



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES HUASIMPAMBA-LA PAZ DEL CANTÓN SAN PEDRO
DE PELILEO”**

**Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA QUÍMICA**

AUTORA: COBA RONQUILLO ADRIANA CAROLINA

TUTOR: Ing. HUGO CALDERÓN

Riobamba- Ecuador

2015

©2015, Coba Ronquillo Adriana Carolina

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que el trabajo de investigación “**REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUASIMPAMBA-LA PAZ DEL CANTÓN SAN PEDRO DE PELILEO**” de responsabilidad de la señorita egresada Adriana Carolina Coba Ronquillo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Hugo Calderón DIRECTOR
Ing. Mónica Andrade MIEMBRO DEL TRIBUNAL
SISBIB ESPOCH DOCUMENTALISTA

“Yo, **ADRIANA CAROLINA COBA RONQUILLO**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

Adriana Carolina Coba Ronquillo

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Marco e Inés, por ser mi soporte y apoyo incondicional; en especial a ti mamita, por enseñarme a mirar más allá de las cosas, por ser mi mejor amiga y fiel confidente, por creer y confiar en mí en cada momento, por tu paciencia, por levantarme cuando mis fuerzas ya no daban más, por enseñarme a que al éxito se llega solamente a través de la perseverancia, humildad y la confianza en Dios.

A mis hermanos Giova, Ronny, Leslie, Emy e Inesita por que han estado conmigo a lo largo de toda mi vida, mediante risas y llantos, enojos y alegrías pero siempre compartiendo nuestro amor de hermanos. Han sido mi inspiración porque el solo pensar en ustedes los días que estaba lejos de casa hacía que me dé más ganas para seguir en la lucha. Inesita, hermosa princesa con tus sonrisas y ocurrencias robaste mi corazón.

A mis amigos que han estado en las buenas y malas, compartiendo juntos nuestro entusiasmo de jóvenes, son parte de mi familia, hicieron más fácil el adaptarme a Riobamba, mi segundo hogar. Cada uno de ustedes sabe todo el sacrificio que hemos tenido que pasar, pero al convertirnos en una familia nos uníamos para salir siempre adelante.

A toda mi familia, tíos, primos y abuelitos. En especial a la persona que ha sido como mi segunda mamá, que aunque no tengamos la misma sangre, le considero mucho Tía Margarita, a mi Tía Lily y a mi Tío Mario, por todo lo que han hecho por mí y mis hermanos, que sin esperar devolución lo han dado el todo por el todo, Dios les recompensará.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi eterno agradecimiento a Dios ya que sin su bendición y amor nada sería posible; por ser la luz y esperanza en cada día de mi vida, por protegerme y darme las fuerzas necesarias para continuar ante cualquier obstáculo y dificultad.

A mis padres y familiares, por ser pilar fundamental para la realización de mis sueños.

A mis amigos que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, momentos que quedan guardados en mi corazón.

A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial al Ing. Hugo Calderón e Ing. Mónica Andrade por haberme brindado su colaboración para el desarrollo de mi trabajo investigativo.

Al GAD Municipal de San Pedro de Pelileo, en especial al señor Alcalde Dr. Manuel Caizabanda por la apertura brindada para llevar a cabo mi proyecto de estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

DERECHOS DE AUTOR.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
FIRMA DE RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
CAPITULO I	
1 MARCO TEÓRICO	5
1.1 Aguas Residuales	5
1.1.1 Generalidades, definición, origen.....	5
1.1.2 Clasificación.....	6
1.2 Parámetros utilizados para la caracterización del Agua Residual	7
1.2.1 Organolépticos	8

1.2.2	Físicos	9
1.2.3	Químicos	10
1.3	Microbiología del Agua	12
1.3.1	Grupo Coliforme	13
1.4	Tratamiento de Aguas Residuales.....	13
1.4.1	Definición.....	13
1.4.2	Vertederos o Canales de entrada	14
1.4.3	Etapas de tratamiento para las aguas residuales	16
1.5	Población	29
1.5.1	Población actual	29
1.5.2	Población futura o final	29
1.5.3	Índice de crecimiento anual.....	30
1.6	Caudal	30
1.7	Muestreo.....	30
1.7.1	Tipos de Muestra.....	30
1.8	Rediseño	31
1.8.1	Determinación de la población futura para rediseño.....	31
1.8.2	Determinación de Caudales.....	31
1.8.3	Sistemas de Tratamiento	32
1.9	MARCO LEGAL.....	41
1.9.1	Constitución Política del Ecuador	41
1.9.2	Ley de Gestión Ambiental.....	42
1.9.3	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).....	42

CAPITULO II

2	REDISEÑO EXPERIMENTAL	45
2.1	Lugar de Estudio	45
2.2	Estado Actual de la Planta	46
2.2.1.	Procesos Existentes	47
2.3.	Medición de caudales.....	48
2.4.	Muestreo	50
2.5	Métodos y Técnicas	51
2.5.1	Métodos.....	51

2.5.2	Técnicas.....	52
2.6	Resultados obtenidos en la caracterización del Agua Residual.....	55
2.7	Pruebas de Tratabilidad	60
2.7.1	Simulación de la planta piloto en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias-ESPOCH.....	61
2.8	Resultados de la Caracterización Final del Agua Tratada.....	65
2.9	Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento.....	67
2.9.1	Porcentaje de remoción de DQO.....	68
2.9.2	Porcentaje de remoción de DBO.....	69
2.9.3	Porcentaje de remoción de sulfuros.....	70
2.9.4	Porcentaje de remoción de grasas y aceites.....	71
2.9.5	Porcentaje de remoción de tensoactivos.....	72
2.9.6	Porcentaje de remoción del nitrógeno total.....	73
2.9.7	Porcentaje de remoción de coliformes fecales	74

CAPÍTULO III

3	CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	75
3.1	Introducción	75
3.1.1	Población Futura.....	75
3.1.2	Dotación de agua a partir de la medición del caudal.....	76
3.2	Sistema de Tratamiento	77
3.2.1	Pre-Tratamiento.....	77
3.2.2	Tratamiento Primario	83
3.2.3	Tratamiento Secundario	91
3.3	Resultados de Rediseño.....	94
3.3.1	Población Futura.....	94
3.3.2	Caudales para la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	94
3.3.3	Comparación del canal de entrada.....	95
3.3.4	Implementación del sistema de rejillas.....	95
3.3.5	Implementación del Tanque Imhoff.....	96
3.3.6	Implementación del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).....	97
3.4	COSTOS	97
3.4.1	Canal de Entrada y Sistema de Rejillas.....	97

3.4.2	Tanque de Sedimentación Imhoff	98
3.4.3	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	99
3.4.4	Costo total para el Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	100
3.5	PROPUESTA	101
3.6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	102
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
	Conclusiones	103
	Recomendaciones.....	104
	BIBLIOGRAFÍA	106
	ANEXOS	108

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

H	Altura
Hfc	Altura del fondo cónico
Hs	Altura de seguridad
W	Ancho
A	Área
AT	Área Transversal
COV	Carga orgánica volumétrica
Qd	Caudal de Diseño
Qmín.	Caudal máximo diario
Qm	Caudal medio
Qmáx.	Caudal mínimo diario
Qp	Caudal Punta
C _D	Coefficiente de arrastre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
P	Densidad del agua
ρ_a	Densidad de la arena
ρ_o	Densidad de referencia para sólidos y líquidos
D	Diámetro
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
E	Espesor
Fs	Factor de seguridad
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
°C	Grados centígrados
G	Gramos
Hab.	Habitantes
H	Hora
R	Índice de crecimiento anual
L	Litro

<i>l</i>	Longitud
MO	Materia Orgánica
Msd	Masa de sólidos suspendidos
m/s	Metros por segundo
mg/L	Miligramos por litro
ml	Mililitro
Mm	Milímetro
NRe	Número de Reynolds
S	Pendiente
Hf	Pérdidas de carga
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
pob.	Población
Pa	Población Actual
Pf	Población futura
%	Porcentaje
Rh	Radio hidráulico
S	Segundos
SSF	Sólidos suspendidos fijos
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
Trh	Tiempo de retención hidráulico
<i>v</i>	Velocidad
μ	Viscosidad cinemática
V	Volumen
Vd	Volumen del digestor

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Color de las aguas residuales.....	8
Tabla 2-1.	Olores característicos del agua residual y su origen.....	8
Tabla 3-1.	Coefficiente mínimo diario K1.....	32
Tabla 4-1.	Parámetros de diseño para el canal de entrada.....	32
Tabla 5-1.	Limpieza manual y mecánica de rejillas.....	34
Tabla 6-1.	Coefficientes de pérdidas de carga según el tipo de varilla.....	34
Tabla 7-1.	Parámetros de diseño para un tanque imhoff.....	35
Tabla 8-1.	Parámetros de diseño para lechos de secado.....	38
Tabla 9-1.	Parámetros de diseño para el FAFA.....	41
Tabla 10-1.	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	42
Tabla 1-2.	Variación de caudal por día.....	49
Tabla 2-2.	Recolección de muestras.....	51
Tabla 3-2.	Caracterización físico- química y bacteriológica del agua residual a la entrada de la actual PTAR Huasimpamba-La Paz.....	56
Tabla 4-2.	Valores críticos a la entrada de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	57
Tabla 5-2.	Caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual a la salida de la actual PTAR Huasimpamba- Paz.....	58
Tabla 6-2.	Parámetros fuera del límite máximo permisible del TULSMA a la salida de la actual PTAR Huasimpamba-La Paz.....	59
Tabla 7-2.	Parámetros a la entrada (agua residual cruda).....	61
Tabla 8-2.	Parámetros a la salida del pre-tratamiento (sistemas de rejillas).....	62

Tabla 9-2.	Parámetros después del tratamiento primario (tanque imhoff).....	63
Tabla 10-2.	Parámetros después del filtro biológico (FAFA).....	64
Tabla 11-2.	Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (28/01/2015) en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH.....	66
Tabla 12-2.	Análisis de los parámetros del agua residual cruda y el agua tratada (CESTTA).....	67
Tabla 13-2.	Caracterización química del DQO.....	68
Tabla 14-2.	Caracterización química del DBO.....	69
Tabla 15-2.	Caracterización química de los Sulfuros.....	70
Tabla 16-2.	Caracterización química de Grasas y Aceites.....	71
Tabla 17-2.	Caracterización química de los Tensoactivos.....	72
Tabla 18-2.	Caracterización química del Nitrógeno Total.....	73
Tabla 19-2.	Caracterización microbiológica de Coliformes Fecales.....	74
Tabla 1-3.	Resultado de la Población.....	94
Tabla 2-3.	Caudales a tratar.....	94
Tabla 3-3.	Dimensiones del Canal de Entrada.....	95
Tabla 4-3.	Comparación de las rejillas gruesa.....	95
Tabla 5-3.	Implementación de las rejillas finas.....	96
Tabla 6-3.	Dimensiones para el Tanque Imhoff.....	96
Tabla 7-3.	Dimensiones para el filtro anaerobio de flujo ascendente.....	97
Tabla 8-3.	Costos para la construcción del canal de entrada y sistema de rejillas.....	97
Tabla 9-3.	Costos para la construcción del Tanque Imhoff.....	98

Tabla 10-3.	Costos para la construcción del FAFA.....	99
Tabla 11-3.	Costo total para el Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	100

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	31
Ecuación 2-1	32
Ecuación 3-1	32
Ecuación 4-1	32
Ecuación 5-1	33
Ecuación 6-1	33
Ecuación 7-1	33
Ecuación 8-1	33
Ecuación 9-1	34
Ecuación 10-1	34
Ecuación 11-1	35
Ecuación 12-1	36
Ecuación 13-1	36
Ecuación 14-1	36
Ecuación 15-1	36
Ecuación 16-1	36
Ecuación 17-1	37
Ecuación 18-1	37
Ecuación 19-1	37
Ecuación 20-1	37
Ecuación 21-1	37
Ecuación 22-1	37
Ecuación 23-1	37
Ecuación 24-1	38
Ecuación 25-1	38
Ecuación 26-1	39
Ecuación 27-1	39
Ecuación 28-1	39
Ecuación 29-1	40
Ecuación 30-1	40

Ecuación 31-1	41
Ecuación 32-1	41
Ecuación 33-1	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2.	Hidrograma de caudales diario (04/01/2015)	50
Gráfico 2-2.	Disminución del DQO	68
Gráfico 3-2.	Disminución del DBO	69
Gráfico 4-2.	Disminución de los Sulfuros.....	70
Gráfico 5-2.	Disminución de Grasas y Aceites	71
Gráfico 6-2.	Disminución de Tensoactivos.....	72
Gráfico 7-2.	Disminución del Nitrógeno Total	73
Gráfico 8-2.	Disminución de Coliformes Fecales	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Tipos de Vertederos.....	15
Figura 2-1.	Esquema del Tanque Imhoff	19
Figura 3-1.	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	24
Figura 4-1.	Laguna Facultativa	25
Figura 5-1.	Laguna Anaeróbica.....	26
Figura 6-1.	Sistema de lodos activados.....	27
Figura 7-1.	Humedales	28
Figura 8-1.	Canal de entrada y rejillas	33
Figura 9-1.	Formas comunes de varillas	34
Figura 10-1.	Esquema del dimensionamiento de un tanque imhoff	36
Figura 1-2.	Localización de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	45
Figura 2-2.	Estado actual de la PTAR Huasimpamba-La Paz	47
Figura 1-3.	Rediseño del canal de entrada.....	79
Figura 2-3.	Rediseño de las rejillas gruesas	81
Figura 3-3.	Implementación de las rejillas finas	83
Figura 4-3.	Implementación del Tanque Imhoff	89
Figura 5-3.	Sólidos Sedimentables.....	90
Figura 6-3.	Malla a colocarse sobre el falso fondo	91
Figura 7-3.	Implementación del FAFA.....	93

INDICE DE ANEXOS

Anexo A.	Ubicación de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	109
Anexo B.	Toma de muestras.....	110
Anexo C.	Condiciones actuales de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	111
Anexo D.	Pruebas físico-químicas en el Laboratorio de Análisis Técnico.....	113
Anexo E.	Resultados del laboratorio del agua tratada.....	114
Anexo F.	Planos actuales de la PTAR Huasimpamba-La Pa.....	116
Anexo G.	Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz.....	117
Anexo H.	Implantación para el canal de entrada y el sistema de rejillas.....	118
Anexo I.	Implantación del Tanque Imhoff.....	119
Anexo J.	Implantación de las eras de secado.....	120
Anexo K.	Implantación del FAA.....	121
Anexo L.	Mantenimiento para el FAFA.....	122

RESUMEN

El rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz ubicada en el cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua se realizó con el objetivo de garantizar los derechos de la naturaleza. Se efectuó un análisis de la planta y sus componentes actuales, determinando que los procesos presentan serios inconvenientes y que su mantenimiento no es el adecuado; las rejillas se encuentran saturadas de gran cantidad de residuos sólidos, el tanque séptico no tiene un buen funcionamiento y por otro lado el filtro aerobio se encuentra en completo deterioro. Para el desarrollo de este estudio fue necesario realizar la medición del caudal llegando a conocer que el caudal soportado diariamente es de 0,25 L/s, así mismo se realizó la toma de muestras a la entrada y salida de la planta de tratamiento para la ejecución del análisis físico, químico y microbiológico y se revela que los parámetros que incumplen con la normativa ambiental TULSMA, Tabla 12, Descarga a un cuerpo de agua dulce, son: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sulfuros, Tensoactivos, Aceites y Grasas, Nitrógeno Total, y Coliformes Fecales. Posteriormente en base a la caracterización se escogió el sistema de tratamiento más adecuado, el cual consta de un sistema de rejillas, de un tanque de sedimentación Imhoff y un filtro anaerobio de flujo ascendente con un lecho filtrante compuesto de grava y carbón activado con 1,20 m y 0,80 m de espesor respectivamente. Realizando la caracterización del agua tratada se obtiene los siguientes resultados: 7,91 pH, 74 mg/L Demanda Química de Oxígeno, 17 mg/L Demanda Bioquímica de Oxígeno, 0,3 mg/L Aceites y Grasas, 10,89 mg/L Nitrógeno Total, 130 mg/L Sulfatos, <50 mg/L Sólidos Suspendidos, 0,37 mg/L Tensoactivos, <1 UFC/100ml Coliformes Fecales y 0,043 mg/L Sulfuros; con dicho proceso de depuración se logrará una disminución orgánica y microbiológica del 93%, concluyo mi investigación que los parámetros establecidos cumplen con la normativa ambiental vigente. Se recomienda al GAD Municipal del cantón San Pedro de Pelileo implementar el nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

<REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO>;<AGUAS RESIDUALES>;<DESCARGA CUERPO DE AGUA DULCE>;<HUASIMPAMBA-LA PAZ [COMUNIDAD]>;<PELILEO [CANTÓN]>;<TUNGURAHUA (PROVINCIA)>;<MINISTERIO DEL AMBIENTE>

ABSTRACT

The redesign of Waste Water Treatment Plan “Huasimpamba-La Paz” located in the city San Pedro de Pelileo, province of Tungurahua was carried out to guarantee the nature rights. An analysis of the plant and its current components were conducted determining that processes are a considerable inconvenient and its maintenance is not appropriate; grilles are saturated of lots of solid wastes, the septic tank does not work properly and the aerobic filter is totally damaged. It was necessary to measure the outflow to develop this study, the daily outflow is 0,25 L/s, taking samples was also performed at the inlet and outlet of the treatment plant in order to execute the physics, chemical and microbiological analysis and it was determined that there are parameters that are not under the environmental norm TULSMA, Table 12, Discharge to a fresh water resource such as: Chemical Demand of Oxygen, Biochemical Demand of Oxygen, Sulfurs, Surfactants, Oil and Fat, Total Nitrogen and Fecal Coliforms. Base on characterization, the most appropriate treatment system was chosen, it has a grill, a sedimentation tank Imhoff and an ascending flow anaerobic filter with a filter bed made of gravel and actived carbon with 1,20m and 0,80m of thickness respectively. After characterization of treated water these results were obtained: 7,91 pH, 74 mg/L Chemical Demand of Oxygen, 17 mg/L Biochemical of Oxygen, 0,3 mg/L Oil and Fat, 10,89 mg/L Total Nitrogen, 130 mg/L Sulfurs; with this process of depuration it will decrease the organic and microbiological part al 93%. It was concluded that the established parameters fulfill the current environmental norm. It is recommended to the Municipality of the city of San Pedro de Pelileo to implement a new Waste Water Treatment System to reach the norm of Unified Text of Secondary Regulations given by Ministry of Environment.

<REDESIGN OF A TREATMENT SYSTEM>;<WASTE WATER>;<DISCHARGE A FRESH WATER RESOURCE>;<HUASIMPAMBA-LA PAZ [TOWN]>;<TUNGURAHUA [PROVINCE]>;<MINISTRY OF ENVIRONMENT>

INTRODUCCIÓN

El contar con un apropiado suministro de agua es primordial para la protección de la vida, así como para la crianza de animales, procesos industriales y agricultura.

Una de las problemáticas medioambientales más fuertes es la contaminación de acequias y ríos por la descarga de aguas residuales domésticas sin el debido tratamiento hacia los cuerpos hídricos.

El impacto y los riesgos que esto tiene en la salud y ambiente son evidentes, por ello se deben buscar mecanismos que ayuden a resolver este problema, mediante el control de vertidos de las aguas servidas.

Los sistemas de tratamiento han sido construidos en diferentes poblaciones, en donde no se ha realizado una debida evaluación y sus diseños se hallan homogeneizados como son el caso de tanques sépticos, pantanos secos y filtros anaerobios los cuales han sido cimentados sin considerar las particularidades y condiciones propias del proyecto como son: cuerpo receptor, dotación, población, caracterización de la calidad de las aguas servidas entre otros. Por lo que esto implica a descargar efluentes que se encuentra fuera de la norma ambiental vigente, provocando el deterioro de los cuerpos receptores, contaminación y uso restringido de las aguas ya sea estos para riego o recreativo.

En el Cantón San Pedro de Pelileo en las comunidades de Huasimpamba Bajo y La Paz se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales cuya descarga es realizada hacia una acequia y cuyo destino final es una quebrada, la cual está siendo contaminada.

Por tal motivo el GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo solicita el Rediseño de la Planta de Tratamiento Huasimpamba-La Paz para aguas residuales, con la finalidad de reducir los impactos generados por la descarga.

ANTECEDENTES

El cantón Pelileo está ubicado a 18 km de la ciudad de Ambato a una altura de 2636 m.s.n.m. Se encuentra en la Provincia de Tungurahua, muy cerca de la Cordillera Occidental, es territorio del pueblo Salasaca, tanto la ciudad como sus alrededores.

Además de sus magníficos paisajes naturales, Pelileo presenta el atractivo de su artesanía de tejidos, madera, calzado y sobre todo, la industria de jeans, que le han dado fama a la ciudad, y los cuales son muy apreciados por turistas nacionales y extranjeros.

La industria del jean se presenta a partir de 1980, cuando se conoce la técnica del pre-lavado que permite dar una textura adecuada a la tela para su comercialización y se la realiza en forma artesanal.

Otras de sus actividades económicas importantes es la agricultura y la crianza de animales (aves, cerdos, ganado).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz se encuentra ubicada en la Parroquia La Matriz perteneciente al cantón San Pedro de PELILEO, esta planta fue construida por el entonces Concejo Provincial de Tungurahua y entregada a la junta de agua Huasimpamba-La Paz en el año 1985, con el pasar del tiempo los usuarios tienen inconvenientes en el mantenimiento de la planta y por el aumento del número de integrantes a la junta de agua, resuelven entregar las escrituras al GAD Municipal San Pedro de Pelileo en febrero del 2014.

La Planta de Tratamiento de Agua Residual Huasimpamba-La Paz, incumple con la ordenanza ambiental Título IV, Capítulo I, Art. 46 del cantón San Pedro de Pelileo sin que su administración pasada haya tomado las debidas remediaciones para poder evitar la contaminación al ambiente.

JUSTIFICACIÓN

Debido al constante aumento de las actividades realizadas por el hombre ha provocado el deterioro del ambiente así como el agua, suelo y aire, en los que algunos casos son irremediables, por lo cual el Ministerio del Ambiente de la provincia de Tungurahua, que es el ente regulador de todas estas contaminaciones dentro de la provincia, promueve que cada empresa, plantas de tratamientos tenga un estudio detallado de la calidad del agua que genera, para garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable, y así formar parte del Plan Nacional para el Buen Vivir.

El GAD Municipal de San Pedro de Pelileo, tiene interés por cumplir con la normativa ambiental vigente, por tal motivo mediante tramite N° MAE RA-2014-99319 con fecha 13 de Agosto del 2014 inicia el proceso de Regularización Ambiental para la planta de tratamiento.

Las comunidades de Huasimpamba Bajo y La Paz, cuentan con un sistema de tratamiento para agua residual pero no ha sido debidamente evaluada, la cual ha sido construida sin tomar en cuenta los factores propios del proyecto como son: caracterización Físico-Química de la calidad de las aguas servidas, población, cuerpo receptor, dotación entre otros.

La siguiente investigación cuenta con el auspicio del GAD Municipal de San Pedro de Pelileo, con el aporte de recursos humanos, técnicos y logísticos, así como también con el apoyo de los usuarios de la planta.

El presente proyecto de investigación, tiene como propósito determinar los posibles motivos de mal funcionamiento y plantear una alternativa de reducción de la contaminación que ha sido ocasionada por el vertido sin el adecuado tratamiento de los efluentes domésticos de las comunidades de Huasimpamba Bajo y La Paz, logrando de esta manera un beneficio para el medio y para los habitantes de dichas comunidades.

Por los motivos mostrados anteriormente justifica un “Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Huasimpamba-La Paz del Cantón San Pedro de Pelileo”, para que la contaminación al ambiente sea menos impactante.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Rediseñar la planta de tratamiento de aguas residuales Huasimpamba-La Paz del Cantón San Pedro de Pelileo

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar físico-química y microbiológicamente el agua residual de la planta de tratamiento Huasimpamba-La Paz en base a los límites de descarga del TULSMA LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 12
- Identificar las variables del proceso que se encuentran fuera del límite permisible de acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización
- Realizar el rediseño del proceso de depuración de aguas residuales
- Validar el rediseño propuesto mediante la caracterización físico-química y microbiológicamente del agua después de su tratamiento, en base a los límites de descarga del TULSMA LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 12

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Aguas Residuales

1.1.1 *Generalidades, definición, origen*

Se define como aguas residuales aquellas provenientes de la utilización en viviendas, fábricas, instituciones, agricultura, ganadería que llevan consigo diferentes tipos de contaminantes como pueden ser: detergentes, grasas y aceites, pesticidas, tensoactivos, proteínas, carbohidratos, heces humanas y animales.

Existen muchos pueblos y ciudades a nivel mundial que vierten sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento a cuerpos de agua dulce, afectando drásticamente a la fauna y flora presentes en los mismos e incluso esta conducta ha ocasionado que ciertas especies vayan desapareciendo. (METCALF & EDDY, 1995)

1.1.1.1 *Naturaleza del Problema*

El problema surge principalmente por las descargas directas de agua contaminada a ríos y lagos; haciendo que estas aguas se vuelvan inútiles para el riego en la agrícola, recreación, pesca y para el mantenimiento del balance ecológico.

Además de la transmisión de enfermedades, la contaminación de los cuerpos receptores por aguas residuales o servidas puede ocasionar:

- Deterioración química, biológica y física de los abastecimientos de agua y balnearios.
- Generación de olores desagradables; además del impacto visual que causa.

- Muerte de peces y de otras formas de vida acuática.
- Eutrofización, provocando la degradación y muerte ocasional de dichos cuerpos de agua.

1.1.2 Clasificación

1.1.2.1 Aguas Domésticas (AD)

Proviene de las diferentes actividades cotidianas del ser humano como: lavado de ropa, limpieza de pisos, aseo diario, preparación de alimentos, etc. Se caracterizan por tener un alto contenido en materia orgánica.

1.1.2.2 Aguas lluvias (ALL)

Generadas por la precipitación pluvial desde las calles, techos, jardines y demás superficies de terrenos. Los primeros flujos son los más contaminados debido al arrastre de basura y materiales que se encuentran acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su fuente: zonas urbanas, rurales y aún dentro de estas zonas se presentan grandes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que exista.

1.1.2.3 Residuos líquidos industriales (RLI)

Su origen proviene de los diferentes procesos industriales. Los tipos de contaminantes están en función del tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso se presentan características diferentes. Los RLI pueden ser ácidos o alcalinos, coloreados, tóxicos y su composición evidencia el tipo de materias primas utilizado dentro de cada proceso industrial.

1.1.2.4 Aguas residuales agrícolas (ARA)

Son las que resultan de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados. (METCALF & EDDY, 1995, p.96)

1.1.2.5 Aguas negras (AN)

Entre las aguas residuales negras tenemos las siguientes:

1.1.2.5.1 Aguas negras frescas (ANF)

Son aquellas que en puntos concretos en donde el agua sea inspeccionada aún contenga oxígeno, ya que por lo general es de origen reciente.

1.1.2.5.2 Aguas negras en proceso de alteración (ANP)

Son aquellas que pueden tener la presencia de poco oxígeno disuelto o no presentar, pero sin que el agua llegue a un proceso de putrefacción.

1.1.2.5.3 Aguas negras Sépticas (ANS)

En estas aguas el oxígeno disuelto se encuentra agotado completamente originándose el proceso de putrefacción en condiciones anaeróbicas.

1.1.2.6 Agua residual hospitalaria (ARH)

Dicha agua contiene mayor fuente de contaminantes emergentes, siendo el resultado de los residuos de laboratorios, excreción de pacientes, actividades de investigación, limpieza, entre otros. En el ARH se encuentra presente antibióticos de baja biodegradabilidad, el 90% de estos compuestos luego de su respectiva administración no son metabolizados pero si excretados por medio de la orina y heces.

1.2 Parámetros utilizados para la caracterización del Agua Residual

Para la caracterización del AR se emplea una serie de indicadores que se encuentran divididos en diferentes categorías, mostrándose a continuación:

1.2.1 Organolépticos

1.2.1.1 Color, Olor y Sabor

Al inicio se caracteriza por tener un color grisáceo, después de ser transportado por las tuberías de alcantarillado y al extenderse en condiciones más próximas a las anaerobias el color del agua residual cambia gradualmente a gris oscuro y finalmente adquiere un color negro.

Tabla 1-1. Color de las aguas residuales

Color	Características del agua
Café claro	Agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga
Gris claro	Agua que ha sufrido algún grado de descomposición.
Gris oscuro o negro	Agua séptica que ha sufrido una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno)

Fuente: COBA, Carolina, 2015

En cuanto al olor desagradable del agua residual se debe a la generación de gases formados en el proceso de descomposición anaerobia. La presencia de olor sulfuro de hidrógeno (huevo podrido) indica una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua residual. Los olores son más fuertes a altas temperaturas.

Tabla 2-1. Olores característicos del agua residual y su origen

NATURALEZA	ORIGEN
Olor balsámico	Flores
Dulzor	Coelosphaerium
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor a medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a Azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂
Olor a pescado	Pescado, mariscos

Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor a fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Por otro lado el sabor está relacionado con el olor y se describe cualitativamente.

1.2.2 Físicos

1.2.2.1 pH

La alteración del pH en el agua residual afecta a la solubilidad de los metales como a la alcalinidad del suelo. Desempeña influencia sobre la toxicidad de ciertos componentes, como metales pesados, hidrógeno sulfurado, amoníaco etc. Originando cambios en la flora y fauna de los cuerpos de agua.

1.2.2.2 Temperatura

Los cambios de temperatura influyen en las actividades biológicas y reacciones químicas, provocando variaciones en el medio, en el desarrollo de la flora y fauna presentes en él, y en la disminución de la concentración de oxígeno disuelto.

1.2.2.3 Sólidos

Es toda la materia que permanece en el agua residual como residuos.

- **Sólidos totales.**- Es la suma de los sólidos disueltos y sólidos suspendidos.
- **Sólidos disueltos.**- Los sólidos disueltos son la suma de aniones o cationes, minerales, sales, y metales disueltos en el agua. Es decir son todos los elementos presentes en el agua.

- **Sólidos Suspendidos.-** Son aquellos sólidos que no se asientan ni se disuelven en el agua, debido a que la densidad de las partículas es menor o igual a la del agua. La fracción de sólidos suspendidos pueden ser retenidos mediante un filtro.
- **Sólidos Sedimentables.-** Es la cantidad de sólidos en suspensión que se sedimentaran por acción de la gravedad en un tiempo establecido. A nivel de laboratorio el ensayo se lo realiza en un recipiente de forma cónica llamada como Imhoff.

1.2.2.4 Turbidez

Es la medida de las propiedades de transmisión de luz en el agua, refiriéndose a que tan clara o turbia pueda estar, si la turbidez es alta indicará que existe abundante cantidad de partículas suspendidas en el AR. Dichas partículas suspendidas bloquearán la luz solar evitando que las plantas acuáticas capten dicha luz, la cual es necesaria para la fotosíntesis; las plantas producirán menos oxígeno bajando los niveles de oxígeno disuelto.

Las partículas suspendidas en el agua absorberán mayor cantidad de luz solar provocando el aumento de temperatura en el AR.

1.2.2.5 Alcalinidad

Es la capacidad del agua para aceptar protones o neutralizar ácidos, ejerce un papel importante en la productividad de cuerpos naturales de agua, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis y respiración celular.

1.2.3 Químicos

1.2.3.1 Metales pesados

Entre ellos se destacan el manganeso, cadmio, plomo, níquel, cobre, zinc, mercurio y hierro procedentes de agua residuales industriales principalmente .Debido a su toxicidad la existencia de cualquiera de estos metales pesados en cantidades excesivas interfiere el uso del agua.

1.2.3.2 Tensioactivos

La presencia de tensioactivos en las aguas residuales proviene de la descarga de lavanderías industriales, detergentes domésticos y otras operaciones de limpieza. Este tipo de contaminante se acumula en la interface aire-agua y pueden causar la aparición de espumas en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Además los tensioactivos originan el consumo de oxígeno disuelto por su componente orgánico incrementando la concentración de fósforo en el agua.

Los alquil benceno sulfonatos (ABS) han sido sustituidos dentro de la composición de los detergentes por alquil sulfonatos lineales (ASL), los cuales son biodegradables. (CRITES, Ron, 2001, p.98)

1.2.3.3 Nitrógeno

El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

El agua residual al presentar descomposición debido a las bacterias se da una transformación del nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal; siendo este un indicativo de la edad del agua residual.

Luego el nitrógeno amoniacal en presencia de oxígeno se transforma en nitritos y este inmediatamente en nitratos, siendo esta la manera más oxidada en las que se encuentra el nitrógeno en el agua. (CRITES, Ron, 2001, p.98)

1.2.3.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se refiere a la cantidad de oxígeno necesario para oxidar completamente la materia orgánica presente en el agua residual a dióxido de carbono, amoníaco y agua. El parámetro de DQO cuantifica tanto la materia orgánica biodegradable como la materia orgánica no biodegradable por esta razón la DQO es mayor que la DBO.

1.2.3.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Se refiere a la cantidad equivalente de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer los componentes orgánicos presentes en el agua residual, el resultado se expresa en mgO_2/L de agua tratada. El DBO determina la concentración de la materia orgánica en 5 días a temperatura de 20°C en oscuridad y con agitación. En aguas residuales domésticas, el valor obtenido en cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia oxidable. (FAIR, Gordon, 1998, p.103)

1.2.3.6 Grasas y Aceites

Las grasas y aceites por su naturaleza hidrofóbica son sustancias escasamente solubles que se separan de la fracción acuosa y flotan formando natas, películas y capas sobre el agua. Al estar presente las grasas y aceites en el agua crean un aspecto desagradable de la misma y disminuye el paso de la luz interfiriendo en la vida acuática y son muy difíciles de atacar biológicamente.

1.3 Microbiología del Agua

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto del suelo, aire, animales, plantas vivas o en descomposición, materia fecal y fuentes minerales.

Las aguas residuales acogen una gran cantidad de virus, bacterias y demás organismos de tamaño microscópico pudiendo ser útiles, perjudiciales o inofensivos para el hombre.

La población útil se encuentra formada por organismos saprofitos cuya función es la estabilización de la materia orgánica que mediante sus enzimas producidas por el metabolismo transforman dicha materia en compuestos orgánicos más sencillos.

La población perjudicial son los organismos patógenos provenientes del tracto intestinal de animales o personas enfermas, estas bacterias son las responsables de fiebre, tifoidea, cólera, etc.

1.3.1 Grupo Coliforme

.El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35°C (o 37°C).

El número de organismos coliformes en los excrementos humanos es muy grande; la secreción diaria por habitante varía entre 125×10^9 y 400×10^9 .

Dentro del grupo coliforme tenemos subgrupos que describimos a continuación:

➤ Escherichia coli

Es el mayor subconjunto del grupo de coliformes fecales, se distinguen en el laboratorio por su capacidad para crecer a elevadas temperaturas 44.5 °C y por la capacidad para producir la enzima glucoronidasa, además es un indicador de la contaminación de fecal.

➤ Coliformes fecales

Son bacilos gram-negativos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44.5 C y también es un indicador de contaminación fecal de aguas pero no se distingue entre contaminación humana o animal.

1.4 Tratamiento de Aguas Residuales

1.4.1 Definición

El tratamiento de las aguas residuales consiste en reducir la contaminación de las mismas para obtener un efluente reutilizable para el ambiente; como resultado del tratamiento se generan residuos sólidos que se conoce como lodos, los mismos que son ricos en nutrientes y se los utiliza como fertilizante para el suelo.

Para llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales se utiliza operaciones y procesos unitarios; entendiéndose como operaciones unitarias a los métodos de tratamiento en los que predominan los

fenómenos físicos; y como procesos unitarios a los métodos en donde la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos. Dentro del tratamiento de aguas residuales tenemos los primarios, secundarios y terciarios o tratamientos avanzados que se explicaran más adelante.

Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas o bien pueden ser recogidas y posteriormente trasladadas mediante un sistema de alcantarillado y bombas a una planta de tratamiento. El trabajo para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas está sujeto a regulaciones y controles de nivel local y estatal. (RAMIREZ, C., 2011, p.34)

1.4.2 Vertederos o Canales de entrada

Los vertederos son estructuras hidráulicas sobre las cuales se realiza descarga sobre una superficie libre. La finalidad de la construcción de vertederos es: mantener un nivel regularmente constante de agua, permitiendo que el flujo se desollare con una lámina líquida de espesor, además sirve para la medición de flujo del agua.

Los canales son conductos por donde circula el agua por gravedad es decir sin ninguna presión debido a que la superficie del líquido está en contacto con la atmósfera.

Existen dos clases de canales:

- **Canales naturales:** Son los que existen de manera natural en la tierra desde un arroyo hasta quebradas, ríos y estuarios de marea. Las propiedades hidráulicas de los canales naturales, requieren un estudio específico del comportamiento del flujo y del transporte de sedimentos.
- **Canales artificiales:** Son aquellos desarrollados o construidos por el hombre. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas para cumplir requisitos determinados.

Dentro de los canales artificiales se encuentran los más comunes, como son:

- Rectangulares

- Trapezoidales
- Triangulares
- Circulares
- Parabólicos

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$2/3 Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 1-1. Tipos de Vertederos

Fuente: <http://www.ingenieriahidráulica.com>, 2015

- Área Transversal (A):** Es el área transversal del fluido normal de acuerdo a la dirección de flujo.
- Perímetro mojado (P):** Es la longitud de la línea que se forma al intersecar el área transversal con la geometría del vertedero con una dirección normal del flujo.
- Radio Hidráulico (R):** Es la relación que existe entre el perímetro mojado y el área trasversal.
- Espejo de agua (T):** Es el ancho de la superficie libre del agua.

La elección del tipo de canales de entrada se da de acuerdo al criterio del diseñador, sin embargo es aconsejable utilizar vertederos de tipo rectangular con la finalidad de ser parte del pre-tratamiento con la colocación del sistema de rejillas. Además el mantenimiento de dicho canal al ser de manera manual será más efectivo.

1.4.3 *Etapas de tratamiento para las aguas residuales*

1.4.3.1 *Pretratamiento*

Es un proceso que sirve para la preparación del agua residual y de esta manera se ayudará a los tratamientos posteriores con la remoción de materiales. El adecuado diseño y mantenimiento en esta etapa es de gran importancia, puesto que cualquier deficiencia repercutirá de manera negativa al resto de las instalaciones originando la obstrucción en bombas, válvulas, tuberías, etc. Además el pretratamiento ayuda a proteger la instalación de erosiones y taponamientos. Entre ellos se encuentran:

1.4.3.1.1 *Cribado o rejillas*

Se utiliza para retener sólidos de gran tamaño mayores a 5mm .Existen rejillas gruesas que se usan para evitar que sólidos grandes dañen bombas y otros equipos mecánicos; rejillas finas que se utilizan en tanques de sedimentación y con las mismas se consigue eliminar de un 5% a 20% de sólidos en suspensión, el problema radica en el atascamiento de residuos sólidos por el uso de tamices finos. (FERRERO, J., 1974, p.76)

1.4.3.1.2 *Desarenadores*

Se utilizan para remover o girar en forma de remolino, con el objetivo que precipite al fondo la grava, arena u otro material existente en el agua residual. En el tanque del desarenador se sedimentan residuos sólidos de hasta 20mm. Los desarenadores pueden ser de forma rectangular o circular, de flujo helicoidal u horizontal, con aireación o no, su limpieza puede ser mecánica o manual.

1.4.3.1.3 Tamizado

Es un pre-tratamiento en la depuración de aguas residuales; el tamizado ayuda a retener sólidos de hasta 0,25mm con tamices de luz de 0,25-2,5mm y es una alternativa a la decantación primaria al ser un elemento de desbaste fino. Los tipos de tamices que podemos encontrar son: tamiz rotativo, tamiz estático y de escalera.

1.4.3.1.4 Desengrasado

En este proceso se da la eliminación de grasa y resto de materiales flotantes que sean más ligeras que el agua residual. Existen dos tipos de desengrasadores: estáticos y aireados.

- Estáticos: El agua residual pasa mediante un depósito en cuyo interior se encuentra un muro, donde el agua es forzada para que la misma salga por la parte inferior del depósito, ocasionando que los componentes que tienen menor densidad que el agua se vayan acumulando en la superficie.
- Aireados: Desengrasadores que se les inyecta aire para desmenuar las grasas, logrando la flotación de las mismas.

1.4.3.2 Tratamiento primario físico-químico

Ayuda a reducir la materia orgánica, materia suspendida y coloides presentes en el agua residual, mediante sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de distintos tipos de oxidación química. Mediante el tratamiento primario se logra una reducción entre el 25 y 40% de DBO y entre el 50 y 65% de los sólidos suspendidos. Entre ellos tenemos:

1.4.3.2.1 Sedimentación o decantación primaria

Se da la eliminación de gran parte de sólidos sedimentables por gravedad. Esta operación separa las partículas más densas que el agua en dos fases. Una fase sólida que está formada de partículas y sólidos suspendidos que por su peso se van depositando en el fondo del sedimentador y se les

conoce con el nombre de lodos que posteriormente son extraídos por medio de colectores mecánicos. Se puede considerar tres tipos de sedimentación:

- **Sedimentación discreta:** Las partículas que se sedimentan mantienen sus propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico).
- **Sedimentación por zonas:** Las partículas se aglomeran de una manera que su permanencia es constante.
- **Sedimentación con floculación:** Consiste en la adición de un floculante el cual ayuda a que las partículas se agrupen formando los llamados flocs que por su peso precipitan en el fondo del tanque y de este modo conseguimos clarificar el agua. Este tipo de sedimentación se lleva a cabo en clarificadores o sedimentadores primarios. (HAMMEKEN, A., & ROMERO, G., 2005, p.75)

1.4.3.2.2 Sedimentación-Digestión

1.4.3.2.2.1 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Es un excelente tratamiento para poblaciones menores a 5000 habitantes, integra la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad por lo que se le conoce también con el nombre de tanque de sedimentación de doble cámara.

El tanque Imhoff tiene una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, pero para su uso correcto es necesario que el agua residual pase por tratamiento preliminar.

El tanque de sedimentación-digestión tiene una forma rectangular y se divide en tres cámaras o áreas:

- Cámara de sedimentación
- Cámara de digestión de lodos

- Área de acumulación de natas y ventilación

Durante la operación el agua residual fluye a través del área de sedimentación donde se remueve la mayor parte de sólidos sedimentables, pasando posteriormente a la cámara de digestión a través de la ranura de traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene el cargo de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto del proceso de digestión de lodos obstaculicen el proceso de sedimentación.

Todas las partículas y gases ascendentes que se dan en la cámara de digestión son conducidos hacia el área de ventilación o natas.

La digestión anaerobia es la estabilización de lodos principalmente para:

- Eliminar o reducir el potencial de putrefacción
- Reducir la presencia de organismos patógenos
- Eliminar la presencia de los desagradables olores

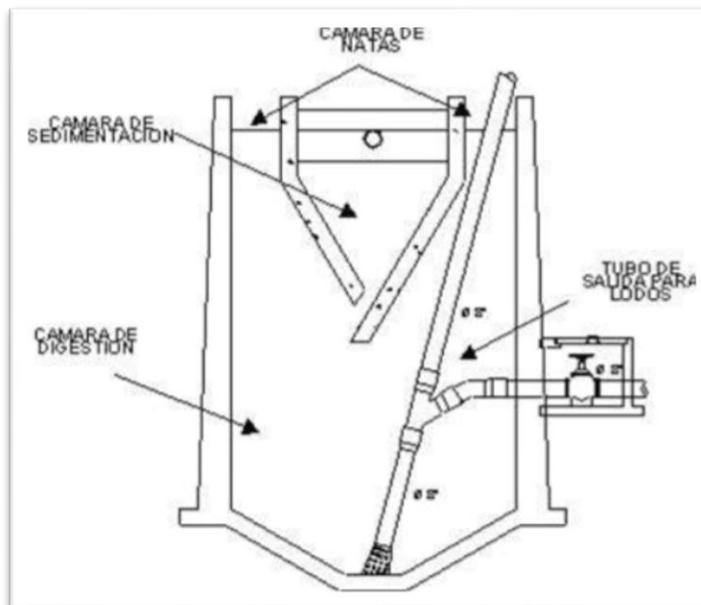


Figura 2-1. Esquema del Tanque Imhoff

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

1.4.3.2.3 Flotación

Es el proceso mediante el cual se logra eliminar los sólidos en suspensión, es decir los que se encuentran flotando debido a su menor densidad con respecto al agua. Por medio de este proceso podemos separar grasas y aceites, hidróxidos metálicos, pigmentos en aguas residuales industriales, materias floculadas, etc.

La flotación puede llevarse a cabo de manera natural o provocada; un ejemplo de flotación natural es la separación de aceites presentes en el agua y cuando hablamos de flotación provocada consiste en aprovechar la actitud que tienen ciertas partículas sólidas o líquidas de unirse a burbujas de gas, normalmente aire, formando conjuntos "partícula-gas" menos densos que el líquido que constituye la fase dispersa.

1.4.3.2.4 Floculación y coagulación

Procesos utilizados para la eliminación de sólidos en suspensión difíciles de ser sedimentados por tener un reducido tamaño.

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales mediante la utilización de productos químicos, y la floculación consiste en la agrupación de las partículas coloidales que fueron desestabilizadas por los coagulantes, formando agregados de mayor tamaño llamados flóculos los cuales son sedimentados por gravedad.

El proceso de coagulación-floculación ayuda en la remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica, remoción del color verdadero y aparente, destrucción de algas eliminación de microorganismos patógenos y eliminación de sustancias productoras de sabor.

1.4.3.3 *Tratamiento secundario o tratamiento biológico.*

El tratamiento secundario o biológico de depuración de aguas residuales utilizan microorganismos para proceder a la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto coloidal y disuelta, y la eliminación de compuestos que conformen elementos nutrientes como el nitrógeno y fósforo.

La materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono necesaria para que los microorganismos fundamentalmente crezcan.

Al hablar de tratamientos biológicos se habla de reducción de costos y suelen utilizarse tras los anteriores tratamientos y ayuda a eliminar la contaminación orgánica disuelta mediante la oxidación anaerobia o aerobia en digestores cerrados.

Los procesos aerobios se basan en la eliminación de los contaminantes orgánicos para la transformación a biomasa bacteriana, agua y CO₂.

Los procesos anaerobios transforman la materia orgánica en biomasa, biogás, CO₂ y mezcla de metano.

Durante este tratamiento se generan fangos en mayor o menor medida los mismos que deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final.

El tratamiento secundario o biológico incluye:

- Filtración Biológica
- Lagunas de estabilización
- Lodos activados
- Humedales

1.4.3.3.1 Filtración biológica

La filtración biológica ayuda a la remoción de materia orgánica, en el cual los microorganismos forman una biopelícula generada por distintas especies que incluyen bacterias heterotróficas y otras formas de vida superior, las cuales usan como fuente de energía la materia orgánica biodegradable, consumiendo el carbono naturalmente presente en el agua.

El agua residual se encuentra en contacto con los microorganismos inmovilizados dentro de una determinada superficie, los microorganismos forman colonias adheridas a distintas superficies (lecho filtrante) quedando atrapados para organizarse y formar una matriz adherente protectora con requerimientos metabólicos.

El lecho filtrante perteneciente a estos filtros tiene una altura de varios metros, sus características más destacadas son la porosidad y el área superficial. La primera es la medida del espacio que tenga disponible el aire y el agua residual para su paso y la ventilación de los gases que se han de producir. Mientras que el área superficial hace referencia a la cantidad de medio que se halla disponible para el crecimiento de la biopelícula.

1.4.3.3.1.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido para el tratamiento de sólidos en suspensión. De los sistemas de tratamiento secundario o biológico el FAFA es el proceso más sencillo de mantener, porque la biomasa permanece como una película microbial adherida, además la entrada del afluente es ascendente constituyendo así un riesgo mínimo de taponamiento.

En el FAFA se da el contacto del agua residual con los microorganismos que van a ser los encargados de la reducción de la carga contaminante, el agua residual alimenta el reactor a través de un falso fondo necesario para lograr una distribución uniforme del flujo. Luego el agua a tratar es pasada a través de una masa de sólidos biológicos suspendidos contenidos en el interior del reactor por un medio filtrante fijo.

Los microorganismos se adhieren a la superficie del medio filtrante a manera de fina película o se pueden agrupar en forma de una masa de lodo granular o floculado dentro de los espacios intersticiales del medio, donde se produce el proceso de degradación anaerobia. Permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente clarificado.

El tiempo de retención hidráulica para los filtros anaeróbicos de flujo ascendente es un factor importante que influye en el rendimiento; tiempos de retención alto beneficia el contacto íntimo tanto del floc granular suspendido como la biopelícula lo que evidencia una mayor producción de microorganismos y mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

En el tratamiento de aguas residuales, la filtración anaeróbica es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, fósforo, DQO, DBO y metales pesados.

El relleno para el soporte de la biomasa de estos filtros puede ser: grava, carbón activado, anillos de plástico, zeolita, bambú, etc., que se colocan al azar. Pero el material más utilizado es grava y carbón activado debido a su facilidad de adquisición y costo, además son materiales de una mayor porosidad, permitiendo de esta manera una mejor distribución de flujo.

➤ **Grava**

Como medio filtrante la grava ayuda a la eliminación de turbidez y de materia disuelta que se adhiere a la superficie de las partículas que van asentándose.

La grava se coloca sobre el sistema de drenaje o sobre el falso fondo ya que sirve de soporte para el otro medio filtrante, el tamaño de las partículas debe ser de tamaño uniforme. Mientras no exista rompimiento de la tubería ubicada en el falso fondo la grava no necesita ser sustituida o removida dentro de la vida útil del sistema de depuración.

➤ **Carbón activado**

El carbón activado es un medio filtrante muy efectivo ya que ayuda a la absorción de compuestos orgánicos, microorganismos patógenos, materiales tóxicos y peligrosos, compuestos orgánicos sintéticos y para la remoción de color, sabor, olor y aspectos desagradables, esto debido a que el carbón activado presenta una alta porosidad y área superficial lo que proporciona la interacción dichos compuestos con el carbón.

El tiempo de vida efectivo del carbón en el filtro depende de las características del agua a tratar y de la eficacia de los procesos anteriores por los que ha pasado el agua. De acuerdo a las especificaciones el éxito de la remoción se da por periodos de 1 a 5 años antes de regenerar el carbón activado.

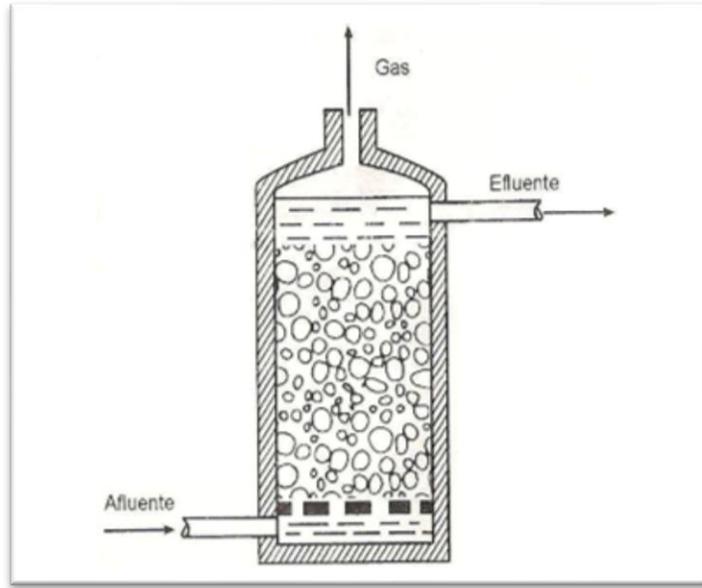


Figura 3-1. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Fuente: <http://www.filtraciónanaerobia.com>, 2015

1.4.3.3.2 Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son estanques capaces de degradar la materia orgánica mediante procesos de autodepuración.

Son capaces de lograr la reducción de DBO_5 , retiro de fósforo y nitrógeno, reducción de compuestos tóxicos y metales pesados, y la destrucción de patógenos.

Las lagunas de estabilización requieren: un tiempo de depuración del agua muy extenso (meses), un área muy grande, además desprende olores haciendo que no puedan ser usadas cerca a comunidades, se necesita de sol y temperaturas para tener un mejor desempeño.

Dentro de las lagunas de estabilización se tiene tres tipos diferentes:

- **Lagunas Aeróbicas:** Son lagunas con una profundidad menor a un metro por lo que necesita mayor extensión de terreno. Son utilizadas como lagunas de maduración o alta carga para la generación de biomasa algal.

Soportan cargas orgánicas bajas, contienen oxígeno disuelto en todo el volumen del líquido en todo instante, contienen una mezcla para prevenir la estratificación.

- **Lagunas Facultativas:** Utilizadas luego de una o dos lagunas anaerobias, se alcanzan remociones del 90% de DBO₅.

Opera con una carga orgánica media, en la parte superior hay proceso aeróbico, mientras que en la parte inferior se da un proceso anaeróbico, produciéndose simultáneamente fermentación metánica y ácida.

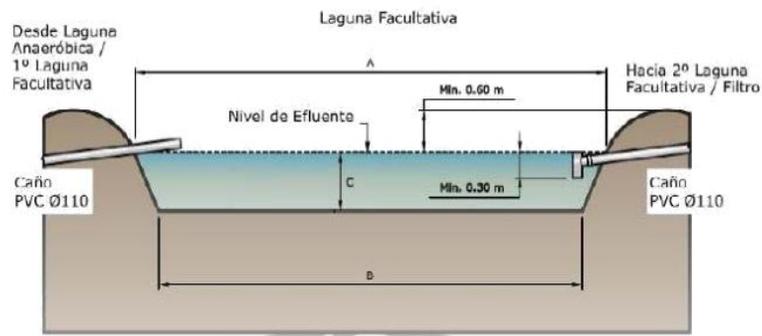


Figura 4-1. Laguna Facultativa

Fuente: <http://www.lagunasestabilización.com>, 2015

- **Lagunas Anaeróbicas**

Empleadas para el tratamiento de aguas residuales industriales por presentar elevada carga orgánica suspendida y soluble. Constituye también una laguna primaria para el tratamiento de aguas clocales. Se logra remociones de materia orgánica del 60%. Trabajan extremadamente bien en climas calientes.

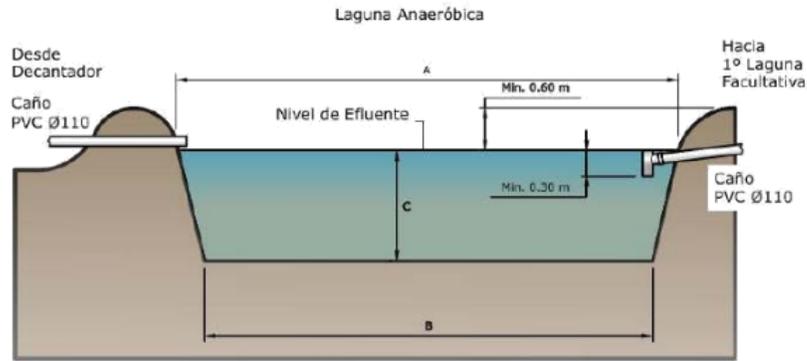


Figura 5-1. Laguna Anaeróbica

Fuente: <http://www.lagunasestabilización.com/>, 2015

1.4.3.3 Lodos Activados

El tratamiento de lodos activados, es el proceso en donde el agua residual y los microorganismos (lodos biológicos) son aireados y mezclados por un reactor. Al formarse flóculos biológicos estos se sedimentan en un tanque de sedimentación, dando una recirculación en el reactor o tanque de aireación.

Los microorganismos son mezclados completamente con la materia orgánica presente en el agua residual sirviendo como sustrato alimenticio. La agitación o mezcla se da por sopladores sumergidos o medios mecánicos superficiales con la función de: introducir oxígeno al medio para que se desarrolle el proceso y para producir una mezcla completa.

Elementos básicos para el proceso de lodos activados:

- **Tanque de sedimentación primario:** La función es sedimentar por gravedad la mayor parte de sólidos suspendidos o arenas del agua residual.
- **Tanque de aireación:** Es el lugar donde los lodos activados que contienen microorganismos son mezclados completamente con la materia orgánica del agua residual de manera que esta le sirve de alimento para su producción. Los lodos son activados por equipo de inyección de oxígeno para activar bacterias heterotróficas.

- **Tanque de sedimentación secundario:** La mezcla que sale del tanque de aireación es conducida hacia un sedimentador secundario, donde los lodos son llevados al fondo por gravedad obteniéndose agua tratada clarificada.
- **Sistema de retorno de lodos:** Una parte de lodos sedimentados son recirculados hacia el tanque de aireación con el objetivo de mantener una alta concentración de microorganismos.
- **Tanque de almacenamiento de lodos:** Para el secado de lodos con la finalidad que ocupe menos volumen y poderse utilizar como abono.



Figura 6-1. Sistema de lodos activados

Fuente: <http://www.lodosactivados.com/>, 2015

Los lodos activados tienen una remoción del 85 y 95% de sólidos suspendidos, 98 y 99% de microorganismos, pero su desventaja es el elevado costo de obra civil, equipamiento, mantenimiento y operación.

1.4.3.3.4 Humedales

Los humedales son áreas de tierra inundada conocidos también como pantanos, no presentan mucha profundidad debido a que las plantas deben llegar hasta la parte inferior y sostenerse del suelo firme. Las plantas de este sitio proveen a la superficie una película de bacterias ayudando a la

transferencia de oxígeno, absorción y filtración de componentes, evitan la penetración de luz y controlan el crecimiento de algas.

Al contar con una abundante vegetación y alto grado de humedad, los humedales alcanzan un elevado potencial de autodepuración. Casi no se generan lodos porque los sólidos son mineralizados, no presentan moscas ni olores, aseguran una intensa actividad microbiana en todas las estaciones del año.

Los humedales tienen un buen rendimiento presentando una remoción de DBO, sólidos suspendidos y nitrógeno del 80%, así como también niveles significativos de patógenos y metales.

Las desventajas del uso de los humedales son: aún se encuentran en estado experimental, se requiere áreas donde se halle disponible plantas nativas, y la remoción de exceso de material vegetativo debe ser constante.

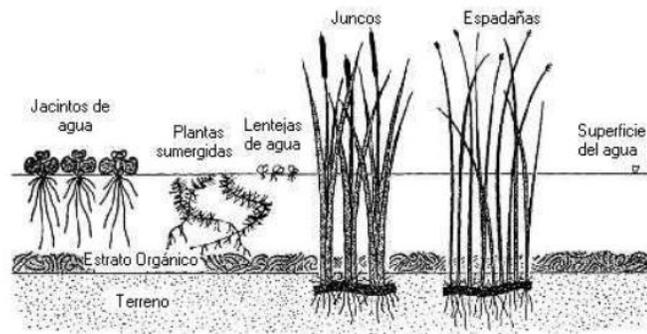


Figura 7-1. Humedales

Fuente: <http://www.plantasacuaticas.com/>, 2015

1.4.3.4 Tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico.

Es utilizado con la finalidad de lograr obtener agua apta la industria, agricultura y consumo humano. Dentro de este tratamiento tenemos: (OSORIO, F., 2010, p.64)

1.4.3.4.1 Eliminación de nutrientes

Consiste en la eliminación de fósforo y nitrógeno mediante el empleo de procesos biológicos; aunque para el fósforo sea necesario el proceso de precipitación química añadiendo sales de aluminio y hierro.

1.4.3.4.2 Desinfección

Consiste en la destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el desinfectante típico en el campo de agua residual, pero los requisitos para lograr bajas o nulas cantidades de cloro residual en el agua tratada requieren la implantación de posteriores procesos de decloración, por lo que se va aplicando nuevos sistemas de desinfección como la radiación UV, el empleo de ozono y de membranas. (ROJAS, J., 2002, p.59)

1.5 Población

Es el número de personas que habitan en una zona determinada en un momento particular, dependiendo si viven en el área urbana o rural. Dicho dato y sus características se obtienen mediante censos.

El conocimiento de la población implica en la planificación y decisión que se pueden tomar para dicho lugar en cuanto a política, economía, salud, educación, vivienda y conservación del ambiente.

1.5.1 Población actual

Es el número de habitantes que en el presente viven en un lugar.

1.5.2 Población futura o final

Número de habitantes que en un determinado periodo de año existirán en una zona, haciendo relación con la población actual y el índice de crecimiento anual obtenidos a través de datos estadísticos o censos.

1.5.3 *Índice de crecimiento anual*

Es la medida del aumento o disminución promedio de la población, esto haciéndose referencia a el número de nacimientos o defunciones de los habitantes de un lugar en el periodo de en un año.

1.6 **Caudal**

Se define como el volumen de agua transportado en una tubería por unidad de tiempo y es de los parámetros de importancia para el diseño de planta de tratamiento de agua, junto con las características físicas químicas y microbiológicas del agua residual. Es directamente proporcional al consumo de agua por parte de la población.

1.7 **Muestreo**

La parte más importante del trabajo de investigación es el muestreo, el mismo que consiste en tomar un pequeño volumen que representa el total de agua que ingresa o sale de la planta de tratamiento. La muestra debe ser representativa, es decir debe reunir todas las características físicas, químicas y microbiológicas que realmente posee el agua para de esta forma conocer el grado de contaminación del agua residual.

1.7.1 *Tipos de Muestra*

Para conocer la calidad del agua es necesario realizar análisis para la determinación de parámetros como: concentraciones de químicos, minerales, material orgánico e inorgánico, materia en suspensión y gases disueltos en el agua en un tiempo y lugar específico.

- **Muestras Puntuales:** son muestras individuales recogidas en un intervalo de tiempo y son aplicables cuando se presentan caudales constantes; así como también cuando no existe variación en la carga contaminante.
- **Muestras periódicas:** Muestras tomadas a intervalos de tiempos fijos, se puede utilizar un mecanismo cronometrado. El volumen a ser recolectado depende del flujo.

- **Muestras continuas:** Tomadas a flujos fijos, no proporciona información sobre la variación de la concentración de parámetros específicos durante el periodo de muestreo.
- **Muestras en serie:** Es una serie de muestras tomadas a una profundidad específica del cuerpo de agua en varios puntos.
- **Muestras compuestas:** Se toman continuamente muestras que luego son reunidas para obtener una sola muestra. Antes de mezclar se debe tener en cuenta que los parámetros no varíen significativamente durante el periodo de muestreo.
- **Muestras de grandes volúmenes:** Estas muestras son necesarias cuando se analizan pesticidas o microorganismos que no pueden ser cultivados. Las muestras se realiza de manera convencional, tomando precauciones para asegurar la limpieza total del recipiente o del contenedor de muestra.

1.8 Rediseño

El rediseño toma en consideración los procesos actuales, los mismos que fueron evaluados para conocer las falencias que presentan actualmente y en base a ello y a las características determinadas en el laboratorio proceder al rediseño y para ello se debe regresar a diseñar con la finalidad de nivelar las diferencias que traigan resultados no deseados.

1.8.1 *Determinación de la población futura para rediseño.*

Para empezar el rediseño de una planta de tratamiento de agua residual, proyectaremos hacia una población futura, con la siguiente fórmula:

$$Pf = Pa (1 + n)^r \qquad \text{Ecuación 1-1}$$

1.8.2 *Determinación de Caudales*

Para calcular el agua consumida por cada habitante en el día se utiliza la expresión:

$$D_c = \frac{Q_{promc}}{Pa} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

- **Caudal servido ($Q_{servido}$).**- Se calcula al multiplicar la población futura (P) por el consumo previsto (D_c) usando la expresión:

$$Q_{servido} = Pf \times D_c \quad \text{Ecuación 3-1}$$

- **Caudal de diseño (Q_d).**- Se calcula mediante el caudal servido y multiplicando por un coeficiente " K_1 " como se indica:

$$Q_d = K_1 \times Q_{servido} \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Tabla 3-1. Coeficiente mínimo diario K_1

Nivel de Complejidad	Coeficiente de consumo mínimo diario K_1
Bajo	0,80
Medio	0,80
Medio Alto	0,70
Alto	0,70

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

1.8.3 *Sistemas de Tratamiento*

1.8.3.1 *Pre-tratamiento*

- **Canal de Entrada**

Tabla 4-1. Parámetros de diseño para el canal de entrada

Parámetro	Unidades	Simbología	Valor Asumido
Velocidad de aproximación del agua	m/s	v	0,45-0,60
Ancho del canal	m	w	0,30-0,50
Longitud del canal	m	l	2,5

Altura de seguridad	m	h_s	0,35
----------------------------	---	-------	------

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Para calcular el área transversal del canal, donde se ubicará la reja se utiliza:

$$AT = \frac{Qd}{v} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

La altura del agua en el canal se calcula con el valor del área transversal:

$$h = \frac{AT}{w} \quad \text{Ecuación 6-1}$$

Para calcular la altura total del canal, se suma a la altura del agua una altura de seguridad.

$$H = h + h_s \quad \text{Ecuación 7-1}$$

➤ Cribado o rejillas

Para diseñar las rejillas, debemos relacionar la velocidad media del agua residual con la abertura de las rejillas sugeridas:

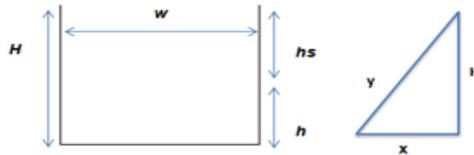


Figura 8-1. Canal de entrada y rejillas

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Para el cálculo de la longitud de las rejillas (barras), tomando un ángulo de 45° se utiliza la siguiente fórmula:

$$y = \frac{H}{\text{sen } 45} \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Tomando como referencia la figura 2, se realiza el cálculo de x:

$$x = \cos 45 * H$$

Ecuación 9-1

En la siguiente tabla se detalla las especificaciones que las rejillas deben poseer para retener las materias suspendidas.

Tabla 5-1. Limpieza manual y mecánica de rejillas

CARACTERÍSTICAS	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Tamaño de la barra		
Anchura, mm	5 – 15	5 – 15
Profundidad, mm	25 – 37,5	25 – 37,5
Separación entre barras, mm	25 – 50	15 – 75
Pendiente en relación a la vertical, grados	25 – 50	50 – 82,5
Pérdida de carga admisible, m/m	150	150

Fuente: Metcalf & Eddy, 2005, p.75

El número de rejillas se calcula mediante:

$$N = \frac{w}{e + s}$$

Ecuación 10-1

Tabla 6-1. Coeficientes de pérdidas de carga según el tipo de varilla

Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

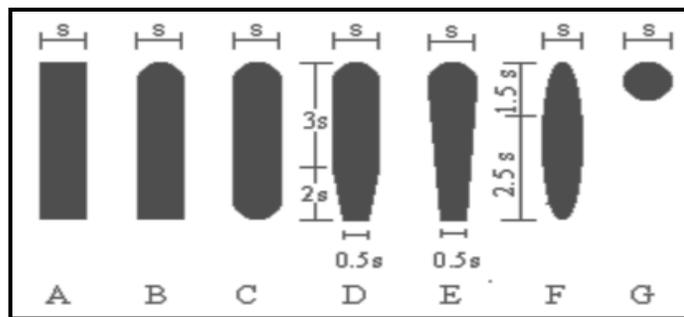


Figura 9-1. Formas comunes de varillas

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

No hay que descartar pérdidas de carga, las mismas que aumentan cuando las rejillas se saturan con los residuos o basuras retenidos, en general en sistemas de limpieza manual las pérdidas no deben ser mayores a 15cm, lo cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Hf = \beta \left(\frac{e}{s}\right)^{1/4} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } 45$$

Ecuación 11-1

1.8.3.2 Tratamiento Primario

1.8.3.2.1 Tanque Imhoff

Para su diseño asumimos valores estándar que nos permitan dimensionarla.

Tabla 7-1. Parámetros de diseño para un tanque imhoff

Parámetro	Simbología	Unidad	Intervalo
Carga Superficial	C _s	m ³ /m ² día	12 – 50
Ancho de la cámara de sedimentación	B	M	-
Tiempo de retención hidráulica	Trh	H	1 – 4
Dotación de lodos	D lodos	m ³ /hab	0,070
Ancho de zona de ventilación de gases	A	M	0,40 – 1
Altura de zona de transición	E	M	≥ 0,45
Borde Libre	Bl	M	≥ 0,30

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

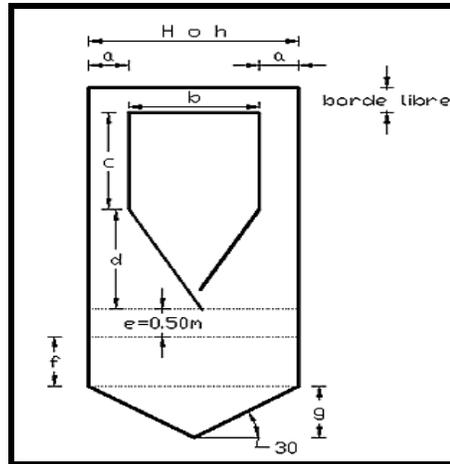


Figura 10-1. Esquema del dimensionamiento de un tanque imhoff

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Calculamos el área superficial de la cámara de sedimentación.

$$A_s = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación 12-1}$$

Cálculo del volumen de la cámara de sedimentación

$$V = Qd Tr \quad \text{Ecuación 13-1}$$

Nos basaremos en la siguiente ecuación para ser reemplazada y obtener la altura de la cámara de sedimentación, tomando en consideración que dicha cámara será de forma rectangular.

$$V = l a h \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Despejando la ecuación de área para una forma rectangular, que es este caso la cámara de sedimentación para el tanque de sedimentación Imhoff tendrá dicha forma:

$$A = a * l \quad \text{Ecuación 15-1}$$

$$l = A * a \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Reemplazando la ecuación 15-1 en la ecuación 13-1 obtendremos el valor para la altura de la cámara de sedimentación (h).

Para la obtención del ancho de la cámara (a) de sedimentación hacemos uso del valor de la altura de la cámara, y reemplazamos la ecuación 15-1 en la ecuación 13-1.

Cálculo de la altura del fondo de la cámara de sedimentación ($h_{cón}$):

$$h_{cón} = \frac{\tan \alpha a}{2} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

La altura total de la cámara de sedimentación será la suma de altura de la cámara de sedimentación con la altura del fondo cónico.

$$H_{tsed} = h_{sed} + h_{cón} \quad \text{Ecuación 18-1}$$

El ancho total de la cámara de sedimentación se obtendrá de la siguiente manera:

$$a_T = a + 2a_z \quad \text{Ecuación 19-1}$$

Cálculo del volumen del digestor:

$$Vd = pob * D \text{ lodos} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

Cálculo de la altura de la cámara del digestor (f) y altura de la zona de acumulación de lodos (g):

$$f = \frac{Vd - \frac{a_T * l}{12}}{l * a_T} \quad \text{Ecuación 21-1}$$

La altura de depósito de lodos (g) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$g = \frac{a_T}{2} \text{tg } 30 \quad \text{Ecuación 22-1}$$

Sumamos todas las alturas y obtenemos la altura total del tanque:

$$Ht = h_{Tsed} + e + f + g + bl \quad \text{Ecuación 23-1}$$

1.8.3.2.2 Eras de secado

Su función consiste en secar y deshidratar los lodos provenientes extraídos del tanque Imhoff, para su diseño asumimos valores estándar que nos permitan dimensionarlo.

Tabla 8-1. Parámetros de diseño para lechos de secado

Parámetro	Simbología	Unidad	Intervalo
Contribución de sólidos	C	g SS/hab*día	70
Porcentaje de sólidos en el lodo	% de lodos	%	10 – 15
Densidad del lodo	ρ lodo	kg/L	1.2 – 1.3
Tiempo de retención	Tr	Días	30 – 90
Altura del lodo	Ha	M	-
Ancho de era	B	M	-

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000

Cálculo de la cantidad de Sólidos Suspendidos

$$C = \frac{pob * cont * 1kg}{1000g} \quad \text{Ecuación 24-1}$$

Dónde:

C = Contribución de sólidos (KgSS/día)

pob = población servida (hab)

cont = Contribución per-cápita (gSS/hab*día)

Determinación de la masa de sólidos suspendidos.

$$Msd = (0.50 * 0.50 * 0.70 * C) + (0.50 * 0.30 * C) \quad \text{Ecuación 25-1}$$

Dónde:

Msd = masa de sólidos suspendidos (KgSS/día)

C = Contribución de sólidos (KgSS/día)

Una vez determinado, usamos este valor para calcular el volumen diario de lodos digeridos.

$$Vld = \frac{Msd}{\rho * (\%sólidos/100)} \quad \text{Ecuación 26-1}$$

Usando el tiempo de retención asumido, calculamos el volumen de lodos a extraerse desde la Cámara de Digestión.

$$Vel = \frac{Vld * Tr}{1000 \text{ l/m}^3} \quad \text{Ecuación 27-1}$$

Dónde:

Vel = Volumen de lodos a extraerse desde la cámara de digestión (m³)

Vld = Volumen diario de lodos digeridos (L/día)

Tr = Tiempo de retención (días)

Asumimos una altura y calculamos el área del Lecho de Secado

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad \text{Ecuación 28-1}$$

Dónde:

Als = Área del lecho de secado (m²)

Vel = Volumen de lodos a extraerse desde la cámara de digestión (m³)

Ha = Altura del lodo (m)

De acuerdo al diseño, calculamos un área de lechos unitaria, dividiendo el valor obtenido para 2 unidades. Teniendo el área unitaria, calculamos las dimensiones.

$$L = \frac{Als_u}{w} \quad \text{Ecuación 29-1}$$

Dónde:

L = Longitud del secador (m)

Als_u = Área unitaria del lecho de secado (m²)

w= Ancho asumido (m)

Diseñamos un falso fondo para drenar el agua de los lodos.

$$x = tg 20 * \frac{w}{2} \quad \text{Ecuación 30-1}$$

Dónde:

x = Altura del falso fondo (m)

w = Ancho del lecho de secado (m) (METCALF & EDDY, 2005)

1.8.3.3 Tratamiento Secundario

1.8.3.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Tabla 9-1. Parámetros de diseño para el FAFA

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor Asumido
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	120
Factor de seguridad	Fs	M	0,10
Fondo falso		M	0,20

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Para realizar el diseño de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente se utilizarán los siguientes cálculos:

El cálculo del radio del filtro cilíndrico se obtendrá al despejar la ecuación utilizada para el cálculo del volumen:

$$V = \pi * h * r^2 \quad \text{Ecuación 31-1}$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{h\pi}} \quad \text{Ecuación 32-1}$$

El tiempo de retención hidráulica se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Trh = \frac{V}{Q_d} \quad \text{Ecuación 33-1}$$

1.9 MARCO LEGAL

1.9.1 Constitución Política del Ecuador

Válido desde la aprobación dada por el referéndum en el año 2008, incorpora una lista de artículos determinados para el control, protección y cuidado del ambiente como derechos de la “Pacha Mama” Tierra Madre. En el artículo 14, Capítulo 2, Derechos para el Buen Vivir, Sección Segunda, Ambiente Sano, se admite el derecho de la población a vivir en un ambiente ecológicamente sano y equilibrado, que asegure el amparo del Buen Vivir, Sumak Kawsay.

1.9.2 *Ley de Gestión Ambiental*

Publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 418, de 10 de septiembre de 2004.

Constituye las directrices y principios de política ambiental; determinando las responsabilidades y obligaciones, niveles de participación del sector privado y público en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, sanciones y controles en esta materia.(MAE).

1.9.3 *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*

Para la descarga de la calidad de efluentes hacia un cuerpo de agua dulce se aplica la siguiente normativa del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 12.

Tabla 10-1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Expresado como:	Unidad.	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil Mercurio		mg/L	No detectable
Aldehídos		mg/L	2,0
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN-	mg/L	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl-	mg/L	1 000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml	mg/L	Remoción > al 99,9 %

Color real	Color real	mg/L	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/L	0,5
Demanda química de oxígeno	D.Q.O	mg/L	250
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	D.B.O	mg/L	100
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo Total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/L	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrógeno	Ph	mg/L	5-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos sedimentables		mg/L	1,0
Sólidos Suspendidos		mg/L	100
Sólidos Totales		mg/L	1600
Sulfatos	SO4=		1000
Sulfitos	SO3		2,0
Sulfuros	S	mg/L	0,5

Tensoactivos	sustancias activas al azul de metilo	mg/L	0,5
Temperatura	°C	mg/L	< 35
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0
Vanadio		mg/L	5,0
Zinc	Zn	mg/L	5,0

Fuente: <http://www.ambiente.gob.ec/>, 2015

CAPITULO II

2 REDISEÑO EXPERIMENTAL

2.1 Lugar de Estudio

El rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizará en la parroquia La Matriz específicamente en el sector Huasimpamba Bajo-La Paz, del cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua.



Figura 1-2. Localización de la PTAR Huasimpamba-La Paz

Fuente: COBA, Carolina, 2015

2.2 Estado Actual de la Planta

La comunidad Huasimpamba-La Paz cuenta con la PTAR, ubicada a 10 minutos del centro cantonal, según el sistema de coordenadas UTM WGS84 se encuentra ubicada en la zona 774652 (X) y 9851237 (Y), (Ver Anexo 1), fue construida alrededor del año 1985 por el entonces Consejo Provincial de Tungurahua y se encuentra en funcionamiento desde entonces sin cambios en su infraestructura y sin un definido plan de mantenimiento, por lo que esta planta no ha logrado cumplir con el objetivo de mejorar la calidad del agua descargada hacia la acequia S/N contribuyendo así al deterioro del cuerpo receptor.

La PTAR opera de una manera relativamente sencilla, el agua llega por gravedad a través de una línea de alcantarillado sanitario hacia un pozo de revisión que se encuentra fuera de la planta, seguido del canal de entrada y de un sistema de rejillas (gruesas) que permite atrapar cierta cantidad de sólidos; a través de una tubería de PVC el agua residual es conducida al interior de la planta, en donde su tratamiento primario es un tanque séptico de dos compartimentos, el cual cuenta con dos tanques para el secado de lodos, posteriormente el agua es transportada hacia un filtro aerobio, siendo este la última etapa de depuración. Una vez terminado el tratamiento el agua es descargada a una acequia para la utilización en la agricultura y crianza de animales, la cual se encuentra con la presencia de mosquitos y malos olores.

La planta de tratamiento se encuentra delimitada por un cerramiento que a pesar de los años se encuentra en muy buenas condiciones, en su interior se encuentra gran cantidad de malas hierbas.

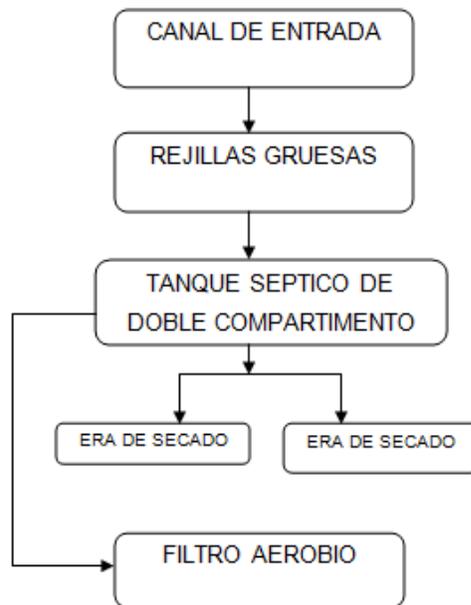


Figura 2-2. Estado actual de la PTAR Huasimpamba-La Paz

Fuente: COBA, Carolina, 2015

2.2.1. *Procesos Existentes*

La planta de tratamiento posee un sistema compuesto de elementos tales como:

➤ **Canal de Entrada**

A la planta llega un promedio de 0,25L/s de agua residual proveniente de una parte de la comunidad de Huasimpamba Bajo y La Paz, esta llega a través de una línea de alcantarillado sanitario hasta un pozo de revisión y después de 20,95 m de tubería de hormigón de 200 mm de diámetro, empieza el canal de entrada con un ancho de 1,20 m y con una longitud de 2,10 m.

El separador de sólidos gruesos que son las rejillas, se constituye de 9 varillas de hierro con un espesor de 0,012 m y una separación entre sí de 0,077 m. Después de 10cm de las rejillas el agua ingresa a una tubería de PVC con un diámetro de 200mm, para trasladar el agua hacia el interior de la planta al tratamiento primario.

➤ **Tanque séptico de dos compartimentos**

De forma rectangular con las siguientes medidas: 7,75, 5,95 y 2,5 m (ancho, longitud, altura), dicho tanque consta de dos salidas para los lodos, las cuales cuentan con válvulas para controlar el paso, siendo transportados por una tubería de hierro dúctil con un diámetro de 160mm. Los tanques para el secado de lodos miden: 3,5m de ancho; 3,5m de longitud y 1,05m de profundidad.

A través de dos tuberías de PVC con un diámetro de 200 mm, el agua residual es transportada hacia el siguiente proceso.

➤ **Filtro Aerobio de Flujo Ascendente**

Tiene una forma cilíndrica con una altura de 2m y un diámetro de 5,30 m; este es el último proceso de la planta en donde el agua tratada sale a través de una tubería de PVC de 200 mm de diámetro hacia un segundo pozo de revisión, y mediante una tubería de hormigón de 200mm es conducida al cuerpo receptor que es la acequia S/N.

2.3. Medición de caudales

La medición de caudal se realizó in situ a las aguas residuales que llegan hacia la planta de tratamiento Huasimpamba-La Paz cuyo origen es de tipo doméstico.

Los datos fueron tomados un día domingo que por lo general es el día que los habitantes que descargan las aguas residuales a la planta pasan en el hogar, puesto que entre semana la población sale a sus labores de trabajo al centro del cantón San Pedro de Pelileo, existiendo una notable variación de caudal.

Los caudales fueron tomados todo un día a intervalos de una hora, obteniéndose los siguientes resultados:

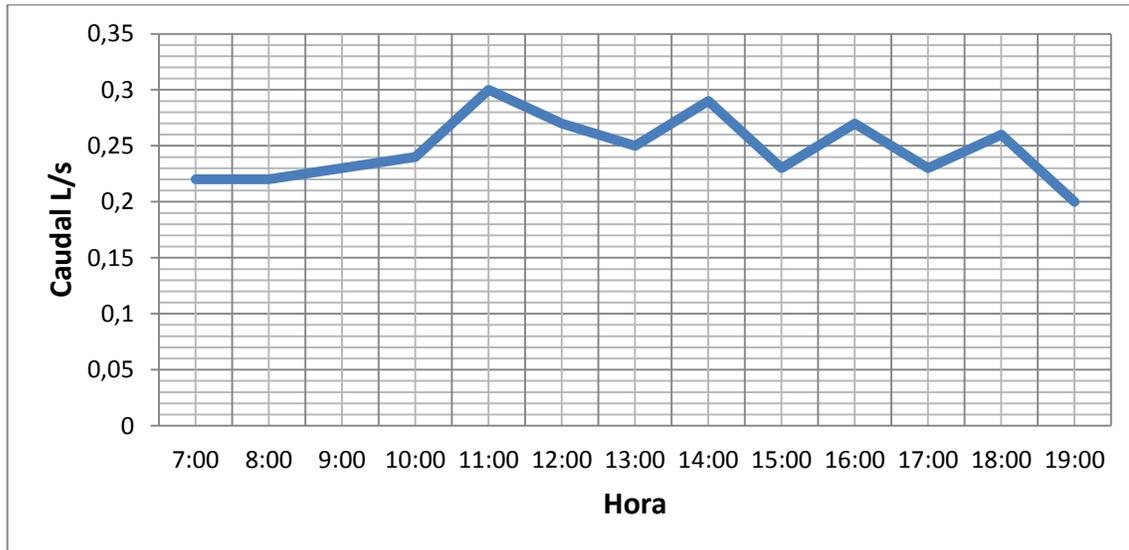
Tabla 1-2. Variación de caudal por día

Hora	Caudal (L/s)
7:00	0,22
8:00	0,22
9:00	0,23
10:00	0,24
11:00	0,3
12:00	0,27
13:00	0,25
14:00	0,29
15:00	0,23
16:00	0,27
17:00	0,23
18:00	0,26
19:00	0,20
Promedio	0,25

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Con los datos que se recolectaron, se procedió a realizar un hidrograma de caudales diario, en donde se puede apreciar de mejor manera cual es la variación del flujo de las aguas residuales que ingresan a la PTAR Huasimpamba-La Paz. El caudal promedio obtenido mediante la medición del caudal (in situ) será la base para la determinación del caudal que será utilizado para el rediseño.

Gráfico 1-2. Hidrograma de caudales diario (04/01/2015)



Fuente: COBA, Carolina ,2015

2.4. Muestreo

Para la realización del muestreo fue necesario identificar el tipo de muestreo a realizar en base a la observación de las características visuales del agua residual durante la medición del caudal; el mismo fue de tipo compuesto debido a que la carga contaminante del agua no es uniforme a lo largo del día; es decir existen ocasiones en las que el agua sale muy contaminada y otras en las que el agua es menos contaminada.

La toma de muestras se realizó en forma sistemática por cinco días; de estas las muestras tomadas los tres primeros días fueron utilizadas para la caracterización del agua residual, recolectando muestras a la entrada de la planta de tratamiento (antes de las rejillas) y de igual manera se tomó muestras a la salida de la actual planta de tratamiento Huasimpamba-La Paz

Las siguientes dos muestras que corresponden a los días 4 y 5 fueron destinadas para la realización del rediseño de la planta, por lo que la muestra fue tomada sólo al ingreso a la planta de tratamiento.

Tabla 2-2. Recolección de muestras

Lugar de muestreo	Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz	7:00 am	x	x	x	x	x
Salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz		x	x	x		
Entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz	1:00 pm	x	x	x	x	x
Salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz		x	x	x		
Entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz	7:00 pm	x	x	x	x	x
Salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huasimpamba-La Paz		x	x	x		

Fuente: COBA, Carolina, 2015

2.5 Métodos y Técnicas

2.5.1 Métodos

Para el desarrollo de este proyecto se considera tres tipos de métodos: inductivo, deductivo y experimental, lo cual facilitará el estudio y desarrollo de un sistema de tratamiento para aguas residuales.

2.5.1.1 Inductivo

Para este estudio se tomó como referencia el caudal medido mediante el método volumétrico, lo que me permitió conocer la cantidad de agua residual que ingresa a la PTAR Huasimpamba-La Paz. Procediendo luego a la recolección de muestras en frascos de plástico estériles para sus posteriores caracterizaciones desarrolladas en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Los resultados obtenidos fueron tabulados y comparados con un análisis realizado anteriormente por el GAD Municipal del cantón San Pedro de Pelileo.

2.5.1.2 Deductivo

Para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se tomó en cuenta los efectos que produce la contaminación al ambiente y sectores cercanos a la planta, cuyas descargas se realizan de manera directa. Para dar solución a este problema se incluyó el pre-tratamiento y tratamientos: primario y secundario los mismos que fueron seleccionados de acuerdo a las características que presenta dicha agua, con el objetivo de asegurar que los parámetros establecidos por el TULSMA se encuentren dentro del límite permisible, y de esta manera el efluente pueda ser utilizado en la agricultura y crianza de animales.

2.5.1.3 Experimental

Los métodos experimentales que se realizaron a las muestras recogidas de la PTAR Huasimpamba-La Paz fueron físicos-químicos y microbiológicos, de esta manera se pudo conocer los tiempos exactos de retención tanto en el sedimentador (tanque imhoff) y en el filtro anaerobio.

2.5.2 Técnicas

Las técnicas utilizadas se basan en los Métodos HACH y en el manual “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales). La descripción de todas las técnicas utilizadas para el estudio de los parámetros del agua de la PTAR Huasimpamba-La Paz se encuentra a continuación:

2.5.2.1 *Medición del Ph*

- Calibrar el equipo (Ph-METRO)
- Colocar en un vaso una muestra del agua residual perfectamente homogenizada
- Sumergir los electrodos en la muestra, esperar hasta que la lectura se estabilice.
- Anotar el valor que muestra en la pantalla
- Enjuagar los electrodos con agua destilada.

2.5.2.2 *Determinación de la turbiedad*

- Encender el equipo (turbidímetro)
- Colocar una muestra de agua residual en el frasco previamente enjuagado con agua destilada hasta donde señala la marca.
- Introducir la muestra en la celda del turbidímetro y tapar.
- Leer el valor que indica en la pantalla.

2.5.2.3 *Determinación de sólidos sedimentables*

- Colocar en el cono Imhoff 1 litro de muestra previamente homogenizada.
- Dejar reposar la muestra.
- Remover suavemente las paredes del cono con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos.

- Después de un determinado tiempo de sedimentación registrar el volumen de sólidos sedimentables.

2.5.2.4 *Determinación de DQO*

- Tomar 2ml de muestra y colocar en un vial de solución digestiva para DQO.
- Sujetar el vial por la tapa y voltear varias veces para mezclar, el vial de la muestra se calienta mucho durante la muestra.
- Digestar la muestra durante 2h.
- Esperar que se enfríe y proceder a la medición.
- Para la medición seleccionar en la pantalla del equipo HACH programas almacenados
- Seleccionar el test de DQO 435.
- Limpiar bien el exterior del vial y colocar el tubo en el soporte HACH DR y cerrar la tapa protectora.
- Leer el resultado que aparece en la pantalla.

2.5.2.5 *Determinación de DBO5*

- Colocar 100ml de muestra en los frascos empleados para este método.
- Añadir 3ml de solución rica en nutrientes.
- Tapar el frasco con un corcho y colocar en el mismo una pepita de KOH, el mismo que se encarga de absorber otros gases con la finalidad que el único gas que sea leído y traducido como DBO sea el CO₂.

- Tapar y colocar la muestra en el gasométrico.
- Ir leyendo los datos cada día, para al final obtener el valor promedio.

2.5.2.6 *Determinación de sulfuros*

- Tomar 25ml de muestra y añadir 0,5ml de la solución patrón de yodo, esta mezcla tomará un color amarillo.
- Titular con tiosulfato de sodio 0,025N hasta un amarillo pálido.
- Añadir la solución de almidón y seguir titulando con Tiosulfato hasta un color transparente y anotar el volumen total.

2.6 Resultados obtenidos en la caracterización del Agua Residual

Una vez efectuada la caracterización se obtuvieron los resultados de los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos del AR, los mismos que se muestran a continuación y están registrados en diferentes tablas a fin de realizar una comparación con el análisis realizado anteriormente por el GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo.

Como es de notarse en la tabla 13-2 y 15-2 existen parámetros que solo se caracterizaron una vez debido al elevado costo que representan realizar el análisis en el laboratorio.

Tabla 3-2. Caracterización físico- química y bacteriológica del agua residual a la entrada de la actual PTAR Huasimpamba-La Paz

PARÁMETRO	UNIDAD	ENTRADA				ENTRADA-REDISEÑO	
		05/01/2015	07/01/2015	09/01/2015	PROMEDIO	26/01/2015	28/01/2015
Ph	.....	6,21	6,37	6,30	6,29	7,8	6,8
Conductividad	Ms	1127	1042	1289	1152,7	1176	1112
Temperatura	°C	16.3	17.1	17.8	17,07	17.5	16.9
Turbiedad	NTU	154	73	130	119	203	240
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	525	258	511	431,33	525	584
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	151	124	159	144,67	173	219
Grasas y Aceites	mg/L	9,3				5,8	6,9
Nitrógeno Total	mg/L	89,75				73,65	75,01
Sulfatos	mg/L	48				<50	<50
Sólidos Suspendidos	mg/L	<50				60	<50
Tensoactivos	mg/L	1,04				5,06	4,86
Coliformes Fecales	UFC/100ml	524x10 ⁴				467x10 ⁴	420x10 ⁴
Sulfuros	mg/L	60	74	60	64,67	59	60

Fuente: COBA, Carolina ,2015

Tabla 4-2. Valores críticos a la entrada de la PTAR Huasimpamba-La Paz

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR CRÍTICO
Ph	.....	7,8
Conductividad	μS	1289
Temperatura	°C	17,8
Turbiedad	NTU	240
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	584
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	173
Grasas y Aceites	mg/L	9,3
Nitrógeno Total	mg/L	89,75
Sulfatos	mg/L	<50
Sólidos Suspendidos	mg/L	74
Tensoactivos	mg/L	5,06
Coliformes Fecales	UFC/100mL	524x10 ⁴
Sulfuros	mg/L	74

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Tabla 5-2. Caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual a la salida de la actual PTAR Huasimpamba-La Paz

PARÁMETRO	UNIDAD	SALIDA			
		05/01/2015	07/01/2015	09/01/2015	PROMEDIO
Ph	.....	6,23	6,39	6,29	6,30
Conductividad	µS	1153	1298	1327	1259,33
Temperatura	°C	16,3	16,9	18,3	17,17
Turbiedad	NTU	117	135	157	136,33
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	440	419	468	442,33
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	173	189	181	181
Grasas y Aceites	mg/L	6,2			
Nitrógeno Total	mg/L	69,5			
Sulfatos	mg/L	60			
Sólidos Suspendidos	mg/L	<50			
Tensoactivos	mg/L	0,88			
Coliformes Fecales	UFC/100ml	578x10 ⁴			
Sulfuros	mg/L	69,2	68	72	69,73

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Tabla 6-2. Parámetros fuera del límite máximo permisible del TULSMA a la salida de la actual PTAR Huasimpamba-La Paz

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR CRÍTICO	LÍMITE PERMISIBLE TULSMA (Tabla 12)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	468	250
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	189	100
Grasas y Aceites	mg/L	6,2	0,3
Nitrógeno Total	mg/L	69,5	15
Tensoactivos	mg/L	0,88	0,5
Coliformes Fecales	UFC/100mL	578×10^4	Remoción > al 99,9%
Sulfuros	mg/L	72	0,5

Fuente: COBA, Carolina, 2015

2.7 Pruebas de Tratabilidad

En base a los resultados obtenidos en la caracterización se procedió a realizar ensayos que nos permitieron reducir la carga orgánica y microbiológica presente en el agua residual; los mismos fueron realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y dentro de ellos tenemos procesos físicos y biológicos como: separación de sólidos, sedimentación y filtración biológica. Durante los ensayos no se simuló el test de jarras debido a que este proceso es un proceso químico y no es aplicable para aguas residuales domésticas sino más bien para aguas residuales industriales.

2.7.1 Simulación de la planta piloto en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias-ESPOCH

Tabla 7-2. Parámetros a la entrada (agua residual cruda)

ENTRADA DEL AGUA RESIDUAL		
		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	240
DQO	mg/L	584
DBO ₅	mg/L	219
Sulfuros	mg/L	60

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Tabla 8-2. Parámetros a la salida del pre-tratamiento (sistemas de rejillas)

PRE-TRAMIENTO: Rejillas gruesas y finas



PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	191
DQO	mg/L	309
DBO ₅	mg/L	197
Sulfuros	mg/L	44

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Tabla 9-2. Parámetros después del tratamiento primario (tanque imhoff)

TRAMIENTO PRIMARIO: Tanque de Sedimentación Imhoff



PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	66
DQO	mg/L	163
DBO ₅	mg/L	118
Sulfuros	mg/L	7

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Tabla 10-2. Parámetros después del filtro biológico (FAFA)

TRAMIENTO SECUNDARIO: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente



PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Turbiedad	NTU	11
DQO	mg/L	78
DBO ₅	mg/L	21
Sulfuros	mg/L	0,08

Fuente: COBA, Carolina, 2015

2.8 Resultados de la Caracterización Final del Agua Tratada

Se realizó análisis físicos, químicos y microbiológicos, en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y posteriormente para la verificación de los resultados se envía el agua tratada a ser analizada en el Laboratorio de Análisis e Inspección CESTTA (Anexo 5). Los mismos que fueron comparados con los valores permisibles del TULSMA, Libro VI, Tabla 12, Descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 11-2. Resultados de la caracterización físico-química y bacteriológica del agua tratada (28/01/2015) en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

PARÁMETROS	UNIDAD	ANÁLISIS			PROMEDIO DEL AGUA TRATADA	Límite máximo permisible (TULSMA)
		30/01/2015	03/02/2015	06/02/2015		
Ph	....	7,24	7,85	7,62	7,57	5 – 9
Conductividad	μS/cm	110,22	115,40	110,99	112,20	....
Temperatura	°C	7,08	7,89	7,65	7,54	<35
Turbiedad	NTU	10	9	13	10,67	...
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	76	81	77	78	250
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	20	19	23	20,67	100
Sulfuros	mg/L	0,07	0,09	0,07	0,08	0,5
Coliformes Fecales	UFC/100ml	650	720	680	683,33	Remoción > al 99,99%

Fuente: COBA, Carolina, 2015

2.9 Porcentaje de remoción obtenido después del tratamiento

Una vez obtenido los resultados del agua tratada es necesario conocer el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes, para ello se toma en consideración los valores iniciales de la caracterización del agua no tratada y el resultado obtenido después del tratamiento.

Tabla 12-2. Análisis de los parámetros del agua residual cruda y el agua residual tratada (CESTTA)

PARÁMETROS	UNIDAD	Agua Residual (Entrada a la PTAR)	Agua Tratada (Análisis CESTTA)	Límite máximo permisible (TULSMA)
DQO	mg/L	584	74	250
DBO	mg/L	219	17	100
Sulfuros	mg/L	60	0,043	0,5
Grasas y Aceites	mg/L	6,9	0,3	0,3
Tensoactivos	mg/L	4,86	0,37	05
Nitrógeno Total	mg/L	75,01	10,89	15
Coliformes Fecales	UFC/100ml	420 x 10 ⁴	<1	Remoción > al 99,99%

Fuente: COBA, Carolina, 2015

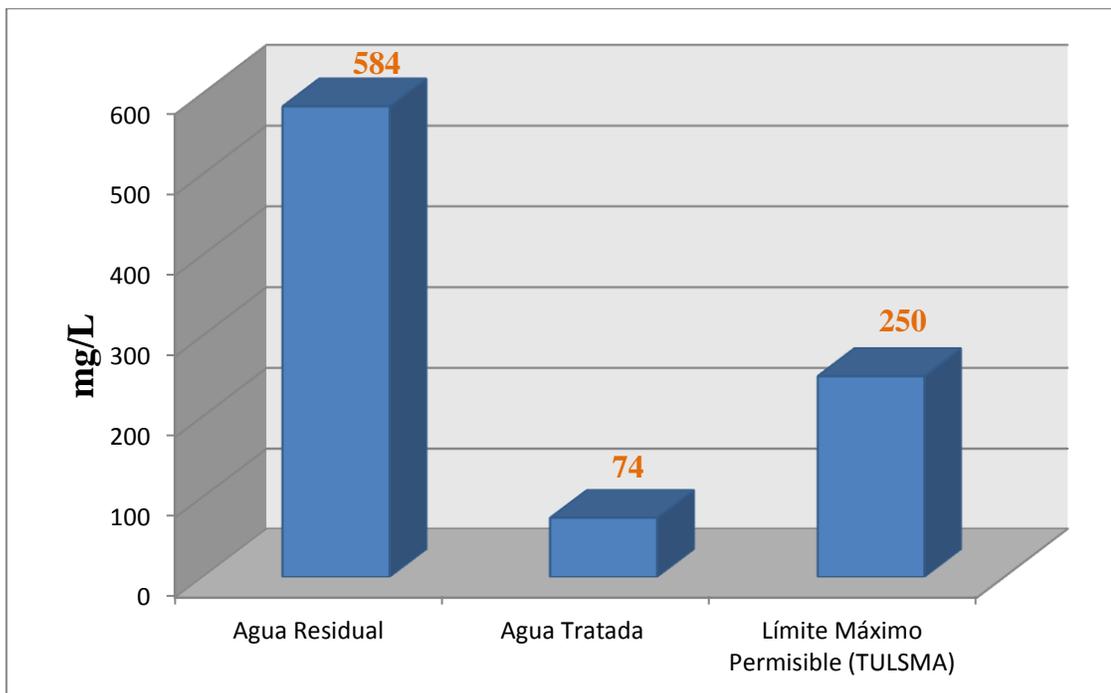
2.9.1 Porcentaje de remoción de DQO

Tabla 13-2. Caracterización química del DQO

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
584	74	87	250

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 2-2. Disminución del DQO



Fuente: COBA, Carolina, 2015

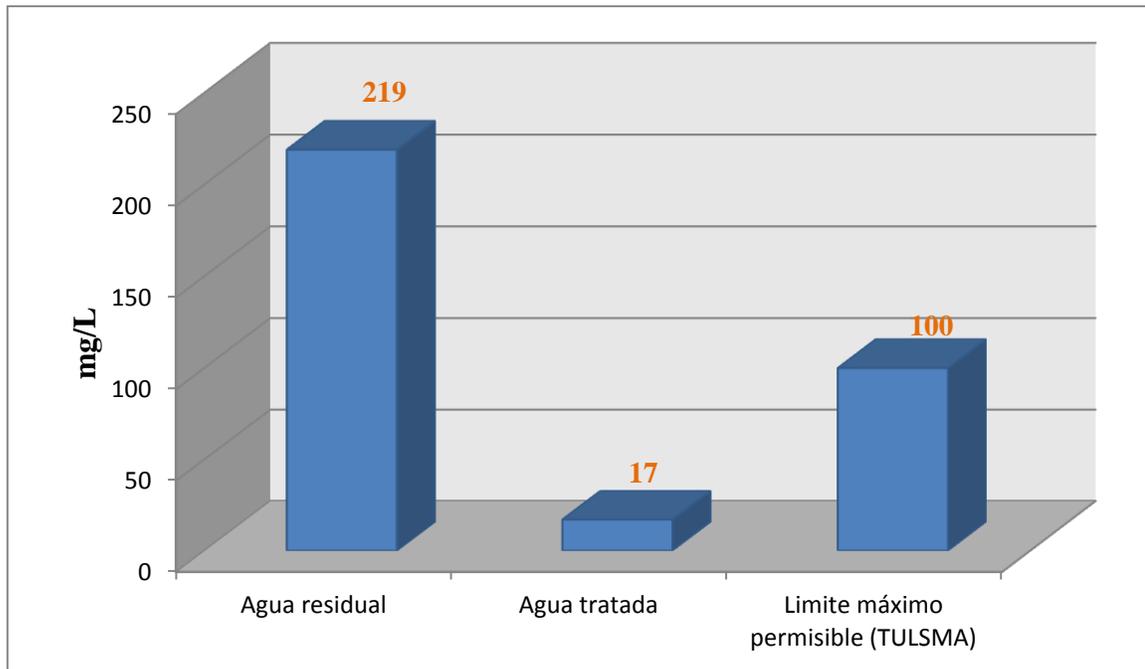
2.9.2 Porcentaje de remoción de DBO

Tabla 14-2. Caracterización química del DBO

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
219	17	92.24	100

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 3-2. Disminución del DBO



Fuente: COBA, Carolina, 2015

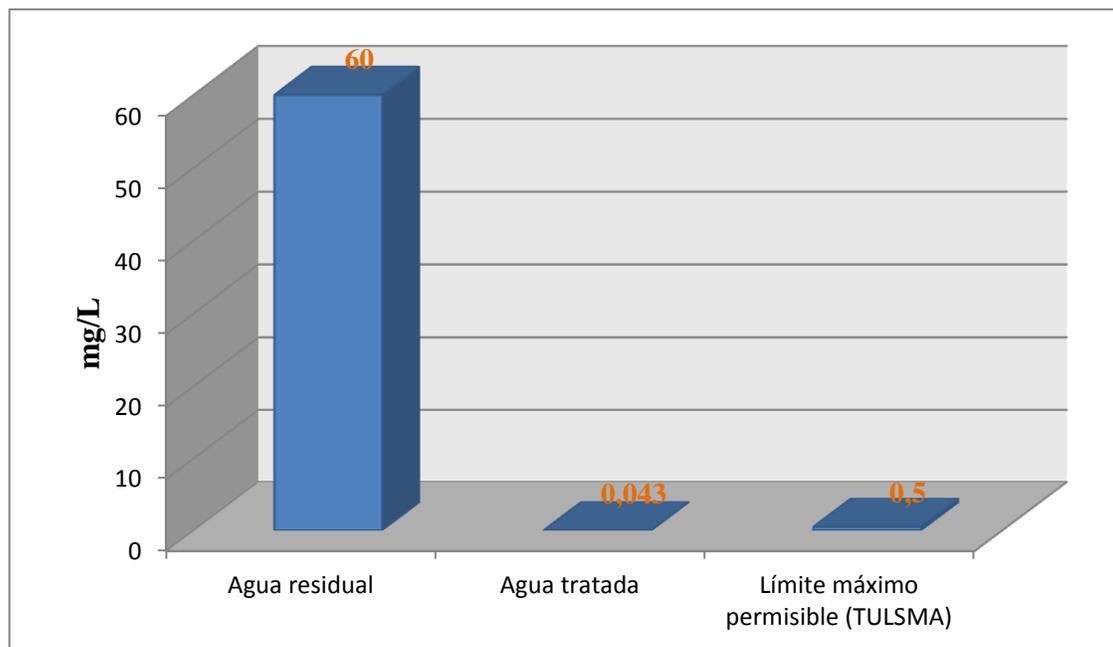
2.9.3 Porcentaje de remoción de sulfuros

Tabla 15-2. Caracterización química de los Sulfuros

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
60	0,043	99,93	0,5

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 4-2. Disminución de los Sulfuros



Fuente: COBA, Carolina, 2015

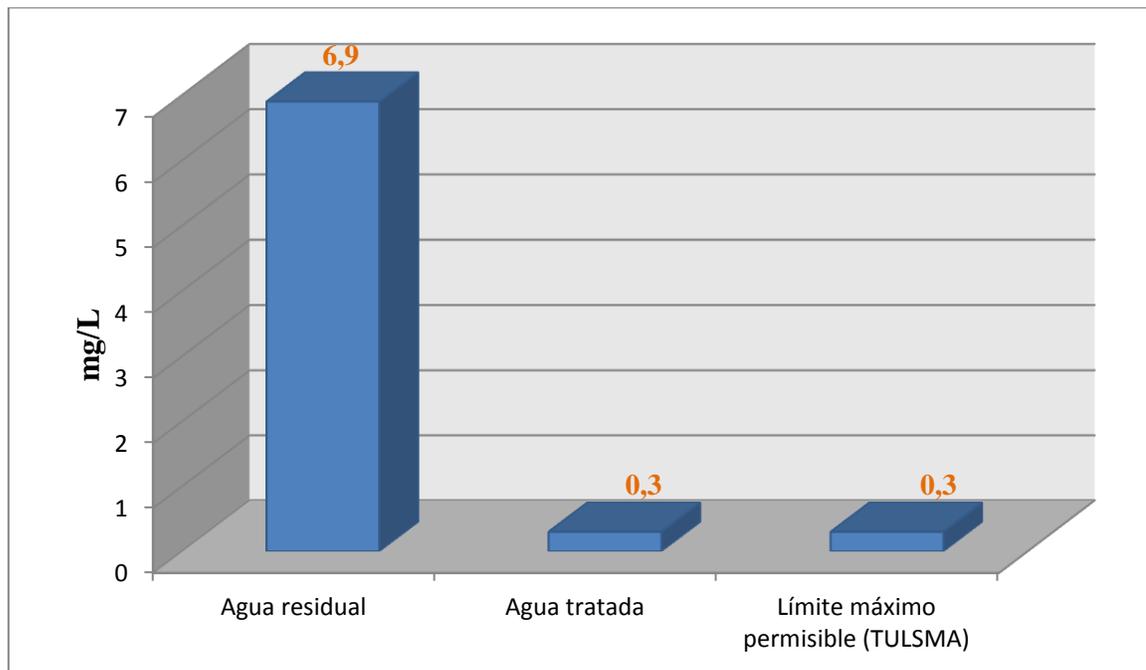
2.9.4 Porcentaje de remoción de grasas y aceites

Tabla 16-2. Caracterización química de Grasas y Aceites

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
6,9	0,3	95	0,3

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 5-2. Disminución de Grasas y Aceites



Fuente: COBA, Carolina, 2015

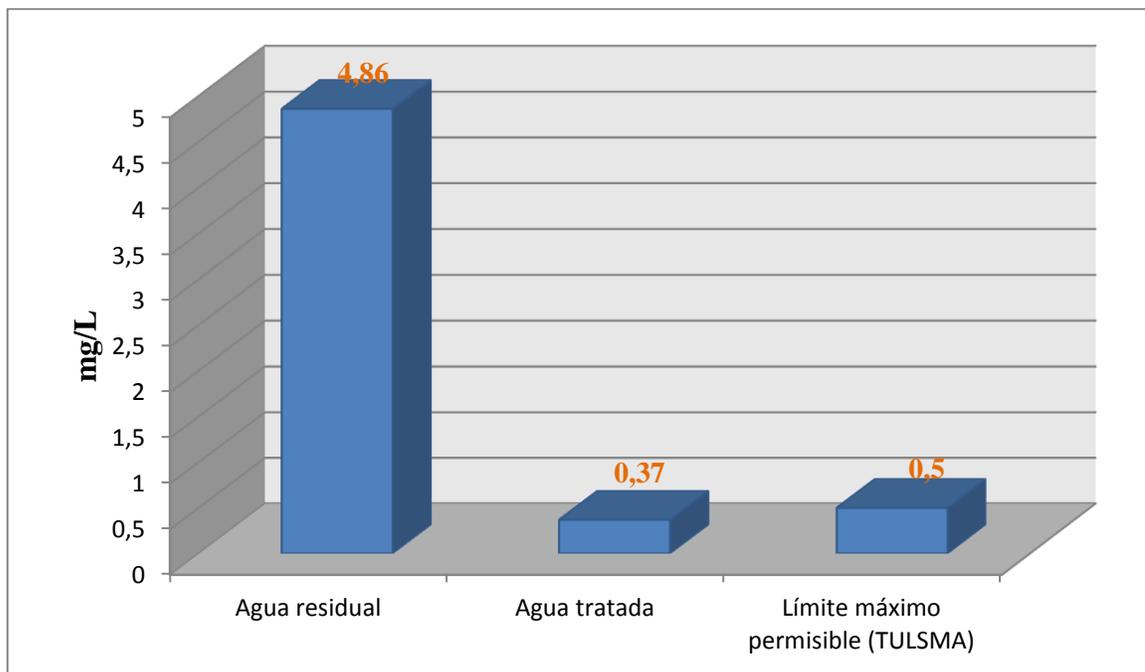
2.9.5 *Porcentaje de remoción de tensoactivos*

Tabla 17-2. Caracterización química de los Tensoactivos

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
4,86	0,37	92	0,5

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 6-2. Disminución de Tensoactivos



Fuente: COBA, Carolina, 2015

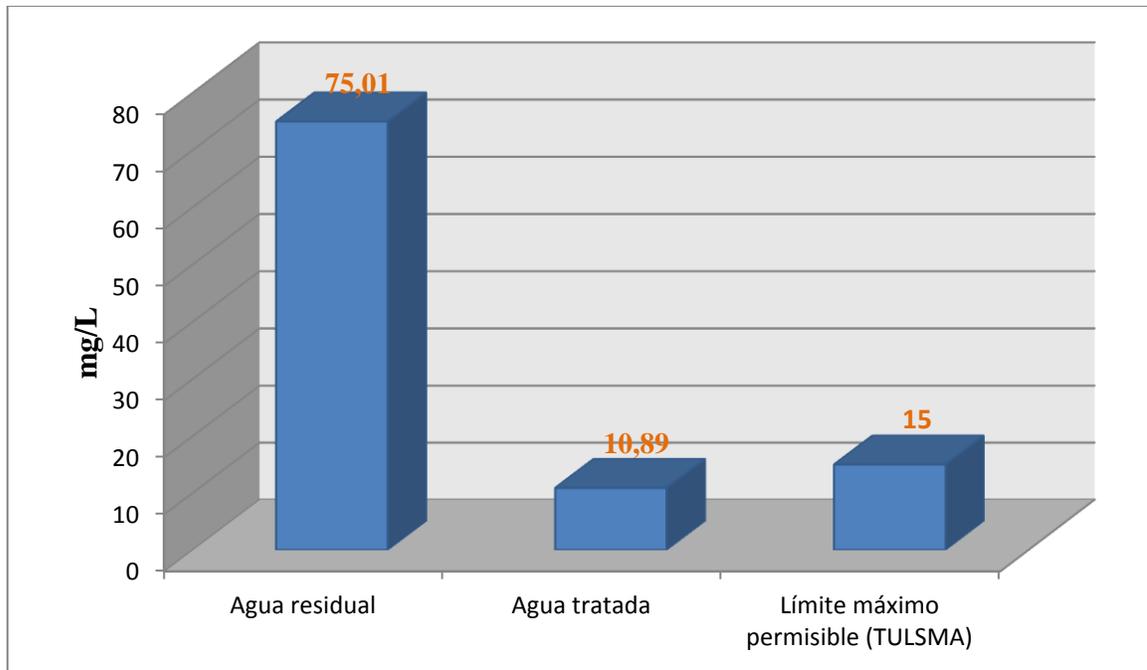
2.9.6 Porcentaje de remoción del Nitrógeno Total

Tabla 18-2. Caracterización química del Nitrógeno Total

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
75,01	10,89	85	15

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 7-2. Disminución del Nitrógeno Total



Fuente: COBA, Carolina, 2015

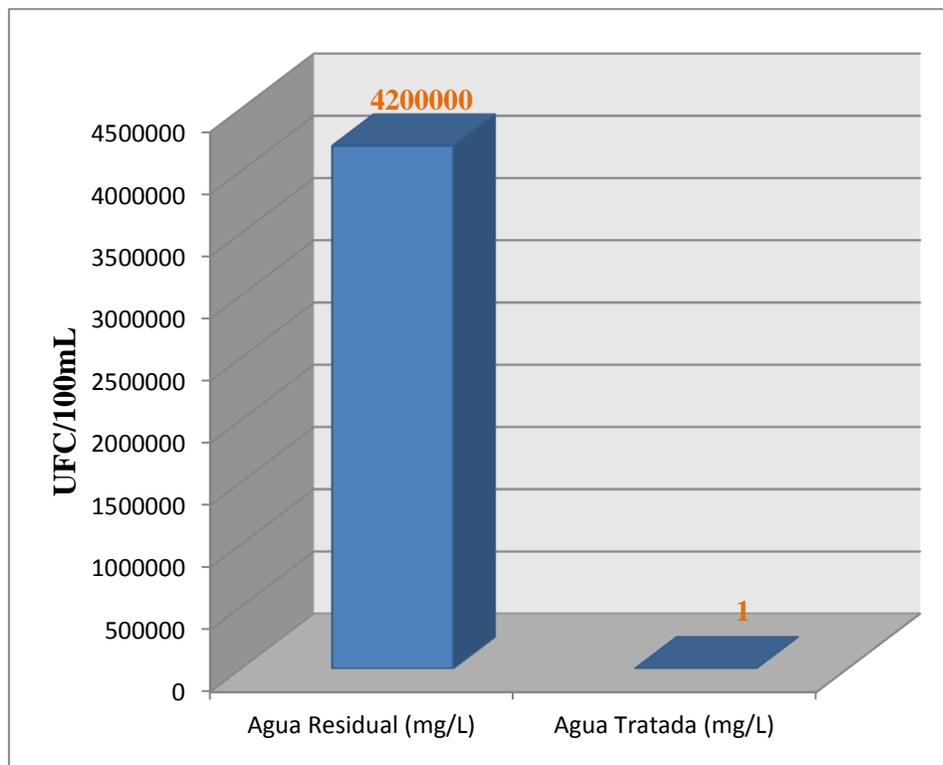
2.9.7 *Porcentaje de remoción de Coliformes Fecales*

Tabla 19-2. Caracterización microbiológica de Coliformes Fecales

Agua Residual (UFC/100mL)	Agua Tratada (UFC/100mL)	% Remoción	Límite Máximo Permisible (TULSMA)
420×10^4	<1	99.99	Remoción > al 99.99%

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Gráfico 8-2. Disminución de Coliformes Fecales



Fuente: COBA, Carolina, 2015

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Introducción

El rediseño e implementación de los procesos en la PTAR Huasimpamba-La Paz, se realizó en base a la caracterización del agua a la entrada de la planta como también a la salida del efluente tratado; donde los resultados obtenidos me llevaron a realizar los siguientes cálculos:

3.1.1 *Población Futura*

Para calcular la población futura para el año 2040 se utilizó la Ecuación 1-1.

$$Pf = Pa (1 + r)^n$$

Dónde:

P_f = Población final

P_a = Población actual

r = Índice de crecimiento anual

n = Período de tiempo (año futuro – año actual)

$$Pf = 152(1 + 0,015)^{25}$$

$$Pf = 221 \text{ habitantes}$$

3.1.2 *Dotación de agua a partir de la medición del caudal*

A través de la medición promedio del caudal realizado, tenemos que 0,25 L/s equivale a 21,6m³/día. Para calcular la cantidad de agua que consume las comunidades de Huasimpamba Bajo y La Paz los cuales son usuarios de la PTAR, se utilizará la Ecuación 2-1:

$$Dc = \frac{Q_{promc} \times 1000 \text{ L/m}^3}{Pa}$$

Dónde:

Dc = Dotación consumida (L/hab.*día)

Q_{promc} = Medición promedio del caudal (m³/día)

P_a = Población actual

$$Dc = \frac{21,6 \text{ m}^3/\text{día} \times 1000 \text{ L/m}^3}{152 \text{ hab.}}$$

$$Dc = 142 \text{ L/hab.} \cdot \text{día} = 0,14 \text{ m}^3/\text{hab. día}$$

El caudal servido se calcula al conocer que la población futura para el año 2040 es de 221 habitantes y mediante la Ecuación 3-1.

$$Q_{servido} = Pf * Dc$$

Dónde:

Q_{Servido} = caudal servido (m³/día)

Pf = población futura

D_C = Dotación consumida

$$Q_{servido} = 221 * 0,14$$

$$Q_{servido} = 30,94 \text{ m}^3/\text{día}$$

El caudal de diseño (Q_d) maneja un valor de K_1 de 0,8 tomado de la Tabla 3-1. Se calcula con la Ecuación 4-1.

$$Q_d = K_1 \times Q_{servido}$$

Dónde:

K_1 = Coeficiente de consumo mínimo diario

$Q_{servido}$ = caudal servido ($\text{m}^3/\text{día}$)

$$Q_d = 0,8 \times 30,94 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = 24,75 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = 1,03 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal utilizado para el rediseño de la planta de tratamiento para aguas residuales Huasimpamba-La Paz es de $1,03 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.2 Sistema de Tratamiento

3.2.1 Pre-Tratamiento

3.2.1.1 Cálculos para el Canal de Entrada Rectangular

El área mojada se calcula mediante el caudal utilizado para el rediseño mediante la ecuación 5-1.

$$AT = \frac{Qd}{v}$$

Dónde:

Qd = Caudal de diseño (m^3/s)

v = velocidad de aproximación del agua (m/s)

$$AT = \frac{2,86 \times 10^{-4} m^3/s}{0,6 m/s}$$

$$AT = 0,0005 m^2$$

Con el valor del área transversal se calcula la altura del agua (h) en el canal, mediante la Ec. 6-1.

Con un valor para el ancho del canal (w) de 0,5 m tomado de la Tabla 4-1.

$$h = \frac{AT}{w}$$

Dónde:

AT = área transversal (m^2)

w = ancho del canal (m)

$$h = \frac{0,0005 m^2}{0,50 m}$$

$$h = 0,001 m$$

La altura total del canal de entrada se va a obtener mediante la Ec. 7-1, tomando el dato de la altura de seguridad (h_s) de 0,35 m de la Tabla 4-1.

$$H = h + h_s$$

$$H = 0,001 + 0,35$$

$$H = 0,351 \text{ m}$$

La longitud del canal de entrada tendrá la medida de 2,5m utilizando el valor de la Tabla 4-1.



Figura 1-3. Rediseño del canal de entrada

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.2.1.2 *Calculo para el diseño de Rejillas*

Las rejillas que se utilizarán serán de tipo limpieza manual, que deberán ser limpiadas de manera periódica, su inclinación tendrá un ángulo de 45°. El rediseño incluirá rejillas gruesas y finas.

3.2.1.2.1 **Rejillas Gruesas**

La longitud de las barras, se calcula mediante la Ec. 8-1, considerando que el ángulo con respecto a la horizontal será 45°.

$$y = \frac{H}{\text{sen } 45}$$

$$y = \frac{0,35}{\text{sen } 45}$$

$$y = 0,49 \text{ m}$$

Para el cálculo de x utilizamos la Ecuación 9-1:

$$x = \cos 45 * H$$

$$x = \cos 45 * 0,35$$

$$x = 0,25 \text{ m}$$

A partir de la Tabla 5-1 utilizamos un espesor (e) de 10mm y una separación entre barras de 30 mm (s), y calculamos el número de rejillas gruesas con la Ecuación 10-1.

$$N = \frac{w}{e + s}$$

Dónde:

N = Número de rejillas

e = espesor de las rejillas

s = separación de las barras

$$N = \frac{0,50}{0,01 + 0,030}$$

$$N = 13$$

Para el rediseño será 13 rejillas.

Para el cálculo de las pérdidas de carga utilizamos la Ecuación 11-1, con el valor del coeficiente de pérdidas (β) de 1,79 tomado de la tabla 6-1, dado a que para el rediseño utilizaremos la varilla en forma de G con respecto a la Figura 9-1.

$$H_f = \beta \left(\frac{e}{s}\right)^{1/4} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } 45$$

Dónde:

H_f = Perdidas de carga (m)

e = espesor de la barra (m)

s = separación entre barras (m)

v = Velocidad de aproximación del agua (m/s)

g = gravedad (9,8 m/s²)

$$H_f = 1,79 \left(\frac{0,01}{0,030}\right)^{1/4} * \frac{0,6^2}{2(9,8)} * \text{sen } 45$$

$$H_f = 0,0098 \text{ m}$$

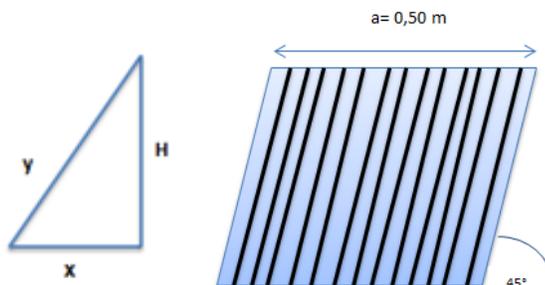


Figura 2-3. Rediseño de las rejillas gruesas

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.2.1.2.2 Rejillas Finas

Para calcular el número de rejillas finas, se toma los valores de la Tabla 5-1, espesor (e) de 6mm y de separación de barras (s) de 12mm, mediante la Ec. 10-1.

$$N = \frac{w}{e + s}$$

$$N = \frac{0,5}{0,006 + 0,012}$$

$$N = 28$$

Para el diseño se utilizará el valor de 28 rejillas finas.

Para el cálculo de las pérdidas de carga utilizamos la Ec. 11-1, con el valor del coeficiente de pérdidas (β) de 1,79 tomado de la tabla 6-1, dado a que para el rediseño utilizaremos la varilla en forma de G con respecto a la Figura 9-1.

$$Hf = \beta \left(\frac{e}{s}\right)^{1/4} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } 45$$

Dónde:

Hf = Pérdidas de carga (m)

e = espesor de la barra (m)

s = separación entre barras (m)

v = Velocidad de aproximación del agua (m/s)

g = gravedad (9,8 m/s²)

$$Hf = 1,79 \left(\frac{0,006}{0,012} \right)^{1/4} * \frac{0,6^2}{2(9,8)} * \text{sen } 45$$

$$Hf = 0,015 \text{ m}$$

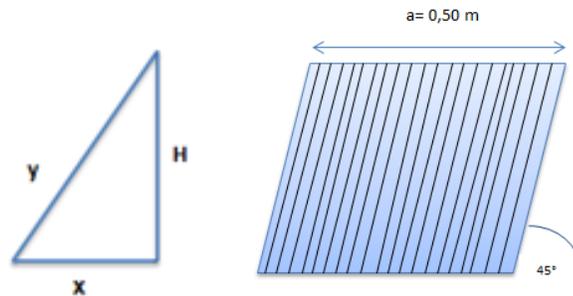


Figura 3-3. Implementación de las rejillas finas

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.2.2 *Tratamiento Primario*

3.2.2.1 *Tanque Imhoff*

Cálculo del área superficial de la cámara de sedimentación con un valor de la carga superficial (C_s) de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ tomado de la Tabla 7-1 y que es equivalente a $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ mediante la Ec.12-1.

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

Dónde:

A_s = Área superficial (m^2)

Q = Caudal de diseño (m^3/h)

$$C_s = m^3/m^2 h$$

$$A_s = \frac{1,03 m^3/h}{0,5 m^3/m^2 h}$$

$$A_s = 2,1 m^2$$

Cálculo del volumen de la cámara de sedimentación se utilizará la Ec. 13-1 con un tiempo de retención de 4 horas tomado de la Tabla 7-1:

$$V = Trh * Qd$$

Dónde:

V = volumen de la cámara de sedimentación (m³)

Qd= caudal de diseño (m³/h)

Trh= tiempo de retención hidráulica (h)

$$V = 4h (1,03m^3/h)$$

$$V = 4,2m^3$$

La altura de la cámara de sedimentación se calcula mediante la Ecuación 14-1:

$$V = l a h$$

Dónde:

V= Volumen de la cámara de sedimentación (m³)

l = Longitud de la cámara de sedimentación (m)

a = Ancho de la cámara de sedimentación (m)

h = Altura de la cámara de sedimentación (m)

La cámara de sedimentación será de forma rectangular por tanto emplearemos la Ecuación 15-1:

$$A = a l$$

$$a = 2.1 l$$

Reemplazando la expresión del ancho en la ecuación 14-1

$$4,2 = l * \frac{2.1}{l} * h$$

$$h = 2m$$

El ancho de la cámara de sedimentación lo calculamos:

$$A = a l$$

$$l = 2.1a$$

$$V = l a h$$

$$4,2 = 2,1(a)(a)(h)$$

$$a = 1m$$

Para calcular la altura del fondo de la cámara de sedimentación (d), se realizará mediante la Ecuación 17-1.

$$h_{cón} = \frac{\tan \alpha a}{2}$$

$$h_{cón} = \frac{\tan 60 * 1}{2}$$

$$h_{cón} = 0,87 \text{ m}$$

La altura total de la cámara de sedimentación se calcula mediante la Ecuación 18-1:

$$H_{tsed} = h_{sed} + h_{cón}$$

$$H_{tsed} = 2 + 0,87$$

$$H_{tsed} = 2,87 \text{ m}$$

Cálculo del ancho total del tanque Imhoff (a_T); se toma en cuenta un ancho de la zona de ventilación (a_z) de 0,40 m, obtenido de la Tabla 7-1.

$$a_T = a + 2a_z$$

$$a_T = 1 + 2(0,40)$$

$$a_T = 1,80 \text{ m}$$

Cálculo del volumen del digestor mediante la Ecuación 20-1, con el valor de dotación de lodos tomado de la Tabla 7-1.

$$Vd = pob * D_{lodos}$$

Dónde:

Vd = volumen del digestor (m^3)

pob = Número de habitantes (hab)

$D\ lodos$ = Dotación de lodos (m^3/hab)

$$Vd = 221hab * 0,07 \frac{m^3}{hab}$$

$$Vd = 15,47m^3$$

La altura de la cámara del digestor (f), se calcula mediante la Ecuación 21-1

$$f = \frac{Vd - \frac{a_T^2 * l}{12}}{l * Ai}$$

Dónde:

f = Altura de la cámara del digestor (m)

Vd = Volumen del digestor (m^3)

a_T = Ancho total del tanque (m)

l = Longitud del tanque (m)

$$f = \frac{15,47 - \frac{1,8 * 2,1}{12}}{2,1 * 1,8}$$

$$f = 3,9\ m$$

Para el cálculo de la altura de depósito de lodos (g), se emplea la Ecuación 22-1.

$$g = \frac{a_T}{2} \operatorname{tg} 30$$

Dónde:

g = Altura de depósitos de lodos (m)

a_T = Ancho total del tanque (m)

$$g = \frac{1,8}{2} \operatorname{tg} 30$$

$$g = 0,52 \text{ m}$$

La altura total del tanque, se calcula mediante la Ecuación 36-1, con los valores del borde libre (bl) de 0,30 m y la altura de transición de 0,45m, obtenido de la Tabla 7-1.

$$Ht = h + d + e + f + g + bl$$

Dónde:

Ht = Altura total del tanque (m)

h_{Tsed} = Altura de la cámara de sedimentación (m)

e = Altura de transición (m)

f = Altura de la cámara del digestor (m)

g = Altura de depósitos de lodos (m)

bl = Borde libre (m)

$$Ht = 2 + 0,87 + 0,45 + 3,9 + 0,52 + 0,3$$

$$Ht = 8m$$

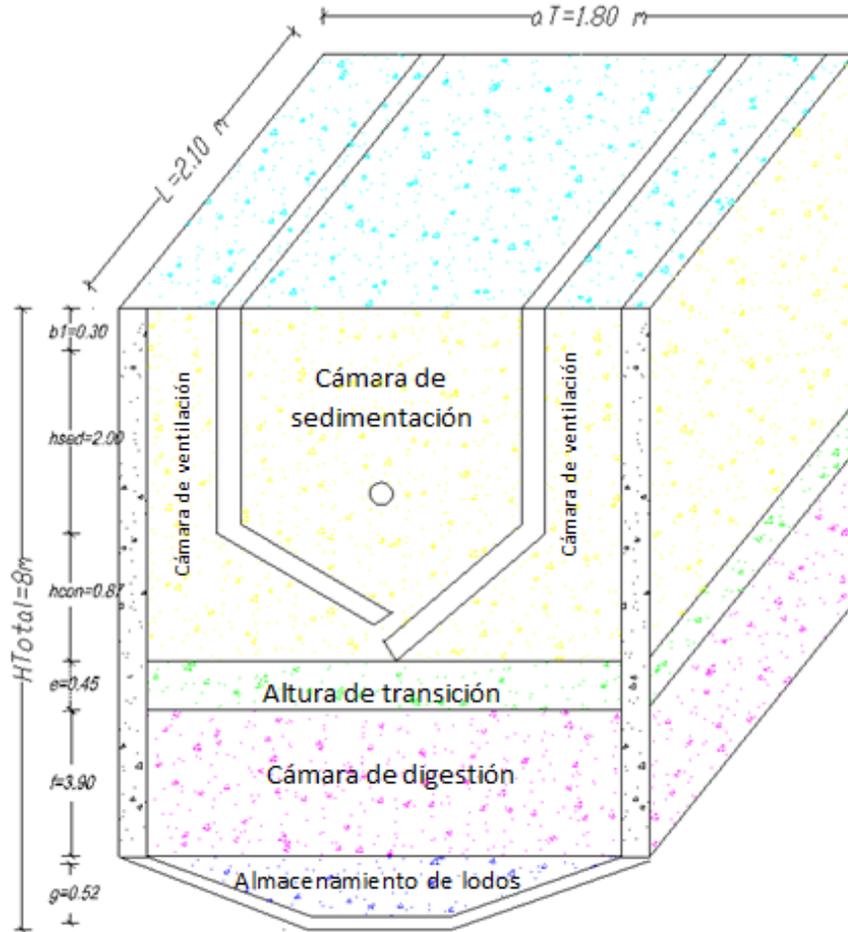


Figura 4-3. Implementación del Tanque Imhoff

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.2.2.2 *Eras de Secado*

Las eras de secado existentes en la actual planta de tratamiento Huasimpamba-La Paz, se mantendrán. Siendo estas dos unidades, con una longitud y ancho de 3,50 m y una profundidad de 1,05 m.

La finalidad de mantener estas eras de secado es para que los lodos extraídos del tanque de sedimentación sean secados mucho más rápido debido a que al tener una mayor área la transferencia del calor será mayor.

En este punto es necesario conocer la cantidad de lodos que se van a generar diariamente; para ello hacemos uso de los datos obtenidos experimentalmente en el proceso de simulación de sedimentación en donde se obtuvo que por cada litro de agua residual se generan 5ml de lodos como podemos ver en la siguiente figura:



Figura 5-3. Sólidos Sedimentables

Fuente: COBA, Carolina, 2015

➤ **Cálculo de la cantidad de lodos generada diariamente:**

De 1 litro de agua residual se obtiene: 5ml de lodos por tanto hacemos la siguiente relación:

$$24750 \text{ l agua residual} \times \frac{0,005 \text{ l de lodos}}{1 \text{ l de agua residual}} = 123,75 \text{ litros de lodos}$$

Por tanto diariamente se va a tener un volumen igual a 124 litros aproximadamente de lodos que van a ser enviados a las eras de secado para su disposición final.

3.2.3 *Tratamiento Secundario*

3.2.3.1 *Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente*

Se diseñó un filtro anaerobio de flujo ascendente de forma cilíndrica, en el cual se dispone un falso fondo con la finalidad de evitar taponamientos y evitar zonas muertas en el reactor. El falso fondo estará constituido de malla y ángulos de hierro para soportar el medio filtrante:

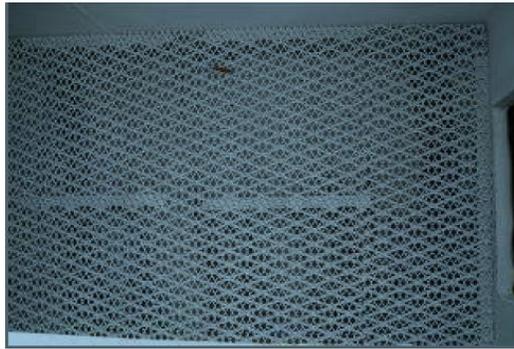


Figura 6-3. Malla a colocarse sobre el falso fondo

Fuente: COBA, Carolina, 2015

La altura total del filtro (h_{total}) será 3,30 m; tomando en consideración que la altura del lecho filtrante es 2m y 1m de altura para la acumulación de agua filtrada en base a la teoría de Jorge Arboleda Valencia (Diseño de Filtros).

También se tomará en cuenta un factor de seguridad de 0,10 m y una altura de 0,2 m para el fondo falso tomado de la Tabla 9-1.

Para la determinación del radio del filtro se hará uso de la siguiente Ecuación 32-1:

$$r = \sqrt{\frac{V}{h\pi}}$$

Dónde:

r = Radio del filtro (m)

V = Volumen del filtro (m^3)

h = altura del filtro (m)

Donde el volumen de agua residual a tratar por día es de:

$$V = 24,75m^3$$

$$r = \sqrt{\frac{24,75}{3,3 \pi}}$$

$$r = 1,55m$$

El diámetro del filtro por tanto será:

$$\Phi = 2 r$$

$$\Phi = 3,1m$$

El tiempo de retención hidráulica se calcula mediante la Ecuación 33-1

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

Dónde:

Trh = Tiempo de retención hidráulica (h)

V = Volumen del filtro (m^3)

Q= Caudal de diseño (m³/día)

$$Trh = \frac{24,75}{24,75}$$

$$Trh = 1 \text{ día}$$

$$Trh = 24 \text{ h}$$

La distribución del medio filtrante en base a la bibliografía de Jorge Arboleda Valencia (Diseño de Filtros) queda de la siguiente manera:

- Capa de piedra gruesa (hasta 100mm): 0,60 m
- Capa de piedra mediana (12 a 18mm): 0,60 m
- Capa de carbón activado: 0,80m

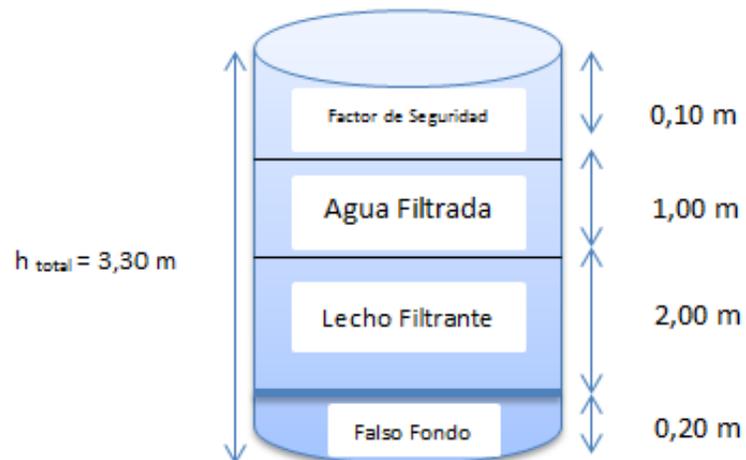


Figura 7-3. Implementación del FAFA

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.3 Resultados de Rediseño

3.3.1 Población Futura

Tabla 1-3. Resultado de la Población.

POBLACIÓN		
	VALOR	UNIDADES
Población del 2014	150	Habitantes
Población del 2015 (<i>Pa</i>)	152	Habitantes
Índice de Crecimiento Anual ®	1,5	%
Período de Tiempo	25	Años
Población Futura (<i>Pf</i>)	221	Habitantes

Fuente: GAD Municipal de San Pedro de Pelileo., COBA, Carolina, 2015

3.3.2 Caudales para la PTAR Huasimpamba-La Paz

Tabla 2-3. Caudales a tratar

CAUDALES		
	VALOR	UNIDADES
Dotación de agua consumida (<i>Dc</i>)	142	L/hab.*día
Caudal Servido (<i>Qservido</i>)	30,94	m ³ /día
Caudal medio diario (<i>Qm</i>)	24,75	m ³ /día
Caudal de diseño (<i>Qdiseño</i>)	1,03	m ³ /h

Fuente: COBA, Carolina ,2015

3.3.3 Comparación del canal de entrada

Tabla 3-3. Dimensiones del Canal de Entrada

CANAL DE ENTRADA RECTANGULAR			
	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
Caudal a tratar (Qd)	21,6 m ³ /día	24,75 m ³ /día	3,15 m ³ /día
Unidades	1	1	-
Ancho del canal (w)	1,20 m	0,50 m	0,70
Longitud del canal (L)	2,10 m	2,5 m	0,40 m
Altura del canal (H)	0,90 m	0,36 m	0,54 m

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.3.4 Implementación del sistema de rejillas

Tabla 4-3. Comparación de las rejillas gruesas

REJILLAS GRUESAS			
	DISEÑO	REDISEÑO	DIFERENCIA
Angulo de inclinación con respecto a la horizontal	80 °	45°	35°
Longitud de las barras	0,91 m	0,49 m	0,42 m
Separación horizontal entre la varilla y la altura del canal	0,16 m	0,25 m	0,09 m
Espesor de las varillas (e)	0,012 m	0,01 m	0,002 m
Separación entre barras (s)	0,077 m	0,030 m	0,047 m
Número de barras (n)	9	13	4

Fuente: COBA, Carolina, 2015

Tabla 5-3. Implementación de las rejillas finas

REJILLAS FINAS		
	REDISEÑO	UNIDADES
Angulo de inclinación con respecto a la horizontal	45°	
Longitud de las barras	0,41	m
Separación horizontal entre la varilla y la altura del canal	0,006	m
Espesor de las varillas (e)	0,012	m
Separación entre barras (s)	0,030	m
Número de barras (n)	28	--

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.3.5 *Implementación del Tanque Imhoff*

Tabla 6-3. Dimensiones para el Tanque Imhoff

TANQUE IMHOFF		
	VALOR	UNIDADES
Caudal a tratar (Q_d)	1,03	m ³ /h
Longitud de la cámara de sedimentación (l)	2,1	m
Ancho de la cámara de sedimentación (a)	1	m
Volumen de la cámara de sedimentación (V)	4,2	m ³
Altura de la cámara del digestor (f)	3,9	m
Ancho de la zona de ventilación (a_z)	0,30	m
Altura de la cámara de sedimentación (c)	2,00	m
Altura del fondo de la cámara de sedimentación (d)	0,87	m
Altura de transición (e)	0,45	m
Altura de la cámara del digestor (f)	3,9	m
Altura de depósito de lodos (g)	0,52	m

Borde libre (bl)	0,3	m
Altura total del tanque (H_t)	8	m

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.3.6 Implementación del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Tabla 7-3. Dimensiones para el filtro anaerobio de flujo ascendente

FAFA		
	VALOR	UNIDADES
Volumen real (V)	24,75	m ³
Diámetro	3,1	m
Altura (h)	3,3	m
Altura de falso fondo	0,2	m
Altura de seguridad	0,1	m
Capa de piedra gruesa	0,60	m
Capa de piedra mediana	0,60	m
Capa de carbón activado	0,80	m

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.4 COSTOS

3.4.1 Canal de Entrada y Sistema de Rejillas

Tabla 8-3. Costos para la construcción del canal de entrada y sistema de rejillas

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Derrocamiento de estructuras de hormigón	m ³	2,82	25,6	72,29
2	Desalojo del material	m ³	3,39	3,67	12,44
3	Replanteo y nivelación	m ²	2,69	0,9	2,35
4	Hormigón simple	m ³	1,00	130	129,74

	f'c=210 hg/cm ² (inc. encofrado)				
5	Rejillas finas y gruesas (0,35*0,50)	u	2,00	60	120,00
6	Malla electrosoldada 6mm 15*15 cm	m ²	4,99	8,9	44,41
TOTAL					381,23

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.4.2 *Tanque de Sedimentación Imhoff*

Tabla 9-3. Costos para la construcción del Tanque Imhoff

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Derrocamiento de estructuras de hormigón	m ³	107,93	25,6	2763,04
2	Desalojo del material	m ³	129,52	3,67	475,33
3	Replanteo y nivelación	m ²	46,11	0,9	41,50
4	Hormigón simple f'c=210 hg/cm ² (inc. encofrado)	m ³	29,53	130	3839,03
5	Malla electrosoldada 6mm 15*15 cm	m ²	100,92	8,9	898,22
6	Tapa de inspección Tool 1,20 x 1,20 m	U	2,00	60	120,00
TOTAL					8137,12

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.4.3 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Tabla 10-3. Costos para la construcción del FAFA

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
1	Derrocamiento de estructuras de hormigón	m ³	25,48	25,6	657,30
2	Desalojo del material	m ³	30,58	3,67	112,22
3	Replanteo y nivelación	m ²	8,04	0,9	7,24
4	Hormigón simple f'c=210 hg/cm ² (inc. encofrado)	m ³	14,78	130	1920,94
5	Malla electrosoldada 6mm 15*15 cm	m ²	49,25	8,9	438,37
6	Tapa de inspección Tool 1,20 x 1,20 m	U	1,00	60	60,00
7	Prov. Inst. de tubería de PVC= 110mm		1,00	9,9	9,90
8	Prov. Inst. de codo de PVC= 110mm x 90°		2,00	10	20,00
9	Prov. Inst. de la capa de carbón activado		836,16	2,1	1755,94
10	Piedra gruesa 10 a 12 cm		6,43	23,9	153,72
11	Piedra media de 10mm		4,82	23,9	115,29
TOTAL					5245,92

Fuente: COBA, Carolina, 2015

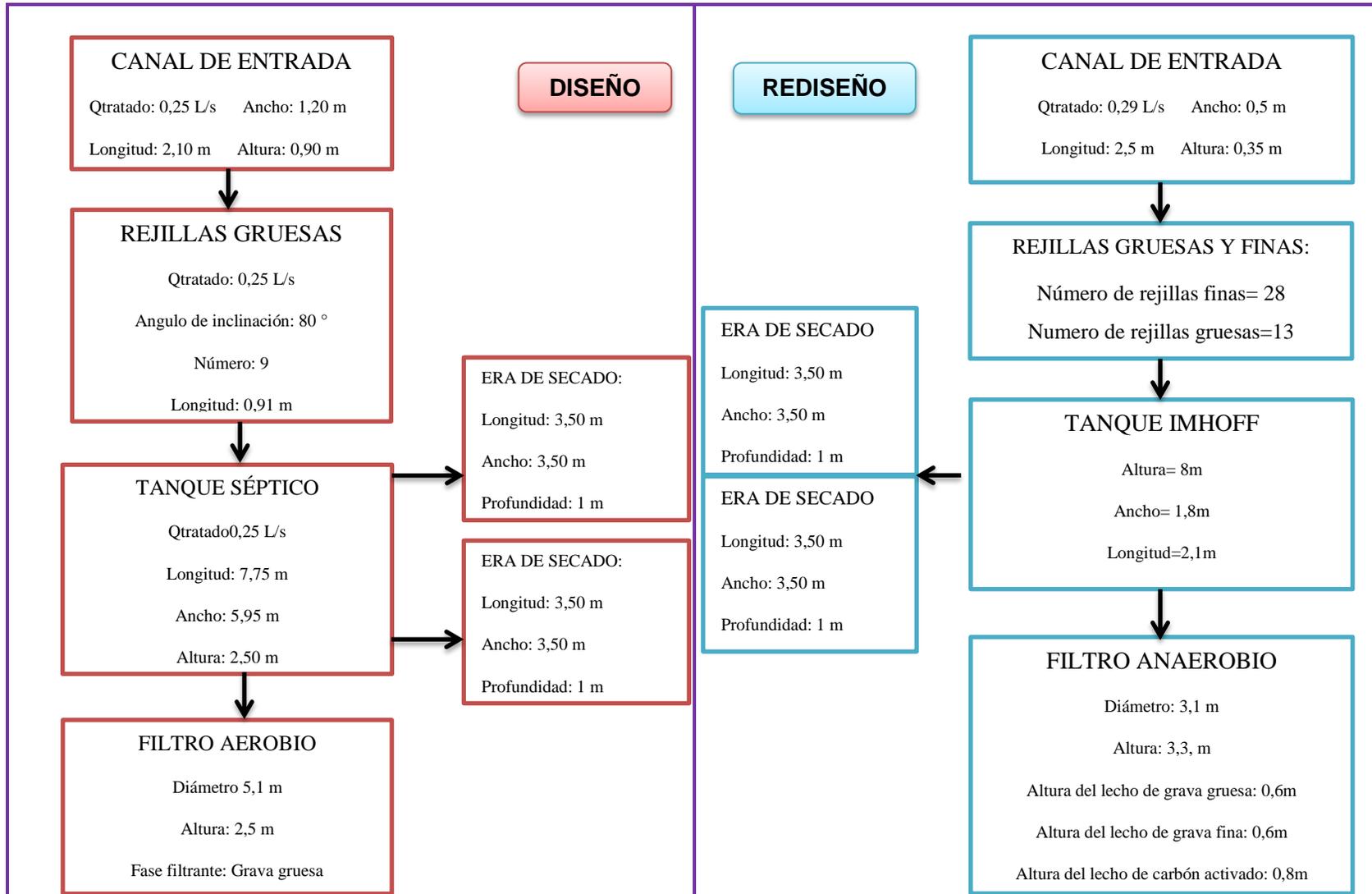
3.4.4 *Costo total para el Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz*

Tabla 11-3. Costo total para el Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz

PROCESO	PRECIO
Canal de entrada y rejillas	381,23
Tanque de sedimentación Imhoff	8137,12
Filtro anaerobio de flujo ascendente	5245,92
TOTAL	13764,27

Fuente: COBA, Carolina, 2015

3.5 PROPUESTA



3.6 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El agua residual que ingresa a la PTAR Huasimpamba-La Paz es proveniente de una parte de las comunidades de Huasimpamba Bajo y La Paz pertenecientes al Cantón San Pedro de Pelileo, cuya descarga final se realiza a la acequia S/N. Este cuerpo receptor se encuentra afectado debido a que el olor es muy desagradable, el color del agua descargada es amarillo-verdoso y además existe la presencia de mosquitos y roedores, lo cual da un aspecto nada confiable para la reutilización de dicha agua para diferentes actividades. Sin embargo luego de una serie de tratamientos realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos se ha logrado una notable mejora, teniendo una disminución del 93% de contaminación orgánica y microbiológica.

Las muestras del agua residual se realizó de manera compuesta es decir tres veces al día en un intervalo de seis horas (07:00, 13:00 y 19:00) tanto en la entrada como a la salida de la PTAR, esto con el objetivo de observar que tan eficiente es el actual sistema de depuración.

Una vez llevadas las muestras hacer analizadas química, física y microbiológicamente, se tomó los valores de la salida de la PTAR para ser comparadas con la Tabla 12 del TULSMA, descarga a un cuerpo de agua dulce, notando que existen siete parámetros que se encuentran fuera del límite máximo permisible y son: DBO 189 mg/L (Límite: 100mg/L), DQO 468 mg/L (Límite: 250mg/L), Grasas y Aceites 6,2 mg/L (Límite: 0,3mg/L), Nitrógeno Total 69,5mg/L (Límite: 15mg/L), Tensoactivos 0,88 mg/L (Límite: 0,5mg/L), Sulfuros 72 mg/L (Límite 0,5mg/L) y Coliformes Fecales 578×10^4 (Límite: Remoción >al 99.9%), ver Tabla 6-2.

Al realizar diferentes pruebas en el Laboratorio, se determinó que la nueva PTAR Huasimpamba-La Paz tendrá como pre-tratamiento: un canal de entrada, rejillas gruesas y finas; para el tratamiento primario se contará con un tanque imhoff dispuesto de dos eras de secado, y como tratamiento secundario un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Después de utilizar los tratamientos mencionados, los parámetros se encuentran ya dentro de los límites permisibles de la Tabla 12 del TULSMA, descarga a un cuerpo de agua dulce, teniendo resultados como: DBO 17 mg/L (Límite: 100mg/L), DQO 74 mg/L (Límite: 250mg/L), Grasas y Aceites 0,3 mg/L (Límite: 0,3mg/L), Nitrógeno Total 10,89mg/L (Límite: 15mg/L), Tensoactivos

0,37 mg/L (Límite: 0,5mg/L), Sulfuros 0,043 mg/L (Límite 0,5mg/L) y Coliformes Fecales 1mg/L(Límite: Remoción >al 99.9%). Ver Tabla 12-2.

De esta manera se puede garantizar que el cuerpo receptor de la nueva PTAR Huasimpamba-La Paz dejará de sufrir contaminación orgánica y microbiológica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La planta de tratamiento de aguas residuales Huasimpamba-La Paz del Cantón San Pedro de Pelileo, se lo ha rediseñado para una proyección de 25 años, la misma que consta de tres procesos de tratamiento, pretendiendo de esta manera reducir la contaminación de la descarga en un 93%.
- Al realizar la caracterización física, química y microbiológica del agua residual que descarga la actual PTAR Huasimpamba-La Paz, los resultados fueron: 6,30 pH, 17,17°C Temperatura, 442,33 mg/L DQO, 181 mg/L DBO, 6,2 mg/L Aceites y Grasas, 69,5 mg/L Nitrógeno Total, 60mg/L Sulfatos, <50 mg/L Sólidos Suspendidos, 0,88 mg/L Tensoactivos, 578x10⁴UFC/100ml Coliformes Fecales y 69,73 mg/L Sulfuros, los cuales fueron comparados con los límites permisibles de descarga del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 12.
- Con los resultados obtenidos en la caracterización, se identificó que el agua que descarga la PTAR Huasimpamba-La Paz se encuentra con altos valores de concentración orgánica y microbiológica, puesto que la mayoría de los parámetros analizados se hallan fuera de los límites máximos permisibles, y estos son: DQO, DBO, Sulfuros, Tensoactivos, Aceites y Grasas, Nitrógeno Total, y Coliformes Fecales; los cuales de cierto modo generan un olor insoportable en la planta, a sus alrededores y por ende la contaminación del cuerpo receptor.

- En base a los análisis realizados, se plantea el nuevo diseño para el proceso de depuración de las aguas residuales que consta de diferentes tratamientos, empezando desde la reconstrucción del canal de entrada, el rediseño de las rejillas gruesas, y la implementación de rejillas finas, un tanque de sedimentación imhoff y de un filtro anaerobio de flujo ascendente; con la finalidad de que el agua tratada sea reutilizada tanto para el riego de cultivos y para la crianza de animales.
- Mediante la utilización de una planta piloto en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la ESPOCH se realiza el nuevo proceso para el tratamiento de las aguas residuales Huasimpamba-La Paz llegando a validar el rediseño con la caracterización física, química y microbiológica obteniendo como resultados: 7,91 pH, 74 mg/L DQO, 17 mg/L DBO, 0,3 mg/L Aceites y Grasas, 10,89 mg/L Nitrógeno Total, 130 mg/L Sulfatos, <50 mg/L Sólidos Suspendidos, 0,37 mg/L Tensoactivos, <1 UFC/100ml Coliformes Fecales y 0,043 mg/L Sulfuros, los cuales al ser comparados con los límites permisibles de descarga del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 12, se comprueba que el agua tratada puede ser descargada sin ningún inconveniente.

Recomendaciones

- El presente proyecto está comprendido para efluentes de tipo doméstico, por lo que se sugiere que permanezca así, para lo cual el GAD Municipal de San Pedro de Pelileo podría regular, si se diera el caso, a industrias u otro tipo de empresas que generen descarga líquida el realizar el tratamiento en cada una de ellas antes de descargar al sistema de alcantarillado.
- Una vez que se haya realizado el rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz se recomienda que se haga un análisis de los lodos extraídos y de acuerdo con los resultados obtenidos se den opciones para la disposición final y como mejor de los casos la reutilización de los mismos.
- Realizar el mantenimiento de todas las etapas de tratamiento como: la limpieza de las rejillas, el retiro de lodos, natas y espumas.

- Se recomienda realizar el lavado del filtro mediante un sistema en contracorriente es decir el agua ingresa a presión por la parte superior del filtro y el agua de lavado se recogerá por la parte inferior. (Anexo 12)
- Dar una capacitación al personal que labore en dicha planta, con la finalidad de estar completamente familiarizados con la planta de tratamiento de aguas residuales, sus componentes y la función que cumple cada uno de estos.
- Debido a que el trabajo en la planta de tratamiento de aguas residuales implica cierto grado de riesgo se recomienda asegurar la salud del operador dotándole de un equipo de protección conformado de: chaqueta y pantalones impermeables, casco, guantes, mascarilla y botas de caucho.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22a. ed. Washington D.C.- USA. 2012. Pp. 48-50

BERMEO, Lorena. & SANTÍN, Jorge. Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. (Tesis) (Ing. Civil). Universidad Técnica Particular de Loja. Escuela de Ingeniería civil. Loja-Ecuador. 2010. Pp. 95- 97, 120-123.

COLOMBIA., MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, RAS 2000. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Bogotá- Colombia. 2000. Pp. 45-56.

CRITES, Ron & TCHOBANOGLIOUS, Geoge. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Bogotá-Colombia. 2001. Pp. 7, 8, 181, 198, 328, 680, 681.

ECUADOR., INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. INEC.

Índice de crecimiento poblacional en la provincia de Tungurahua

<http://www.inec.gob.ec/>

2015-04-12

ECUADOR., MINISTERIO DEL AMBIENTE.

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI, Anexo 1.

<http://www.ambiente.gob.ec/>

2014-11-12

ESPAÑA., CENTRO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA, CENTA.

Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas

<http://www.centa.es/uploads/publicaciones/doc4ef31d63e1252.pdf> /

2015-01-13

FAIR, Gordon. & otros. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. México D.F.-México. 1988. Pp. 134-140.

FERRERO, José. Depuración Biológica de las Aguas Residuales. Madrid-España. 1974. Pp. 10-15

HAMMEKEN., A., & ROMERO., G. Análisis y Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Municipio de San Andrés Cholupa. Universidad de las Américas. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Puebla-México. 2005. Pp. 34-37

METCALF., & EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ª.ed. Madrid-España. 2005. Pp. 95-102

OSORIO, Francisco, & otros. Tratamiento de Aguas Para la Eliminación de Microorganismos y Agentes Contaminantes. Madrid-España. 2010. Pp. 2-8

RAMALHO., R. Tratamiento de Aguas Residuales. 2a ed. Reveté S.A. Sevilla-España. 2003. Pp.78.87

RAMIREZ, C. Calidad de Agua: Evaluación y Diagnostico. 1a ed. 2011. Ediciones de la U. Universidad de Medellín. Pp. 27-69

ROJAS, J. Calidad del Agua. 3a ed. Escuela Colombiana de Ingenieros. 2002. Pp. 108-144

SERRANO, Hazel. Evaluación Ambiental y Sanitaria de dos sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales Domésticas, mediante la construcción de Prototipos en escala natural. (Tesis) (Lic. Ing. Civil). Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil. San José-Costa Rica. 2005. Pp. 27-35.

SIERRA, Carlos. Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico. Medellín- Colombia. Universidad de Medellín. 2011. Pp. 28, 34.

ANEXOS

Anexo A. Ubicación de la PTAR Huasimpamba-La Paz



Fuente: COBA, Carolina, 2015.

Anexo B. Toma de muestras y Medición de Caudales



Fuente: COBA, Carolina, 2015.

Anexo C. Condiciones actuales de la PTAR Huasimpamba-La Paz





Fuente: COBA, Carolina, 2015.

Anexos D. Pruebas Físico-Químicas en el Laboratorio de Análisis Técnicos.



Fuente: COBA, Carolina, 2015.

Anexo E. Resultados de Laboratorio del Agua Tratada

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	--	--

INFORME DE ENSAYO No: 318
ST: 099 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. Carolina Coba
Dirección: Ambato, Izamba, vía a Pillaro

FECHA: 24 de Febrero del 2015
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/02/10 – 15:33
FECHA DE MUESTREO: 2015/02/10 – 14:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/02/10 – 2015/02/24
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 189 -15
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Agua tratada Pelileo
PUNTO DE MUESTREO: Salida de la planta de tratamiento Huasimpamba La Paz
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Carolina Coba
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/164 Standard Method 4500- H ⁺ B	Unidades de pH	7,91	±0.10	-
Tensoactivos	PEE/LABCESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	0,77	±7%	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	17	±32%	-
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	74	±9%	-
Sulfuros	PEE/LABCESTTA/ 19 Standard Methods No 4500-S ²⁻ C v D	mg/L	0,043	±17%	-
Grasas y Aceites	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	-
Sólidos Suspendidos	PEE/LABCESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50 *	±20%	-
Sulfatos	PEE/LABCESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO ² 4 E	mg/L	130	±8%	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 1 de 2
 Edición 4



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183**



**LABORATORIO DE
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 06-008**

Nitrógeno Total	PEE/LABCESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	19,89	±6%	-
Coliformes Fecales	PEE/LABCESTTA/48 Standard Methods No. 9222 D y 92221	UFC/100 ml	<1	±20%	-

OBSERVACIONES:

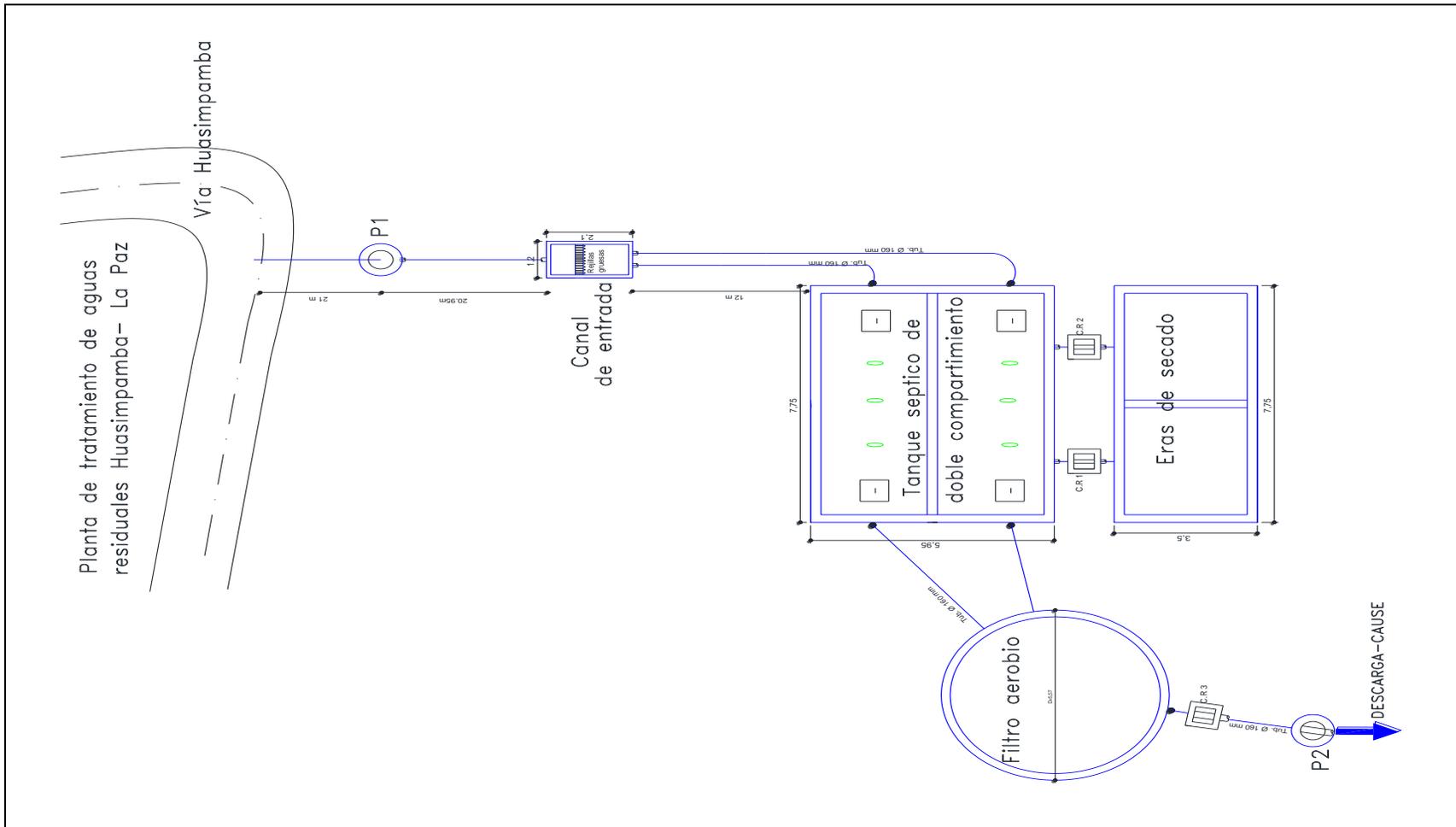
- Muestra receptada en el laboratorio

RESPONSABLE:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB CESTTA
ESPOCH**

Anexo F. Planos actuales de la PTAR Huasimpamba-La Paz



Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo

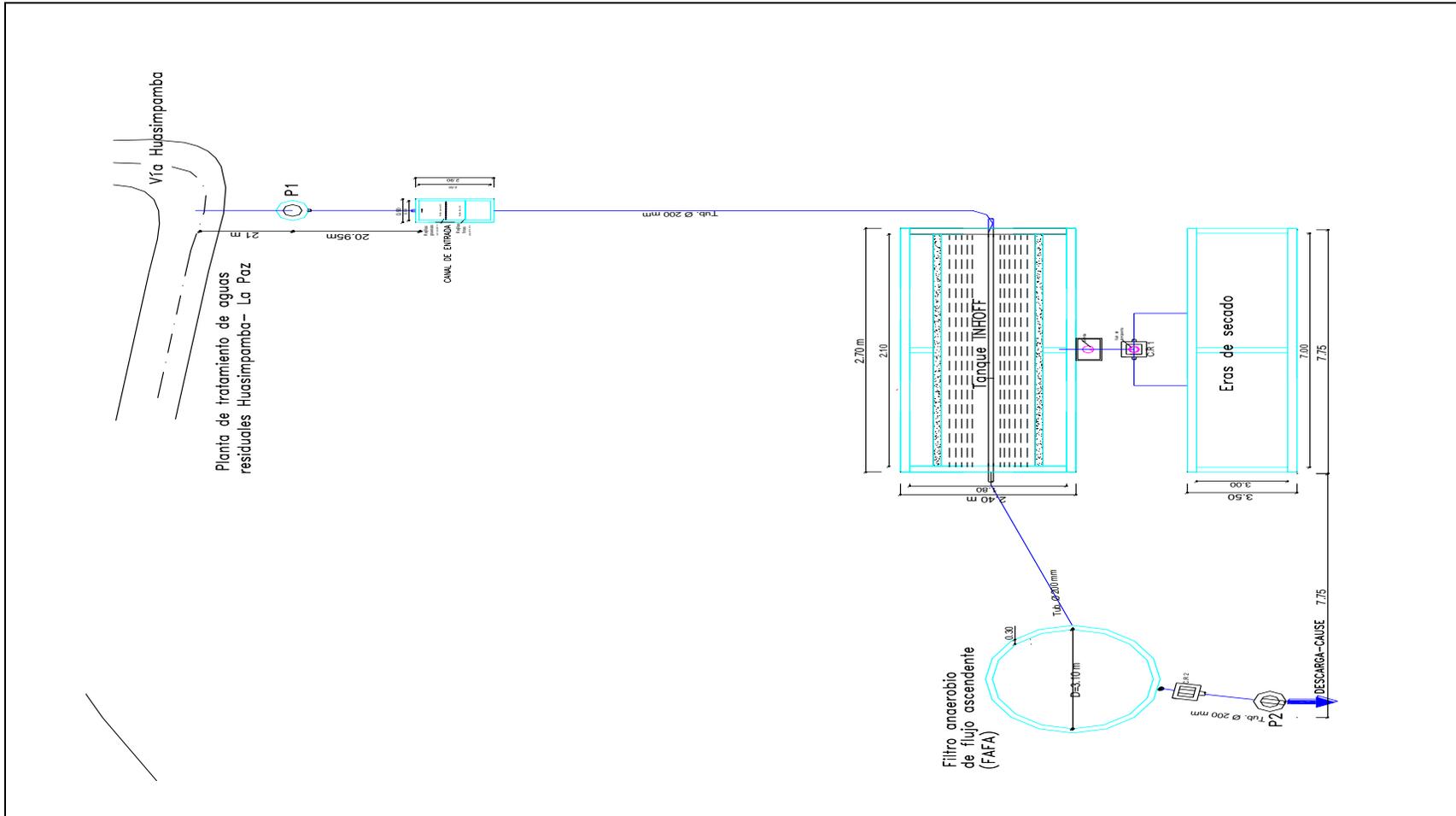
Contenido:
Actual PTAR Huasimpamba-La Paz

Elaborado:
Carolina Coba

Revisado:
Ing. Hugo Calderón

Lámina
1/6

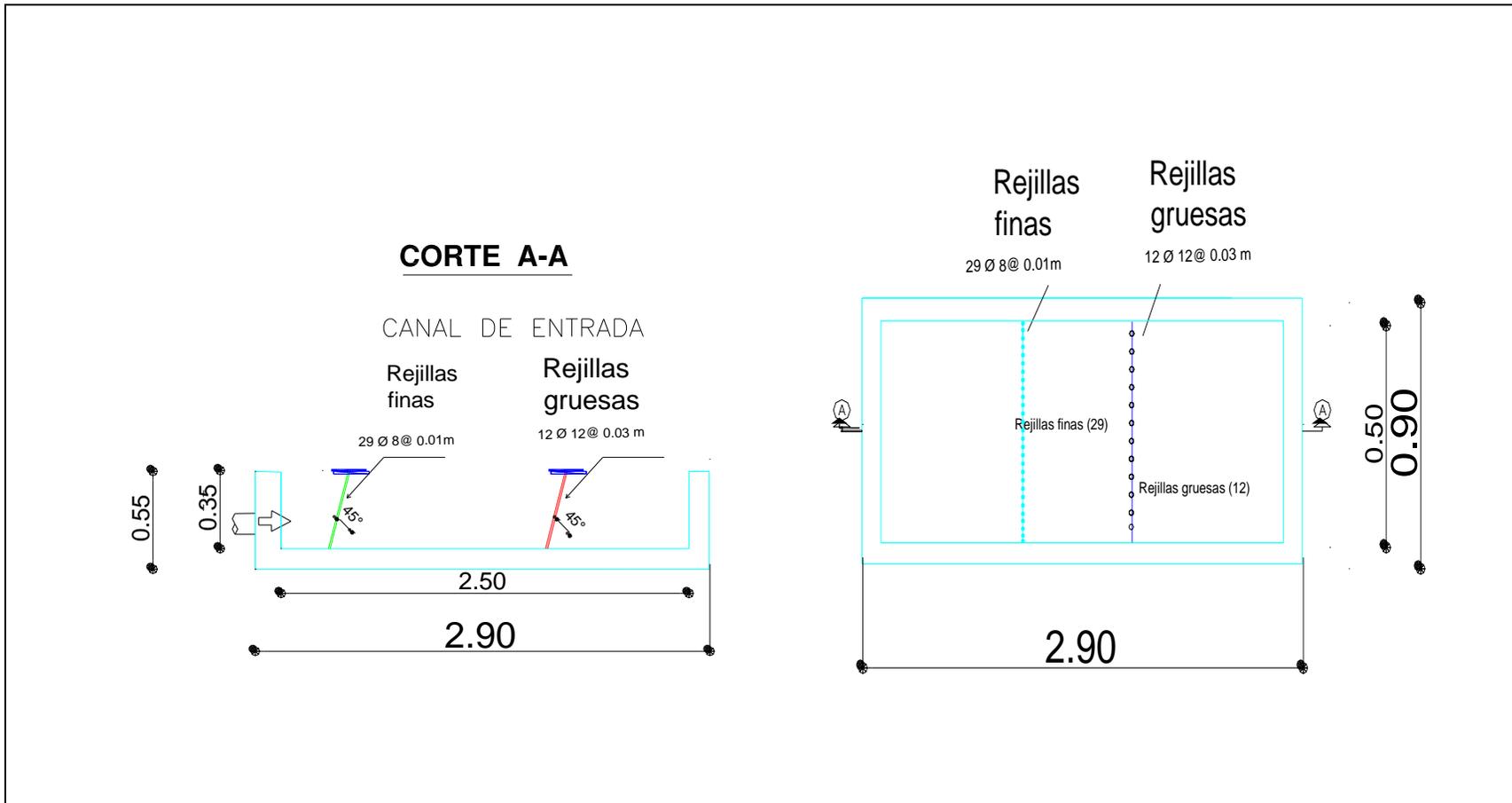
Anexo G. Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo



Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo

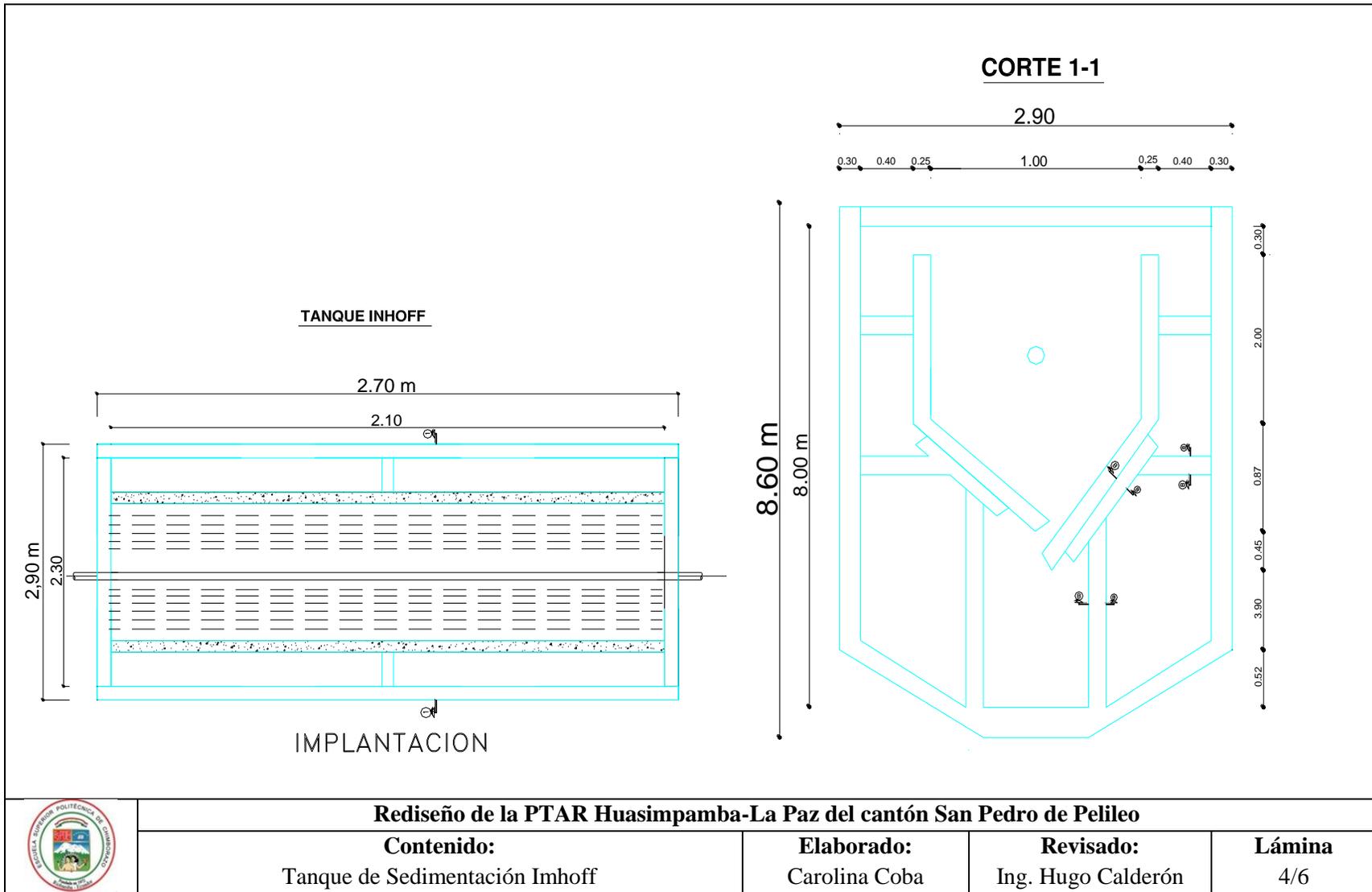
Contenido:	Elaborado:	Revisado:	Lámina
Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz	Carolina Coba	Ing. Hugo Calderón	2/6

Anexo H. Implantación para el Canal de Entrada y Sistemas de rejillas



	Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo			
	Contenido: Canal de entrada y sistema de rejillas	Elaborado: Carolina Coba	Revisado: Ing. Hugo Calderón	Lámina 3/6

Anexo I. Implantación del Tanque de Sedimentación Imhoff



Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo

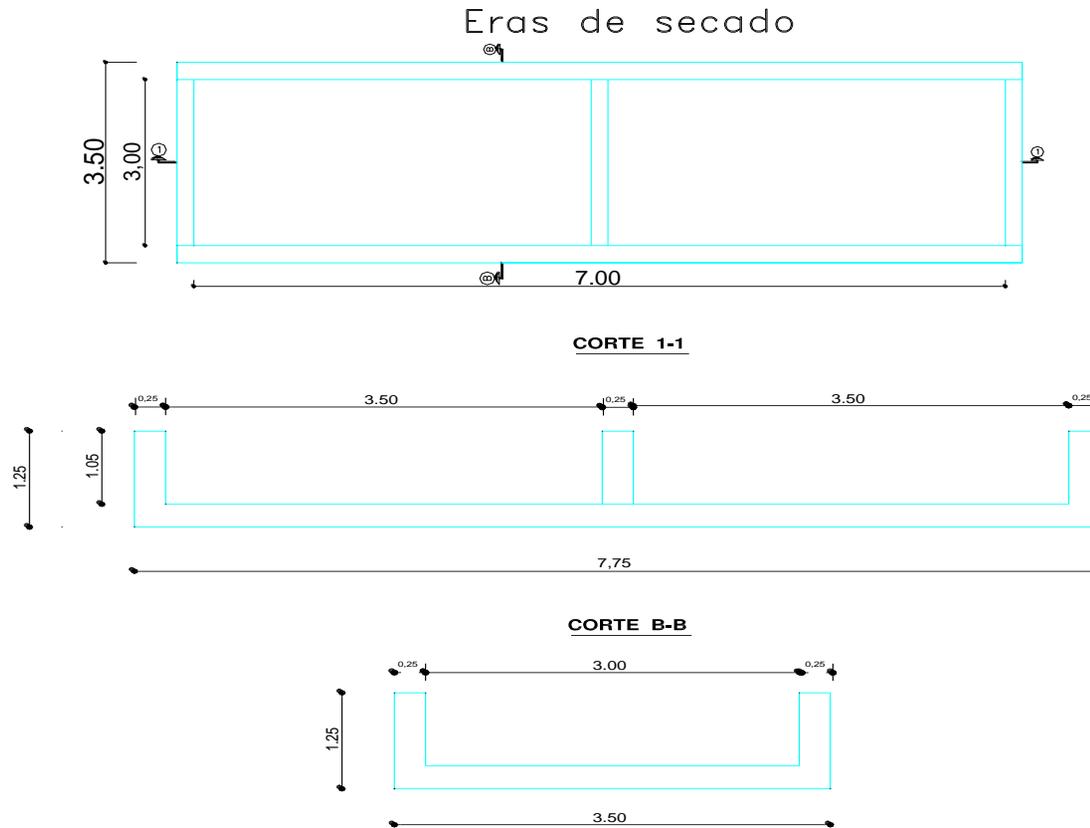
Contenido:
Tanque de Sedimentación Imhoff

Elaborado:
Carolina Coba

Revisado:
Ing. Hugo Calderón

Lámina
4/6

Anexo J. Implantación de las eras de secado



Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo

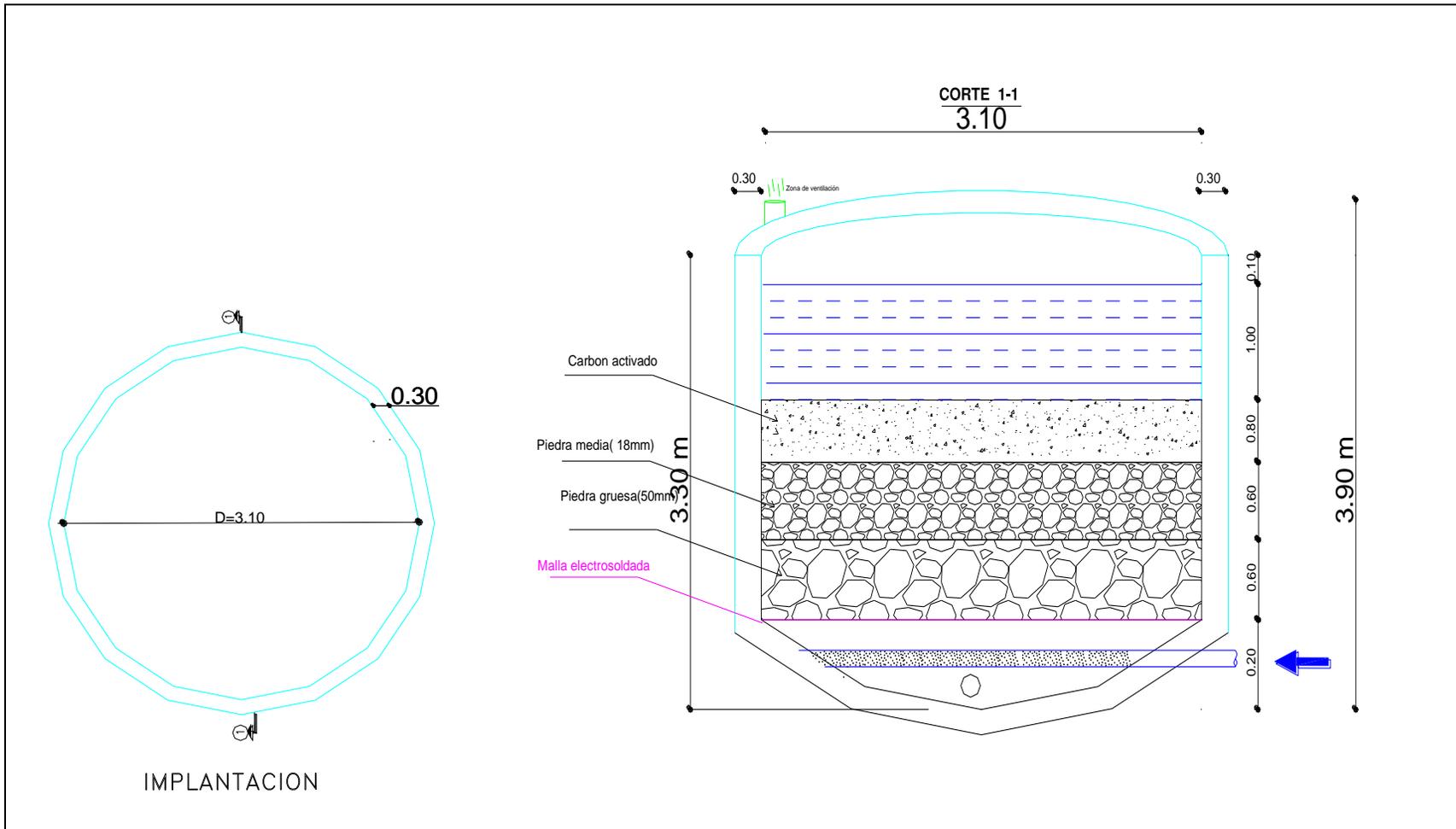
Contenido:
Eras de secado

Elaborado:
Carolina Coba

Revisado:
Ing. Hugo Calderón

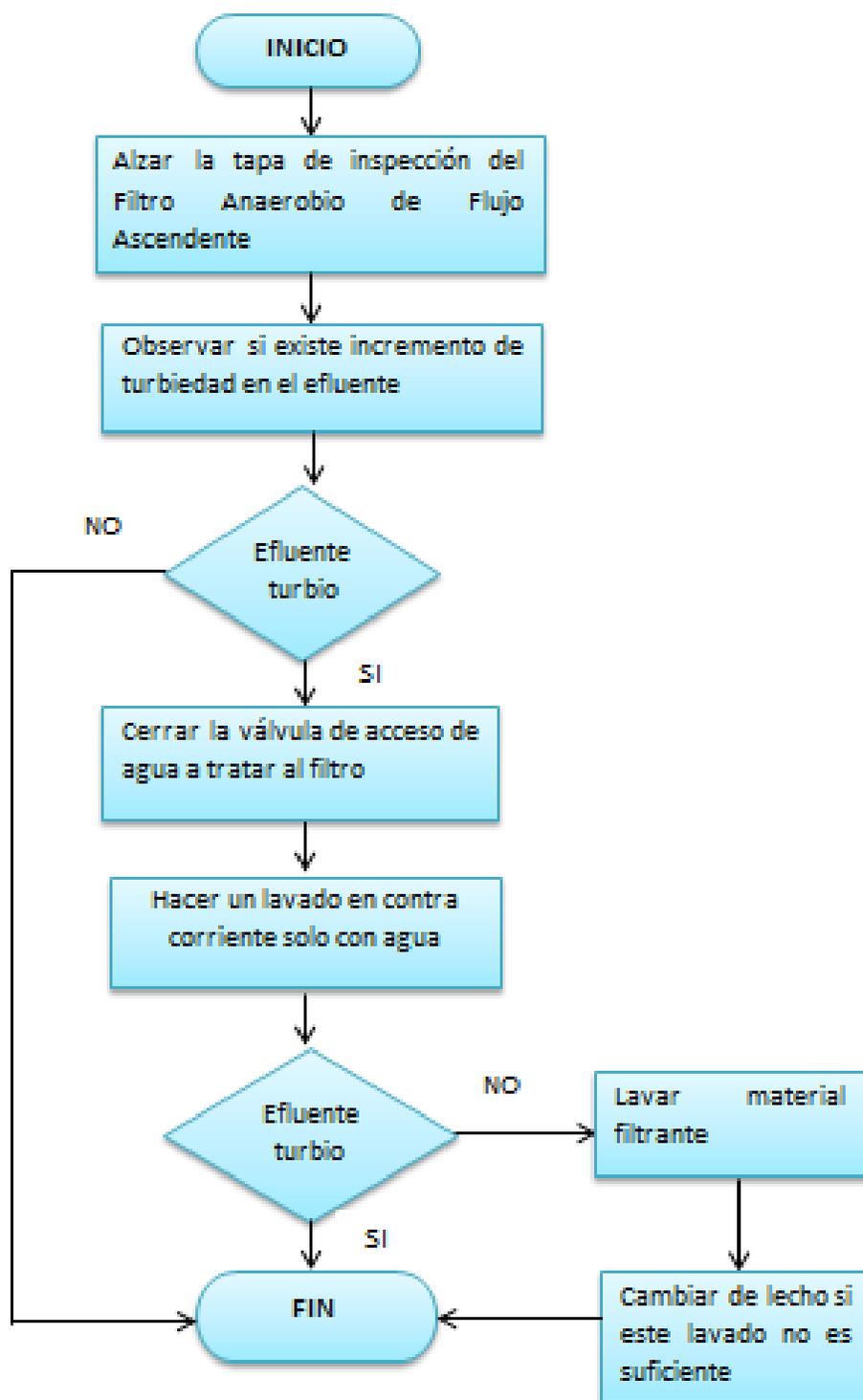
Lámina
5/6

Anexo K. Implantación del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)



	Rediseño de la PTAR Huasimpamba-La Paz del cantón San Pedro de Pelileo			
	Contenido: Filtro anaerobio de flujo ascendente	Elaborado: Carolina Coba	Revisado: Ing. Hugo Calderón	Lámina 6/6

Anexo L. Mantenimiento para el filtro anaerobio de flujo ascendente



Fuente: COBA, Carolina, 2015.