combustible liviano y limpio, su captura y aprovechamiento a partir de las fuentes de emisión como son las PTARs tienen los siguientes beneficios (IGM, 2013).

- Reduce los GEI y demás contaminantes del aire.

- Proporciona una fuente de energía que apoya a la independencia energética de la planta.
- Convierte una emisión de desecho en una fuente de ingresos.
- Crea energía renovable que puede reemplazar el uso de combustibles fósiles.
- Crea puestos de trabajo asociados a la construcción y funcionamiento del proyecto.
- Mejora la imagen de la comunidad local como innovadora y sostenible.

5.2.2 Captura y aprovechamiento energético del biogás en PTARs

La captura y aprovechamiento energético del biogás emitido por las distintas PTARs a nivel mundial han ido incrementándose progresivamente, a través de proyectos e instalaciones para la captura y recuperación del metano como combustible útil, a través de los sistemas de **cogeneración** denominado **CHP** (generación combinada de calor y electricidad – Combined Heat and Power), que consiste en la producción de electricidad y calor, utilizando diversos generadores de fuerza motriz, que mejoran la eficiencia de conversión energética y el proceso de integración a la planta; inclusive existen instalaciones que comercializan el gas metano purificado para clientes externos. Entre las principales PTARs del mundo que disponen instalaciones para el aprovechamiento energético del metano generado en sus diversos biodigestores anaeróbicos se mencionan a las siguientes plantas:

- PTAR **Portinho da Costa** (Portugal), el biogás producido se utiliza en un sistema de dos líneas de cogeneración de 250 kW, que transforman el 33 % de la energía contenida del biogás en electricidad.
- PTAR **Viikinmäki** (Helsinki, Finlandia), con una central de generación combinada de calor y electricidad.
- PTAR **Janesville** (Janesville, Wisconsin, EE.UU.), con producción de biogás a partir de aguas residuales para un proyecto de combustible de GNC para vehículos.
- PTAR **La Farfana** (Santiago, Chile), con digestores anaeróbicos e instalaciones de tratamiento de biogás mediante un tren de compresión, deshidratación, depurador de sulfuro de hidrógeno y un oxidador térmico para eliminar dióxido de carbono, registrado como un proyecto

MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio), con una reducción de unas 26 kt CO₂-eq.

- PTAR **Arrudas** (Sabará, Brasil), con una planta de lodos activados que utiliza digestores anaeróbicos para el tratamiento de lodos, con captura de biogás para generar calor y electricidad en un sistema CHP, que consta de 12 micro turbinas de 200 kilovatios.
- PTAR **Atotonilco** (México), con capacidad nominal de tratamiento de 25 m³/s y un máximo de 50 m³/s, con un sistema de cogeneración para el aprovechamiento de biogás que le permite el máximo ahorro energético.
- PTAR **Deer Island** (Boston, Massachusetts, USA), consta de 48 clarificadores de tratamiento primario, 12 digestores de lodos, el metano producido por la digestión se alimenta a un generador de 3 MW de energía eléctrica, los lodos se secan y transforman en gránulos de fertilizante.
- PTAR **Bailonggang** (Shanghai, China), con digestores anaeróbicos de lodos, el biogás de la digestión se utiliza para operar la planta de secado de lodos.
- PTAR **Gabal** (Cairo, Egipto, África), realiza un tratamiento completo primario y secundario incluyendo digestión anaerobia. Produce metano que emplea para autoabastecer el 70% de las necesidades de energía de la planta.
- PTAR **Morigasaka** (Tokyo, Japón), con tanques digestores anaeróbicos que generan metano empleado para producir electricidad en una instalación de 3 MW.
- PTAR **Blue Plains** (Washington, D.C., USA), con tratamiento primario y secundario que produce biosólidos y energía eléctrica.
- PTAR **Bello** (Colombia) con tratamiento primario y secundario, donde los lodos son tratados utilizando seis digestores anaeróbicos.

De los detalles técnicos evaluados para los procesos de tratamiento de aguas residuales disponibles en las publicaciones de algunas de las PTARs indicadas, se conoce que son ampliaciones de planta con nuevas instalaciones de biodigestores anaeróbicos de tercera generación, acoplados con sistemas de cogeneración de energía a partir de la captura y procesamiento del biogás

Tesis publicada con autorización del autor como se describe en el ítem 2.2.1; en América Latina se vienen instalando No olvide citar esta tesis

UNFV

mayoritariamente los **reactores tipo UASB** (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), como es Brasil, México y Colombia, que son unidades versátiles para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas, así como para la biodigestión de lodos, que se adaptan y operan favorecidas por los climas tropicales de muchas regiones donde se efectúan sus instalaciones.

No se tiene información precisa sobre captura y aprovechamiento de biogás a partir de los biodigestores primarios como son los tanques Imhoff; en algunas PTARs se reportan como alternativas básicas de reducción de la tasa de emisión directa del metano al aire la implementación de instalaciones de captura y quemado directo del biogás en antorchas de llama abierta o cerrada, tal como se presenta la TEA de quemado en la Fig. 5.4, que también tienen el propósito de reducir los malos olores emitidos en los alrededores de la PTAR y aminorar los conflictos con las poblaciones aledañas.



Figura 5.4 Instalación del quemado directo del biogás en TEA, PTAR de San Martín de los Llanos, Colombia (Donado, 2013)

5.2.3 Alternativas de control de emisión de metano

La actual operación de la PTAR de Totorá, que viene operando cercano a su máxima capacidad, requiere una evaluación tecnológica y económica por parte de la entidad, a fin de establecer la viabilidad de mejorar la eficiencia de la línea de operación o implementar las ampliaciones que correspondan, incorporando

tecnologías limpias y eficientes. Con respecto a las alternativas de control de emisión de metano, se pueden considerar las siguientes propuestas:

1. Incorporación del reactor UASB

En la actualidad existe el uso extendido de los reactores anaerobios UASB y sus modificaciones a nivel mundial, conocidos también como **reactor anaerobio** de **manto de lodos de flujo ascendente**, ó flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, en español RAFA o PAMLA, conocido en inglés como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), ver Fig. 5.5; que al ser incorporados en un proyecto de ampliación de la PTAR de Totorá, tendría las ventajas climáticas locales de la planta, con la posibilidad de una generación controlada y estable del biogás, además de las altas conversiones en la generación del metano, éstos equipos presentan la captura incorporada y la canalización del biogás para su uso posterior



Figura 5.5 Instalación de reactores anaerobios UASB para PTARs.

Los reactores UASB tienen la ventaja de que requieren espacios de instalación más reducidos, tienen bajo tiempo de retención hidráulica, mejoran el contacto de fases entre el lodo y el sustrato, son de operación continua y estable, requieren menor volumen del reactor y presentan mayor eficiencia y conversión en la degradación de materia orgánica y generación de biogás, para poder acoplarse a los sistemas de cogeneración de

energía, con equipos reactores como las que se aprecian en la Fig. 5.5; en

contraparte, exigen un control adecuado de temperatura, pH, afluente estabilizado, nutrientes, supervisión de los inóculos y carga microbiana para un buen desarrollo metanogénico, complementado con un sistema de control y automatización.

2. Antorcha de quemado directo del biogás

En las condiciones actuales de operación de la PTAR de Totorá, puede ser práctico implementar como una alternativa básica la posibilidad del cierre de los canales de ventilación de los tanques Imhoff para la captura del biogás y su canalización hacia una antorcha de quemado, como se ve en la Fig. 5.4; tal que la combustión del metano reduce el impacto ambiental de éste como gas de efecto invernadero a cambio de descargarse directamente al aire.

El quemado directo del biogás generado en los tanques Imhoff en una TEA aportaría significativamente a la disminución del efecto invernadero y calentamiento global de nuestro sistema, ya que la combustión de cada unidad de metano reduciría al menos en 9,1 veces del potencial de calentamiento a cambio de su emisión directa al aire, determinado con respecto a los niveles de dióxido de carbono liberado como producto por la combustión completa del metano contenido en el biogás, cuya interpretación estequiométrica es:



PM=16

PM=44

1 kg CH₄

2,75 kg CO₂

25 kg CO₂-eq

2,75 kg CO₂-eq

Reducción de emisión: (25/2,75) = 9,1

3. Aprovechamiento energético con cogeneración

Teniendo como referencia el manejo y gestión actual del biogás en diversas plantas del mundo con aprovechamiento energético, la alternativa sostenible con respecto a las actuales emisiones de biogás en los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá es la captura total, canalización y tratamiento

del biogás para su aprovechamiento energético a través de un sistema de

cogeneración CHP y su integración energética en la planta, que confiere beneficios económicos y ambientales.

Inclusive, con el propósito de maximizar la generación metanogénica del biogás al interior de las cámaras de digestión de los tanques Imhoff, y si fuera posible proyectar la digestión y estabilización anaeróbica de los lodos descargados para la generación adicional de biogás, se recomienda controlar y mejorar la eficiencia operativa de la biodigestión anaeróbica de los tanques a través del monitoreo de:

- Caudal uniforme del material afluente al biodigestor.
- Control del contenido de DBO_5 y DQO.
- Temperatura adecuada (existen aplicaciones termofílicas)
- Regulación del valor del pH
- Concentración de nutrientes.
- Contenido de acidez y relación de carbono/nitrógeno.
- Tiempo de retención
- Agitación y contacto sólido – líquido – gas
- Contenido de lodos y retiro apropiado
- Actividad y calidad de los inóculos
- Metales pesados
- Sustancias tóxicas e inhibitoras para la carga microbiana y los procesos metanogénicos
- Producción y calidad de biogás (contenido CH_4 , CO_2 y H_2S).

El biogás es bastante similar al gas natural en lo que respecta su composición, luego sus propiedades también son relativamente similares, variando proporcionalmente de acuerdo al contenido de metano en el biogás; luego, como la mayor aplicación del biogás es su uso como combustible gaseoso en procesos de generación de calor o combinados de calor y electricidad, es importante conocer sus características energéticas; en el caso del gas natural la combustión será posible cuando exista una proporción de mezcla adecuada entre el gas combustible y el aire (oxígeno) en presencia de una fuente de ignición, tal que, los límites de explosividad para la mezcla de gas natural y aire comprenden entre el 4,5 % (LIE) al 14,5 % (LSE) de gas combustible con aire, siendo técnicamente apropiado la combustión de una mezcla de 10 % de gas natural con 90 % de aire.

5.2.4 Cogeneración a partir del metano emitido

Son instalaciones que permiten la conversión de la energía química contenida en el hidrocarburo metano en energía eléctrica y calor, para autoabastecer el requerimiento energético de la planta. Para cuantificar la cantidad de energía asociada al biogás emitido por los tanques Imhoff, debe disponerse con la información del poder calorífico o energía disponible por cada unidad de gas metano combustible, dato técnico que se presenta en la Tabla 5.3, convertidas a unidades compatibles para su evaluación.

Tabla 5.3 Poder calorífico del gas metano puro (Pérez & Martínez, 1995: GPSA-80)

Combustible	Fórmula	Peso Molecular	Poder Calorífico	
			Inferior (Neto)	Superior (Bruto)
Metano	CH ₄	16,04	33,936 MJ/Nm ³ (*)	37,694 MJ/Nm ³
			9,43 kW.h/Nm ³	10,47 kW.h/Nm ³
			13,90 kW.h/kg	15,43 kW.h/kg

(*) Valores normalizados a 15 °C y 1 atm (1 Nm³ es 1 m³ en condiciones normalizadas)

El poder calorífico de un combustible se expresa en unidades de energía (cal, J, kW.h, etc.) por unidad de masa del combustible (kg, lb, etc.) y en otros casos por unidad volumétrica del combustible (Nm³, L, gal, etc.); cuando se trata de gases es común la expresión volumétrica normal o normalizada (N), que para el caso del gas natural y similares de acuerdo a NORMA ISO 134443 la referencia es a la temperatura de 15 °C y a la presión de 1 atm; por lo tanto en 1 Nm³ de metano se tienen 0,6784 kg de metano, incorporada en la conversión de unidades en los datos de la Tabla 5.3; por lo tanto, para propósitos de generación de energía eléctrica, se tendría un poder calorífico volumétrico inferior de 9,43 kW.h/Nm³ y superior de 10,47 kW.h/Nm³ de metano, o también como poder calorífico másico inferior de 13,90 kW.h/kg y superior de 15,43 kW.h/kg de metano puro.

presente trabajo están referidos sobre la base del poder calorífico inferior del metano conocido también como el valor calorífico neto.

La cogeneración CHP es el proceso mediante el cual se genera electricidad y calor simultáneamente a partir de un combustible, en éste caso metano, para lo cual se utiliza motores de combustión o micro turbinas en conjunto con los generadores eléctricos o turbogeneradores; en la Fig. 5.6 se presenta las diferencias de eficiencia de conversión entre la generación convencional y el sistema CHP.

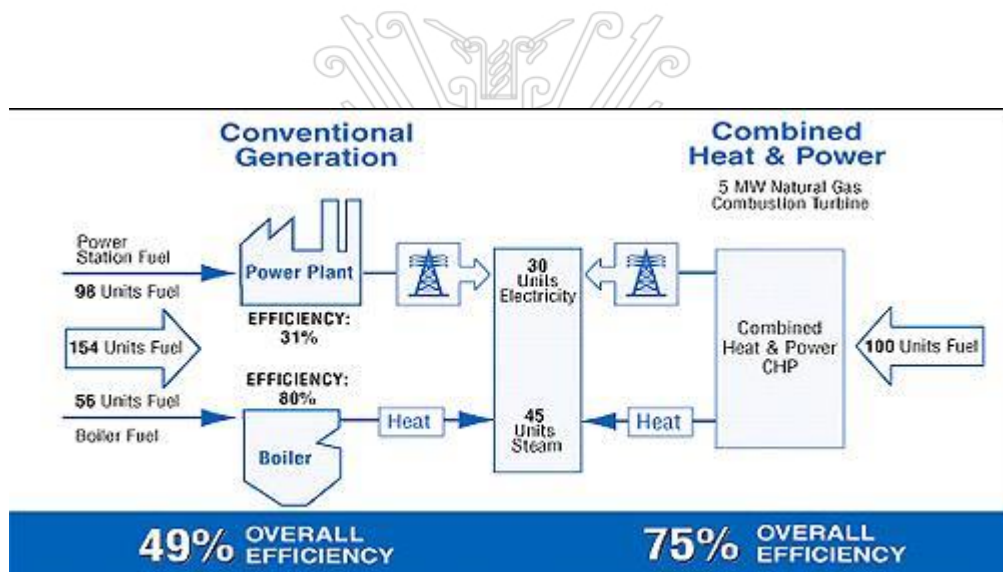


Figura 5.6 Eficiencia en los sistemas de ciclo combinado de potencia y calor (<http://todoproductividad.blogspot.pe>)

Es práctico considerar la eficiencia media eléctrica en 30 % y la eficiencia media térmica en 45 % para sistemas CHP (cifras relativamente conservadoras), que pueden variar de acuerdo al motor de combustión o micro turbina utilizada en el proceso; luego se puede construir la secuencia de conversión energética a través del método CHP, que se presenta en la Fig. 5.7, sobre la base de una unidad de metano puro (1 kg) usado como combustible a partir del biogás, para la producción de electricidad y calor; la energía térmica se puede utilizar para calentar el biodigestor u otros requerimientos del proceso, y la electricidad se integra a la red de distribución de la planta.

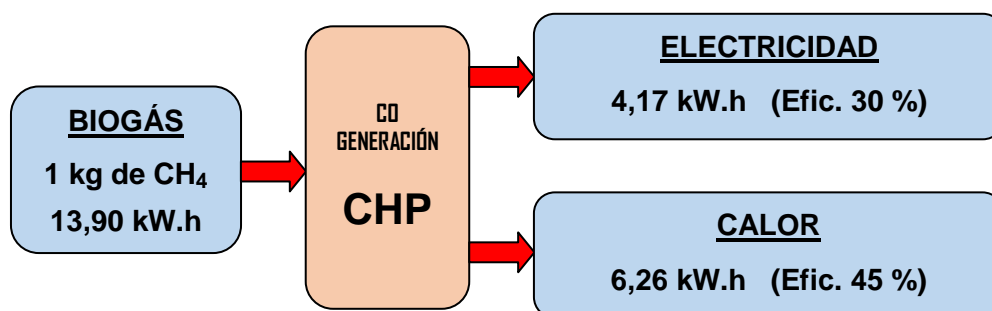


Figura 5.7 Conversión energética obtenida a partir de 1 kg de metano neto contenido en el biogás utilizando el sistema CHP.

Teniendo en cuenta los valores del metano emitido desde los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá presentados en las Tablas 5.1 y 5.2, considerando las eficiencias medias sistematizadas en la Fig. 5.7, se calcula la energía eléctrica y térmica anual que podrá obtenerse en el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generados actualmente en la planta, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.4, determinados en el escenario de máxima producción de acuerdo al IPCC y los registros realizados en planta.

Tabla 5.4 Energía eléctrica y térmica anual obtenida a partir del biogás emitido en la PTAR de Totorá.

Descripción	Unidad	Energía obtenida del biogás	
		IPCC (máx)	Registro experimental
Et (Emisión anual de metano, Ref. Tabla 5.1 y 5.2)	t de CH ₄ /año	1149,13	19,55
Energía total emitida por el metano del biogás	MW.h/año	15 972,95	271,77
Cogeneración CHP			
1) Electricidad (30 %)	MW.h/año	4 791,89	81,53
2) Calor (45 %)	MW.h/año	7 187,83	122,30

De acuerdo al registro experimental, en el estado de operación actual de los seis tanques Imhoff, se puede obtener al año **81,53 MW.h de energía eléctrica**, la cual podría incrementarse significativamente al operar los tanques Imhoff en estado completamente anaeróbica y con biodegradación controlada hasta unos **4791,89 MW.h de energía eléctrica**, que es la máxima estimada de acuerdo a las directrices del IPCC, con una potencia de 550 kW, niveles de

energía que tranquilamente autoabastecerían los requerimientos eléctricos de la operación y control de los tanques Imhoff así como de sus instalaciones complementarias para el proyecto de captura y aprovechamiento del biogás; en vista que, el consumo de energía eléctrica de algunas PTARs van en el orden de 0,5 a 0,7 kW.h/m³ de aguas residuales procesadas, este aprovechamiento energético podría atender los requerimientos eléctricos para el funcionamiento de los diversos equipos y maquinaria instalados para dicho fin. De los resultados de la Tabla 5.4 se tiene adicionalmente la disponibilidad de energía térmica para el calentamiento del biodigestor anaeróbico y otros usos, que permite mejorar la eficiencia de producción de metano con un buen control de temperatura, desarrollando una relación de energía térmica/electricidad de 1,5

Además del autoabastecimiento de energía en la PTAR, se tiene la gran ventaja ambiental de mitigar significativamente la emisión del gas metano como gas de efecto invernadero, con altas posibilidades de gestionar y generar los **bonos de carbono** o **certificados de reducción de emisiones** (CER's) que pueden negociarse con interesados (Stakeholders) en el marco de los proyectos de **Mecanismo de Desarrollo Limpio** (MDL) establecidos en el Protocolo de Kyoto para gases de efecto invernadero (GEI).

5.2.5 Propuesta del proceso de aprovechamiento energético del biogás

El biogás emitido a partir de los tanques Imhoff así como de cualquier otro biodigestor anaeróbico tienen algunas propiedades especiales, como son la presencia de gases ácidos conformados principalmente por el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el dióxido de carbono (CO₂), que son agentes corrosivos que dañan instalaciones metálicas y equipos de línea, adquiriendo mayor agresividad con la presencia del vapor de agua de acuerdo a la humedad del biogás; por lo tanto, es recomendable que el biogás sea sometido a un proceso de pretratamiento y acondicionamiento para su transporte y aplicación posterior en el sistema de cogeneración CHP.

Para los fines del proceso de tratamiento y acondicionamiento del biogás, previa a la cogeneración, se hace necesario definir y formular el proceso de acuerdo a las operaciones unitarias recomendables para la captura y aprovechamiento del biogás emitido desde los tanques Imhoff de la PTAR de

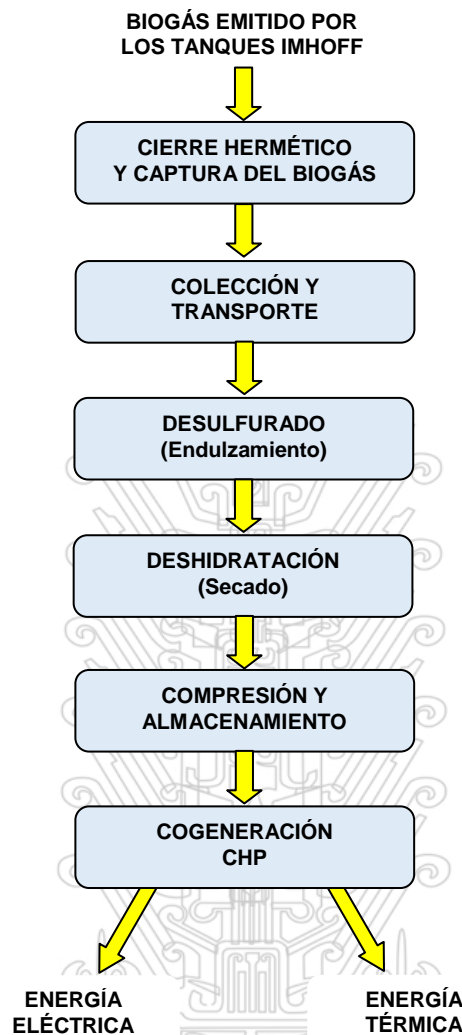


Figura 5.8 Diagrama de bloques para la captura, tratamiento previo y aprovechamiento energético del biogás.

A continuación se describen brevemente aspectos técnicos de cada etapa que aporten al proyecto de diseño para el uso y aprovechamiento energético del biogás emitido por los tanques Imhoff:

Cierre hermético y captura del biogás

Los canales de ventilación, natas o venteo del biogás de los tanques Imhoff, son estructuras rectangulares de concreto, como se ve en la Fig. 4.51, conformado por 8 canales de 1 m de ancho y 15 m de longitud para cada uno de los tanques Imhoff 3 al 6 como se indica en la Fig. 4.14, algo similares en el

caso de los tanques Imhoff 1 y 2; cuya profundidad del borde de concreto al nivel de líquido del canal es aproximadamente 75 cm; por lo tanto, constituyen

naturalmente una cámara de recolección del biogás, que burbujan permanentemente en las superficies líquidas de dichos canales, existiendo las alternativas de cierre de dichos canales con:

- Polietileno de alta densidad, con estructura simple adosada a la orilla del canal rectangular y con cierre hermético (Fig. 5.9)
- Estructura metálica con lámina de acero inoxidable, soportado en una estructura liviana tipo drywall y con cierre hermético.
- Loza de concreto liviano.

El proyecto de cierre del canal de ventilación debe prever la estrategia de limpieza y mantenimiento periódico de las natas superficiales a través de escotillas herméticas, a fin de evitar el supuesto caso de colmatación crítica del canal de ventilación, como se ve en la Fig. 4.50, estado que afectaría considerablemente la emisión de biogás e imposibilitarían el retiro de material desde el interior del canal de ventilación cerrado. Con respecto a las alternativas de cierre, indiscutiblemente existen diferencias técnicas y económicas que deberán analizarse en un estudio definitivo para su selección e instalación.



Figura 5.9 Cierre hermético de un biodigestor anaeróbico con cubierta flexible de AQFlex (Aqua Limpia Engineering)

Colección y Transporte

Conjuntamente con el sistema de cierre hermético, se debe realizar las conexiones de la red de tuberías de colección de biogás, que pueden ser de PVC, polietileno de alta densidad o polipropileno, que resistan la corrosión; pueden ser de 3 a 4 pulg, que deben recoger el biogás generado de todos los canales de ventilación de los tanques Imhoff hacia la estación de pretratamiento y compresión. Las tuberías de conducción de biogás deben ser de color amarillo, en algunos tramos deben incorporar trampas de agua condensada y válvulas de alivio actuados por sobrepresión, para proteger las líneas de colección.

Desulfurado o endulzamiento

El biogás siempre contiene sulfuro de hidrógeno, que a pesar de sus bajas concentraciones en ppm son bastante corrosivos, dañando las estructuras metálicas y equipos (compresora, moto generadora, turbinas, etc.), además de ser irritante y tóxico, le confieren el mal olor al biogás; el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono, denominados como gases ácidos, pueden ser removidos a través de equipos de desulfurado instalados en la estación de pretratamiento, basados en los siguientes métodos (Ortega et. al., 2015):

- Absorción de gases, que utiliza compuestos líquidos inorgánicos y orgánicos para la solubilización y absorción del gas ácido, que puede ser de naturaleza física o con reacción química, como es el uso de soluciones acuosas alcalinizadas, lechos con óxido de hierro, soluciones de aminas y glicol aminas, solventes comerciales (Towsend, Purox, etc), que operan en columnas de contacto para el proceso absorbivo.
- Adsorción sobre adsorbentes sólidos, basados en la retención superficial de los gases ácidos (adsorbato) sobre la superficie activada de un sólido (adsorbente) como son las alúminas, sílicagel, carbón activado y tamices moleculares, que pueden ser reversibles para la regeneración del adsorbente, en otros casos ocurre la quimisorción especialmente cuando contienen óxido de hierro (II) u óxido de zinc.
- Degradación biológica, que utiliza microorganismos para reducir el sulfuro de hidrógeno, operan en biorreactores de biodesulfuración en

forma de lechos inmobilizados o suspensiones, conocidos como biofiltros en algunos casos.

- Filtración por membranas selectivas, basadas en la filtración difusiva, constituida por polímeros orgánicos porosos como son la poliamida y el acetato de celulosa.

Deshidratación o secado

El biogás liberado del tanque Imhoff se encuentra prácticamente saturado con vapor de agua, pudiendo condensar parte en las tuberías de colección, por la cual se recomendaban la trampas de agua líquida; sin embargo, los niveles de humedad del biogás son relativamente altas y no favorables para una buena eficiencia en los sistemas de cogeneración, recomendándose la deshidratación o secado previo, para lo cual se tienen las siguientes alternativas:

- Absorción de gases, utilizando absorbentes líquidos como son los etilenglicoles.
- Adsorción deshidratante, utilizando lechos de alúmina o sílicagel, o por adsorción reactiva sobre óxidos de calcio, cloruro de calcio.
- Tamices moleculares para deshidratación.
- Deshumidificación del gas por enfriamiento y compresión mecánica.

Compresión y almacenamiento

El biogás tratado o biometano que llega a la compresora puede estar alrededor de 1 bar, las compresoras pueden operar en una, dos y hasta tres etapas de compresión, de acuerdo a los requerimientos para su almacenamiento y atención permanente hacia el sistema de cogeneración, el compresor aumenta la presión hasta 12, 20, 30, 50 o 70 bares, con caudales que van desde unos 5 a 12000 Nm³/h, de acuerdo a su potencia. Complementariamente, para el transporte a baja presión como ocurre en las tuberías colectoras se pueden instalar los sopladores de biogás, equipos que se aprecian en la Fig. 5.10.

Cuando el proceso no es perfectamente estacionario, como ocurre en la PTAR de Totorá, donde la emisión de biogás puede variar de acuerdo a la estacionalidad y otros factores, es recomendable la instalación de un tanque de almacenamiento y amortiguamiento que permita el suministro uniforme del

biogás tratado hacia el sistema de cogeneración. Los equipos de almacenamiento pueden ser de volumen variable para bajas presiones como son los diversos tipos de gasómetros con membranas flexibles o los de volumen fijo como son los tanques (cilíndricos y mayormente esféricos) que reciben el biogás desde la unidad de compresión.



Figura 5.10 Sopladoras y compresoras de una etapa para biogás (Aqua Limpia Engineering).

Cogeneración CHP

El biogás procedente del sistema de almacenamiento se transporta hacia el sistema de cogeneración, que comprenden un motor de combustión interna con gas, turbina a gas o microturbinas, un generador trifásico y equipos de transferencia de calor integrados, que hacen uso de la energía química del hidrocarburo metano, para convertir en energía mecánica que acciona el alternador generando finalmente energía eléctrica; por otra parte, la energía térmica se obtiene de la refrigeración del sistema motoro y por el aprovechamiento del calor liberado en los gases de escape del motor del sistema de cogeneración CHP, cogeneracion que se esquematiza en la Fig. 5.11; algunos aspectos técnicos y ventajas de la cogeneración son:

- Generación de energía eléctrica: usa motores de combustión interna de unos 800 kW a 3 MW por motor, para unos 300 1100 ft³/min de biogás; turbinas a gas de 1 a 10 MW por turbina, para flujos mayores a unos 4000 ft³/min; microturbinas de 30 a 250 kW por turbina, para unos 20 a 200 ft³/min de biogás.
- Aprovechamiento térmico, para calderos, calentadores, secadores, invernaderos, evaporadores de lixiviados, calentamiento de

biorreactores, climatización y otros usos térmicos que podría requerirse en la PTAR.

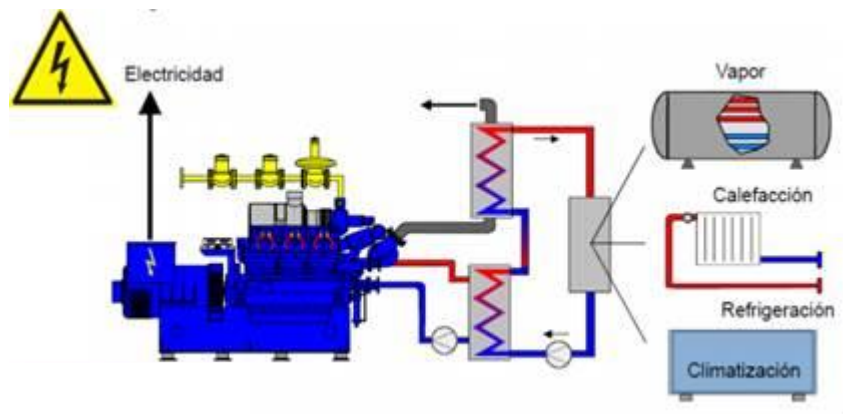


Figura 5.11 Esquema del generador de energía eléctrica con aprovechamiento térmico.

Por lo tanto, luego de realizar la formulación del sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano a través de un sistema de cogeneración desarrollado al entorno del segundo objetivo, cuya hipótesis sustantiva específica dice:

La formulación de un sistema de aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado actualmente en la PTAR de Totorá viabilizaría su integración energética en la planta.

Se reconoce dicha hipótesis, en vista que la actual emisión del biogás generado por los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá alcanzan niveles observados de **271,77 MW.h/año de energía total emitida en función al metano asociado al biogás**, pudiendo alcanzar hasta valores máximos de 15 972,95 MW.h/año de acuerdo a las directrices del IPCC, que constituye un gran valor agregado al biogás emitido actualmente, **cuyo aprovechamiento energético se integraría a la planta con beneficios económicos y ambientales**, a cambio de su descarga directa al aire constituyendo una contaminación atmosférica continua, o en el caso de un proyecto básico que considere la quema directa del biogás en una antorcha.

Con la formulación de un sistema de cogeneración de energía a partir del biometano se sostiene la **generación simultánea de energía eléctrica de por lo menos 81,53 MW.h/año** con un máximo probable de 4791,89 MW.h/año y **de energía térmica de por lo menos 122,30 MW.h/año** con un máximo de 7187,83 MW.h/año en una operación controlada y eficiente de los tanques Imhoff como biorreactores anaeróbicos perfectos, resultados que se expresan en la Tabla 5.4; éstos resultados de la evaluación energética del biogás permite admitir la hipótesis de que el sistema de aprovechamiento energético del biogás viabilizará indiscutiblemente la integración energética de la PTAR de Totorá, aportando energía eléctrica y térmica para atender los servicios energéticos de la planta.

En vista que el aprovechamiento energético de la energía primaria del metano de la PTAR de Totorá a través de la cogeneración CHP, reduce considerablemente las emisiones de GEI para preservar el ambiente, en acorde a las Normas y Etiquetado de Eficiencia Energética en el Perú, es pertinente la gestión correspondiente a fin de obtener la **etiqueta de eficiencia energética** de “**los más eficientes: A, B o C**” en la clasificación de los niveles de eficiencia en el Perú (INACAL)

5.3 SISTEMA DE GESTIÓN PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE

El tercer problema específico está vinculado con el desarrollo del sistema de gestión que permita mitigar la actual contaminación del aire por la emisión de metano por parte de la PTAR de Totorá, razón por la cual se ha formulado el tercer objetivo específico siguiente:

Desarrollar el sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado por los biodigestores anaeróbicos Imhoff de la PTAR Totorá y los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.

Puesto que, los seis tanques Imhoff generan biogás y se descargan directamente al aire, en cantidades determinadas en el ítem 5.1, es imprescindible desarrollar el sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire debido a la emisión de metano, por ser éste un gas de efecto invernadero,

recordando que el aprovechamiento energético formulado para el metano emitido a través del sistema de cogeneración CHP propuesto en el ítem 5.2, constituye en sí parte esencial del sistema de gestión de la mitigación, que beneficia ambientalmente a la ciudad de Ayacucho, así como a la región, además aporta a la reducción de la tasa nacional de emisión de gases de efecto invernadero, beneficiando inclusive a la mitigación del calentamiento global y cambio climático que tanto afecta a nuestro planeta.

Con respecto a los **Sistemas de Gestión Ambiental** (SGA), definidas como una herramienta de gestión estructurada, por la cual una empresa, institución o entidad expresa las políticas ambientales y el compromiso de modificación continua de la estructura organizacional, planeamiento, responsabilidades programáticas, buenas prácticas de manejo, procedimientos, manejo de recursos y diversos procesos enfocados a la conservación, defensa y protección del ambiente, con intervención multi y transdisciplinar, con permanente participación ciudadana, salvaguardando la calidad de vida humana y el patrimonio natural; son de implementación necesaria para cualquier empresa o institución, en el marco de los protocolos internacionales, políticas y normas ambientales de orden nacional, regional y local.

Por las razones expuestas, debería implementarse el SGA para la PTAR de Totorá en Ayacucho como un proyecto y diseño de un sistema de gestión integrado, involucrando su actual estructura organizacional, el proceso completo de tratamiento de aguas residuales en la planta, el manejo y control de los diversos efluentes y las políticas ambientales que permitan mitigar los impactos ambientales y buscar la gestión de la calidad del aire entre otros, considerando que la evaluación del metano emitido por los tanques Imhoff y la gestión para la mejora de la calidad del aire constituyen una fracción de la problemática integral de toda la planta.

En éste contexto, el presente trabajo propone desarrollar el sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire en manera particular, como una respuesta a la emisión y descarga directa hacia la atmósfera del biogás generado en los tanques Imhoff, sobre la base de la formulación del aprovechamiento energético del metano ya planteado, a fin de perfilar y aportar a los beneficios ambientales para la ciudad de Ayacucho, la región y obviamente el país.

5.3.1 Diagnóstico general en la operación de la PTAR de Totorá

En respuesta a la observación integral de la operación y funcionamiento de la PTAR de Totorá, de la cual forman parte la operación de los tanques Imhoff que liberan biogás, descritos a detalle en el ítem 4.1, se considera pertinente alcanzar el diagnóstico general del actual funcionamiento de la PTAR de Totorá en lo referente a ciertos puntos críticos, con la finalidad de complementar y aportar a la implementación futura del proyecto y diseño de un sistema de gestión ambiental integrado que debería elaborar la entidad y la PTAR, que son las siguientes:

- Asignación de un plantel de personal técnico y profesional en acorde a las actividades de la planta, observándose de forma crítica la falta del profesional de laboratorio que permita realizar las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas permanentes en las diversas etapas del tratamiento de aguas residuales de la planta; que son muy diferentes a las evaluaciones mensuales de los parámetros básicos requeridos según el D.S. N° 003-2010-MINAM.
- Suministro sostenible de materiales, insumos, reactivos, accesorios, repuestos y demás instrumentos logísticos, que garanticen la operación y supervisión eficiente del proceso de tratamiento de aguas residuales.
- Elaboración y cumplimiento de un programa de control y mantenimiento de los diversos equipos y etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales, tales como el mantenimiento eléctrico de las máquinas de limpieza Huber, del transportador de tornillo para residuos sólidos, del medidor de caudal de ultrasonido, entre otros, así como la supervisión y limpieza de los canales de ventilación colmatados con natas y tortas de los tanques Imhoff, retiro programado de los lodos para el secado.
- Control y monitoreo de las emisiones de la planta, como gases, líquidos y sólidos residuales, con una apropiada caracterización y disposición final, a fin de mitigar la contaminación ambiental; tal es el caso de la emisión de metano en el biogás, que no sólo se da desde los tanques Imhoff, sino también en las canchas de secado de lodos y probablemente algunas lagunas, en las cuales se observan burbujeos permanentes.

- Evaluar modificaciones o procesos adicionales al circuito actual de tratamiento de aguas residuales, como la biodegradación y estabilización anaeróbica complementaria de los lodos provenientes de los tanques Imhoff, que incrementarían la eficiencia de generación del biometano y aprovechamiento energético en la planta; además, podría manejarse la alternativa de la producción de abonos y residuos orgánicos estabilizados y controlados para su aplicación en la agricultura. En el caso de las lagunas deberían evaluarse el tratamiento y control de algas que reducen la acción aeróbica en la superficie, con posibles sistemas de aireación mecanizada para una biodigestión totalmente aeróbica.
- Considerar la ingeniería del proceso de tratamiento de aguas residuales con sistemas de instrumentación, control y algún nivel de automatización de la planta, a fin de mejorar la eficiencia de degradación de la materia orgánica, reducción de contaminantes y cumplimiento de los estándares de calidad ambiental, reduciendo las notables fluctuaciones de los diversos parámetros de planta, que permitan la mejora en la eficiencia de la biogeneración de energía, para una operación sostenible.
- Aprovechamiento de la energía solar y eólica en las instalaciones de la PTAR, dado que los niveles de radiación solar son intensos durante gran parte del año así como los vientos, encargados de la ventilación natural de la superficie de las aguas en lagunas y tanques Imhoff, desde las cuales acarrear permanentemente los malos olores a las poblaciones aledañas a la planta, llegando ocasionalmente hasta las poblaciones del distrito de Jesús Nazareno y Ayacucho.
- Desarrollar un sistema de control de insectos, puesto que alrededor de la gran superficie de aguas residuales y de residuos sólidos extendidos en diversas partes de la planta, proliferan una gran cantidad de insectos, principalmente moscas y mosquitos, que afectan a la población cercana.
- Intensificar y fomentar la forestación y extensión de áreas verdes al interior de las instalaciones de la planta y al exterior; a fin de promover la captura y almacenamiento del carbono en compensación a la emisión

de los gases de efecto invernadero que se emiten en todo el proceso de tratamiento de aguas residuales.

5.3.2 Sistemas de Gestión Ambiental

Los sistemas de gestión ambiental (SGA) más representativos y aplicables para diversas empresas e instituciones que permitan generar compromiso ambiental a través de un sistema de gestión para hacer efectivo la protección del medio ambiente con propósitos de certificación en la Comunidad Europea y el mundo son (Tolosa, 2007):

- EMAS, Eco-Management and Audit Scheme, Sistema de Gestión y Auditoría Ambiental, mayormente aplicado en la comunidad europea
- Normas ISO 14001, de la familia de los ISO 14000.

1. Normas EMAS: Eco-Management and Audit Scheme

Es el Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría, normativa voluntaria de la Unión Europea, creada el año 1993, actualizado el 2009 y con plena aplicación para cualquier empresa u organización que requiera declarar su gestión ambiental, que se extienden inclusive a organizaciones no europeas. Las normas EMAS también hacen referencia a las normas ISO en su proceso de implementación y son una herramienta disponible para que una organización establezca fundamentalmente el hecho de:

- Asumir la responsabilidad ambiental y económica,
- Mejorar su comportamiento ambiental,
- Comunicar sus resultados a la comunidad

El beneficio de la implementación del EMAS es ayudar a mejorar la eficiencia de uso de recursos, ahorro de energía, reducción de riesgos, implementación de buenas prácticas, comunicación y servicio a la comunidad, que conllevan a un beneficio social, económico y ambiental; la implementación del EMAS fundamentalmente implica los siguientes pasos (Generalitat de Catalunya, <http://territori.gencat.cat/ca/inici/>):

1. Procedimiento general de implementación
2. Análisis ambiental
3. Sistema de gestión ambiental
4. Declaración ambiental

5. Verificación y validación
6. Registro
7. Utilización del logotipo del EMAS

En la siguiente Fig. 5.12 se presenta el esquema básico de las etapas consolidadas para la implementación de la norma EMAS.

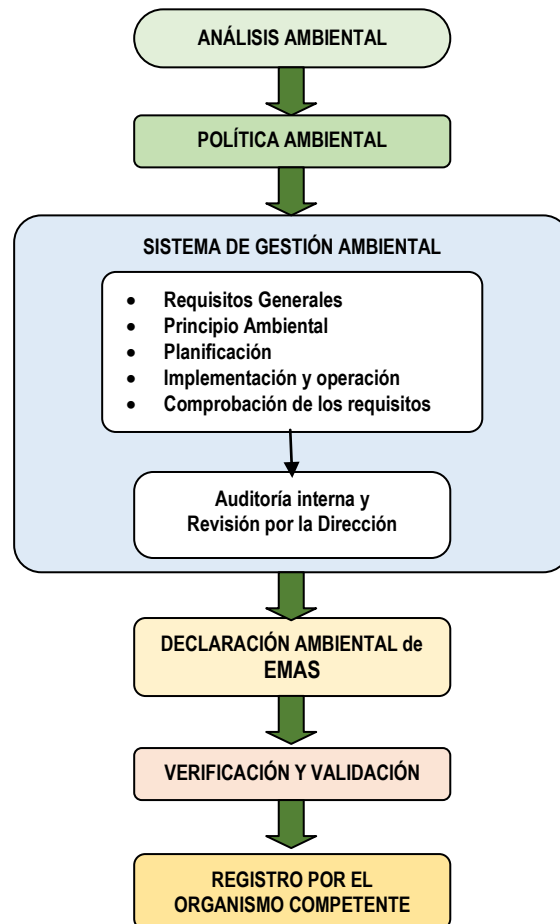


Figura 5.12 Etapas para la implementación de la norma EMAS.

2. Normas ISO

La Organización Internacional de Normalización (***International Organization for Standardization***), conocida mundialmente por las siglas invariables de ISO, es una organización para la creación de estándares internacionales; fundada el año de 1947 con sede en Ginebra-Suiza, promueve el uso de estándares internacionales de fabricación, comercio y comunicación, gestión ambiental entre otras para diversas entidades a nivel

mundial. Está constituida por una red de miembros y colaboradores de diversos países, del cual también participa el Perú, desarrollando y poniendo a disposición las normas ISO que son de aplicación voluntaria, pero que van siendo instrumentadas en cada país para su mejor organización, producción con eficiencia, estandarización para fines comerciales a nivel internacional y fundamentalmente con compromiso de protección ambiental. ISO ha publicado a la fecha más de 21600 Normas Internacionales y documentos relacionados, que abarcan casi todas las industrias, desde la tecnología hasta la seguridad alimentaria, la agricultura y la sanidad, medio ambiente y otras (ISO, <https://www.iso.org/home.html>).

Con respecto a las **normas ISO 14000**, vinculadas con los sistemas de gestión ambiental, implementada en la década de los 90 en respuesta a la necesidad de enfrentar los problemas ambientales de manera uniforme en el contexto internacional, en el marco de la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro (1992), ISO formula las normas ISO 14000 (1996), que en esencia no fijan ni obligan legalmente metas ambientales ni de procesos específicos para las entidades así como tampoco se involucran en el ejercicio ambiental mundial; sino que, establecen herramientas y sistemas enfocadas a mejorar los procesos de producción al interior de una empresa u organización, orientadas a mejorar el ambiente con el control de los impactos y externalidades que de estos deriven.

La norma ISO 14000 implica un conjunto de documentos de gestión ambiental que aportan a la gestión de una organización en sus responsabilidades ambientales y ayuda a tratar sistemáticamente asuntos ambientales, con el fin de mejorar el comportamiento ambiental y las oportunidades de beneficio económico. La familia de las normas ISO 14000 son (ISO, <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>):

- ISO 14001, Sistemas de Gestión Ambiental: Especificaciones y directivas para su uso, con última versión publicada el 2015.
- ISO 14004, Sistemas de Gestión Ambiental: Directivas generales sobre principios, sistemas y técnica de apoyo.
- ISO 14010, Auditorías Ambientales: Principios generales, modificadas con la ISO 19011.
- ISO 14011, Auditorías Ambientales: Procedimientos de auditorías, modificada con la ISO 19011.

- ISO 14012, Auditorias de Sistemas de Gestión Ambiental: Criterios para certificación de auditores.
- ISO 14013, Guías de consulta para la revisión de la certificación ambiental.
- ISO 14014, Guía para la revisión inicial a todos los SGA.
- ISO 14015, Guía para la evaluación del emplazamiento medioambiental.
- ISO 14031, Evaluación del desempeño ambiental: Lineamientos.
- ISO 14032, Evaluación del desempeño ambiental: Ejemplos de Evaluación de Desempeño Ambiental.
- ISO 14040, Análisis del ciclo de vida: Principios y marco general.
- ISO 14041, Análisis del ciclo de vida: Definición del objetivo y ámbito y análisis del inventario.
- ISO 14042, Análisis del ciclo de vida: Evaluación del impacto del Ciclo de vida.
- ISO 14043, Análisis del ciclo de vida: Interpretación del ciclo de vida.
- ISO 14047, Análisis del ciclo de vida: Ejemplos de la aplicación de iso14042.
- ISO 14048, Análisis del ciclo de vida: Formato de documentación de datos del análisis.
- ISO 14020, Etiquetas ambientales: Principios generales (Tipo II:14021, Tipo I: 14021 y Tipo III 14025)
- ISO 14050, Terminología.
- ISO 14060, Guía para la inclusión de aspectos ambientales en los estándares de productos realizados por la organización.

La norma ISO 14001 proporciona la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental, permitiendo que organizaciones de cualquier índole puedan formular procedimientos operacionales para controlar los impactos que provocan sus actividades en el medio ambiente, ya sea reduciendo o incluso eliminando éstos, con relevancia económica, social y ecológica. La ISO 14001 se implementa el año 1996 como una relación entre la entidad, el ambiente y la comunidad en la que opera; luego se publica la ISO 14001:2004 que modifica algunas definiciones e incluye algunas acciones como la auditoría, desempeño ambiental y otros, con resultados medibles por parte de la organización; finalmente en setiembre de 2015 se publica la

norma ISO 14001:2015 caracterizado por la integración con otras normas, que considera la Estructura de Alto Nivel (Anexo SL) sustentado en una estructura común para las normas ISO de SGA, texto común idéntico, con términos y definiciones claves comunes, que aportan beneficios en la integración de sistemas de gestión (ISOTools Excellence, 2015).

3. Norma Técnica Peruana: NTP-ISO 14001 (2015)

Es una norma ISO administrada en el Perú por la Dirección de Normalización – INACAL, sobre Sistemas de Gestión Ambiental: Requisitos con orientación para su uso, equivalente al ISO 14001:2015 Environmental management system. Requirements with guidance for use, documento usado como referencia para desarrollar la propuesta de implementación del Sistema de Gestión Ambiental que permita contribuir al desarrollo sostenible con transparencia y comunicación abierta de la entidad, con compromiso de proteger y salvaguardar el ambiente, bajo el enfoque de planificar, hacer, verificar y actuar con compromiso ambiental.

La norma ISO 14001 (2015) presenta una estructura siguiente:

- 1) Objeto y campo de aplicación
- 2) Referencia normativas
- 3) Términos y definiciones
- 4) Contexto de la organización
- 5) Liderazgo
- 6) Planificación
- 7) Soporte
- 8) Operación
- 9) Evaluación del desarrollo
- 10) Mejora

La norma ISO 14001 se puede aplicar a todos los sectores de la organización, en éste caso la EPS SEDA Ayacucho, del cual forma parte la PTAR de Totorá, que debería ser la política de gestión integrada de la entidad; sin embargo, el análisis y aplicación se va a realizar a un evento específico delimitado a la operación de los seis tanques Imhoff, que forman

parte de todo el circuito de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá.

En los sistemas integrados de gestión se incorporan también otras normas, como son las normas de calidad, ambiente, salud y seguridad ocupacional y seguridad de la información (ISO 9000, OHSAS 18000, BRC, IFS, GlobalGAP, FSSC 22000, etc.), que en conjunto coadyuvan a un uso racional y eficiente de los recursos, aumentando la productividad con mejora de la calidad, considerando la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores y del ambiente, con los propósitos de la estandarización internacional, que permita aspirar a las certificaciones internacionales e incorporación de los ecolabels o etiquetas ambientales.

Finalmente, luego de una revisión técnica de los SGA formulados por las normas EMAS e ISO 14001, se consolida las líneas estratégicas de los Sistemas de Gestión Ambiental como se indica en la Fig. 5.13.

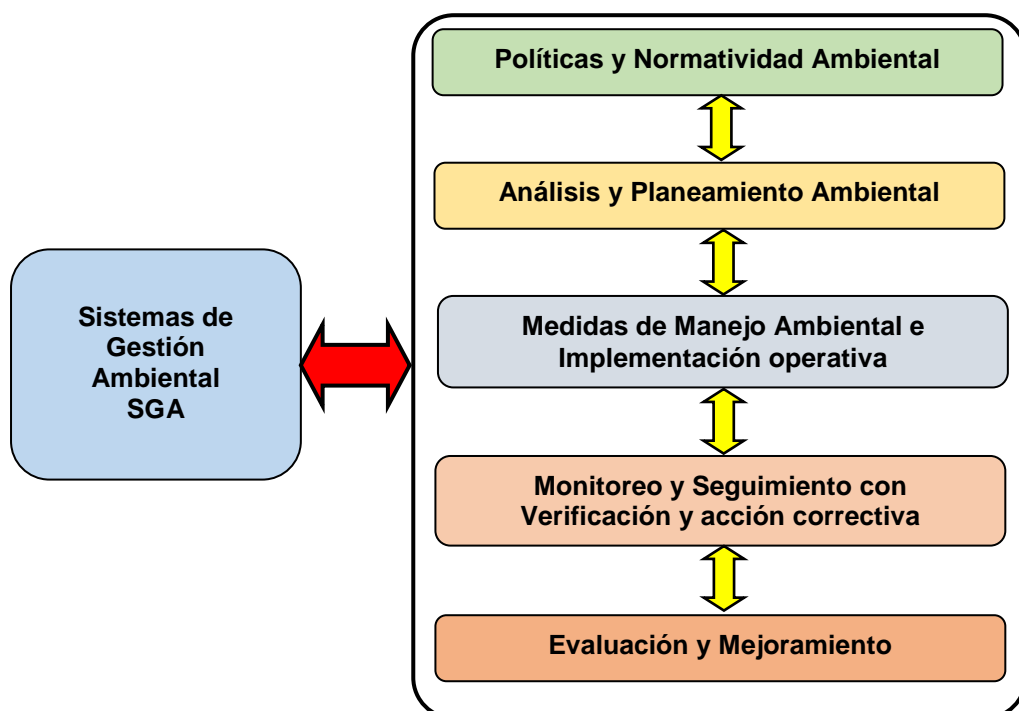


Figura 5.13 Estructura y componentes vitales de un Sistema de Gestión Ambiental.

5.3.3 Lineamientos del SGA al entorno de los tanques Imhoff

Sobre la base de las publicaciones referente a los Sistemas de Gestión Ambiental para una empresa u organización, en el marco de las normas EMAS e ISO indicados, complementado con materiales de implementación como las publicadas por el MIFIC de Nicaragua (<http://www.mific.gob.ni>) y la norma nacional NTP-ISO 14001 (2015), considerando la Ley Marco del Sistema de Nacional de Gestión Ambiental N° 28245 (2004) y el Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (2005) vinculados a los SGA, a continuación se desarrolla una evaluación de los lineamientos del SGA requeridos para la formulación del sistema de gestión de la calidad del aire como una respuesta a la evidente emisión de metano generado en los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá en la ciudad de Ayacucho, las cuales se descargan directamente al aire.

Es necesario volver a esclarecer que, esta propuesta se va a realizar a una “operación unitaria específica” que es el “tratamiento primario de aguas residuales” conformado por los “seis tanques Imhoff” que forman parte de todo el circuito de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá, que constituirá parte de todo el SGA que la entidad deberá formular de manera integrada. A continuación se desarrolla las líneas estrategias del SGA que deben sustentar el sistema de gestión de la calidad del aire, considerando los componentes vitales identificados en la Fig. 5.13.

1) **Definición de compromiso:**

Es una etapa inicial del diagnóstico que permite formular el compromiso ambiental que debe adquirir la entidad con respecto a los impactos ambientales en el estado de operación actual que provocan los seis tanques Imhoff, específicamente en el componente aire, formulado en la Fig. 5.14.

Para que la decisión propuesta tenga la viabilidad y logística de implementación sostenible es necesario que se definan los responsables específicos por parte de la empresa; de acuerdo al organigrama de **EPS SEDA Ayacucho**, debe ser ineludible la participación del Directorio y la Gerencia General de la entidad, que incorpore al representante de la Gerencia Operacional y del Departamento de Tratamiento de Aguas Servidas, con la

conformación adicional del comité y coordinador del Sistema de Gestión Ambiental.

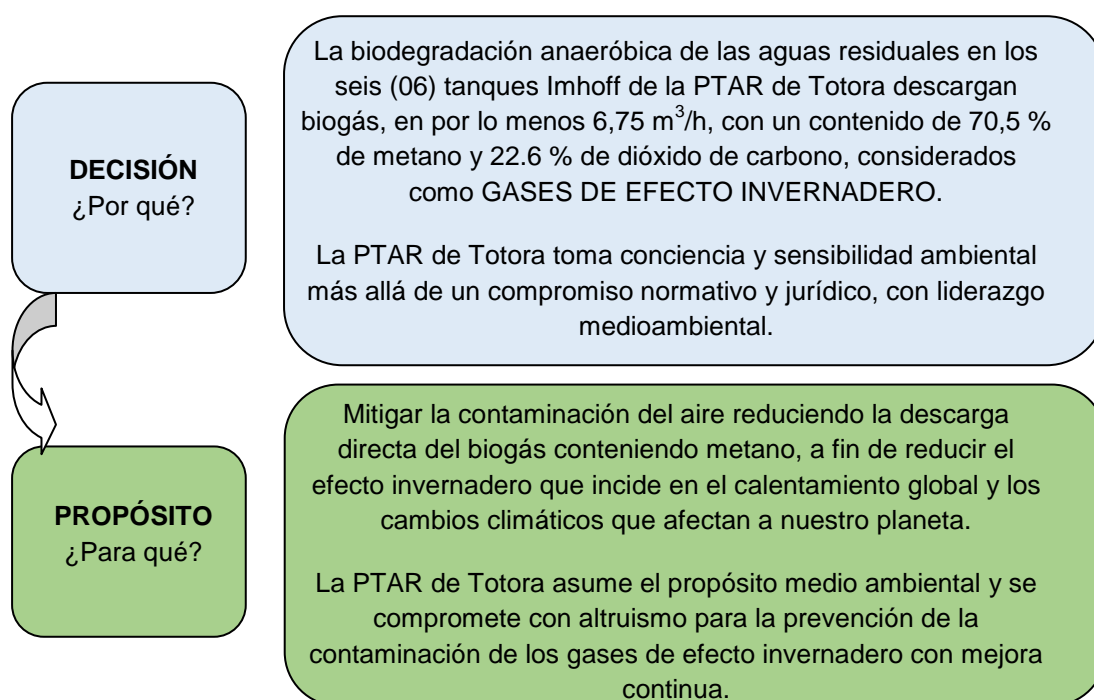


Figura 5.14 Establecimiento del compromiso de la entidad para la gestión ambiental referido a los tanques Imhoff.

Cabe precisar que, en el **Plan Estratégico Institucional EPS SEDA Ayacucho 2016 – 2021** (SEDA, 2016) referido a los fines de la institución se expresa el compromiso de la **Prestación de los servicios de saneamiento como servicios de necesidad y utilidad pública, protegiendo a la salud, la población y el ambiente**, sin embargo, a lo largo del documento no se define de manera explícita las actividades y estrategias institucionales vinculadas con el ambiente, con un sucinto escenario elegido de cambios al 2021 que hace referencia a que la **PTAR cuenta con PAMA en implementación**; debiéndose adquirir mayor compromiso ambiental con actividades específicas, que podrían devenir de un buen diseño en el Sistema de Gestión Ambiental integrado de la entidad.

2) Política y Normatividad Ambiental:

En el ítem 2.6 se hace una referencia panorámica a los aspectos normativos y a las organizaciones en general que aportan al ambiente, a la cual se suman los diversos activistas y grupos con altruismo ambiental, debiendo fomentarse

la educación y conciencia ambiental especialmente en las futuras generaciones, donde se pueda cultivar una real esperanza de cambio sustancial y verdadera mitigación de los grandes problemas ambientales actuales, que no sólo debe pasar por las extensas y vastas publicaciones de leyes y normas.

En el marco de la Constitución Política del Perú y la Ley N° 28611 (2005) que es la **Ley General del Ambiente**, con derechos y principios sobre la participación en la gestión ambiental, declaración expresa sobre la Política Nacional del Ambiente y Gestión Ambiental, y específicamente el Art. 118 **De la protección de la calidad del aire** que expresa a la letra: *Las autoridades públicas, en el ejercicio de sus funciones y atribuciones, adoptan medidas para la prevención, vigilancia y control ambiental y epidemiológico, a fin de asegurar la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire, según sea el caso, actuando prioritariamente en las zonas en las que se superen los niveles de alerta por la presencia de elementos contaminantes, debiendo aplicarse planes de contingencia para la prevención o mitigación de riesgos y daños sobre la salud y el ambiente* (MINAM, 2008); se considera propicio identificar la emisión de los gases de efecto invernadero hacia el aire, tal es el caso del biogás conteniendo metano que se emite en la PTAR de Totorá.

Por otra parte, la Ley N° 28245 (2004) que es la **Ley Marco del Sistema de Nacional de Gestión Ambiental** cuyo fin es *asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales de las entidades públicas; fortalecer los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental, el rol que le corresponde al Consejo Nacional del Ambiente – CONAM¹, y a las entidades sectoriales, regionales y locales en el ejercicio de sus atribuciones ambientales...*, en la cual se establecen las bases para el proceso de elaboración y revisión de Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) y Límites Máximos Permisibles (LMPs) y su aplicación nacional en coordinación con los respectivos sectores ambientales regionales y locales.

La Ley Marco del SNGA está implementado a través del **Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental** (2005) estableciendo

¹ CONAM: Consejo Nacional del Ambiente, ref. en la Ley 28245 (2004); posteriormente el MINAM se crea como ministerio el 13 de mayo de 2008 mediante D.L. N° 1013, que pasa al ser el ente rector del sector ambiental.

la Política Nacional del Ambiente, la estructura del Sistema Nacional de Gestión Ambiental SNGA desde el ámbito nacional, regional y local, como los grupos técnicos y las comisiones ambientales regionales y municipales con gestión transectorial; declarando además los Instrumentos de Gestión Ambiental como los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos Permisibles (MINAN, 2008).

Cabe precisar que en el Art. 52° del Reglamento de la Ley Marco del SNGA, establece la definición del Sistema de Gestión Ambiental: SGA expresando que *es la parte de la administración de las entidades públicas o privadas, que incluye la estructura organizacional, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implementar, llevar a efecto, revisar y mantener la política ambiental y de los recursos naturales. Toda entidad pública o privada realizará acciones dirigidas a implementar un Sistema de Gestión Ambiental, de conformidad con las disposiciones reglamentarias correspondientes, las que tendrán en cuenta aspectos relativos a los impactos ambientales, su magnitud, ubicación y otros elementos específicos de las entidades.* Esta es una declaración que normativamente justifica la necesidad de realizar el proyecto del SGA para la PTAR de Totorá, siendo un alcance la presente evaluación del sistema de gestión basado en la mitigación de la contaminación del aire con las emisiones de biogás generadas en los tanques Imhoff y gestionar la calidad del aire.

En cumplimiento al reglamento del SNGA y las responsabilidades de la formulación de los Estándares de Calidad Ambiental se disponen de publicaciones sobre (<http://sinia.minam.gob.pe/normas>):

- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (2013)
- **Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el Aire** (2008 y reglamento 2001)
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Ruido (2003)
- **Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua** (2015)
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Radiaciones No Ionizantes (2005)

En el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (2001) se establecen los estándares primarios de calidad del aire que incluyen el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno, la actualización de los ECAs del aire (2008) modifica los valores para el dióxido de azufre, incorporando a los compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos totales (HTs) y material particulado menor a 2,5 micras; documentos que no incluyen explícitamente controles sobre la emisión del metano, a sabiendas que éstas van en franco incremento desde diversas fuentes puntuales, superficiales o de área y móviles en nuestro país.

Con respecto a las publicaciones sobre LMPs se tiene el caso específico vinculado con las PTARs:

- Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), D.S. 003-2010-MINAM, marzo 2010.

Como se reportó para el caso de los parámetros analizados en laboratorio desarrollado en el ítem 4.3.1, actualmente la PTAR de Totorá viene cumpliendo con la disposición de los LMPs exigidos en el D.S. 003-2010-MINAM para el efluente final que se descarga al cauce del río Alameda.

Por otra parte, el **Gobierno Regional de Ayacucho**: GORE Ayacucho, emite un conjunto de Ordenanzas Regionales (O.R.) de importancia, tales como:

- OR N° 002-2012-GRA/CR, mediante la cual se reconoce a la **Comisión Ambiental Regional** encargado de coordinar y concertar la Política Ambiental Regional.
- OR N° 020-2012-GRA/CR, mediante la cual se aprueba por necesidad social e interés regional la **Agenda Ambiental Regional** de Ayacucho 2010-2011, como instrumento orientador de la Gestión Ambiental Regional.
- OR N° 025-2011-CRA/CR, mediante la cual se crea el **Sistema de Información Ambiental** (SIAR) como un instrumento de Gestión Ambiental.
- OR N° 013-2005-GRA/CE, que crea el **Sistema Regional de Gestión Ambiental** para la Región Ayacucho.

El Gobierno Regional de Ayacucho, a través de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Ambiente, conjuntamente con los representantes de las Comisiones Ambientales Municipales (CAM) provinciales y distritales, Comisión Ambiental Regional (CAR), instituciones privadas y ONGs, elaboran del **Plan de Acción Ambiental Regional de Ayacucho, al 2021** (GORE Ayacucho, 2015), en cuyo diagnóstico situacional referido a la calidad del aire, identifican el deterioro de la calidad del aire por emisiones de gases generadas por el parque automotor, sin referencia alguna sobre las emisiones de biogás conteniendo metano que constituyen gases de efecto invernadero, procedentes de distintas fuentes de origen antropogénico, como son las actividades agrícolas, ganadería, botaderos, rellenos sanitarios, mucho menos de la PTAR de Totorá. En el documento se realiza el diagnóstico sobre la extensión de los bosques, los requerimientos de forestación y sus efectos en el cambio climático, admitiendo como indicios del cambio climático el aumento de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por acción de negocios (pollerías, panaderías, ladrilleras, etc.), en clara alusión al dióxido de carbono, que no incluyen las emisiones de biogás conteniendo metano; el documento culmina definiendo las acciones estratégicas con metas al 2021 que buscan el cumplimiento de la Política y del Plan de Acción Ambiental Regional, que aún no exige el desarrollo del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) a las entidades públicas y privadas.

Como documentos internos de la entidad EPS SEDA Ayacucho y la PTAR de Totorá aún no se disponen de normas y políticas ambientales específicas, documentos previos de gestión ambiental ni de mitigación de contaminantes en general, que expliciten los compromisos ambientales de la organización consolidados en un documento que permita desarrollar el Sistema de Gestión Ambiental SGA.

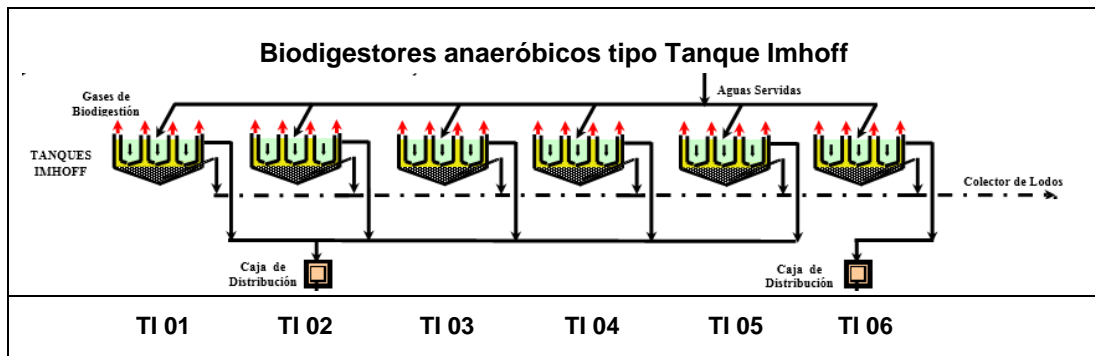
3) Análisis y Planeamiento Ambiental:

Comprende el conocimiento del entorno, la descripción de los aspectos ambientales, la identificación y calificación de los impactos ambientales.

Usando el diagrama de proceso de la PTAR de Totorá representados en las Fig. 4.28 y 4.29, especialmente para los tanques Imhoff presentado en la Fig. 4.15 e integrado cuantitativamente en la Fig. 4.49, se desarrolla la recopilación

de información e identificación de los aspectos ambientales vinculados a la operación de los seis tanques Imhoff, que se presentan en la Tabla 5.5; el conocimiento del entorno operativo de los tanques Imhoff fue ampliamente descrito tanto en su aspecto operacional y de sus parámetros funcionales en el ítem 4.2 y 4.4 respectivamente.

Tabla 5.5 Identificación de aspectos ambientales en la operación de los tanques Imhoff.



ENTRADAS	SALIDAS	Identificación de aspectos ambientales
Aguas residuales domésticas Caudal entrada 353,5 L/s DBO ₅ 370,3 mg/L	Aguas tratadas por los biodigestores tanques Imhoff, con una eficiencia del 46,4 % de remoción de materia orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas abiertos con evaporación superficial de líquido. • Riesgos de caída de materiales,
	Emisión de biogás desde los canales de natas o espumas.	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases de efecto invernadero: metano y dióxido de carbono. • Emisión de malos olores.
	Emisión esporádica de biogás desde las cámaras de sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión adicional de biogás y malos olores en su secado posterior. • Disposición final lodos secos con potencial de contaminación de suelos.
	Lodos descargados de la cámara de digestión de los tanques Imhoff.	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de malos olores. • Proliferación de insectos: mosquitos y moscas. • Contaminación de suelos.
	Natas, espumas y tortas sólidas flotantes en los canales de ventilación.	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de malos olores. • Proliferación de insectos: mosquitos y moscas. • Contaminación de suelos.

Luego de la identificación de los aspectos ambientales es necesario estimar en la línea base la actual emisión y los potenciales de contaminación que ocurren alrededor del funcionamiento de los tanques Imhoff, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.6 teniendo como sustento los resultados parciales y la

descripción de la operación de la PTAR y de los tanques Imhoff en el capítulo anterior.

Tabla 5.6 Evaluación de las salidas de materiales alrededor de los tanques Imhoff y los potenciales de contaminación.

SALIDAS	EMISIÓN Y POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN
Aguas tratadas por los biodigestores tanques Imhoff.	Aproximadamente $11,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, de aguas tratadas por los tanques Imhoff que ingresan a las cajas de distribución para proseguir su tratamiento en los filtros percoladores y lagunas facultativas. No se descargan en el ambiente, continúan su tratamiento en el circuito de la PTAR.
Emisión de biogás desde los canales de natas o espumas (evaluado en los seis tanques Imhoff, que operan de forma simultánea con alimentación en paralela)	<p>Biogás registrado en $6,75 \text{ m}^3/\text{h}$ de emisión (medidos en condiciones de campo) que equivalen a $4,67 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (en condiciones normales: 1 atm y $15 \text{ }^\circ\text{C}$); con 70,5 % de metano y 22,6 % de dióxido de carbono, que son gases de efecto invernadero (GEI), que resultan en una emisión total de:</p> <p style="margin-left: 40px;">Metano : 19,55 t de $\text{CH}_4/\text{año}$ CO_2 : 17,20 t de $\text{CO}_2/\text{año}$</p> <p>Que totalizan como GEI : 506,0 t $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{año}$</p> <p>De acuerdo a las directrices del IPCC se tendrían una emisión máxima total de GEI de 29 739,1 t $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{año}$ (incluyendo el CO_2 y al CH_4), cuando los tanques Imhoff operen con un factor de emisión máximo en estado de digestión anaerobia perfecta.</p> <p>La emisión de los malos olores están asociados a los gases sulfurados y otros volátiles que contiene el biogás, que a pesar de estar en pequeñas cantidades (ppm) son altamente perceptibles por el olfato humano y relativamente molestos de acuerdo a los niveles de emisión.</p>
Emisión esporádica de biogás desde las cámaras de sedimentación	No determinado, son burbujeos que se intensifican en la superficie líquida de las cámaras de sedimentación cuando no se procede al retiro oportuno de los lodos de fondo. Es una generación inapropiada en el estado de operación anómala por colmatación.
Lodos descargados de la cámara de biodigestión anaerobia.	<p>Se descarga periódicamente, por la tubería de descarga de lodos del fondo del tanque Imhoff, que van hacia los lechos de secado.</p> <p>Se descarga unos $1800 \text{ m}^3/\text{año}$ de lodos, con unos 10 a 15 % de sólidos.</p> <p>El retraso en la descarga provoca la colmatación de todo el tanque Imhoff, provocando la emisión de biogás en la superficie de las cámaras de sedimentación.</p>
Natas, espumas y tortas sólidas flotantes en los canales de ventilación.	<p>Son los materiales flotantes en los canales de ventilación que deberían retirarse cada 15 días; sin embargo, se van acumulando y colmatando, obstruyendo la emisión natural del biogás, proliferando insectos en dicha superficie sólida.</p> <p>Se estima un retiro promedio de unos $170 \text{ m}^3/\text{año}$ de natas, que conjuntamente con los demás materiales sólidos de la PTAR se confinan</p>

	en el micro relleno sanitario de PTAR Totorá, con potencial de lixiviación y contaminación de suelos.
--	---

4) Medidas de Manejo Ambiental e Implementación operativa:

Comprende la definición del programa de objetivos a desarrollar para mitigar aquellos aspectos ambientales significativos, estableciendo los planes, programas, proyectos y contenidos de un Plan de Manejo Ambiental, formulado específicamente para la PTAR de Totorá como un SGA; propuesto en el presente trabajo para la emisión del biogás desde los tanques Imhoff que contribuyen a la contaminación del aire a través de los GEI.

En la Tabla 5.7 se alcanzan los objetivos y beneficios operativos que necesariamente deben repercutir en beneficio del ambiente al cumplimiento gradual de cada uno de ellos, propuestos de manera progresiva con compromiso ambiental y responsabilidades para su acción ejecutiva, que van desde el contexto general de la PTAR hasta el caso específico que compete a la presente investigación que son los tanques Imhoff.

Tabla 5.7 Establecimiento de objetivos y beneficios operativos y ambientales proyectados para la PTAR de Totorá.

CONTEXTO	OBJETIVOS	BENEFICIOS
Compromiso y acción ambiental	Definición de políticas y compromisos ambientales a nivel institucional	Misión y visión ambiental de la entidad
	Diagnóstico integral de la línea de base ambiental de la PTAR.	Evaluación de Impactos Ambientales
	Diseño y elaboración del proyecto de Sistema de Gestión Ambiental para la PTAR	Compromiso y gestión del ambiente
Operación general de la PTAR de Totorá	Evaluación paramétrica de cada una de las etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Totorá.	Mejora continua en la eficiencia global de la PTAR con responsabilidad ambiental
	Control y supervisión de la ingeniería de procesos para cada etapa del proceso.	Mejora de eficiencia
	Análisis físico químico y microbiológico permanente en el laboratorio, de cada etapa del proceso.	Procesos controlados
	Planeamiento y suministro de reactivos, materiales, equipos, accesorios de mantenimiento y demás materiales logísticos que garanticen el normal funcionamiento de la planta.	Garantía de operación y buen funcionamiento
Operación actual de los Tanques Imhoff	Mantenimiento de los tanques Imhoff y limpieza de todos los canales colmatados y eliminación de natas.	Operación unitaria controlada con eficiencia operativa

	Implementación de fichas de control permanente de las condiciones de operación de cada tanque Imhoff: afluentes y efluentes, DBO, DQO, eficiencia de biodegradación.	Seguimiento del estado operativo
	Programa de operación con estricto cumplimiento para la descarga sistemática de lodos de digestión: registro de retiro de natas, de cantidad de lodos descargados.	Supervisión y mejora de la eficiencia operativa con responsabilidad ambiental
	Evaluación física química y microbiológica en el tanque Imhoff, no sólo del afluente y efluente, sino de muestras en la cámara de sedimentación, cámara de digestión y de ventilación, así como de los lodos descargados: pH, sólidos en suspensión, DBO, DQO, temperatura, coliformes, actividad microbiana, nutrientes.	Elevar la eficiencia de biodegradación anaerobia y generación de metano (como biocombustible)
	Instalación de instrumentos y sensores de monitoreo permanente en los tanques Imhoff.	Operación controlada con tendencia a la automatización
Proyecto de aprovechamiento energético del biogás	Cierre de los canales de ventilación de los tanques Imhoff e instalación del sistema de colección del biogás	Evitar la descarga directa de gases de efecto invernadero al ambiente.
	Quemado del biogás en una TEA (alternativa preliminar)	Reducir el efecto contaminante del metano como gas invernadero por su combustión. Reducción de malos olores
	Instalación del sistema de aprovechamiento energético del biogás: pretratamiento, compresión y cogeneración	Aprovechar la energía contenida en el metano como biocombustible. Eliminación de malos olores
	Integración energética a la PTAR: energía eléctrica y térmica	Uso eficiente de energía reduciendo la descarga de calor
Propuestas de procesos adicionales	Instalación de un biodigestor anaeróbico (UASB) para el tratamiento y estabilización de los lodos.	Incorporación de tecnologías limpias con responsabilidad ambiental.
	Posttratamiento de lodos y secado para utilización como materiales de abono.	Aprovechamiento de residuos sólidos y reducción de la contaminación de suelos
	Complementación del proceso de tratamiento de aguas con wetlands y otras tecnologías amigables con el ambiente.	Implementación de tecnologías limpias amigables con el ambiente
Programas de control ambiental complementarios	Programas de control biológico de insectos: moscas, mosquitos y zancudos	Reducción de proliferación de insectos como vectores de transmisión.
	Programas de forestación intensiva: en el ámbito interno y externo a las instalaciones físicas de la PTAR.	Incremento de áreas verdes y forestación para incrementar la captura de carbono y compensación a la emisión de gases de efecto invernadero.
Educación Ambiental e Investigación	Talleres y programas de educación y sensibilización ambiental.	Promover conciencia ambiental en todo el personal de la PTAR, visitantes y comunidades de influencia.
	Entrenamiento técnico ambiental	Desarrollo de destrezas con responsabilidad ambiental
	Fomentar la investigación en diversos ejes vinculados a la PTAR	Identificar problemas y desarrollar temas de investigación para el desarrollo sostenible.

De acuerdo al programa de objetivos establecidos se debe implementar las medidas de manejo ambiental más apropiadas y viables técnicamente, con el único propósito de alcanzar las metas que conduzcan a los beneficios operativos y ambientales descritos; sin embargo, para la ejecución de las medidas de manejo ambiental son necesarios:

- Establecer la estructura organizacional y funcional del equipo de implementación y ejecución del SGA, con facilidades operativas en las decisiones que requiera la gestión.
- Determinar y suministrar recursos y materiales logísticos, que permitan la implementación del SGA.
- Implementar sistemas de comunicación, control y verificación del avance y cumplimiento de objetivos de manera dinámica.
- Coordinar la acción operativa con profesionales especializados para el soporte técnico en cada etapa de la implementación, de acuerdo a la naturaleza de la etapa operativa.
- Implantación del SGA.
- Control operacional y protocolos de procedimientos para mitigar el impacto ambiental.

5) Monitoreo y Seguimiento con Verificación y acción correctiva:

A diferencia de los proyectos básicos, esta etapa constituye el estado de acompañamiento a las acciones operativas del SGA, que se sustentan en el monitoreo permanente, seguimiento con mediciones de todos los factores e indicadores, con levantamiento de registros y reportes, que permitan la verificación de los propósitos ambientales delineados en cada etapa, monitoreados en el marco de las políticas, normas y directivas ambientales vigentes, que permitan medir la efectividad de la mitigación del impacto ambiental; en caso contrario identificar las dificultades o contingencias para subsanar y diseñar la acción correctiva.

También son recomendables requerir periódicamente las Auditorías Ambientales con el propósito de evaluar la calidad de la implementación, ejecución apropiada y verificación del Sistema de Gestión Ambiental de la entidad, que permitan obtener las certificaciones ambientales pertinentes; también deben considerarse el trámite de los bonos y certificados MDL, que

favorece a los países en desarrollo, a fin de hacer efectiva la captura o reducción de un determinado porcentaje de emisiones, en contraparte se tiene el financiamiento por parte de los países desarrollados, siendo los **bonos de carbono** las **Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero** o **CERs** (Certified Emission Reductions), el **CER** es la unidad que corresponde a **una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente**.

6) Evaluación y Mejoramiento:

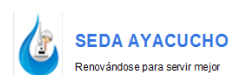
Finalmente, la efectividad del SGA debe considerarse a través de la evaluación, la revisión y el mejoramiento de los planes y programas ambientales implementados; tal que, en base a la experiencia desarrollada, las dinámicas de cambio tecnológico, las observaciones pragmáticas, modificaciones legislativas, interacciones con la comunidad y recomendaciones sugeridas por los profesionales o proveniente de las Auditorías Ambientales, deben permitir formular reajustes, cambios y fortalecimiento de planes y programas para el mejoramiento continuo del sistema de gestión.

5.3.4 Sistema de gestión de la calidad del aire

Con los lineamientos fundamentales definidos en el ítem anterior y en el marco de la NTP-ISO 14001 (2005) expuesta en el ítem 5.3.2 (3), se procede a formular el sistema de gestión de la calidad del aire en respuesta a las emisiones de metano generados en los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá de la ciudad de Ayacucho, para su posterior implantación en la unidad de tratamiento primario de los Imhoff, considerando los lineamientos pre establecidos en la Estructura de Alto Nivel, bajo el enfoque PFVA de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

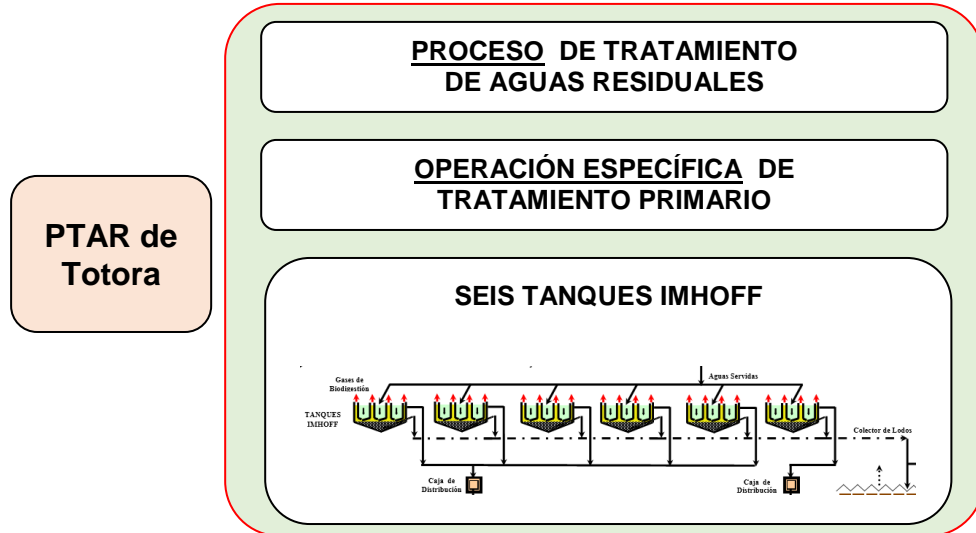
1) **Objeto y Campo de Aplicación**

La organización : SEDA Ayacucho
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR de Totorá



El objetivo de la PTAR de Totorá debe ser desarrollar un SGA para gestionar las responsabilidades ambientales de la entidad de manera sistemática, que permita contribuir al pilar ambiental de la sostenibilidad.

El campo de aplicación dentro de la organización es en parte del proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá, específicamente en la operación de tratamiento primario, en la cual operan seis tanques Imhoff que realizan la biodigestión anaeróbica:



Objetivo ambiental: Captura del biogás emitido desde los tanques Imhoff y el aprovechamiento energético del metano en un sistema de cogeneración.

2) Referencias Normativas

En el ítem anterior 5.3.3 (2) se ha expuesto la Política y Normatividad Ambiental nacional y regional, a la cual se suman las diversas normas NTP ISO vinculadas con los gases de efecto invernadero (GEI), sistemas de gestión ambiental (SGA) y los sistemas de gestión energética (SGE) que integrarán y consolidarán el proyecto.

3) Términos y Definiciones

Se incorporan los términos y definiciones indicados por la norma ISO 14001 en los rubros relacionados a:

1. Organización y liderazgo
2. Planificación
3. Soporte y operación
4. Evaluación del desempeño y con la mejora

4) Contexto de la Organización

1. Conocimiento de la organización y de su contexto

La EPS SEDA Ayacucho, que es una Entidad Prestadora Municipal de derecho privado, normada por la Ley N° 26338 Ley General de Saneamiento, representada por la Junta General de Accionistas, el Directorio, la Gerencia General, la Gerencia Operacional y el Departamento de Tratamiento de Aguas Servidas que administra la PTAR de Totorá, deben determinar las cuestiones externas e internas pertinentes al propósito ambiental propuesto:

Las cuestiones externas e internas pertinentes al propósito ambiental de la PTAR de Totorá se han diagnosticado de manera general en el ítem 5.3.1 y de manera específica al entorno de la operación de los tanques Imhoff en el ítem 5.3.3, con la identificación de aspectos ambientales en la Tabla 5.5 y la identificación de los potenciales de contaminación en la Tabla 5.6, las cuales deben admitirse y explicitarse para la determinación de dichas cuestiones, que se resumen en:

Cuestiones internas:

- Funcionamiento operativo de los seis tanques Imhoff, que procesan alrededor de 353,5 L/s de aguas servidas, con biodegradación anaeróbica de la materia orgánica en sus cámaras de digestión, que generan biogás con alto contenido de metano, que se descargan al aire.
- Actual limitación en la frecuencia de los análisis físico químico y microbiológicos específicos, que permitan disponer registros documentados de los parámetros operativos de los tanques Imhoff y demás operaciones del circuito de tratamiento, analizados por el laboratorio de la planta.
- No se cuenta con un registro de la supervisión y monitoreo de los tanques Imhoff, ni el programa de mantenimiento que establezca los ciclos de limpieza de los canales de ventilación y de descarga de lodos, que permitan una operación controlada y eficiente de dichos tanques.

Cuestiones externas:

- Emisión de biogás conteniendo metano hacia la atmósfera observado en por lo menos 19,55 t/año de gas metano, con posibilidad de alcanzar hasta 1149,13 t/año de acuerdo al IPCC en condiciones de operación favorables, que constituyen gases de efecto invernadero (GEI) que propenden el calentamiento global.
- Difusión de malos olores asociados al biogás que alcanzan a las poblaciones colindantes a la planta que ocasionalmente alcanzan a la zona NE de la ciudad de Ayacucho, generando un malestar en la población externa a la planta.
- Proliferación de insectos, especialmente moscas, con potencial de transmisión de enfermedades, que se propagan e invaden las viviendas colindantes a la planta.

2. Conocimiento de las necesidades y expectativas de las partes interesadas

Que son los que pueden afectar:

- La PTAR de Totora, a través de la emisión biogás desde los tanques Imhoff.

Y los que pueden verse afectados:

- Las comunidades y poblaciones colindantes (zona NE de Jesús Nazareno, zona N de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, valle de Totora y de Muyurina), por los malos olores y propagación de insectos; con necesidades y expectativas de acceder a una buena calidad de aire.
- La población sensible de las viviendas colindantes a la planta: niños y adultos, por la proliferación y asedio de moscas, con potencial de transmisión de microorganismos patógenos, portadora de diversas enfermedades; que requieren salubridad y saneamiento.
- El distrito metropolitano de Ayacucho, por la gran descarga de metano gas, cuyo efecto invernadero propende el calentamiento global y el cambio climático, afectando y alterando su temperatura, clima, precipitaciones y otros fenómenos; que requieren calidad ambiental sostenible, respaldado por los acuerdos de Kioto, Cambio Climático y reducción de gases de efecto invernadero.

- Sin la intención de alarmar, la población regional y nacional, así como el mundial, van sufriendo las consecuencias del calentamiento global y sus efectos climáticos, debido a la sumatoria creciente de emisiones de gases de efecto invernadero registrados en el balance nacional.

3. Determinación del alcance del sistema de gestión ambiental

Para lo cual se establece los límites y la aplicabilidad del sistema de gestión ambiental:

- a) En acorde a las cuestiones internas y externas:
 - Evaluación semanal de parámetros en laboratorio, para el control y supervisión del proceso de digestión anaerobia en los tanques Imhoff, para garantizar una operación controlada y eficiente.
 - Cumplimiento de los programas de mantenimiento, limpieza y descarga de lodos en los tanques Imhoff.
 - Implementación de registros documentados.
 - Captura del biogás y quemado en antorcha (en su primera etapa), para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y de malos olores.
 - Captura y aprovechamiento energético metano contenido en el biogás, con tratamiento y cogeneración, reducción efectiva de GEI y gestión eficiente de energía en la planta
 - Control de proliferación de insectos alrededor de los tanques Imhoff y demás líneas del circuito de tratamiento de aguas residuales.
- b) En acorde a las expectativas de las partes interesadas y los requisitos legales asociados a los mismos:
 - El aprovechamiento energético del metano con sistema de cogeneración permite al interior de la planta un beneficio económico y ambiental, con contribución a la eficiencia energética, SGE y reducción GEI: Norma ISO 50001 (2011)
 - El control interno de captura de biogás con la reducción total de la emisión de metano al aire, reduce la emisión de los GEI y los malos olores, beneficiando a los distintos afectados por la opción de disponer una buena calidad del aire: ECAs (2001 y 2008).

- La reducción de GEI es un compromiso ambiental para beneficio universal, que beneficia a las poblaciones interesadas, respaldadas por: Protocolo de Kyoto, Cumbre Internacional sobre el Cambio Climático – COP (del cual Perú fue sede el año 2014), Acuerdo de Paris (2015), Agenda de Acción Climática Global (2016), Informes del IPCC, Norma ISO 14064 (Parte 1, 2 y 3), Norma ISO 14065 y 14069, NTP sobre GEI, etc.
- c) En acorde a las unidades, funciones y límites físicos de la PTAR de Totorá (que debería definir la EPS SEDA Ayacucho de acuerdo a sus políticas ambientales):
- El laboratorio de la planta existe y se encuentra operativa, sólo requiere del personal calificado y suministro de materiales y reactivos para los análisis de parámetros en las frecuencias requeridas.
 - El programa de operación y mantenimiento, limpieza y control de los tanques Imhoff son de implementación inmediata, apoyado por los registros del laboratorio; que permitan el monitoreo y control operativo para mejorar su eficiencia operativa.
 - La implementación del proyecto de captura y pretratamiento del biogás para su aprovechamiento en un sistema de cogeneración CHP, exige un estudio definitivo, ejecución de la infraestructura, equipamiento y puesta en marcha. Existe espacio físico en la planta para la microlocalización, se requiere de la gestión financiera para dicho proyecto.

Las actividades específicas al entorno de la operación de los tanques Imhoff son eminentemente técnico ingenieriles, con control microbiológico para mejorar la biodegradación, cuyas acciones deberían reportarse en los registros documentados.

La Junta General de Accionistas y el Directorio de la EPS SEDA Ayacucho deberían investirse de toda la autoridad para viabilizar la implementación del SGA y obligatoriamente constituir el comité de implantación del SGA, con atribuciones y capacidad de ejercer el control e influencia en la supervisión y cumplimiento de acciones, con respaldo administrativo y logístico.

4. Sistema de Gestión Ambiental

El SGA que debe incluir el nivel de detalle de los procesos para cumplir con los compromisos y objetivo ambiental de la captura del biogás y el aprovechamiento energético requiere:

- Incorporar en el planeamiento de actividades estratégicas las emisiones y potenciales de contaminación evaluadas en la Tabla 5.6 así como el establecimiento de objetivos y beneficios operativos y ambientales proyectados para la PTAR de Totorá señalados en la Tabla 5.7, cuya ejecución programática y cumplimiento de actividades beneficie social y ambientalmente a las partes interesadas.
- Considerar y establecer la propuesta del proceso de aprovechamiento energético del biogás, descrito en el ítem 5.2.5, cuya instalación planificada y controlada, con registros documentados constituyen una evidente captura y remoción de los GEI, con beneficios económicos y ambientales.
- Gestionar los bonos de carbono o CER's, para la retribución económica, en el marco de los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- Integrar el SGA con otros sistemas de gestión energética, calidad, eficiencia, seguridad de personal, para una certificación y acreditación de etiquetas ambientales.

5) **Liderazgo**

1. Liderazgo y compromiso

La Junta General de Accionistas y el Directorio de la EPS SEDA Ayacucho, reconocidos como la alta dirección de la entidad, deben mostrar liderazgo y compromiso con respecto al SGA, asumiendo la:

- Rendición de cuentas sobre la eficacia del SGA.
- Establecer la política ambiental y los objetivos ambientales, incorporando la propuesta formulada sobre la reducción de los GEI emitidos por los tanques Imhoff.

- Garantizar la integración de requisitos
- Disponer los recursos financieros y logísticos
- Comunicación y difusión del cumplimiento y eficacia
- Supervisar y garantizar el logro de los resultados previstos
- Respaldo y dirección al comité de implantación y demás personal vinculado al SGA
- Controlar los resultados para su retroalimentación correctiva con mejora continua.
- Representar a la entidad y socializar permanentemente al interior y exterior de la entidad los alcances y resultados del SGA

2. Política ambiental

Adicionalmente a la visión y misión definida por la EPS SEDA Ayacucho y sus declaraciones y compromisos formulados en el Plan Estratégico Institucional PEI 2016-2021 (<http://www.sedaayacucho.pe/>), es recomendable que la alta dirección establezca, implemente y mantenga una política ambiental, que debería incorporarse en el SGA integrado.

Para el caso de emisión referido a los tanques Imhoff, la entidad debe incorporar el compromiso establecido en la Fig. 5.14, considerando el objetivo ambiental propuesto de la *captura del biogás emitido desde los tanques Imhoff y el aprovechamiento energético del metano en un sistema de cogeneración*, que deberá consolidarse en un documento institucional, para la difusión y conocimiento al interior y exterior de la institución, disponible en su portal web y dependencias pertinentes.

El marco de referencia son las políticas sobre el efecto invernadero y el calentamiento global que provoca la emisión de metano, cuya reducción es un compromiso de la entidad, en concordancia con las normas indicadas.

3. Roles, responsabilidades y autoridades en la PTAR de Totorá

La alta dirección se encarga de:

- La organización de las autoridades y miembros del comité de implantación del SGA, definiendo sus roles y funciones específicas de acuerdo a los requerimientos y propósitos planteados.
- Son de conocimiento general las responsabilidades y funciones de cada miembro, con supervisión de cumplimiento de metas.
- Seguimiento del desempeño y eficacia de cumplimiento de roles y funciones.

6) Planificación

1. Acciones para abordar riesgos y oportunidades

Se deben definir y delinear las distintas acciones para su planificación estratégica:

- Definir los riesgos y oportunidades del proceso, se consideran riesgos las fluctuaciones paramétricas en el afluente a los tanques Imhoff que afectan la eficacia operativa; y como oportunidad la mayor generación de metano para un mayor rendimiento energético.
- Igualmente son riesgo los impactos ambientales que provoca la emisión de los GEI y como oportunidad el contenido energético del metano.
- Los aspectos ambientales luego del proyecto de implementación del aprovechamiento energético del metano son evidentes cuantitativamente, por la reducción total de emisión de metano, la reducción de emisión de la tasa de GEI, el beneficio económico por la integración energética.
- Disponer en la entidad de las normas y requisitos legales vinculantes al caso, para su incorporación en el planeamiento.

2. Objetivos ambientales y planificación para lograrlos

La alta dirección establece el objetivo ambiental general, considerando el caso específico formulado en la política ambiental de la entidad, considerando:

- Los objetivos ambientales deben mantener coherencia con la política ambiental, deben ser medibles y ser objetos de seguimiento.

- Estructurar la planificación sostenible de todas las acciones identificadas que permitan la captura y aprovechamiento energético del metano, de manera sistemática y progresiva, con la claridad que permita alcanzar la meta y objetivo ambiental preestablecido.
- Debe considerarse los cronogramas de ejecución y cumplimiento, la identificación y asignación de recursos, la designación e identificación de responsables, precisar los sistemas de evaluación y seguimiento.

7) Soporte

1. Recursos

Se reitera la responsabilidad de la alta autoridad para el suministro de todos los recursos que requiera la implantación del SGA, garantizar la partida presupuestal, el sistema de adquisición y suministro oportuno de materiales logísticos en general.

2. Competencia

Desarrollar las convocatorias que permitan la evaluación e incorporación del personal calificado y competente, en acorde a las funciones y términos de referencia que correspondan. Considerar las asesorías, supervisiones y demás servicios profesionales complementarios de acuerdo a su requerimiento.

3. Toma de conciencia

Establecer talleres permanentes de evaluación y discusión sobre la dinámica del SGA, a fin de interiorizar en todo el personal la toma de conciencia ambiental, que permita adquirir la identificación institucional en los propósitos delineados, y que puedan sentirse totalmente comprometidos con el trabajo, promoviendo la proactividad y el flujo de iniciativas que aporten al fortalecimiento del sistema.

4. Comunicación

Se debe establecer los mecanismos de comunicación permanente, con tomas de decisión y respuestas inmediatas, con una gran dinámica que

permita el avance del sistema, debe erradicarse los sistemas burocráticos clásicos, respetando la jerarquía y el marco legal, con transparencia y fidelidad, tanto para requerimientos internos y externos a la entidad.

5. Información documentada

Como se ha ido observando y recomendando, es necesario la planificación operativa de los tanques Imhoff, el laboratorio y demás operaciones del circuito de tratamiento de aguas residuales, que incluya la organización documentaria de monitoreo, mantenimiento, evaluación de parámetros y otros de gestión que evidencien y conduzcan a mejorar la eficiencia operativa.

Igualmente, será importante la definición de los registros documentarios pertinentes en el planeamiento del SGA, que deben ser organizados física y digitalmente, que garantice su acceso rápido y total por parte de las personas y entidades que lo requieran.

8) Operación

1. Planificación y control operacional

Es sumamente importante en éste caso el control operacional de la ingeniería de procesos para el funcionamiento apropiado de los tanques Imhoff, para mejorar su rendimiento. Requiere un suministro uniforme de caudal afluente, con regulación de parámetros que incrementen la eficiencia de biodegradación anaeróbica de la materia orgánica en las cámaras de digestión de los tanques Imhoff (evaluados en el ítem 4.4).

Debe implementarse en acorde con los documentos de control operacional exigidos para la supervisión y monitoreo de los tanques Imhoff, como son los de: limpieza periódica de los canales de ventilación (por lo menos quincenal), eliminación cíclica de los lodos sedimentados, control de biodegradación (DBO_5) y de la digestión metanogénica: pH, temperatura, nutrientes, etc.

2. Preparación y respuesta ante emergencias

Es importante determinar situaciones de riesgo y emergencias, tanto operacionales endógenas al funcionamiento de los tanques Imhoff así como exógenas al sistema. Técnicamente se recomendó un tanque de amortiguamiento previo a la alimentación de los tanques Imhoff, que podría regular y amortiguar las fluctuaciones paramétricas en el afluente, a ello se sumaría como una contingencia operacional crítica la inactivación microbiana en la cámara de digestión (por falta de control de elementos nocivos o el lavado y arrastre de la carga microbiana), la cual requiere un control exhaustivo en función a la velocidad de carga y el tiempo de residencia asociado con el nivel de lodos descargados cíclicamente.

También deberían determinarse otro tipo de eventos que afecten la operación, así como aspectos administrativos, logística de suministro y atención de materiales, insumos, reactivos, equipos de laboratorio, implementos de maniobra, de mantenimiento y otros.

9) **Evaluación del desempeño**

1. Seguimiento, medición, análisis y evaluación

El personal responsable del SGA debe realizar el seguimiento permanente, la medición de resultados, el análisis y evaluación del avance del SGA, con metodologías e indicadores apropiados, en los periodos y etapas pertinentes, a fin de evaluar el avance, rendimiento y cumplimiento, debidamente documentadas y con conocimiento de las autoridades, para su ratificación, modificación y mejora continua.

2. Auditoría interna

Se considera estratégico el desarrollo de las auditorías internas periódicas que permitan verificar los indicadores, evaluar cumplimientos del SGA y responsabilidades de sus miembros, en acorde a los cronogramas y los requisitos establecidos por las normas. Las auditorías deben ser objetivas e imparciales, a fin evidenciar estados anómalos o dificultades, cuyas observaciones permitirán las acciones correctivas y el fortalecimiento del SGA.

Los informe emitidos por las auditorías deben ser examinados y auscultados por la alta dirección, a fin de evaluar la efectividad y conveniencia del SGA, con toma de decisiones sobre las diversas observaciones, que de manera efectiva conlleven a los cambios, correcciones, implementaciones, reforzamientos que podrían devenir del análisis de los mismos, con el claro propósito de alcanzar los objetivos ambientales.

En situaciones triviales, la alta dirección podría considerar inclusive las auditorías externas, ya sea para fines de examinar pormenorizadamente el sistema y reformular acciones operativas o para la confirmación de objetivos alcanzados y gestión de certificaciones y etiquetas ambientales.

3. Revisión por la dirección

Los informe emitidos por las auditorías deben ser examinados y auscultados por la alta dirección, a fin de evaluar la efectividad y conveniencia del SGA, con toma de decisiones sobre las diversas observaciones, que de manera efectiva conlleven a los cambios, correcciones, implementaciones, reforzamientos que podrían devenir del análisis de los mismos, con el claro propósito de alcanzar los objetivos ambientales.

En situaciones triviales, la alta dirección podría considerar inclusive las auditorías externas, ya sea para fines de examinar pormenorizadamente el sistema y reformular acciones operativas o para la confirmación de objetivos alcanzados y gestión de certificaciones y etiquetas ambientales.

10) Mejora

1. Generalidades

Los resultados de las supervisiones y auditorías, con las observaciones y evaluaciones correspondientes por parte de la alta dirección, deben ser retroalimentadas al sistema para fomentar su mejora.

2. No conformidades y acciones correctivas

La detección de dificultades, irresponsabilidades así como las no conformidades del sistema con respecto a los propósitos ambientales, legales y otros, deben comunicarse y coordinarse con las unidades pertinentes a fin de tomar las acciones correctivas inmediatas en beneficio de la continuidad de las operaciones, con registro documentario de los mismos y sesiones de crítica y autocrítica constructiva entre los miembros y el personal correspondiente.

3. Mejora continua

Finalmente, la comprensión y real percepción del SGA en todos sus términos, con identificación y evaluación permanente del sistema, permitirá comprender los diversos fenómenos que ocurren y afectan al mismo, las cuales debe retroalimentarse de manera dinámica y permanente en el contexto de mejora continua, a fin de garantizar un avance con idoneidad, adecuación y eficacia con miras a la calidad operativa y ambiental de la organización.

Finalmente, en vista de las emisiones de GEI provenientes de los tanques Imhoff, es recomendable que la EPS SEDA Ayacucho implemente un SGA integrado para la PTAR de Totorá, considerando las siguientes normas NTP vinculantes:

- NTP ISO 14001, de los Sistemas de Gestión Ambiental: Requisitos con orientación para su uso, desarrollada para los tanques Imhoff, que debe extenderse a toda la PTAR de Totorá.
- NTP ISO 14064 (Partes 1, 2 y 3), Gases de Efecto Invernadero, de especificaciones con orientación a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de GEI; a nivel de proyecto y para la validación y verificación de declaraciones sobre GEI.
- NTP ISO 50001, de los Sistemas de Gestión de la Energía (SGE): Requisitos con orientación para su uso, para el caso del aprovechamiento energético e integración de energía a la planta.
- NTP ISO 26000, de la Guía de Responsabilidad Social, para comprender, admitir el principio y reconocer la responsabilidad social de





la entidad con respecto a las partes interesadas y la sociedad, en una unidad de responsabilidad ambiental y social, específicamente el punto 6 de Orientación sobre las materias fundamentales de Responsabilidad Social, 6.5 de El medio ambiente, que comprende la visión general del medio ambiente, los Principios y consideraciones, Asunto 1 sobre medio ambiente: prevención de la contaminación: emisiones al aire, Asunto 2 sobre medio ambiente: uso sostenible de los recursos: eficiencia energética, y de manera relevante **el Asunto 3 (6.5.5) sobre el medio ambiente: mitigación del cambio climático y adaptación al mismo**: que reconoce las emisiones de los GEI (Ver Anexo 06)

Con respecto a las diversas normas NTP ISO indicadas, se tiene conocimiento que en la PTAR de Totorá no existe aún la implementación de ninguna de ellas, recomendándose a la alta dirección su conocimiento, gestión e implementación en beneficio de la entidad así como en su responsabilidad ambiental y social.

5.3.5 Contaminación atmosférica en la ciudad de Ayacucho

El MINAM en el **Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 – 2014**, realizada para 31 Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) en el país, del cual forma parte Huamanga al ser incorporada el año 2012, evalúa los niveles de materiales contaminantes en el aire, advirtiendo que la calidad del aire se viene afectando en algunas ciudades del Perú que forman parte del Programa Nacional de Vigilancia, acentuada en zonas urbanas por las emisiones antropogénicas de contaminantes desde fuentes móviles y fijas, mayormente atribuidos al parque automotor, información que deberán considerar los GESTA Zonales para establecer las prioridades en la gestión de la calidad del aire en la respectiva ZAP. Los muestreos y análisis del aire para el caso de Huamanga y otros ZAP son puntuales (MINAM, 2015)

El Ministerio del Ambiente evalúa la información sobre la calidad del aire a nivel nacional, para lo cual ha elaborado el **Índice de Calidad del Aire (INCA)**, para identificar y calificar el estado de la calidad del aire que se divide en cuatro categorías (mayores detalles en el Anexo 05):

- | | |
|--|---|
| 1)  Buena | No representa un riesgo |
| 2)  Moderada | Posible riesgo para la población sensible |
| 3)  Mala | Posible riesgo para la población en general |
| 4)  Umbral de cuidado | Posible afección grave a toda la población |

Para el caso de la ZAP de Huamanga se tienen los resultados ambientales puntuales consolidados en la Tabla 5.8, considerando las categorías de calificación INCA (MINAM, 2015)

Tabla 5.8 Resultados de la calidad del aire para la ZAP Huamanga (MINAM, 2015)

Contaminantes del aire	Concentración (*)	Calificación INCA
Concentración promedio diario de PM10	~ 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MODERADO
Concentración promedio diario de PM2,5	~ 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	BUENA
Dióxido de azufre: SO ₂	~ 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	BUENA
Dióxido de nitrógeno: NO ₂	~ 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	BUENA

(*) Valores aproximadamente leídos del Informe Nacional de Calidad del Aire 2013 – 2014, MINAM, 2015.

De los resultados de la Tabla 5.8 se podría afirmar que en términos promedio la calidad del aire en Huamanga es buena; sin embargo, no significa tomar una actitud pasiva menos indiferente, porque en observaciones cotidianas, especialmente en horas del amanecer, se puede observar una capa de gas grisáceo que envuelve el espacio urbano; igualmente las obras constructivas y deforestación sistemática del cordón urbano marginal generan fuertes cargas y movimientos de material particulado intensificados en las temporadas de vientos que asolan a la ciudad, tal que la evaluación promedio de PM nos califica como contaminación moderada.

La relativa ventaja en la calidad del aire que posee Huamanga se debe a que no es un espacio geográfico críticamente cerrado, produciéndose el movimiento convectivo natural del aire con vientos suaves y en ocasiones muy fuertes, que facilitan la dispersión y dilución de los contaminantes, a la cual se

complementa las lluvias de la región como un sistema natural de lavado y limpieza atmosférica.

En el caso de la región de Ayacucho, a propuesta de la Municipalidad Provincial de Huamanga, el **Grupo Técnico** denominado **Grupo de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire** (GT-GESTA Zonal de Aire) de Huamanga, es conformado por RM N° 045-2013-MINAM, integrado por representantes de diversas instituciones, entidades públicas y privadas, organizaciones políticas y sociales; que de acuerdo a ley son los encargados de gestionar la calidad del aire, proponiendo medidas, programas y proyectos orientados al control y fiscalización de las fuentes de contaminación del aire.

El GT - GESTA zonal de Aire de Huamanga ha elaborado el **Plan de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en la zona de Atención Prioritaria de la Cuenca Atmosférica de Huamanga**, aprobada con RM N° 294-2015-MINAM en el marco de la implementación del Plan Nacional de Acción Ambiental- PLANAA PERU 2011- 2021, cuyo objetivo es contribuir a mejorar el estado de la calidad del aire en la cuenca atmosférica de Huamanga, a fin de no sobrepasar los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y salvaguardar la salud pública, el bienestar humano y el ambiente.

Cabe mencionar que, con respecto a la delimitación de la **Zona de Atención Prioritaria (ZAP) de la Cuenca Atmosférica de Huamanga** el Grupo Técnico establece la zona geográfica comprendido por los cinco (05) distritos metropolitanos confinados en la capital de la región que son: Ayacucho, San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, con una extensión total de zona de 141,13 km² (MINAM, 2015).

Del diagnóstico publicado en el Plan de Acción para Huamanga se extraen algunos resultados vinculados con el aire y los contaminantes del mismo, que son:

- Temperatura media máxima diurna de 29,8 °C y mínima nocturna de 6,9 °C en la temporada de lluvias (octubre a abril); y de 28,4 °C y 7,5 °C respectivamente en temporada de sequías (mayo a setiembre).
- Precipitación total anual para el año 2012 de 492,50 mm; con humedad relativa media de 82 % en febrero y de 67 % entre agosto y octubre.

- Vientos moderados con velocidad media de 3,20 m/s, con dirección predominante del NE.
- Generación de Residuos Sólidos en un total de 140,60 t/d en la cuenca delimitada, con una generación per cápita domiciliar de 0,491 kg/hab.d; mayormente producidas por el sector domiciliario, los mercados y el barrido de calles.
- Identificación de 82 fuentes fijas puntuales de contaminación de aire en el ámbito de la zona; con una estimación de 49,72 t/año de PM; 2,28 t/año de SO₂; 5,51 t/año de NO_x; 1,71 t/año de CO y 2,04 t/año de COV, evaluados de acuerdo a la metodología de Alexander P. E.
- Identificación de 546 fuentes fijas de área contaminantes de aire en la zona; con una estimación de 74,34 t/año de PM; 0,38 t/año de SO₂; 2,65 t/año de NO_x; 143,04 t/año de CO y 121,54 t/año de COV, evaluados de acuerdo a la metodología de Alexander P. E.
- Registro de 10 067 unidades vehiculares en el parque automotor de la zona, del cual cerca del 70 % se encontrarían en pésimas condiciones físico mecánicas, que aportan al inventario de fuentes móviles de contaminación de aire; con una estimación total de 10 856,32 t/año de CO; 3 225,20 t/año de COV; 161,01 t/año de COVevap; 471,17 t/año de NO_x; 6,77 t/año de SO₂ y 87,65 t/año de PM, evaluados de acuerdo al software IVE – EPA.

El mencionado Plan de Acción de la Cuenca Atmosférica de Huamanga culmina con la formulación del plan y las medidas para la gestión integral de la calidad del aire (MINAM, 2015), que debe socializarse en el área de influencia para generar un verdadero compromiso de cambio con responsabilidad social y mitigar la contaminación del aire, siendo el presente trabajo una cuantificación específica de la emisión de biogás que contiene metano desde los biodigestores tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, conocidos como GEI, cuyo aprovechamiento energético, también contribuirá a la calidad del aire de la cuenca atmosférica de Huamanga.

Una estrategia de mitigación a la contaminación del aire por emisión de biogás generados en los rellenos sanitarios de la ciudad, es la instalación de las chimeneas o antorchas de biogás, desarrolladas por la Municipalidad Provincial

de Huamanga en el relleno sanitario de Uchuypampa, como un aporte a la gestión de la calidad del aire.

En consecuencia, luego de desarrollar el sistema de gestión para la mitigación de la contaminación del aire y los beneficios esperados para la ciudad de Ayacucho expuestos al entorno del tercer objetivo, cuya hipótesis sustantiva específica expresa que:

El desarrollo de un sistema de gestión de la calidad del aire por aprovechamiento del metano generado aportaría a los beneficios esperados en la ciudad de Ayacucho.

Se admite dicha hipótesis, en vista que el aporte de un sistema de gestión desarrollado para la mejora de la calidad del aire, formulado al entorno del biogás emitido desde los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, con un aprovechamiento energético del metano, integrado con un Sistema de Gestión Ambiental que debería gestar la entidad EPS SEDA Ayacucho, que a su vez debe incorporarse en su Plan Estratégico Institucional, articulado con el Plan de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en la zona de Atención Prioritaria de la Cuenca Atmosférica de Huamanga conducida por el GT - GESTA Zonal de Aire de Huamanga, en el marco del Plan Nacional de Acción Ambiental-PLANAA PERU 2011- 2021 y las Políticas Nacionales sobre Medio Ambiente del MINAM, contribuirá a la mitigación de la contaminación del aire por la captura y aprovechamiento de la energía del metano, aportando a los beneficios ambientales de un aire con buena calidad, saludable para la vida, reduciendo los riesgos de enfermedades respiratorias y demás epidemias, que afectan especialmente a la población sensible comprendido por niños y adultos mayores, beneficios ambientales que en conjunto constituyen los beneficios esperados para la región metropolitana de Ayacucho, delimitado en el denominado campo zonal de la Cuenca Atmosférica de Huamanga.

5.4 ANÁLISIS Y CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Frente al problema general de la posibilidad de contribuir a la mejora de la calidad ambiental en la región a través de la propuesta de un sistema de gestión de la calidad del aire por aprovechamiento energético del gas metano

asociado al biogás que se generan desde los tanques Imhoff, conocidos como gases de efecto invernadero que aportan al calentamiento global y cambio climático, producidos en un proceso de biodigestión anaeróbica en el circuito de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Totorá, ubicada a unos 3,5 km de la ciudad de Ayacucho, se ha establecido el siguiente objetivo general:

Proponer medidas de gestión para una mejora de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá en la ciudad de Ayacucho en base a las operaciones del año 2015.

Que ha conducido tautológicamente a la presuposición de la siguiente hipótesis general:

Hipótesis sustantiva: H_s

La gestión de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá contribuye a la mejora de la calidad ambiental en la ciudad de Ayacucho.

Hipótesis nula: H_0

La gestión de la calidad del aire por el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá no contribuye a la mejora de la calidad ambiental en la ciudad de Ayacucho.

De acuerdo a los resultados analizados y progresivamente convalidados para cada uno de los objetivos formulados, se ha demostrado que el funcionamiento de los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá en la ciudad de Ayacucho tienden a operar como un biodigestor anaerobio, descargando a la atmósfera biogás con un alto contenido de metano, constituyendo una evidente emisión de gases

de efecto invernadero (GEI) que contaminan el aire, que en conjunto en un inventario regional y nacional provocan impactos ambientales innegables dado que influyen directamente en el efecto invernadero, calentamiento global y el cambio climático; luego, la formulación de un sistema de aprovechamiento energético a partir del biometano generado y su integración energética en la PTAR de Totorá, es una alternativa de uso del biogás con beneficio energético, económico y ambiental, en tanto que evita su descarga directa a la atmósfera; asimismo, el desarrollo del sistema de gestión para la mejora de la calidad del aire basado en la captura y aprovechamiento energético del metano generado, es una propuesta que debería integrarse en los documentos de gestión y plan institucional de EPS SEDA Ayacucho, que son lineamientos que contribuirán definitivamente a los diferentes beneficios ambientales para la ciudad de Ayacucho; en consecuencia, se considera alcanzado el objetivo general de la investigación.

En consecuencia, como análisis y contrastación final de la presuposición planteada, la propuesta de gestión de la calidad del aire con el aprovechamiento energético del gas invernadero metano generado en los biodigestores Imhoff de la PTAR de Totorá permitirá la mitigación de la contaminación del aire en la ciudad de Ayacucho, que deberá monitorearse, evaluarse y retroalimentarse con una mejora continua dentro del Sistema de Gestión Ambiental implementado por la entidad, en un claro compromiso de gestionar una buena calidad del aire, armonizado transectorialmente con las entidades ambientales locales y regionales.

La revista ISO Focus (enero, 2016) afirma que unas 40 000 entidades de todo el mundo cuantifican y reportan las emisiones o eliminación de los GEI para cumplir con las regulaciones del gobierno, participan en los mercados de comercio de emisiones o demuestran liderazgo en la responsabilidad social corporativa; la reducción de emisiones de los GEI se hace efectiva incluyendo tecnologías y políticas para la eficiencia energética, la energía baja en carbono, las energías renovables y los edificios verdes.

Compromisos ambientales que en nuestra región deben ser interiorizados por la entidad, socializados con la población vinculante para su conciencia ambiental y participación activa en las actividades de saneamiento en general, con apoyo efectivo por parte de todas las autoridades locales y regionales, con una

gestión dinámica y transparente que permita fomentar actividades de contingencia contra desastres naturales así como mitigar la contaminación ambiental en general, erradicándose actos de corrupción y malversación, que tanto afectan y dañan a las diferentes poblaciones.

CONCLUSIONES

1. La región de Ayacucho con una población de 700 314 habitantes (proyectada al 2016), centraliza en la provincia de Huamanga a cinco distritos que conforman la zona metropolitana: Ayacucho (capital de la región), San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, cuya población conjunta bordean los 205 000 habitantes, con una alta densidad poblacional, que demandan diversos servicios básicos que aún no tienen una cobertura total, como es el caso de la colección de las aguas residuales domésticas, que son transportadas y procesadas en la única planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad conocida como PTAR de Totorá.
2. La empresa prestadora de servicios y saneamientos EPS SEDA de Ayacucho administra la PTAR de Totorá, que se encuentra ubicada a unos 3,5 km de la ciudad de Ayacucho en la dirección NE; la planta ocupa una extensión de 25 hectáreas donde se encuentran las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales, en la cual desemboca el colector general de aguas servidas con un caudal promedio de 353,5 L/s evaluado para el año 2015, con una tasa de incremento del 9,2 % con respecto al año anterior. En el procesamiento de las aguas servidas se recuperan cerca del 92 % del líquido, cuyo efluente final es vertido al cauce del río Alameda, cumpliendo con los parámetros exigidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM que regula los efluentes de las PTARs en el país.
3. El proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Totorá está conformada por: cámaras de rejillas; canales de desarenado; separador de aceites, grasas y ceras; medidor de caudal por ultrasonido; cámaras de distribución; seis tanques Imhoff para la sedimentación y digestión de materia orgánica; cuatro filtros percoladores con biofiltros aeróbicos; lechos de secado de lodos; sedimentadores integrados; lagunas facultativas, de maduración y pulimento; unidad de desinfección con cloro y el sistema de vertido al río Alameda.

4. El caudal de afluente y los niveles de DBO_5 que ingresan a la planta son relativamente fluctuantes en el horizonte de la operación, provocando un régimen inestable en los procesos físicos químicos y biológicos de las operaciones unitarias del circuito de tratamiento; en la evaluación del DBO_5 afluente se registra un promedio global de 370,3 mg/L de materia orgánica degradable, alcanzando en el efluente final los 40,3 mg/L, que representa una remoción promedio total en la planta del 89,1 %, cercano a los 91 % de remoción propuesta en el diseño de la planta; para el caso de los coliformes termotolerantes se alcanza una remoción de hasta 99,99 %, registrándose en el efluente final el promedio de 7200 NMP/100 mL; valores que son menores a los límites normados para los efluentes líquidos de PTARs.

5. En el circuito de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Totorá se tiene la instalación de seis tanques Imhoff que son biodigestores anaeróbicos que realizan el tratamiento primario de las aguas servidas; dos son de construcción antigua (13 m x 31 m, ~ 9 m de profundidad) y cuatro de construcción nueva (18,7 m x 33,2 m, 11,5 m de profundidad); son cámaras rectangulares que tienen tres compartimientos principales: la cámara de sedimentación y la cámara de ventilación que están alternadas como canales visibles en la superficie, y la cámara de digestión que es de forma piramidal invertida ubicada hacia el fondo del tanque. Las aguas servidas ingresan a la cámara de sedimentación, donde los sólidos finos y en suspensión sedimentan por gravedad hacia el fondo, ingresando a la cámara de digestión, donde se realiza una biodegradación anaeróbica de la materia orgánica con generación de biogás, que asciende como burbujas hacia las cámaras de ventilación, desde la cual se liberan directamente a la atmósfera, mientras que, los lodos de fondo se retiran periódicamente hacia las canchas de secado.

6. Los seis tanques Imhoff reciben el caudal promedio de 353,5 L/s de aguas servidas con un DBO_5 promedio afluente de 370,3 mg/L de materia orgánica, que se distribuyen proporcionalmente a cada uno para su operación en paralelo, tal que el efluente de dichos tanques alcanza un DBO_5 de 198,5 mg/L, que representan una remoción promedio del 46,4 %, superando el 25 % de remoción prefijado en el proyecto de instalación. Dentro del circuito de

tratamiento de aguas servidas de la planta, los seis tanques Imhoff contribuyen con el 52 % de la remoción total de materia orgánica desarrollada en el proceso, continuando la degradación en los filtros percoladores y las lagunas.

7. Las mediciones de generación y emisión de biogás medidas desde la superficie líquida de los canales de ventilación dan un valor promedio de emisión específica de biogás de 10,68 L/m².h a la presión local de 0,72 atm y la temperatura media de 27,2 °C, con una composición de 70,5 % de metano, que resulta en una emisión total anual observada de 19,55 toneladas de metano que se descargan desde 631,68 m² de superficie líquida total burbujeante de los canales de ventilación en los seis tanques Imhoff; niveles de emisión que de acuerdo a las directrices del IPCC podrían alcanzar hasta 1149,13 toneladas de metano por año, para una biodigestión anaeróbica controlada y completa.
8. La emisión total de biogás desde los seis tanques Imhoff, con una composición media de 70,5 % de metano y 22,6 % de dióxido de carbono, representan en conjunto una descarga total observada de 506,0 t CO₂-eq/año (toneladas equivalentes de dióxido de carbono), considerados como gases de efecto invernadero (GEI) que en la actualidad se descargan de forma directa a la atmósfera, constituyendo un impacto ambiental negativo, debido al gran potencial de calentamiento global que tiene el metano, siendo 25 veces mayor que el dióxido de carbono, provocando el incremento gradual de la temperatura media global del aire por la acción de efecto invernadero, que repercute en el calentamiento global y el cambio climático.
9. La quema directa del biogás en una antorcha a través de una combustión completa permite eliminar la descarga del metano a la atmósfera y reducir la emisión de los GEI en por lo menos 9,1 veces; sin embargo, la propuesta del sistema de aprovechamiento energético del gas metano generado por los tanques Imhoff a través del proceso de cogeneración CHP permitiría generar simultáneamente al menos 81,53 MW.h/año de energía eléctrica y 122,30 MW.h/año de energía térmica, que deben incorporarse en la integración energética de la planta de tratamiento de aguas residuales, con grandes beneficios económicos y ambientales.

10. Para el proceso de aprovechamiento energético del biogás se debe contar con un sistema de cierre hermético y captura de biogás desde los canales de ventilación de los seis tanques Imhoff, la colección y transporte hasta la estación de pretratamiento, donde deben instalarse las unidades de desulfurado y deshidratación del biogás, para luego ser comprimido y almacenado, para su alimentación continua hacia el cogenerador CHP integrado por el motor o turbina a gas, el generador trifásico y los equipos de recuperación de calor.

11. El desarrollo y propuesta del Sistema de Gestión Ambiental para la mitigación de la contaminación del aire, se sustenta en el aprovechamiento energético del metano generado por los tanques Imhoff por combustión en un proceso de cogeneración CHP, que repercute directamente en una mejora de la calidad del aire, reduciendo el efecto invernadero y calentamiento global, así como la reducción de los malos olores y problemas ambientales en el entorno de la planta; la entidad debe incorporar la propuesta en el SGA integrado de la PTAR de Totorá, asumiendo un compromiso efectivo en el marco de sus políticas ambientales que deben incorporarse en su gestión institucional y que deberían reflejarse explícitamente en su Plan Estratégico Institucional.

12. La contaminación del aire en la Cuenca Atmosférica de Huamanga viene acrecentándose potencialmente por el actual parque automotor, considerado aún como buena a moderado en sus parámetros ambientales de acuerdo a la calificación INCA; sin embargo, se debe tomar las previsiones de control de emisión de metano desde sus diferentes fuentes de contaminación antropogénica, tal es el caso de la emisión generada por los tanques Imhoff de la PTAR de Totorá, con el propósito de contribuir a la buena calidad del aire y los consecuentes beneficios económicos, sociales y ambientales para la población de la zona metropolitana de Ayacucho.

13. No existe aún la implementación de las normas ISO en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Totorá desarrolladas por la EPS SEDA Ayacucho, siendo imprescindible iniciar con la evaluación de los Sistemas de Gestión Ambiental y Gestión Energética, en el marco de las responsabilidades ambientales y sociales, conjuntamente con la evaluación de los Gases de Efecto Invernadero y la Responsabilidad Social Corporativa con mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo, que deben administrarse en un Sistema de Gestión Ambiental Integrado.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar trabajos de investigación tecnológicas para evaluar y optimizar el estado operativo de los tanques Imhoff, como la reducción de fluctuación de carga y parámetros en el afluente para una operación atenuada tendiente al régimen continuo, velocidad de sedimentación, biodegradación y ciclo óptimo de retiro de lodos, estudios cinéticos sobre metanogénesis e incremento de la eficiencia en la biodegradación anaerobia, caracterización y post tratamiento de lodos, optimización paramétrica para incrementar la eficiencia de generación de biogás para mayor disposición energética en la cogeneración.
2. Atención y suministro de recursos y personal que garanticen una operación y control más eficiente del proceso y la ingeniería del tratamiento de aguas residuales, con una permanente evaluación de parámetros por parte del laboratorio, comprendiéndose que es una planta con gran beneficio social y ambiental, que debería considerarse en la gestión pública para su soporte económico y funcionamiento sostenible, sin que expiren y queden abandonados en el tiempo como algunas plantas de otras localidades.
3. Elaboración de un Sistema de Gestión Ambiental para toda la planta de tratamiento de aguas residuales, PTAR de Totorá, que incorpore e integre todas las operaciones del circuito de tratamiento así como la administración y gestión de la entidad, dentro de los sistemas de gestión ambiental integrados, que incluyan la gestión energética, la emisión de los GEI, la responsabilidad social y la mitigación del cambio climático, en el marco de las correspondientes normas ISO.

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS Y REVISTAS ESPECIALIZADAS:

1. CEPIS UNATSABAR (2005). ***Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización.*** OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. Lima – Perú.
2. CES Consulting Engineers Salzgitter GmbH (2002). ***Proyecto de Agua Potable y Aguas Servidas, Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.*** Estudio Definitivo – Informe Principal, Vol. V, Tomo I. Ayacucho.
3. César V. E. y Vázquez G.A. (2003). ***Ingeniería de los sistemas de tratamientos y disposición de aguas residuales.*** Fundación ICA AC. México.
4. Chuchón S. & Aybar C. (2008). ***Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “La Totorá”, Ayacucho-Perú.*** Departamento Académico de Biología – UNALM. Lima-Perú. Rev. Ecología Aplicada, 7(1,2).
5. Diario El Peruano, Normas Legales, 3 de octubre de 2016. ***Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre gases de efecto invernadero, uso racional de energía y otros.*** RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 023-2016-INACAL/DN.
6. Diario El Peruano, Normas Legales, 31 de diciembre de 2016. ***Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre fertilizantes, cereales y otros (GEI).*** RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 040-2016-INACAL/DN.
7. Diario El Peruano, Normas Legales, 17 de marzo de 2010. ***Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.*** DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.

8. Donado R. (2013). ***Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta.*** Trabajo de Magister en Gestión Ambiental, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá Colombia.
9. EPA (2016), ***Climate Change Indicators, Global Greenhouse Gas Emissions.*** August 2016.
10. Glynn H.J. & Heinke G.W. (1999). ***Ingeniería Ambiental.*** 2da. ed. México: Edit. Pearson Educación.
11. Gonzales Ch., Julián T. (2011). ***Caracterización de los gases emanados del reactor anaeróbico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá y su influencia en el ambiente.*** Tesis de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Química. EPG-UNSCH. Ayacucho, Perú.
12. GORE Ayacucho – Gobierno Regional de Ayacucho (2015). ***Plan de Acción Ambiental Regional de Ayacucho, al 2021.*** Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Ayacucho – Perú.
13. Greenhouse Gas Protocol (2016). ***Global Warming Potential Values, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.***
14. GTZ – EPSASA (2000). ***Estudio Socioeconómico Huamanga y Huanta.*** ProAgua GTZ.
15. IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007). ***Biomasa: Digestores Anerobios.*** BESEL SA. Madrid – España.
16. IGM - Iniciativa Global de Metano (Global Methane Initiative) (2013). ***El metano de las aguas residuales municipales: Reducir emisiones, avanzar en la recuperación y aprovechar oportunidades.*** enero 2013.

17. INEI – UNFPA (2010). **Ayacucho, Boletín de Indicadores Demográficos, Sociales, Económicos y de Gestión Municipal**. Instituto Nacional de Estadística e Informática – Fondo de Población de las Naciones Unidas. Perú.
18. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (1997). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories reporting Instructions**.
19. IPCC (2008). **Climate Change 2007, Synthesis Report**. Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO-UNEP-IPCC. Geneva, Switzerland.
20. IPCC (2006). **Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero**. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
21. IPCC (2014). **El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC: ¿Qué implica para Latinoamérica? Resumen Ejecutivo**. CD KN, Alianza Clima y Desarrollo & Overseas Development Institute. Licencia Creative Commons 3.0.
22. IPCC (2014). **Anexo II: Glosario**. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-IPCC.
23. IPCC (2015). **Cambio Climático: Mitigación, Guía resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, grupo de trabajo III**. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental). Madrid.
24. ISOfocus Magazine (2016). **Climate chaos (Caos Climático)**. #114, enero-febrero 2016
25. ISOTools Excellence (2015). **ISO 14001:2015, Cambios y novedades**. Edit. ISOTools Excellence.

26. Jenkins D. & Snoeyink V.L. (2002). **Química del Agua.**, México: Edit. Limusa, Noriega Editores.
27. Kozak Joseph (2007). **Control, Reduction and Utilization of Greenhouse gases in Wastewater Treatment: Methane and Nitrous oxide.** Report N° 07-48, Protecting Our Water Environment, Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago. USA.
28. Menéndez G.C. y Pérez O. J.M. (2007). **Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales.** La Habana, Cuba: Edit. Félix Varela & Universitaria.
29. Metcalf & Eddy, Inc. (2003). **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4ta. ed., Edit. McGraw Hill.
30. MINAM (2008). **Ley General del Ambiente - Ley N° 28611; Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental - Ley N° 28245; Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental – Decreto Supremo N° 008 - 2005 – PCM; Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente – Decreto Legislativo N° 1013.** Vice Ministerio de Gestión Ambiental, Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental. Lima – Perú.
31. MINAM (2015). **Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 – 2014.** Vice Ministerio de Gestión Ambiental, Dirección General de Calidad Ambiental. Lima – Perú.
32. MINAM (2015). **RM N° 294-2015-MINAM: Plan de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en la Zona de Atención Prioritaria de la Cuenca Atmosférica de Huamanga.** Lima – Perú.
33. NPL, Netherlands Environmental Assessment Agency (2016). **Trends in Global CO₂ emissions: 2016 Report.** The Hague: Edit. PBL & EC-JRC.
34. OEFA (2014). **Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.** Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Ministerio del Ambiente. Perú.

35. Ortega et. al. (2015). **Principales métodos para la desulfuración del biogás**. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, VOL. XXXVI, No. 1, Ene-Abr 2015, p. 45-56, extraído de <http://scielo.sld.cu/scielo.php>
36. Pérez P.R. & Martínez M.J. (1995). **Ingeniería de Gas Natural, Características y Comportamiento de los Hidrocarburos**, Gennore C.A., Ingenieros Consultores, S .R.L. Maracaibo – Venezuela.
37. Pistonesi Carlos et al. (2010). **Energía a partir de las Aguas Residuales**. edUTecNe. Argentina.
38. Ramalho, R. S. (1993). **Tratamiento de Aguas Residuales**. (2da. Ed. Inglesa). Barcelona: Ed. Reverté SA.
39. Ramírez S, Norma y Vázquez B. Camilo (2012). **Estudio de políticas, medidas e instrumentos para la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector aguas residuales en México TC1241.3**. IMTA – INE – SEMARNAT. México.
40. Rodríguez J.A. (2003). **Tratamiento anaerobio de aguas residuales**. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
41. SEDA Ayacucho (2016). **Plan Estratégico Institucional EPS SEDA Ayacucho 2016 – 2021**. Consultora INEM. Ayacucho – Perú.
42. SUNASS (2015). **Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento**. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento – SUNASS, GIZ Cooperación Alemana, Proagua II. Lima – Perú.
43. Tolosa B. Jean (2007). **Diseño del Sistema de Gestión Medioambiental basado en EMAS, para la planta productora de biogas "BIO-ENERGIE" (Bamberg - Alemania)**. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle. Bogotá – Colombia.

Páginas de Internet:

1. Aqua Limpia Engineering, Grupo Aqua Limpia Consultores, Biodigestores, Purificación Biogás, Generadores, <http://www.aqualimpia.com/Planta-piloto.htm>
2. BANCO MUNDIAL, **Datos: Emisiones de metano (kt de equivalente de CO₂)**, Agencia Internacional de la Energía, Estadísticas de la AIE © OCDE/AIE, <http://datos.bancomundial.org>
3. DGCF – Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, MTC, Mapa Vial Ayacucho, http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Departamentales/05-AYACUCHO.pdf
4. Ecofys, ASN Bank (2016). **Quarter of global greenhouse gas emissions stems from coal combustion**, 2016, <http://www.ecofys.com/en/press/quarter-of-global-greenhouse-gas-emissions-stems-from-coal-combustion/>
5. EPSASA, **Tratamiento de Aguas Servidas**, Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Ayacucho S.A., <http://www.epsasa.com.pe/home.htm>
6. Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, **Sistemas de gestión ambiental (ISO 14001 y EMAS)** <http://territori.gencat.cat/ca/inici/>:
7. GISS, Goddard Institute for Space Studies, Institute on Climate and Planets, **The Global Methane Cycle**, <https://icp.giss.nasa.gov/education/methane/intro/cycle.html>
8. Global Methane Initiative, **Partner Countries: Perú**, <https://www.globalmethane.org>
9. INACAL, Instituto Nacional de Calidad, <https://www.inacal.gob.pe/>
10. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>

11. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, **Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, 2.10.2 Direct Global Warming Potentials**, https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14
12. ISO, International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/about-us.html>, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
13. MIFIC – Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, **Gestión Ambiental: Sistema de Gestión Ambiental**, Nicaragua, <http://www.mific.gob.ni/GESTIONAMBIENTAL/SISTEMADEGESTIONAMBIENTAL.aspx>
14. National Aeronautics and Space Administration – NASA, **GISS Surface Temperature Analysis**, Earth Sciences Division, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>
15. NEWSROOM, UN Climate Change, <http://newsroom.unfccc.int/>
16. ONU, **COP20**, Sistema de las Naciones Unidas en el Perú, <http://onu.org.pe/cop20/>
17. SINIA – Sistema Nacional de Información Ambiental, **Normas: Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles**, <http://sinia.minam.gob.pe/normas>
18. TODOPRODUCTIVIDAD, **Método para calcular la eficiencia de los sistemas de ciclo combinado calor y potencia**, <http://todoproductividad.blogspot.pe/2012/06/metodo-para-calculiar-la-eficiencia-de.html>

ANEXOS

- A-01** POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (PCG O GWP)

- A-02** NTPS VINCULADAS CON GASES DE EFECTO INVERNADERO

- A-03** VISTAS FOTOGRÁFICAS DE LA HISTORIA CONSTRUCTIVA DE LOS TANQUES IMHOFF EN LA PTAR DE TOTORA

- A-04** APROBACIÓN DE LOS LMPS PARA LOS EFLUENTES DE PTARS

- A-05** ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE: INCA

- A-06** NTP ISO 26000: GUÍA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL

ANEXO 01

POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (PCG o GWP)

1.a) **GWP: IPCC-1996.**

Gas	Fórmula química	Potencial de Calentamiento Global (de la Referencia 1990)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nitroso	N ₂ O	310
Hidrofluorocarbonos HFC		
HFC-23	CHF ₃	11 700
HFC-32	CH ₂ F ₃	650
HFC-41	CH ₃ F	150
HFC-43-10mee	C ₃ H ₂ F ₁₀	1 300
HFC-125	C ₂ HF ₅	2 800
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1 000
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1 300
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CHF ₂ CH ₂ F)	300
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CF ₃ CH ₃)	3 800
HFC-152	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	140
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	2 900
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6 300
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560
Hidrofluoroéteres (HFE)		
HFE-7100	C ₄ F ₉ OCH ₃	500
HFE-7200	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	100
Perfluorocarbonos PFC		
Perfluorometano (tetrafluorometano)	CF ₄	6 500
Perfluoroetano (hexafluoroetano)	C ₂ F ₆	9 200
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	7 000
Perfluorobutano	C ₄ F ₁₀	7 000
Perfluorociclobutano	c-C ₄ F ₈	8 700
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	7 500
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	7 400
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23 900

Intergovernmental Panel on Climate Change, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories reporting Instructions, 1997.

1.b) GWP: IPCC, Table 2-14

Industrial Designation or Common Name	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency ($W\ m^{-2}\ ppb^{-1}$)	Global Warming Potential For Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Methane^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
<i>Substances controlled by the Montreal Protocol</i>							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CCIF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FCCIF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CCIF ₂ CCIF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CCIF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	5	0.06	100*	506	146	45
HCFC-21	CHCl ₂ F	1.7	0.14		530	151	46
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClFCF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14	600	2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181
<i>Hydrofluorocarbons</i>							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-41	CH ₃ F	2.4	0.02	150	323	92	28
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	9.6	0.18	1000	3,400	1,100	335
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	3.5	0.13	300	1,240	353	107
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	0.60	0.09		187	53	16

HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	0.3	0.03		43	12	3.7
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	13.6	0.23		3,630	1,340	407
HFC-236ea	CHF ₂ CHF ₂ CF ₃	10.7	0.3		4,090	1,370	418
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	6.2	0.23	560	2,340	693	211
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1,030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500

Industrial Designation or Common Name	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential For Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
<i>Perfluorinated compounds</i>							
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	^d 0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	^e 0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200
PFC-218	C ₃ F ₈	2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
PFC-318	c-C ₄ F ₈	3,200	0.32	8,700	7,310	10,300	14,700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4,100	0.41	7,500	6,510	9,160	13,300
PFC-5-1-14	C ₆ F ₁₄	3,200	0.49	7,400	6,600	9,300	13,300
PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1,000 ^f	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
trifluoromethyl sulphur pentafluoride	SF ₅ CF ₃	800	0.57		13,200	17,700	21,200
Perfluorocyclopropane	c-C ₃ F ₆	>1000	0.42		>12,700	>17,340	>21,800

Industrial Designation or Common Name	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential For Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
<i>Fluorinated ethers</i>							
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	136	0.44		13,800	14,900	8,490
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	0.45		12,200	6,320	1,960
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	4.3	0.27		2,630	756	230
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2.6	0.38		1,230	350	106
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃	5.1	0.32		2,440	708	215
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4.9	0.31		2,280	659	200
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2.6	0.28		1,260	359	109
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5.2	0.34		1,980	575	175
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7.1	0.25		1,900	580	175
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0.33	0.93		386	110	33
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃	3.8	0.31		1,040	297	90
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0.77	0.3		207	59	18
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	6.3	1.37		6,320	1,870	569
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12.1	0.66		8,000	2,800	860
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	6.2	0.87		5,100	1,500	460
	(CF ₃) ₂ CFOCH ₃	3.4	0.31		1204	343	104
	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH	0.4	0.24		147	42	13
	(CF ₃) ₂ CHOH	1.8	0.28		687	195	59
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃	11	0.40		4,540	1,540	468
HFE-236ea2	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃	5.8	0.44		3,370	989	301
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃	3.7	0.34		1,710	487	148
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃	2.2	0.30		1,010	286	87
HFE 263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃	0.2	0.1		38	11	3
HFE-329mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃	6.8	0.49		3,060	919	279
HFE-338mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃	4.3	0.43		1,920	552	168
HFE-347mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃	2.8	0.41		1,310	374	114
HFE-356mec3	CH ₃ OCF ₂ CHFCF ₃	0.94	0.30		355	101	31
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂	2.0	0.37		931	265	80
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂	3.6	0.39		1,760	502	153
HFE 365mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃	0.27	0.11		41	11	4
HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃	5.0	0.25		1,930	557	169

	- (CF ₂) ₄ CH (OH) -	0.3	0.85		258	73	23
	(CF ₃) ₂ CHOCHF ₂	3.1	0.41		1,330	380	115
	(CF ₃) ₂ CHOCH ₃	0.25	0.30		94	27	8.2

Industrial Designation or Common Name	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential For Given Time Horizon			
				SAR [‡] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Perfluoropolyethers							
PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ O CF ₂ OCF ₃	800	0.65		7,620	10,300	12,400
Hydrocarbons and other compounds – Direct Effects							
Dimethylether	CH ₃ OCH ₃	0.015	0.02		1	1	<<1
Chloroform	CHCl ₃	0.51	0.11	4	108	31	9.3
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	0.38	0.03	9	31	8.7	2.7
Methyl chloride	CH ₃ Cl	1.0	0.01		45	13	4
	CH ₂ Br ₂	0.41	0.01		5.4	1.54	0.47
Halon-1201	CHBrF ₂	5.8	0.14		1,380	404	123
Trifluoroiodomethane	CF ₃ I	0.005	0.23	<1	1	0.4	0.1

Notes:

^a The CO₂ response function used in this report is based on the revised version of the Bern Carbon cycle model used in [Chapter 10](#) of this report (Bern2.5CC; Joos et al. 2001) using a background CO₂ concentration value of 378 ppm. The decay of a pulse of CO₂ with time t is given by

$$a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i \cdot e^{-t/\tau_i}$$

Where a₀ = 0.217, a₁ = 0.259, a₂ = 0.338, a₃ = 0.186, τ₁ = 172.9 years, τ₂ = 18.51 years, and τ₃ = 1.186 years.

^b The radiative efficiency of CO₂ is calculated using the IPCC (1990) simplified expression as revised in the TAR, with an updated background concentration value of 378 ppm and a perturbation of +1 ppm (see Section [2.10.2](#)).

^c The perturbation lifetime for methane is 12 years as in the TAR (see also Section [7.4](#)). The GWP for methane includes indirect effects from enhancements of ozone and stratospheric water vapour (see Section [2.10.3.1](#)).

^d Robson et al. (2006)

^e Hurley et al. (2005)

^f Shine et al. (2005c), updated by the revised AGWP for CO₂. The assumed lifetime of 1,000 years is a lower limit.

[‡] Second Assessment Report (IPCC, 1996)

* Compound in SAR (Table 2.8) was erroneously listed as CH₃Cl₃.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, 2.10.2 Direct Global Warming Potentials, https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14

1.c) GWP, SAR – AR4 – AR5

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	21	25	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	298	265

Substances controlled by the Montreal Protocol				
CFC-11	CCl ₃ F	3,800	4,750	4,660
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8,100	10,900	10,200
CFC-13	CClF ₃		14,400	13,900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	4,800	6,130	5,820
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂		10,000	8,590
CFC-115	CClF ₂ CF ₃		7,370	7,670
Halon-1301	CBrF ₃	5,400	7,140	6,290
Halon-1211	CBrClF ₂		1,890	1,750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂		1,640	1,470
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1,400	1,400	1,730
Methyl bromide	CH ₃ Br		5	2
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	100	146	160
HCFC-21	CHCl ₂ F			148
HCFC-22	CHClF ₂	1,500	1,810	1,760
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	90	77	79
HCFC-124	CHClFCF ₃	470	609	527
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	600	725	782
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1,800	2,310	1,980
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃		122	127
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂		595	525

Hydrofluorocarbons (HFCs)				
HFC-23	CHF ₃	11,700	14,800	12,400
HFC-32	CH ₂ F ₂	650	675	677
HFC-41	CH ₃ F	150		116
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2,800	3,500	3,170
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1000		1,120
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300	1,430	1,300
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	300		328
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	3,800	4,470	4,800
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F			16
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	140	124	138
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F			4
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	2,900	3,220	3,350
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃			1,210
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃			1,330
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	6,300	9,810	8,060
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	560		716
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃		1,030	858
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃		794	804
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCF ₂ CF ₃	1,300	1,640	1,650

Perfluorinated compounds				
Sulfur hexafluoride	SF ₆	23,900	22,800	23,500
Nitrogen trifluoride	NF ₃		17,200	16,100
PFC-14	CF ₄	6,500	7,390	6,630
PFC-116	C ₂ F ₆	9,200	12,200	11,100
PFC-218	C ₃ F ₈	7,000	8,830	8,900
PFC-318	c-C ₄ F ₁₀	8,700	10,300	9,540
PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	7,000	8,860	9,200
PFC-41-12	C ₅ F ₁₂	7,500	9,160	8,550
PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	7,400	9,300	7,910
PCF-91-18	C ₁₀ F ₁₈		>7,500	7,190
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride	SF ₅ CF ₃		17,700	17,400
Perfluorocyclopropane	c-C ₃ F ₆			9,200

Fluorinated ethers				
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃		14,900	12,400
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂		6,320	5,560
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃		756	523
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃		350	491
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃		708	654
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃		659	812
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃		575	530
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃		580	889
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂		110	413
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃		297	421
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OCH ₂ H ₅		59	57
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂		1,870	2,820
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂		2,800	5,350
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂		1,500	2,910
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃			6,450
HFE-236ea2	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃			1,790
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃			979
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃			828
HFE 263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃			1
HFE-329mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃			3,070
HFE-338mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃			929
HFE-347mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃			854
HFE-356mec3	CH ₃ OCF ₂ CHFCF ₃			387
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂			719
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂			446
HFE 365mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃			<1
HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃			627
Perfluoropolyethers				
PFPPIE	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃		10,300	9,710
Hydrocarbons and other compounds - direct effects				
Chloroform	CHCl ₃	4		16
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	9	8.7	9
Methyl chloride	CH ₃ Cl		13	12
Halon-1201	CHBrF ₂			376

Greenhouse Gas Protocol, Global Warming Potential Values (2016), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

ANEXO 02

NTPs VINCULADAS CON GASES DE EFECTO INVERNADERO

COD. CTN	NOMBRE CTN	CÓDIGO NTP	TÍTULO DE LA NORMA NTP	NTP ANTECEDENTE
19	Gestión Ambiental	NTP-ISO 14064-1:2016	Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. 2ª Edición	Reemplaza a la NTP-ISO 14064-1:2011 EQV. ISO 14064-1:2006
19	Gestión Ambiental	NTP-ISO 14064-2:2016	Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el incremento en las remociones de gases de efecto invernadero. 2ª Edición	Reemplaza a la NTP-ISO 14064-2:2011 EQV. ISO 14064-2:2006
19	Gestión Ambiental	NTP-ISO 14064-3:2016	Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y la verificación de las aserciones de gases de efecto invernadero. 1ª Edición	 EQV. ISO 14064-3:2006
19	Gestión Ambiental	NTP-ISO 14065:2016	Gases de efecto invernadero. Requisitos para los organismos que realizan la validación y la verificación de gases de efecto invernadero, para su uso en acreditación u otras formas de reconocimiento. 1ª Edición	 EQV. ISO 14065:2013

Diario El Peruano, Normas Legales, 3 de octubre de 2016, Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre gases de efecto invernadero, uso racional de energía y otros, RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 023-2016-INACAL/DN.

Diario El Peruano, Normas Legales, 31 de diciembre de 2016, Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre fertilizantes, cereales y otros (GEI), RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 040-2016-INACAL/DN.

ISO 14064-1

Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la Norma ISO 14064 especifica los principios y requisitos para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel de organización. Incluye requisitos para diseño, desarrollo, gestión, informe y/o verificación de un inventario de GEI de una organización.

Estructura

- 1 Objeto y campo de aplicación
- 2 Términos y definiciones
- 3 Principios
 - 3.1 Generalidades
 - 3.2 Pertinencia
 - 3.3 Cobertura total
 - 3.4 Coherencia
 - 3.5 Exactitud
 - 3.6 Transparencia
- 4 Diseño y desarrollo del inventario de GEI
 - 4.1 Límites de la organización
 - 4.2 Límites operativos
 - 4.3 Cuantificación de emisiones y remociones de GEI
- 5 Componentes del inventario de GEI
 - 5.1 Emisiones y remociones de GEI
 - 5.2 Actividades de la organización para reducir las emisiones de GEI o incrementar las remociones de GEI
 - 5.3 Inventario de GEI del año base
 - 5.4 Evaluación y reducción de la incertidumbre
- 6 Gestión de la calidad del inventario de GEI
 - 6.1 Gestión de la información sobre los GEI
 - 6.2 Retención de documentos y mantenimiento de registros
- 7 Informes sobre GEI
 - 7.1 Generalidades
 - 7.2 Planificación del informe sobre GEI
 - 7.3 Contenido del informe sobre GEI
- 8 Función de la organización en las actividades de verificación
 - 8.1 Generalidades
 - 8.2 Preparación para la verificación
 - 8.3 Gestión de la verificación
- Anexo A Consolidación de los datos de la instalación a nivel de la organización
 - A.1 Generalidades
 - A.2 Consolidación basada en el control
 - A.3 Consolidación con base en la cuota de participación correspondiente
- Anexo B Ejemplos de otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero
 - B.1 Generalidades
- Anexo C Potenciales de calentamiento global de los gases de efecto invernadero

ISO 14064-2

Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la norma ISO 14064 especifica los principios y requisitos y proporciona orientación a nivel de proyecto para la cuantificación, el seguimiento y el informe de actividades destinadas a producir reducción de emisiones o incremento de remociones de gases de efecto invernadero (GEI). Incluye requisitos para la planificación de un proyecto de GEI, la identificación y selección de fuentes, sumideros y reservorios de GEI pertinentes para el proyecto y el escenario de la línea base, el seguimiento, la cuantificación, la documentación y el informe del desempeño del proyecto de GHG y la calidad de los datos de gestión.

Estructura

- 1 Objeto y campo de aplicación
- 2 Términos y definiciones
- 3 Principios
 - 3.1 Generalidades
 - 3.2 Pertinencia
 - 3.3 Cobertura total
 - 3.4 Coherencia
 - 3.5 Exactitud
 - 3.6 Transparencia
 - 3.7 Actitud conservadora
- 4 Introducción a los proyectos de GEI
- 5 Requisitos para los proyectos de GEI
 - 5.1 Requisitos generales
 - 5.2 Descripción del proyecto
 - 5.3 Identificación de fuentes, sumideros y reservorios de GEI para el proyecto
 - 5.4 Determinación del escenario de la línea base
 - 5.5 Identificación de fuentes, sumideros y reservorios de GEI para el escenario de la línea base
 - 5.6 Selección de fuentes, sumideros y reservorios de GEI para el seguimiento o estimación de las emisiones y remociones de GEI
 - 5.7 Cuantificación de las emisiones y/o remociones de GEI
 - 5.8 Cuantificación de reducciones de emisiones y aumentos de remociones de GEI
 - 5.9 Gestión de la calidad de los datos
 - 5.10 Seguimiento del proyecto de GEI
 - 5.11 Documentación del proyecto de GEI
 - 5.12 Validación y/o verificación del proyecto de GEI
 - 5.13 Informe del proyecto de GEI
- Anexo A Orientaciones sobre el uso de esta parte de la Norma ISO 14064
 - A.1 Antecedentes
 - A.2 Principios
 - A.3 Requisitos para los proyectos de GEI
- Anexo B Potenciales de Calentamiento Global de los gases de efecto invernadero

ISO 14064-3

Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la Norma ISO 14064 especifica los principios y requisitos, y proporciona orientación para aquellos que llevan a cabo o gestionan la validación y/o verificación de las declaraciones sobre los GEI. Puede aplicarse a la cuantificación de GEI para organizaciones o proyectos, incluyendo la cuantificación, el seguimiento e el informe de GEI, realizados según las Normas ISO 14064-1 o ISO 14064-2.

Esta parte de la Norma ISO 14064 especifica los requisitos para la selección de validadores/verificadores de GEI, estableciendo el nivel de aseguramiento, los objetivos, los criterios y el alcance; determinando el enfoque de la validación/verificación; evaluando datos sobre los GEI, la información, los sistemas de información y los controles, evaluando las declaraciones sobre los GEI y preparando las declaraciones de validación/ verificación.

Estructura

1 Objeto y campo de aplicación

2 Definiciones

3 Principios

- 3.1 Generalidades
- 3.2 Independencia
- 3.3 Conducta ética
- 3.4 Presentación ecuánime
- 3.5 Debido cuidado profesional

4 Requisitos de validación y verificación

- 4.1 Validadores o verificadores
- 4.2 Proceso de validación o verificación
- 4.3 Nivel de aseguramiento, objetivos, criterios y alcance de la validación o verificación
- 4.4 Enfoque de la validación o verificación
- 4.5 Evaluación del sistema de información sobre los GEI y sus controles
- 4.6 Evaluación de los datos y la información sobre los GEI
- 4.7 Evaluación frente a los criterios de validación o verificación
- 4.8 Evaluación de la declaración sobre los GEI
- 4.9 Declaración de validación o verificación
- 4.10 Registros de la validación o verificación
- 4.11 Hechos descubiertos después de la validación o verificación

Anexo A Orientaciones para el uso de esta parte de la Norma ISO 14064

- A.1 Generalidades
- A.2 Orientación sobre los requisitos de validación o verificación

ISO 14065

Objeto y campo de aplicación

Esta Norma Internacional especifica los principios y requisitos para los organismos que llevan a cabo la validación o la verificación de las declaraciones de gases de efecto invernadero (GEI).

Estructura

- 1 Objeto y campo de aplicación
- 2 Referencias Normativas
- 3 Términos y definiciones
 - 3.1 Términos relacionados con los gases de efecto invernadero
 - 3.2 Términos relacionados a las personas y organizaciones
 - 3.3 Términos relacionados con la validación y la verificación
 - 3.4 Términos relacionados con el reconocimiento y el aseguramiento
- 4 Principios
 - 4.1 Generalidades
 - 4.2 Imparcialidad
 - 4.3 Competencia
 - 4.4 Enfoque basado en hechos para la toma de decisiones
 - 4.5 Transparencia
 - 4.6 Confidencialidad
- 5 Requisitos generales
 - 5.1 Situación legal
 - 5.2 Asuntos legales y contractuales
 - 5.3 Gobernanza y compromiso de la dirección
 - 5.4 Imparcialidad
 - 5.5 Responsabilidad legal y finanzas
- 6 Competencias
 - 6.1 Dirección y personal
 - 6.2 Competencias del personal
 - 6.3 Distribución del personal
 - 6.4 Empleo de validadores o verificadores externos
 - 6.5 Registros del personal
 - 6.6 Contratación externa
- 7 Comunicación y registros
 - 7.1 Información proporcionada al cliente o a la parte responsable
 - 7.2 Comunicación de responsabilidades al cliente o a la parte responsable
 - 7.3 Confidencialidad
 - 7.4 Información accesible al público
 - 7.5 Registros
- 8 Proceso de validación o de verificación
 - 8.1 Generalidades
 - 8.2 Acuerdo previo
 - 8.3 Enfoque
 - 8.4 Validación o verificación
 - 8.5 Revisión y emisión de la declaración de validación o de verificación
 - 8.6 Registros
 - 8.7 Hechos detectados después de la declaración de validación o de verificación

9 Apelaciones

10 Quejas

11 Validaciones o verificaciones especiales

12 Sistema de gestión

Anexo A Relación entre la aplicación de la Norma ISO 14065 y las Normas ISO 14064-1, ISO 14064-2, ISO 14064-3 e ISO 14066

Anexo B Imparcialidad

B.1 Objeto

B.2 Riesgos para la imparcialidad

B.3 Salvaguardas para la imparcialidad

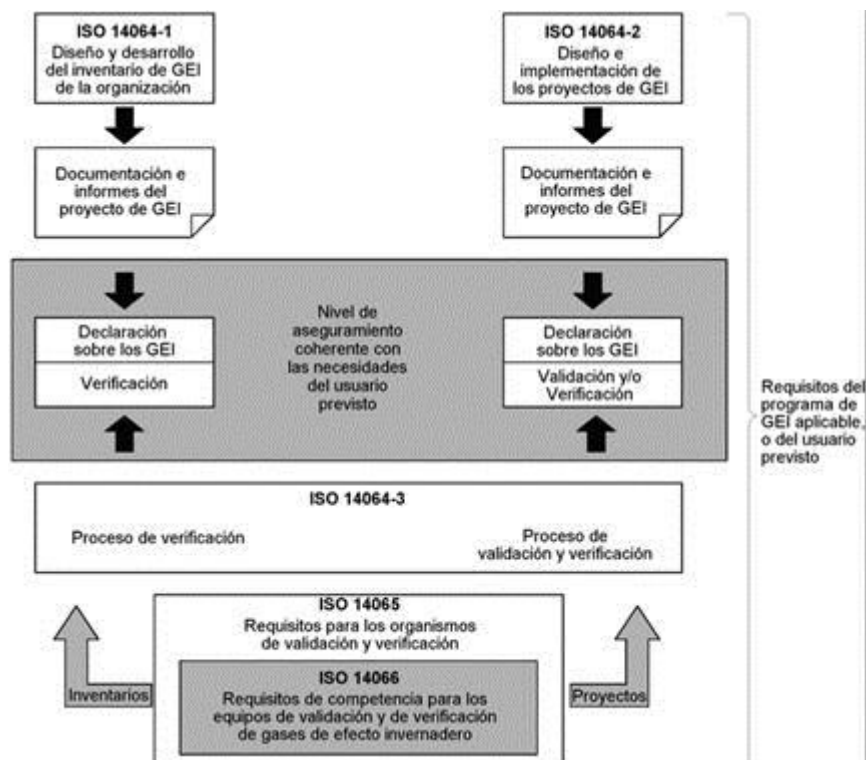
B.4 Evaluación y determinación del nivel aceptable de riesgo para la imparcialidad

B.5 Imparcialidad del validador y del verificador — Asuntos de la organización y estructurales

Anexo C Comparación de los requisitos del proceso de validación y verificación de la Norma ISO 14065 y la Norma ISO 14064-3

Anexo D Ejemplo de documentación del sistema de gestión

Relación entre las partes de la Norma ISO 14064



ANEXO 03

VISTAS FOTOGRÁFICAS DE LA HISTORIA CONSTRUCTIVA DE LOS TANQUES IMHOFF EN LA PTAR de TOTORA



Fotografía 01 : Vaciado de concreto en la estructura inferior o cono de tanque



Fotografía 02 : Vaciado de la cámara de digestión del Tanque Imhoff 03



Fotografía 03 : Estructura del solado del Tanque Imhoff 04



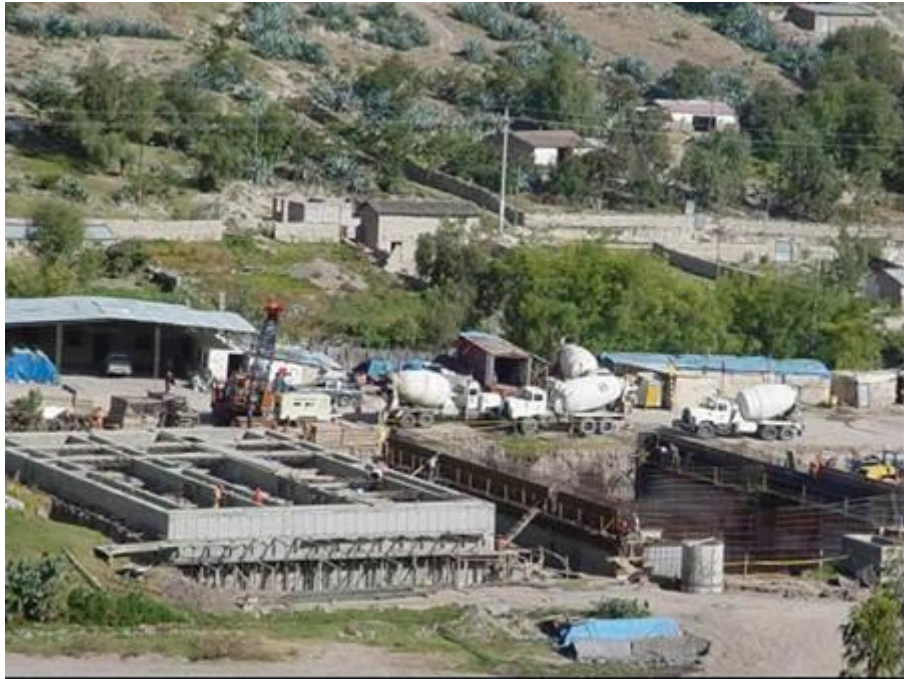
Fotografía 04 : Vista constructiva de los Tanques Imhoff 05 y 06



Fotografía 05 : Vaciado de los canales de venteo y último nivel



Fotografía 06 : Encofrado de las cámaras de sedimentación



Fotografía 07 : Estructura y acabado del tanque Imhoff



Fotografía 08 : Carga y prueba hidráulica del tanque Imhoff



Fotografía 09 : Tubería de descarga de lodos del tanque Imhoff

EPS SEDA Ayacucho, consolidado de documentos PTAR de Totorá.

ANEXO 04

APROBACIÓN DE LOS LMPs PARA LOS EFLUENTES DE PTARs

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO
N° 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones 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 numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4°.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7º.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

El Peruano, NORMAS LEGALES, 415675, Lima, miércoles 17 de marzo de 2010.

ANEXO 05

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE: INCA

El MINAM ha elaborado el Índice de Calidad del Aire - INCA para representar y calificar el estado de la calidad del aire tomando en cuenta los conceptos ya posicionados en la población como son los colores del semáforo y del espectro de luz como el arco iris; el INCA se divide en cuatro categorías, con bandas de color que califican la calidad del aire con los cuidados y recomendaciones que corresponden (MINAM, 2015), las cuales son:

Cuidados y recomendaciones según categoría de Calidad del Aire		
CATEGORÍA	CUIDADOS	RECOMENDACIONES
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre.
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podría experimentar algunos problemas de salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible.
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	Toda la población puede verse afectada gravemente en la salud.	Implementar estados de alerta.

Los valores de los intervalos de cada parámetro evaluados en el Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014, están basadas para cada parámetro ambiental de acuerdo a los ECAs vigentes, siendo los rangos admitidos los siguientes:

Material particulado (PM10) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0-50	0-75	$I(\text{PM}_{10}) = [\text{PM}_{10}] * 100/150$
51-100	76-150	
101-167	151-250	
> 167	> 250	

Material particulado (PM2,5) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0-50	0 -12,5	$I(\text{PM}_{2,5}) = [\text{PM}_{2,5}] * 100/25$
51-100	12.6-25	
101-500	25,1-125	
> 500	>1 25	

Dióxido de azufre (SO ₂) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0-50	0-10	$I(\text{SO}_2) = [\text{SO}_2] * 100/20$
51-100	11-20	
101-625	21-500	
> 625	> 500	

Dióxido de nitrógeno (NO ₂) promedio 1 hora		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0-50	0-100	$I(\text{NO}_2) = [\text{NO}_2] * 100/200$
51-100	101-200	
101-150	201-300	
> 150	> 300	

MINAM, Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013 – 2014; 2.3.4 Índice de Calidad del Aire (INCA), 2015.

ANEXO 06

NTP ISO 26000: Guía de Responsabilidad Social

Objeto y campo de aplicación

Esta Norma Técnica Peruana proporciona orientación a todo tipo de organizaciones, independientemente de su tamaño o localización, sobre:

- a) Conceptos, términos y definiciones relacionados con la responsabilidad social;
- b) Antecedentes, tendencias y características de la responsabilidad social;
- c) Principios y prácticas relacionadas con la responsabilidad social;
- d) Materias fundamentales y asuntos de responsabilidad social;
- e) Integración, implementación y promoción de un comportamiento socialmente responsable en toda la organización y, a través de sus políticas y prácticas relacionadas, dentro de su esfera de influencia;
- f) Identificación e involucramiento con las partes interesadas, y
- g) Comunicación de compromisos, desempeño y otra información relacionados con la responsabilidad social.

Esta Norma Técnica Peruana pretende ayudar a las organizaciones a contribuir al desarrollo sostenible. Tiene como propósito fomentar que las organizaciones vayan más allá del cumplimiento legal, reconociendo que el cumplimiento de la ley es una obligación fundamental para cualquier organización y una parte esencial de su responsabilidad social. Se pretende promover un entendimiento común en el campo de la responsabilidad social y complementar otros instrumentos e iniciativas relacionados con la responsabilidad social, sin reemplazarlos.

Estructura

1. Objeto y campo de aplicación
 2. Términos y definiciones
 3. Comprender la responsabilidad social
 4. Principio de la responsabilidad social
 5. Reconocer la responsabilidad social e involucrarse con las partes interesadas
 6. Orientación sobre las materias fundamentales
 7. Antecedente
- Anexo a (informativo) ejemplos de iniciativas voluntarias y herramientas para la responsabilidad social
- Anexo b (informativo) abreviatura