

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE FILTRO INTERMITENTE DE ARENA
PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA AM POWER**

TESIS

INGENIERO AMBIENTAL

ALEX MANUEL MEZA MIRANDA

DR. LESCANO SANDOVAL JORGE

DR. ZUÑIGA DÍAZ WALTER BENJAMIN

DR. ZAMORA TALAVERANO NOÉ SABINO

DR. SANDOVAL RICCI ALDO JUAN

ING. ROJAS LEÓN GALDYS

LIMA, PERÚ

2018

RESUMEN

La presente tesis desarrolla una propuesta para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, permitiendo así controlar posibles daños al ambiente y prevenir la transmisión de enfermedades a los trabajadores durante la etapa de operación de la central termoeléctrica AM POWER.

La investigación propone tratar los efluentes domésticos mediante el Filtro Intermitente de Arena para lograr un nivel de tratamiento que cumpla el Estándar de Calidad Ambiental aplicable al reusó para riego de áreas verdes y carretera, logrando de esta manera reducir su descarga al ambiente. Asimismo remover la concentración de contaminantes microbiológicos y parasitológicos, para prevenir enfermedades en los trabajadores

La investigación inicia con la recolección y análisis de datos, posteriormente en la etapa de diseño procesa estos datos y se calculó las dimensiones; de acuerdo a eso el estudio se definió como una metodología Mixta (Cualitativa Cuantitativa).

Como resultados de la investigación el Filtro Intermitente de Arena, remueve los contaminantes (DBO_5 , Solidos Suspendidos, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Coliformes Fecales) obteniendo un efluente para el reuso en riego, el principal parámetro a remover son los Coliformes Totales ya que dicho parámetro es un

indicador de posibles contagios de enfermedades. Finalmente el 60% del efluente tratado será reusado en el riego de áreas verdes y carreteras de acceso.

Se concluye que el sistema de tratamiento propuesto es adecuado para la degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas, asimismo el suelo presenta una adecuado permeabilidad para la infiltración de los efluentes previamente tratados el efluente tratado reúne las condiciones para ser aprovechado.

Palabras Claves: Implementación Tanques Sépticos, Filtro Intermitente de Arena, Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Termoeléctricas, Tanques Sépticos en Chilca.

ABSTRACT

The present thesis develops a proposal for the treatment of domestic wastewater, allowing to control possible damages to the environment and to prevent the transmission of diseases to the workers during the stage of operation of the power plant AM POWER.

The research proposes to treat domestic effluents through the Intermittent Sand Filter to achieve a level of treatment that meets the Environmental Quality Standard applicable to reuse for irrigation of green areas and road, thus reducing its discharge to the environment. Also remove the concentration of microbiological and parasitological contaminants, to prevent diseases in workers

The investigation begins with the collection and analysis of data, later in the design stage it processes these data and the dimensions were calculated; according to that the study was defined as a Mixed (Qualitative Quantitative) methodology.

As a result of the research the Intermittent Sand Filter removes contaminants (BOD5, Suspended Solids, Total Nitrogen, Total Phosphorus, Fecal Coliforms) obtaining an effluent for irrigation reuse, the main parameter to be removed are Total Coliforms since said parameter is an indicator of possible disease contagion. Finally, 60% of the treated effluent will be reused in the irrigation of green areas and access roads.

It is concluded that the proposed treatment system is suitable for the degradation of contaminants present in domestic wastewater, and the soil presents an adequate

permeability for the infiltration of the previously treated effluents. The treated effluent meets the conditions to be exploited.

Keywords: Septic Tank Implementation, Intermittent Sand Filter, Domestic Wastewater Treatment in Thermoelectric, Septic Tanks in Chilca.

INTRODUCCIÓN

Debido al alto crecimiento industrial y comercial, junto con ellas las áreas urbanas y rurales; el vertimiento de las aguas residuales domésticas e industriales, tanto en las quebradas como en el suelo se ha convertido ya en una preocupación en el distrito de Chilca - Cañete. Al respecto, es creciente la preocupación y actualmente las aguas residuales domésticas generadas en las industrias.

Las aguas residuales domésticas generados en la etapa de operación de la central requieren el tratamiento apropiado, con la finalidad de proteger el ambiente y la salud de los trabajadores; estos efluentes presentan un índice de biodegradabilidad alto, permitiendo utilizar métodos de tratamiento biológico. Por lo que en esta investigación se busca una sostenibilidad de los procesos y la reutilización del efluente, considerando los costos y minimizando la operación y mantenimiento.

La selección de la ubicación, método y diseño del sistema de tratamiento, se deberá obtener luego de un estudio formal de investigación que permita demostrar garantizar los resultados esperados, con base en la caracterización de los afluentes que ingresarán al sistema de tratamiento.

En este contexto, el presente trabajo propone la utilización de Filtro Intermitente de Arena como alternativa para el tratamiento y reúso de las ARD. La tesis está dividida en seis capítulos.

En el capítulo I, se citan guías, investigaciones y experiencias relacionadas a la implementación de tanques sépticos, asimismo se explica los motivos por el cual se requiere de un sistema de tratamiento de ARD. Además, encontrará los objetivos trazados, la propuesta del método de tratamiento como hipótesis, las variables e indicadores elegidos.

En el capítulo II, se indica las bases teóricas a tener en cuenta para entender cómo se realiza el tratamiento de las aguas residuales, las cuales son: características de las aguas residuales domésticas, conceptos básicos, principios y procesos de operación de los sistemas de tanques sépticos y filtro intermitente de arena, los conceptos básicos y legislación vigente aplicable al sector electricidad y aguas residuales.

En el capítulo III, se establece los materiales necesarios para llevar a cabo la investigación, asimismo se define la metodología usada para determinar la ubicación de los puntos de generación, caudales de las ARD, caracterización de las ARD, cálculos y criterios de diseño.

En el capítulo IV, describe el área de estudio, en función a sus características climatológicas, la importancia de esta etapa del estudio es determinar de qué maneras estas influyen en el sistema de tratamiento propuesto.

En el capítulo V desarrolla la investigación, se explica los criterios de diseño aplicados, se presenta los cálculos de diseño y el aprovechamiento del efluente tratado. Asimismo se establecen los resultados de la investigación, donde se detallan las unidades de tratamiento, los cálculos de diseño, el aprovechamiento del efluente tratado y planos.

En el capítulo VI se presentan la discusión de resultados en relación a los antecedentes.

CAPITULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS

1.1. ANTECEDENTES

Las investigaciones y experiencias nacionales relacionadas a la implementación de sistemas de tratamiento para zonas rurales o no conectadas a redes de alcantarillado en su mayoría se limitan a la infiltración directa en el terreno sin ningún aprovechamiento del efluente tratado, existen solo manuales y guías técnicas (Norma Técnica I.S. 020 Tanques Sépticos). Las experiencias ejecutadas con las que se cuentan en su mayoría presentan problemas debido al inadecuado diseño e inadecuada operación y mantenimiento. En este apartado se van a citar las principales fuentes bibliográficas que se revisaron para el desarrollo de esta investigación.

Dentro de las experiencias internacionales tenemos:

- **Luis Moreno Merino, M Ángeles Fernández Jurado, Juan Carlos Rubio Campos, José María Calaforra Chordi, Juan Antonio López Geta, Jesús Beas Torroba, Gemma Alcaín Martínez, José Manuel Murillo Díaz, José Antonio Gómez López (2003)¹** El estudio nos explica el principio de depuración del suelo, identifica los estudios necesarios para el diseño de un sistema de depuración de

¹Luis Moreno Merino, M Ángeles Fernández Jurado, Juan Carlos Rubio Campos, José María Calaforra Chordi, Juan Antonio López Geta, Jesús Beas Torroba, Gemma Alcaín Martínez, José Manuel Murillo Díaz, José Antonio Gómez López (2003)“LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DE PEQUEÑAS POBLACIONES MEDIANTE INFILTRACIÓN DIRECTA EN EL TERRENO FUNDAMENTOS Y CASOS PRÁCTICOS”

Aguas Residuales Urbanas (ARU) mediante Infiltración Rápida (IR). Como resultado establece los estudios de ingeniería necesarios para el diseño de Tanques Sépticos.

- **Luiz S. Philippi, Rejane H. R. da Costa, Pablo H. Sezerino (1999)**² Este trabajo evalúa la eficiencia del tanque séptico seguido por humedales en el tratamiento de efluentes líquidos, el estudio se llevó a cabo en el Centro de Agricultura del Estado de Santa Catarina en Brasil. Como resultado se calificó de óptimo este sistema de tratamiento de efluentes debido a su bajo costo, fácil mantenimiento y operación.
- **Méndez Novelo, Gijón Yescas, Quintal Franco y Osorio Rodríguez (2007)**³ Su estudio identificó los principales problemas de operación de las fosas sépticas en la ciudad de Yucatán, el principal resultado de esta investigación es obtener la tasa de acumulación de lodos para realizar la operación adecuada de las fosas, también una caracterización de los lodos.

De las experiencias nacionales tenemos:

²Luiz S. Philippi, Rejane H. R. da Costa, Pablo H. Sezerino (1999) "TRATAMIENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS A TRAVÉS DEL SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE SEPTICO Y ZONA RAIZ".

³ Méndez Novelo, R., Gijón Yescas, A. Quintal Franco, C. y Osorio Rodríguez, H. "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE ACUMULACIÓN DE LODOS EN FOSA SÉPTICAS DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN"

- **Rodrigo A. Lopez y Kathleen L. Herrera**⁴Esta investigación tiene como objetivo principal diseñar una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), logrando usar dicha agua trata en riego de parques y jardines en el Distrito de La Esperanza y con el fin de reducir sus descargas contaminantes al mar.
- **Fenix Power Perú (2013)**⁵ El programa identificó como una de las principales debilidades del distrito de chilca, la falta de servicios básicos (agua y desagüe) en los anexos San José, 15 de Enero y Papa león XIII. Además de ser una amenaza el riesgo a la salud y al ambiente por el aumento de empresas e industrias en el distrito. Los resultados de la investigación indica que las principales causas de contaminación del medio ambiente son las inadecuadas condiciones para la disposición de los residuos sólidos y efluentes de las empresas que se vienen instalando en el distrito.
- **Bieberach Mugraza, Humberto Joseph (2013)**⁶ La investigación nos indican que en el área en estudio (Las delicias de Villa y Anexos) el medio de evacuación de las aguas residuales es a través de letrinas, silos y tanques sépticos, teniendo un mantenimiento muy deficiente, letrinas en mal estado de conservación y sin las mínimas condiciones que se deben cumplir en su construcción. La tesis concluyó que el uso de métodos de infiltración en el suelo no son recomendables dado la gran

⁴Rodrigo A. Lopez y Kathleen L. Herrera “PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA REUSO EN RIEGO DE PARQUES Y JARDINES EN EL DISTRITO DE LA ESPERANZA, PROVINCIA TRUJILLO. LA LIBERTAD”

⁵ Fenix Power Perú (2013) “PLAN DE DESARROLLO COMUNITARIO DE LOS ANEXOS DE CHILCA”

⁶ Bieberach Mugraza, Humberto Joseph (2013)“AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DELICIAS DE VILLA Y ANEXOS – DISTRITO CHORRILLOS”

población por lo que se propuso la implementación de sistemas de alcantarillado como solución a los problemas antes mencionados.

- **Consortio Macro Proyecto Ingenieros (2009)**⁷ Se realizó un diagnóstico con la finalidad de reunir información sobre la población, las familias, características de las viviendas, y los servicios básicos que poseen los pobladores del esquema Pachacútec, Ventanilla. La forma que predomina para la disposición de excretas de las viviendas es el silo (92%), letrina (6%). El mantenimiento de los silos y letrinas es inadecuado, por lo cual, prolifera el mal olor y la presencia de roedores e insectos se hace evidente. Llegando a la conclusión que esta situación constituye una grave amenaza a la salud pública, considerando que la población más vulnerable son los niños y ancianos.

⁷ Consortio Macro Proyecto Ingenieros (2009) “DIAGNOSTICO SOCIAL DEL MACRO PROYECTO PACHACUTEC – DISTRITO DE VENTANILLA – REGIÓN CALLAO”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la última década la industria limeña ha ido migrando hacia la zona sur de Lima, por lo que el distrito de Chilca se está convirtiendo en una zona industrial, diferentes empresas han construido sus instalaciones motivados por la cercanía a Lima, el gaseoducto de Camisea, la disponibilidad de grandes terrenos, así como los precios de los terrenos. Dentro de las principales industrias nuevas se destacan las centrales termoeléctricas Enersur, Kallpa, Termochilca y Fénix Power, además de existir nuevos proyectos de centrales termoeléctricas y plantas industriales.

Frente a este importante desarrollo, las aguas residuales generadas en las actividades domésticas en estas industrias es uno de los principales aspectos ambientales que se debe controlar a fin de prevenir impactos negativos al ambiente y afectaciones en la salud de los trabajadores.

Este problema me llevó a investigar y proponer un sistema de tratamiento que cumpla los aspectos técnicos y sanitarios, controle los aspectos ambientales y elimine las enfermedades que puedan adquirir los trabajadores debido a los efluentes generados en la Central Termoeléctrica AM POWER.

Bajo este escenario se ha proyectado la construcción de la Central Termoeléctrica AM POWER, la cual durante su operación tendrá una potencia efectiva total de 854 MW, generados por tres turbinas de ciclo simple a gas natural operando a ciclo combinado

con una turbina de vapor. Debido a la disponibilidad proyectada del suministro de gas el tiempo estimado de operación del proyecto será de 20 años. Durante el periodo de operación en las instalaciones se realizarán actividades administrativas, operación y mantenimiento; para la ejecución de estos trabajos se contarán con personal propio y contratistas, por lo cual se implementarán vestuarios, servicios higiénicos, comedores y lavandería.

AM POWER dentro de sus políticas ambientales además del cumplimiento con la legislación ambiental peruana busca alternativas para mejorar los estándares de cuidado ambiental. De esta manera dentro de los compromisos y obligaciones que se establecen en el Plan de Manejo Ambiental se establecen medidas de control para los aspectos ambientales, siendo la generación de efluentes domésticos el aspecto ambiental más significativo.

1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema Principal

¿De qué manera se puede tratar las aguas residuales domésticas, a fin de controlar posibles daños al ambiente y lograr una calidad de agua que pueda ser reusada durante la etapa de operación de la Central Termoeléctrica AM POWER?

Problemas secundarios

- ¿Cómo determinar el caudal y la caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente a tratar en la central termoeléctrica?

- ¿Cómo obtener las dimensiones de las instalaciones físicas y los planos de construcción del Filtro Intermitente de Arena?
- ¿De acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental para agua, efluente tratado mediante Filtro Intermitente de Arena puede ser usado para riego de áreas verdes y carreteras?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante filtro intermitente de arena, permitiendo así controlar posibles daños al ambiente y lograr una calidad de agua para poder reusar durante la etapa de operación de la central termoeléctrica AM POWER.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el caudal y la caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente a tratar en la central termoeléctrica.
- Dimensionar las instalaciones físicas y elaborar los planos de construcción del Filtro Intermitente de Arena.
- Demostrar que el efluente tratado mediante Filtro Intermitente de Arena puede ser usado para riego de áreas verdes y carreteras según el Estándar de Calidad Ambiental para agua.

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL

La propuesta de implementación de Filtros Intermitentes de Arena como solución para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en la Central Termoeléctrica AM POWER, permitirá controlar los posibles daños al ambiente y lograr una calidad de agua para reúso.

1.4.2. HIPÓTESIS SECUNDARIAS

H₁: El caudal y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los efluentes a tratar en la central termoeléctrica son aptos para ser tratados mediante Filtro Intermitente de Arena.

H₂: Los cálculos y criterios de diseño permitirán obtener las dimensiones de las instalaciones físicas y la elaboración de los planos de construcción del Filtro Intermitente de Arena.

H₃: Se demuestra que el efluente tratado mediante Filtro Intermitente de Arena podrá ser usado para el riego de áreas verdes y carreteras según el Estándar de Calidad Ambiental para agua.

1.5. VARIABLES E INDICADORES

1.5.1. VARIABLES DEL OBJETIVO GENERAL

TABLA 1 - VARIABLES DEL OBJETIVO GENERAL

Categoría	Dependientes	Independientes	Indicadores
Implementar Filtro Intermitente de Arena	Eficiencia del Filtro Intermitente de Arena	Diseño del STARD	Adecuado / Inadecuado
		Operación y Mantenimiento	Adecuado / Inadecuado

1.5.2. VARIABLES DE LA HIPÓTESIS H₁

TABLA 2 - VARIABLES DE LA HIPÓTESIS H₁

Categoría	Dependientes	Independientes	Indicadores
Determinar Caudales y Caracterización de los Efluentes	Cálculos y criterios de diseño del Filtro Intermitente de Arena	Caudales (Q)	m ³ /día
		DBO ₅	g/(hab.d)
		Sólidos en suspensión	g/(hab.d)
		Fósforo Total	g/(hab.d)
		Nitrógeno Total	g/(hab.d)
		Coliformes Fecales	Nº de bacterias/(hab.d)

1.5.3. VARIABLES DE LA HIPÓTESIS H₂

TABLA 3 - VARIABLES DE LA HIPÓTESIS H₂

Categoría	Dependientes	Independientes	Indicadores
Dimensionar las instalaciones de tratamiento	Capacidad de tratamiento del Filtro Intermitente de Arena	Volumen Tanque Séptico	m ³
		Dimensiones Tanque Séptico	m
		Dimensiones Filtro Intermitente de Arena	m

1.5.4. VARIABLES DE LA HIPÓTESIS H₃

TABLA 4 - VARIABLES DE LA HIPÓTESIS H₃

Categoría	Dependientes	Independientes	Indicadores
Cumplir el Estándar de Calidad Ambiental para agua	Uso del efluente tratado	DBO ₅	g/(hab.d)
		Coliformes Fecales	Nº de bacterias/(hab.d)

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo de la investigación y la viabilidad de la investigación se justifican por cuanto se tiene la experiencia y conocimientos relacionados al tratamiento de aguas residuales y manejo ambiental en centrales termoeléctricas por parte del investigador, también se dispone de recursos bibliográficos y la información necesaria.

Las principales justificaciones para desarrollar la investigación son:

- La central termoeléctrica se construirá en una zona industrial que no cuenta con redes de captación de aguas residuales, siendo necesario y obligatorio tratar estas aguas residuales, en cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental y la legislación ambiental aplicable.
- El método de tratamiento busca obtener un efluente óptimo que será reusado, cumpliendo así con una adecuada gestión de los recursos hídricos (conservación), la cual está enmarcada en el Principio de Eficiencia de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338).

Mediante esta investigación se pretende proponer un sistema de tratamiento que sea de fácil operación y mantenimiento, también se busca que el proyecto de investigación sirva como referencia para la gestión de las aguas residuales domésticas en las industrias y poblaciones rurales con características similares y el aprovechamiento de los efluentes tratados para las nuevas plantas industriales y las existentes en la zona.

Para resaltar la justificación e importancia de esta investigación se ha separado de acuerdo a los siguientes aspectos:

1.6.1. AMBIENTAL

- La investigación propone un tratamiento adecuada de los efluentes domésticos a fin de mitigar posibles impactos en cuerpos receptores como las quebradas y las aguas subterráneas.
- La propuesta de tratamiento reducirá los olores desagradables y vectores generados por un inadecuado manejo de las aguas residuales domésticas.
- El efluente tratado será aprovechado para el control del material particulado del aire durante la etapa de operación del proyecto.

1.6.2. ECONÓMICO

- El sistema de tratamiento propuesto tiene como valor agregado el menor costo de implementación, operación y mantenimiento en comparación de otras alternativas de tratamiento o evacuación de las aguas residuales domésticas.

1.6.3. TÉCNICO

- Esta investigación se realizará de acuerdo a las normas técnicas sanitarias que establece el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento para el tratamiento de las aguas residuales, por lo cual para este proyecto se realizarán los estudios y cálculos necesarios para la selección de alternativa de tratamiento y su diseño, operación y mantenimiento.

1.6.4. LEGAL

- Los datos y resultados de esta investigación servirán para obtener las autorizaciones sanitarias correspondientes por parte de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), autorizaciones de reúso de la Autoridad Local del Agua y aprobación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto.
- Evitar las futuras sanciones por parte de Autoridad Nacional del Agua, DIGESA, OEFA, Gobiernos locales debido al inadecuado manejo de las aguas residuales domésticas.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. EL AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales se definen como las aguas que han sido usadas por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto y en suspensión. Según la Norma OS 090, de acuerdo al tratamiento se clasifican en dos tipos: domésticas e industriales. Las aguas residuales domésticas se refieren a aquellas que provienen de residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares, que contienen principalmente desechos orgánicos, las aguas residuales industriales requieren un tratamiento más complejo, y de acuerdo al tipo de las sustancias que contienen. Esta investigación solo tratará aguas residuales domésticas.

2.1.2. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Son de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana, según Norma OS 090. Estas se clasifican en:

- Aguas Negras: Provenientes de los inodoros, que presentan una alta concentración de materia orgánica y microorganismos.
- Aguas Grises: Son las que han sido empleadas para limpieza (cocina, lavanderías, duchas).

Los componentes de las aguas residuales domésticas se clasifican según el aspecto físico, químico o bajo el aspecto biológico, la Tabla 5 nos muestra la composición típica de estas aguas.

TABLA 5 – COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Parámetro	ARD Débil (mg/l)	ARD Media (mg/l)	ARD Fuerte (mg/l)
Sólidos totales	350	720	1200
Disueltos totales	250	500	850
Sólidos en suspensión	100	220	350
Sólidos sedimentables	5	10	20
DBO ₅	100	200	300
COT	80	160	290
DQO	250	500	1000
Nitrógeno total	20	40	85
Orgánico	8	15	35
Amoniac libre	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo Total	4	8	15
Orgánico	1	3	5
Inorgánico	3	5	10
Oxígeno disuelto	0.2	0.1	0
Cloruros	30	50	100
Sulfatos	20	30	50
Alcalinidad	50	100	200
Aceites y grasas	50	100	150
Coliformes totales (NMP)	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

Fuente: Metcalf & Eddy 2005

Los aspectos físicos dan una información muy clara de determinadas características del agua residual. Una característica importante es la cantidad de sólidos, el contenido de sólidos en el agua residual engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (*Metcalf & Eddy, 2005*). Otras

características físicas importantes para este estudio son los nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) y coliformes fecales.

2.1.2.1. Sólidos Totales

Se define el contenido de sólidos totales a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro; la fracción filtrable (no diluida) de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos (*Metcalf & Eddy 2005*).

El lodo representa un caso diferente en el que la mayor parte de la materia sólida está no diluida y la parte disuelta es poca, los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. Para el caso de AM POWER los sólidos predominantes son los sólidos en suspensión.

2.1.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO se define usualmente como la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C), según lo establecido en la Norma OS 090.

2.1.2.3. Coliformes fecales

Según la Norma OS 090 son las Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35 +/- 0,5 °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a 44.5 +/- 0,2 °C en 24 horas se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

Uno de las prioridades del tratamiento es prevenir que la presencia de coliformes fecales en las aguas se convierta en foco de enfermedades infecciosas, es fundamental remover estos coliformes a niveles que pueden ser eliminados en la naturaleza.

2.1.2.4. Nitrógeno Total

La presencia de nitrógeno en las aguas residuales es importante, ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos, si el agua residual no contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario (Filtro Intermitente de Arena). Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones (*Metcalf & Eddy 2005*).

2.1.2.5. Fosforo Total

Otro componente del agua residual importante para los microorganismos es el fósforo. El fósforo, como el nitrógeno, es un elemento esencial para el crecimiento biológico. En el agua residual el fósforo se encuentra en 3 formas: ortofosfatos solubles, polifosfatos inorgánicos y fosfatos orgánicos. El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo (*Metcalf & Eddy 2005*).

Es importante reseñar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas.

2.1.3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Los métodos de tratamiento de aguas residuales son procesos fisicoquímicos y procesos biológicos, en los procesos fisicoquímicos la transformación se dan reacciones químicas. La precipitación química de las aguas residuales necesita la adición de químicos de esta manera alteran el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, logrando así su eliminación por sedimentación.

Los procesos biológicos buscan la eliminación de los sólidos no sedimentables y estabilizar la materia orgánica, se clasifican en procesos aerobios y anaerobios dependiendo del oxígeno. Debido a la variedad de métodos de tratamiento, las consideraciones económicas, operacionales y de mantenimiento se convierten en los

factores restrictivos al seleccionar las unidades de tratamiento. Los métodos de tratamiento tienen diferentes etapas las cuales mostramos a continuación:

2.1.3.1. Tratamiento Primario

Esta etapa tiene como objetivo la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables para disminuir la carga en el tratamiento secundario, dentro de los principales procesos de tratamiento primario tenemos:

- Tanques Sépticos
- Tanques de Sedimentación
- Reactores UASB
- Oxidación Química
- Precipitación Química
- Coagulación / Flocculación / Decantación

2.1.3.2. Tratamiento Secundario

Los procesos biológicos se consideran como tratamiento secundario, todos ellos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80 %, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida (*Metcalf & Eddy 2005*), e incluyen los siguientes métodos:

- Lagunas de estabilización
- Lodos activados
- Filtros Biológicos (Filtro Intermitente de Arena)

2.1.4. MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Los procesos de tratamiento deberán ser aerobios debido a que se ubicará dentro de las instalaciones de la central termoeléctrica, donde se realizan trabajos, y es de conocimiento que estos procesos generan mínimos malos olores que pueden afectar a los trabajadores y población aledaña en comparación a los tratamientos anaerobios.

Los procesos aerobios secundarios son considerados como alternativas debido a su eficiente remoción de DBO₅ y los Sólidos Suspendidos, normalmente utilizan altas concentraciones de microorganismos para convertir la materia orgánica biodegradable en masa celular y productos derivados.

La mayoría de plantas de tratamiento secundario utilizan, ya sea sistema de lodos activados o de películas finas. La Tabla 6 muestra diferentes alternativas de tratamiento secundario.

TABLA 6 - ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

Tipo de Tratamiento	Variante	Aplicación Principal
Crecimiento en suspensión	Convencional	Desperdicios de baja concentración con altos requerimientos de calidad del efluente
	Aeración por etapas	Aplicación general para una amplia variedad de desperdicios
	Estabilización por contacto	Plantas pequeñas y expansión de equipos existentes
	Aeración extendida	Plantas pequeñas donde es deseable la flexibilidad

	Zanja de Oxidación	Plantas pequeñas a medianas con altos requerimientos de efluente donde se disponga de áreas extensas de terreno
	Oxígeno puro	Plantas pequeñas a medianas con fuente de oxígeno económica
	Reactor secuencial de flujo intermitente (SBR)	Plantas pequeñas con altos requerimientos de calidad del efluente
Película fija	Filtro percolador	Población pequeñas con estándares moderados de efluente
	Discos biológicos rotativos	Población pequeñas a medianas con estándares moderados de efluente
Sistemas no convencionales	Lagunas facultativas	Población pequeña a mediana con estándares moderados de efluente y disponibilidad de grandes áreas de terreno
	Lagunas aireadas	Población mediana con estándares moderados de efluente, disponibilidad de terrenos y energía.

Fuente: JICA, 1987 "Sewage Engineering" 14th Training Group. Japón

2.1.4.1. PROCESOS DE CRECIMIENTO EN SUSPENSIÓN

- **El proceso convencional de lodos activados**

Este proceso incorpora un tratamiento primario seguido por aeración y sedimentación final, el efluente de los clarificadores primarios se mezcla con el lodo que contiene microorganismos activos; luego, la mezcla es aireada en un reactor por un período de tiempo que fluctúa entre 0.5 y 24 horas.

Luego de haber transcurrido un tiempo suficiente para que se completen las reacciones biológicas deseadas, la mezcla es transportada a un estanque de sedimentación o clarificador, para permitir la separación por gravedad de los

sólidos suspendidos. El líquido tratado es normalmente sujeto a desinfección para eliminar las bacterias que sobreviven la aeración y las etapas de clarificación.

Los sólidos sedimentados son recirculados al reactor de aeración para mantener una concentración apropiada de microorganismos. Sin embargo, una parte de los sólidos activados son desechados con el fin de mantener el equilibrio del proceso. Casi todas las plantas de lodos activados cuentan con medios de desagüe, tratamiento y eliminación del lodo de desecho.

Un aspecto muy importante en el diseño de una planta convencional de lodos activados, es el tener un sistema efectivo de aeración que permita altas tasas de transferencia de oxígeno, también es importante el diseño detallado de los clarificadores finales para lograr un máximo de eliminación de sólidos. Diseñada y operada adecuadamente una planta convencional de lodos activados puede eliminar hasta el 90% de la DBO_5 del agua residual cruda.

Las desventajas del proceso convencional de lodos activados incluyen la necesidad de equipos de aeración y alimentación química, el uso de operaciones complejas, así como, la necesidad de eliminar grandes cantidades de exceso de lodos. Así mismo, se emplean químicos para desinfección, para ayudar al desagüe y para estabilización de los lodos de desecho. La necesidad

de adquirir, almacenar y manipular químicos, es una desventaja que se aplica a todos los procesos relacionados a lodos activados.



FIGURA 1 - VISTA DE UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL

- **El proceso de aeración por etapas**

Similar al proceso de lodos activados convencional, excepto que el afluente del estanque de aeración es alimentado en dos o más puntos en el trayecto del flujo. Este método proporciona una tasa de asimilación de oxígeno más balanceada comparado con el sistema convencional en que los requerimientos de oxígeno van disminuyendo de una tasa muy alta al comienzo del trayecto de la corriente. Las plantas de aeración por etapas ofrecen una mayor capacidad de sintonización, permitiendo ajustes en las tasas de cargado de sólidos y concentraciones de los lodos de recirculación. Las desventajas de las plantas de aeración por etapas son esencialmente las mismas que para las

plantas convencionales, requiriendo un nivel ligeramente más alto de entrenamiento por parte del operador.

- **El proceso de estabilización por contacto**

Difiere del proceso convencional en que los periodos de aeración son más cortos, las cargas orgánicas más altas y también generalmente se omite la sedimentación primaria, aunque esto último puede afectar el rendimiento de la planta. Normalmente, estas plantas son menos costosas de operar que las plantas convencionales. La efectividad del tratamiento es menor en términos de eliminación de DBO₅ y SST, y el proceso es susceptible de problemas por variaciones súbitas en concentración o flujo.

- **El proceso de aeración extendida**

Se diseña sin sedimentación primaria y requiere de un largo periodo de retención en los tanques de aeración seguido también de largos periodos de retención en los clarificadores finales. Estas plantas pueden manejar variaciones de concentración y caudal fácilmente y producen usualmente menos volúmenes de lodos que las plantas convencionales. En el proceso de aeración extendida se utiliza más comúnmente en plantas tipo paquete, pero algunas plantas más grandes han sido diseñadas con este proceso y el de alimentación por etapas. Sin embargo requieren de más aeración y los costos de energía pueden ser muy altos.

- **Zanjas de oxidación**

Son variantes del proceso de aeración extendida, en el cual la aeración se logra mediante cepillos rotatorios (u otros dispositivos) y bombas que impulsan la mezcla a lo largo de un canal ovalado. Debido a que las zanjas de oxidación requieren largos períodos de detención, los volúmenes del tanque y los requerimientos del área de terreno son mayores que para las plantas convencionales de igual capacidad. Sin embargo, son muy confiables y pueden manejar las variaciones de flujo y producir un efluente de alta calidad. La producción de lodos es menor que la producida por las plantas convencionales y los costos de energía son más razonables.



FIGURA 2 - VISTA DE UNA PTAR MODALIDAD ZANJAS DE OXIDACIÓN

- **Las plantas de tratamiento con oxígeno puro**

Este sistema como su nombre lo indica, utiliza oxígeno de alta pureza en lugar de aire para la aireación, requieren de estanques reactores cerrados y

materiales resistentes a la corrosión. Estas plantas consumen menos energía para la aeración y tiene la capacidad de tratar aguas residuales de alta concentración. La producción de lodos es similar a la producida por las plantas convencionales. Las desventajas de este proceso incluyen la necesidad de comprar oxígeno o generarlo “insitu”, una tendencia hacia efluentes con bajo pH y la posibilidad de que se desarrollen condiciones explosivas en caso que el agua residual que ingresa contenga altos niveles de hidrocarburos volátiles.

- **Reactores secuenciales de flujo intermitente (SBR)**

Sistema que utiliza un proceso por etapas que incluye: el llenado del reactor con aguas residuales, un período de aeración y un período de sedimentación y finalmente, decantar el líquido clarificado como efluente. Los lodos son desechados en cualquier ciclo, excepto para la porción que se deja en el reactor para mezclarla con la siguiente cantidad de aguas residuales. Los reactores son flexibles y confiables en la mayoría de casos, pero su uso se ha limitado a corrientes relativamente pequeñas. Debido a la falta de experiencia en este tipo de plantas para la cantidad de caudal esperada en Lima, este proceso no será considerado posteriormente en este estudio.

2.1.4.2. PROCESOS DE PELÍCULA FIJA

- **Filtros Percoladores**

Es históricamente el tipo más utilizado de planta de tratamiento de película fija, el proceso implica el cultivo de microorganismos en un lecho de arena, grava, roca o en materiales sintéticos, sobre los cuales se distribuye el agua residual permitiendo su percolación por gravedad. Los microorganismos localizados en los medios filtrantes convierten la materia orgánica del agua residual en masa celular y productos derivados tal como en un sistema de crecimiento suspendido.

Los filtros percoladores son precedidos por tratamiento primario, es muy usado el tanque séptico como tratamiento primario. El diseño y las técnicas de operación de los filtros percoladores pueden dar como resultado un rendimiento que se aproxime al de las plantas con lodos activados.

Los filtros percoladores tienen la ventaja de ser adaptables a las fluctuaciones de carga e implican un menor consumo de energía, las desventajas de los filtros percoladores incluyen algunos agentes molestos como moscas, que pueden alterar las funciones de la planta. A menos que se opere y mantenga convenientemente, una planta con filtros percoladores puede volverse anaeróbica, menoscabando la ejecución del tratamiento.



FIGURA 3 - FILTRO INTERMITENTE DE ARENA

- **Discos biológicos rotativos (RBC)**

Poseen similar función que los filtros percoladores, pero con la diferencia de que la superficie de crecimiento de biomasa consiste de discos de material plástico que rotan sobre un eje horizontal con una porción del disco siempre sumergida en el agua residual. A medida que la biopelícula crece en los discos, parte de esta se desprende y volúmenes de lodo son desechados y capturados en el clarificador final. Las plantas con discos biológicos de contacto casi siempre incorporan tratamiento primario, sedimentación final y desinfección. Las plantas más modernas, pueden proveer de aire al agua residual como medio de acomodar la mayor demanda de oxígeno en las etapas de maduración de los discos. Estas plantas son capaces de producir efluente de alta calidad, pero casi siempre presentan problemas de índole mecánico. Los discos de reemplazo y otras piezas no se hallan fácilmente en el mercado, lo que puede ser muy problemático.



FIGURA 4 - VISTA DISCO BIOLÓGICO ROTATIVO

2.2. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Los tratamientos aerobios considerados incluyen lagunas de estabilización y lodos activados:

- **Laguna facultativa:** presenta una de las mejores opciones para ser seleccionada desde que se disponga de suficiente área, tanto actual como en el futuro, así como suelos que posean características que faciliten el movimiento de tierra y su impermeabilización.
- **Laguna aireadas seguidas de lagunas de sedimentación:** presenta el hecho de requerir menos espacios que los otros sistemas, pero tomando en cuenta que el uso de energía eléctrica será un elemento que precisará analizarse.
- **Lodos activados convencionales:** los aspectos fundamentales a ser analizados son relacionados con las cimentaciones, estructuras, mano de obra, consumo de energía así como la complejidad de la operación.

- **Lodos activados por aireación prolongada y zanjas de oxidación:** el análisis será el mismo que para lodos activados convencional, enfatizando en el consumo de energía para el primero y operación aún más especializada.
- **Filtros percoladores:** es una de las opciones que presenta bajos costos de operación, debiendo analizarse el lecho de percolación que se utilizará.

2.3. MARCO LEGAL

Conforme con lo señalado en el Decreto Supremo 008-2005-PCM, Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (en adelante el “Reglamento de la LeyN°28245”) el objetivo de la Política Nacional Ambiental es el mejoramiento continuo de la calidad de vida de las personas, mediante la protección y recuperación del ambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, garantizando la existencia de ecosistemas viables y funcionales en el largo plazo.

La presente investigación tiene como base jurídica la legislación vigente en el territorio peruano, así como de marco referencial, técnica y/o de gestión, las emitidas por instituciones técnicas.

El presente análisis se hace desde la concepción de la validez de la individualidad y complementariedad de las normas para lo cual se han dividido a estas en normas generales y específicas, sean estas técnicas u orientadas exclusivamente a la temática ambiental.

- **Normas Generales:** Son aquellas normas de carácter general, promulgadas en su mayoría por el Presidente de la República y el Congreso de la República.
- **Normas Específicas:** Es el ordenamiento jurídico expedido para la protección de ciertos elementos y temas ambientales o para proteger el ambiente de los efectos de ciertas actividades productivas.

NORMATIVA GENERAL

- La Constitución Política del Perú, es la norma legal más importante en nuestro país. En ella, se resaltan los derechos fundamentales de la persona humana, “... el derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida...” conforme se describe en el inciso 22, del Artículo 2°. En el título II “Del Régimen Económico”, Capítulo II “Del ambiente y los Recursos Naturales”, involucrando directamente el tema del aprovechamiento y la conservación ambiental.
- La Ley General del Ambiente, Ley N 28611, que derogó al Código del Medio Ambiente, es el más claro ejemplo de la política que maneja el Estado en esta materia, la cual señala en el Título Preliminar, art. 1°, “el derecho irrenunciable de toda persona a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la

conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.”

NORMATIVA ESPECÍFICA

- La Ley de Concesiones Eléctricas, D.L. N°25844 promulgada el 06 de noviembre de 1992, es la principal norma del sector energético relacionada con el Proyecto, la cual norma las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, a la vez que señala que el Ministerio de Energía y Minas y el OSINERGMIN, en representación del estado, son los encargados de velar por el cumplimiento de esta Ley. En el art. 31° se indica que los concesionarios de generación, transmisión y distribución están obligados a cumplir con las normas de conservación del medio ambiente.
- El Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas (D.S. N°29-94-EM), norma la interrelación de las actividades eléctricas en los sistemas de generación, transmisión y distribución, con el medio ambiente, bajo el concepto de desarrollo sostenible. La Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos es el órgano técnico normativo encargado de proponer y evaluar la política, proponer y/o expedir la normatividad necesaria, así como promover la ejecución de actividades orientadas a la conservación y protección del medio ambiente referidas al desarrollo de las actividades energéticas; y promover el

fortalecimiento de las relaciones armoniosas de las empresas sectoriales con la sociedad civil que resulte involucrada con las actividades del Sector.

- Ley General de Salud - Ley N° 26842, establece que la protección del ambiente es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas, los que tienen la obligación de mantenerlo dentro de los estándares permisibles preservando así la salud de las personas. Asimismo, señala que toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las consideraciones ambientales que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.
- Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338 y su reglamento D.S. N° 001-2010-AG, regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.
- Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua D.S. N° 015-2015-MINAM, Aprueba las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, de acuerdo a las categorías y subcategorías.
- Norma Técnica I.S. 020 Tanques Sépticos, establece los criterios generales de diseño, construcción y operación de un tanque séptico, como una alternativa para

el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales o urbanas que no cuenten con redes de captación de aguas residuales, o se encuentran alejadas.

- Norma Técnica O.S. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, norma el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo.
- Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos - Ley N° 28256, el Reglamento de la Ley y su Respectiva Modificatoria Mediante – D.S. N° 030-2008-MTC. Donde se regulan las actividades, procesos y operaciones del transporte terrestre de los materiales y residuos peligrosos, aplicables para el traslado de lodos provenientes de tanques sépticos.

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. PLANOS, MAPAS Y DATA

- Plano catastral distrito de chilca 2012, formato de archivo DWG (AutoCAD).
- Datos SENAMHI, Estación Cañete (Precipitación, Temperatura) 1937 – 1999.

3.1.2. MATERIALES DE CAMPO

- Cinta de medir larga 50 m, medir distancia del punto de generación a la ubicación del sistema de tratamiento
- GPS Garmin Extrex 20, con mapa base mundial, capta Satélites GPS y GLONASS y resistente al agua, toma de coordenadas y altitud del área del proyecto.
- Cámara fotográfica Lumix Panasonic 10 megapíxeles, 4X de Zoom, imágenes del área del proyecto.

3.1.3. MATERIALES PARA PROCESAR INFORMACIÓN

- Computadora HP Intel Core i5 2.40 Ghz, Windows 7 profesional 64 - bit, 2.40 Ghz, RAM 4 GB. Procesar los datos, planos y trabajos de gabinete en general.
- Impresora HP Laser JET Profesional 1102 W, impresión de la investigación y hojas de campo.

- Word 2013, Excel 2013. 2010, Arc Gis V. 9.3, Autocad 2016 – English, procesar la información y elaborar la tesis.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Antes de definir la metodología, el estudio busca encontrar una propuesta de solución a los problemas relacionados a la generación de aguas residuales domésticas durante la etapa de operación de la central termoeléctrica AM POWER, la investigación para plantear un método de tratamiento recolecta y analiza datos cualitativos, posteriormente en la etapa de diseño procesa estos datos y de esta manera se realiza los cálculos de donde nos arrojan las dimensiones del sistema de tratamiento; de acuerdo a eso el estudio se definió como una metodología Mixta (Cualitativa y Cuantitativa).

3.2.1.1. Nivel de Investigación

De igual manera de acuerdo a los objetivos del estudio, reúne las características de un estudio:

A) Aplicativo (Bierman Enrique 1990), ya que plantea resolver los problemas que se van a presentar por la generación de aguas residuales, a través de la aplicación de métodos y técnicas ya existentes y ajustadas a este caso.

B) Predictivo, el estudio pretende estimar los posibles problemas generados por las ARD en caso no se implemente un adecuado sistema de tratamiento.

C) Descriptivo, el estudio busca identificar las características de las aguas residuales generadas, además de estimar parámetros.

3.2.1.2. Diseño de la Investigación

El diseño utilizado en la investigación se encuentra dentro de los **No Experimentales** (Sanpierri, 1999).

3.2.2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.2.1. Determinar el grado de tratamiento

Antes de proponer un método de tratamiento es necesario definir cuál será la calidad del efluente tratado. De acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental para agua, la calidad del efluente tratado dependerá del cuerpo receptor donde será vertido o con que fines será reusado. Para lograr dicha calidad se establece el grado de tratamiento en función a los siguientes factores:

- El efluente tratado será vertido a un cuerpo receptor o se aprovechará.
- En caso de aprovechamiento del efluente tratado, el grado de tratamiento deberá cumplir el Estándar de Calidad Ambiental para Agua vigente en relación al tipo de aprovechamiento.

3.2.2.2. Caudal de las aguas residuales

Luego de establecer el grado de tratamiento se deberá conocer el caudal de las aguas residuales domésticas, siendo datos serán necesarios para el diseño las instalaciones de recogida, tratamiento y evacuación.

Para la determinación de caudales, se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Dotación de agua de 80 l/día por cada trabajador por cada jornada laboral de 8 horas, según el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Para los trabajadores que hacen turnos de 12 horas, la dotación de agua será 120 l/día.
- Se asumió que el 80% del caudal de consumo de agua como caudal de diseño, según el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Se identificó que el número de trabajadores atendidos varía de acuerdo a los escenarios de operaciones y mantenimiento.

Con estos datos se realizó el cálculo del caudal de diseño (Q):

ECUACIÓN 1 – CALCULO CAUDAL JORNADAS 8 HORAS

$$Q \left(\frac{m^3}{d} \right) = N * 80 \left(\frac{l}{d} \right) * 0.8 * 0.001$$

ECUACIÓN 2 – CALCULO DE CAUDAL 12 HORAS

$$Q \left(\frac{m^3}{d} \right) = N * 120 \left(\frac{l}{d} \right) * 0.8 * 0.001$$

Donde:

N= Número de trabajadores

3.2.2.3. Caracterización de las Aguas Residuales Domésticas

Asimismo es necesario conocer la composición de las aguas residuales para poder asegurar el éxito en la etapa de selección del tipo de tratamiento y su posterior diseño, la caracterización nos permite conocer con seguridad:

- La inexistencia de vertidos no biodegradables que harían inviable el sistema de tratamiento.
- La composición de las aguas residuales domésticas, en especial su contenido en materia orgánica, coliformes fecales, nitrógeno y fósforo.

Para esta tesis al no generarse efluentes en el periodo de investigación y al no estar conectado a sistemas de alcantarillado, las concentraciones de los parámetros se obtendrá calculando la tercera parte de la masa de los parámetros para jornadas laborales 8 horas y la mitad de la masa de los parámetros para jornadas laborales de 12 horas (Norma Técnica O.S. 090 punto 4.3.6), a partir de los aportes per cápita según se indica en la Tabla 7.

TABLA 7 - APORTES PER CÁPITA PARA ARD

Parámetro	Número	Unidad
DBO ₅	50	g / (hab.d)
Sólidos en suspensión	90	g / (hab.d)
Nitrógeno Total	12	g / (hab.d)

Fósforo total	3	g / (hab.d)
Coliformes fecales	2×10^{11}	Nº de bacterias/ (hab.d)

Fuente: Norma OS.090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Teniendo en cuenta las actividades que se desarrollarán para el presente estudio se plantea un pH neutro, además se descarta la presencia de sustancias tóxicas en el efluente.

3.2.2.4. Selección del sistema de tratamiento

La selección del sistema de tratamiento con posibilidades de ser empleados para el tratamiento de las aguas residuales en AM POWER se realizarán con el Método de Valor de Importancia Relativa (método implementado por las consultoras NJS asociada con Black & Vetch en el proyecto de Infraestructura Hidráulica para el Saneamiento Ambiental en el Estado de Baja California, México), trata de una matriz de selección en la que se toman en cuenta una serie de parámetros de evaluación, y se define la mejor opción a emplear.

Para nuestro estudio se tomarán en cuenta cinco parámetros: Costos, Factibilidad de Implementación, Factibilidad Técnica, Facilidad de Operación e Impacto Ambiental.

Entorno a los anteriores parámetros se establecerá un orden para elegir las diferentes alternativas de tratamiento. Para una comparación ponderada

y disminuir la subjetividad en la elección se tiene una matriz de comparación de opciones, que se denomina “Matriz de Valores de Importancia Relativa - VIR”.

Se deberá llenar en el formato suministrado, las casillas correspondientes al Cálculo por Parejas de Opciones y el total de puntos. El cómputo del VIR se hará posteriormente.

Los procesos de tratamiento a evaluar son:

- Laguna facultativa
- Laguna aireada seguida de laguna de sedimentación
- Lodos activados convencionales
- Lodos activados por aireación prolongada y zanjas de oxidación
- Filtros Intermitente de Arena

En primer lugar, las alternativas a evaluar se clasificaron del 1 al 5 para cada uno de los cinco parámetros de evaluación, dando el valor 1 a la que se considera más económica o más factible o de menor impacto y el valor 5 a la más costosa, difícil o de mayor impacto. Se deberá usar la Tabla 8 para dicha clasificación.

TABLA 8 - CLASIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS POR PARÁMETRO

	Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Factibilidad Operación	Impacto Ambiental
Lagunas Facultativas					
Lagunas aireadas					
Filtros percoladores					
Zanjas de oxidación					
Lodos activados					

Fuente: Propia

En segundo lugar, se asignará el valor de 1 a aquel que se considera como más importante del par y 0 al menos importante. Cuando se consideran de igual importancia se les asigna el valor de 0.5, el resultado queda registrado en la Tabla 9.

TABLA 9 - DETERMINACIÓN DE VALORES DE IMPORTANCIA RELATIVA, VIR

	Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Facilidad Operación	Impacto Ambiental	Total Prom	VIR Prom
Costo							
Factibilidad Implementación							
Factibilidad Técnica							
Factibilidad Operación							
Impacto Ambiental							
TOTAL							

NOTA: Los valores TOTAL PROM. Y VIR PROM. son ajustados de acuerdo con los promedios obtenidos de las comparaciones realizadas por los profesionales entrevistados (en la comparación por parejas se dan valores didácticos para dar un idea del procedimiento empleado).

Fuente: Propia

Con los valores de importancia relativa obtenidos, se establece una nueva asignación de valores, incorporando en este punto la clasificación que

obtengan las alternativas para cada parámetro de evaluación. Los valores obtenidos de esta asignación se muestran en la Tabla 10.

TABLA 10 – ASIGNACIÓN DE VALORES, VIR, POR ORDEN DE CLASIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Clasificación de la Alternativa	Porcentaje Asignado para la Clasificación	VIR Asignado por Parámetro				
		Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Facilidad Operación	Impacto Ambiental
1	100					
2	80					
3	60					
4	40					
5	20					

Fuente: Propia

Finalmente, con la clasificación de las alternativas en la Tabla 8 y los valores de importancia relativa de la Tabla 9 se obtiene el puntaje conseguido por cada alternativa para cada parámetro de evaluación y se puede así establecer una clasificación de elegibilidad de las alternativas analizadas, resultado que se presenta en la matriz de decisión de la Tabla 11.

TABLA 11 - MATRIZ DE DECISIÓN

	Asignación Valor Importancia Relativa Ajustado					Total
	Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Facilidad Operación	Impacto Ambiental	
Lagunas facultativas						
Lagunas aireadas						
Filtros Percoladores						
Zanjas de Oxidación						
Lodos Activados						

Fuente: Propia

Finalmente, con los puntos establecidos en la Matriz de Decisión (Tabla 11), se establece el orden de elegibilidad que se muestra en la Tabla 12.

TABLA 12 - ORDEN DE ELEGIBILIDAD

Puesto	Alternativas	Puntos
1		
2		
3		
4		
5		

Fuente: Propia

3.2.2.5. Diseño del sistema de tratamiento

Habiendo elegido el sistema de tratamiento se continúa con el diseño del sistema de tratamiento, La Norma IS 020 – Tanque Séptico y la Norma OS 090 Plantas de Tratamiento de aguas residuales establecen las ecuaciones utilizadas para los cálculos del sistema de tratamiento, así como los criterios de diseño.

3.2.2.6. Reúso de las aguas residuales

Habiéndose tratado el efluente, en esta etapa de la investigación se proponen las especies a plantarse, asimismo se establece el alcance del riego, para esta etapa los principales factores a tener en cuenta son:

- Dotación de agua que se utilizará por especie y para el riego de carretera.
- Frecuencia de riego.

CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. ÁREA DEL ESTUDIO

La central termoeléctrica se ubicará a 1 hora al sur de Lima Metropolitana, el terreno donde se construirá la central termoeléctrica AM POWER, está ubicada a la altura del km. 63.5 de la carretera Panamericana Sur, a 1.2 Km del distrito de Chilca, provincia de Cañete, región de Lima; a una altitud aproximada de 41 msnm.

Para el desarrollo de las actividades de investigación, se emplearon los accesos existentes, la red vial de transporte existente (Panamericana Sur) y las calles habilitadas, El Plano de Ubicación (P-01) – Anexo 1, muestra la ubicación de la Central Termoeléctrica AM POWER.

La Tabla 13 muestra las coordenadas de los vértices del área del proyecto:

TABLA 13 - COORDENADAS VÉRTICES DEL ÁREA DEL PROYECTO

Vértice	Norte	Este
A	8617922	312224
B	8617614	312265
C	8617345	311960
D	8617573	311712

UTM – WGS84 – Zona 18 S

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA

El proyecto propone la operación de la Central Termoeléctrica AM POWER en ciclo combinado, el cual se basa en la coexistencia de dos ciclos termodinámicos (ciclos de

producción de energía mediante gas y vapor) en un mismo sistema, de manera que el calor que genera un ciclo es aprovechado por el otro como fuente térmica. De esta manera, se dará un aprovechamiento más eficiente del gas.

Los ciclos de gas operan a temperaturas bastante más altas que los ciclos de vapor. El principio se basa en utilizar los gases de escape a alta temperatura de la turbina a gas para aportar calor a la caldera o generador de vapor, que a su vez alimenta de vapor a la turbina de vapor. La principal ventaja de utilizar el ciclo combinado es su alta eficiencia, ya que se obtienen rendimientos superiores al rendimiento obtenido operando en ciclo simple.

4.2.1. COMPONENTES DEL PROYECTO

Los componentes principales son las tres (03) calderas recuperadoras de calor y la turbina a vapor. Adicionalmente, el sistema requerirá de elementos auxiliares tales como el sistema de desmineralización de agua, batería de aerocondensadores, sistema de alimentación de agua, sistema de aire comprimido, sistema de protección contra incendios, generador auxiliar diesel, y un sistema integrado de control.

Para el desarrollo del Proyecto serán necesarios los siguientes componentes auxiliares:

- Desviador hidráulico (en las chimeneas de ciclo simple)
- Elevación de chimeneas del ciclo simple
- Calderas recuperadoras de calor (HRGS)

- Chimeneas del ciclo combinado
- Una turbina – generador a vapor
- Aerocondensadores
- Bombas y tanque de condensación
- Planta de desmineralización de agua
- Transformador del generador
- Línea de transmisión.

4.2.2. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CICLO COMBINADO

La conversión de la planta de ciclo simple a ciclo combinado permitirá aprovechar, a través de un ciclo a vapor, los gases de escape emitidos durante el proceso de combustión de las turbinas de gas, generando 280 MW adicionales.

Cada una de las turbinas de gas descargará sus gases de escape en su propia caldera recuperadora del calor, generando energía calorífica. A su vez, esta convierte en vapor a alta temperatura el agua que circula por una extensa red formada por tubos que tapizan las paredes de la caldera.

El vapor de agua ingresa a gran presión a la turbina a vapor, haciendo girar los álabes, generando energía mecánica. A su vez, el eje de la turbina hace girar un alternador unido a ella, produciendo así energía eléctrica.

El vapor que sale de la turbina a vapor (debilitada ya su presión) es enviado al sistema de aerocondensadores. Allí es enfriado y convertido de nuevo en agua, la cual es conducida otra vez a los tubos que tapizan las paredes de la caldera, con lo cual el ciclo productivo puede volver a iniciarse.

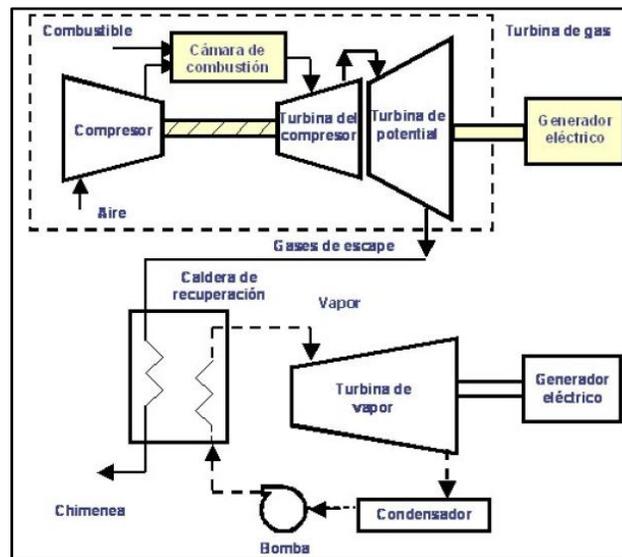


FIGURA 5 - ESQUEMA TÍPICO DE UN PROCESO DE CICLO COMBINADO

4.3. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

Para obtener el clima de la ubicación del proyecto, es necesario recopilar la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

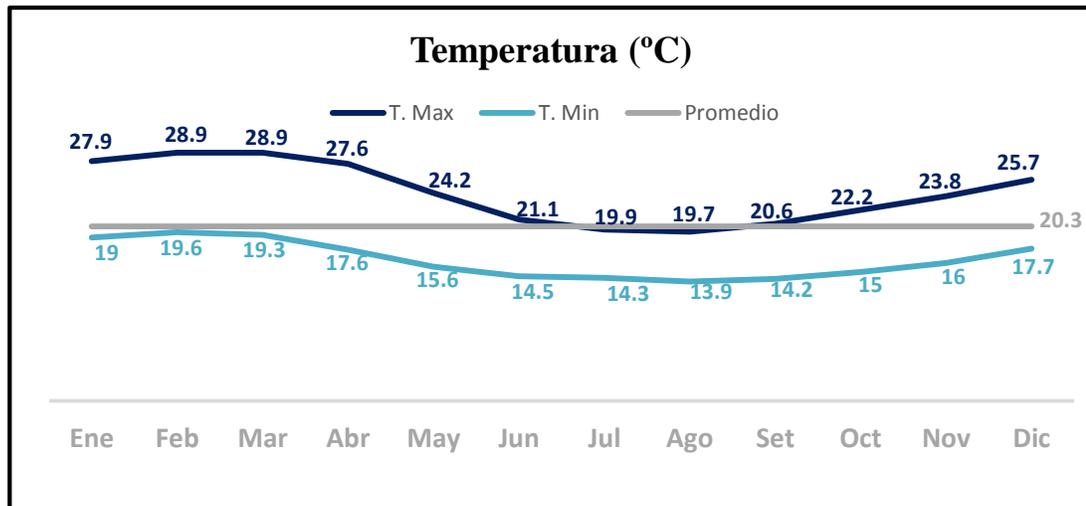
4.3.1. TEMPERATURA

La temperatura determina el desarrollo de las bacterias que realizan la remoción de contaminantes, en temperaturas extremas (< 5°C) el sistema es ineficiente. La Tabla 14 presenta la variación mensual de la temperatura tomada de la Estación Cañete.

TABLA 14- VARIACIÓN MENSUAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (°C)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
T.MAX	27.9	28.9	28.9	27.6	24.2	21.1	19.9	19.7	20.6	22.2	23.8	25.7	24.2
T.MIN	19.0	19.6	19.3	17.6	15.6	14.5	14.3	13.9	14.2	15.0	16.0	17.7	16.4

Fuente: SENAMHI, Estación Cañete (1937 – 1999)



Elaboración: Propia

De acuerdo a los datos obtenidos, la temperatura mínima que se registro es 14.3 °C y se tiene un promedio anual de 20.3 °C. Estos datos nos aseguran que no se presentarán problemas en el crecimiento de las bacterias debido a temperaturas extremas.

4.3.2. PRECIPITACIÓN

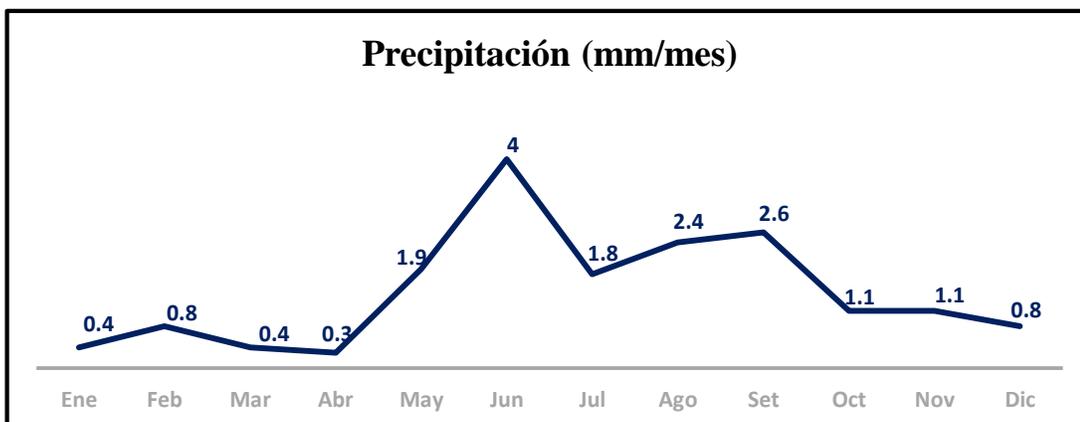
En Chilca, generalmente se registra escasas precipitaciones, las cuales son muy frecuentes y persistentes en los meses de la estación de otoño e invierno y mucho más acentuadas cuando ocurre el enfriamiento del mar. Con la presencia del episodio de El Niño, las lluvias alcanzan valores muy superiores, estas precipitaciones podrían alcanzar valores altos como la que ocurrió en 1963 cuando precipitó 13.5 mm en un día de agosto. Esto nos indica que el caudal de tratamiento no se incrementará debido a que la zona presenta escasa precipitación.

La Tabla 15 nos muestra la distribución mensual y el promedio anual de la precipitación.

TABLA 15 - VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Precip. (mm/mes)	0.4	0.8	0.4	0.3	1.9	4.0	1.8	2.4	2.6	1.1	1.1	0.8	17.6

Fuente: SENAMHI, Estación Cañete (1937 – 1999)



Elaboración: Propia

CAPITULO V: RESULTADOS

5.1. CAUDAL Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

El caudal y la composición de las aguas residuales domésticas están en función al número de trabajadores, la dotación de agua y generación per cápita, por tal motivo para determinar el caudal y la caracterización se plantean dos escenarios durante la etapa de operación. La tabla 16 muestra el escenario 1 donde se desarrollan actividades de operación y mantenimiento rutinario, la Tabla 17 muestra el escenario donde se desarrollan actividades durante un mantenimiento mayor. Los mantenimientos mayores se realizan cada 4 años, la duración aproximada es dos meses.

TABLA 16 – ESCENARIO 1: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO RUTINARIO

Área	Número de Trabajadores	Jornada Laboral (Horas)
Operación	20	12
Mantenimiento, Administración y contratistas	75	8
Vigilantes	16	12
Visitas	4	8

Fuente: Propia

TABLA 17 – ESCENARIO 2: MANTENIMIENTO MAYOR

Área	Número de Trabajadores	Jornada Laboral (Horas)
Operación	20	12
Administración y contratistas	20	8
Mantenimiento	55	12
Vigilantes	16	12
Visitas	4	8
Contratistas Mantenimiento	150 - 250	12

Fuente: Propia

Debido a que el escenario de mantenimiento mayor es por poco tiempo, para dicho escenario se implementaran baños químicos, El caudal y la caracterización de los efluentes a tratar solo se calcularon para el escenario de operación y mantenimiento rutinario, de acuerdo a la metodología establecida en los ítems 3.3.3 y 3.3.4, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 18.

TABLA 18 - CAUDAL Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Ubicación	Caudal de Tratamiento (m ³ /d)	DBO (g/d)	Sólidos Suspendidos (g/d)	Nitrógeno Total (g/d)	Fosforo Total (g/d)	Coliformes Fecales (Nº bacterias/d)
Operación	1.92	500	900	120	30	20*10 ¹¹
Mantenimiento, Administración y contratistas	4.8	1250	2250	300	75	50*10 ¹¹
Vigilantes	1.54	400	720	96	24	16*10 ¹¹
Visitas	0.26	66.7	120	16	4	2.7*10 ¹¹
Total	8.52	2216.7	3990	532	133	88.7*10 ¹¹
Concentración (g/m³)	-	260.18	468.31	62.44	15.61	10.41*10 ⁷ (NMP/100 ml)

Fuente: Propia

El caudal y las características fisicoquímica y microbiológica del agua residual doméstica en AM POWER son típicas de un agua residual bruta.

5.2. DIMENSIONES Y PLANOS FILTRO INTERMITENTE DE ARENA

5.2.1. GRADO DE TRATAMIENTO

El terreno donde se construirá AM POWER se ubica a 100 metros de la Quebrada Chilca, es preciso indicar que esta quebrada es inactiva; eventualmente existe circulación de agua llegando a un caudal máximo de 3 m³/s en épocas de crecientes (CEPES 2013), teniendo en cuenta que el caudal tratado no es constante, no es recomendable la descarga en la quebrada chilca ya que se perdería el caudal por infiltración o evaporación, además de verse afectada la calidad del agua. Dada esta situación para esta investigación se opta por el uso del efluente tratado.

Para el uso del efluente tratado, el grado de tratamiento debe cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental para agua, estableciendo que usará para riego el cual se encuentra dentro de la Categoría 3, Subcategoría D1 riego de cultivos de tallo alto y bajo. La Tabla 19 muestra el grado de tratamiento de los parámetros considerados en la Norma Técnica O.S. 090.

TABLA 19 – ECA AGUA, CATEGORÍA 3, SUBCATEGORÍA D1

Parámetro	Unidad	Concentración
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	g/m ³	15
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000

Fuente: ECA Agua – D. S. 015-2015-MINAM

Para seleccionar el sistema de tratamiento que logre el grado de tratamiento requerido se deberá remover principalmente el DBO₅ y los coliformes fecales, por lo cual se requiere de un nivel de tratamiento secundario.

5.2.2. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para el desarrollo de este trabajo se han identificado las áreas de generación de aguas residuales; estas áreas se ubican alejadas entre ellas, en la Tabla 20 se detallan las ubicaciones y actividades de generación.

TABLA 20 – PUNTOS DE GENERACIÓN

Ubicación	Actividades
Área Química	Servicios Higiénicos
Garita	Servicios higiénicos
Oficinas	Servicios higiénicos, lavandería, lavado de utensilios
Vestuarios	Servicios Higiénicos, Duchas

Fuente: Propia

La primera etapa de la investigación consistió en reconocer el terreno del proyecto y ubicar preliminarmente el terreno donde se construirá AM POWER y los puntos de generación de ARD, los datos obtenidos se indican en la Tabla 21. La distancia a pozos de agua y la pendiente del terreno son las características más importantes durante la selección previa del emplazamiento en campo.

TABLA 21 – UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

Ubicación	Pendiente <15%	Distancia >50m a pozos agua	Distancia >150m a terraplén o barrancos	Altitud (msnm)
Área Química	0 %	728 m	No Aplica	28
Garita	3 %	645 m	No Aplica	28
Oficinas	5 %	660 m	No Aplica	27
Vestuarios	8%	95 m	No Aplica	30

Fuente: Propia

La ubicación final de los emplazamientos se muestra en la Tabla 22, ver Plano Ubicación Sistema de Tratamiento (U-01).

TABLA 22 – UBICACIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO

Ubicación	Este (Y)	Norte (X)	Altitud
Sistema de Tratamiento	311970	8617688	24 msnm

Datum: WGS 84 Zona 18.

5.2.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Utilizando los criterios descritos en el ítem 3.2.2.4 Selección del sistema de tratamiento, se desarrollaron los cuadros de la matriz de selección. Los resultados de la Tabla 23 muestran las calificaciones por cada parámetro en el rango de 1 a 5.

TABLA 23 – APLICACIÓN PARA CLASIFICAR ALTERNATIVAS POR PARÁMETRO

	Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Factibilidad Operación	Impacto Ambiental
Lagunas Facultativas	2	5	1	1	1
Lagunas aireadas	3	2	3	3	3
Filtros Intermittente Arena	1	1	2	2	2
Zanjas de oxidación	5	3	4	5	4
Lodos activados	4	4	5	4	5

Fuente: Propia

La Tabla 24 nos muestra la comparación entre los diferentes métodos de tratamiento.

TABLA 24 – APLICACIÓN PARA DETERMINAR EL VIR

	Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Factibilidad Operación	Impacto Ambiental	Total Prom	VIR Prom
Costo	-	0	0.5	0	0	0.5	5
Factibilidad Implementación	1	-	0.5	1	1	3.5	35
Factibilidad Técnica	0.5	0.5	-	1	0.5	2.5	25
Factibilidad Operación	1	0	0	-	0	1	10
Impacto Ambiental	1	0	0.5	1	-	2.5	25
TOTAL						10	100

Fuente: Propia

En la Tabla 25 se convierte los promedios obtenidos en porcentajes.

TABLA 25 – APLICACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE VALORES POR ORDEN DE CLASIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Clasificación de la Alternativa	Porcentaje Asignado para la Clasificación	VIR Asignado por Parámetro				
		Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Facilidad Operación	Impacto Ambiental
1	100	5	35	25	10	25
2	80	4	28	20	8	20
3	60	3	21	15	6	15
4	40	2	14	10	4	10
5	20	1	7	5	2	5

Fuente: Propia

La Tabla 26 muestra la sumatoria de la evaluación total de los métodos de tratamiento

TABLA 26 – APLICACIÓN MATRIZ DE DECISIÓN

Asignación Valor Importancia Relativa Ajustado						
	Costos	Factibilidad Implementación	Factibilidad Técnica	Facilidad Operación	Impacto Ambiental	Total
Lagunas facultativas	4	7	25	10	25	71
Lagunas aireadas	3	28	15	6	15	67
Filtros Intermitente Arena	5	35	20	8	20	88
Zanjas de Oxidación	2	21	10	2	10	44
Lodos Activados	1	14	5	4	5	30

Fuente: Propia

La Tabla 27 es la calificación final de las alternativas, la cual nos muestra que el método de Filtro Intermitente de Arena es el que se ajusta más de acuerdo a los parámetros de calificación.

TABLA 27 – RESULTADO ORDEN DE ELEGIBILIDAD

Puesto	Alternativas	Puntos
1	Filtros Intermitente Arena	88
2	Lagunas facultativas	71
3	Lagunas aireadas	67
4	Zanjas de Oxidación	44
5	Lodos Activados	30

Fuente: Propia

5.2.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO RECOMENDADO

Basándonos en las evaluaciones antes descritas, la alternativa de Filtro Intermitente de Arena previo tratamiento primario en Tanque Séptico es la más conveniente, debido a

que es un sistema de tratamiento intermedio entre los sistemas lagunares y los sistemas avanzados.

La DBO lograda en el efluente del tanque séptico es adecuada para alimentar los Filtros Percoladores, produciéndose en el efluente final con una DBO inferior a 10 mg/l, además permite tener más versatilidad en la selección de los lechos de filtración posibilitando reducir los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Este tipo de tratamiento no produce lodo, y el lecho filtrante es cambiado cuando se satura, por lo que requiere solamente de una Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos EPS-RS para disponerlos.

Adicionalmente hay que considerar que de acuerdo al área existente destinada para la elaboración del proyecto, la alternativa de Filtro Intermitente de Arena requiere un área mínima en comparación a las demás alternativas.

VALORES DE REMOCIÓN

Para determinar los valores de remoción del sistema propuesto, se usará la Tabla 28, donde se muestra el rendimiento de remoción para cada unidad de tratamiento.

TABLA 28 - RENDIMIENTO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA PEQUEÑAS POBLACIONES

Parámetro	Agua residual bruta	Efluente de la fosa séptica	Efluente de filtro de arena intermitente
DBO₅ (g/L)	210 – 530	140 – 200	< 10
Sólidos suspendidos (g/L)	237 – 600	50 – 90	< 10
Nitrógeno (g/m³)			
Total	35 – 80	25 – 60	-
NH₄⁺	7 – 40	20 – 60	< 0.5
NO₃⁻	< 1	< 1	25
Fósforo Total (g/m³)	10 – 30	10 – 30	-
Coliformes fecales (Nº Bacterias /100 ml)	10 ⁶ - 10 ¹⁰	10 ³ - 10 ⁶	10 ² - 10 ⁴

Fuente: Metcalf & Eddy 2005

5.2.5. SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para obtener la remoción necesaria de los contaminantes, y de acuerdo con el resultado de la evaluación de alternativas, el sistema de tratamiento se integró con las unidades siguientes:

- Tanque Séptico – Tratamiento Primario
- Filtro Intermitente de Arena – Tratamiento Secundario
- Tanque de almacenamiento del efluente tratado

RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN

Para la recolección y conducción en cada punto de generación serán mediante un canal con tubería PVC ASTM D-3034 125 PSI, 4" (100mm) Ø, la pendiente de las tuberías será de 1%. (Norma O.S. 070), adicionalmente se contará con accesorios de empalme y/o codos. Posteriormente se construirá una cámara de inspección 5 metros antes del sistema tratamiento.

El Pozo Séptico estarán conectados a dos Filtros Intermitentes de Arena mediante tubería PVC ASTM D-3034 125 PSI, 2” (50 mm) Ø, por ende se instalarán cámaras de distribución a antes de su ingreso.

El sistema de tratamiento propuesto considera un periodo de operación de 20 años (Norma Técnica O.S. 090 punto 4.3.9), es preciso mencionar que las condiciones actuales y futuras se mantendrán estables (número de trabajadores, caudales, concentraciones de contaminantes).

TANQUES SEPTICOS – TRATAMIENTO PRIMARIO

El principal objetivo del tanque séptico es crear dentro de esta una situación de estabilidad hidráulica, para poder sedimentar por gravedad las partículas pesadas, los sólidos sedimentables que se encuentren en el agua residual forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material ligero se acumulan en la superficie donde forman una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo, el líquido pasa por el tanque séptico entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos. La materia orgánica contenida en las capas de lodo y espuma es descompuesta por bacterias anaerobias, y una parte considerable de ella se convierte en agua y gases más estables como dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno. El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto sobre todo de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico, aunque estos

materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que éstas últimas se acumulan (OPS, *Guía para el diseño de tanques sépticos* 2005).

Las burbujas de gas que suben a la superficie crean cierta perturbación en la corriente del líquido. La velocidad del proceso de digestión aumenta con la temperatura, con el máximo alrededor de los 35°C. El líquido contenido en el tanque séptico experimenta transformaciones bioquímicas, pero se tiene pocos datos sobre la destrucción de los agentes patógenos.

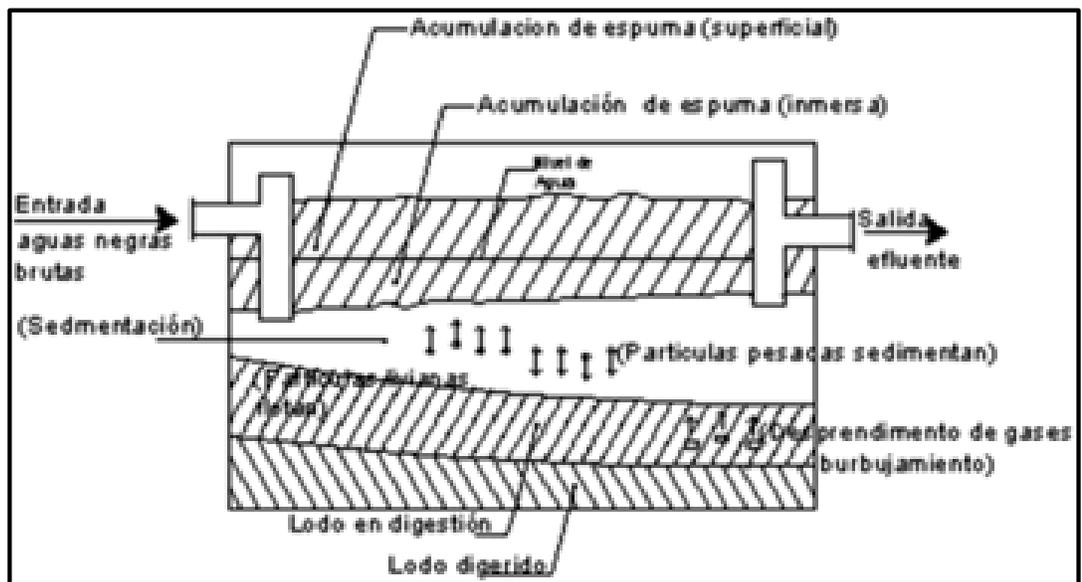


FIGURA 6 - DISEÑO TÍPICO TANQUE SÉPTICO

Para esta investigación se propone un tanque séptico de dos cámaras y posteriormente conectado al tratamiento secundario mediante tubería PVC ASTM D-3034 125 PSI, 2" (50 mm) Ø.

Para los cálculos del Tanque séptico se asumen los siguientes criterios:

- Debido a que el caudal de diseño es mayor a 5 m^3 se contará con 02 cámaras (Artículo 8, Inciso i – IS 020)
- Para el dimensionamiento del Tanque Séptico asumimos la altura útil 1.8 metros.
- El periodo de retención es de 12 horas (0.5 días), cumpliéndose con lo establecido en el Norma I.S. 020, donde indica que el tiempo mínimo de retención hidráulico será de 6 horas.

A) Volumen de sedimentación (Vs)

ECUACIÓN 3 - VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN

$$Vs(m^3) = Q * PR$$

Donde:

Q : Caudal del efluente a tratar ($\text{m}^3/\text{día}$)

PR : Periodo de Retención (día)

$$Vs(m^3) = 8.52 * 0.52 = 4.43$$

B) Volumen de acumulación de lodos (Vd)

ECUACIÓN 4 - ACUMULACIÓN DE LODOS

$$Vd (m^3) = N \times TAL \times PL/1000$$

Donde:

N : Número de Trabajadores

TAL : Tasa de Acumulación de Lodos (70 L/hab*año) IS 020

PL : Periodo de Limpieza (años), para esta investigación se propone mínimo 1 vez al año.

$$Vd (m^3) = 115 \times 70 \times \frac{1}{1000} = 8.05$$

C) Volumen del tanque séptico (Vts)

ECUACIÓN 5 - VOLUMEN TANQUE SÉPTICO

$$Vts (m^3) = Vs + Vd = 12.48$$

D) Área útil (A)

ECUACIÓN 6 - ÁREA ÚTIL

$$A(m^2) = \frac{Vts}{H}$$

Donde:

H : Asumimos altura útil 1.8 m

$$A(m^2) = \frac{12.48}{1.8} = 6.93$$

E) Longitud útil (l) y Ancho útil (a)

La longitud será como mínimo el doble del ancho de acuerdo Norma Técnica I.S. 020, por lo cual se aplica la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 7 - LONGITUD ÚTIL

$$l (m) = \left(\sqrt[2]{\frac{A}{2}} \right) \times 2$$

$$l (m) = \left(\sqrt[2]{\frac{6.93}{2}} \right) \times 2 = 3.72$$

ECUACIÓN 8 - ANCHO ÚTIL

$$a (m) = A/l$$

$$a (m) = \frac{6.93}{3.72} = 1.86$$

F) Profundidad mínima de espuma sumergida (He)

ECUACIÓN 9 - PROFUNDIDAD ESPUMA SUMERGIDA

$$He (m) = \frac{0.7}{A}$$

$$He (m) = \frac{0.7}{6.93} = 0.1$$

G) Profundidad de espacio libre (Hs)

ECUACIÓN 10 - PROFUNDIDAD ESPACIO LIBRE

$$Hs (m) = \frac{Vs}{A}$$

$$Hs (m) = \frac{4.43}{6.93} = 0.64$$

H) Profundidad de lodos (Hd)

ECUACIÓN 11 - PROFUNDIDAD DE LODOS

$$Hd (m) = \frac{Vd}{A}$$

$$Hd (m) = \frac{8.05}{6.93} = 1.16$$

I) Altura total (H)

ECUACIÓN 12 - ALTURA TOTAL

$$H(m) = He + Hd + Hs + Ho$$

Donde:

Ho : Espacio Libre (m), para esta investigación se toma el valor de 0.3 m.

$$H(m) = 0.1 + 1.16 + 0.64 + 0.3 = 2.2$$

La distribución de los componentes se muestran en el plano A-01 y los detalles del sistema del tanque séptico se muestran en el plano A-02. A continuación se muestran el resumen de los resultados de los cálculos de diseño del tanque séptico (Tabla 29) y las dimensiones del tanque séptico (Tabla 30).

TABLA 29– RESUMEN CÁLCULOS DE DISEÑO TANQUE SÉPTICO

Descripción	Cantidad	Unidad
Volumen de Sedimentación (Vs)	4.43	m ³
Volumen de Acumulación de Lodos (Vd)	8.05	m ³
Volumen Tanque Séptico (Vts)	12.48	m ³

Profundidad Mínima de Espuma Sumergida (He)	0.1	m
Profundidad de Espacio Libre (Hs)	0.64	m
Profundidad de Lodos (Hd)	1.16	m
Espacio Libre	0.3	m

TABLA 30 – DIMENSIONES TANQUE SÉPTICO

Dimensiones	Cantidad	Unidad
Tanque Séptico		
Altura total	2.2	m
Largo	3.72	m
Ancho	1.86	m

FILTRO INTERMITENTE DE ARENA – TRATAMIENTO SECUNDARIO

La infiltración intermitente se entiende como la tasa de aplicación interrumpida o por tiempos de las aguas residuales descargadas a un lecho de material granular (arena) poco profunda (600 mm a 1 000 mm), el cual es captado para recoger y descargar el efluente (*J. López 2012*).

En esta etapa del tratamiento, las variables del diseño que afectan la remoción de los contaminantes (DBO, Sólidos Suspendidos, Fósforo, Nitrógeno y Coliformes Fecales) son la granulometría del medio filtrante, la dosis de aplicación del efluente y la tasa concentración de materia orgánica por dosis. Al inicio de la operación, aparece una delgada película bacteriana (biopelícula) en las capas superiores sobre la arena; esta película es muy importante para el funcionamiento normal del filtro, ya que mediante absorción retiene microorganismos y materia coloidal soluble y particulada presentes

en el agua residual. El material retenido se descompone y se oxida durante el intervalo de tiempo entre aplicaciones del agua residual (*J. De Victorica 2007*).

El principio de funcionamiento se basa en procesos de tratamiento físico, químico y biológico, siendo el proceso biológico el más importante para la remoción de los contaminantes. Uno de principales procesos que se realiza es la remoción del nitrógeno, esto se inicia con la conversión de amoníaco (NH_3) a nitratos (NO_3) que se le conoce como nitrificación, se produce por la acción de los microorganismos presentes en el lecho de arena bajo condiciones aerobias, la desnitrificación es el resultado por la acción de bacterias anaerobias que producen la conversión de los nitratos en gas nitrógeno hasta un 45%, éstas se originan en un ambiente libre de oxígeno desarrollándose dentro del lecho de filtrante (*Metcalf & Eddy 2005*).

Al mismo tiempo se da la remoción de sólidos suspendidos, debido al arrastre mecánico generado por el choque aleatorio y la sedimentación. Ocasionando que las bacterias forman colonias en la arena, posteriormente se da la autofiltración ocasionada por el crecimiento microbiológico eliminando los sólidos y nutrientes (*J. López, 2012*).

Ciertos constituyentes específicos se eliminan por absorción (física y química), para que exista eficiencia es necesario que se ventile el sistema de drenaje manteniéndose en condiciones aerobias. La Figura 7 muestra un diseño común de Filtro Intermitente de Arena.

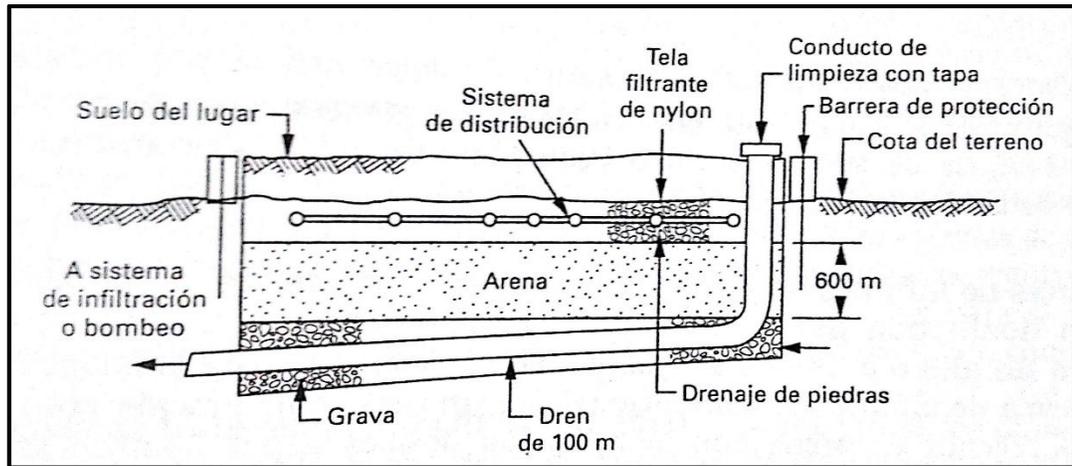


FIGURA 7 – FILTRO INTERMITENTE DE ARENA

Los filtros pueden ser abiertos o cubiertos, en nuestra propuesta el filtro será deberá ser cubierto para impedir que ingrese precipitación u otros elementos sólidos que puedan afectar al lecho filtrante.

En su gran mayoría estas unidades de tratamiento de Filtros Intermitentes de Arena cuentan con:

- Un contenedor aislado donde se confina el medio filtrante.
- Un sistema de drenaje para evacuar el líquido tratado.
- El medio filtrante.
- Un sistema para la alimentación y distribución del líquido a tratar sobre el medio filtrante.

La tesis propone la construcción de dos Filtros Intermitentes de Arena para asegurar la operación continua, cada unidad debe ser capaz de tratar todo el caudal de diseño, mientras la otra unidad está en mantenimiento o debido a algún problema de operación. La descarga del Tanque Séptico al Filtro Intermitente de Arena tendrá un desnivel de 0.84 metros.

Los datos para el diseño del filtro Intermitente de Arena se dan en la Tabla 31.

TABLA 31 - DATOS DISEÑO FIA

Parámetro	Cantidad	Unidad	Norma
Caudal de diseño	8.52	m ³ /d	-
Carga hidráulica	0.2	m ³ /m ² /d	El rango es de 0.2 – 0.4 (5.6.2.2 O.S. 090)
Profundidad Útil	0.6	m	El rango es de 0.6 – 0.9 (5.6.2.2 O.S. 090)
Tamaño efectivo de la arena	0.3	mm	El rango es de 0.35 – 1 (5.6.2.2 O.S. 090)
Coefficiente de uniformidad menor a	4		
Dosificación	2	Veces por día	-
Borde libre	0.3	m	-

A) Área

ECUACIÓN 13 - ÁREA FIA

$$Hd (m^2) = \frac{Q}{Ch}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/d)

Ch : Carga hidráulica (m³/m²/d)

$$Hd (m^2) = \frac{8.52}{0.2} = 42.6$$

B) Largo (l) y Ancho (a)

El largo y ancho tendrán las mismas dimensiones.

ECUACIÓN 14 - LARGO Y ANCHO FIA

$$l (m) = a (m) = \sqrt{A}$$

$$l (m) = a (m) = \sqrt{42.6} = 6.5$$

C) Profundidad Total (H)

ECUACIÓN 15 - PROFUNDIDAD TOTAL FIA

$$H (m) = \textit{Profundidad util} + \textit{Borde libre} + \textit{Profundidad mat. soporte}$$

$$H (m) = 0.6 + 0.3 + 0.35 = 1.25$$

Distribución de los elementos (filtro de arena y sistema de distribución del efluente)

- Altura de la tubería de descarga respecto al suelo es 1.5 m y será de 1 pulgada.

- La separación entre tuberías de distribución debe ser de 0.5 m con orificios con diámetro de 3 mm. Teniéndose así 12 ramales y 12 orificios por ramal.
- Caudal y Velocidad de descarga en cada uno de los ramales, caudal descargado 2 dosis por día.

ECUACIÓN 16 - CAUDAL POR DOSIS

$$Qd (m^3/dosis) = \frac{Q}{\text{Número de dosis}}$$

Donde:

Qd : Caudal por dosis (m³/dosis)

$$Qd(m^3/dosis) = \frac{8.52}{2} = 4.26$$

- Volumen por ramal (Qr)

ECUACIÓN 17 - VOLUMEN POR RAMAL

$$Qr \left(\frac{m^3}{dosis} \right) = \frac{Qd}{12}$$

$$Qr \left(\frac{m^3}{dosis} \right) = \frac{4.26}{12} = 0.35$$

- Caudal de descarga por orificio (Qo)

ECUACIÓN 18 - CAUDAL POR ORIFICIO

$$Qo \left(\frac{l}{min} \right) = 0.61 * \phi \text{ orificio (cm)}^2 * (2 * g * 1.5)^{0.5}$$

$$Q_o \left(\frac{l}{min} \right) = 0.61 * 0.003^2 * (2 * 9.81 * 1.5)^{0.5} = 2.98 E^{-5}$$

$$= 1.79 l/min$$

- Caudal el tubería lateral (Qtl)

ECUACIÓN 19 - CAUDAL TUBERÍA LATERAL

$$Qtl \left(\frac{l}{min} . tubería lateral \right) = N^{\circ} de tubería laterales * Q_o$$

$$Qtl \left(\frac{l}{min} . tubería lateral \right) = 1.79 * 12 = 21.54$$

- Caudal total en tuberías (Qtt)

ECUACIÓN 20 - CAUDAL TOTAL TUBERÍA

$$Qtt \left(\frac{l}{min} \right) = Qtl * N^{\circ} de tuberías laterales$$

$$Qtt \left(\frac{l}{min} \right) = 21.54 * 12 = 259.63$$

- Duración por dosis (Td)

ECUACIÓN 21 - DURACIÓN POR DOSIS

$$Td (min) = \frac{Qd * 1000}{Qtt}$$

$$Td (min) = \frac{4.26 * 1000}{259.63} = 16.41$$

Los detalles del Filtro Intermitente de Arena se muestran en el Plano A-02 y A-03. A continuación se muestran el resumen de los resultados de las dimensiones del Filtro Intermitente de Arena (Tabla 32).

TABLA 32 – RESUMEN CÁLCULOS FILTRO INTERMITENTE DE ARENA

Descripción	Cantidad	Unidad
Área total	42.6	m ²
Largo	6.5	m
Ancho	6.5	m
Espacio entre Orificios	0.5	m
Espacio entre tuberías	0.5	m
Número de tubería laterales	12	m
Número de orificios por tubería lateral	12	m
Dosis	2	Veces/d
Volumen por dosis	4.26	m ³ /d
Profundidad Útil	0.6	m

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE EFLUENTE TRATADO

Se considera un tanque de 10 metros cúbicos, en este tanque se colectara el agua residual domestico tratada para su almacenamiento. En este tanque se consideró la instalación de 2 bombas sumergibles (caudal 23 lpm, potencia 1.0 HP y ADT 7 metros) de trabajo alternado, y cumple la función de impulsar el efluente al sistema de riego por goteo y aspersión y mantener homogenizada el agua residual.

5.3. USO DEL EFLUENTE TRATADO

Para demostrar que es posible el uso del efluente tratado mediante Filtro Intermitente de Arena debe cumplir el Estándar de Calidad Ambiental para agua, Categoría 3 - subcategoría D1, la Tabla 33 muestra los resultados de la concentración final de los contaminantes al salir del tratamiento.

TABLA 33– EFICIENCIA SISTEMA DE TRATAMIENTO

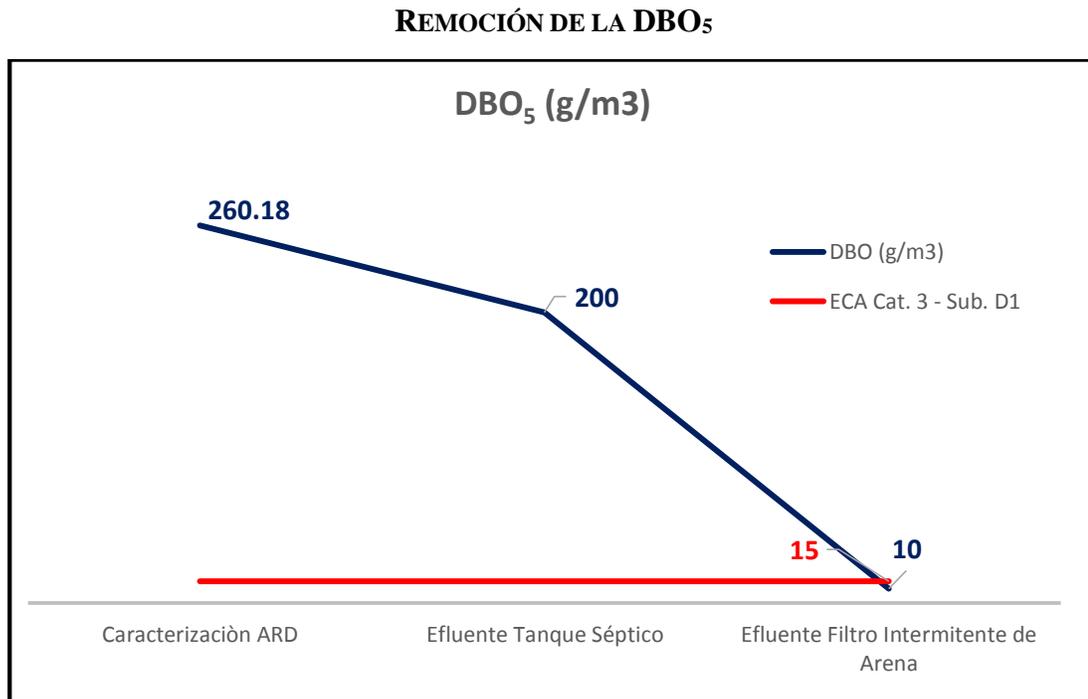
Parámetro	Caracterización ARD	Efluente Tanque Séptico	Efluente Filtro Intermitente de Arena
Caudal (m ³ /d)	8.52	8.52	-
DBO (g/d)	260.18	200	10
Sólidos Suspendidos (g/d)	468.31	90	10
Nitrógeno Total (g/d)	62.44	60	30
Fosforo Total (g/d)	15.61	10	10
Coliformes Fecales (Nº bacterias/100 ml)	10.41*10 ⁷	10 ⁶	10 ²

A continuación se muestran la remoción de los principales contaminantes que se plantearon en la presente investigación.

5.3.1. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO₅

En el efluente del Tanque Séptico la remoción de la DBO₅ es 23.73% llegando a una concentración de 200 g/m³, en el efluente del Filtro Intermitente de Arena la concentración de la DBO₅ será 10 g/m³, habiéndose removido un total de 96.15% desde el ingreso al sistema de tratamiento. De acuerdo al Estándar de Calidad ambiental para Agua Categoría 3, Subcategoría D1, la concentración máxima de la

DBO₅ debe ser 15 g/m³, por lo que el efluente cumple con este parámetro. A continuación se muestra la remoción del DBO₅, por unidad de tratamiento.



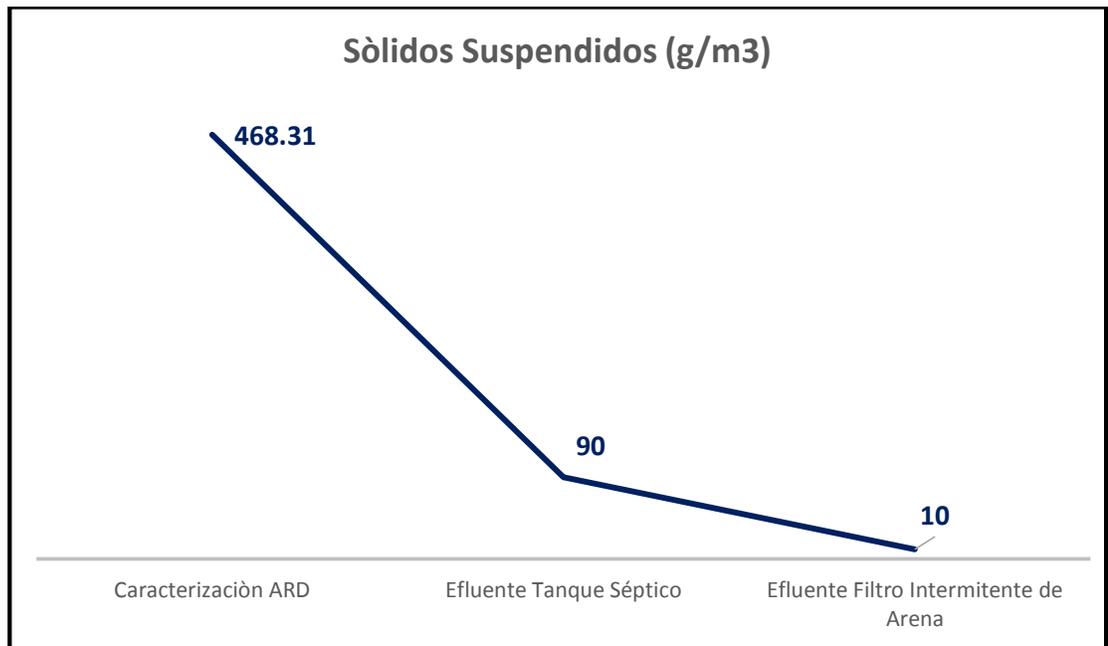
Elaboración: Propia

5.3.2. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

En el efluente del Tanque Séptico la remoción de los sólidos suspendidos es 80.78% llegando a una concentración de 90 g/m³, en el efluente del Filtro Intermitente de Arena la concentración de los Sólidos Suspendidos será 10 g/m³, habiéndose removido un total de 97.86% desde el ingreso al sistema de tratamiento. De acuerdo al Estándar de Calidad ambiental para Agua Categoría 3, Subcategoría D1, los Sólidos Suspendidos no se encuentran dentro de los parámetros establecidos. La importancia en remover los sólidos suspendidos se da en el tratamiento primario (Tanque Séptico), afín no haya inconvenientes en el tratamiento biológico que se da en el Filtro

Intermitente de Arena; Asimismo para el riego por goteo es necesario tener un efluente con baja concentración de solidos suspendidos. A continuación se muestra la remoción de los Sólidos Suspendidos, por unidad de tratamiento.

REMOCIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS



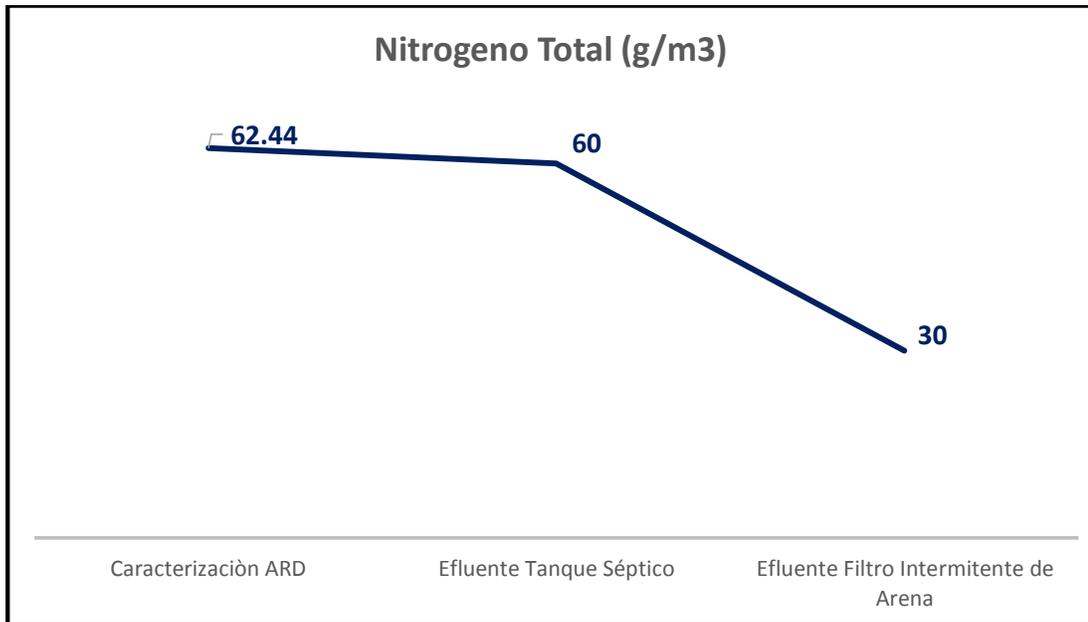
Elaboración: Propia

5.3.3. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL

En el efluente del Tanque Séptico la remoción del Nitrógeno total es 3.9% llegando a una concentración de 60 g/m³, en el efluente del Filtro Intermitente de Arena la concentración del Nitrógeno Total será 30 g/m³, habiéndose removido un total de 51.95% desde el ingreso al sistema de tratamiento. De acuerdo al Estándar de Calidad ambiental para Agua Categoría 3, Subcategoría D1, el Nitrógeno Total no se encuentra dentro de los parámetros establecidos. Dado que el aprovechamiento del efluente es

para riego, es importante conservar el nitrógeno como nutriente. A continuación se muestra la remoción del Nitrógeno Total, por unidad de tratamiento.

REMOCIÓN DE NITRÓGENO TOTAL

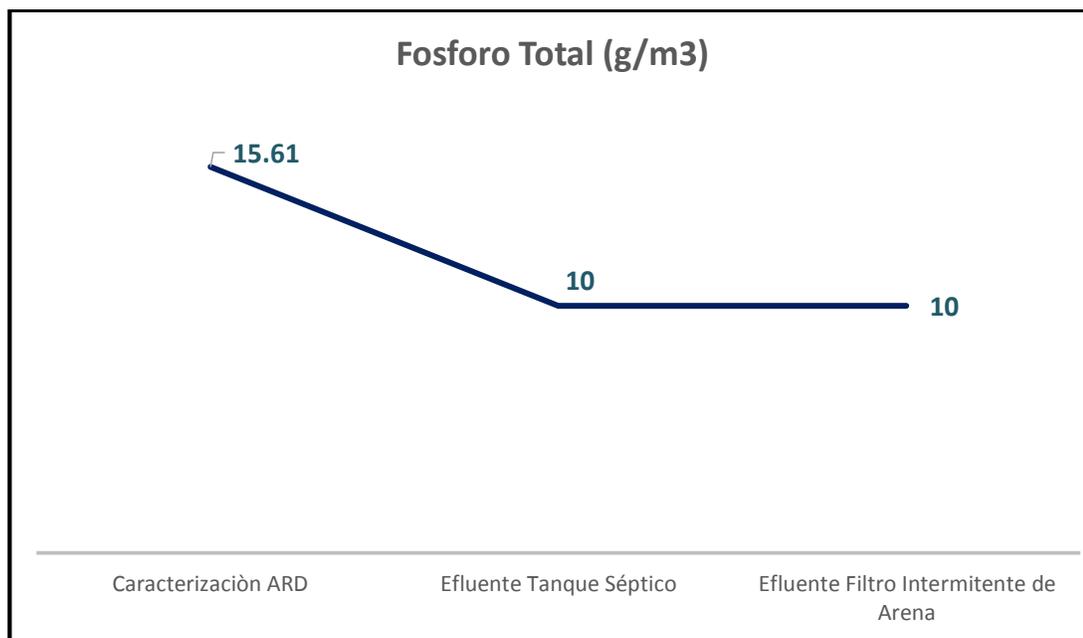


Elaboración: Propia

5.3.4. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL FÓSFORO TOTAL

La remoción del Fósforo Total en ambas unidades es mínima, de acuerdo a los valores de remoción la concentración al final del tratamiento sería 10 g/m³, lográndose remover el 64.06% en todo el tratamiento. De acuerdo al Estándar de Calidad ambiental para Agua Categoría 3, Subcategoría D1, el Fósforo Total no se encuentra dentro de los parámetros establecidos. Dado que el aprovechamiento del efluente es para riego, es importante conservar el fósforo como nutriente. A continuación se muestra la remoción del Fósforo Total, por unidad de tratamiento.

REMOCIÓN DE FÓSFORO TOTAL

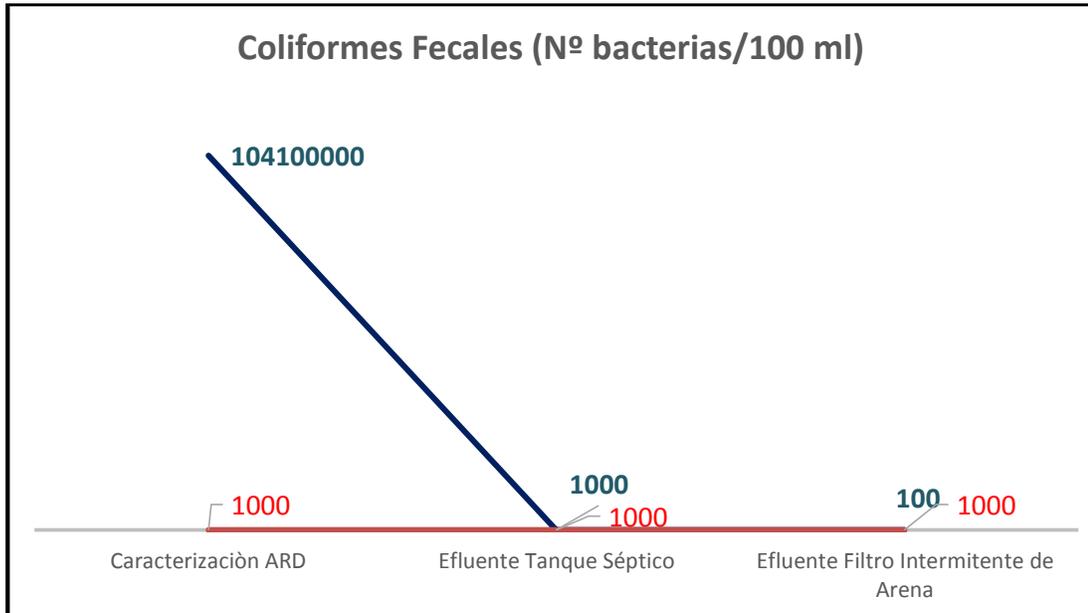


Elaboración: Propia

5.3.5. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES

En el efluente del Tanque Séptico la remoción de los Coliformes Fecales es 99.99% llegando a una concentración de 1000 N° bacterias/100 ml, el efluente del Filtro Intermitente de Arena los coliformes Fecales se reduce hasta 100N° bacterias/100 ml. De acuerdo al Estándar de Calidad ambiental para Agua Categoría 3, Subcategoría D1, los coliformes fecales están por debajo de la concentración permitida. La importancia de la remoción de este contaminante es la prevención de enfermedades del personal, eliminando la causa que es la transmisión. A continuación se muestra la remoción de Coliformes Totales, por unidad de tratamiento.

REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES



De acuerdo a los valores de remoción queda demostrado que el efluente puede ser usado para el riego de áreas verdes y carreteras.

La demanda de agua para riego se evaluó bajo las condiciones siguientes:

- Aprovechar el efluente tratado de AM POWER.
- La fuente de la dotación para las especies es tomada del PIP Planta de Tratamiento de las Aguas del Rio Surco – Municipalidad Miraflores.
- El riego será tecnificado
- El caudal disponible es el 60% del caudal de diseño, es decir 5.11 m³/día.
- Las especies plantadas serán gras americano (*Stenotaphrum secundatum*) y tara (*Caesalpinia spinosa*)

A. La demanda de agua para grass americano se ha calculado adaptando los parámetros siguientes:

- Dotación de $0.006 \text{ m}^3/\text{m}^2$, para el riego por aspersión.
- Para el riego de se utilizará el 30 % del Caudal disponible, es decir $4.09 \text{ m}^3/\text{día}$

B. La demanda de agua para gras se ha calculado adaptando los parámetros siguientes:

- Dotación de $0.001 \text{ m}^3/\text{m}^2$, para el riego por goteo.
- Para el riego de se utilizará el 10 % del Caudal disponible, es decir $1.02 \text{ m}^3/\text{día}$

C. La demanda de agua para riego de las carreteras de acceso se ha calculado adaptando los parámetros siguientes:

- Dotación de $0.5 \text{ m}^3/\text{km}$, riego por aspersión con cisterna.
- Para el riego de se utilizará el 60 % del Caudal disponible, es decir $1.02 \text{ m}^3/\text{día}$

El caudal reusado será el 60% del efluente, a su vez del total del caudal de reúso el 40% es para el riego de áreas verdes ($2.04 \text{ m}^3/\text{día}$) y el 60% restante será reusado para el riego de las carreteras de acceso a las instalaciones ($3.07 \text{ m}^3/\text{día}$). Haciendo un total de $1865.15 \text{ m}^3/\text{año}$ de efluente reusado. Las Tablas 34 y 35 muestra los uso del efluente tratado.

TABLA 34 - RIEGO DE ÁREAS VERDES

Riego	Área Riego M2	Dotación M3/M2*Día	Demanda Diaria M3/Día	Demanda Total M3/Año
Grass Americano	1533	0.001	1.53	558.45
Tara	82.17	0.006	0.51	186.15
<i>Total</i>	<i>1618.17</i>		<i>2.04</i>	<i>744.6</i>

Fuente: Propia

TABLA 35 – RIEGO DE CARRETERA DE ACCESO

Riego	Área Riego Km	Dotación M3/Km	Demanda Diaria M3/Día	Demanda Total M3/Año
Acceso carreteras	4,090.00	0.005	3.07	1120.55

Fuente: Propia

5.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Dentro de la propuesta de construcción del Tanque Séptico y Filtro Intermitente de Arena, se ha planificado la elaboración de un manual de operación y mantenimiento, el cual será un aporte para la conservación de la obra y a la preservación de la inversión.

El tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico debe de tener para su debida operación y mantenimiento una guía accesible y de fácil seguimiento, a fin de lograr el grado del tratamiento y no dejar su funcionamiento al azar, lo cual puede conllevar riesgos mayores que las propias aguas crudas.

5.4.1. PERSONAL Y EQUIPOS

Para el mantenimiento del sistema de tratamiento se requiere de un mínimo de dos personas, el mantenimiento de las áreas verdes lo realizará el mismo personal y el riego de las carreteras de acceso lo realizará una empresa externa.

Además se requerirá de los siguientes equipos:

- Botas de jebe
- Palas
- Carretilla
- Mascaras
- Guantes de jebe
- Camión cisterna para el almacenamiento y traslado de lodos.
- Para medir el espesor de los lodos: palo o pértiga de 2.5m forrada en un extremo con trapos blancos, cubriendo 1m de longitud.

5.4.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE SÉPTICO

Para una adecuada operación y mantenimiento de esta unidad del sistema, se recomienda no mezclar las aguas de lluvia con las aguas residuales; así como evitar el uso de químicos para limpieza del tanque séptico y el vertimiento de aceites.

5.4.2.1. Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento se efectúa con la finalidad de evitar problemas en el funcionamiento del sistema.

- Inspeccionar el tanque séptico para verificar el estado de conservación o vulnerabilidad.
- Limpiar externamente retirando piedras, plantas y todo material extraño.

5.4.2.2. Mantenimiento correctivo

Es el que se efectúa para reparar daños causados por acciones extrañas imprevistas o deterioros normales del uso del sistema.

- Si hay deterioros en las tapas de inspección, cambiar por otra con características similares.
- Si detecta paredes rajadas o tarrajeo deteriorados resane con una proporción igual de arena fina y cemento.

5.4.2.3. Precauciones y recomendaciones

- Cuando se abra el registro evitar respirar los gases tóxicos del interior, utilizar mascarillas y equipos de protección personal.
- Antes de iniciar la inspección o limpieza del tanque se debe esperar por lo menos 30 minutos para tener la seguridad de que el tanque está ventilado adecuadamente y no exponerse a gases tóxicos, que pueden afectar gravemente la salud.
- Nunca se debe usar cerillo o antorchas para la inspección interior del tanque séptico ya que pueden causar explosiones o asfixia.

- Al terminar la inspección y/o limpieza del tanque, tapar inmediatamente los registros.

5.4.2.4. Impermeabilidad

Para evitar que el caudal residual contamine el agua subterránea o de escurrimiento superficial, se debe verificar que el caudal de entrada sea el mismo que el de salida. Las infiltraciones reducirían el tiempo de retención y eficacia del tratamiento. En caso de fugas podrían contaminar el suelo aledaño a la estructura y representar riesgo a la salud de los trabajadores. Para verificar la infiltración, se debe seguir los siguientes pasos:

- Clausurar momentáneamente la entrada de agua del tanque.
- Determinar el nivel de agua con ayuda de una referencia.
- Después de 2 horas se repite la medición del nivel, si existe una diferencia significativa, habrá evidencia de fuga en el tanque.

5.4.2.5. Retiro de los lodos

El retiro de los lodos se debe hacer al menos una vez al año tomando como criterio el espesor del lodo, la profundidad del lodo es igual o mayor que un tercio de la profundidad del líquido. La Tabla 37 muestra la relación entre la altura del líquido y la altura del lodo para realizar la succión de lodos.

TABLA 36 – TABLA PARA RETIRO DE LODOS

ALTURA DEL LIQUIDO	ALTURA DEL LODO
0.90m	0.30m
1.10m	0.37m
1.20m	0.40m
1.80m	0.60m

Fuente: Norma I.S. 020

Si el tanque se deja llenar con demasiada espuma o lodo, comenzará a descargar sólidos al sistema de infiltración, obstruyéndose y poniendo inoperativo el sistema.

Para medir el espesor de los lodos se introduce un palo o pértiga de 2.5m forrada en un extremo con trapos blancos, cubriendo 1.5 m de longitud.

- Observar la marca dejada por el lodo.
- El palo se introduce por el lado del “tubo tee” de descarga.
- Evitar el contacto con natas y espumas.
- Después de 5 minutos retirar la pértiga lentamente.

5.4.2.6. Extracción de Lodos

Se deberá agitar la parte líquida y los lodos para introducir una bomba de desagüe. Dependiendo del volumen del tanque séptico, su contenido se bombeará a un camión cisterna, para que junto con la nata extraída, sean dispuestos en un relleno sanitario. Quienes realicen la extracción de lodos será personal de empresas de saneamiento ambiental que realicen la labor en concordancia a lo establecido en el Decreto

Supremo N° 022-2011-SA que aprueba el Reglamento Sanitario para las actividades de saneamiento ambiental en viviendas y establecimientos comerciales, industriales y de servicios. En ningún caso se podrá vaciar en cursos de agua.

Dejar una pequeña cantidad, aproximadamente 10% para que actúe como inóculo. No debe rasparse el interior de una fosa que ha sido vaciada, el material adherido a sus paredes y fondo hace las veces de siembra bacteriana ayudando a la recuperación de la actividad biológica en la fosa cuando reinicia su operación. El retiro de los lodos del tanque séptico será cada año, señales de dificultades con el tanque séptico:

- Aguas residuales estancándose en los inodoros o lavamanos.
- Las instalaciones drenan lentamente, especialmente después de que llueve.
- El mal olor del conducto de desagüe junto con tierra muy mojada sobre el drenaje.
- Aguas residuales desembocadas sobre la tierra, zanjas o áreas verdes cercanas
- Resultados de un análisis de agua que indica la presencia de contaminación biológica o contaminación química orgánica por las aguas subterráneas del sistema.

5.4.2.7. Lavado de materiales utilizados y aseo personal

Todas las herramientas utilizadas deben ser lavadas para evitar el contacto con las moscas y la contaminación, luego deben ser guardadas en el almacén. Si fuera posible enjuagar las herramientas con una solución de hipoclorito. Inmediatamente después,

el personal debe lavarse la manos y bañarse con un jabón germicida para evitar ser contaminados e infectados.

5.4.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL FILTRO INTERMITENTE

Los filtros intermitentes deben estar localizadas aguas abajo del tanque séptico, para realizar el mantenimiento es necesario:

- Suspender la operación por tiempo.
- Realizar el rastrillado de la superficie para remover la costra que se forma y actúa como inhibidora del proceso
- Reemplazar la capa superior con material limpio.
- Limpieza de las tuberías.

En el momento en que el nivel de encharcamiento por encima de la superficie exceda de 0,30 m debe pararse la aplicación de agua residual. Se deberá rastrillar o cambiar la capa de arena en intervalos de 30 a 150 días.

5.5. CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN

- **Materiales:** Para todas las estructuras, se construirá de concreto no reforzado, lo bastante grueso para soportar la presión ascendente cuando el tanque séptico esté vacío y debiéndose reforzar el fondo. Las paredes serán de ladrillo o bloques de concreto y deben ser impermeabilizadas.

- **Accesos:** Todo tanque séptico tendrá losas removibles de limpieza y registros de inspección. Existirán tantos registros como cámaras tenga el tanque. Las losas removibles deberán estar colocadas principalmente sobre los dispositivos de entrada y salida.
- **Dispositivos de entrada y salida del agua:** El diámetro de las tuberías de entrada y salida de los tanques sépticos será de 100 mm (4"). La cota de salida del tanque séptico estará a 0.05 m por debajo de la cota de entrada, para evitar represamientos. Los dispositivos de entrada y salida estarán constituidos por Tees o cortinas.
- Muchas veces el contratista no cuenta con el suficiente conocimiento para la construcción de los sistemas de tratamiento, el ingeniero o diseñador responsable, debe inspeccionar estrictamente los trabajos a realizar y con ello garantizar que se utilicen los materiales y técnicas de construcción adecuadas. En la construcción se debe procurar la utilización de arena lavada, la instalación de un material apropiado para la impermeabilización, una adecuada instalación del equipo, la tubería sea colocada satisfactoriamente.
- En casos ideales se recomienda la utilización de una geomembrana de 30 milésimas de pulgada de espesor y con ello garantizar una protección al sistema cuando ocurra una avería. Se utilizará geotextil no tejido para una separación en el medio filtrante dependerá del tamaño y tipo de material que se esté empleando. Se deben revisar fugas en el sistema, la altura de descarga en los orificios se debe evaluar anualmente y la tubería de distribución se debe limpiar cada año (ver capítulo 7 operación y mantenimiento del sistema).

- La función filtro impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del arena, sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro del sistema de drenaje, a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje.

CAPITULO VIII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para determinar si el sistema de tratamiento propuesto controla los posibles daños al ambiente y pueda ser reusado, los resultados de la investigación nos indican:

- Las experiencias en la implementación de métodos de tratamiento para las industrias y viviendas en zonas rurales del distrito de Chilca se limitan a la infiltración directa en el terreno, esta tesis demuestra que mediante el método de Filtros Intermitentes de Arena se controla los posibles daños al ambiente a su vez que se reusa el 100% (8.52 m³/día) del efluente doméstico, logrando de esta manera al uso eficiente del recurso hídrico.

- La investigación de Bieberach Mugraza, Humberto Joseph (2013) nos indica que las principales deficiencias del uso de letrinas, silos y tanques sépticos, es el mantenimiento deficiente o en algunos casos no se realiza. Por lo cual para esta tesis se propone de Tanques Sépticos y Filtro Intermitente ya que su mantenimiento no demanda personal especializado y los costos son bajos en comparación a otras alternativas de tratamiento. Asimismo la tesis establece las actividades de operación y mantenimiento que se realizará en ambas unidades de tratamiento.

- Méndez Novelo, Gijón Yescas, Quintal Franco y Osorio Rodríguez (2007), determinó que la acumulación de lodos es una de los principales problemas de operación de los tanques sépticos, para lo cual en esta investigación se plantea las actividades de Operación y Mantenimiento requeridos para el óptimo funcionamiento del Tanques Sépticos y Filtro Intermitente de Arena.
- Fenix Power Perú (2013), Indicó que el distrito de Chilca sus principales debilidades son la falta de servicios básicos (agua y desagüe), el cual es un riesgo para la salud y el ambiente.

En esta tesis para asegurarnos que no exista riesgos a la salud se toma como indicador la presencia de Coliformes Totales, el cual es removido en un 99.9 % llegando a una concentración de 100N° bacterias/100 ml, estas bacterias son usadas como indicadores porque su presencia señala la presencia en el agua de organismos que pueden causar enfermedades. Previniendo de esta manera la transmisión de enfermedades como diarreas, vómitos, disentería y hepatitis.

Para controlar los posibles daños al ambiente los efluentes del tanque séptico continuarán su tratamiento secundario a través del Filtro Intermitente de Arena, por lo cual se descartan posibles daños en la calidad del suelo producto de la infiltración directa que comúnmente se viene dando en las zonas rurales de Chilca. Asimismo el diseño establece medidas de contingencia como la construcción de dos filtros intermitentes de arena en paralelo, solamente operará uno y el otro

entrará en operación cuando se presentes problemas en la operación. De esta manera se evitan descargas al suelo y sus posibles afectaciones.

- La disponibilidad de efluente tratado para riego es de 5.11 m³/día, siendo el principal valor agregado de esta tesis es el reúso del agua residual. De esta manera se reduce el consumo del 40 % (2.04 m³/día) de agua para áreas verdes; y de acuerdo a los resultados del aprovechamiento el 60% (3.07 m³/día) será reusado para el riego de carreteras de acceso, esto se debe a que la generación de material particulado debido al transido de vehículos impacta considerablemente a la calidad del aire, mitigar así este impacto ambiental. Es preciso agregar que para determinar cuantitativamente la mitigación del impacto en la calidad del aire se tendría que realizar monitoreos de aire, los cual no está considerado en esta investigación.
- La Tabla 38 muestra el comparativo del cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental para agua, la categoría para riego solo considera el DBO₅ y Coliformes fecales, sin tomar parámetros importantes como los sólidos suspendidos y nutrientes:

TABLA 37 – CUMPLIMIENTO ECA AGUA

Parámetro	Efluente Tratado	ECA, Cat. 3 – D1
DBO₅ (g/l)	10	200
Coliformes Fecales (N° bacterias/100 ml)	100	1000

Fuente: Propia

CONCLUSIONES

La investigación propone como método de tratamiento el uso de filtro intermitente de arena, logrando de esta manera:

- A.** Mediante los datos de consumo de agua por persona, los aportes per cápita y el estimado del número de trabajadores, se determinó un caudal de 8.52 m³/día, características fisicoquímicas (DBO 260.18 g/m³, sólidos suspendidos 468.31 g/m³, nitrógeno total 62.44 g/m³ y fósforo total 15.61 gr/m³) y características microbiológicas (coliformes fecales 10.41*10⁷ NMP/100 ml) del agua residual doméstica. Estos resultados sirvieron para asegurar que pueden ser tratados mediante Filtro Intermitente de Arena, previo tratamiento primario en Tanque Séptico.
- B.** Siguiendo los lineamientos de la Norma IS 020 Tanque Séptico y OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se realizaron los cálculos obteniendo las siguientes dimensiones para el Tanque Séptico: altura 2.2 m, largo 3.72 y ancho 1.86 m; y para el Filtro Intermitente de Arena: altura 0.75 m, largo 6.5 m y ancho 6.5 m. Asimismo se indica que únicamente se bombeará el efluente para la aplicación del riego. Finalmente estas dimensiones fueron plasmados en los planos del diseño, estructurales, ubicación, los cuales servirán para la ejecución de la obra y la autorización del reúso del agua residual tratada.

C. Para demostrar que el efluente tratado puede ser usado para riego se calculó la concentración de los contaminantes del efluente tratado aplicando los valores de remoción. Habiendo obtenido dichas concentraciones fueron comparadas con el Estándar de Calidad Ambiental para agua con fines de riego en función a dos parámetros:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Logra una remoción de 96.15%, obteniendo una concentración final de 10 g/m³, por debajo de los 15 g/m³ que establece el Estándar de Calidad Ambiental para agua para riego.
- Coliformes Fecales: Logra una remoción de 99.99%, obteniendo una concentración final de 100 NMP/100 ml, por debajo de los 1000 NMP/100 ml que establece el Estándar de Calidad Ambiental para agua para riego.

D. El presente trabajo “Propuesta de Implementación de Tanques Sépticos para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Central Termoeléctrica AM POWER” fue fundamental para obtener la aprobación del EIA, con lo que se obtuvo la certificación ambiental de la Central Termoeléctrica AM POWER.

Por todo lo anterior se concluye que el objetivo general y objetivos específicos, fueron cubiertos satisfactoriamente con el desarrollo de este trabajo de tesis.

RECOMENDACIONES

- A.** El retiro de lodo y un mantenimiento adecuado del Tanque Séptico, ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento y evita la obturación de los poros en el filtro intermitente de arena.

- B.** Para realizar el retiro de lodos se recomienda implementar registros y evaluar el volumen de acumulación de lodos en función del tiempo.

- C.** Durante la succión de lodos en el Tanque Séptico se deberá dejar un 10% del total con la finalidad de conservar las bacterias que realizan el tratamiento biológico.

- D.** El personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, deberá ser capacitado para la implementación y operación del sistema de riego tecnificado y conservación de las áreas verdes y arbustos, con la finalidad de optimizar costos.

- E.** Las tuberías de captación se recomiendan enterrarlas para evitar daños debido a los factores climáticos, tránsito de vehículos y/o daños ocasionados por los trabajos que pueden realizarse en AM POWER.
- F.** Para evitar obstrucciones en tuberías, conexiones y/o daños a la infraestructura del sistema de tratamiento, se recomienda que no exista la presencia de árboles ni vegetación en un perímetro de 5 metros. Asimismo servirá para inspeccionar posibles fisuras o daños estructurales.
- G.** Para asegurar que el efluente tratado cumpla los Estándares de Calidad Ambiental para agua, se recomienda realizar monitoreos mensuales de calidad de agua, descartando principalmente la presencia de bacterias, virus y protozoos. De esta manera se asegura el adecuado funcionamiento del sistema.
- H.** No aplicar productos químicos o desinfectantes que traten de ayudar a degradar los sólidos ya que estos pueden afectar al desarrollo de las bacterias que realizan el tratamiento biológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, Damann L.; SIEGRIST, Robert L.; OTIS, Richard
J. Technology assessment of intermittent sand filters. Washington, DC: EPA 1992.
- CRITES, Ron; TCHOBANOGLUS, G. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill 2000.
- METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales*. Volumen 1 y 2. 3ª México: McGraw-Hill 1996.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Manual wastewater Treatment / disposal for small communities*. Washington, DC: EPA, 1992.
- GABRIEL BITTON. *Microbiología de las Aguas Residuales, Hoboken, N.J. : Wiley-Blackwell, 2011*.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Norma Técnica I.S. 020 – Tanques Sépticos, Lima, 2013*
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Norma Técnica O.S. 020 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Lima, 2010*

- MINISTERIO DEL AMBIENTE PERÚ, *Decreto Supremo 015-2015-MINAM, Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación, Lima, 2015.*
- ITZCOALT BOLAÑOS GOMEZ, *Diseño Espacial y Estructural de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2013*

ANEXOS

- PLANO P-01 UBICACIÓN AM POWER
- PLANO U-01 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
- PLANO A-01 DETALLE TANQUE SEPTICO
- PLANO A-02 DETALLE FILTRO INTERMITENTE DE ARENA PLANTA
- PLANO A-03 DETALLE FILTRO INTERMITENTE DE ARENA PERFIL

GLOSARIO

La definición de los términos fue sacada de la Norma OS 090 – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

- **Afluente:** Aguas negras o parcialmente tratado, que entra a un depósito, estanque.
- **Aguas negras domesticas:** Aguas negras derivadas principalmente de las casas, edificios comerciales instituciones y similares, que no están mezcladas con aguas de lluvia o aguas superficiales.
- **Biodegradabilidad:** Es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.
- **Descomposición del agua negra:** La destrucción de la materia orgánica de las aguas negras, por medio de procesos aeróbicos y anaerobios.

- **Efluente:** Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento.
- **Espacio libre:** La distancia vertical entre el máximo nivel de la superficie del líquido, en un tanque.
- **Estabilidad:** La propiedad de cualquier sustancia, contenida en las aguas negras, o en el efluente o en los lodos digeridos, que impide la putrefacción.
- **Grasa:** En aguas negras, el término grasa incluye a las grasas propiamente dichas, ceras ácidos grasos libres, jabones de calcio y de magnesio, aceites minerales y otros materiales no grasosos.
- **Lecho de secado de lodos:** Una superficie natural confinada o lechos artificiales de material poroso, en los cuales son secados los lodos digeridos de las aguas negras por escurrimiento y evaporación. Un lecho de secado de lodos puede quedar a la intemperie o cubierto, usualmente, con una armazón del tipo invernadero.
- **Lodos:** Los sólidos depositados por las aguas negras, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques y que contienen más o menos agua para formar una masa semilíquida.
- **Pendiente:** La inclinación o declive de una tubería o de la superficie natural del terreno, usualmente expresada por la relación o porcentaje del número de unidades de elevación o caída vertical, por unidad de distancia horizontal.
- **Percolación:** El flujo o goteo del líquido que desciende a través del medio filtrante. El líquido puede o no llenar los poros del medio filtrante.

- **Periodo de Retención:** El tiempo teórico requerido para desalojar el contenido de un tanque o una unidad, a una velocidad o régimen de descarga determinado (volumen dividido por el gasto).
- **Sedimentación:** El proceso de asentar y depositar la materia suspendida que arrastra el agua, las aguas negras u otros líquidos, por gravedad. Esto se logra usualmente disminuyendo la velocidad del líquido por debajo del límite necesario para el transporte del material suspendido. También se llama asentamiento.
- **Sifón:** Conducto cerrado, una porción del cual yace por debajo de la línea de nivel hidráulico. Así se origina una presión inferior a la atmosférica en esa porción y por esto requiere que sea creado un vacío para lograr el flujo.
- **Sólidos Sedimentables:** Sólidos suspendidos que se asientan en el agua, aguas negras, u otro líquido en reposo, en el periodo razonable. Tal periodo se considera, aunque arbitrariamente, igual a una hora.
- **Tanque Séptico:** Es un tanque de sedimentación de acción simple, en el que los lodos sedimentados están en contacto inmediato con las aguas negras que entran al tanque, mientras los sólidos orgánicos se descomponen por acción bacteriana anaerobia.
- **Trampas de Grasa:** El proceso de separar la grasa flotante o espuma, de la superficie de un tanque séptico.

