

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECÁNICAS DE  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA  
– LA CONVENCIÓN – CUSCO.

**PRESENTADO POR:**

Bach. Iván Rodrigo Oporto Jiménez

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

**ASESOR:**

Dr. Edgar Alfredo Catacora Acevedo

**"Tesis financiado por el programa Yachayninchis Wiñarinanpaq"**

CUSCO – PERÚ

2023

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: "ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE...  
INSTALACIONES MECÁNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA - LA CONVENCION - CUSCO"

presentado por: BACHILLER IVÁN RODRIGO OPORTO JIMÉNEZ

con Nro. de DNI: 44479081, para optar el título profesional/grado académico  
de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el  
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la  
UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3%

## Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<b>X</b>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y  
**adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de febrero de 2023



Firma

Post firma Dr. Edgar Alfredo Catacora Acevedo

Nro. de DNI 23983057

ORCID del Asesor 0000-0001-6182-9814

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio. <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/>
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: [oid:27259:202724683?locale=es](https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:202724683?locale=es)

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS MC PTAR FINAL 02-02-23.pdf**

AUTOR

**Ivan Oporto**

RECUENTO DE PALABRAS

**36017 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**183893 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**161 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**9.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 4, 2023 10:32 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 4, 2023 10:35 PM GMT-5****● 3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

## **PRESENTACIÓN**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica:

Señores Docentes Miembros del Jurado:

Conforme a lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad hago llegar ante ustedes la tesis intitulada: **ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECÁNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA – LA CONVENCIÓN – CUSCO**

La tesis está basada en la recopilación de la información existente del proyecto de construcción paralizado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba la misma que forma parte del Proyecto de Inversión llamado “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Quillabamba”. Y adicionalmente se compiló información de visitas técnicas, trabajo de campo, Estándares, Guías de Diseño y Normativa tanto nacional como internacional, todo con el soporte económico del programa “Yachayninchis Wiñarinampaq” de la Dirección General de Investigación de la Universidad.

El presente trabajo busca la integración de las áreas de conocimiento de la Ingeniería Mecánica con las Obras de Saneamiento relacionadas a la ejecución de Plantas de Tratamiento de Agua, las cuales tienen una alta demanda a nivel nacional e internacional.

Finalmente se espera que los temas desarrollados en este trabajo incentiven la elaboración de investigaciones en otras áreas de especialización de la Ingeniería Mecánica relacionadas al saneamiento y al medio ambiente.

Iván Rodrigo Oporto Jiménez

## **DEDICATORIA**

A mis padres Virginia y Julio por todo el amor incondicional y por ser ese pilar fundamental lleno de valores que me formaron como persona.

Para mis hermanos Alain y Rosa María, por sus enseñanzas.

Y para mi hermanito Emerson que desde el cielo guía mis pasos.

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos brindados en los años de vida universitaria y en especial a mi asesor el Doctor Edgar Alfredo Catacora Acevedo por aportar en la culminación de mi carrera profesional.

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por el soporte en la elaboración del presente trabajo de tesis.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Quillabamba está ubicada en el distrito de Santa Ana y es la capital de la provincia de La Convención en la región del Cusco, en la actualidad las aguas residuales que se generan a diario son vertidas a los cuerpos de agua aledaños sin ser descontaminadas, representando un peligro para la salud pública como también al medio ambiente.

Las autoridades locales iniciaron en el año 2007 el Proyecto de Inversión llamado “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Quillabamba” en cuyo Expediente Técnico se tenía entre sus componentes la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales o PTAR. A la fecha esta planta está inoperativa y la obra de ampliación se encuentra paralizada por deficiencias en el expediente técnico en diferentes especialidades, entre ellas el proyecto de instalaciones mecánicas. Adicionalmente la Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de Quillabamba (EMAQ) por limitaciones presupuestales no ha propuesto un proyecto de tratamiento de aguas servidas alternativo.

En el trabajo que a continuación se presenta se realizó un estudio de ingeniería para mejorar el proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba tomando como referencia las normas de construcción nacionales e internacionales y sobre la base de los expedientes técnicos primigenios de los años 2007 y 2017; los cuales determinaron el esquema de tratamiento y la distribución arquitectónica de planta existentes. En donde dentro del esquema de tratamiento propuesto se analizaron y mejoraron sus instalaciones mecánicas para de este modo elaborar el Expediente Técnico de Replanteo del componente de Instalaciones Mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba.

## RESUMEN

En la presente tesis se efectuó el análisis y mejora del proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba a nivel de Expediente Técnico de Replanteo, frente a su actual inoperatividad a causa de la paralización de las obras para su culminación. Esto debido principalmente a la falta del desarrollo de la ingeniería en el aspecto mecánico.

La PTAR de Quillabamba consta de infraestructura existente (inoperativa e inconclusa en mayor parte) que alberga las diferentes etapas de tratamiento: dos estaciones de bombeo, dos estaciones de tratamiento preliminar, cuatro reactores biológicos y una cámara de desinfección.

Para poder desarrollar un estudio de ingeniería, en principio se hizo un análisis situacional de la infraestructura existente y se determinaron los parámetros de funcionamiento de las instalaciones mecánicas que corresponden al caudal de aguas servidas y la carga contaminante.

Posteriormente se realizaron las mejoras a las instalaciones mecánicas presentes en la PTAR. Empezando por optimización del planteamiento actual de las dos estaciones de bombeo (EB - COCLA y EB - El Campesino) mediante un análisis hidráulico de los sistemas.

En los reactores biológicos se hizo el cálculo del sistema de colección de biogás y recuperación de gas residual mediante tuberías y torres de desorción, asimismo se seleccionó el equipamiento necesario para la correcta disposición de estos gases altamente nocivos.

En el siguiente capítulo se desarrollaron las especificaciones técnicas de los equipos y materiales a utilizarse en las instalaciones mecánicas de la planta de depuración.

Finalmente se realizaron los costos y presupuestos de las mejoras realizadas al proyecto de instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba.

Todo esto con el fin de que la estación de depuración funcione de manera confiable y eficiente, logrando de este modo que la ciudad de Quillabamba cuente con un adecuado servicio de tratamiento de aguas residuales y que el río Vilcanota deje de ser contaminado por sus aguas residuales. Asimismo se tiene la aplicación del enfoque multidisciplinario de este tipo de infraestructuras.

***Palabras clave:** Instalaciones mecánicas, tratamiento de efluentes, bombeo de aguas residuales, instalaciones de biogás, extracción de olores.*

## **ABSTRACT**

In this thesis, an analysis and improvements were made to the technical file of mechanical installations of the Quillabamba Wastewater Treatment Plant, in view of its current inoperability due to the stoppage of the works for its completion. This is mainly due to the lack of engineering development in the mechanical aspect.

The Quillabamba WWTP consists of infrastructure (mostly inoperative and unfinished) that houses the different treatment stages: two pumping stations, two preliminary treatment stations, four biological reactors and a disinfection chamber.

In order to carry out the engineering study, in principle, a situational analysis of the existing infrastructure was made and the operating parameters of the mechanical installations were determined, which are the wastewater flow and the pollutant load.

Subsequently, improvements were made to the treatment stages of the WWTP. Starting with the optimization of the current approach of the two pumping stations (EB - COCLA and EB - El Campesino) through a hydraulic analysis of the systems.

In the biological reactors, the calculation of the biogas collection system and the recovery of residual gas was made through pipes and desorption towers, and the necessary equipment was also selected for the correct disposal of these highly harmful gases.

In the next chapter, the technical specifications of the equipment and materials to be used in the Mechanical Installations of the purification plant were developed.

Finally, the measurements and unit cost analysis of the improvements made to the technical file of mechanical installations of the Quillabamba WWTP were carried out.

All this in order for the purification station to function reliably and efficiently, thus ensuring that the city of Quillabamba has a wastewater treatment service and that the Vilcanota river stops being polluted by its wastewater. There is also the application of the multidisciplinary approach to this type of infrastructure.

**Keywords:** *Mechanical equipment, wastewater treatment, wastewater pumping, biogas facilities, odor ventilation.*

## Contenido

PRESENTACIÓN.....	2
DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT.....	8
Lista de tablas .....	15
Lista de figuras.....	17
Lista de Acrónimos .....	19
CAPÍTULO I .....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.1. Situación problemática. ....	20
1.2. Formulación del problema.....	22
1.2.1. Problema general .....	22
1.2.2. Problemas específicos.....	22
1.3. Justificación.....	22
1.4. Objetivos.....	23
1.4.1. Objetivo general.....	23
1.4.2. Objetivos específicos. ....	23
1.5. Sistema de hipótesis.....	24
1.5.1. Hipótesis general.....	24
1.5.2. Hipótesis específicas.....	24
1.6. Metodología de la investigación.....	25
1.6.1. Tipo de investigación.....	25
1.6.2. Diseño de la investigación. ....	25

1.7.	Variables e indicadores.....	26
1.8.	Alcances y limitaciones.....	26
1.8.1.	Alcances.....	26
1.8.2.	Limitaciones.....	28
1.9.	Descripción de la zona de estudios.....	28
1.9.1.	Ubicación.....	28
1.9.2.	Ámbito del proyecto.....	29
1.10.	Descripción de la infraestructura existente de la PTAR de Quillabamba.....	30
1.10.1.	Estaciones de bombeo.....	31
1.10.2.	Primer desarenador (Estación de Pre Tratamiento Puente Maenique).....	33
1.10.3.	Segundo desarenador (Estación de pretratamiento de Chaquimayo).....	35
1.10.4.	Reactores Anaerobios de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (UASB).....	37
1.10.5.	Caseta de Cloración.....	40
1.10.6.	Filtro Biológico Percolador.....	41
CAPÍTULO II.....		44
2.	MARCO TEÓRICO.....	44
2.1.	Antecedentes del problema.....	44
2.2.	Bases teóricas.....	46
2.2.1.	Características del agua.....	46
2.2.2.	Compuestos en el agua.....	46
2.2.3.	Agua potable.....	47
2.2.4.	Aguas residuales.....	47
2.2.5.	Tipos de aguas residuales.-.....	47
2.2.6.	Composición de las aguas residuales.....	48
2.3.	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	49
2.3.1.	Pretratamiento.....	49

2.3.2.	Tratamiento primario o mecánico.....	52
2.3.3.	Tratamiento secundario o biológico.....	54
2.3.4.	Tratamiento terciario o adicional.....	55
2.3.5.	Tratamiento de lodos.....	56
2.4.	Instalaciones mecánicas.....	56
2.4.1.	Instalaciones hidráulicas .....	57
2.4.2.	Pérdidas de carga en tuberías de agua.....	58
2.4.3.	Altura dinámica de bombeo de aguas residuales .....	58
2.4.4.	Golpe de ariete .....	59
2.4.5.	Pérdidas de carga en tuberías de biogás.....	62
2.4.6.	Pérdidas de carga en ductos de gas residual .....	63
2.4.7.	Instalaciones de ventiladores y sopladores .....	65
2.5.	Marco conceptual.....	66
CAPÍTULO III.....		68
3.	PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE REPLANTEO .....	68
3.1.	Introducción.....	68
3.2.	Caudal de aguas residuales en la ciudad de Quillabamba .....	69
3.2.1.	Vertimiento de desagüe en la ciudad de Quillabamba.....	69
3.2.2.	Caudal poblacional de aguas residuales.....	71
3.2.3.	Medición del consumo de agua potable actual. ....	73
3.2.4.	Estimación del caudal de aguas residuales actual.....	75
3.3.	Caudal afluente en planta de tratamiento existente .....	77
3.3.1.	Emisor sifón invertido.....	78
3.3.2.	Reactor anaerobio UASB.....	80
3.4.	Caudal de aguas residuales de replanteo. ....	83

CAPÍTULO IV.....	85
4. INSTALACIONES DE BOMBEO.....	85
4.1. Introducción.....	85
4.2. Replanteo de EB-01 “COCLA” .....	86
4.2.1. Cálculo de altura dinámica de bombeo .....	86
4.2.2. Cálculo de potencia hidráulica teórica .....	89
4.2.3. Verificación de golpe de ariete .....	89
4.3. Replanteo de bomba EB-02 “El Campesino” .....	94
4.3.1. Cálculo de altura hidráulica de bombeo.....	94
4.3.2. Cálculo de potencia hidráulica teórica .....	97
4.3.3. Verificación de golpe de ariete .....	97
CAPÍTULO V .....	100
5. INSTALACIONES DE BIOGÁS.....	100
5.1. Introducción.....	100
5.1.1. Desorción de gases residuales.....	101
5.1.2. Quemador de biogás .....	103
5.2. Colección y disposición de biogás de reactor UASB .....	104
5.2.1. Cálculo de diámetros y caídas de presión.....	105
5.2.2. Selección de soplador .....	106
5.2.3. Selección de quemador .....	107
5.2.4. Colección de gas residual en efluente.....	107
5.3. Extracción localizada reactor anaerobio.....	109
5.3.1. Cálculo del caudal de extracción .....	109
5.3.2. Dimensionamiento de ductos .....	110
5.3.3. Cálculo de pérdidas en ductos.....	112
5.3.4. Selección de extractor .....	112

CAPÍTULO VI.....	113
6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	113
6.1. Introducción.....	113
6.2. Características Técnicas de Equipos.....	113
6.2.1. Electrobomba sumergible 1 .....	114
6.2.2. Electrobomba sumergible 2 .....	115
6.2.3. Tanque amortiguador de golpe de ariete.....	116
6.2.4. Soplador de biogás .....	117
6.2.5. Quemador de gas.....	118
6.2.6. Extractor de gas residual.....	119
6.2.7. Biofiltro H <sub>2</sub> S.....	120
6.3. Características Técnicas de Tuberías, Válvulas y Accesorios.....	121
6.3.1. Tubería de agua residual en caseta de válvulas. ....	121
6.3.2. Válvula de control de flujo de agua residual .....	122
6.3.3. Válvula check de agua residual.....	122
6.3.4. Válvula de aire de triple efecto .....	123
6.3.5. Tubería de colección de biogás.....	124
6.3.6. Válvula solenoide de control de flujo de biogás .....	124
6.3.7. Arresta flama con regulador de presión .....	125
6.3.8. Ducto de gas residual .....	126
6.3.9. Manómetro de presión diferencial. ....	126
CAPÍTULO VII .....	127
7. METRADOS, PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.....	127
7.1. Introducción.....	127
7.2. Metrados. ....	127
7.3. Análisis de costos unitarios. ....	128

7.4. Presupuesto.....	137
7.5. Relación de Insumos.....	139
CONCLUSIONES .....	142
RECOMENDACIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA .....	146
ANEXOS .....	i
Ecuación de Hazen - Williams.....	i
Perfil hidráulico. ....	iii
Diagrama de flujo de procesos.....	iv
Zonificación de áreas de drenaje de aguas residuales.....	v
Relación de Planos.....	vi
Matriz de consistencia .....	xiii

### **Lista de tablas**

<b>Tabla 1:</b> Identificación de Variables e indicadores de la tesis.....	27
<b>Tabla 2:</b> Ubicación de componentes en la zona de estudios.....	28
<b>Tabla 3:</b> Compuestos en aguas residuales.....	48
<b>Tabla 4:</b> Coeficiente de ajuste por longitud de línea de impulsión.....	60
<b>Tabla 5:</b> Coeficiente de ajuste por pendiente de línea de impulsión .....	60
<b>Tabla 6:</b> Valores del coeficiente G para diferentes materiales de tuberías .....	61
<b>Tabla 7:</b> Criterios de cálculo de sobrepresión en función a la longitud y tipo de cierre.....	62
<b>Tabla 8:</b> Descripción de los puntos de vertimiento de desagüe .....	69
<b>Tabla 9:</b> Proyección de crecimiento poblacional al 2030.....	71
<b>Tabla 10:</b> Demanda de agua potable y caudal de aguas residuales de Quillabamba .....	72
<b>Tabla 11:</b> Conexiones de suministro de agua y desagüe de Quillabamba .....	74

<b>Tabla 12:</b> Descripción de los puntos de vertimiento de Quillabamba .....	76
<b>Tabla 13:</b> Comparativo de caudal afluente de aguas residuales a PTAR .....	77
<b>Tabla 14:</b> Velocidades de operación y pérdida de carga en emisor sifón invertido .....	79
<b>Tabla 15:</b> Caudal máximo permisible en emisor sifón invertido para $h_f = 9$ m.....	80
<b>Tabla 16:</b> Valores típicos de tiempo de detención hidráulica.....	81
<b>Tabla 17:</b> Velocidades de ascenso aceptables en reactor UASB .....	82
<b>Tabla 18:</b> Parámetros de salida obtenidos en reactores UASB de PTAR Quillabamba.....	83
<b>Tabla 19:</b> Comprobación de diámetros, velocidades y presiones dinámicas de EB-01 .....	87
<b>Tabla 20:</b> Pérdidas por longitud en árbol de descarga y línea de impulsión de EB-01 .....	87
<b>Tabla 21:</b> Pérdidas de carga por accesorios en manifold de descarga de EB-01 .....	88
<b>Tabla 22:</b> Pérdidas de carga por accesorios en línea de impulsión de EB-01 .....	88
<b>Tabla 23:</b> Coeficiente de ajuste empírico para valores diferentes de $\alpha = H_{max}/H_t$ .....	92
<b>Tabla 24:</b> Comprobación de diámetros, velocidades y presiones dinámicas de EB-02 .....	95
<b>Tabla 25:</b> Pérdidas por longitud en árbol de descarga y línea de impulsión de EB-02 .....	95
<b>Tabla 26:</b> Pérdidas de carga por accesorios en manifold de descarga de EB-02.....	96
<b>Tabla 27:</b> Pérdidas de carga por accesorios en línea de impulsión de EB-02 .....	96
<b>Tabla 28:</b> Parámetros de diseño y eficiencias de remoción de torres de desorción.....	102
<b>Tabla 29:</b> Selección de diámetros y estimación de velocidades de tuberías de biogás .....	106
<b>Tabla 30:</b> Cálculo y comprobación de velocidades con diámetros de ductos .....	111
<b>Tabla 31:</b> Pérdidas de carga por longitud y por accesorios de conductos .....	111

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> <i>Diseño de la investigación, según el método científico</i> .....	26
<b>Figura 2:</b> <i>Mapa de la zona de estudios en la localidad de Quillabamba</i> .....	29
<b>Figura 3:</b> <i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chaquimayo</i> .....	31
<b>Figura 4:</b> <i>Bombas en cámara húmeda EB-01 y válvulas en cámara seca EB-0</i> .....	32
<b>Figura 5:</b> <i>Estación de bombeo EB-02 y acceso a cámara seca y húmeda EB-02</i> .....	33
<b>Figura 6:</b> <i>Estación de Pre Tratamiento Puente Maenique</i> .....	34
<b>Figura 7:</b> <i>Desarenador en PTAR Chaquimayo</i> .....	36
<b>Figura 8:</b> <i>Parte superior de Reactor anaeróbico de flujo ascendente UASB-01</i> .....	37
<b>Figura 9:</b> <i>Sección transversal reactor UASB y fondo de reactor UASB</i> .....	38
<b>Figura 10:</b> <i>Tuberías de colección de biogás en reactor anaeróbico UASB-01</i> .....	39
<b>Figura 11:</b> <i>Bombas elevadoras de presión para sistema de cloración</i> .....	40
<b>Figura 12:</b> <i>Vistas de planos de filtros biológicos percoladores</i> .....	42
<b>Figura 13:</b> <i>Nivel de fundación de filtros biológicos percoladores con nivel freático</i> .....	43
<b>Figura 14:</b> <i>Dimensiones de los compuestos en el agua</i> .....	46
<b>Figura 15:</b> <i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Jerónimo</i> .....	49
<b>Figura 16:</b> <i>Cribas (cámara de rejillas) de limpieza manual</i> .....	50
<b>Figura 17:</b> <i>Cribas con mecanismo de limpieza mecanizada tipo hidráulico</i> .....	50
<b>Figura 18:</b> <i>Vista típica estación de bombeo de aguas residuales</i> .....	51
<b>Figura 19:</b> <i>Desarenador en pretratamiento de aguas residuales</i> .....	52
<b>Figura 20:</b> <i>Sedimentador circular</i> .....	53
<b>Figura 21:</b> <i>Filtro de doble capa de flujo descendente</i> .....	53
<b>Figura 22:</b> <i>Biofiltro percolador con brazos rotativos</i> .....	54
<b>Figura 23:</b> <i>Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente o UASB</i> .....	55

<b>Figura 24:</b> <i>Tratamiento de lodos</i> .....	56
<b>Figura 25:</b> <i>Interfaz del software “ASHRAE Duct Fitting Database”</i> .....	65
<b>Figura 26:</b> <i>Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales de Quillabamba</i> .....	70
<b>Figura 27:</b> <i>Variación horaria de consumo de agua potable en reservorio Santa Ana</i> .....	74
<b>Figura 28:</b> <i>Diagrama esquemático de los sistemas de bombeo EB-01 y EB-02</i> .....	85
<b>Figura 29:</b> <i>Curva del sistema para la Estación de Bombeo COCLA EB-01</i> .....	89
<b>Figura 30:</b> <i>Curva del sistema para la Estación de Bombeo “El Campesino” EB-02</i> .....	97
<b>Figura 31:</b> <i>Diagrama de las instalaciones de biogás en la PTAR de Quillabamba</i> .....	101
<b>Figura 32:</b> <i>Torre de desorción de aguas residuales</i> .....	102
<b>Figura 33:</b> <i>Esquema de instalación de un quemador de llama cerrada</i> .....	103
<b>Figura 34:</b> <i>Interfaz del software “Probio 1.0”</i> .....	104

## **Lista de Acrónimos**

**ANA:** Autoridad Nacional del Agua

**ANSI:** American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Estándares)

**ASHRAE:** American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers  
(Sociedad Americana de Ingenieros de Aire Acondicionado y Refrigeración)

**AWWA:** American Water Works Association (Asociación Americana de Obras Hidráulicas)

**CONAGUA:** Comisión Nacional del Agua de México

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**EMAQ:** Empresa Municipal de Agua de Quillabamba.

**EPA:** Environmental Protection Agency (Agencia Americana de Protección Ambiental)

**EPSS:** Empresa prestadora de servicios de saneamiento.

**MPLC:** Municipalidad Provincial de La Convención

**PTAP:** Planta de tratamiento de agua potable.

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.

**RNE:** Reglamento Nacional de Edificaciones.

**SUNASS:** Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

**UASB:** Upward anaerobic sludge blanket (Reactor Anaerobio Flujo Ascendente).

**WEF:** Water Environment Federation (Federación Ambiental del Agua)

# **ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECÁNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA – LA CONVENCION – CUSCO.**

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Situación problemática.**

En la actualidad en el Perú, el diseño y construcción de plantas de tratamiento de agua residual está principalmente asociado a las especialidades de Ingeniería Civil y Sanitaria, sin embargo la necesidad de implementación de sistemas electromecánicos y equipamiento mecánico en el tratamiento de aguas precisa de la especialidad de Ingeniería Mecánica. Por lo que se puede decir que estos proyectos son de carácter multidisciplinario o interdisciplinario.

De acuerdo a la Japan Sewage Works Association (2013), una conformidad en el diseño y ejecución de las instalaciones mecánicas en el tratamiento de agua tiene un gran impacto en la confiabilidad y economía del servicio de saneamiento debido a la importancia de los roles que desempeñan. Por tal motivo en el desarrollo del Expediente Técnico de Instalaciones Mecánicas de la PTAR Quillabamba, como en todo proyecto de ingeniería correspondiente a esta especialidad, se debe considerar en el diseño de instalaciones mecánicas los aspectos de mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, transferencia de masa y momento, teorías de electricidad y de la información, las mismas que involucran el enfoque del diseño en la Ingeniería Mecánica (Budynas, 2014).

Por otra parte de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma Técnica OS. 090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” (Ministerio de Vivienda, Construcción

y Saneamiento, 2006) se tiene al diseño mecánico e hidráulico entre los componentes del diseño definitivo de la planta de tratamiento. Asimismo en la Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010) en su capítulo HU.3 “Infraestructura Sanitaria” se detallan las partidas de primer orden del Expediente Técnico, donde se tiene entre sus partidas usuales a las plantas de tratamiento de aguas residuales, estaciones de bombeo de aguas residuales, instalaciones hidráulicas e instalaciones electromecánicas; e indica son aplicables todas las partidas para obras de edificación (OE) entre ellas el sub capítulo OE. 5.6 “Equipos Eléctricos y Mecánicos”, donde en este sub capítulo se tienen partidas como bombas, sistemas de ventilación, sistemas de gases, etc. Esta secuencia distingue las partidas de primer orden las instalaciones mecánicas de las otras especialidades.

Dentro de las partidas que quedaron en el Expediente Técnico de Saldos de Obra de la PTAR de Quillabamba se tiene la ejecución de las Instalaciones Mecánicas que, en el Expediente Técnico primigenio, se ubicaron en las partidas de la componente de Instalaciones Hidráulicas lo que difiere parcialmente de la Norma Técnica de Metrados. La mayoría de éstas partidas fueron desarrolladas con metrados globales, ausencia de memoria de cálculos, planos de detalle y especificaciones técnicas que no son prolijas; lo que posibilita la omisión de componentes que son de importancia crucial para el correcto funcionamiento de la planta. Resultando así en un Expediente Técnico defectuoso que puede ocasionar problemas en la ejecución de la obra, controversias con las empresas contratistas, así como contratiempos en la fase de operación y mantenimiento.

## **1.2. Formulación del problema.**

En base a lo mencionado anteriormente, establecemos las siguientes cuestiones:

### **1.2.1. Problema general**

¿En qué medida se puede analizar y mejorar el proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba – La Convención – Cusco?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué forma se puede evaluar los parámetros hidráulicos de operación de la Planta de Tratamiento requeridos para realizar un replanteo de las instalaciones mecánicas?
- ¿Es posible verificar los parámetros hidráulicos y determinar sobrepresiones en las estaciones de bombeo de aguas residuales existentes?
- ¿De qué manera se puede evaluar las instalaciones de colección de biogás y gas residual en los reactores anaeróbicos?
- ¿Cuáles son las Especificaciones Técnicas de los principales materiales y equipos de las Instalaciones Mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba?
- ¿Cómo se puede llegar a determinar los costos del Expediente Técnico de replanteo de las instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba?

## **1.3. Justificación.**

Estableceremos cuatro perspectivas para justificar la elaboración de la presente tesis: social, medio ambiental, económico y académico.

Desde el punto de vista social, se beneficiará a la población de Quillabamba y la salud pública, los pobladores podrán hacer uso agrícola, de pesca y recreativo del recurso hídrico sin

riesgos de contaminación por aguas servidas. Adicionalmente los malos olores que pueden perjudicar a las viviendas aledañas serán mitigados.

Respecto al punto de vista medio ambiental, las aguas servidas producidas por la población serán descontaminadas antes de ser descargadas al río Vilcanota, lo que beneficiará a la biodiversidad aledaña a la zona y.

En cuanto a la justificación desde la perspectiva económica la E.P.S EMAQ, puede mejorar su recaudación por el servicio de tratamiento de desagüe y se evitarán sanciones económicas por vertimiento directo de aguas servidas a los cuerpos de agua.

Desde el punto de vista académico el presente trabajo aplica los conocimientos de la ingeniería mecánica en los sistemas de tratamiento de agua municipal. Por otro lado convoca a proyectistas e investigadores de la especialidad a dirigir su atención en proyectos de saneamiento de carácter interdisciplinario.

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

Desarrollar el análisis y la mejora del proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba. – La Convención – Cusco.

##### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Determinar los parámetros hidráulicos de la PTAR de Quillabamba, necesarios para el cálculo de las instalaciones mecánicas mediante una estimación de caudal de aguas residuales.
- Realizar los cálculos hidráulicos de bombeo, sobrepresión por golpe de ariete y seleccionar el equipamiento de protección de las estaciones de bombeo (COCLA y El Campesino)

- Calcular las redes de colección de biogás y gas residual procedentes del reactor anaerobio y seleccionar los equipos de manejo y disposición de gases.
- Establecer las Especificaciones Técnicas de los principales materiales y equipos de las Instalaciones Mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba
- Elaborar las partidas, metrados y análisis de costos unitarios del Expediente Técnico de Replanteo de las instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba en base a la Norma Técnica de Metrados.

## **1.5. Sistema de hipótesis.**

### **1.5.1. Hipótesis general.**

El análisis del proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba conlleva a su mejora y culminación.

### **1.5.2. Hipótesis específicas.**

- La estimación de caudal de aguas residuales permite determinar los parámetros hidráulicos para el cálculo de las instalaciones mecánicas.
- El desarrollo de los cálculos hidráulicos de bombeo y de golpe de ariete establecen la selección del equipamiento de protección de las estaciones de bombeo de aguas residuales de COCLA y El Campesino.
- Los cálculos de redes de colección de biogás y gas residual del reactor anaerobio UASB precisan la selección de equipamiento el manejo y disposición de gases.
- Es posible establecer las Especificaciones Técnicas de los principales materiales y equipos de las instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba, necesarias para su adquisición.

- Las partidas, metrados y análisis de costos unitarios del Expediente Técnico de Replanteo de las instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba pueden ser elaboradas en base a la actual Norma Técnica de Metrados.

## **1.6. Metodología de la investigación.**

### **1.6.1. Tipo de investigación.**

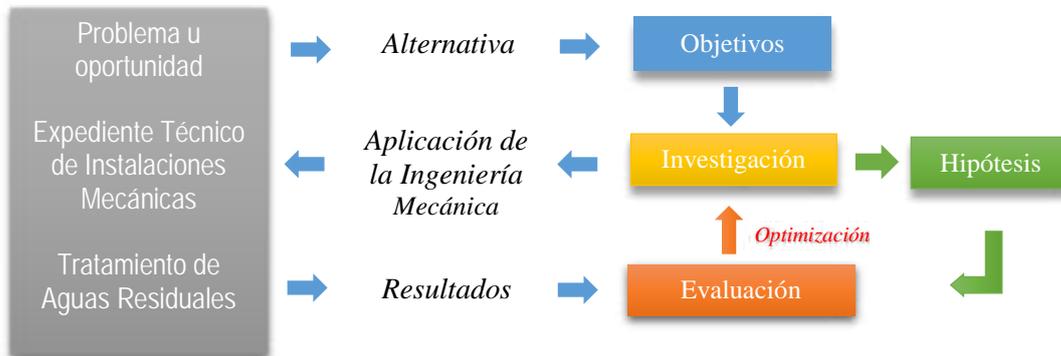
La presente investigación es del tipo aplicada y nivel descriptivo y, debido a su índole y a las características del problema identificado; esto en base a que se hace una descripción así como una evaluación crítica sobre la situación e información ya disponible para luego aplicar los conocimientos de la ingeniería mecánica en la solución del problema.

### **1.6.2. Diseño de la investigación.**

Se utilizó un método no experimental y transversal donde se realizó la recolección de información de manera puntual y objetiva, con la finalidad de aplicar el diseño de investigación en un proyecto de ingeniería.

Vara Horna (2012) señala que: “El método de investigación en ingeniería tiene la siguiente secuencia: identificación del problema u oportunidad, revisión del estado de arte y trabajo previo, determinación de parámetros de diseño, planteamiento de solución y por último la validación de la propuesta”. En la figura 1 se muestra el diseño de la presente investigación de acuerdo a lo planteado por el autor citado.

**Figura 1**  
*Diseño de la investigación, según el método científico*



Fuente: Elaboración propia, adaptado de “La investigación en ingeniería: problemática y naturaleza”, Conferencia en la Universidad Ricardo Palma, Vara Horna (2012)

### 1.7. Variables e indicadores.

El presente trabajo, al ser una tesis descriptiva, enfocada principalmente en la descripción del objeto de estudio, presenta una variable única.

**Variable independiente:** Agua residual cruda.

**Variable dependiente:** Agua depurada.

### 1.8. Alcances y limitaciones.

#### 1.8.1. Alcances.

- El presente estudio alcanza el desarrollo a nivel de un Expediente Técnico para completar un saldo de obra de la Especialidad de Instalaciones Mecánicas de la construcción de la PTAR de Quillabamba.
- Se hizo el estudio y replanteo de las estaciones de bombeo en base a las obras civiles ya construidas, como parte de la conducción de aguas servidas hacia la PTAR.
- En el presente trabajo se realizó la evaluación del caudal afluente a la PTAR en las obras hidráulicas ya construidas.

- Se hizo el estudio y replanteo de la colección y disposición del biogás generado en los reactores biológicos anaeróbicos.

**Tabla 1**  
*Identificación de Variables e indicadores de la tesis.*

Variable	Dimensión	Definición Operacional	Indicadores	Unidad
Agua residual cruda	Caudal poblacional	Demanda de agua potable y caudal de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caudal máximo horario.</li> <li>•Caudal medio.</li> </ul>	l/d, m <sup>3</sup> /s, l/s
	Altura geométrica	Cabezal hidráulico o capacidad de carga hidráulica disponible del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Altura piezométrica</li> <li>•Carga hidráulica.</li> </ul>	m, cm, mm
	Parámetros del agua residual	Características físico – químicas del agua cruda/residual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Temperatura.</li> <li>•Densidad.</li> <li>•Concentración de contaminantes.</li> </ul>	°C kg/m <sup>3</sup> mg/l
Agua depurada	Caudal afluente	Cantidad de fluido en reactores, sistemas de tuberías, equipos, afluentes y efluentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caudal de diseño.</li> <li>•Caudal de biogás</li> <li>•Caudal de gas residual</li> </ul>	de de m <sup>3</sup> /s, l/s
	Presión	Presión estática o altura dinámica total del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Presión estática.</li> <li>•Altura dinámica</li> <li>•Pérdidas de carga</li> </ul>	m, cm, mm
	Potencia	Potencia requerida por los equipos eléctricos y mecánicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Potencia mecánica y eléctrica.</li> </ul>	y kW
	Calidad del efluente.	Parámetros físico – químicos del agua tratada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Concentración de componentes físico – químicos y biológicos.</li> </ul>	mg/l – DBO y DQO

Fuente: Elaboración propia

### 1.8.2. Limitaciones

- Los estudios efectuados se desarrollaron de acuerdo con la obra civil ejecutada y paralizada.
- El análisis físico químico del proceso anaeróbico de producción de biogás se desarrolló a través de un paquete informático PROBIO 1.0 (Brasil).
- En el presente estudio no se desarrollaron los análisis de los sistemas eléctricos y de control por ser parte de otra especialidad de ingeniería.
- El equipamiento de colección y disposición de residuos sólidos (basura y línea de lodos) en la PTAR no fueron objeto de estudio del presente trabajo a razón de enlazar a conocimientos de otra especialidad (ingeniería ambiental).

### 1.9. Descripción de la zona de estudios.

#### 1.9.1. Ubicación

La zona de estudios se encuentra en la ciudad de Quillabamba. Las coordenadas de los componentes de la planta de tratamiento y estaciones previas se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Ubicación de componentes en la zona de estudios*

<b>Componente</b>	<b>Sector</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	<b>Coordenadas</b>
Desarenador	Chaquimayo	1003.00	18 L 749293.00 m E 8579132.00 m S
Reactores UASB	Chaquimayo	1001.00	18 L 749312.18 m E 8579147.39 m S
Lechos de secado	Chaquimayo	998.50	18 L 749333.80 m E 8579134.18 m S
Pre tratamiento	Puente Maenique	1020.00	18 L 749651.00 m E 8577758.00 m S
Estación de Bombeo EB-01	COCLA	1025.00	18 L 750509.00 m E 8575536.00 m S
Estación de Bombeo EB-02	Parque El Campesino	1030.00	18 L 750839.00 m E 8576553.00 m S

Fuente: Elaboración Propia

En la figura número 2 de la zona de estudios se muestra la ubicación de la PTAR de Quillabamba, la estación de tratamiento preliminar y estaciones de bombeo.

## **Figura 2**

*Mapa de la zona de estudios en la localidad de Quillabamba*



Fuente: Google Earth – Google (2020)

### **1.9.2. Ámbito del proyecto.**

#### **Ubicación Geográfica y Política**

La localidad de Quillabamba es la capital del distrito de Santa Ana y está ubicado en los territorios de la margen izquierda del río Vilcanota, presenta una topografía ondulada en las faldas de los cerros adyacentes entre las cotas 1130 m.s.n.m. y la cota 1025 m.s.n.m. teniendo como promedio para la ciudad los 1050 m.s.n.m. Limita al Norte con el Distrito de Echarate, hacia el Sur con el Distrito de Maranura, por el Este con el Distrito de Ocobamba y por el Oeste con el Distrito de Vilcabamba. La ubicación política es la siguiente:

- Región : Cusco
- Provincia : La Convención
- Distrito : Santa Ana
- Localidad : Quillabamba – sector Chaquimayo.

### **1.10. Descripción de la infraestructura existente de la PTAR de Quillabamba.**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba fue construida en el año 2011 con la ejecución del proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Quillabamba, distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, departamento de Cusco”, donde se proyectó tratar y reducir la carga contaminante de un caudal de 55 l/s de aguas servidas producidas por la población de Quillabamba, teóricamente hasta el año 2026, según Expediente Técnico de la MPLC (2011), posteriormente se elaboró una segunda etapa de ampliación en el año 2017, la que tendría una capacidad de tratamiento de 163 l/s hasta el año 20 de funcionamiento, la que hasta la fecha también se encuentra paralizada. En la figura 3 se enseña una vista actual de la planta de tratamiento de aguas residuales en el sector de Chaquimayo de la localidad de Quillabamba.

La primera etapa de la PTAR de la ciudad de Quillabamba fue construida el año 2010, está constituida por los siguientes componentes:

- 02 Estaciones de bombeo (COCLA y El Campesino).
- 01 Desarenador (Estación de pretratamiento de Puente Maenique).
- 01 Emisor sifón invertido.
- 03 Repartidores de Caudal R1, R2 y R3.
- 02 Reactores Anaerobios de Manto de Lodos y flujo Ascendente (UASB)
- 04 Lechos de secado de lodos.
- 01 Cámara de contacto de cloro.
- 01 Caseta de cloración.

La segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales de Quillabamba, de acuerdo al Expediente Técnico del año 2017, se consideran los siguientes componentes adicionales:

- 01 desarenador (Estación de pretratamiento de Chaquimayo)
- 04 filtros biológicos percoladores.

- 02 sedimentadores secundarios.
- 01 sistema de desinfección por cloración.

**Figura 3**

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chaquimayo*



Fuente: Elaboración Propia

### 1.10.1. Estaciones de bombeo

#### **Sistema de Bombeo de Aguas Residuales COCLA (EB-01)**

Datos de la caseta de bombeo:

- Cámara de bombeo tiene un diámetro de 2.50 m y una altura útil de 1.20 m.
- Caseta de válvulas está en un área de 3.25 m por 2.10 m y una altura de 2.00 m.
- Caseta de Control de 7.84 metros por 4.85 metros y una altura de 3.50 metros.

#### **Estado Actual**

- El manifold de descarga hidráulico del sistema de bombeo se encuentra inoperativo e incompleto, siendo necesario la instalación de válvulas y dispositivos.
- No cuenta con un sistema de cribado (remoción de sólidos gruesos) previo al ingreso de la cámara de bombeo.

- No se cuenta con un sistema redundante de protección frente a fenómenos transitorios como son el golpe de ariete y la separación de columnas de agua.
- No se tiene definido un sistema de arranque de los motores eléctricos de las electrobombas.
- No se cuenta con un suministro de energía eléctrica de respaldo, en caso de fallo de la red eléctrica pública.

#### **Figura 4**

*Bombas en cámara húmeda EB-01 (izquierda) y válvulas en cámara seca EB-01 (derecha)*



Fuente: Elaboración Propia

#### **Estación de Bombeo El Campesino (EB-02)**

Los componentes de la caseta de bombeo EB-02 son:

- Cámara de bombeo de diámetro igual a 2.10 m y una altura útil de 1.45 m.
- Cámara de válvulas de 3.20 x 2.10 m y una altura de 2.10 m.
- Caseta de Control de 7.84 x 4.85 m y una altura de 3.50m.

#### **Estado actual.**

- El árbol de descarga hidráulico de la cámara se encuentra inoperativo e incompleto, siendo necesario la implementación de válvulas y dispositivos de alivio.

- No cuenta con un sistema de cribado (remoción de sólidos gruesos) previo al ingreso de la cámara de bombeo.
- No se tiene definido un sistema de arranque de los motores eléctricos de las electrobombas.
- No se cuenta con un suministro de energía eléctrica de respaldo.

**Figura 5**

*Estación de bombeo EB-02 (izquierda) y acceso a cámara seca y húmeda EB-02 (derecha)*



Fuente: Elaboración Propia

**1.10.2. Primer desarenador (Estación de Pre Tratamiento Puente Maenique)**

Es una estructura de concreto armado que se ubica a 1.8 km aguas arriba de la Planta de Tratamiento de Chaquimayo junto al Puente Maenique. El afluente proviene de los interceptores Vilcanota y Chuyapi. En esta estructura se removerán los sólidos gruesos y arena contenida en las aguas servidas con la finalidad de proteger de obstrucciones el emisor sifón invertido y los demás componentes de la PTAR que se ubican aguas abajo. La estructura se divide en cinco zonas: cribas, entrada, desarenado, lodos y salida.

En la figura 6 se visualizan la estación de pre tratamiento de Puente Maenique.

## Rejilla gruesa Puente Maenique

Se ubican en la estación de pretratamiento en la margen derecha de la vía a Sambaray a 2.5 km de la ubicación de la planta. Tiene por finalidad retener cuerpos extraños o sólidos gruesos que puedan obstruir las tuberías de sifón invertido aguas abajo y/o alterar posteriormente el proceso de tratamiento. El espaciamiento libre entre barras es de 25 milímetros y la pendiente igual a 1.7%. Adicionalmente el diseño ha previsto un canal by pass (figura 20) para casos de exceso de caudal en que la rejilla se puedan saturar con residuos sólidos.

### Figura 6

*Estación de Pre Tratamiento Puente Maenique*



#### **Estado actual.-**

- No se cuenta con un medidor de caudal ni de parámetros.
- Las estructuras no cuentan con revestimiento contra la corrosión.
- La salida de la arena sedimentada termina en una válvula y descarga directamente al río Chuyapi.
- Las cribas proyectadas son manuales y no cuentan con un área de disposición de residuos.

- Las estructuras se ubican en la intemperie y se producen malos olores en caso de atascos.

### **1.10.3. Segundo desarenador (Estación de pretratamiento de Chaquimayo)**

Recibe el desagüe en su totalidad proveniente de la cámara de rejillas del Puente Maenique mediante los emisores sifón invertido de DN 315 mm y DN 250 mm. Esta estructura tiene la función de retener sólidos inertes (gruesos y finos) para proteger los reactores y equipos que se encuentran aguas abajo.

En la fotografía de la figura 7 se aprecia que las estructuras se ubican sobre el nivel del terreno, por lo que para facilitar la operación se construyeron escaleras y barandas para el desplazamiento sobre la plataforma del desarenador.

Para fines de mantenimiento se construyeron dos desarenadores paralelos, lo que permitirá el trabajo en conjunto o alternado, de forma que se pueda realizar la limpieza de cada desarenador mientras el otro funciona con normalidad sin la necesidad de parar la PTAR. Cada estructura se divide en cuatro zonas (entrada, desarenado, salida y sedimentación).

#### **Estado actual.-**

- En el proyecto no se implementa un medidor de caudal aguas arriba ni aguas abajo.
- La unidad de desarenador está concluida en su etapa de estructuras de concreto y no cuenta con revestimiento contra la corrosión.
- La salida de la arena sedimentada termina en una válvula sin tratamiento posterior.
- Las cribas proyectadas son manuales y no cuentan con un área de disposición de residuos.

- El sistema es redundante ya que se cuenta con una estructura similar en la estación de pre tratamiento del Puente Maenique que protege el emisor sifón invertido de obstrucciones por sólidos.

### **Figura 7**

*Desarenador en PTAR Chaquimayo*



Fuente: Elaboración Propia

### **Rejas finas PTAR Chaquimayo**

Componente añadido en la etapa de ampliación del proyecto (2017), está ubicada dentro de la Planta de Tratamiento en el sector de Chaquimayo antes de la zona de ingreso del desarenador, su espaciamiento es de 5 mm y está diseñado para retener los sólidos finos contenidos en el agua de desagüe doméstico que no pudieron ser removidos en las rejas gruesas aguas arriba.

#### **Estado Actual**

- Cámaras de rejas en estado de abandono.
- El sistema de limpieza es manual y el área donde se depositarán los sólidos cribados está expuesto a la intemperie en ambas cámaras de rejas. Lo que puede ser un foco de infección, atraer animales y ocasionar malos olores.

- Los materiales de construcción de las cribas son de acero al carbono en las rejas de Puente Maenique lo que no ofrece una resistencia a la corrosión.
- No se tiene proyectado un sistema de tratamiento ni disposición de sólidos removidos en ambas rejas.

#### 1.10.4. Reactores Anaerobios de Manto de Lodos y Flujo Ascendente (UASB)

Los reactores anaerobios de flujo ascendente son estructuras de concreto armado, el agua residual ingresa por el fondo llenando de forma ascendente el reactor (figura 9), elevándose hacia una zona de digestión donde se conforma un manto de lodos rico en microorganismos, que biodegrada la carga contaminante orgánica en condiciones anaerobias. Posteriormente el efluente asciende hacia la zona de decantación a través de unas aberturas en la parte superior del digestor. Finalmente el efluente es colectado en vertederos adosados a canales en ambos lados de los decantadores (figura 8) y luego conducidos hacia la siguiente etapa de tratamiento.

#### Figura 8

*Parte superior de Reactor anaeróbico de flujo ascendente UASB-01*



Fuente: Elaboración Propia

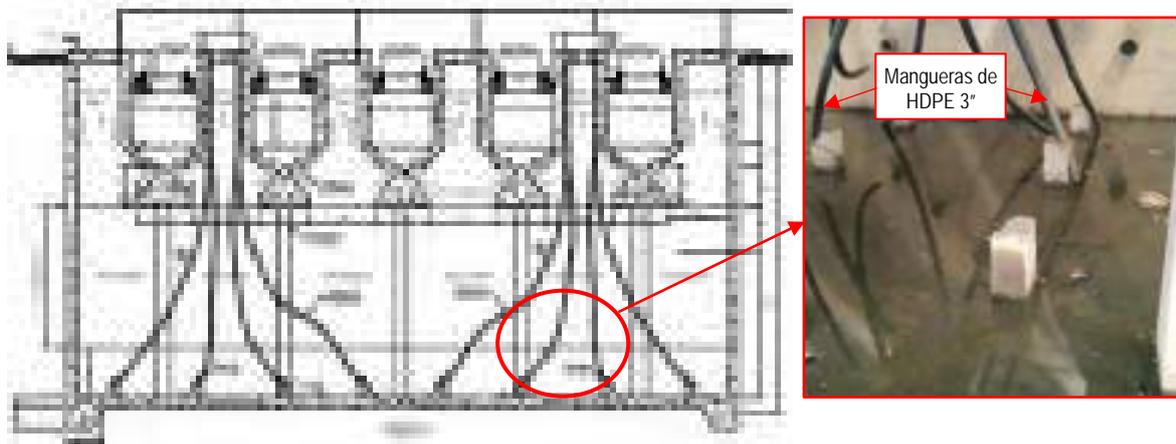
Los residuos sólidos se retienen en el reactor para su posterior descarte mientras que el biogás asciende junto con el efluente y para evitar su salida al exterior se tienen deflectores que “desvían” el ascenso del biogás de la zona de decantación hacia la cámara de gases.

**Estado actual.-**

- Estructuras de concreto armado en abandono y con filtraciones, sin revestimiento contra la alta corrosión del biogás.
- La zona de decantación está al aire libre y no tiene tapas (como se aprecia en la fotografía de la figura 8).
- Las cámaras de gases no cuentan con un drenaje de remoción de nata.
- Las tuberías de colección de biogás son de PVC y están deterioradas por la radiación solar.
- No se cuenta con un tratamiento y disposición final del biogás como subproducto de la depuración.

**Figura 9**

*Sección transversal reactor UASB (izquierda) y fondo de reactor UASB (derecha)*



Fuente: Expediente Técnico de PTAR – Municipalidad Provincial de La Convención (2007)

## Colección y disposición de Biogás UASB

Uno de los sub productos del tratamiento anaerobio en los reactores UASB es el biogás que se van a generar en la cámara de gases en la parte superior de los reactores mediante un separador de tres fases (nata, efluente y biogás). Este biogás será colectado por la parte superior de la cámara de gases a través de dos orificios tuberías de PVC de 1 pulgada de diámetro (figura10), donde deberá ser tratado por la EPS según el expediente técnico.

El proyecto considera un “Quemador de gases”, para quemar 40.83 Nm<sup>3</sup>/h de biogás que opera dentro del rango de 40% al 70% de concentración de metano.

### Figura 10

*Tuberías de colección de biogás en reactor anaeróbico UASB-01*



Fuente: Elaboración Propia

### Estado actual

- Se desconoce el criterio de selección de diámetros de tuberías de biogás.
- Los materiales de tuberías de colección de biogás (PVC) no ofrecen la resistencia mecánica ni la resistencia a la corrosión solicitada.
- El proyecto no tiene definido la ubicación ni los detalles del equipo Quemador de Biogás, así como sus elementos complementarios.

### 1.10.5. Caseta de Cloración

Está conformado por una edificación de un nivel con tres ambientes: uno para manipulación y almacenamiento de insumos, otro para laboratorio y un ambiente para el proceso de cloración.

El sistema de cloración consiste en un sistema de dosificación de cloro gas con cloradores manuales de 100 lb/día, inyectores tipo venturi y electrobombas de presurización o “boosters” de 1.5 HP (figura 11). La difusión en el agua se producirá por inyectores de cloro accionados por la sobrepresión generada por las electrobombas.

El cloro gas es obtenido a través de botellas o bombonas de 2000 libras mediante un sistema de tuberías y válvulas.

#### **Figura 11**

*Bombas elevadoras de presión para sistema de cloración.*



Fuente: Elaboración Propia

#### **Estado actual.-**

- Edificación en estado de abandono.
- Los componentes del sistema de cloración (nuevos) en estado de abandono por la paralización.
- El tanque agua de suministro debe ser reubicado.

- La tubería de distribución y difusión de agua clorada demolida junto con la estructura de la cámara de contacto.

#### **1.10.6. Filtro Biológico Percolador**

Consiste en una estructura de concreto armado en forma de recipiente cilíndrico, con una losa de fondo perforada, este recipiente estará relleno con un lecho filtrante el cual se tiene proyectado con un material polimérico, el afluente se rociará por el área superior del lecho uniformemente y será colectado por canales ubicados en una segunda losa de la parte inferior del reactor (figura 12).

##### **Distribuidor de filtro percolador**

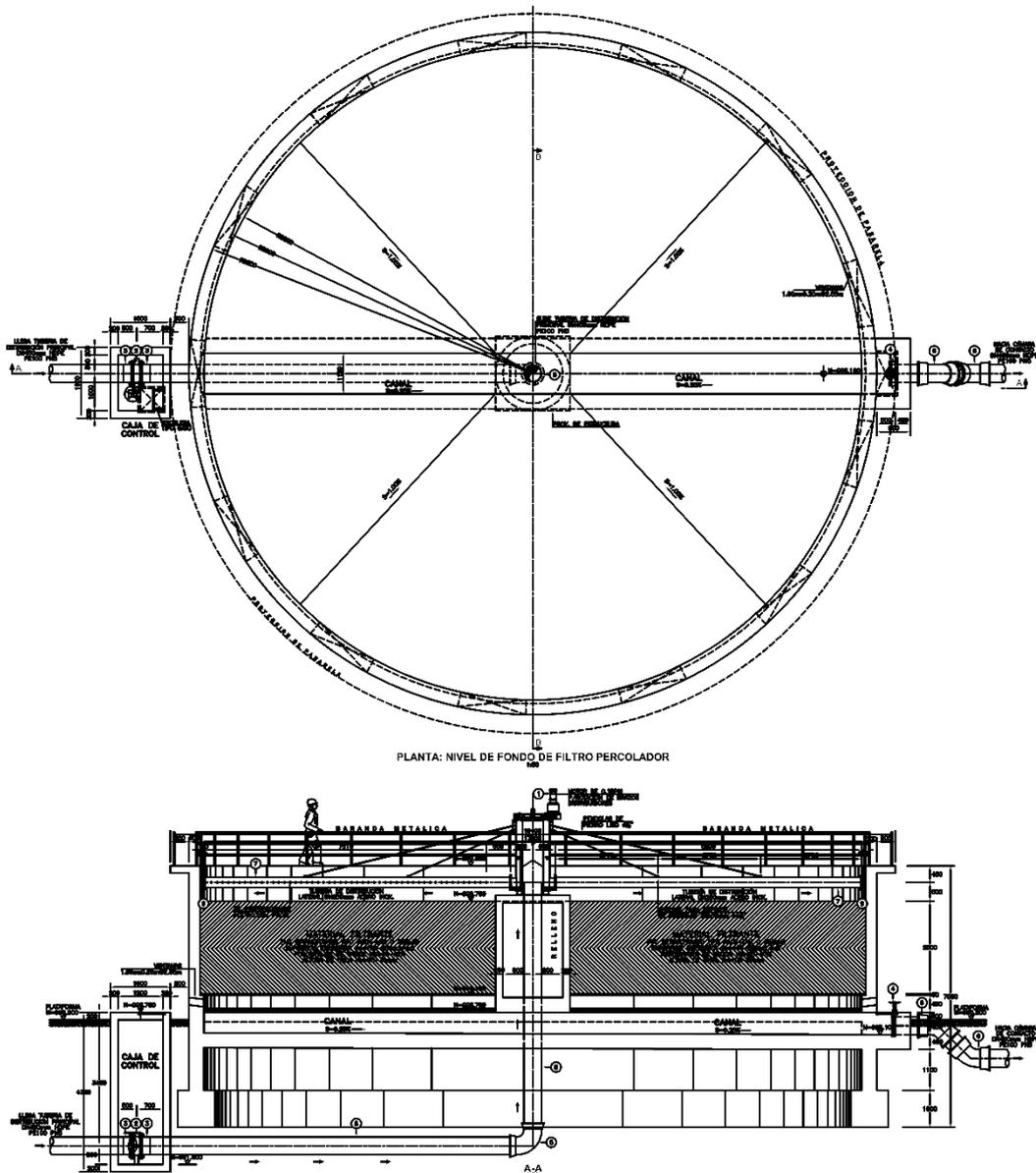
Corresponde a un distribuidor rotatorio de aguas residuales que consiste en 4 brazos de DN 250 de material Acero Inoxidable con orificios de 40 mm de diámetro cada 15 cm.

El afluente ingresará por la parte central del reactor hacia las tuberías o “brazos” del distribuidor que estarán fijadas a un sistema de pivote central motorizado el cual hará rotar el distribuidor y “regará” el agua residual sobre el material filtrante por acción del torque del motor y la fuerza centrípeta.

##### **Estado Actual.**

- La construcción se paralizó en la etapa de excavaciones.
- Se encontraron aguas freáticas en la excavación del nivel de fundación del filtro biológico (fotografía de la figura 13).
- El sistema de distribución rotatorio proyectado no está definido y no cuenta con especificaciones técnicas.

**Figura 12**  
*Vistas de planos de filtros biológicos percoladores*



Fuente: Expediente Técnico de PTAR – Municipalidad Provincial de La Convención (2017)

- No se tiene definido la carga hidráulica de operación del distribuidor de aguas residuales.
- El proyecto carece de la especificación técnica del tipo de motor y accionamiento electromecánico del mismo.
- No se tiene previsto un sedimentador secundario que remueva los sólidos del FBP.

- No se tienen detalles de fabricación y montaje de los distribuidores en los documentos del proyecto.

**Figura 13**

*Nivel de fundación de filtros biológicos percoladores con nivel freático*



Fuente: Informe de Preliquidación – Municipalidad Provincial de La Convención (2018)

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1. Antecedentes del problema.**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales.**

La Asociación de Obras Hidráulicas de Japón (2012), realizó la publicación: “Design criteria for water supply facilities – 2012” (“Criterios de diseño para instalaciones de suministro de agua – 2012”). En el capítulo 8 de la publicación en mención se desarrolla las instalaciones mecánicas en plantas de tratamiento de agua, donde se concluye que:

- “El planteamiento de las instalaciones mecánicas de las plantas de tratamiento de agua es de gran impacto en el aspecto económico y en la confiabilidad del servicio de saneamiento municipal, debido a la importancia de los roles que realizan en la operación de las plantas”.
- “Se tiene que garantizar una operación continua y segura de los servicios de saneamiento municipal”.
- “Las instalaciones mecánicas se deben diseñar de tal modo que se puedan adaptar a un reemplazo total o a una mejora en las etapas de tratamiento”.

Por otro lado Sevostianov et al. (2020) desarrollaron el artículo titulado “Development of the Scheme of the Installation for Mechanical Wastewater Treatment” (“Desarrollo del esquema de instalación de tratamiento mecánico de aguas residuales) publicado en la revista Journal of Ecological Engineering (2020) donde se presentaron alternativas para los esquemas de instalación de equipos para el tratamiento mecánico de residuos industriales y domésticos para incrementar la remoción de la carga contaminante. Se llevó a cabo un análisis de las

deficiencias de instalación del equipo implementado con el objetivo de mejorarlo. Como resultado, se propuso un esquema de instalación para el tratamiento mecánico continuo de aguas residuales con alta eficiencia de remoción. La instalación propuesta prevé un tratamiento en tres etapas mediante de dos pares de rejillas - para el tratamiento preliminar (eliminación de sólidos gruesos y medianos) y por filtración a través de dos tamices (eliminación de sólidos pequeños y finos). Según los autores la instalación tiene un diseño simple y confiable con bajos costos de energía. El artículo presenta las fórmulas para la determinación de los principales parámetros operativos del equipamiento: el cambio del área de sección transversal y los intervalos de limpieza de rejillas y tamices como la potencia de consumo de los equipos.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales.**

Vaca, (2016), realizó la tesis: “Planificación y gestión del sistema de montaje mecánico de tanques percoladores para la construcción de planta de tratamiento de aguas residuales Arequipa – 2015” en la cual la autor evaluó el funcionamiento, componentes y parámetros de operación de la PTAR de Arequipa, para posteriormente planificar y gestionar el montaje mecánico de los filtros biológicos percoladores, desde la etapa de cimentación hasta la instalación de equipamiento mecánico. Como conclusiones de la tesis mencionada se tiene en primer lugar que la planificación y gestión del montaje mecánico es incidente para lograr la culminación dentro de la fecha pronosticada y, en segundo lugar concluye que es necesario conocer los procedimientos y directrices del diseño mecánico de los tanques de filtros percoladores para realizar el planeamiento y gestión del montaje. Finalmente se concluye en la importancia del diagnóstico inicial del proceso de depuración (biológico) y sus parámetros, para el montaje.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Características del agua.

El agua es el líquido más importante sobre la Tierra y ocupa un 73% del planeta, sin presencia del agua la vida es imposible. Sólo un 0.5% de la cantidad de agua se encuentra en forma de agua dulce y en su mayoría se encuentra en el subsuelo (De Moel, 2006).

### 2.2.2. Compuestos en el agua.

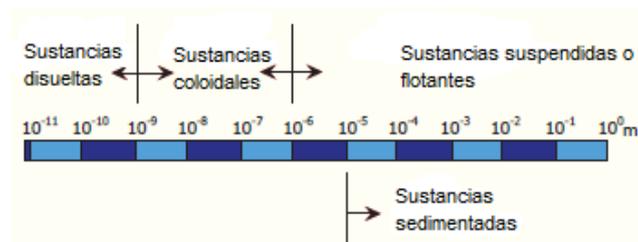
La TU Delft (2017) señala que el agua contiene diferentes compuestos químicos y biológicos, estos determinan sus principales características, estos compuestos se clasifican en:

- Materia sólida orgánica e inorgánica no disuelta.
- Compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos.
- Organismos superiores.
- Microorganismos patogénicos.

Aparte de los compuestos presentes en el agua en su estado natural, también se agregan compuestos contaminantes que son producto de actividades humanas. Esto debido a que el agua es un medio de transporte de una diversidad de materia y hasta de descarga de calor por actividades industriales, la figura número 14 muestra los tamaños de los componentes presentes en el agua.

#### Figura 14

*Dimensiones de los compuestos en el agua*



Fuente: Wastewater Lectures – TU Delft (2017)

### **2.2.3. Agua potable.**

El agua potable es aquel que está destinado para el consumo humano y debe cumplir determinados parámetros, esto con concentraciones de sus componentes que no representen un peligro para la salud pública (CONAGUA, 2007). Se obtiene a través de un tratamiento físico – químico de fuentes de agua fresca en su mayoría superficiales y subterráneas.

### **2.2.4. Aguas residuales.**

También conocidas como aguas municipales y provienen usualmente de los desagües vertidos por los hogares, instituciones, negocios e industria adicionalmente en las épocas de lluvia las precipitaciones pluviales contribuyen con la cantidad de aguas residuales de la ciudad (Metcalf & Eddy, 2014). Como subproducto de la actividad humana el agua residual es contaminada, y esto a su vez afecta la calidad del agua dentro del ciclo hidrológico (aguas subterráneas, aguas superficiales).

### **2.2.5. Tipos de aguas residuales.-**

Wills (2006), indica que la procedencia de las aguas residuales más comunes es:

- *Aguas residuales domésticas:* las que son descargadas desde los hogares, establecimientos comerciales, instituciones y edificios públicos, también son conocidas como aguas residuales sanitarias.
- *Aguas residuales industriales:* donde predomina la presencia de desechos industriales.
- *Infiltraciones:* estas aguas ingresan al sistema de colección a través de grietas.
- *Aguas pluviales:* resultado del escurrimiento de precipitaciones pluviales y tormentas de nieve.

### 2.2.6. Composición de las aguas residuales.

La composición de los parámetros de las aguas residuales varía según la ubicación del área de alcantarillado (zona residencial, comercial, industrial, etc.). Están compuestas por sólidos, compuestos biodegradables, compuestos no biodegradables, compuestos orgánicos, nutrientes, sustancias tóxicas, organismos patogénicos, sustancias radioactivas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

Los compuestos más importantes son detallados en la tabla número 3, en el tratamiento de aguas residuales para llegar a una calidad de efluente deseada la concentración de estos compuestos no deben superar ciertos valores límites.

Estos compuestos en su mayoría son contaminantes dentro los cuales se agrupan en contaminantes sólidos suspendidos y disueltos, las sustancias biodegradables, los nutrientes y los patógenos.

**Tabla 3**  
*Compuestos en aguas residuales*

Compuestos	Símbolo	Concentración
Demanda Química de Oxígeno	DQO	$\text{gO}_2/\text{m}^3$
Demanda Bioquímica de Oxígeno	$\text{DBO}_5^{20}$	$\text{gO}_2/\text{m}^3$
Nitrógeno Total	$\text{N}_{\text{TOTAL}}$	$\text{gN}/\text{m}^3$
Nitrógeno Amonio	$\text{NH}_4$	$\text{gN}/\text{m}^3$
Nitrito	$\text{NO}_2$	$\text{gN}/\text{m}^3$
Nitrato	$\text{NO}_3$	$\text{gN}/\text{m}^3$
Nitrógeno Kjeldahl	N-Kj	$\text{gN}/\text{m}^3$
Fósforo Total	$\text{P}_{\text{TOTAL}}$	$\text{gP}/\text{m}^3$
Ortofosfato	$\text{P}_{\text{ORTO}}$	$\text{gP}/\text{m}^3$
Sólidos secos	SS	$\text{g}/\text{m}^3$
Sólidos suspendidos totales	SST	$\text{g}/\text{m}^3$
Cloruro	$\text{Cl}^-$	$\text{g}/\text{m}^3$
Sulfuro	$\text{S}^{2-}$	$\text{g}/\text{m}^3$
Sulfato	$\text{S}_4^{2-}$	$\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: Wastewater Lectures – TU Delft (2017)

### 2.3. Planta de tratamiento de aguas residuales.

Es la agrupación de estructuras y sistemas de ingeniería (figura 15) que conforman los procesos que permiten la depuración de las aguas residuales producidas en las ciudades, para poder ser reutilizadas o devueltas a los cuerpos de agua aledaños sin que exista ningún riesgo de contaminación, (TU Delft, 2017).

#### **Figura 15**

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Jerónimo*



Fuente: Video informativo PTAR San Jerónimo – SEDACUSCO (2017)

A medida de que diferentes tipos de contaminación en el agua residual pueden presentarse, éste es tratado en etapas sucesivas donde mediante procesos mecánicos, biológicos y químicos se eliminan los sólidos, compuestos tóxicos y microorganismos patógenos, que contaminan las aguas residuales.

#### 2.3.1. Pretratamiento

##### **Cribado y tamizado.**

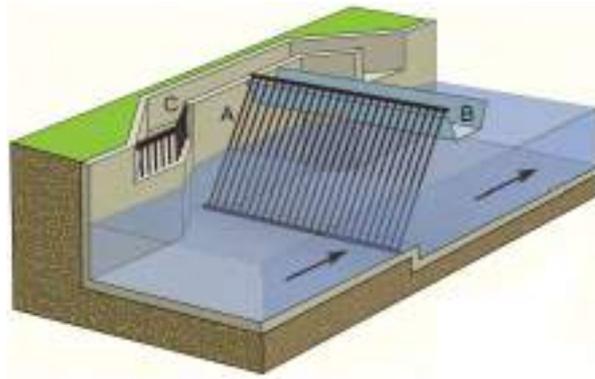
Las aguas residuales arrastran ciertos materiales sólidos como plásticos, madera, metales y materiales fibrosos. Estos sólidos pueden presentar ciertos inconvenientes en el proceso de tratamiento, que lo haría ineficiente y costoso, como por ejemplo capas flotantes en los tanques de digestión o la obstrucción de bombas, el tamaño de estos sólidos hace posible

que puedan ser removidos mediante cribas o tamices, usualmente se ubican antes y después de bombear los afluentes de aguas residuales.

Existen cribas de barras (rejas) y tamices (mallas) que son de limpieza manual (figura 16) y mecanizada (figura 17), su selección depende, principalmente de la cantidad de sólidos arrastrados en las aguas residuales y de las condiciones de operación.

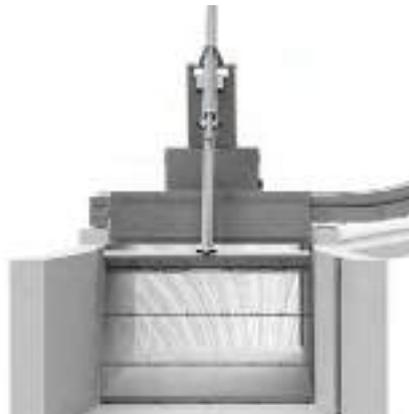
Los sólidos retirados deben ser aislados y tener un tratamiento adicional de residuos, en otro ambiente para evitar problemas de olores y contaminación por contacto directo.

**Figura 16**  
*Cribas (cámara de rejas) de limpieza manual*



Fuente: Wastewater Lectures – TU Delft (2017)

**Figura 17**  
*Cribas con mecanismo de limpieza mecanizada tipo hidráulico.*



Fuente: Catálogo Serie SC –API Trash Rakes & Screens (2018)

### **Elevación de aguas residuales.**

Consiste en la elevación de las aguas residuales mediante estaciones de bombeo ubicados en los puntos más bajos del sistema de alcantarillado, su función es la de distribuir aguas residuales a las etapas de tratamiento en donde no se cuenta con distribución por gravedad, debido a los caudales grandes que debe impulsar se debe considerar la energía que consumirá el sistema en la operación de la planta.

Las bombas que se utilizan en este tipo de aplicaciones (aguas negras) deben soportar el paso de sólidos de hasta 10 cm (Water Environment Federation, 2017), sin ningún riesgo de obstrucción, la configuración de instalación puede ser en cámara seca o cámara húmeda, según a las restricciones de espacio y facilidad de mantenimiento. Asimismo se debe instalar un sistema de bombeo que sea confiable y de servicio continuo, manteniendo un grupo de reserva en caso de parada por mantenimiento preventivo o de emergencia. Debiendo estar preparado para caudales extraordinarios en caso de lluvias e inundaciones.

### **Figura 18**

*Vista típica estación de bombeo de aguas residuales*



Fuente: Recomendaciones de diseño para estaciones de bombeo – Xyelm USA (2019)

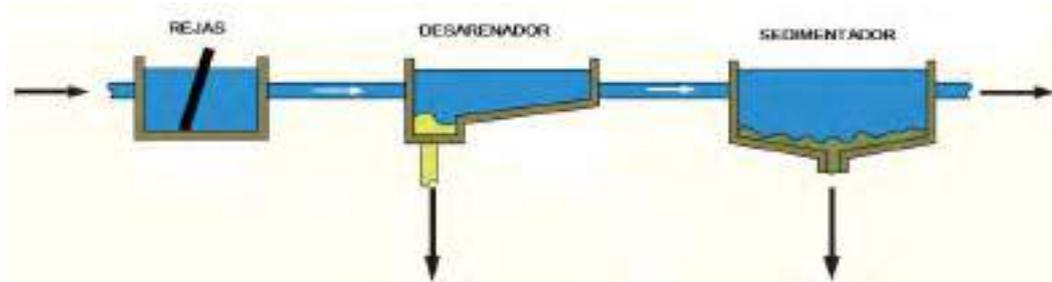
### **Desarenador.**

Es necesario para poder extender la vida útil y prevenir oclusiones de los componentes mecánicos (Metcalf & Eddy, 2014). También previene que se depositen capas de arena en los

tanques digestores para no mermar la eficiencia de biodegradación de componentes orgánicos. Su dimensionamiento está en función del caudal máximo de aguas residuales y la dirección del flujo de sedimentación. La ubicación del desarenador preferentemente es al inicio del proceso de purificación y se debe integrar a la línea de tratamiento de lodos (figura 19).

### **Figura 19**

*Desarenador en pretratamiento de aguas residuales*



Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy (2014)

### **2.3.2. Tratamiento primario o mecánico.**

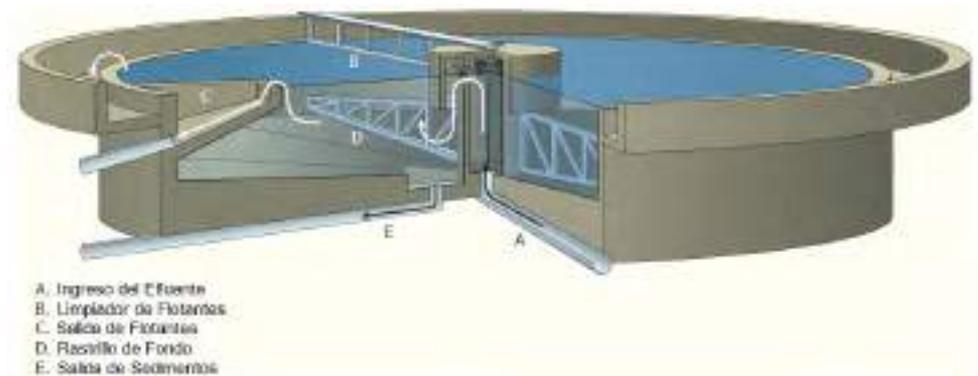
En esta etapa se realiza la separación de sólidos flotantes, grasas y aceites remanentes, por medio de procesos mecánicos, esto con el objetivo de proteger todos los componentes de obstrucciones no deseadas, mejorar la eficacia de las siguientes etapas del tratamiento y también reducir los costos de operación y mantenimiento (Japan Sewage Works Association, 2013).

#### **Sedimentación.**

Es el proceso físico donde las partículas suspendidas, como flóculos, arena y arcilla, son removidas del agua por gravedad y por un flujo determinado (Wills, 2006). Se produce naturalmente en reservorios e instalaciones compactas de sedimentación. Para su diseño es necesario determinar la velocidad de sedimentación, la turbulencia del flujo y la profundidad del canal.

Existen varios tipos de sedimentadores, horizontales, laminares, circulares, de flujo ascendente, etc. En el tratamiento de aguas residuales el más utilizado por razones de espacio es el circular, al cual se le adiciona un sistema mecánico de barrido del fondo (figura 20).

**Figura 20**  
*Sedimentador circular*

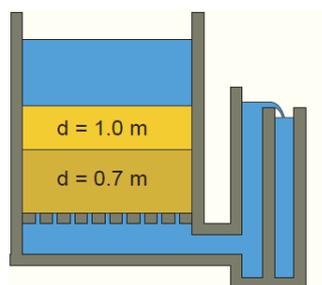


Fuente: Wastewater Lectures – TU Delft (2017)

- **Filtración.**

En este proceso de tratamiento el agua fluye a través de una capa permeable que puede ser una membrana, un medio poroso o un lecho de grava donde los sólidos suspendidos son retenidos, algunas sustancias son descompuestas bioquímicamente y algunos microorganismos patógenos son removidos (CONAGUA, 2007).

**Figura 21**  
*Filtro de doble capa de flujo descendente*



Drinking Water, Principle and Practices – P. J. De Moel (2007)

### 2.3.3. Tratamiento secundario o biológico.

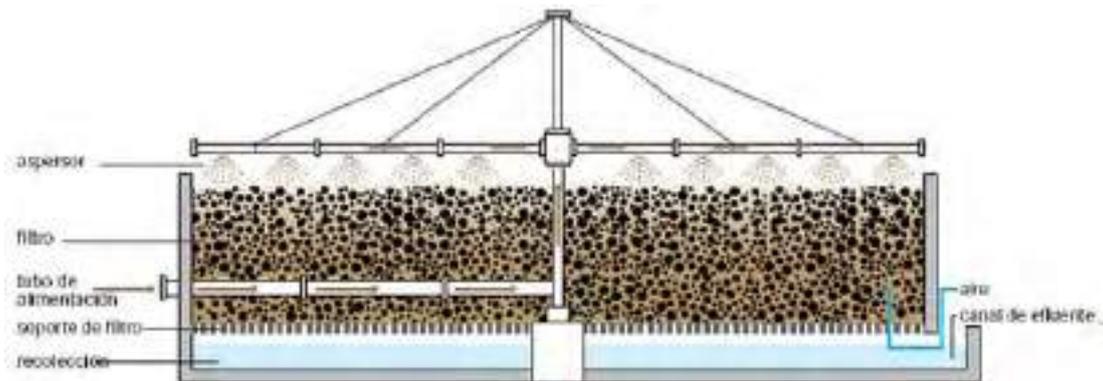
La reducción de componentes biodegradables como componentes orgánicos y nutrientes se lleva a cabo en esta etapa, la desestabilización de materia orgánica se desarrolla biológicamente usando diferentes microorganismos, principalmente bacterias (Metcalf & Eddy, 2014). Una correcta selección de este tipo de tratamiento se refleja en la calidad del efluente. Se puede identificar procesos aeróbicos, anaeróbicos y anóxicos en este tipo de tratamiento.

#### Procesos aeróbicos

El tratamiento se produce en contacto con el aire exterior donde los microorganismos actúan en suspensión en el agua residual o en forma fija a través de un medio (biopelícula) (CONAGUA, 2007). Se destacan los biofiltros percoladores (figura 22) y lodos activados.

**Figura 22**

*Biofiltro percolador con brazos rotativos*



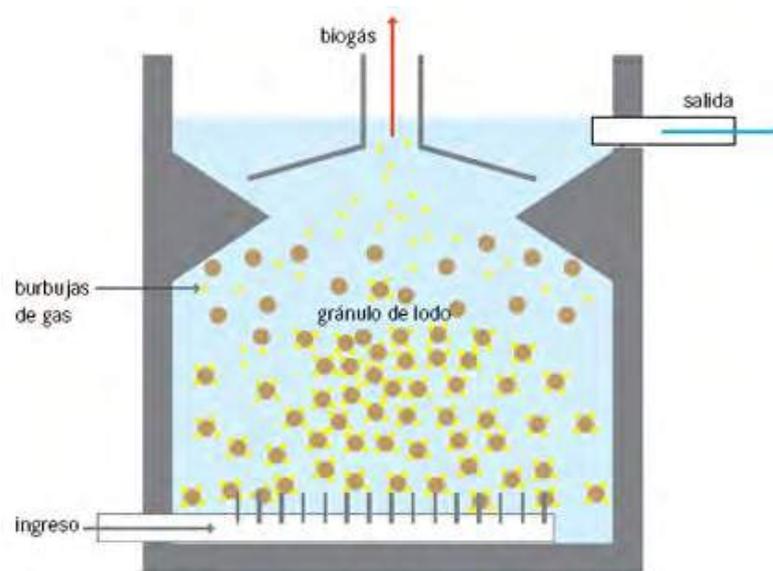
Fuente: Tratamiento biológico de aguas residuales – Alianza por el agua (2006)

#### Procesos anaeróbicos.

Las sustancias biodegradables se estabilizan sin contacto con la luz ni el aire exterior, en estas condiciones los microorganismos remueve los contaminantes mediante la digestión de la materia orgánica, generando subproductos orgánicos e inorgánicos (Chernicharo, 2007). Los más comunes son los biodigestores y los reactores UASB (figura 23).

### Figura 23

*Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente o UASB*



Fuente: Tratamiento biológico de aguas residuales – Alianza por el agua (2006)

#### **2.3.4. Tratamiento terciario o adicional.**

Enmarca la eliminación y/o desactivación de microorganismos patógenos, la remoción de nitrógeno y fosfatos que aún quedan remanentes, esto se logra con la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos (Wills, 2006).

##### **Desinfección.**

El propósito de la desinfección es de eliminar o desactivar microorganismos patógenos, para evitar enfermedades producidas por éstos, para lo cual se utilizan diferentes métodos como la adición de cloro (el más común), el uso de ozono y la exposición a rayos ultra violeta.

##### **Nitrificación y Denitrificación.**

El nitrógeno está presente en las aguas negras en forma de amonio o nitrógeno orgánico, se puede transformar el nitrógeno biológicamente para extraerlo en forma de gas.

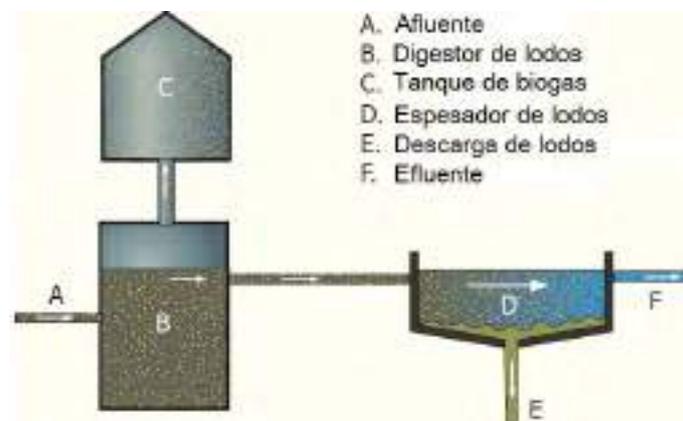
### **Filtración avanzada.**

Algunos componentes orgánicos y químicos pueden seguir presentes en los efluentes, pueden ser iones, partículas coloidales y virus. La filtración mediante membrana, los filtros de carbón activado y la nano filtración son procesos de filtración avanzada con los cuales se pueden eliminar dichos componentes.

#### **2.3.5. Tratamiento de lodos.**

Todas las etapas de tratamiento generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos que son manipulados, tratados y, si existe la posibilidad, aprovechados de forma segura y sin riesgos de contaminación del medio ambiente, tiene mucha relevancia en el impacto ambiental de la planta (TU Delft, 2017). La figura 24 muestra un proceso de tratamiento de residuos del tratamiento anaerobio.

**Figura 24**  
*Tratamiento de lodos*



Fuente: Wastewater Lectures – TU Delft (2017)

#### **2.4. Instalaciones mecánicas**

Las instalaciones mecánicas son la agrupación de sistemas y equipamiento mecánico que se incorporan a las etapas de tratamiento de aguas residuales para cumplir funciones específicas, con el objetivo de completar el proceso unitario y de esta forma mantener la

capacidad de remoción de la planta dentro de los parámetros estimados (Japan Sewage Works Association, 2013). Tales funciones específicas se realizan por medios mecánicos y/o electromecánicos como la distribución y ecualización de aguas residuales, la elevación por bombeo, el intercambio de calor, la separación de sólidos, la difusión de gases, dispositivos agitadores, etc.

Los principales factores que afectan el rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales son la variación del caudal en el afluente, la variabilidad inherente en los procesos de tratamiento, las deficiencias en el diseño, el equipo mecánico y las fallas operativas (Taheriyoun & Moradinejad, 2015). Es decir las instalaciones hidráulicas y el equipamiento mecánico cumplen un rol importante en el desempeño de la planta.

#### **2.4.1. Instalaciones hidráulicas**

Durante la depuración de aguas residuales se produce un intercambio de materiales y energía, donde los materiales son transportados mediante las instalaciones hidráulicas, en las cuales, además de fluidos en estado líquido como el agua residual y el agua de procesos, también se transportan lodos (arena retirada del desarenador y lodos digeridos) y gases (tuberías de colección de biogás y ductos de gas residual).

El diseño del sistema tuberías depende principalmente de las condiciones de operación del proceso unitario (caudal, presión y temperatura) y del tipo de fluido o material a transportar.

Un óptimo diseño del sistema de tuberías, como por ejemplo: el diseño de tuberías que transportan las aguas residuales a través de la PTAR, puede minimizar las pérdidas carga por fricción tanto en sistemas por bombeo como por gravedad.

#### 2.4.2. Pérdidas de carga en tuberías de agua.

Según Silowash (2010), los fluidos fluyen en el interior de las tuberías debido a una diferencia de presión. La presión empuja el fluido desde secciones de mayor presión hacia secciones con menor presión. Esto genera movimiento y por lo tanto fricción entre el fluido y la pared de la tubería ocasionando una pérdida de energía en el fluido conocida como pérdida de carga o cabezal hidráulico. Las pérdidas de carga dependen de variables como el caudal, el diámetro, material de la tubería, longitud de la tubería (pérdidas mayores) y, la cantidad de válvulas, accesorios y salidas (pérdidas menores).

En el caso de las pérdidas mayores se tienen diversas ecuaciones empíricas, obtenidas a través de la experimentación, donde para fluidos con temperaturas y viscosidad similares al agua residual es de uso recomendable la ecuación de Hazen – Williams (Silowash, 2010) donde las pérdidas de carga mayores están dadas por la ecuación número 1 y que en su forma básica estima la velocidad del fluido en función de la pendiente de la línea de energía (ver Anexos):

$$h_f = \left[ \frac{Q}{0.000426 \times C \times D^{2.63}} \right]^{1.85} \times L \quad (1)$$

Dónde: Q: Caudal (l/s)  
C: Coeficiente Hazen Williams (150 para PVC, 120 para HFD)  
D: Diámetro de tubería (pulgadas)  
L: Longitud de tubería (km)

Las pérdidas de carga menores en tuberías están dadas por ecuación número 2:

$$h_{f-\text{accesorios}} = k \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (2)$$

#### 2.4.3. Altura dinámica de bombeo de aguas residuales

La altura de bombeo corresponde a la altura geométrica, más las pérdidas de carga en la línea de impulsión y caseta de bombeo, todo esto expresado en la ecuación 3.

$$H_t = H_{geo} + H_f + \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Dónde:  $H_t$ : Altura de bombeo.  
 $H_{geo}$ : Altura geométrica.  
 $H_f$ : Pérdidas de carga  $H_f$ :  
 $g$ : Aceleración de la gravedad.  
 $v$ : Velocidad en la descarga de la bomba.

La potencia hidráulica teórica está dada por la expresión número 4:

$$P_H = \gamma \times H_t \times Q \quad (4)$$

Dónde:  $P_H$ : Potencia hidráulica (Kilowatts)  
 $\gamma$ : Peso específico del agua (9.789 kN/m<sup>3</sup> para 20° C)  
 $Q$ : Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

#### 2.4.4. Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno transitorio que consiste en la variación de presiones negativas y positivas ocasionado por el movimiento oscilatorio del agua dentro de la tubería, y puede ocurrir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad (CIDTA, 2009). En ocasiones, estas variaciones de presión producen fuerzas que exceden la resistencia de las tuberías y las destruyen, por tal motivo se debe estudiar el efecto de las mismas.

Principalmente estas oscilaciones se producen por cambios e interrupciones en el flujo del líquido, es decir, por la apertura y cierre de válvulas, y por las paradas bruscas de bombas en tuberías de impulsión. El tiempo de parada de bomba o tiempo crítico se calcula mediante la ecuación número 5 (Mendiluce Rosich, 1987):

$$T_c = C + \frac{K \times L \times v}{g \times H_m} \quad (5)$$

Dónde:  $L$ : Longitud del tramo (metros)  
 $v$ : Velocidad en la tubería (m/s)

g:	Aceleración de la gravedad (m/s <sup>2</sup> )
H <sub>m</sub> :	Altura dinámica total (m.c.a)
C y K:	Coefficientes de ajuste empírico (tablas 4 y 5)

**Tabla 4**

*Coefficiente de ajuste por longitud de línea de impulsión.*

<b>L</b>	<b>K</b>
L < 500 m	2.00
L = 500 m	1.75
500 m < L < 1500 m	1.50
L = 1500 m	1.25
L > 1500 m	1.00

Fuente: El golpe de ariete en impulsiones – Mendiluce (1987)

**Tabla 5**

*Coefficiente de ajuste por pendiente de línea de impulsión.*

<b>H<sub>m</sub> / L</b>	<b>C</b>
< 0.20	1.00
≥ 0.40	0.00
= 0.30	0.60

Fuente: El golpe de ariete en impulsiones – Mendiluce (1987)

Por otro lado para determinar la posibilidad de un golpe de ariete se debe comprobar si se produjo un “cierre rápido” en la válvula de retención, en caso la bomba se haya detenido, para esto se debe cumplir que el tiempo de crítico T<sub>c</sub> sea menor o igual al tiempo de propagación de onda T<sub>p</sub> (T<sub>c</sub> ≤ T<sub>p</sub>) en la longitud en la tubería que es el tiempo que recorre ida y vuelta la onda por la tubería.

El tiempo de propagación de la onda está dada por la fórmula de Allievi (ecuación 6):

$$T_p = \frac{2 \times L}{a} \quad (6)$$

Dónde:	T <sub>p</sub> :	Tiempo de propagación de la onda (segundos)
	L:	Longitud del tramo (metros)
	a:	Velocidad de propagación de la onda en la tubería (m/s)

La velocidad de propagación de onda fue desarrollada por Allievi (1903) en base a la elasticidad del sistema agua – tubería, según la expresión número 7:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + G \times D/t}} \quad (7)$$

Dónde: a: Velocidad de propagación de la onda en la tubería (m/s)  
 G: Coeficiente de elasticidad de la tubería (tabla 6)  
 D: Diámetro de la tubería (milímetros)  
 t: espesor de la tubería (milímetros)

**Tabla 6**

*Valores del coeficiente G para diferentes materiales de tuberías*

<b>Material</b>	<b>G</b>
PVC	33.3
Poliéster	6.6
Concreto	5.4
Hierro Fundido	1.0
Acero	0.5

Fuente: El golpe de ariete en impulsiones – Mendiluce (1987)

Para obtener la sobrepresión por el golpe de ariete se aplican los criterios de Allieve o Michaud en función de la longitud de la tubería (L) y la longitud crítica (L<sub>c</sub>) que está dada por la fórmula 8.

$$L_c = \frac{a \times T_c}{2} \quad (8)$$

Según a los resultados obtenidos se evalúa si la longitud de impulsión es larga (L > L<sub>c</sub>) o corta (L < L<sub>c</sub>), y la aplicación de los criterios de Michaud o Allieve (Mendiluce Rosich, 1987), lo que se puede apreciar en el resumen de la tabla 7.

**Tabla 7**

*Criterios de cálculo de sobrepresión en función a la longitud y tipo de cierre.*

Condición	Longitud de impulsión	Condición	Tipo de cierre	Criterio a usar	
$L > L_c$	Impulsión Larga	$T \leq T_p$	Cierre rápido	Allieve	$H_{golpe} = \frac{a * v}{g}$
$L < L_c$	Impulsión Corta	$T > T_p$	Cierre lento	Michaud	$H_{golpe} = \frac{2 * L * v}{g * T_c}$

Fuente: El golpe de ariete en impulsiones – Mendiluce (1987)

#### 2.4.5. Pérdidas de carga en tuberías de biogás.

El gas producto del tratamiento anaerobio de aguas fecales o biogás, consiste en la combinación de gases principalmente metano, sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono (FAO, 2011). Según Martin y Coker (2016) los métodos de cálculo y regulaciones para tuberías de gas natural, de usuarios finales; sirven para el cálculo de tuberías de colección de biogás debido a que ambas tuberías usan diámetros pequeños y operan a bajas presiones.

Conforme a la Norma Técnica Peruana 111.011 “Gas Natural Seco: Sistema de tuberías para instalaciones internas residenciales y comerciales” se admite en el cálculo de tuberías las fórmulas de Renouard, y se tiene en su versión cuadrática la fórmula N° 9. Las condiciones de validez de la fórmula de Renouard es que se cumpla la relación de caudal y diámetro de la tubería sea menor a 150 ( $Q/D < 150$ ) y que la velocidad no supere los 20 m/s.

$$P_i^2 - P_f^2 = 48.6 \times d_s \times L_e \times Q^{1.82} \times D^{-4.82} \quad (9)$$

- Dónde:
- $P_{(i,f)}$ : Presión absoluta al inicio (i) y al final (f) del tramo (bar).
  - $d_s$ : Densidad relativa del gas.
  - $L_e$ : Longitud equivalente del tramo (metros)
  - $Q$ : Caudal ( $m^3/h$ ).
  - $D$ : Diámetro interior del tramo (mm).

Asimismo la Federación Medioambiental del Agua (WEF, por sus siglas en inglés) recomienda una velocidad en el interior de la tubería menor a 3.7 m/s, esto para evitar el arrastre de partículas y condensados que puedan dañar válvulas e instrumentos (WEF, 2017).

La velocidad máxima del biogás ( $v_g$ ) en el tramo de conducción se obtiene mediante la ecuación número 10.

$$v_g = 354 \times \frac{Q}{P_f \times D^2} \quad (10)$$

#### 2.4.6. Pérdidas de carga en ductos de gas residual

Los gases disueltos en el agua residual que son liberados al aire libre de manera difusa y descontrolada, se les denominan emisiones fugitivas; por otro lado al confinarse la fuente de emisión fugitiva y se genera una circulación forzada de gases, mediante un extractor, se denomina al flujo gas residual (Freire et al, 2018).

La pérdida de carga por rozamiento en conductos de gas residual (circulares) se calcula mediante la ecuación de Darcy Weisbach la cual está dada por la ecuación número 11.

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2} \times \rho \quad (11)$$

Donde	$\Delta P$ :	Pérdida de presión en Pascales.
	f:	Coefficiente de fricción
	L:	Longitud del tramo (m)
	D:	Diámetro del conducto (m)
	V:	Velocidad media (m/s)
	$\rho$ :	Densidad del gas residual ( $\text{kg/m}^3$ )

El factor de fricción para conductos con baja rugosidad (lisos) y con número de Reynolds menor a 10000 fue propuesto por Blasius en 1913 mediante la ecuación 12:

$$f = 0.3164 \times \text{Re}^{-0.25} \quad (12)$$

Y el número de Reynolds, (número adimensional) está dado por el cociente de las fuerzas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad y se muestra en la ecuación 13.

$$R_E = \frac{V \times 4D}{\nu} \quad (13)$$

Donde        V:    Velocidad media en m/s  
                $\nu$ :    Viscosidad cinemática del fluido en m<sup>2</sup>/s  
               D:    Diámetro del conducto (m)

De acuerdo a Cengel (2006) el valor del número de Reynolds se define el tipo de flujo (laminar, transicional o turbulento) de la siguiente manera:

Si  $R_E$  es menor a 2300, entonces el flujo es laminar.

Si  $R_E$  es mayor a 2300 y menor a 4000, entonces el flujo es transicional.

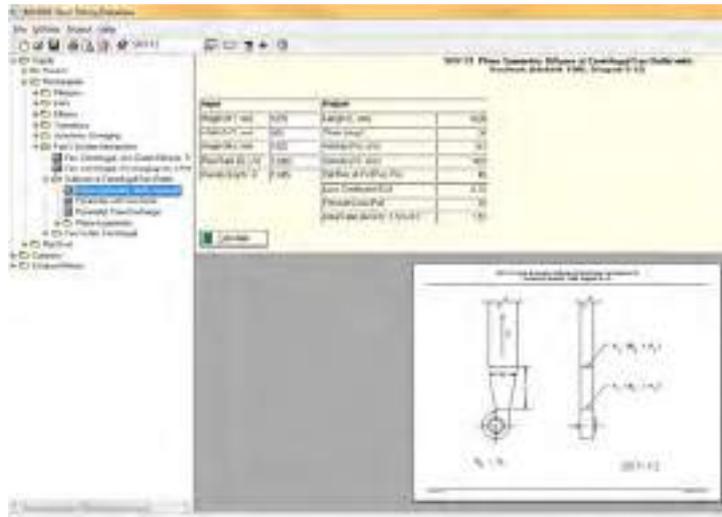
Si  $R_E$  es mayor a 4000, entonces el flujo de aire es Turbulento.

Las pérdidas de carga por accesorios se calculan por ecuación número 14, donde k representa el coeficiente de pérdida empírico de cada accesorio en partícula.

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = k \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (14)$$

Otro método para el cálculo de pérdidas en conductos de aire es la herramienta informática “ASHRAE Duct Fitting Database” (cuya interfaz gráfica se muestra en la figura número 25), de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés), donde ingresando los datos geométricos, caudales y propiedades del fluido, se tiene como salida las pérdidas de carga en conductos de suministro o extracción de aire.

**Figura 25**  
 Interfaz del software “ASHRAE Duct Fitting Database”



Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4.7. Instalaciones de ventiladores y sopladores

Los ventiladores son turbomáquinas hidráulicas, análogas a las bombas de agua, que incrementan la presión de los gases con los que operan y, donde la compresibilidad del fluido puede ser despreciada (Mataix, 2004), en la industria de aguas residuales se utilizan para el movimiento del gas residual.

Por otro lado, los sopladores o compresores son turbomáquinas térmicas que imparten una presión positiva significativa a los gases y en los cuales es necesario tomar en cuenta la compresibilidad del gas (Marchildon, 2006).

La potencia teórica del ventilador está dada por la ecuación 15:

$$P_F = Q \times \Delta P \quad (15)$$

Donde  $P_F$ : Potencia teórica (W)

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$\Delta P$ : Incremento de presión en Pascales

## 2.5. Marco conceptual.

- Agua superficial.- Fuente de agua natural proveniente de ríos o lagunas.
- Afluente.- Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.
- Agua potable.- Agua apta para el consumo humano.
- Agua residual.- Es aquel agua contaminada que fue utilizada en hogares, comercios o industrias y son vertidas a las redes de desagüe municipal.
- Biogás.- Es el residuo gaseoso que se produce a partir de la digestión anaerobia de los compuestos orgánicos contenidos en el agua residual.
- Caída de presión.- Es la pérdida de energía que se produce en la conducción de fluidos por tuberías como consecuencia de la fricción o la presencia de accesorios...
- Concentración.- Es la cantidad de compuestos químicos o biológicos en mg/l presentes en el agua.
- Desinfección.- La destrucción de microorganismos patógenos presentes en el agua mediante un agente desinfectante.
- Digestión anaerobia.- Es el proceso de tratamiento de residuos orgánicos en ausencia de luz y oxígeno.
- Efluente.- Agua que sale de un depósito o termina una etapa el total de un proceso de tratamiento.
- Equipamiento mecánico.- Son aquellas máquinas y dispositivos que hacen posible los procesos de tratamiento de los que forman parte.
- Filtración.- Donde se remueve partículas más finas que no fueron removidas por sedimentación.

- Gas residual.- Es parte del biogás generado en el proceso anaeróbico que se encuentra disuelto en el efluente líquido de los mismos y que son liberados por desorción.
- Golpe de ariete.- Onda de presión que es producido por un cierre repentino de una compuerta y válvula, que se presenta en forma de una vibración estruendosa.
- PTAR.- Planta de tratamiento de aguas residuales.
- Sedimentación.- Proceso de remoción de partículas en suspensión por acción de la fuerza de gravedad.
- Tasa de aplicación superficial.- Caudal de agua aplicado por unidad de superficie.
- Tratamiento biológico.- Biodegradación de la materia orgánica, mediante la intensificación de la acción de los microorganismos.

## **CAPÍTULO III**

### **3. PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE REPLANTEO**

#### **3.1. Introducción.**

En el capítulo presente se evaluó el caudal de agua residual que se vierte en la ciudad de Quillabamba al año 2020, utilizando primero, los métodos teóricos recomendados en el Reglamento Nacional de Edificaciones normas OS. 0.60 y OS. 0.90. En segundo lugar, se hizo la medición en campo del caudal de agua potable consumido en la ciudad de Quillabamba haciendo uso de un caudalímetro en la salida del reservorio de la PTAP de la empresa local EMAQ y con los datos de caudales en los diferentes puntos de vertimiento de proporcionados por la misma empresa se estimó el caudal total de aguas residuales y la tasa de contribución de agua potable.

Posteriormente se compararon los valores de caudal afluente a la PTAR, planteados en los Expedientes Técnicos del 2007 y 2017 con los valores de caudal obtenidos en el replanteo; las unidades de tratamiento donde se hizo la comparación de caudales afluentes fueron el emisor sifón invertido, que conduce el agua residual a la planta, y los reactores anaeróbicos que es donde se realiza la depuración del agua residual que ingresa a la planta. En el emisor sifón invertido se evaluó la pérdida de carga hidráulica para cada caudal conforme a la Normativa Nacional, mientras que en el reactor anaeróbico se evaluaron: el tiempo de retención, la velocidad de ascenso y la eficiencia en función a los caudales comparados, según los valores obtenidos de experiencias en unidades en Brasil y Holanda.

Finalmente se determinó el caudal óptimo para desarrollar el replanteo de las instalaciones mecánicas que se muestran en los siguientes capítulos, y se construyó el diagrama de procesos que será utilizado en el presente trabajo así como el perfil hidráulico.

### 3.2. Caudal de aguas residuales en la ciudad de Quillabamba

#### 3.2.1. Vertimiento de desagüe en la ciudad de Quillabamba.

En la actualidad la red de alcantarillado de la ciudad de Quillabamba está administrada por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento EMAQ S.R.L, donde se tienen 14 puntos de vertimiento (tabla 8 y figura 26) que, por la topografía de la ciudad, desembocan a lo largo de las franjas marginales de los cauces de los ríos Chuyapi y Vilcanota. Asimismo cabe resaltar que a excepción de la planta de tratamiento de Jorge Basadre, todos los vertimientos descargan las aguas residuales domésticas sin tratamiento alguno. Siendo éste un problema de salud pública y ambiental que no ha podido ser subsanado hasta la fecha.

**Tabla 8**

*Descripción de los puntos de vertimiento de desagüe*

N°	Descripción	Norte	Este	Cota	Caudal (l/s)
P-01	Planta de tratamiento de Jorge Basadre	8575018	750952	1004.00	1.00
P-02	Descarga de jirón Sambaray	8575560	750685	1024.00	18.00
P-03	Estación de bombeo de Cocola	8575555	750729	1015.00	70.00
P-04	Descarga de pasaje La Florida	8576137	750891	1005.00	1.50
P-05	Descarga jirón Arica	8576223	750918	1005.00	2.00
P-06	Descarga jirón Vilcanota	8576329	750970	1006.00	6.00
P-07	Descarga jirón Alfonso Ugarte	8576476	750974	1005.00	32.00
P-08	Descarga Estadio Municipal	8576581	750966	1006.00	18.00
P-09	Descarga Hospital MINSA	8576649	750824	1024.00	10.00
P-10	Descarga jirón Quillabamba	8577176	750562	1001.00	12.00
P-11	Cámara de rejillas Puente Maenique	8577738	749674	1009.00	85.00
P-12	Descarga jirón Kiteni/Sangobatea	8577415	749801	1013.00	2.00
P-13	Descarga Cuartel de Macamango	8576965	749792	1045.00	4.00
P-14	Descarga Puente Chuyapi Ajoajuyoc	9576763	750004	1051.00	0.05

Fuente: Archivo de Estudio Tarifario – EPS EMAQ (2018)

**Figura 26**  
*Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales de Quillabamba*



Fuente: Tarifario 2018-2022 EPS EMAQ - SUNASS (2018)

### 3.2.2. Caudal poblacional de aguas residuales.

#### Crecimiento Poblacional de la ciudad de Quillabamba

El dato más importante para obtener los parámetros de diseño de las unidades de tratamiento es la población que hará uso del servicio, y con este dato proyectar en el tiempo los parámetros de diseño de las instalaciones mecánicas. Se presenta en la tabla N° 9 las cifras de población urbana de la ciudad de Quillabamba obtenidos de la base de datos del INEI en los años 2005, 2010, 2014 y 2015 y su proyección desde el 2016 al 2030 a una tasa de crecimiento del 3.3%. Esto a razón del periodo de vida útil de 10 años de las instalaciones mecánicas, a partir de los cuales deben ser reemplazadas o repotenciadas (JWWA, 2018).

**Tabla 9**

*Población al 2016 y proyección de crecimiento poblacional al 2030 de Quillabamba*

<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>
2005	27665
2010	29112
2014	30174
2015	30422
2016	30661
2017	31673
2018	32718
2019	33798
2020	34913
2021	36065
2022	37255
2023	38485
2024	39755
2025	41067
2026	42422
2027	43822
2028	45268
2029	46762
2030	48305

Nota: Para el año 2030 se tendrá una población de 48305 habitantes en la ciudad de Quillabamba, elaborado con datos obtenidos del INEI.

### **Caudal teórico de aguas residuales según demanda de agua potable.**

Se calculó la demanda promedio de agua potable según el Reglamento Nacional de Edificaciones en su Norma OS.100, utilizando como dato la dotación per cápita diaria en el ámbito urbano en regiones con clima cálido y húmedo, que es de 220 litros/habitante/día, y la población a ser atendida. En cuanto a las aguas residuales para el caudal medio de diseño se tomó en base la población servida, la dotación de agua para consumo humano y el factor de contribución (cuyo valor es de 0.8) contenidos en la norma de redes de alcantarillado, considerándose además los caudales de infiltración y aportes industriales, conforme a las normas OS.060 y OS.090 del RNE. Se muestran los resultados en la tabla número 10.

**Tabla 10**

*Demanda de agua potable y caudal de aguas residuales de Quillabamba*

<b>Año</b>	<b>Población (hab.)</b>	<b>Demanda OS.100 (l/s)</b>	<b>Industrial 5% (l/s)</b>	<b>Caudal de Agua (l/s)</b>	<b>Infiltración 8% (l/s)</b>	<b>Caudal de Desagüe (l/s)</b>
2005	27665	70.44	3.52	73.97	5.92	65.09
2010	29112	74.13	3.71	77.83	6.23	68.49
2014	30174	76.83	3.84	80.67	6.45	70.99
2015	30422	77.46	3.87	81.34	6.51	71.58
2016	30661	78.07	3.90	81.98	6.56	72.14
2017	31673	80.65	4.03	84.68	6.77	74.52
2018	32718	83.31	4.17	87.48	7.00	76.98
2019	33798	86.06	4.30	90.36	7.23	79.52
2020	34913	88.90	4.44	93.34	7.47	82.14
2021	36065	91.83	4.59	96.42	7.71	84.85
2022	37255	94.86	4.74	99.61	7.97	87.65
2023	38485	97.99	4.90	102.89	8.23	90.55
2024	39755	101.23	5.06	106.29	8.50	93.53
2025	41067	104.57	5.23	109.80	8.78	96.62
2026	42422	108.02	5.40	113.42	9.07	99.81
2027	43822	111.58	5.58	117.16	9.37	103.10
2028	45268	115.27	5.76	121.03	9.68	106.51
2029	46762	119.07	5.95	125.02	10.00	110.02
2030	48305	123.00	6.15	129.15	10.33	113.65

Nota: Para el año 2030 se tendría un caudal promedio de aguas residuales de 113.65 l/s.

Para obtener los resultados de la estimación de la demanda teórica de agua potable y el caudal teórico de aguas residuales de la población de Quillabamba mostrados en la tabla 9 se utilizaron los datos de crecimiento poblacional de la tabla número 5. El caudal industrial representa el 5% de la demanda poblacional de agua potable, en la columna “Caudal de Agua” se muestra la suma de los valores de demanda de agua potable y el caudal para uso industrial. El caudal de infiltración representa el 8% del valor de “Caudal de Agua” y finalmente el Caudal de Desagüe es la suma del Caudal de Agua a una tasa de contribución de 0.8 más el caudal de infiltración.

### **3.2.3. Medición del consumo de agua potable actual.**

Para analizar la consistencia de los datos teóricos se efectuó la medición del consumo de agua potable en las salidas del reservorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Ana haciendo uso de caudalímetros, instalados en la caseta de válvulas de las redes primarias de agua potable L10 y L16.

Este caudal de consumo de agua potable no es constante en el transcurso del día y varía de acuerdo al uso de los usuarios domésticos, comerciales, estatales e industriales; para evaluar tal variación se realizaron mediciones de campo en donde se registraron las lecturas de los macromedidores cada hora durante un día completo (24 horas) y con los datos obtenidos se realizó un gráfico de variación de consumo en el tiempo (figura 27).

Asimismo se pudo calcular los siguientes valores de variación horaria de consumo de agua potable en el reservorio de Santa Ana:

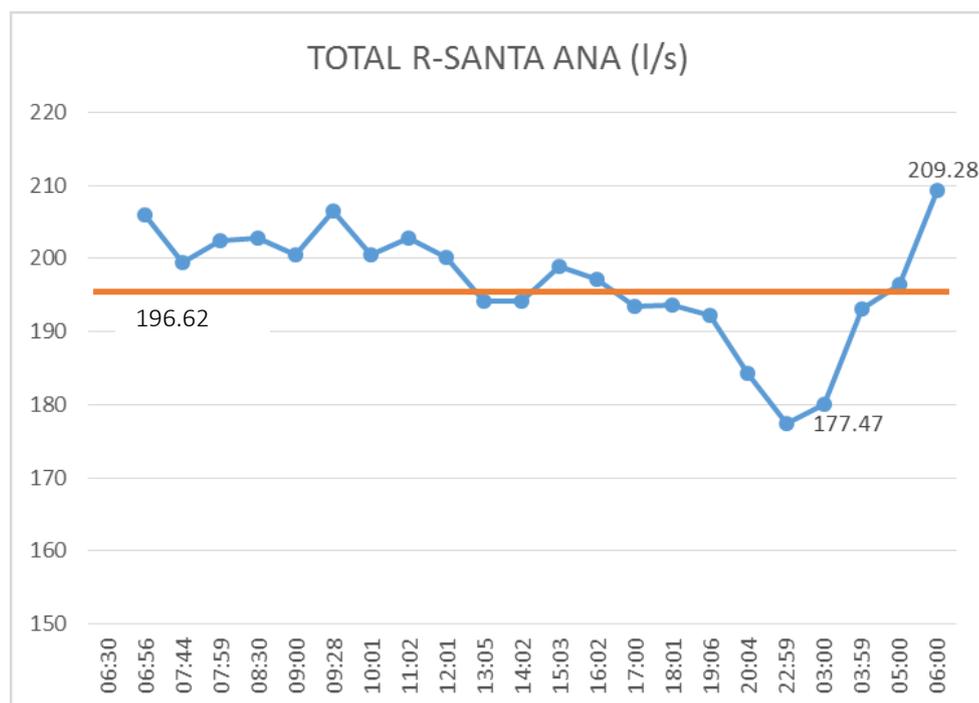
Caudal promedio diario:  $Q_{\text{prom}} = 196.62 \text{ l/s}$

Caudal máximo horario:  $Q_{\text{max}} = 209.28 \text{ l/s}$  (06:00), con  $K_1 = Q_{\text{max}}/Q_{\text{prom}} = 1.1$

Caudal mínimo horario:  $Q_{\text{min}} = 177.47 \text{ l/s}$  (23:00), con  $K_2 = Q_{\text{min}}/Q_{\text{prom}} = 0.9$

**Figura 27**

Variación horaria de consumo de agua potable en reservorio Santa Ana en Febrero del 2020



Nota: Sobre la curva de variación horaria se puede apreciar la línea de caudal promedio de 196.62 l/s, medido en las líneas L10 y L16 del reservorio Santa Ana. Fuente: Elaboración propia.

Este dato corresponde únicamente a las conexiones de agua potable del ámbito correspondiente al Reservorio de Santa Ana que abastece de agua potable al 72% del total de conexiones de la ciudad de Quillabamba como se puede apreciar en la tabla número 11.

**Tabla 11**

Conexiones de suministro de agua y desagüe de Quillabamba

Conexiones	R-SANTA ANA	R-BARRIAL	TOTAL
Doméstico	3723	2003	5726
Comercial	2122	318	2440
Estatad	138	19	157
Industrial	53	7	60
Social	12	2	14
<b>TOTAL</b>	<b>6048 (72%)</b>	<b>2349 (28%)</b>	<b>8397 (100%)</b>

Nota: Tabla elaborada con datos obtenidos del Área de Facturación de EPS. EMAQ registrados hasta el año 2019.

A partir de estos datos se estimaron los valores de consumo promedio total, caudal mínimo horario y caudal máximo horario de las conexiones de agua potable de la ciudad de Quillabamba:

Caudal máximo horario ( $Q_{\max}$ ):  $209.28/0.72 = 291.36$  litros por segundo.

Caudal mínimo horario ( $Q_{\min}$ ):  $177.47/0.72 = 246.49$  litros por segundo.

Caudal promedio diario ( $Q_{\text{prom}}$ ):  $196.62/0.72 = 273.08$  litros por segundo.

Estos valores son muy elevados considerando que la población de Quillabamba en el año 2020 tiene alrededor de 35 mil habitantes, comparados con los datos de dotación diaria en el ámbito urbano de las regiones con clima cálido y húmedo del Reglamento Nacional de Edificaciones OS.100 de 220 litros/habitante/día, que se muestran en la tabla número 10, se tendría una tasa elevada de agua no contabilizada.

Lo anterior refleja altas pérdidas en el sistema de agua potable de la localidad, esto posiblemente a causa de fugas en las redes primarias y secundarias, también se tiene una submedición en la facturación de agua ocasionado por desperdicio de agua en conexiones de agua potable que no cuentan con micromedidor.

En consecuencia lo antes mencionado resulta en altas pérdidas económicas que no favorecen a la sostenibilidad del sistema de saneamiento de la ciudad de Quillabamba.

#### **3.2.4. Estimación del caudal de aguas residuales actual.**

De acuerdo al estudio tarifario para los periodos de 2019 al 2022, realizado por la Superintendencia Nacional de Agua y Servicios de Saneamiento (SUNASS) el año 2018, se tiene la tabla número 12 que presenta con los caudales promedio de aguas residuales en los diferentes puntos de vertimiento de la ciudad de Quillabamba.

A partir de estos datos y la topografía de las cuencas naturales en localidad de Quillabamba (ver anexos) se incluyó la zonificación correspondiente, excluyendo el punto de vertimiento número 1 que corresponde a una pequeña Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en el sector de Jorge Basadre en el Sur Este de la ciudad de Quillabamba, la misma que tiene una capacidad de tratamiento de 1.0 l/s.

**Tabla 12**  
*Descripción de los puntos de vertimiento de Quillabamba*

N°	Punto de Vertimiento	Caudal (l/s)	Zona	Tratamiento (l/s)
1	Planta de tratamiento Jorge Basadre	1.00		
2	Descarga de JR Sambaray	18.00	ÁREA 1	88.00
3	Planta de Bombeo de Cocla	70.00		
4	Descarga de Jr. La Florida	1.50		
5	Descarga de Jr. Arica	2.00	ÁREA 2	69.50
6	Descarga de Jr. Vilcanota	6.00		
7	Descarga de Jr. Alfonso Ugarte	32.00		
8	Descarga del Estadio	18.00		
9	Descarga del Hospital	10.00		
10	Descarga de Jr. Quillabamba	12.00	ÁREA 3	103.05
11	Planta de Cámara de Rejas	85.00		
12	Descarga de JR Kiteni / Sangobatea	2.00		
13	Descarga del Cuartel de Macamango	4.00		
14	Descarga del Puente Chuyapi Ajoajuyoc	0.05		
<b>TOTAL</b>		<b>261.55</b>		<b>261.55</b>

Nota: Elaborado en base al estudio tarifario de la Superintendencia Nacional de Agua y Servicios de Saneamiento (2018) con datos de la EPS EMAQ. (Ver zonificación en Anexos)

Se aprecia una alta cantidad de agua potable que hipotéticamente estaría ingresando directamente al alcantarillado y contribuiría al caudal total de aguas residuales, ya sea por infiltración de redes deterioradas o por submedición a causa de aparatos sanitarios en mal estado.

Con estos datos las capacidades de tratamiento planteadas en los proyectos del año 2007 (55 l/s) y 2017 (162 l/s) no cubrirían el total del caudal de aguas residuales que es vertido en la actualidad.

Añadir también que una elevada tasa de contribución de agua potable en el desagüe produce aguas residuales con baja carga de contaminación, lo que no favorece al funcionamiento de los reactores biológicos ya que aguas con baja contaminación o “limpias” no contienen el “alimento” que favorece la reproducción de comunidades microbianas que biodegradan la carga contaminante del agua residual (Chernicharo, 2007).

### 3.3. Caudal afluente en planta de tratamiento existente

Un aspecto muy importante para la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales es la fluido – dinámica, donde a través del control de las velocidades y secciones de flujo se puede conocer la eficiencia de las unidades de tratamiento y por lo tanto optimizar la operación del sistema en general.

**Tabla 13**

*Comparativo de caudal afluente de aguas residuales a PTAR*

	<b>Caudal mínimo</b> <b>(l/s)</b>	<b>Caudal promedio</b> <b>(l/s)</b>	<b>Caudal máximo</b> <b>(l/s)</b>
Expediente Técnico 2007	27.51	55.01	110.02
Expediente Técnico 2017	81.50	163.00	326.00
Caudal teórico al 2030	102.29	113.65	125.02
Caudal de medición 2020	235.40	261.55	287.71

Fuente: Elaboración Propia.

Para tal efecto se realizó una evaluación de caudales afluentes a las obras hidráulicas existentes, en primer lugar al emisario sifón invertido que es por donde se conduce el total del caudal de agua a descontaminar hacia la PTAR y en segundo lugar los reactores anaeróbicos UASB donde se produce la biodegradación de la carga contaminante del agua residual.

Se hizo la comparación de los caudales de agua residual planteados en los Expedientes Técnicos del 2007, 2017, y los caudales de agua residual teórico y medido que fueron calculados en el presente trabajo (2020), la tabla 13 muestra los valores para los diferentes planteamientos.

### 3.3.1. Emisor sifón invertido

El emisor consistente en 2 líneas de tubería de PVC de 315 mm y 250 mm de diámetro fue construido en la primera etapa en el año 2010 y tiene las siguientes características:

Longitud	1779.17 m
Diámetro 1	237.60 mm
Diámetro 2	302.60 mm
C Material	120.00 (PVC)
Cota Inicial	1016.75 msnm
Cota Final	1004.65 msnm
Carga disponible	12.10 m
Pérdida máxima	9.68 m

Uno de los criterios de diseño para el correcto funcionamiento del sifón son las velocidades, que deben estar dentro del rango de 0.60 m/s a 1.50 m/s, en sifones pequeños, con el objetivo de asegurar el arrastre de los sedimentos y una pérdida de carga que garantice como máximo el 20% de la carga hidráulica disponible por el desnivel entre la cota de ingreso y de salida (ANA, 2010).

Mediante la ecuación (1), sección 2.4.2, o de Hazen – Williams se obtuvo los valores de pérdida de carga por longitud en las tuberías del sifón invertido, donde se muestra en la tabla 14 las velocidades de flujo en la tubería y pérdidas de carga por longitud asumiendo el total del flujo por una sola tubería.

Donde se pudo apreciar que en ninguno de los casos se cumple con los criterios de diseño para el caudal máximo horario y por lo tanto se requiere de ambas tuberías para la conducción de las aguas residuales hacia la PTAR, al ser calculado el sifón invertido con el los caudales planteados el año 2007 estos cumplen con los criterios de diseño recomendados; en el caso de los caudales estudiados el año 2020 sólo el caudal teórico cumple con los requerimientos de la Normativa Peruana.

**Tabla 14**

*Velocidades de operación y pérdida de carga en emisor sifón invertido*

	Expediente Técnico		Caudales 2020	
	2007	2017	Teórico	Medición
<b>Emisor 1 DN250 mm</b>				
Velocidad mínima	0.62 m/s	1.84 m/s	2.31 m/s	5.31 m/s
Velocidad promedio	1.24 m/s	3.68 m/s	2.56 m/s	5.90 m/s
Velocidad máxima	2.48 m/s	7.35 m/s	2.82 m/s	6.49 m/s
Pérdida de carga $Q_{\text{mín}}$	3.78 m	28.29 m	43.08 m	201.71 m
Pérdida de carga $Q_{\text{prom}}$	13.66 m	102.12 m	52.37 m	245.17 m
Pérdida de carga $Q_{\text{max}}$	49.31 m	368.67 m	62.48 m	292.50 m
<b>Emisor 2 DN315 mm</b>				
Velocidad mínima	0.38 m/s	1.13 m/s	1.42 m/s	3.27 m/s
Velocidad promedio	0.76 m/s	2.27 m/s	1.58 m/s	3.64 m/s
Velocidad máxima	1.53 m/s	4.53 m/s	1.74 m/s	4.00 m/s
Pérdida de carga $Q_{\text{mín}}$	1.17 m	8.71 m	13.27 m	62.11 m
Pérdida de carga $Q_{\text{prom}}$	4.21 m	31.45 m	16.13 m	75.49 m
Pérdida de carga $Q_{\text{max}}$	15.18 m	113.52 m	19.24 m	90.07 m

Fuente: Elaborado en base a los cálculos obtenidos con los datos de caudal afluente.

Finalmente se hizo el realizó el cálculo del caudal máximo permisible en cada tubería emisora y para una pérdida de carga máxima de 9.00 metros (tabla 15).

**Tabla 15***Caudal máximo permisible en emisor sifón invertido para  $h_f = 9$  m*

<b>Emisor</b>	<b><math>Q_{max}</math> (l/s)</b>	<b><math>h_f</math> (m)</b>	<b>V (m/s)</b>
DN 250 mm	43.91	9.00	0.99
DN 315 mm	82.97	9.00	1.15
126.88			

Nota: Se un caudal máximo permisible total en ambas líneas de 126.88 l/s. Elaborado en base a los resultados obtenidos de los cálculos para una pérdida  $h_f = 9$  m.

### 3.3.2. Reactor anaerobio UASB

Al ser la principal unidad de tratamiento de la PTAR es donde se produce la mayor reducción de carga contaminante del afluente; la evaluación y comparación de parámetros de salida se hizo en base las dimensiones y caudales de operación de los proyectos del 2007, 2017 y de los caudales actuales estimados en la sección 3.2.

#### **Zona de digestión**

Longitud:	15.30 m
Ancho:	13.00 m
Altura:	3.75 m
Volumen:	745.88 m <sup>3</sup>

#### **Zona de sedimentación**

Número de aberturas de ingreso:	10
Ancho de abertura:	0.30 m
Volumen sedimentador:	25.74 m
Numero de sedimentadores:	5

#### **Distribuidores de caudal**

Cantidad de orificios:	64
Diámetro:	3.00 pulgadas

El tiempo de detención hidráulica ( $T_{DH}$ ) es de fundamental importancia, ya que está directamente relacionado con la rapidez del proceso de digestión anaeróbica y esta a su vez,

depende del tamaño del reactor; del mismo modo la velocidad de ascenso en el digestor ( $v_h$ ) con valores elevados puede ocasionar pérdidas de biomasa en el reactor por efecto de “lavado”. El tiempo de detención hidráulica y la velocidad de ascenso óptimos en la zona de digestión, según Lettinga y Hulshoff (1991), se obtuvieron a partir de la experiencia en reactores a escala, se obtienen con las ecuaciones 16 y 17, los resultados se muestran en las tablas números 12 y 13.

$$T_{DH} = \frac{V_d}{Q} \quad (16)$$

$$v_h = \frac{H_d}{T_{DH}} \quad (17)$$

- Donde
- $T_{DH}$ : Tiempo de detención hidráulica en horas
  - $V_d$ : Volumen de la zona de digestión en  $m^3$
  - $Q$ : Caudal de aguas residuales en  $m^3/h$
  - $v_h$ : Velocidad de ascenso del agua en el digestor en  $m/h$
  - $H_d$ : Altura de la zona de digestión en  $m$

**Tabla 16**  
*Valores típicos de tiempo de detención hidráulica*

Temperatura de desagüe (°C)	Tiempo de detención hidráulica $T_{DH}$ (horas)	
	Promedio diario	Mínimo (4 - 6 horas)
16 -20	> 10-14	> 7-9
20 -26	> 6-9	> 4-6
> 26	> 6	> 4

Fuente: UASB process design for various types of wastewater - Lettinga y Hulshoff (1991)

**Tabla 17***Velocidades de ascenso aceptables en reactor UASB*

<b>Caudal de afluente</b>	<b>Velocidad de ascenso</b>
Caudal promedio	0.5 - 0.7 (m/h)
Caudal máximo	<0.9-1.1 (m/h)
Caudal pico	<1.5 (m/h)

Fuente: UASB process design for various types of wastewater - Lettinga y Hulshoff (1991)

Mientras tanto, la eficiencia de remoción de DBO ( $E_{\text{DBO}}$ ) de los reactores UASB se estima principalmente por medio de relaciones empíricas, obtenidas de los resultados experimentales de sistemas en operación (Chernicharo, 2007), y en función del tiempo de retención hidráulica en la zona de digestión mediante la ecuación número 18.

$$E_{\text{DBO}} = 100 \times (1 - 0.68 \times T_{\text{DH}}^{-0.35}) \quad (18)$$

Con las dimensiones de la zona de digestión de los reactores biológicos UASB, los datos de caudal promedio, máximo y mínimo; además de los valores de tiempo de detención hidráulica, velocidad de ascenso en el birreactor y eficiencia de remoción. Se construyó la tabla número 18.

De los resultados obtenidos a partir de los caudales de diseño del año 2007 se tienen tiempos de retención hidráulica y velocidades de ascenso dentro de los rangos establecidos en las tablas 16 y 17, además de una eficiencia de remoción de DBO que cumple los límites permisibles (menor a 100 mg/l, según D.S. 003-2010-MINAM) sólo para el caudal promedio. Por otro lado para el caudal afluente del año 2017 propuesto no satisface el tiempo de retención hidráulica y velocidad de ascenso, y puede ocasionar pérdida de biomasa; asimismo su efluente requerirá de un tratamiento adicional para cumplir los límites permisibles.

**Tabla 18***Parámetros de salida obtenidos en reactores UASB de PTAR Quillabamba*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>2007</b>	<b>2017</b>	<b>2020 actual</b>	<b>2030 teórico</b>
Caudal Promedio	l/s	55.01	163	261.55	113.65
Factor de Caudal Máximo	-	2.00	2.00	1.10	1.10
Numero de reactores		2	2	4	4
Caudal Promedio	m <sup>3</sup> /d	2376.43	7041.60	5649.48	2454.84
Caudal Máximo	l/s	55.01	163.00	71.93	31.25
Tiempo de Detención a Q <sub>prom</sub>	horas	7.53	2.54	3.17	7.29
Tiempo de Detención a Q <sub>max</sub>	horas	3.77	1.27	2.88	6.63
Velocidad Ascenso Promedio	m/h	0.498	1.475	1.183	0.514
Velocidad Ascenso Máxima	m/h	0.996	2.950	1.302	0.566
Eficiencia de remoción DBO a Q <sub>prom</sub>	%	74.50	56.10	60.68	74.08
Eficiencia de remoción DBO a Q <sub>max</sub>	%	63.93	37.91	58.76	72.81
DBO a la salida Q <sub>prom</sub>	mg/l	74.98	119.28	96.73	63.76
DBO a la salida Q <sub>max</sub>	mg/l	106.04	168.69	101.45	66.87

Nota: Para obtener los valores óptimos de tiempo de detención, velocidad de ascenso y eficiencia se evaluó en las columnas de caudal actual y teórico para 4 reactores anaeróbicos.

Por otro lado como se puede apreciar en los valores de la tabla 18, para obtener los parámetros de tiempo de retención, velocidad de ascenso y lograr una adecuada eficiencia de remoción, se hizo el análisis en una tercera columna con el caudal de medición realizado el año 2020 y una cuarta columna con el caudal teórico proyectado al año 2030, siendo necesario la adición de 2 reactores UASB (4 en total) para obtener parámetros de salida adecuados.

### **3.4. Caudal de aguas residuales de replanteo.**

Después de realizada la estimación teórica y medición del caudal de aguas residuales de la ciudad de Quillabamba en la actualidad así como la evaluación correspondiente de los caudales afluentes a las obras hidráulicas ya construidas se determinó que:

- El caudal máximo permisible que puede conducir el emisor sifón invertido (diseñado y ejecutado con el Expediente Técnico del año 2007) hacia la PTAR de Quillabamba es de 126.88 l/s, por lo tanto en la actualidad no se podría conducir tratar la totalidad de aguas residuales domésticas que es de 261.55 l/s.

- Para lograr una adecuada eficiencia de remoción, evitar pérdidas de biomasa y cumplir con la calidad del efluente requerida por la normativa de los dos reactores anaeróbicos existentes, estos deben operar con un caudal promedio afluente de 55.01 l/s (según lo planteado en el Expediente Técnico 2007), por lo que en la actualidad se debe adicionar dos reactores UASB más (cuatro en total) con las mismas dimensiones y características, prescindiendo de los filtros percoladores planteados en el Expediente Técnico del 2017 y que aún no fueron construidos.

- Con cuatro reactores anaeróbicos la capacidad de tratamiento de la PTAR sería de 110.02 l/s y con la evaluación de afluentes del reactor anaerobio con un caudal teórico proyectado al año 2030 de 113.65 l/s que concluye en parámetros de salida óptimos, se determinó utilizar estos valores teóricos como parámetros hidráulicos de replanteo de instalaciones mecánicas, ya que se acercan más a los valores planteados en el Expediente Técnico del 2007 los cuales tienen mayor consistencia, según lo evaluado anteriormente.

- Del mismo modo para las estaciones de bombeo existentes se utilizarán como parámetros de replanteo los caudales afluentes planteados en el Expediente Técnico del año 2007.

## CAPÍTULO IV

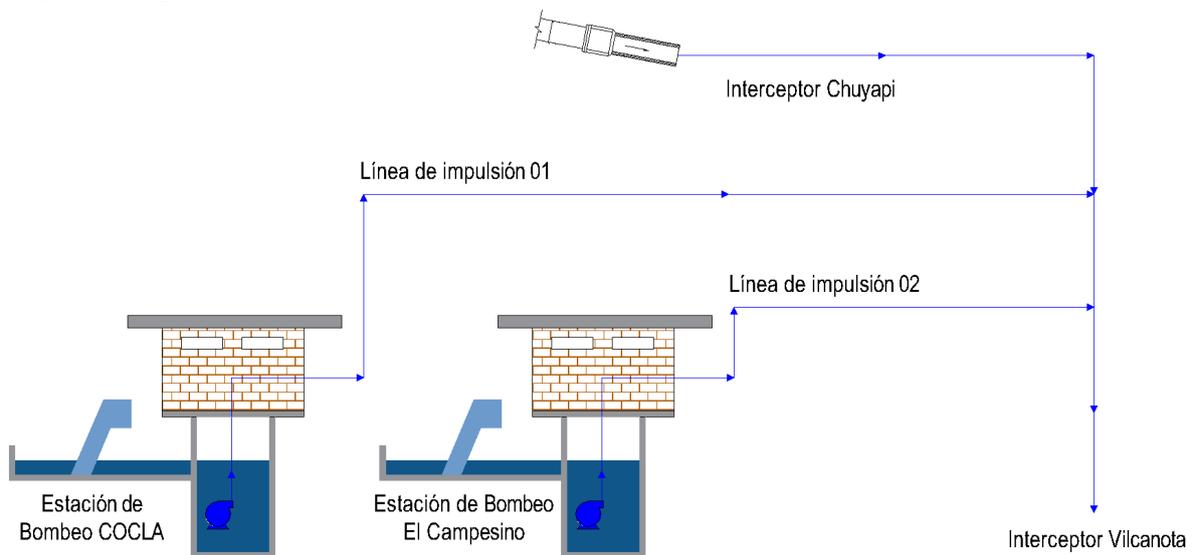
### 4. INSTALACIONES DE BOMBEO

#### 4.1. Introducción.

Las estaciones de bombeo se describieron en el capítulo I y el esquema de los sistemas de bombeo proyectados se muestra en la figura 28. A continuación se presentan las comprobaciones de pérdidas de carga, altura dinámica y potencia hidráulica de las bombas instaladas en las casetas de bombeo. También se realizó un análisis del fenómeno transitorio de golpe de ariete.

#### Figura 28

Diagrama esquemático de los sistemas de bombeo EB-01 y EB-02



Nota: los sistemas de bombeo proyectados descargan en el “Interceptor Vilcanota” y este conduce las aguas servidas hacia la Estación de Pretratamiento de Puente Maenique. Fuente: Elaboración Propia.

## 4.2. Replanteo de EB-01 “COCLA”

Para el caso de la Estación de Bombeo de COCLA, los cálculos se realizaron con el valor de caudal máximo horario del área de drenaje A1 que corresponde a 43 l/s y una altura geométrica de 44.70 metros.

### 4.2.1. Cálculo de altura dinámica de bombeo

Según los datos obtenidos del Expediente Técnico del año 2007 la caseta de bombeo de COCLA tiene los siguientes datos:

-	Cota de Terreno EB (msnm):	1029.00
-	Cota más baja de bombeo (msnm):	1020.20
-	Cota más alta de bombeo (msnm):	1064.90
-	Altura geométrica de bombeo (m)	44.70
-	Nivel succión a nivel terreno (m):	8.80
-	Longitud plana de la línea de impulsión (m):	1295.85
-	Diámetro de línea de impulsión (mm):	250
-	Material de línea de impulsión:	PVC (C=150)
-	Longitud de tubería de descarga en caseta (m):	8.80
-	Diámetro de tubería de descarga en caseta (mm):	200
-	Material de tubería de descarga en caseta:	Hierro dúctil (C=120)

En primer lugar se realizó la comprobación de los diámetros del árbol o manifold de descarga y de la línea de impulsión, de modo que tenga una velocidad mayor a 0.6 m/s para garantizar el arrastre de sólidos, a la vez con los valores de velocidades se determinan las presiones dinámicas.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19***Comprobación de diámetros, velocidades y presiones dinámicas de EB-01*

<b>Tramo</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>Cumple</b>	<b>P<sup>dinámica</sup> (mm)</b>
EB01	43.00	200	1.37	ok	95.49
LI01	43.00	226	1.07	ok	58.36
					<b>153.84</b>

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se determinaron las pérdidas por longitud, mostradas en la tabla 20, reemplazando datos en (1), (ecuación de Hazen Williams).

**Tabla 20***Pérdidas por longitud en árbol de descarga y línea de impulsión de EB-01*

<b>Tramo</b>	<b>L (m)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>
EB01	8.80	43.00	200	98.87
LI01	1295.85	43.00	226	5293.34
				<b>5392.21</b>

Fuente: Elaboración Propia

Donde se obtiene un valor de  $h_f$  igual a 0.098 metros en la caseta de bombeo y 5.293 metros en la línea de impulsión.

A continuación, sustituyendo valores en (2), se calcularon las pérdidas de carga por accesorios en el manifold de descarga y en la línea de impulsión. Cuyos valores se muestran en las tablas N° 21 y 22.

**Tabla 21***Pérdidas de carga por accesorios en manifold de descarga de EB-01.*

<b>Manifold de descarga EB-01</b>	<b>Cant.</b>	<b>K</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>h<sub>f</sub> (mm)</b>
Codo 90° DN200	2	1.00	1.37	190.97
Válvula de compuerta DN200	1	0.30	1.37	28.65
Válvula check DN200	1	2.50	1.37	238.71
Reducción DN250x200	1	0.10	1.37	9.55
Tee DN200x80	2	1.80	1.37	343.75
Yee DN200	1	1.60	1.37	152.78
Codo 45° DN200	1	0.40	1.37	38.19
Caudalímetro	1	0.50	1.37	47.74
Brida-Campana	1	0.50	1.37	47.74
<b>Suma</b>				<b>1098.09</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 22***Pérdidas de carga por accesorios en línea de impulsión de EB-01.*

<b>Línea de Impulsión 01</b>	<b>Cant.</b>	<b>K</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>h<sub>f</sub> (mm)</b>
Codo 45° DN250	44	0.42	1.07	1720.88
Tee DN250	2	1.80	1.07	210.08
Salida	1	0.50	1.07	29.18
<b>Suma</b>				<b>1317.69</b>

Fuente: Elaboración Propia

Haciendo la sumatoria total de las pérdidas mayores y menores las pérdidas totales, resulta en un valor de 7.961 m:

$$H_f = (0.098 + 5.293) + (1.098 + 1.317) = 7.808 \text{ m}$$

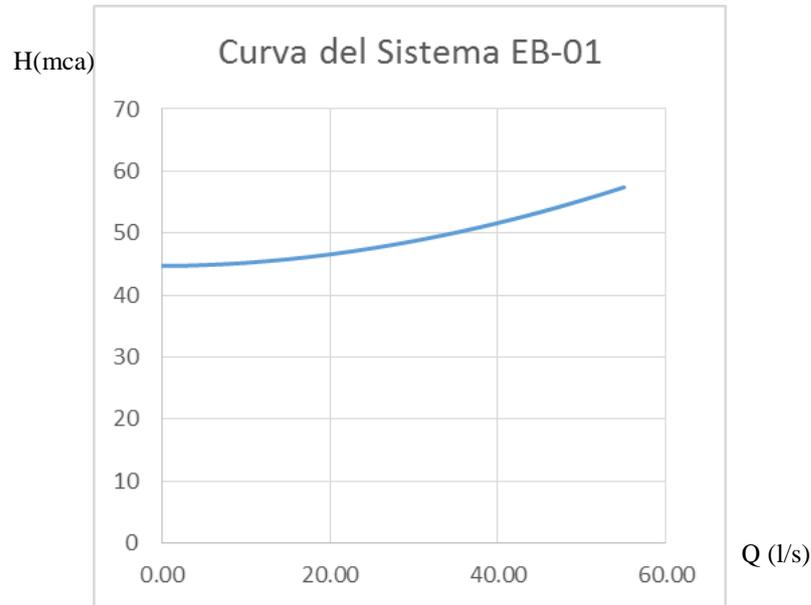
Y por lo tanto se calcula mediante la ecuación 3 la altura hidráulica de bombeo, cuyo valor será:

$$H_t = 44.700 + 7.808 + 0.153 = 52.66 \text{ m}$$

Con los datos de pérdidas de carga y para distintos valores de caudal se construyó la curva del sistema mostrado en la figura 29

**Figura 29**

*Curva del sistema para la Estación de Bombeo COCLA EB-01*



Fuente: Elaboración Propia

**4.2.2. Cálculo de potencia hidráulica teórica**

La potencia hidráulica teórica se calculó reemplazando valores en (4), en la práctica la eficiencia varía según las características de la bomba, los cuales se pueden verificar en los catálogos de los fabricantes.

$$P_H = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 52.66\text{m} \times 0.043 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 22.21 \text{ kW}$$

**4.2.3. Verificación de golpe de ariete**

Para prevenir los problemas ocasionados por el transitorio de golpe de ariete a causa de un cierre rápido de una válvula en la parada de la bomba, se verificaron la sobrepresión y la presión negativa de colapso debido a este fenómeno.

En primer lugar se calculó el tiempo de parada de bomba o tiempo crítico reemplazando en (5) los siguientes datos:

$$L = 1295.85 \text{ m (longitud del tramo)}$$

$$v = 1.07 \text{ m/s (velocidad en la tubería)}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ (aceleración de la gravedad)}$$

$$H_m = 52.66 \text{ m (altura dinámica total)}$$

$$C = 1 \text{ y } K = 1.5 \text{ (coeficientes de ajuste empírico tablas 4 y 5)}$$

$$T_c = C + \frac{K \times L \times v}{g \times H_m} = 5.0 \text{ seg}$$

Luego, se determinó la posibilidad de un golpe de ariete comparando el tiempo de crítico  $T_c$  y el tiempo de propagación de onda  $T_p$  calculado mediante la expresión (6).

Para el cálculo del tiempo de parada se calculó reemplazando valores en (7) la velocidad de propagación de onda con los datos de la tabla N° 6 para tuberías de PVC, resultado que se encuentra dentro rango entre 350 m/s y 450 m/s obtenido en ensayos (Abreu et al, 1995).

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 33.3 \times (250 - 11.9)/11.9}} \cong 400 \text{ m/s}$$

$$T_p = \frac{2 \times L}{a} = 6.5 \text{ seg}$$

Por lo tanto  $T_c$  (5 seg)  $\leq$   $T_p$  (6.5 seg) y se tiene un cierre rápido; entonces se puede concluir que se tendrá una sobrepresión máxima en determinado punto de la tubería que producirá el golpe de ariete. Este punto de sobrepresión está ubicado en una longitud crítica  $L_c$  y se calculó reemplazando datos en (8):

$$L_c = \frac{a \times T_c}{2} = 998.00 \text{ m}$$

Según al criterio de la tabla N° 7 para obtener la sobrepresión del golpe de ariete se aplicó el criterio de Allieve para una longitud crítica menor a la longitud de la tubería  $L_c < L$  (impulsión larga) y un cierre rápido  $T_c \leq T_p$ .

$$H_{wh} = \frac{a \times v}{g} = 43.60 \text{ mca}$$

La presión máxima en las tuberías será la suma de la altura dinámica total  $H_t$  más la sobrepresión  $H_{wh}$  y será igual a  $H_{max} = H_t + H_{wh} = 96.26 \text{ mca}$  o  $9.63 \text{ kg/cm}^2$ , que es un valor menor a la presión de trabajo nominal PN10 de la tubería de hierro fundido en el árbol de descarga y de la tubería de PVC ISO 4422 Clase 10 de la línea de impulsión (ambas con presión nominal de  $10 \text{ kg/cm}^2$ ). Teóricamente la línea no requiere de dispositivos de alivio de presión, sin embargo, al tener tramos con pendientes pronunciadas (a la salida de la cámara de bombeo) y un valor de sobrepresión cercano a la presión nominal de las tuberías se hizo la selección de un tanque hidroneumático de ariete aguas arriba de la válvula de retención, cuyo volumen en litros se calcula reemplazando valores en la expresión empírica (19) desarrollada por Mendiluce (1974):

$$V_o = \frac{W \times L \times Q^2}{H_t \times D^2} \quad (19)$$

- Dónde:
- L: Longitud del tramo en metros (1295.85 m)
  - Q: Caudal de impulsión en  $\text{m}^3/\text{s}$  ( $0.042 \text{ m}^3/\text{s}$ )
  - $H_t$ : Altura dinámica total absoluta en atmósferas ( $52.66 + 10.33 \text{ m}$ )
  - $H_t = (52.66 / 10.33 + 1 \text{ atm}) = 6.098 \text{ atm}$
  - $H_{max} = (96.26 / 10.33 + 1 \text{ atm}) = 10.318 \text{ atm}$
  - D: Diámetro en metros (0.226 m).
  - W: Coeficientes de ajuste para  $\alpha = H_{max}/H_t = 1.70$

Para obtener el valor de W, se hace uso de la tabla 23 y se obtiene en primer lugar la relación  $\alpha = H_{\max}/H_t$  donde  $H_{\max}$  es la sobrepresión máxima absoluta por golpe de ariete en atmósferas y se obtuvieron los siguientes valores:

$$H_{\max} = (96.26 / 10.33 + 1 \text{ atm}) = 10.318 \text{ atm}$$

$$\alpha = H_{\max}/H_t = 10.318/6.098 = 1.7$$

Finalmente reemplazando valores en (12) se tiene:

$$V_o = \frac{18 \times 1295.85 \times 0.042^2}{6.098 \times 0.226^2} = 132 \text{ litros}$$

**Tabla 23**

*Valores del coeficiente de ajuste empírico para valores diferentes de  $\alpha = H_{\max}/H_t$*

Valores del coeficiente W							
$\alpha$	W	$\alpha$	W	$\alpha$	W	$\alpha$	W
1.04	231	1.13	75	1.22	47	1.35	31
1.05	187	1.14	70	1.23	45	1.40	28
1.06	157	1.15	66	1.24	43	1.50	23
1.07	135	1.16	62	1.25	42	1.60	20
1.08	119	1.17	59	1.26	40	<u>1.70</u>	<u>18</u>
1.09	106	1.18	56	1.27	39	1.80	16
1.10	96	1.19	54	1.28	38	1.90	15
1.11	88	1.20	52	1.29	37	2.00	14
1.12	81	1.21	49	1.30	36	-	-

Fuente: Amortiguadores de vejiga, Revista de Obras Públicas – Mendiluce (1974)

El volumen del tanque de expansión de ariete se seleccionó de catálogos del fabricante Bermad a un volumen comercial inmediato superior de 200 litros.

Otro aspecto evaluado fue el efecto del aire que puede quedar atrapado dentro de las tuberías por efecto de la turbulencia del flujo, el caso más desfavorable se produce cuando se tiene vacío absoluto en el interior de la tubería, donde el espesor crítico antes del colapso está dado por la expresión desarrollada por Michaud (CIDTA, 2009).

$$e \geq \sqrt[3]{\frac{P_o \times (1 - \mu^2) \times D}{2 \times E}} \quad (20)$$

- Dónde:
- e: Espesor de colapso de tubería en centímetros
  - P<sub>o</sub>: Presión atmosférica en kg/ cm<sup>2</sup> (0.9165 kg/cm<sup>2</sup>)
  - E: Módulo de elasticidad de la tubería en kg/cm<sup>2</sup>
  - E = 2.75 MPa = 28042.20 kg/cm<sup>2</sup> (PVC)
  - D: Diámetro interior de la tubería en centímetros (22.62 cm)
  - μ: Módulo de Poisson de la tubería (PVC= 0.38)

Reemplazando valores en (20) se tiene:

$$e \geq \sqrt[3]{\frac{0.9165 \times (1 - 0.38^2) \times 22.62}{2 \times 28042.20}} = 0.54 \text{ cm}$$

Resultando  $e = 1.19 \text{ cm} \geq 0.54 \text{ cm}$ , siendo un espesor adecuado para soportar la presión de colapso H<sub>c</sub> que se calculó mediante la siguiente fórmula (Abreu, 1995):

$$H_c = \frac{2 \times E}{P_o \times (1 - \mu^2)} \times \left(\frac{e}{D}\right)^3 \quad (21)$$

Y, reemplazando valores se tiene:

$$H_c = \frac{2 \times 28042.20}{28042.20 \times (1 - 0.38^2)} \times \left(\frac{0.54}{22.62}\right)^3 = 9.54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 95.44 \text{ mca}$$

De donde se obtiene H<sub>max</sub>=94.52 mca < H<sub>c</sub>=95.44 mca, sin embargo se tienen instaladas válvulas de aire de DN 80 mm (ventosas) a la salida del árbol de descarga y en la progresiva +716.90 de la línea de impulsión, las cuales deben permanecer instaladas como sistemas de protección redundantes.

### 4.3. Replanteo de bomba EB-02 “El Campesino”

Se elevará un caudal de aguas residuales de 40 l/s a una altura de bombeo de 35 metros.

A continuación se detallan los cálculos realizados para la Estación de Bombeo El Campesino o EB-02.

#### 4.3.1. Cálculo de altura hidráulica de bombeo

Según el Expediente Técnico del año 2007 la caseta de bombeo de “El Campesino” tiene los siguientes datos:

- Cota de Terreno EB (msnm):	1028.32
- Cota más baja de bombeo (msnm):	1024.00
- Cota más alta de bombeo (msnm):	1042.18
- Altura geométrica de bombeo (m)	18.18
- Nivel succión a nivel terreno (m):	4.31
- Longitud plana de la línea de impulsión (m):	963
- Diámetro de línea de impulsión (mm):	226
- Material de línea de impulsión:	PVC (C=150)
- Longitud de tubería de descarga en caseta (m):	8.80
- Diámetro de tubería de descarga en caseta (mm):	200
- Material de tubería de descarga en caseta:	Hierro dúctil (C=120)

En primer lugar, haciendo uso de la ecuación de continuidad se realizó la comprobación de los diámetros del manifold de descarga y de la línea de impulsión, de modo que tenga una velocidad mayor a 0.6 m/s para garantizar el arrastre de sólidos, a la vez con los valores de velocidades se determinan las presiones dinámicas (Tabla 24).

**Tabla 24***Comprobación de diámetros, velocidades y presiones dinámicas de EB-02*

<b>Tramo</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>Cumple</b>	<b>P<sup>dinámica</sup> (mm)</b>
EB-02	40.00	200	1.27	ok	82.63
LI-02	40.00	226	0.81	ok	50.50
					<b>133.12</b>

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se determinaron las pérdidas por longitud (tabla 25), usando la ecuación

1 de Hazen Williams.

**Tabla 25***Pérdidas por longitud en árbol de descarga y línea de impulsión de EB-02*

<b>Tramo</b>	<b>L (m)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>
EB-02	8.80	40.00	200	86.49
LI-02	963.00	40.00	226	3441.08
				<b>3527.57</b>

Fuente: Elaboración propia

Donde se obtiene un valor de  $h_f$  igual a 0.087 metros en la caseta de bombeo y 3.441 metros en la línea de impulsión.

Posteriormente, mediante la fórmula (2) de pérdidas menores, se calcularon las pérdidas de carga por accesorios en el manifold de descarga y en la línea de impulsión, cuyos valores obtenidos se muestran en las tablas 26 y 27.

**Tabla 26***Pérdidas de carga por accesorios en manifold de descarga de EB-02.*

<b>Manifold de descarga EB-01</b>	<b>Cant.</b>	<b>K</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>h<sub>f</sub> (mm)</b>
Codo 90° DN200	2	1.00	1.27	165.25
Válvula de compuerta DN200	1	0.30	1.27	24.79
Válvula check DN200	1	2.50	1.27	206.57
Reducción DN250x200	1	0.10	1.27	8.26
Tee DN200x80	2	1.80	1.27	297.46
Yee DN200	1	1.60	1.27	132.20
Codo 45° DN200	1	0.40	1.27	33.05
Caudalímetro	1	0.50	1.27	41.31
Brida-Campana	1	0.50	1.7	41.31
<b>Suma</b>				<b>950.21</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27***Pérdidas de carga por accesorios en línea de impulsión de EB-02.*

<b>Línea de Impulsión 01</b>	<b>Cant.</b>	<b>K</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>h<sub>f</sub> (mm)</b>
Codo 45° DN250	26	0.42	1.00	551.43
Tee DN250	2	1.80	1.00	181.79
Salida	1	0.50	1.00	16.92
<b>Suma</b>				<b>758.47</b>

Haciendo la sumatoria de los resultados de pérdidas mayores y menores, las pérdidas totales en la estación de bombeo serán:

$$H_f = (0.087 + 3.441) + (0.950 + 0.758) = 5.236 \text{ m}$$

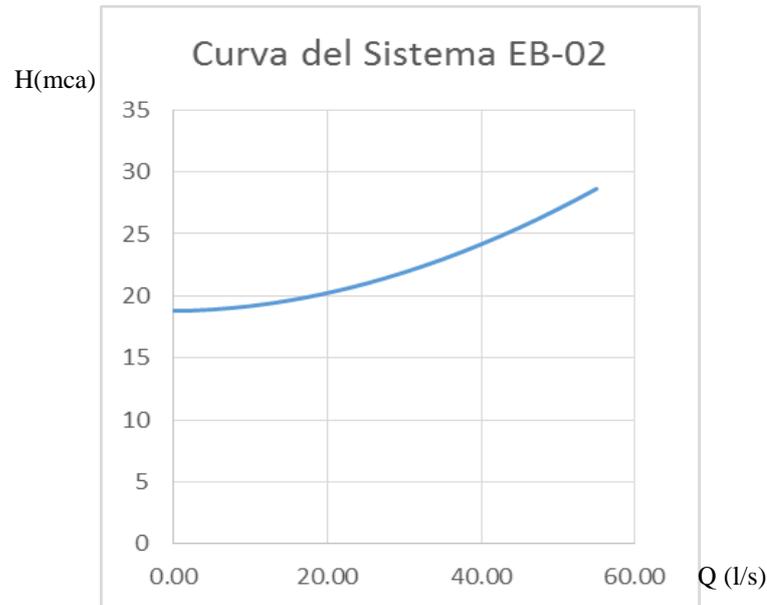
Y por lo tanto, reemplazando en (3), la altura hidráulica de bombeo será de:

$$H_t = 18.800 + 5.236 + 0.133 = 24.169 \text{ m}$$

Con los datos de pérdidas de carga y para distintos valores de caudal se construyó la curva del sistema mostrado en la figura 30

**Figura 30**

*Curva del sistema para la Estación de Bombeo “El Campesino” EB-02*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2. Cálculo de potencia hidráulica teórica

Reemplazando valores en (4) se hizo el cálculo de la potencia hidráulica teórica, valor que difiere de la potencia real la que se puede obtener de los catálogos y curvas del fabricante.

$$P_H = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 24.169\text{m} \times 0.040 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 9.48 \text{ kW}$$

#### 4.3.3. Verificación de golpe de ariete

Al igual que en la EB-01, se calculó el tiempo de parada de bomba o tiempo crítico sustituyendo los siguientes datos en (5):

$L = 963.00 \text{ m}$  (longitud del tramo)

$v = 1.00 \text{ m/s}$  (velocidad en la tubería)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$  (aceleración de la gravedad)

$H_m = 24.169 \text{ m}$  (altura dinámica total)

$C = 1$  y  $K = 1.5$  (coeficientes de ajuste empírico tablas 4 y 5)

$$T_c = 1 + \frac{1.5 \times 963 \times 1.00}{9.81 \times 24.17} = 7.1 \text{ segundos}$$

La línea de impulsión LI-02 al ser del mismo diámetro (DN250) y material (PVC) que la línea de impulsión LI-01, tendrá la misma velocidad de propagación de la onda en tuberías cuyo valor es de 400 m/s, sustituyendo valores en (6), el tiempo de propagación de onda será:

$$T_p = \frac{2 \times 963}{400} = 4.8 \text{ segundos}$$

Por lo tanto  $T_c$  (7.1 segundos)  $\geq$   $T_p$  (5.2 segundos) y se tiene un cierre lento; entonces la onda de presión retornará a la válvula de retención antes de que se encuentre totalmente cerrada y no se producirá el golpe de ariete. Reemplazando valores en (8) la longitud crítica  $L_c$  será:

$$L_c = \frac{400 \times 7.1}{2} = 1412.00 \text{ m}$$

La sobrepresión para la longitud crítica mayor a la longitud de la tubería  $L < L_c$  (impulsión corta) y un cierre lento  $T_c > T_p$ , de acuerdo a la tabla 7, se estima con la fórmula de Michaud, reemplazando valores se tiene:

$$H_{wh} = \frac{2 \times 963 \times 1.00}{9.81 \times 7.1} = 27.70 \text{ mca}$$

La presión máxima en las tuberías corresponde la suma de la altura dinámica total  $H_t$  más la sobrepresión  $H_{wh}$  y será igual a  $H_{max} = H_t + H_{wg} = 51.87 \text{ mca}$  o  $5.19 \text{ kg/cm}^2$ , que es un valor mucho menor a la presión de trabajo nominal PN10 de la tubería de hierro fundido en el árbol de descarga y de la tubería de PVC ISO 4422 Clase 10 de la línea de impulsión (ambas con presión nominal de  $10 \text{ kg/cm}^2$ ). Se puede concluir en que línea no requiere de dispositivos de alivio de presión, sin embargo, al tener tramos con pendientes regulares se seleccionó una válvula de triple efecto de DN80 (correspondiente a una impulsión de DN250) que se reemplazará a la válvula de aire ya instalada en la tubería de descarga.

También fue evaluado es el efecto del aire atrapado en las tuberías por efecto de la turbulencia del flujo, el caso más desfavorable se produce cuando se tiene vacío absoluto en el interior de la tubería, donde el espesor crítico antes del colapso está dado por la fórmula (20) con los siguientes datos:

$$P_o = 0.9165 \text{ kg/cm}^2 \text{ (presión atmosférica local)}$$

$$E = 2.75\text{E}+09 \text{ Pa} = 28042.20 \text{ kg/cm}^2 \text{ (módulo de elasticidad)}$$

$$D = 22.62 \text{ cm (diámetro interior)}$$

$$\mu = 0.38$$

Reemplazando valores en (13) se tiene

$$e \geq \sqrt[3]{\frac{0.9165 \times (1 - 0.38^2) \times 22.62}{2 \times 28042.20}} = 0.54 \text{ cm}$$

Resultando  $e = 1.19 \text{ cm} \geq 0.54 \text{ cm}$ , siendo un espesor adecuado para soportar la presión de colapso que se calculó sustituyendo valores en (21):

$$H_c = \frac{2 \times 28042.20}{0.9165 \times (1 - 0.38^2)} \times \left(\frac{0.54}{1.19}\right)^3 = 9.54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 95.44 \text{ mca}$$

De donde se obtiene  $H_{\max}=47.81 \text{ mca} < H_c= 95.44 \text{ mca}$ , de todas maneras se conservarán la válvula de aire DN 80 mm instalada en la ejecución del proyecto del año 2007, en la progresiva +327.20 como protección redundante y prevención de separación de columnas de agua.

## **CAPÍTULO V**

### **5. INSTALACIONES DE BIOGÁS**

#### **5.1. Introducción**

El biogás y el gas residual producido en los reactores anaeróbicos contienen principalmente metano (que es un gas de efecto invernadero y altamente combustible) y sulfuro de hidrógeno, que ocasiona olores irritantes y en niveles elevados son perjudiciales para la salud (EPA, 2019). Para evitar su liberación a la atmósfera, estos gases deben ser reducidos en un quemador a fuego abierto o cerrado (biogás), o extraídos y filtrados en el caso del gas residual.

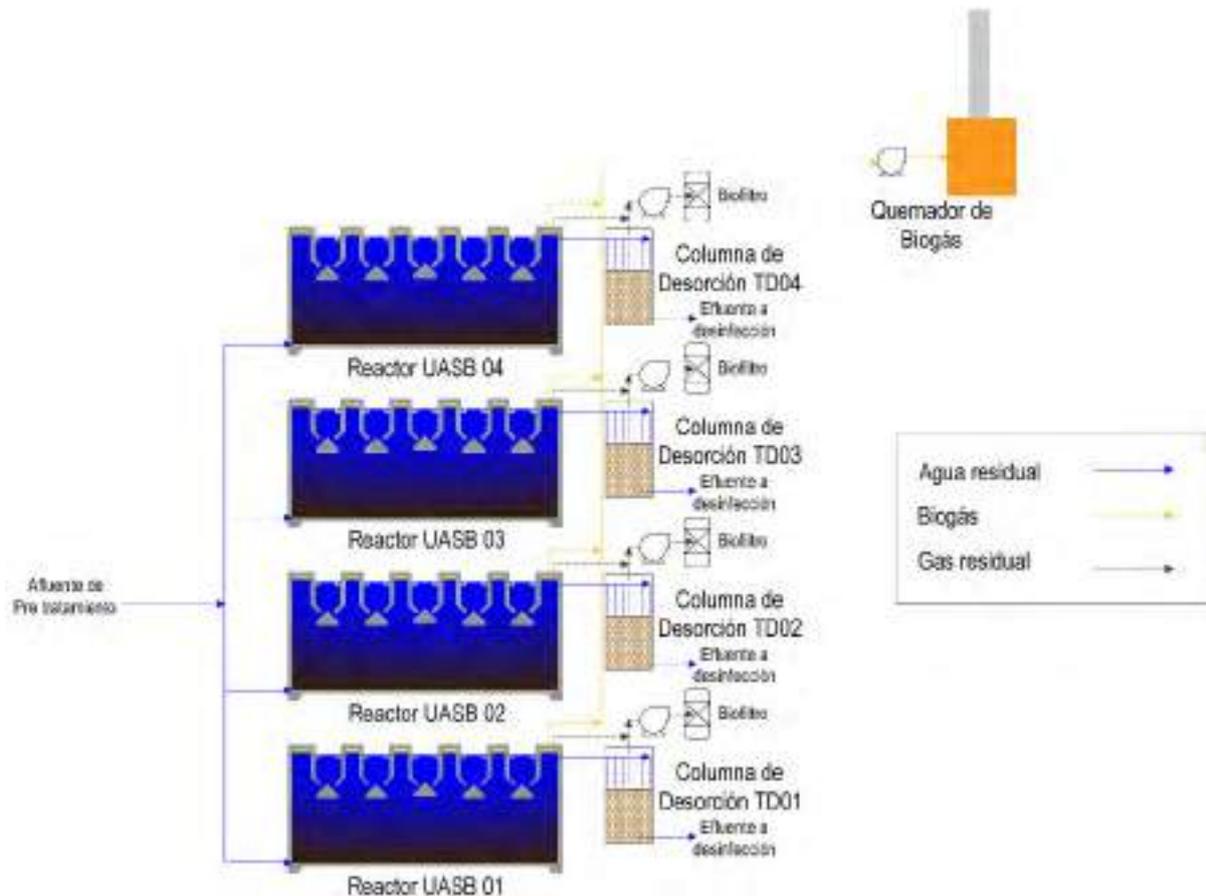
Para el caso del biogás éste es directamente extraído de la cámara de gases del digester anaeróbico UASB, mediante una diferencia de presión generada por un compresor centrífugo, y posteriormente enviado a un quemador para su disposición final.

Por otro lado el gas residual que se encuentra disuelto en el afluente y efluente líquido es desprendido por la desorción generada por el movimiento de las moléculas de gas dentro del flujo mismo o por cámaras de desorción, las que tienen mayor tasa de remoción. La colección del gas residual se realiza mediante conductos y ventiladores centrífugos, de manera análoga a un sistema de ventilación por presión negativa.

En el sistema propuesto en el presente trabajo el diagrama de procesos de las instalaciones de biogás se grafica en la figura 31 donde se puede apreciar la línea de aguas residuales (color azul), línea de biogás (color naranja) y la línea de gas residual (color marrón), además de los componentes del sistema (tuberías, ductos, sopladores, torre de desorción, biofiltros y el quemador de biogás), cuyo dimensionamiento se desarrolló en los siguientes sub capítulos.

**Figura 31**

*Diagrama esquemático de las instalaciones de biogás en la PTAR de Quillabamba*



Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.1. Desorción de gases residuales

Según Freire et al. (2018) los gases residuales disueltos en el efluente de reactores anaerobios puede empeorar la emisión de olores y de gases de efecto invernadero ( $\text{CH}_4$ ), como también la corrosión que ocasiona el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en las estructuras de la PTAR, estos gases disueltos pueden ser colectados del efluente mediante cámaras de desorción (figura 32).

La desorción es la transferencia de gas desde una fracción líquida hacia una fracción gaseosa, esto se consigue mediante el contacto entre el líquido contenedor del gas con un flujo de aire que inicialmente está libre del mencionado gas (CONAGUA, 2007). Los parámetros de

diseño y eficiencias de remoción de H<sub>2</sub>S en cámaras de desorción, fueron obtenidos en investigaciones piloto en reactores UASB en Brasil (Tabla 28).

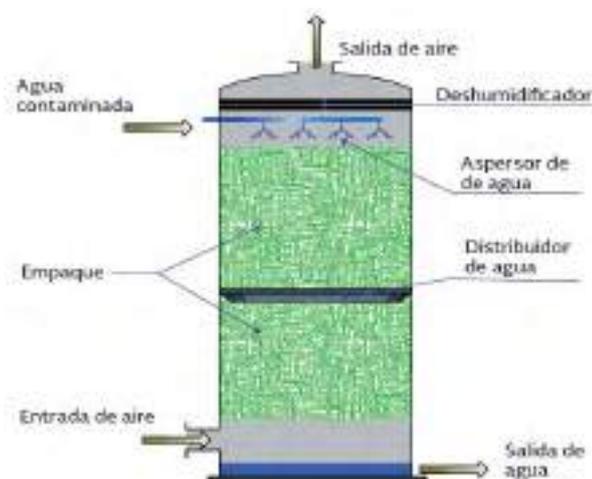
**Tabla 28**  
*Parámetros de diseño y eficiencias de remoción de torres de desorción*

Tipo de cámara de desorción	Altura útil (m)	Tasa de aplicación superficial (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	Relación de caudales Q <sub>g</sub> /Q <sub>l</sub>	Eficiencia de remoción de H <sub>2</sub> S (%)	Concentración de H <sub>2</sub> S en el gas residual (ppm)
Sin relleno	1.0 a 1.5	0.10 - 0.30	2.0 - 10.0	40 - 70	100 -400
Con relleno	1.2 a 1.5	0.15 - 0.30	3.0 - 4.0	65 - 85	200 - 600

Fuente: Colección de Reactores UASB – Revista DAE (2019)

Donde la tasa de aplicación superficial establece el área necesaria de la cámara (en m<sup>2</sup>) para tratar un caudal determinado de aguas residuales (en m<sup>3</sup>/min), este parámetro determina el tamaño de la unidad. La relación de caudales, es la razón entre el caudal de aire Q<sub>g</sub> necesario para ventilar la cámara de desorción para un caudal de líquido Q<sub>l</sub> (Freire et al, 2018). El material de relleno más utilizado son los anillos plásticos de polipropileno.

**Figura 32**  
*Torre de desorción de aguas residuales*



Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – CONAGUA (2007)

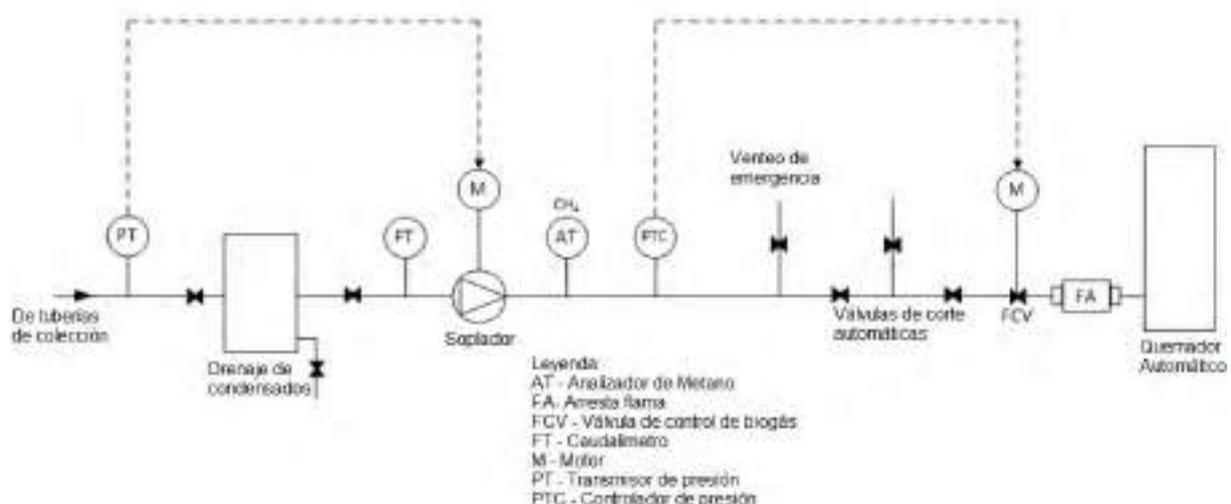
### 5.1.2. Quemador de biogás

Para una quema eficiente, estos equipos requieren de una presión de arranque mínima (entre 2 a 15 pulgadas de columna de agua) que puede ser obtenida directamente de la presión generada en la colección del biogás o mediante un equipo compresor (soplador). El equipo se acciona mediante un controlador de presión y una válvula solenoide, para prevenir explosiones y flujos inversos de la llama se instalan, de acuerdo a norma, arresta flamas y válvulas de alivio (figura 33). Los materiales de construcción de los equipos, accionamientos y accesorios deben ser anticorrosivos, el más usado es el acero inoxidable.

La selección del quemador de biogás se realiza con el valor de producción de biogás (caudal) en los reactores anaerobios, que puede ser obtenido mediante métodos analíticos o mediante el uso de herramientas informáticas como el Probio 1.0 (figura 34), desarrollado por la Compañía de Saneamiento de Paraná y la Universidad Federal de Minas Gerais, los datos de entrada son el caudal promedio, carga contaminante y las condiciones de operación del reactor UASB.

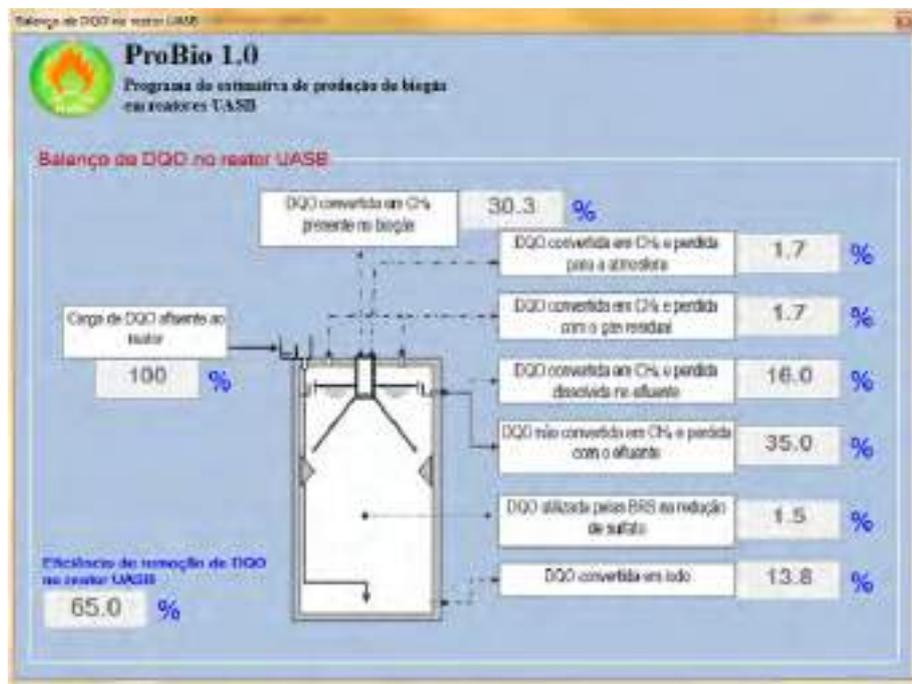
**Figura 33**

*Esquema de instalación de un quemador de llama cerrada*



Fuente: Catálogo técnico GAS FLARE – ENNOX (2014)

**Figura 34**  
 Interfaz del software “ProBio 1.0”



Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Colección y disposición de biogás de reactor UASB

La producción de biogás se evaluó mediante el software ProBio 1.0, en el cual se ingresaron los datos de caudal afluente de aguas residuales, evaluado en el capítulo anterior, de donde se obtiene una cifra de 205 Nm<sup>3</sup> de producción por día con una concentración de metano del 69.2% y una producción normalizada de metano de 127.7 Nm<sup>3</sup> por día, por cada reactor biológico. Los gases producidos por la digestión anaerobia en los reactores UASB serán colectados mediante tuberías conectadas a orificios ubicados en la parte superior de la cámara de gases. De acuerdo a la norma ANSI/CSA B149.6, se debe considerar una pendiente de 2% mínimo para un adecuado drenaje de la humedad contenida en el biogás. Asimismo las condiciones atmosféricas de presión (determinado por la altitud) y temperatura son relevantes para los cálculos.

Presión atmosférica a 1000 msnm:	89.875 kPa (898.75 mbar)
Temperatura digestor:	25.00 °C (298.15 K)
Densidad relativa biogás:	0.81

La producción de biogás obtenida anteriormente, está en condiciones normales a 273 K y presión atmosférica de 101.3 kPa, por tal motivo se realizó la conversión a condiciones estándar y se determinó el caudal que pasará por cada tubería de colección (una tubería por compartimiento de biogás del reactor UASB).

Producción de biogás:	205 Nm <sup>3</sup> /día = 252.21 m <sup>3</sup> /día (Condiciones Estándar)
Número de compartimientos:	6
Caudal por compartimiento:	34.17 Nm <sup>3</sup> /día = 42.03 m <sup>3</sup> /día (Condiciones Estándar)
	1.42 Nm <sup>3</sup> /h = 1.75 m <sup>3</sup> /h (Condiciones Estándar)
Factor de seguridad +25%:	1.78 Nm <sup>3</sup> /h = 2.19 m <sup>3</sup> /h (Condiciones Estándar)

La presión absoluta al inicio de cada tramo (orificio de colección de biogás) es la suma de la presión atmosférica, de valor 898.75 mbar y la presión dinámica en el orificio  $v^2/2g = 7.67$  mbar.

### 5.2.1. Cálculo de diámetros y caídas de presión.

Para la selección de los diámetros y el cálculo de las caídas de presión de gases (resultados se muestran en la tabla 29), se utilizó la ecuación (9) o de Renouard cuadrática, de modo que se cumpla la relación de caudal y diámetro de la tubería  $Q/D > 150$  y que la velocidad no supere los 3.7 m/s. Según lo descrito en la sección 5.1.1.

**Tabla 29***Selección de diámetros y estimación de velocidades de tuberías de biogás*

<b>Tramo</b>	<b>L (m)</b>	<b>Le (m)</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>P<sub>i abs</sub> (bar)</b>	<b>P<sub>f abs</sub> (bar)</b>	<b>ΔP (mbar)</b>	<b>Q/D</b>	<b>v (m/s)</b>
<b>Colectores secundarios de biogás</b>									
AB	9.15	10.98	20.00	2.19	0.9064	0.9059	0.53	0.11	2.1391
BC	6.25	7.50	20.00	2.19	0.9064	0.9061	0.36	0.11	2.1387
DE	6.25	7.50	20.00	2.19	0.9064	0.9061	0.36	0.11	2.1387
FG	6.25	7.50	20.00	2.19	0.9064	0.9061	0.36	0.11	2.1387
HI	6.25	7.50	20.00	2.19	0.9064	0.9061	0.36	0.11	2.1387
JK	6.25	7.50	20.00	2.19	0.9064	0.9061	0.36	0.11	2.1387
BE	2.55	3.06	32.00	4.38	0.9061	0.9060	0.05	0.14	1.6709
EG	2.55	3.06	32.00	6.57	0.9060	0.9059	0.11	0.21	2.5067
GI	2.55	3.06	32.00	8.76	0.9059	0.9057	0.19	0.27	3.3430
IK	2.55	3.06	40.00	10.95	0.9057	0.9056	0.10	0.27	2.6747
K1	1.00	1.20	40.00	13.14	0.9056	0.9055	0.05	0.33	3.2098
<b>Total</b>							<b>2.86</b>		
<b>Colectores principales de biogás</b>									
15	12.35	14.82	40.00	13.14	0.9055	0.9049	0.66	0.33	3.2122
25	3.10	3.72	40.00	13.14	0.9055	0.9054	0.17	0.33	3.2104
36	3.10	3.72	40.00	13.14	0.9055	0.9054	0.17	0.33	3.2104
46	7.75	9.30	40.00	13.14	0.9055	0.9051	0.42	0.33	3.2113
57	45.65	54.78	60.00	26.27	0.9049	0.9037	1.23	0.44	2.8591
67	0.50	0.60	60.00	26.27	0.9051	0.9050	0.01	0.44	2.8545
7G	1.00	1.20	75.00	52.54	0.9037	0.9036	0.03	0.70	3.6598
<b>Total</b>							<b>2.69</b>		

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.2. Selección de soplador

Con el objetivo de mantener una presión en las líneas de biogás de tal modo que la colección y disposición del biogás sea eficiente se procedió a seleccionar un equipo soplador (compresor radial) que mantengan una presión mínima hacia el ingreso del quemador.

Para la selección del soplador se requieren los parámetros de pérdidas de presión y caudal de suministro. De la tabla 29 de dimensionamiento de diámetros para el tramo 7G se tiene el caudal total de biogás a colectarse cuyo valor es de 52.54 m<sup>3</sup>/h.

Asimismo de la misma tabla 29 se hizo el cálculo de la suma de pérdidas en tuberías de colección:

$$\text{Pérdidas tubería de colección} = 2.86 \times 4 + 2.69 \text{ (mbar)} = 14.13 \text{ mbar} = 1413 \text{ Pa}$$

Se consideraron las pérdidas por accesorios y dispositivos con un valor bastante conservador que equivale al 20% de las pérdidas en las tuberías de colección, por lo que las pérdidas totales en la línea de biogás son:

$$\text{Pérdidas totales biogás} = 1413 \text{ Pa} + 0.20 \times (1413 \text{ Pa}) = 1695.6 \text{ Pa}$$

Finalmente para la caída de presión de 1695.6 Pa más la presión de trabajo mínima del quemador de 2070 Pa (ver siguiente sub capítulo) se seleccionó un soplador con un punto de operación en 57.70 m<sup>3</sup>/h a 5520 Pa de la marca MAPRO.

### **5.2.3. Selección de quemador**

Como parámetros de selección se tiene el caudal del sistema de 52.54 m<sup>3</sup>/h y la caída de presión de 1696 Pa, de los catálogos de la compañía ENNOX BIOGAS TECHNOLOGY se seleccionó el quemador automático de 80 Nm<sup>3</sup>/h a una presión de trabajo mínima de 2070 Pa (20.7 mbar) cuyas características se aprecian en la sección 6.1.5 del capítulo VI de Especificaciones Técnicas.

### **5.2.4. Colección de gas residual en efluente.**

Si bien el efluente a la salida del reactor UASB cumple con los límites máximos permisibles, éste puede tener un contenido de gas residual disuelto que ocasionaría problemas de olores por su contenido de H<sub>2</sub>S. Para aliviar este problema se planteó una cámara de desorción del biogás que aprovechará el desnivel de 2 metros existente entre la salida del

reactor UASB y las tuberías de colección de efluentes, como se puede apreciar en el perfil hidráulico (ver anexos).

Para retirar del efluente un gas residual con un contenido esperado de H<sub>2</sub>S de 400 ppm (0.4 mg/L) (Freire, Mattos Bohrer, Leite, & Collere, 2019), con los datos de la tabla 28 se realizó la selección de una cámara de desorción cilíndrica con relleno de anillos de polipropileno apilados sobre una estructura de soporte a partir de los siguientes parámetros:

- Altura total: 2.00 m
- Altura útil: 1.50 m
- Altura de relleno: 1.00 m
- Tasa superficial: 0.30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*min
- Material de relleno: Anillos de PP
- Relación de caudal: 4.0 (Caudal de gas/Caudal líquido)
- Caudal líquido: 39.25 l/s (1.875 m<sup>3</sup>/min)

Con los datos de carga superficial de la tabla 29 y el caudal del efluente de cada reactor biológico UASB, se realizó el dimensionamiento del área efectiva y diámetro de la unidad:

$$A_d = \frac{1.875 \text{ m}^3/\text{min}}{0.30 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{min}} = 6.25\text{m}^2$$

$$D_d = \sqrt{\frac{4 * 6.25\text{m}^2}{\pi}} = 2.82 \text{ m}$$

De la tabla número 29 con el dato de relación de caudal líquido y caudal gaseoso se efectuó el cálculo del caudal de ventilación de gases:

$$Q_g = 4 * 1.875 \text{ m}^3/\text{min} = 7.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

Este caudal de ventilación obtenido de  $7.5 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $450 \text{ m}^3/\text{h}$ ) será retirado y enviado a un biofiltro o scrubber mediante extractores mecánicos.

### **5.3. Extracción localizada reactor anaerobio**

Así como se tienen pérdidas de gases disueltos en la fase líquida del efluente (gas residual), se tienen emisiones de malos olores tanto en los distribuidores de afluente al ingreso del reactor como los canales colectores de efluente a la salida.

Para mitigar estos olores el expediente técnico de Saldos de Obra contempla que estos elementos se cubran con tapas de material plástico. Para garantizar que estos olores no salgan al exterior se seleccionaron extractores que mantengan una presión negativa en los compartimientos cubiertos, finalmente se diseñó un sistema de conductos que evacúen el gas residual hacia biofiltros lavadores o “scrubbers”.

#### **5.3.1. Cálculo del caudal de extracción**

Los cálculos en ductos de extracción de gas residual se calculan como un sistema de extracción localizada de aire y, según Freire et al (2019), el caudal de extracción se obtiene con una tasa de renovaciones por hora de 4 a 6 en zonas restringidas (no visitables) y en áreas visitables la tasa de renovaciones por hora debe ser mayor a 10. La presión diferencial será como mínimo de 2.5 mm c.a. para una velocidad de ingreso mínima de 6.4 m/s.

Los materiales de construcción de los ductos de gas residual (por su contenido de  $\text{H}_2\text{S}$ ) deben ser anticorrosivos como el PVC o la fibra de vidrio, los que son de baja de presión de trabajo con una velocidad de circulación máxima admitida de 10 m/s (Carrier Air Conditioning Co, 2017).

El caudal de extracción se dimensiona en base al volumen delimitado por las dimensiones de la altura libre bajo las tapas y las dimensiones de los canales de la zona de

sedimentación (5 canales de sedimentación) del reactor UASB (ver anexos); todo esto multiplicado por la tasa de renovaciones por hora requerida.

- Alto: 0.80 m
- Ancho: 1.50 m
- Largo: 13.00 m
- Volumen: 15.60 m<sup>3</sup>
- Volumen total: 78.00 m<sup>3</sup>

Se asumió un valor de 12 renovaciones por hora para espacios que son concurridos por operadores (Freire et al, 2018). Por lo tanto se tiene el caudal de extracción de:

$$Q_{\text{extracción}} = 78 \text{ m}^3 \times 12 \frac{\text{renovaciones}}{\text{hora}} = 936 \text{ m}^3/\text{h}$$

A este caudal se le añade el caudal de extracción de la torre de desorción del efluente:

$$Q_{\text{total}} = 936 + 450 = 1386 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 5.3.2. Dimensionamiento de ductos

Para tener las menores pérdidas por fricción en ductos a baja presión se recomienda velocidades en el ducto principal y ramales menores a 8 y 5 m/s respectivamente, Carrier AC Co. (2017). Con el cociente del caudal de extracción y este valor de velocidad y la ecuación de continuidad se estimó la sección del ducto principal y de los ramales (Tabla 30).

**Tabla 30***Cálculo y comprobación de velocidades con diámetros de ductos.*

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje capacidad	Velocidad Recomendada (m/s)	Diámetro Hidráulico (cm)	Diámetro Equivalente (cm)	Velocidad media (m/s)	
E-1	0.3850	100%	8.0	30.48	30.48	5.28	ok
1-2	0.2600	68%	5.0	30.48	30.48	3.56	ok
2-3	0.1300	34%	5.0	20.32	20.32	4.01	ok
3-4	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok
2-5	0.1300	34%	5.0	20.32	20.32	4.01	ok
5-6	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok
1-TD	0.1250	32%	5.0	20.32	20.32	3.85	ok
4-R2	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok
3-R3	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok
2-R4	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok
5-R5	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok
6-R6	0.0650	17%	5.0	15.24	15.24	3.56	ok

Nota: Los tramos principales y secundarios se aprecian en el Anexo de Planos. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31***Pérdidas de carga por longitud y por accesorios de conductos.*

Tramo	Número de Reynolds	Coefficiente de fricción	Coefficiente accesorios	Longitud (m)	Pérdidas Longitud (Pa)	Pérdidas Accesorio (Pa)	Total (Pa)
E-1	5.026E+04	2.111E-02	6.00	1.00	1.01	87.27	88.28
1-2	3.394E+04	2.328E-02	4.90	3.50	1.77	32.50	34.28
2-3	2.546E+04	2.502E-02	2.30	3.00	3.10	19.31	22.41
3-4	1.697E+04	2.769E-02	0.10	3.00	3.62	0.66	4.28
2-5	2.546E+04	2.502E-02	2.30	3.00	3.10	19.31	22.41
5-6	1.697E+04	2.769E-02	0.10	3.00	3.62	0.66	4.28
1-TD	2.448E+04	2.526E-02	4.00	2.00	1.93	31.05	32.98
4-R2	1.697E+04	2.769E-02	0.10	8.00	9.64	0.66	10.30
3-R3	1.697E+04	2.769E-02	0.10	8.00	9.64	0.66	10.30
2-R4	1.697E+04	2.769E-02	0.60	8.00	9.64	3.98	13.62
5-R5	1.697E+04	2.769E-02	0.10	8.00	9.64	0.66	10.30
6-R6	1.697E+04	2.769E-02	0.10	8.00	9.64	0.66	10.30
<b>Pérdida de carga total (Pa):</b>						<b>263.74</b>	

Fuente: Elaboración propia

### **5.3.3. Cálculo de pérdidas en ductos**

Reemplazando datos en (11), (12) y (13) se obtienen los siguientes resultados de la tabla 31, donde se muestran las pérdidas por rozamiento a lo largo de la longitud de los ductos. Las pérdidas por accesorios se estimaron haciendo uso de la herramienta informática “ASHRAE Duct Fitting Database”, ingresando los datos de caudales en ductos principales y ramales así como el material y diámetros del conducto. Obteniéndose una pérdida (por reactor) de 263.74 Pa.

### **5.3.4. Selección de extractor**

Con los datos calculados anteriormente (caudal y pérdida de carga) se procedió a seleccionar un extractor que realice la tarea de evacuar los gases residuales del reactor UASB. Considerando que estos gases son altamente corrosivos al acero se debe seleccionar un equipo cuyos materiales de construcción sean idóneos.

De donde de la marca Soler & Palau se tiene la serie de ventiladores centrífugos de simple aspiración anticorrosivos CMPT, los cuales son fabricados en polipropileno de alta densidad, con rodete de álabes hacia adelante y eje acoplado directamente al motor. De los cuales se instalará un extractor para dos reactores con un caudal total de 2772 m<sup>3</sup>/y una presión estática  $\Delta P$  de 528.

Seleccionando de las curvas del fabricante de la serie CMPT/4-315 se tiene un punto de operación de 3200 m<sup>3</sup>/h para una presión de 870 Pa.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

#### **6.1. Introducción**

De acuerdo a las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones y a la Norma Técnica de Metrados las Características Técnicas de los recursos a utilizar en las Partidas de Obra (mano de obra, materiales, equipos y sub contratos) forman parte del documento de Especificaciones Técnicas de un Expediente Técnico; donde se indican los datos técnicos más relevantes de los recursos a utilizar para la correcta ejecución de la obra.

En el caso de las Instalaciones Mecánicas las Características Técnicas de equipos y materiales deben ser definidas con claridad, obedeciendo a los parámetros obtenidos en los estudios previos y cálculos justificativos. De este modo asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas proyectados.

En el presente capítulo se definieron las características técnicas de los equipos y materiales en el Expediente Técnico de Replanteo de Instalaciones Mecánicas de la PTAR Quillabamba.

#### **6.2. Características Técnicas de Equipos**

El contenido de las características técnicas de equipos consiste en una descripción breve del mismo, la ubicación de instalación, datos hidráulicos, datos mecánicos y datos eléctricos según correspondan. Estas son las principales características que se tomarán en cuenta para su adquisición e instalación.

### 6.2.1. Electrobomba sumergible 1

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Electrobomba centrífuga sumergible de instalación vertical		
Ubicación:	Estación de bombeo de aguas residuales EB-01 "COCLA"		
Fluido	Agua residual municipal		
Diámetro de salida	DN 125	Presión Nominal	PN 10
<b>Características Técnicas</b>			
Altura Dinámica Total	51.68 m	Altura Máxima	66.50 m
Caudal Real Calculado	43.20 l/s	Caudal Máximo	120 l/s
Diámetro de impulsor	334 mm	Diámetro de Partículas	80 mm
<b>Materiales</b>			
Material de impulsor	Hierro fundido AISI A48 30		
Material de carcasa	Hierro fundido AISI A48 30		
Material de motor	Hierro fundido AISI A48 30		
<b>Datos eléctricos</b>			
Potencia de entrada – P1	58 kW	Potencia nominal – P2	52 kW
Voltaje nominal	3 x 460V	Frecuencia de red	60 Hz
Arranques por hora	15 máx.	Tipo de arranque	Estrella/triángulo
Grado de protección	IP68	Corriente máxima	91 A
Consumo eléctrico	0.56 kWh	Eficiencia	69%
<b>Curvas de funcionamiento</b>			
<p> <b>Gráfico de la Izquierda: Curva de Caudal vs. Altura Dinámica Total</b>              Eje Y: H [m] (0 a 70)              Eje X: Q [l/s] (0 a 120)              Datos operativos: <math>Q = 43.2 \text{ l/s}</math>, <math>H = 51.68 \text{ m}</math>, <math>E_s = 0.2598 \text{ kWh/m}^3</math>              Bomba eta = 61.1 %              Bomb+motor Eta = 54.8 %         </p> <p> <b>Gráfico de la Derecha: Curva de Potencia vs. Caudal</b>              Eje Y: P [kW] (0 a 50)              Eje X: Q [l/s] (0 a 120)              Datos operativos: <math>P1 = 30.98 \text{ kW}</math>, <math>P2 = 35.69 \text{ kW}</math>, <math>NPSH = 2.99 \text{ m}</math> </p>			
<b>Imagen referencial</b>			



### 6.2.2. Electrobomba sumergible 2

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Electrobomba centrífuga sumergible de instalación vertical		
Ubicación:	Estación de bombeo de aguas residuales EB-02 "EL CAMPESINO"		
Fluido	Agua residual municipal		
Diámetro de salida	DN 125	Presión Nominal	PN 10
<b>Características Técnicas</b>			
Altura Dinámica Total	23.10 m	Altura Máxima	48.40 m
Caudal Real Calculado	40.20 l/s	Caudal Máximo	80 l/s
Diámetro de impulsor	290 mm	Diámetro de Partículas	80 mm
<b>Materiales</b>			
Material de impulsor	Hierro fundido AISI A48 30		
Material de carcasa	Hierro fundido AISI A48 30		
Material de motor	Hierro fundido AISI A48 30		
<b>Datos eléctricos</b>			
Potencia de entrada – P1	28 kW	Potencia nominal – P2	25 kW
Voltaje nominal	3 x 460V	Frecuencia de red	60 Hz
Arranques por hora	20 máx.	Tipo de arranque	Estrella/triángulo
Grado de protección	IP68	Corriente máxima	53 A
Consumo eléctrico	0.56 kWh	Eficiencia	69%
<b>Curvas de funcionamiento</b>			

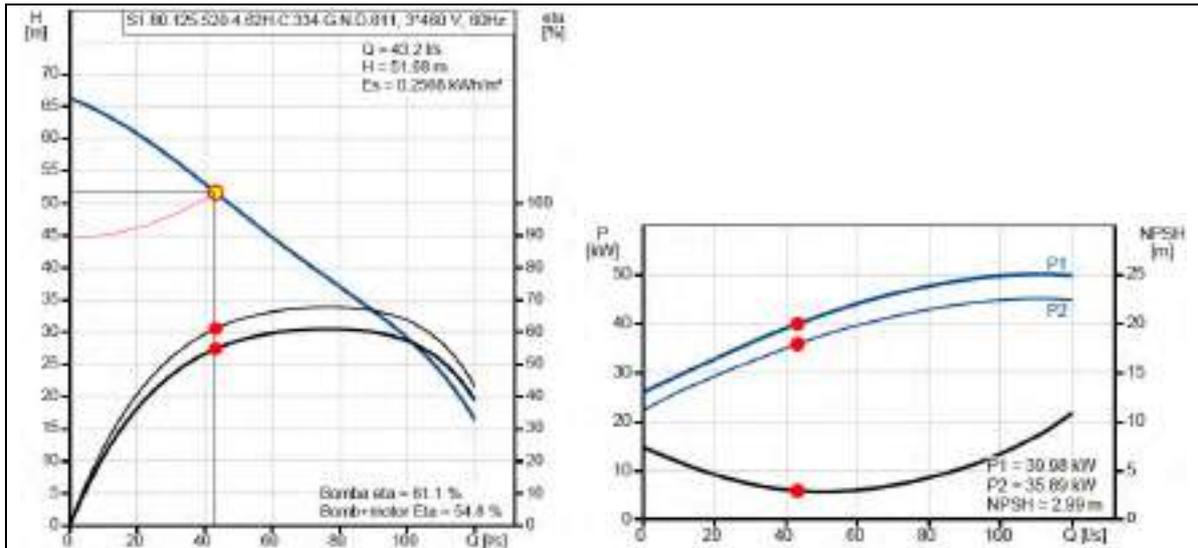


Imagen referencial



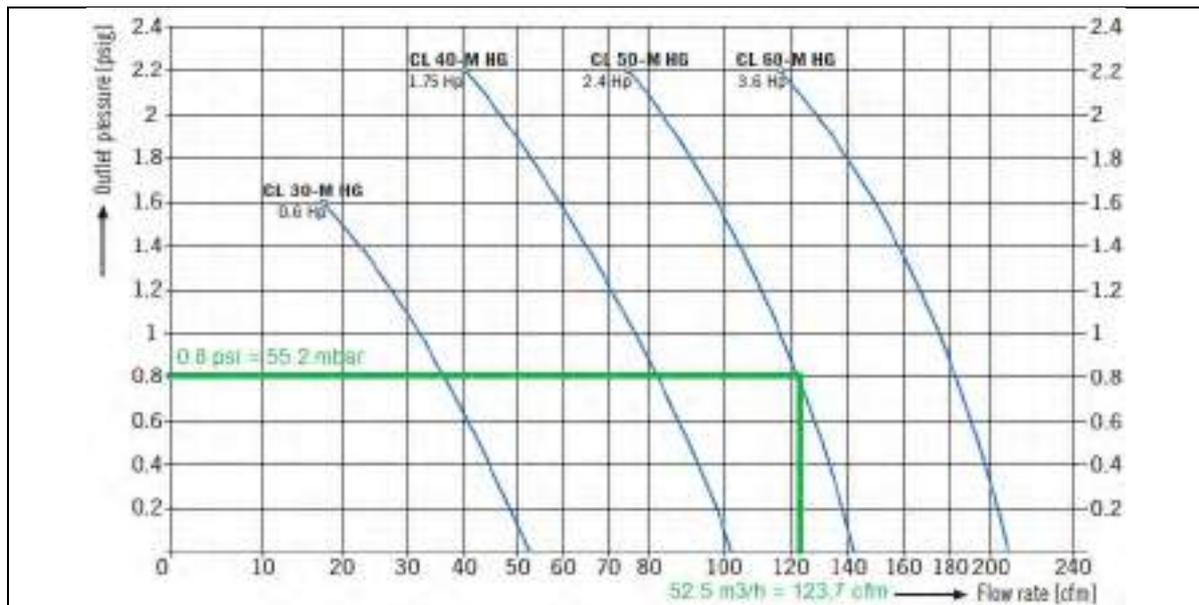
### 6.2.3. Tanque amortiguador de golpe de ariete

Datos Generales			
Descripción:	Tanque hidroneumático con vejiga interior (blader) instalado para amortiguar las sobrepresiones por fenómenos transitorios.		
Ubicación:	Estación de bombeo de aguas residuales EB-01 "COCLA"		
Fluido	Agua residual municipal		
Características Técnicas			
Diámetro de salida	DN 125	Presión Nominal	PN 16
Volumen Nominal	200 litros	Volumen Real Calculado	132 l
Configuración	Vertical	Conexión	Salida en Tee
Materiales			
Material de vejiga	Elastómero EPDM, intercambiable		

Material de tanque	Acero A36 espesor 6 mm
Acabado exterior	Pintura al horno 90 micrones
Acabado interior	Pintura epóxica 100 micrones
<b>Imagen referencial</b>	

#### 6.2.4. Soplador de biogás

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Compresor centrífugo para colección y quema eficiente de biogás de reactor anaerobio, con certificación ATEX anti “chispa”.		
Ubicación:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chaquimayo		
Fluido	Biogás (metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono)		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro de salida	DN 50	Diámetro de ingreso	DN 50
Presión de trabajo	55.2 mbar	Caída de presión real	16.96 mbar
Caudal de trabajo	52.50 m <sup>3</sup> /h	Caudal Máximo	140 cfm
Diámetro de impulsor	260 mm	Diámetro de carcasa	328 mm
<b>Materiales</b>			
Material de impulsor	Aleación de aluminio EN AB 43000		
Material de carcasa	Aleación de aluminio EN AB 43000		
Material de motor	Aleación de aluminio EN AB 43000		
<b>Datos eléctricos</b>			
Potencia de entrada – P1	1.1 kW	Clase de motor	ATEX
Voltaje nominal	3 x 460V	Frecuencia de red	60 Hz
Arranques por hora	20 máx.	Tipo de arranque	Directo
Grado de protección	IP55	Corriente máxima	25 A
<b>Curvas de funcionamiento</b>			



**Imagen referencial**



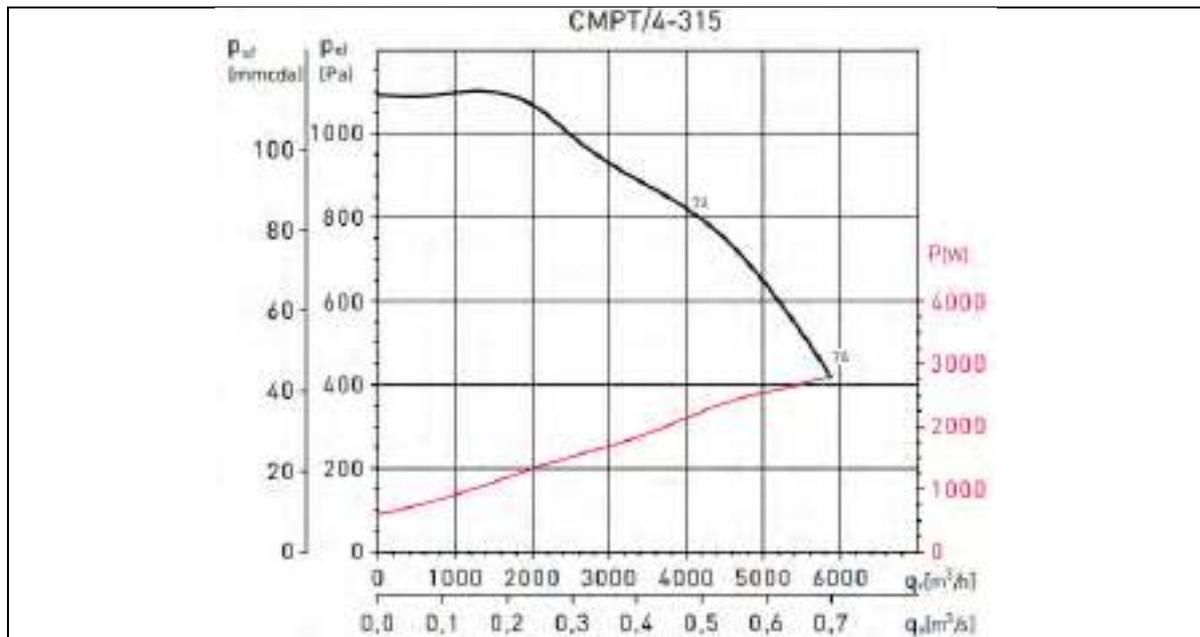
**6.2.5. Quemador de gas**

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Quemador automático de biogás en cámara cerrada, alimentado por compresor centrífugo.		
Ubicación:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chaquimayo		
Fluido	Biogás (metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono)		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro de ingreso	DN 50	Diámetro de quemador	DN 400
Presión de trabajo	20.70 mbar	Altura de quemador	4200 mm
Caudal de trabajo	52.50 m³/h	Caudal Máximo	80 m³/h
Potencia térmica	300 kW	Potencia máxima	520 kW
<b>Materiales</b>			
Cámara de combustión	Acero inoxidable AISI 316Ti		
Bastidor	Acero inoxidable AISI 304		
Quemador	Acero inoxidable AISI 316Ti		
<b>Datos eléctricos</b>			
Voltaje nominal	3 x 600V	Frecuencia de red	60 Hz

Grado de protección	IP55	Corriente máxima	53 A
<b>Imagen referencial</b>			

### 6.2.6. Extractor de gas residual

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Ventilador centrífugo para extracción de gas residual de reactor anaerobio, con certificación ATEX anti “chispa”.		
Ubicación:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chaquimayo		
Fluido	Aire y biogás (metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono)		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro de salida	DN 250	Diámetro de ingreso	DN 250
Presión de trabajo	320 Pa	Caída de presión real	264 Pa
Caudal de trabajo	1386 m <sup>3</sup> /h	Caudal Máximo	2000 m <sup>3</sup> /h
Diámetro de impulsor	486 mm	Diámetro de carcasa	790 mm
<b>Materiales</b>			
Material de impulsor	Polipropileno		
Material de voluta	Polipropileno		
Material de motor	PVC		
<b>Datos eléctricos</b>			
Potencia de entrada – P1	1.5 kW	Clase de motor	ATEX
Voltaje nominal	3 x 460V	Frecuencia de red	60 Hz
Arranques por hora	20 máx.	Tipo de arranque	VFD
Grado de protección	IP55	Corriente máxima	3.5 A
<b>Curvas de funcionamiento</b>			



**Imagen referencial**



**6.2.7. Biofiltro H2S**

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Filtro de lecho con medio químico donde se retiene componentes volátiles del gas residual.		
Ubicación:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chaquimayo		
Fluido	Aire y biogás (metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono)		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	1450 mm	Diámetro de ingreso	DN 250
Caudal de trabajo	1386 $m^3/h$	Caudal máximo	1699 $m^3/h$
Diámetro de impulsor	486 mm	Diámetro de carcasa	790 mm
Volumen de lecho	39 $pies^3$	Altura	2100 mm
<b>Materiales</b>			
Material de tanque	Polietileno de alta densidad HDPE		
Material de bastidor	Acero inoxidable		
Material de tuberías	PVC		

Material de lecho	Oxidante químico Carbónico
<b>Imagen referencial</b>	
	

### 6.3. Características Técnicas de Tuberías, Válvulas y Accesorios

#### 6.3.1. Tubería de agua residual en caseta de válvulas.

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Tubería de Hierro Fundido Dúctil para conducción de aguas residuales en Estaciones de Bombeo de acuerdo a la norma EN 545 o ISO 2531		
Ubicación:	Estaciones de bombeo de aguas residuales EB-01 y EB-02		
Fluido	Agua residual		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 100 - 250	Conexión	Brida ISO 7005-2
Presión nominal	PN 10	Clase	K10
<b>Materiales</b>			
Material de tubería	Hierro fundido dúctil		
Revestimiento interior	Mortero de cemento ISO 4179		
Revestimiento exterior	Zinc metálico con pintura bituminosa ISO 8179		
Pernos y tuercas de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior		
<b>Imagen referencial</b>			
			

### 6.3.2. Válvula de control de flujo de agua residual

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Válvula para control de flujo de agua residual en estaciones de bombeo, e ingreso y salida a unidades de tratamiento, en concordancia con .NTP ISO 7259 o EN1074-1/2		
Ubicación:	Estaciones de bombeo EB-01 y EB-02, PTAR Chaquimayo		
Fluido	Agua residual		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 50 - 250	Tipo	Compuerta
Apertura/Cierre	Manual	Conexión	Brida ISO 7005-2
<b>Materiales</b>			
Material de cuerpo y tapa	Hierro dúctil ISO 1083 JS 450-10 o calidad superior		
Material de compuerta	Hierro dúctil ISO 1083 JS 450-10 completamente revestido de elastómero NBR 70 shore A según EN 681-1, ISO 4633.		
Material de vástago	Acero inoxidable AISI 304 forjado en frío o calidad superior		
Material de collar	Aleación de cobre o material de rendimiento superior		
Material de O-ring	Elastómero NBR EN 681-1, ISO 4633, o calidad superior		
Pernos de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior		
<b>Imagen referencial</b>			
			

### 6.3.3. Válvula check de agua residual

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Válvula que restringe en una sola dirección el flujo de agua residual, impidiendo el retorno, con tapa para inspección, y de instalación vertical u horizontal.		
Ubicación:	Estaciones de bombeo de aguas residuales EB-01 y EB-02		
Fluido	Agua residual		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 200	Tipo	Check Swing
Apertura/Cierre	Automático	Conexión	Brida ISO 7005-2
Presión nominal	Mínimo PN 16	Revestimiento	Epóxico
<b>Materiales</b>			
Material de cuerpo y tapa	Hierro dúctil ISO 1083 JS 450-10 o calidad superior		
Material de clapeta	Bronce completamente revestido de elastómero NBR 70 shore A según EN 681-1, ISO 4633.		

Material de vástago	Acero inoxidable AISI 304 o calidad superior
Material de O-ring	Elastómero NBR EN 681-1, ISO 4633, o calidad superior
Pernos de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior
<b>Imagen referencial</b>	
	

#### 6.3.4. Válvula de aire de triple efecto

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	La válvula ventosa de triple efecto descarga aire (gas) durante el llenado o carga del sistema, admite aire durante el drenaje o en caso de separación de la columna de agua, y purga el aire (gas) acumulado mientras el sistema está presurizado y en funcionamiento. Diseñada para funcionar con líquidos que contienen partículas sólidas.		
Ubicación:	Estaciones de bombeo de aguas residuales EB-01 y EB-02		
Fluido	Agua residual		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 125	Tipo	Triple efecto
Apertura/Cierre	Automático	Conexión	Brida ISO 7005-2
Presión nominal	Mínimo PN 16	Revestimiento	Nylon
<b>Materiales</b>			
Material de tapa	Acero inoxidable 316		
Material de cuerpo	Hierro dúctil ISO 1083		
Material de junta de purga	Elastómero EPDM		
Material de junta de aire y vacío	Elastómero EPDM		
Material de O-ring	Buna N		
Pernos de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior		
<b>Imagen referencial</b>			
			

### 6.3.5. Tubería de colección de biogás.

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Tubería de acero inoxidable para colección y conducción de biogás desde reactores anaeróbicos hacia quemador de biogás de acuerdo a norma ASTM-A530.		
Ubicación:	Reactores anaeróbicos UASB-01, UASB-02, UASB-03 y UASB-04		
Fluido	Biogás		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 25 - 75	Conexión	Brida DIN 2576
Presión nominal	PN 10	Clase	Schedule 10
<b>Materiales</b>			
Material de tubería	AISI A304L		
Pernos y tuercas de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior		
<b>Imagen referencial</b>			
			

### 6.3.6. Válvula solenoide de control de flujo de biogás

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Control de flujo de gas y el encendido del quemador de biogás. Incluye un solenoide, que abre la válvula cuando se requiere el encendido del piloto y permanece abierta mientras el gas se quema de acuerdo a EN 161.		
Ubicación:	Quemador de reactores anaerobios PTAR Chaquimayo		
Fluido	Biogás		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 50	Tipo	DVGW G262
Apertura/Cierre	Automático	Conexión brida	DIN EN 1092-1
Presión de trabajo	50 mbar	Presión máxima	200 mbar
<b>Materiales</b>			
Material de tapa	Acero inoxidable 316L		
Material de cuerpo	Acero inoxidable 316L		
Material de O-ring	Viton		
Pernos de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior		
<b>Imagen referencial</b>			



### 6.3.7. Arresta flama con regulador de presión

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Destinado al control de presión de líneas de tuberías y a la vez protege del retroceso de la combustión del biogás en el quemador. De instalación en posición horizontal antes del ingreso de biogás al quemador.		
Ubicación:	Quemador de reactores anaerobios UASB en PTAR Chaquimayo		
Fluido	Biogás		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	DN 50	Regulador de presión	Diafragma
Apertura/Cierre	Automático	Conexión bridas	DIN EN 1092-1
Presión de trabajo	50 mbar	Presión máxima	200 mbar
<b>Materiales</b>			
Material de tapas	Aleación de aluminio 356 T6		
Cuerpo de regulador	Aleación de aluminio 356 T6		
Material de diafragma	BUNA-N con refuerzo en Nylon		
Material de resorte	Acero inoxidable AISI 304		
Corte térmico	AISI 304 con BUNA-N "O"-Rings		
Cuerpo de arresta flama	Aleación de aluminio 356 T6		
Pernos de ajuste	Acero inoxidable AISI 304, o calidad superior		
<b>Imagen referencial</b>			

### 6.3.8. Ducto de gas residual

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Ducto circular plástico anticorrosivo para colección y conducción de gas residual desde reactores anaeróbicos hacia biofiltro para control de olores.		
Ubicación:	Reactores anaeróbicos UASB-01, UASB-02, UASB-03 y UASB-04		
Fluido	Aire y biogás (metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono)		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro nominal	6" – 12"	Conexión	Termo fusión
Presión nominal	PN 6	Clase	10
<b>Materiales</b>			
Material de tubería	HDPE Polietileno de Alta Densidad		
<b>Imagen referencial</b>			
			

### 6.3.9. Manómetro de presión diferencial.

<b>Datos Generales</b>			
Descripción:	Manómetro de presión diferencial en conjunto de biofiltro y filtros del sistema de extracción de gas residual de reactores anaeróbicos para verificación del nivel de saturación de los mismos.		
Ubicación:	Reactores anaeróbicos UASB-01, UASB-02, UASB-03 y UASB-04		
Fluido	Aire y biogás (metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono)		
<b>Características Técnicas</b>			
Diámetro de conexión	NPT 1/8"	Rango de presión	0 – 5 in wc
Grado de Protección	IP66	Precisión	+/- 2%
Revestimiento	Epóxico	Certificación ATEX	EPT 19
<b>Materiales</b>			
Material de carcasa	Aleación de aluminio		
Material de cuerpo	Aluminio		
<b>Imagen referencial</b>			
			

## CAPÍTULO VII

### 7. METRADOS, PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.

#### 7.1. Introducción

En el capítulo HU.3 “Infraestructura Sanitaria” de la Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010) se tienen los Títulos o Partidas de primer orden de “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”, “Estaciones de bombeo de aguas residuales”, “Instalaciones hidráulicas” e “Instalaciones electromecánicas”, en esta norma se precisa que también se pueden utilizar las partidas para obras de edificación (OE) entre ellas las del sub capítulo OE. 5.6 “Equipos Eléctricos y Mecánicos”, en este sub capítulo se tienen partidas de instalaciones de bombas, sistemas de ventilación y sistemas de gases, los que fueron utilizados en el Expediente de Replanteo de Instalaciones Mecánicas.

#### 7.2. Metrados.

Los metrados que son presentados a continuación, fueron desarrollados en base a los cálculos justificativos y planos del proyecto, la estructura o codificación de títulos seguida para la presentación de los metrados se realizó en base a las partidas de la Norma Técnica de Metrados, y por consiguiente el presupuesto de obra seguirá la misma secuencia, el cual fue detallado en el siguiente sub capítulo.

Item	Descripción	Parcial	Total
HU.3.14.1.1	Quemador automático de biogás	1.00	und
HU.3.14.1.2	Extractor de gas residual	2.00	und
HU.3.15.1.1	Dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-01	1.00	gbl
HU.3.15.1.2	Dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-02	1.00	gbl
HU.3.15.1.3	Dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de biogás	1.00	gbl
HU.3.15.1.4	Dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento	1.00	gbl

	de gas residual		
HU.3.15.2.1	Desmontaje, mantenimiento y montaje de bombas EB-01	1.00	und
HU.3.15.2.2	Desmontaje, mantenimiento y montaje de bombas EB-02	1.00	und
HU.3.15.2.3	Instalación de quemador de biogás	1.00	und
HU.3.15.2.4	Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-01	1.00	gbl
HU.3.15.2.5	Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-02	1.00	gbl
HU.3.15.2.6	Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de biogás	1.00	gbl
HU.3.15.2.7	Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de gas residual	1.00	gbl
HU.3.18.1	Prueba hidráulica tubería de impulsión LI-01	1,285.95	m
HU.3.18.2	Prueba hidráulica tubería de impulsión LI-02	598.95	m
HU.3.18.3	Sondeo tubería de rebose DN 250mm EB-01	50.00	m
HU.3.18.4	Sondeo tubería de rebose DN 250mm EB-02	50.00	m
HU.3.18.5	Prueba de hermeticidad de tuberías de colección de biogás	1.00	und
HU.3.18.6	Prueba de balanceo y caudal de ductos de gas residual	1.00	und

### 7.3. Análisis de costos unitarios.

El análisis de costos unitarios consiste en la estimación del costo unitario de las partidas del presupuesto de obra de instalaciones mecánicas, para dicha estimación se consideraron todos los insumos o recursos que van a intervenir en la ejecución de la partida, es decir la mano de obra, materiales, equipos y sub contratos. Adicionalmente las unidades de medida de mano de obra (hora hombre) y uso de equipo (hora máquina) están en función a los rendimientos, que consiste en el tiempo necesario para la ejecución de los mismos con una cantidad determinada de mano de obra y/o herramientas. A continuación se detallan los costos unitarios del presupuesto de instalaciones mecánicas del presente proyecto.

Partida: HU.3.14.1.1 Quemador automático de biogás

Rendimiento: 1 und/Día

Costo unitario por und **172,996.00**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						<b>172,996.00</b>
49	Soplador compresor centrífugo para biogás Q=45 Nm <sup>3</sup> /h @ 2.5 mca	und	-	1.0000	25,525.00	25,525.00
49	Quemador flare automático de biogás	und	-	1.0000	125,800.00	125,800.00

49	Arresta flama con regulador para und - biogás 2"	1.0000	18,550.00	18,550.00
01	Válvula con solenoide AISI 304 DN und - 50 PN10 con brida	1.0000	389.00	389.00
30	Tablero de control IP 65 und -	1.0000	2,732.00	2,732.00

Partida: HU.3.14.1.2 Extractor de gas residual

Rendimiento:1 und/Día

Costo unitario por und **35,401.00**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						<b>35,401.00</b>
30	Ventilador centrífugo anticorrosivo und - 3200 m3/h @ 3.5 in WC	1.0000		16,350.00	16,350.00	
49	Biofiltro de H2S DN 250mm und -	1.0000		17,685.00	17,685.00	
30	Tablero de control ip 65 und -	0.5000		2,732.00	1,366.00	

Partida: HU.3.15.1.1 Dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-01

Rendimiento:1 gbl/Día  
Costo unitario por gbl **45,615.10**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						<b>45,615.10</b>
71	Niple de hierro dúctil BB L=1.50m und - DN 200 mm	2.0000		165.00	330.00	
78	Válvula de aire de 3 funciones bridada pza - DN 80 PN 16	1.0000		2,358.00	2,358.00	
78	Válvula check swing HFD DN 200 und - PN 16	2.0000		3,985.40	7,970.80	
71	Niple de hierro dúctil BB L=0.59m und - DN 200 mm	2.0000		95.00	190.00	
01	Brida rompe agua p/soldar DN 200 und -	2.0000		345.00	690.00	
78	Unión auto portante HFD PN 10 DN und - 200 mm	2.0000		3,350.00	6,700.00	
78	Válvula compuerta HFD BB ISO und - 7005 PN 16 DN 200 mm	2.0000		80.00	160.00	
17	Codo HFD con brida DN 200 x 45° und - PN 10	2.0000		450.00	900.00	
17	Yee HFD con brida DN 200 x 200 PN und - 10	1.0000		686.20	686.20	
17	Transición brida campana HFD DN und - 250 PN 10	1.0000		1,350.00	1,350.00	
17	Codo HFD con brida DN 200 x 90° und - PN 10	2.0000		764.00	1,528.00	
17	Tee HFD con brida DN 200 x 200 x und -	2.0000		1,052.00	2,104.00	

30	80 PN 10 Tanque hidroneumático de ariete p/aguas residuales V=200 litros	und -	1.0000	15,102.10	15,102.10
17	Reducción HFD con brida DN 250 x 200 PN 10	und -	1.0000	850.00	850.00
30	Sensor de nivel para reservorio	und -	2.0000	1,693.00	3,386.00
17	Sensor de presión manométrica 0-20 bar	und -	2.0000	655.00	1,310.00

Partida: HU.3.15.1.2 Dispositivos, válvulas y accesorios Rendimiento:1 gbl/Día  
en manifold EB-02

Costo unitario por gbl **30,513.00**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						<b>30,513.00</b>
78	Válvula de aire de 3 funciones bridada DN 80 PN 16	pza -	1.0000	2,358.00	2,358.00	
71	Niple de hierro dúctil BB l=1.50m DN 200 mm	und -	2.0000	165.00	330.00	
78	Válvula check swing HFD DN 200 PN16	und -	2.0000	3,985.40	7,970.80	
71	Niple de hierro dúctil BB L=0.59m DN 200 mm	und -	2.0000	95.00	190.00	
01	Brida rompe agua p/soldar DN 200	und -	2.0000	345.00	690.00	
78	Unión auto portante HFD PN 10 DN 200	und -	2.0000	3,350.00	6,700.00	
78	Válvula compuerta HFD BB ISO 7005 PN16 DN 200 mm	und -	2.0000	80.00	160.00	
17	Codo HFD con brida DN 200 x 45° PN 10	und -	2.0000	450.00	900.00	
17	Yee HFD con brida DN 200 x 200 PN 10	und -	1.0000	686.20	686.20	
17	Transición brida campana HFD DN 250 PN 10	und -	1.0000	1,350.00	1,350.00	
17	Codo HFD con brida DN 200 x 90° PN 10	und -	2.0000	764.00	1,528.00	
17	Tee HFD con brida DN 200 x 200 x 80 PN 10	und -	2.0000	1,052.00	2,104.00	
17	Reducción HFD con brida DN 250 x 200 PN 10	und -	1.0000	850.00	850.00	
30	Sensor de nivel para reservorio	und -	2.0000	1,693.00	3,386.00	
17	Sensor de presión manométrica 0-20 bar	und -	2.0000	655.00	1,310.00	

Partida: HU.3.15.1.3 Dispositivos, válvulas y accesorios Rendimiento:1 gbl/Día

en sistema de tratamiento de biogás Costo unitario por gbl **23,089.90**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						<b>23,089.90</b>
01	Tubería AISI 304 DN 20 SCH10 con brida	m	-	169.0500	32.00	5,409.60
01	Tubería AISI 304 DN 32 SCH10 con brida	m	-	32.1300	45.00	1,445.85
01	Tubería AISI 304 DN 40 SCH10 con brida	m	-	42.5250	62.00	2,636.55
01	Tubería AISI 304 DN 60 SCH 10 con brida	m	-	48.4575	86.00	4,167.35
01	Tubería AISI 304 DN 75 SCH 10 con brida	m	-	2.3100	105.00	242.55
01	Codo AISI 304 DN 20 x 90° SCH10 con brida	und	-	24.0000	19.00	456.00
01	Tee AISI 304 DN 32 x DN 20 x DN 32 SCH 10 con brida	und	-	12.0000	29.00	348.00
01	Tee AISI 304 DN 32 x DN 20 x DN40 SCH10 con brida	und	-	4.0000	32.00	128.00
01	Tee AISI 304 DN 40 x DN 40 x DN 40 SCH10 con brida	und	-	4.0000	41.00	164.00
01	Tee AISI 304 DN 40 x DN 40 x DN 60 SCH10 con brida	und	-	2.0000	45.00	90.00
01	Tee AISI 304 DN 60 x DN 75 x DN 60 SCH 10 con brida	und	-	1.0000	72.00	72.00
01	Válvula mariposa AISI 304 DN 20 SCH10 con brida	und	-	20.0000	178.00	3,560.00
17	Soporte de piso tipo STRUT acero AISI 304	und	-	50.0000	35.00	1,750.00
17	Sensor de presión manométrica 0-20 bar	und	-	4.0000	655.00	2,620.00

Partida: HU.3.15.1.4 Dispositivos, válvulas y accesorios Rendimiento:1 gbl/Día

en sistema de tratamiento de gas residual Costo unitario por gbl **11,570.80**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						<b>11,570.80</b>
17	Ducto circular para HVAC de HDPE 6" e=0.12"	m	-	48.3000	45.00	2,173.50
17	Ducto circular para HVAC de HDPE 8" e=0.12"	m	-	33.6000	59.00	1,982.40
17	Ducto circular para HVAC de HDPE 12" e=0.20"	m	-	18.9000	81.00	1,530.90
49	Caja porta filtro 20x20x8" de acero	und	-	1.0000	1,150.00	1,150.00

49	inoxidable Filtro corrugado MERV 8A 20" x 20" und - x 2"	2.0000	785.00	1,570.00
49	Pre filtro sintético 20" x 20" x 1" und -	1.0000	65.00	65.00
49	Soporte de piso para ducto de riel und - STRUT acero AISI 304	22.0000	69.50	1,529.00
49	Manómetro de presión diferencial und - ATEX 0 - 8 in WC	2.0000	785.00	1,570.00

Partida: HU.3.15.2.1 Desmontaje, mantenimiento y Rendimiento: 1 und/Día  
montaje de bombas EB-01

Costo unitario por und **33,109.69**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>547.36</b>
47	Operario	hh	2.0000	16.0000	18.34	293.44
47	Oficial	hh	2.0000	16.0000	15.87	253.92
<b>Materiales</b>						<b>18,950.00</b>
16	Tablero de automatización IP55 con und - variador de frecuencia y PLC			1.0000	18,950.00	18,950.00
<b>Equipo</b>						<b>219.37</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	547.36	27.37
48	Tecla de 2 TON.	hm	4.0000	32.0000	6.00	192.00
<b>Sub-contratos</b>						<b>13,392.96</b>
32	Transporte de equipos Quillabamba-kg Lima-Quillabamba	-		632.0000	3.28	2,072.96
49	Servicio de diagnóstico y und - mantenimiento de electrobombas sumergibles			1.0000	11,320.00	11,320.00

Partida: HU.3.15.2.2 Desmontaje, mantenimiento y Rendimiento: 1 und/Día  
montaje de bombas EB-02

Costo unitario por und **32,998.17**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>547.36</b>
47	Operario	hh	2.0000	16.0000	18.34	293.44
47	Oficial	hh	2.0000	16.0000	15.87	253.92
<b>Materiales</b>						<b>18,950.00</b>
16	Tablero de automatización IP55 con und - variador de frecuencia y PLC			1.0000	18,950.00	18,950.00
<b>Equipo</b>						<b>219.37</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	547.36	27.37
48	Tecla de 2 TON.	hm	4.0000	32.0000	6.00	192.00
<b>Sub-contratos</b>						<b>13,281.44</b>
32	Transporte de equipos Quillabamba-kg	-		598.0000	3.28	1,961.44

Lima-Quillabamba					
49	Servicio de diagnóstico yund mantenimiento de electrobombas sumergibles	-	1.0000	11,320.00	11,320.00

Partida: HU.3.15.2.3 Instalación de quemador de biogas Rendimiento:0.15 und/Día

Costo unitario por und **14,528.19**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>3,649.07</b>
47	Operario	hh	2.0000	106.6667	18.34	1,956.27
47	Oficial	hh	2.0000	106.6667	15.87	1,692.80
<b>Materiales</b>						<b>750.00</b>
01	Perno hexagonal INOX 3/4" x 2 1/2"und GR 8 con arandela y tuerca	-		60.0000	8.90	534.00
30	Electrodo tipo E6011 1/8"	kg	-	1.0000	18.00	18.00
01	Varilla TIG AWS A5.9 2.5 mm	kg	-	1.5000	102.00	153.00
01	Gas argón para soldadura TIG	kg	-	3.0000	15.00	45.00
<b>Equipo</b>						<b>10,129.12</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	3,649.07	182.45
48	Tecla de 2 TON.	hm	4.0000	213.3333	6.00	1,280.00
48	Soldadora elect. Monof. Alterna 255hm amp.	2.0000	106.6667	10.00	1,066.67	
49	Camión grúa (brazo articulado)	hm	1.5000	80.0000	95.00	7,600.00

Partida: HU.3.15.2.4 Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-01 Rendimiento:0.1 gbl/Día

Costo unitario por gbl **14,082.72**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>4,006.40</b>
47	Operario	hh	-	80.0000	18.34	1,467.20
47	Oficial	hh	-	160.0000	15.87	2,539.20
<b>Materiales</b>						<b>7,876.00</b>
16	Juego de empaque de elastómero EPDM DN 40 –DN 75	kg	-	20.0000	356.00	7,120.00
01	Perno hexagonal INOX 5/8" x 2 1/2"und GR 8 con arandela y tuerca	-		100.0000	7.20	720.00
30	Electrodo tipo E6011 1/8"	kg	-	2.0000	18.00	36.00
<b>Equipo</b>						<b>2,200.32</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	4,006.40	200.32
48	Soldadora elect. Monof. Alterna 255hm amp.	-	160.0000	10.00	1,600.00	
48	Tecla manual a cadena 1 TON x 3m	hm	-	80.0000	5.00	400.00

Partida: HU.3.15.2.5 Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en manifold EB-02 Rendimiento:0.1 gbl/Día

Costo unitario por gbl **13,920.72**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>4,006.40</b>
47	Operario	hh	-	80.0000	18.34	1,467.20
47	Oficial	hh	-	160.0000	15.87	2,539.20
<b>Materiales</b>						<b>7,714.00</b>
16	Juego de empaque de elastómero jgo EPDM DN40 -DN75	-	-	20.0000	356.00	7,120.00
01	Perno hexagonal INOX 5/8" X 2 1/2"und GR 8 con arandela y tuerca	-	-	80.0000	7.20	576.00
30	Electrodo tipo E6011 1/8"	kg	-	1.0000	18.00	18.00
<b>EQUIPO</b>						<b>2,200.32</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	4,006.40	200.32
48	Soldadora elect. Monof. Alterna 255hm AMP.	-	-	160.0000	10.00	1,600.00
48	Tecla manual a cadena 1 TON X 3m	hm	-	80.0000	5.00	400.00

Partida: HU.3.15.2.6 Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de biogás Rendimiento:0.05 gbl/Día

Costo unitario por gbl **12,648.40**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>8,408.00</b>
47	Operario	hh	-	320.0000	18.34	5,868.80
47	Oficial	hh	-	160.0000	15.87	2,539.20
<b>MATERIALES</b>						<b>620.00</b>
01	Varilla TIG AWS A5.9 2.5 mm	kg	-	2.0000	102.00	204.00
01	Gas argón para soldadura TIG	kg	-	4.0000	15.00	60.00
16	Juego de empaque de elastómero jgo EPDM DN40 -DN75	-	-	1.0000	356.00	356.00
<b>EQUIPO</b>						<b>3,620.40</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	8,408.00	420.40
48	Soldadora elect. Monof. Alterna 255hm AMP.	-	-	320.0000	10.00	3,200.00

Partida: HU.3.15.2.7 Instalación de dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de gas residual Rendimiento:0.2 gbl/Día

Costo unitario por gbl **4,815.10**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>2,102.00</b>
47	Operario	hh	-	80.0000	18.34	1,467.20

47	Oficial	hh	-	40.0000	15.87	634.80
<b>Materiales</b>						<b>300.00</b>
02	Pernos de anclaje de 1/4" x 1 1/4"	und	-	100.0000	3.00	300.00
<b>EQUIPO</b>						<b>2,413.10</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	2,102.00	105.10
48	Taladro de percusión eléctrico	hm	-	40.0000	7.70	308.00
17	Equipo de soldeo por termo fusión	hm	-	160.0000	12.50	2,000.00

Partida: HU.3.18.1 Prueba hidráulica tubería de Rendimiento:1000 m/Día  
impulsión LI-01

Costo unitario por m **1.93**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>0.28</b>
47	Operario	hh	1.0000	0.0080	18.34	0.15
47	Oficial	hh	1.0000	0.0080	15.87	0.13
<b>Materiales</b>						<b>0.34</b>
49	Agua	m <sup>3</sup>	-	0.0490	7.00	0.34
<b>Equipo</b>						<b>1.31</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	0.28	0.01
48	Motosoldadora 250 AMP	hm	1.0000	0.0080	15.00	0.12
48	Balde p/prueba hidrostática inc/accesorios	hm	1.0000	0.0080	5.00	0.04
48	Camión cisterna 4x2 agua 122HP, 2000GAL	hm	1.0000	0.0080	142.60	1.14

Partida: HU.3.18.2 Prueba hidráulica tubería de Rendimiento:1000 m/Día  
impulsión LI-02

Costo unitario por m **1.93**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>0.28</b>
47	Operario	hh	1.0000	0.0080	18.34	0.15
47	Oficial	hh	1.0000	0.0080	15.87	0.13
<b>Materiales</b>						<b>0.34</b>
49	Agua	m <sup>3</sup>	-	0.0490	7.00	0.34
<b>Equipo</b>						<b>1.31</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	0.28	0.01
48	Motosoldadora 250 AMP	hm	1.0000	0.0080	15.00	0.12
48	Balde p/prueba hidrostática inc/accesorios	hm	1.0000	0.0080	5.00	0.04
48	Camión cisterna 4x2 agua 122HP, 2000GAL	hm	1.0000	0.0080	142.60	1.14

Partida: HU.3.18.3 Sondeo tubería de rebose DN 250 Rendimiento:50 m/Día

mm EB-01

Costo unitario por m **10.27**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>5.21</b>
47	Operario	hh	1.0000	0.1600	18.34	2.93
47	Peón	hh	1.0000	0.1600	14.25	2.28
<b>EQUIPO</b>						<b>5.06</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	5.21	0.26
48	Rotasonda	hm	1.0000	0.1600	30.00	4.80

Partida: HU.3.18.4 Sondeo tubería de rebose DN Rendimiento:50 m/Día  
250MM EB-02

Costo unitario por m **10.27**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>5.21</b>
47	Operario	hh	1.0000	0.1600	18.34	2.93
47	Peón	hh	1.0000	0.1600	14.25	2.28
<b>Equipo</b>						<b>5.06</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	5.21	0.26
48	Rotasonda	hm	1.0000	0.1600	30.00	4.80

Partida: HU.3.18.5 Prueba de hermeticidad de tuberías Rendimiento:1 und/Día  
de colección de biogás

Costo unitario por und **941.36**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>273.68</b>
47	Operario	hh	1.0000	8.0000	18.34	146.72
47	Oficial	hh	1.0000	8.0000	15.87	126.96
<b>Materiales</b>						<b>654.00</b>
49	Nitrógeno gas	kg	-	32.0000	18.00	576.00
49	Manómetro de glicerina 2" 0-16 bar	und	-	1.0000	78.00	78.00
<b>Equipo</b>						<b>13.68</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	273.68	13.68

Partida: HU.3.18.6 Prueba de balanceo y caudal de Rendimiento:1 und/Día  
ductos de gas residual

Costo unitario por und **863.36**

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						<b>273.68</b>
47	OPERARIO	hh	1.0000	8.0000	18.34	146.72
47	OFICIAL	hh	1.0000	8.0000	15.87	126.96
<b>Equipo</b>						<b>589.68</b>
37	Herramientas manuales	%mo	-	5.0000	273.68	13.68

49	Termoanemómetro digital de turbina	hm	4.0000	32.0000	12.00	384.00
37	Escalera tipo tijera de aluminio	hm	4.0000	32.0000	6.00	192.00

#### 7.4. Presupuesto

El presupuesto de obra se realizó con el software Delphin Express de acuerdo a la codificación de partidas de la Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas mencionado en párrafos anteriores, de donde se obtuvieron los costos sub totales a partir de los metrados y los costos unitarios. El costo directo se obtuvo de la sumatoria de los costos subtotales y a su vez un porcentaje de este costo directo (15%) es añadido por concepto de gastos generales de obra, que son gastos de carácter transversal a la ejecución de la obra, que incluye los costos de planillas de personal clave y administrativo de obra, seguros contra riesgos, pago de tasas entre otros. A continuación se detalla el presupuesto de obra del proyecto.

Item	Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
<b>HU.3</b>	<b>INFRAESTRUCTURA SANITARIA</b>					<b>487,159.36</b>
<b>HU.3.14</b>	<b><u>Instalaciones electromecánicas</u></b>					<b>243,798.00</b>
HU.3.14.1	<u>Suministro y transporte de equipos mecánicos y eléctricos</u>					243,798.00
HU.3.14.1.1	Quemador automático de biogás	und	1.00	172,996.00	172,996.00	
HU.3.14.1.2	Extractor de gas residual	und	2.00	35,401.00	70,802.00	
<b>HU.3.15</b>	<b><u>Instalaciones hidráulicas</u></b>					<b>236,891.79</b>
HU.3.15.1	<u>Suministro y transporte de componentes de instalación hidráulica</u>					110,788.80
HU.3.15.1.1	Dispositivos, válvulas y accesorios en manifold eb-01	gbl	1.00	45,615.10	45,615.10	
HU.3.15.1.2	Dispositivos, válvulas y accesorios en manifold eb-02	gbl	1.00	30,513.00	30,513.00	
HU.3.15.1.3	Dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de biogás	gbl	1.00	23,089.90	23,089.90	
HU.3.15.1.4	Dispositivos, válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de gas residual	gbl	1.00	11,570.80	11,570.80	
HU.3.15.2	<u>Montaje – instalación y prueba de los equipos electromecánico e instalaciones hidráulicas</u>					126,102.99

HU.3.15.2.1	Desmontaje, mantenimiento und y montaje de bombas eb-01	1.00	33,109.69	33,109.69
HU.3.15.2.2	Desmontaje, mantenimiento und y montaje de bombas eb-02	1.00	32,998.17	32,998.17
HU.3.15.2.3	Instalación de quemador de und biogas	1.00	14,528.19	14,528.19
HU.3.15.2.4	Instalación de dispositivos, gbl válvulas y accesorios en manifold eb-01	1.00	14,082.72	14,082.72
HU.3.15.2.5	Instalación de dispositivos, gbl válvulas y accesorios en manifold eb-02	1.00	13,920.72	13,920.72
HU.3.15.2.6	Instalación de dispositivos, gbl válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de biogás	1.00	12,648.40	12,648.40
HU.3.15.2.7	Instalación de dispositivos, gbl válvulas y accesorios en sistema de tratamiento de gas residual	1.00	4,815.10	4,815.10
<b>HU.3.18</b>	<b><u>Pruebas hidráulicas y de calidad</u></b>			<b>6,469.57</b>
HU.3.18.1	Prueba hidráulica tubería de m impulsión LI-01	1,285.95	1.93	2,481.88
HU.3.18.2	Prueba hidráulica tubería de m impulsión LI-02	598.95	1.93	1,155.97
HU.3.18.3	Sondeo tubería de rebose DN m 250 mm EB-01	50.00	10.27	513.50
HU.3.18.4	Sondeo tubería de rebose DN m 250mm EB-02	50.00	10.27	513.50
HU.3.18.5	Prueba de hermeticidad de und tuberías de colección de biogás	1.00	941.36	941.36
HU.3.18.6	Prueba de balanceo y caudal und de ductos de gas residual	1.00	863.36	863.36

	Costo Directo	487,159.36
Gastos Generales por Administración Directa	15.00%	73,073.90
<b>TOTAL :</b>		<b>560,233.26</b>

[Son: Quinientos sesenta mil doscientos treinta y tres Soles con veintiséis céntimos]

Resultando como costo directo la suma de 487,159.36 Soles, el costo directo del 15% es de 73,073.90 soles y se tiene el presupuesto total de 560,233.26 soles.

## 7.5. Relación de Insumos

En la relación de insumos se listan todos los recursos y sus cantidades (metrados) utilizados en el proyecto de Instalaciones Mecánicas, agrupados en el tipo de recurso que le corresponde (mano de obra, materiales, equipos y sub contratos).

Ind.	Descripción	Unid.	Cantidad	Costo	Total
<b>Mano de obra</b>					<b>24,862.72</b>
47	Oficial	hh	690.1069	15.87	10,952.00
47	Operario	hh	746.0592	18.34	13,682.73
47	Peón	hh	16.0000	14.25	228.00
<b>Materiales</b>					<b>411,041.66</b>
49	Agua	m <sup>3</sup>	91.5523	7.00	640.87
49	Arresta flama con regulador para biogás 2"	und	1.0000	18,550.00	18,550.00
49	Biofiltro de H2S DN 250mm	und	2.0000	17,685.00	35,370.00
01	Brida rompe agua p/soldar DN200	und	4.0000	345.00	1,380.00
49	Caja porta filtro 20x20x8" de aceround inoxidable		1.0000	1,150.00	1,150.00
01	Codo AISI 304 DN 20 x 90° SCH10 conund brida		24.0000	19.00	456.00
17	Codo HFD con brida DN 200 x 45° PN 10	und	4.0000	450.00	1,800.00
17	Codo HFD con brida DN 200 x 90° PN 10	und	4.0000	764.00	3,056.00
17	Ducto circular para HVAC de HDPE 12"m e=0.20"		18.9000	81.00	1,530.90
17	Ducto circular para HVAC de HDPE 6"m e=0.12"		48.3000	45.00	2,173.50
17	Ducto circular para HVAC de HDPE 8"m e=0.12"		33.6000	59.00	1,982.40
30	Electrodo tipo E6011 1/8"	kg	4.0000	18.00	72.00
49	Filtro corrugado MERV 8A 20" x 20" x 2"	und	2.0000	785.00	1,570.00
01	Gas argón para soldadura TIG	kg	7.0000	15.00	105.00
16	Juego de empaque de elastómero EPDMjgo DN40 -DN75		41.0000	356.00	14,596.00
49	Manómetro de glicerina 2" 0-16 bar	und	1.0000	78.00	78.00
49	Manómetro de presión diferencial ATEX 0 -und 8 in WC		2.0000	785.00	1,570.00
71	Niple de hierro dúctil BB L=0.59Mund DN200mm		4.0000	95.00	380.00
71	Niple de hierro dúctil BB L=1.50Mund DN200mm		4.0000	165.00	659.99
49	Nitrógeno gas	kg	32.0000	18.00	576.00
01	Perno hexagonal INOX 3/4" x 2 1/2" GR 8und con arandela y tuerca		60.0000	8.90	534.00

01	Perno hexagonal INOX 5/8" x 2 1/2" GR 8und	180.0000	7.20	1,296.00
02	Pernos de anclaje de 1/4" x 1 1/4" und	100.0000	3.00	300.00
49	Pre filtro sintético 20" x 20" x 1" und	1.0000	65.00	65.00
49	Quemador Flare automático de biogás 45und Nm3/h	1.0000	125,800.00	125,800.00
17	Reducción HFD con brida DN 250 x 200 PNund 10	2.0000	850.00	1,700.00
30	Sensor de nivel para reservorio und	2.0000	1,693.00	3,386.00
30	Sensor de nivel para reservorio und	2.0000	1,693.00	3,386.00
17	Sensor de presión manométrica 0-20bar und	8.0000	655.00	5,240.00
49	Soplador compresor centrífugo para biogásund Q=45 Nm3/h @ 2.5 mca	1.0000	25,525.00	25,525.00
49	Soporte de piso para ducto de riel strut aceround AISI 304	22.0000	69.50	1,529.00
17	Soporte de piso tipo strut acero AISI 304 und	50.0000	35.00	1,750.00
16	Tablero de automatización IP55 con variadorund de frecuencia y PLC	2.0000	18,950.00	37,900.00
30	Tablero de control IP 65 und	2.0000	2,732.00	5,464.00
30	Tanque hidroneumático de ariete p/aguasund residuales V=200 litros	1.0000	15,102.10	15,102.10
01	Tee AISI 304 DN32 x DN20 x DN32 SCH10und con brida	12.0000	29.00	348.00
01	Tee AISI 304 DN32 x DN20 x DN40 SCH10und con brida	4.0000	32.00	128.00
01	Tee AISI 304 DN40 x DN40 x DN40 SCH10und con brida	4.0000	41.00	164.00
01	Tee AISI 304 DN40 x DN40 x DN60 SCH10und con brida	2.0000	45.00	90.00
01	Tee AISI 304 DN60 x DN75 x DN60 SCH10und con brida	1.0000	72.00	72.00
17	Tee HFD con brida DN 200 x 200 x 80 PN 10und	4.0000	1,052.00	4,208.00
17	Transición brida campana HFD DN 250 PNund 10	2.0000	1,350.00	2,700.00
01	Tubería AISI 304 DN20 SCH10 con brida m	169.0500	32.00	5,409.60
01	Tubería AISI 304 DN32 SCH10 con brida m	32.1300	45.00	1,445.85
01	Tubería AISI 304 DN40 SCH10 con brida m	42.5250	62.00	2,636.55
01	Tubería AISI 304 DN60 SCH10 con brida m	48.4576	86.00	4,167.35
01	Tubería AISI 304 DN75 SCH10 con brida m	2.3100	105.00	242.55
78	Unión auto portante HFD PN 10 DN 200 und	4.0000	3,350.00	13,400.00
78	Válvula check swing HFD DN 200 PN16 und	4.0000	3,985.40	15,941.60
78	Válvula compuerta HFD BB ISO7005 PN16und DN 200 mm	4.0000	80.00	320.00
01	Válvula con solenoide AISI 304 DN50 PN10und con brida	1.0000	389.00	389.00

78	Válvula de aire de 3 funciones bridada DN80pza PN16	2.0000	2,358.00	4,716.00
01	Válvula mariposa AISI 304 DN20 SCH10und con brida	20.0000	178.00	3,560.00
01	Varilla TIG AWS A5.9 2.5 mm	kg 3.5000	102.00	357.00
30	Ventilador centrífugo anticorrosivo 3200und m3/h @ 3.5 in WC	2.0000	16,350.00	32,700.00
17	Yee HFD con brida DN 200 x 200 PN 10	und 2.0000	686.20	1,372.40
<b>Equipo</b>				<b>24,580.58</b>
48	Balde p/prueba hidrostática inc/accesorios	hm 15.0792	5.00	75.40
48	Camión cisterna 4x2 agua 122HP, 2000GAL	hm 15.0686	142.60	2,148.79
49	Camión grúa (brazo articulado)	hm 80.0000	95.00	7,600.00
17	Equipo de soldeo por termo fusión	hm 160.0000	12.50	2,000.00
37	Escalera tipo tijera de aluminio	hm 32.0000	6.00	192.00
37	Herramientas manuales	%mo 4.9694	24,862.72	1,235.54
48	Motosoldadora 250 AMP	hm 15.0792	15.00	226.19
48	Rotasonda	hm 16.0000	30.00	480.00
48	Soldadora Elect. Monof. Alterna 255 AMP.	hm 746.6670	10.00	7,466.67
48	Taladro de percusión eléctrico	hm 40.0000	7.70	308.00
48	Teclé de 2 TON.	hm 277.3333	6.00	1,664.00
48	Teclé manual a cadena 1 TON x 3m	hm 160.0000	5.00	800.00
49	Termo anemómetro digital de turbina	hm 32.0000	12.00	384.00
<b>Sub-contratos</b>				<b>26,674.40</b>
49	Servicio de diagnóstico y mantenimiento deund electrobombas sumergibles	2.0000	11,320.00	22,640.00
32	Transporte de equipos Quillabamba-Lima-kg Quillabamba	1,230.0000	3.28	4,034.40
<b>TOTAL:</b>				<b>487,159.36</b>

Tal y como se pudo apreciar la suma de los costos subtotales de insumos por mano de obra, materiales, herramientas y sub contratos debe ser igual al costo directo del presupuesto.

Los costos y presupuestos estimados en el presente trabajo representan el costo de inversión del proyecto o CAPEX de instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba, estos serán asumidos por la Unidad Ejecutora de Inversiones a cargo (Municipalidad Provincial de La Convención). Por otro lado los costos de operación y mantenimiento (OPEX) serán determinados por la EPS EMAQ y serán asumidos por los usuarios del servicio de agua potable y alcantarillado dentro del costo por metro cúbico de agua.

## CONCLUSIONES

- Para evaluar y optimizar los parámetros hidráulicos de operación de la planta de depuración, se fijó en base a los criterios del Reglamento Nacional de Edificaciones (OS 060 y OS 090) determinando un caudal de diseño para las instalaciones mecánicas de 113.65 l/s. Cabe precisar que debido a la mala gestión y mal estado del sistema de redes de agua y desagüe, esta cifra es menor que el caudal de aguas que ingresa al sistema debido a la infiltración de agua limpia en las redes colectoras de aguas negras algo que no contribuye con la degradación de carga contaminante; por otro lado los caudales de aguas negras obtenidos teóricamente y mediante medición física se compararon con los datos de los Expedientes Técnicos del 2007 (55 l/s) y 2017 (163 l/s) donde se encontró que la actual infraestructura existente del emisor sifón invertido tiene una capacidad de conducción máxima de 126.88 l/s y cada uno de los 04 reactores anaerobios tienen una capacidad de tratamiento óptima de 27.51 l/s que hacen un total de 110.04 l/s.

- Con el objetivo de poner operativas las estaciones de bombeo de aguas residuales de COCLA (EB-01) y de El Campesino (EB-02) se hizo la evaluación y el replanteo de la línea de impulsión con valores de caudal afluente de 43 l/s y 40 l/s se obtuvieron las alturas dinámicas de 52.66 mca y 24.17 mca respectivamente. Asimismo se obtuvieron valores de sobrepresión por golpe de ariete en las líneas de impulsión LI-01 y LI-02 de 96.26 mca y 51.87 mca, y finalmente se seleccionaron un tanque de ariete de 200 litros (en LI-01) y válvulas de aire de triple efecto de PN 10 y DN 50 (en LI-01 y LI-02) para la protección de las líneas de impulsión de fenómenos transitorios.

- Para el replanteo de las instalaciones de biogás que se generará en el reactor anaerobio (UASB) se hizo la evaluación del caudal de biogás mediante el software PROBIO 1.0 donde y se obtuvo 205 Nm<sup>3</sup>/día de biogás, se calcularon los diámetros de tuberías en

función de las pérdidas de carga, se seleccionó un soplador de alta presión de 57.7 m<sup>3</sup>/h para una presión de operación de 55.2 mbar y finalmente se seleccionó un quemador automático de biogás de 80 m<sup>3</sup>/h de capacidad con sus equipos auxiliares. En el caso de la extracción del gas residual del reactor UASB se dimensionó una cámara de desorción de gas residual en el efluente de 2.00 m de altura y 2.82 m de diámetro, se calcularon los diámetros del sistema de conductos de gases residuales, se seleccionaron 2 extractores centrífugos de 3200 m<sup>3</sup>/h con una presión de trabajo 870 Pa y se seleccionó un filtro con lecho químico para la correcta disposición – tratamiento de los gases y olores.

- Las Especificaciones Técnicas desarrolladas para materiales y equipos de las instalaciones mecánicas fueron establecidas de acuerdo a los resultados obtenidos en los cálculos y dimensionamientos del presente documento y que se reflejan en sus características técnicas como son presiones nominales, caudales, diámetros, potencias, entre otros. Estas son de gran importancia para la etapa de adquisición de materiales y equipos los cuales deben realizarse en estricta conformidad a su correspondiente especificación técnica.

- Se desarrollaron los costos y presupuestos del Expediente Técnico de Replanteo en base a las partidas de la Norma de Metrados, en la sección de Habilitaciones Urbanas y título “H.U. 3.Infraestructura Sanitaria”. Las partidas mecánicas fueron ubicadas en los subtítulos “HU.3.14 Instalaciones electromecánicas”, “HU.3.15 Instalaciones hidráulicas” y “HU.3.18 Pruebas hidráulicas y de calidad”. Se obtuvo un costo directo de S/ 487,159.36 y un costo total de S/ 560,233.26 considerando un 15% del costo directo en Gastos Generales en la modalidad de ejecución de obra por Administración Directa.

## RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los datos de caudal obtenidos mediante las mediciones de campo y análisis de datos del alcantarillado de la localidad de Quillabamba al año 2020 se pudo observar un elevado consumo de agua potable frente a la cantidad de usuarios por tal motivo para alcanzar el caudal teórico de aguas residuales planteado en el presente estudio se recomienda el estudio de pérdidas en las redes primarias de agua potable y de la submedición de agua (agua no contabilizada) mediante macromedidores magnéticos o ultrasónicos con registro de datos y a su vez la detección de los puntos de infiltración en las redes colectoras de aguas residuales.

- Para garantizar la correcta operación de las estaciones de bombeo de aguas residuales de COCLA (EB-01) y de El Campesino (EB-02) se recomienda el diseño e implementación de cámaras de rejas gruesas que retengan sólidos que puedan obstruir equipos y tuberías (mayores a 1”) con valores de caudal pico de los afluentes. Adicionalmente se debe estudiar la ubicación de Plantas de Tratamiento adicionales convencionales o tipo “compactas” para depurar las aguas residuales provenientes de las áreas de contribución que terminan en las estaciones de bombeo de COCLA y El Campesino (Ver anexos) con el objetivo de conducir las aguas fecales por gravedad y evitar costos de operación y mantenimiento de bombeo.

- Respecto a las instalaciones de biogás y gas residual (olores) del reactor biológico UASB se tiene un caudal de 205 Nm<sup>3</sup>/día que, en el presente proyecto, se plantea sean dispuestos mediante un quemador automático; por lo que se recomienda la evaluación de su potencial energético para su aprovechamiento como fuente de calor primario o termoeléctrico. Por otro lado para respaldar la operación de los sistemas de extracción de olores y mitigar los impactos ambientales se recomienda realizar estudios de dispersión de aire en la PTAR y la implementación de cercos vivos (árboles) con especialistas ambientales.

- En la elaboración de especificaciones técnicas de materiales y equipos es de primordial atención la uniformidad con la estandarización internacional con el que fueron construidos, para evitar incompatibilidades en acoples y conexiones. Por otra parte en la especificación técnica de bombas, ventiladores y compresores es necesaria la inclusión de las curvas características propias de los sistemas junto a las curvas características de los equipos.

- Se estimaron los costos y presupuestos del componente de instalaciones mecánicas de las partidas correspondientes a los temas desarrollados dentro del alcance del presente trabajo. Se recomienda evaluar los costos de la implementación del equipamiento de colección y disposición de residuos sólidos con un especialista ambiental. En la figura ii de los anexos se muestra un diagrama de procesos de la PTAR de Quillabamba que podría ser optimizada con equipamiento de residuos sólidos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Abreu, J. (1995). El golpe de ariete en tuberías de impulsión. Comentarios a las expresiones de Mendiluce. *Ingeniería del Agua*, 37-52.
- ANA. (2010). *Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Blasius, P. (1913). Das Aehnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten. *Forschungsheft 131*, 1-41.
- Bressani Ribeiro, T., da Silva Lobato, L. C., & Nonato de Souza, S. (2019). Contribución para el perfeccionamiento del diseño, la construcción y la operación de reactores UASB aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas - Parte 2: Tratamiento preliminar, bombeo y distribución de caudal. *DAE*, 17-29.
- Budynas, R. (2014). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.
- Carrier Air Conditioning Co. (2017). *Manual de Aire Acondicionado*. Barcelona: Marcombo.
- Chernicharo, C. A. (2007). *Anaerobic Reactors*. New Delhi: IWA Publishing.
- CIDTA. (2009). *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua*. Obtenido de Impulsión de Aguas Residuales: Golpe de Ariete en Tuberías de Impulsión: <https://cidta.usal.es/cursos/redes/modulos/libros/unidad%209/calgolpe.PDF>
- CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: Comisión Nacional del Agua.

- EPA. (2019). *AG Star Project Development Handbook*. Washington: Environmental Protection Agency .
- Freire, E., Mattos Bohrer, J., Leite, C., & Collere, G. (2019). Contribución para el perfeccionamiento del diseño, la construcción y la operación de reactores UASB aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas - Parte 4: Control de corrosión y emisiones gaseosas. *DAE*, 56-72.
- Japan Sewage Works Association. (2013). *Design Standard for Municipal Wastewater Treatment Plant*. Tokyo: JSWA.
- Lettinga, G., & Hulshoff, L. (1991). UASB - Process design for various types of wastewaters. *Water Science & Technology*, 87-107.
- Marchildon, K. (2006). Pumps, fans, blowers and compressors. En M. Kutz, *Mechanical Engineers' Handbook, Energy and Power* (págs. 727-752). New Jersey: Wiley & Sons.
- Martin, S., & Coker, C. (2016). Biogas Piping Design and Safety. *BioCycle Energy*, 44-47.
- Mataix, C. (2004). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid: Marcombo.
- Mendiluce Rosich, E. (1987). *El golpe de ariete en impulsiones*. Madrid: Bellisco.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento y Reutilización de Recursos*. New York: McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Diario El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas*. Lima: Diario El Peruano.

Moran, S. (2014). *Operaciones Unitarias*. California: CRC Press.

Rogers, K., & Karam, W. (2014). *Master Plan and Primary Treatment Design*. Sunnyvale: Carollo.

Silowash, B. (2010). *Piping Systems Manual*. New York: McGraw-Hill.

Vara Horna, A. (14 de Diciembre de 2012). La investigación en ingeniería: problemática y naturaleza, Conferencia en la Universidad Ricardo Palma . Lima, Lima, Perú.

Water Environment Federation. (2017). *Design of Water Resource Recovery Facilities, Manual of Practice No. 8*. Washington: WEFPress.

Wills, K. D. (2006). Wastewater Treatment and Control. En T. Hicks, *Handbook of Mechanical Engineering Calculations* (págs. 13.3 - 13.55). New York: McGraw-Hill Professional.

## ANEXOS

### Ecuación de Hazen – Williams

La ecuación de Hazen Williams está dada en su forma básica de la siguiente manera:

$$v = k \times C \times R^{0.63} \times S^{0.54}$$

Donde:      v:      Velocidad promedio del agua en la tubería (m/s o ft/s)  
              C:      Coeficiente de rugosidad del material  
              R:      Radio hidráulico (m o ft dependiendo del sistema de unidades)  
              S:      Pendiente de la línea de energía del sistema (m/m o ft/ft)  
              K:      Factor de conversión (k=0.849 para el SI y k=1.318 para el sistema imperial)

En el sistema internacional se presenta en la forma:

$$v = 0.849 \times C \times R^{0.63} \times S^{0.54}$$

La velocidad de flujo se puede representar en función al caudal y la sección transversal de la tubería  $v=Q/A$ .

$$\frac{Q}{A} = 0.849 \times C \times R^{0.63} \times S^{0.54}$$

Asimismo el radio hidráulico para una tubería llena es de  $R=D/4$  y la sección transversal de la tubería es  $A= \pi \cdot D^2/4$ .

$$\frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = 0.849 \times C \times \left(\frac{D}{4}\right)^{0.63} \times S^{0.54}$$

La pendiente de la línea de energía está dada en función de la pérdida de carga  $S=h_f/L$

$$\frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = 0.849 \times C \times \left(\frac{D}{4}\right)^{0.63} \times \left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54}$$

Despejando  $(S=h_f/L)^{0.54}$  se arregla la ecuación de Hazen Williams como sigue:

$$\left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} = \frac{Q}{\left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right) \times 0.849 \times C \times \left(\frac{D}{4}\right)^{0.63}}$$

$$\left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} = \frac{Q}{\left(\frac{\pi \times 0.849 \times C \times D^{2.63}}{4^{1.63}}\right)}$$

$$\left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} = \frac{Q}{0.2787 \times C \times D^{2.63}}$$

Para líneas de impulsión en nuestro medio local usualmente se representan las unidades de caudal en litros por segundo (l/s), el diámetro de tuberías comerciales en pulgadas (pulg.), la longitud de la línea de impulsión en kilómetros (km) y las pérdidas en metros; para tal efecto se multiplican por los factores de conversión correspondientes de la siguiente manera:

$$\left(\frac{h_f}{1000 \times L}\right)^{0.54} = \frac{\left(\frac{Q}{1000}\right)}{0.2787 \times C \times \left(\frac{D}{39.37}\right)^{2.63}}$$

$$\left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} = \frac{1000^{0.54} \times \left(\frac{Q}{1000}\right)}{\left(\frac{0.2787}{39.37^{2.63}}\right) \times C \times D^{2.63}}$$

$$\left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} = \frac{2345.028 \times Q}{C \times D^{2.63}}$$

$$\left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} = \frac{Q}{0.000426 \times C \times D^{2.63}}$$

$$\frac{h_f}{L} = \left(\frac{Q}{0.000426 \times C \times D^{2.63}}\right)^{1/0.54}$$

Finalmente despejando la pérdida de carga se tiene la ecuación de Hazen Williams de la siguiente forma:

$$h_f = \left(\frac{Q}{0.000426 \times C \times D^{2.63}}\right)^{1.85} \times L \quad (1)$$

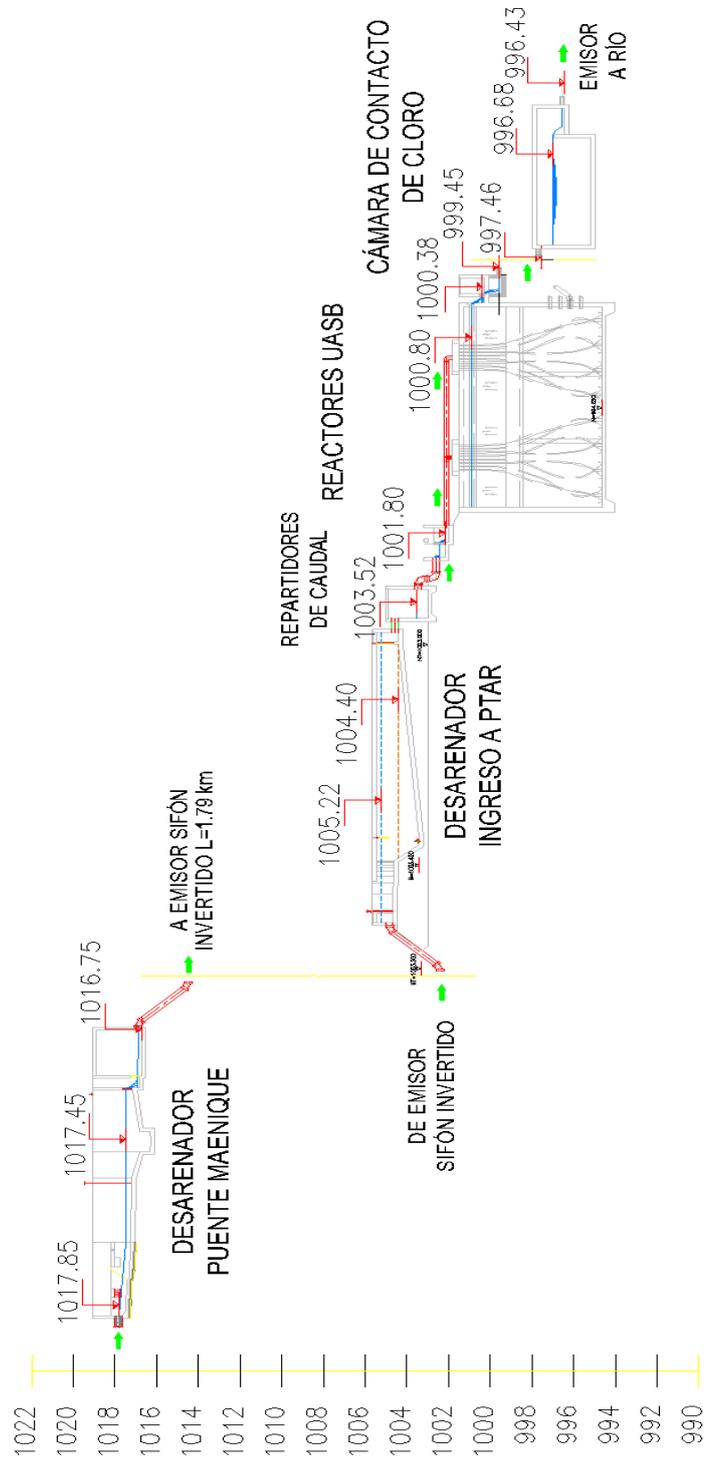
Dónde:

- Q: Caudal (l/s)
- C: Coeficiente Hazen Williams (Adimensional)
- D: Diámetro de tubería (pulgadas)
- L: Longitud de tubería (km)

**Perfil hidráulico.**

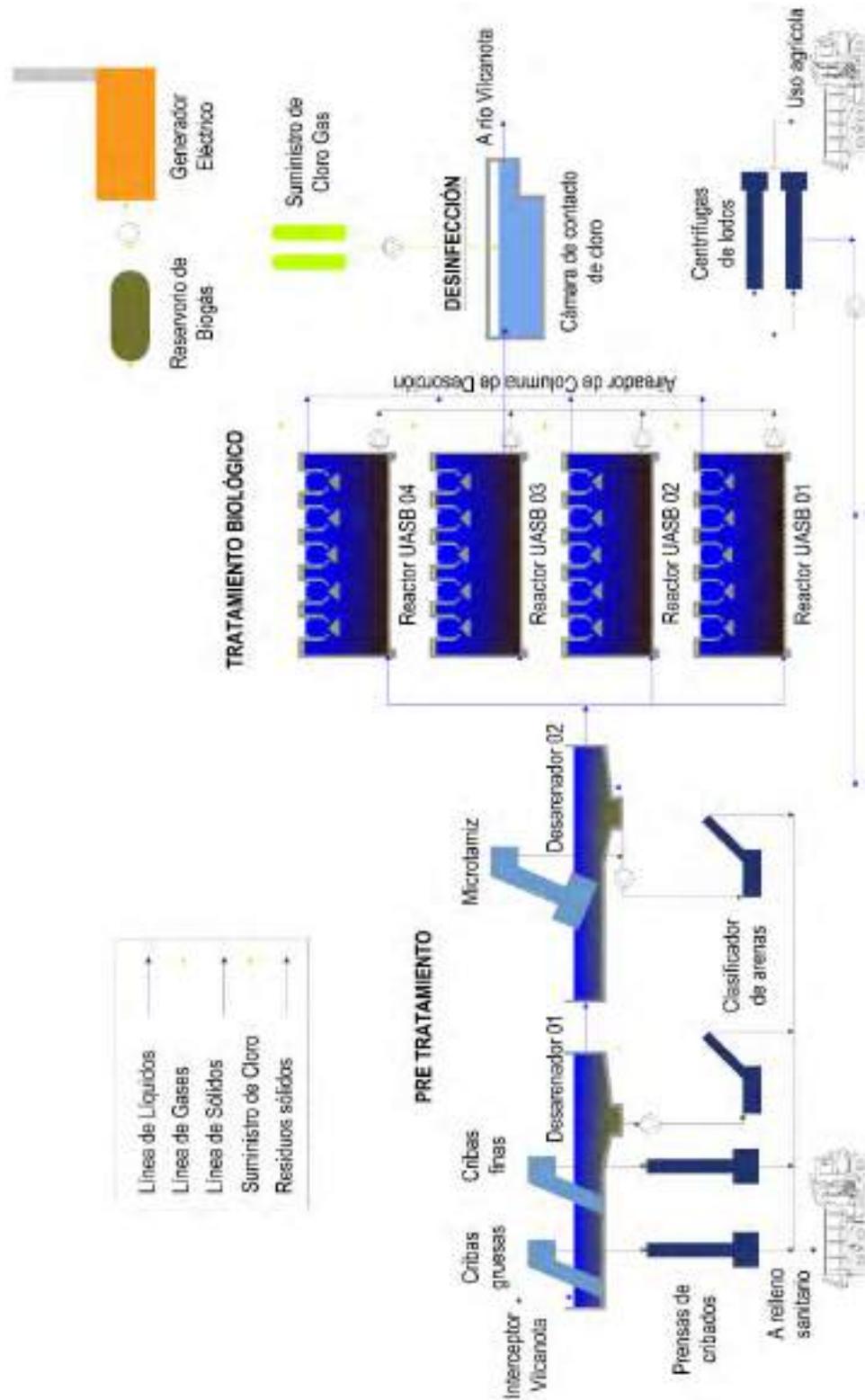
**Figura i**

Perfil Hidráulico de PTAR Quillabamba



Fuente: Elaboración Propia

**Diagrama de flujo de procesos**  
**Figura ii**  
 Diagrama de procesos de PTAR optimizada.

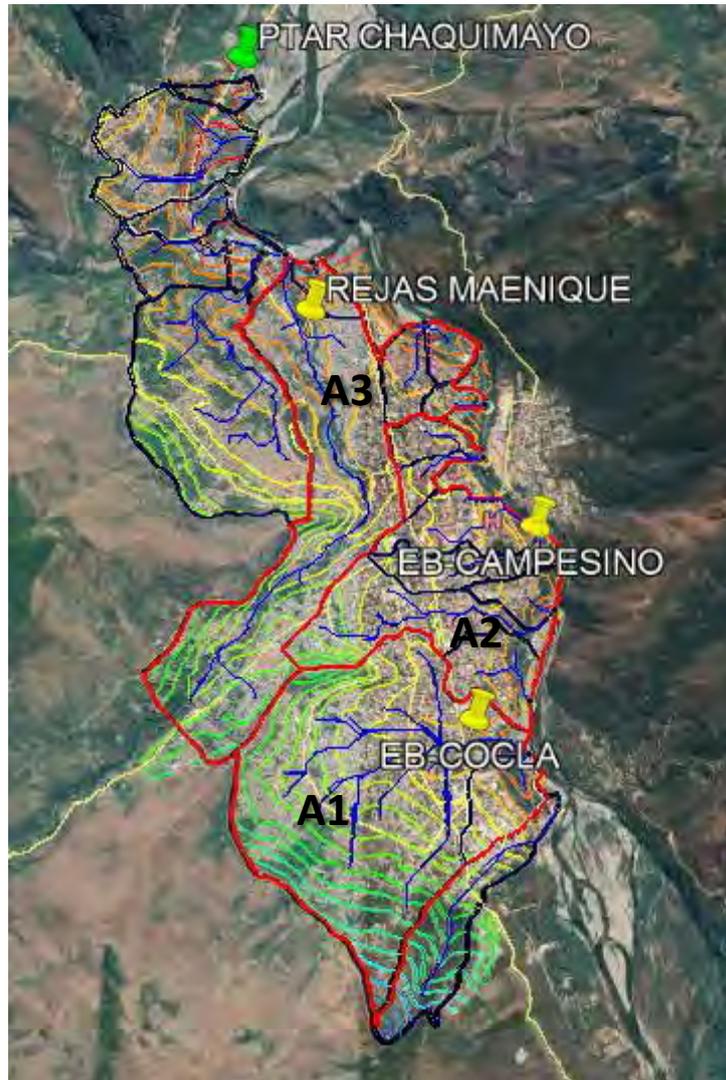


Fuente: Elaboración Propia

## Zonificación de áreas de drenaje de aguas residuales

### Figura iii

Áreas de drenaje de influencia en la PTAR Quillabamba



Fuente: Elaboración Propia

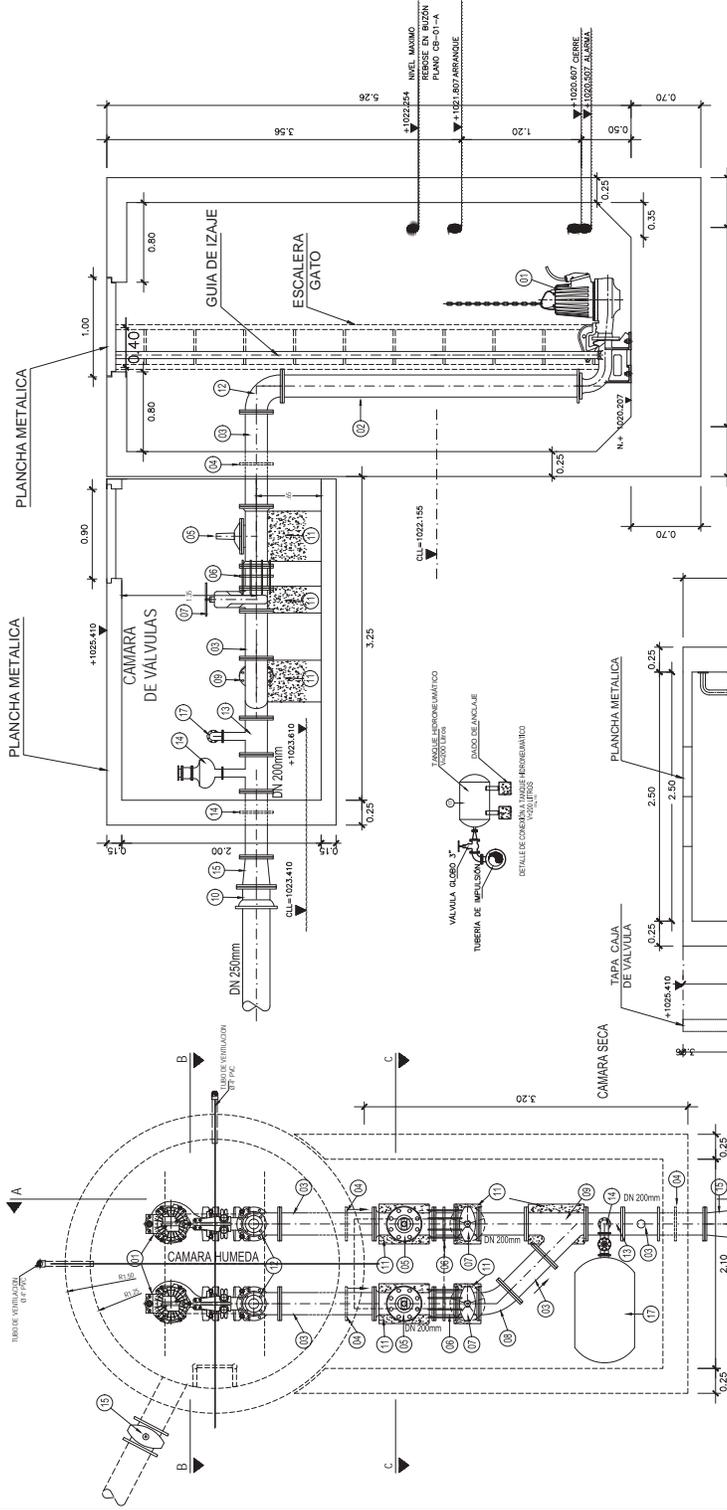
**Área de drenaje 1:** Pendiente promedio 5.5%, Longitud de cuenca 0.95 km termina en la Estación de Bombeo de COCLA. (Superficie 1.78 km<sup>2</sup>). Caudal teórico 43 l/s.

**Área de drenaje 2:** Pendiente promedio 5%, Longitud de cuenca 1.09 km termina en la Estación de Bombeo de Campesino. (Superficie 1.07 km<sup>2</sup>). Caudal teórico 40 l/s.

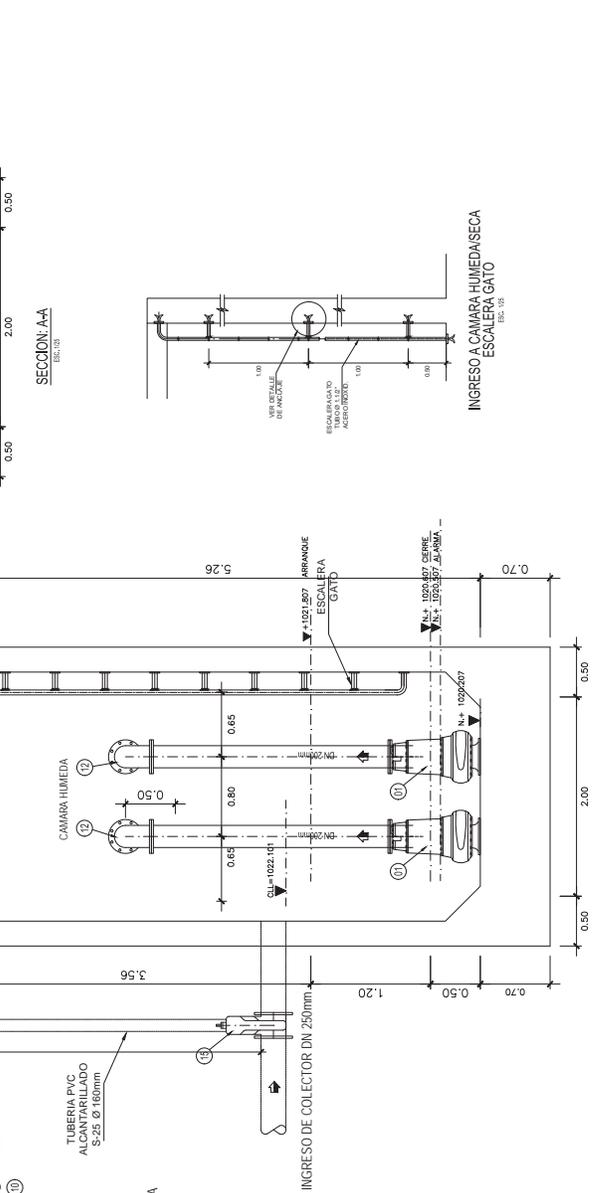
**Área de drenaje 3:** Pendiente promedio 6% Longitud de cuenca 1.98 km termina en la Cámara de Rejas de Puente Maenique. (Superficie 1.72 km<sup>2</sup>). Caudal teórico 42 l/s.

## Relación de Planos

<b>N°</b>	<b>Título</b>	<b>Formato</b>	<b>Código</b>
1	Estación de Bombeo COCLA EB-01 – Planta y Cortes	A1	MC01
2	Estación de Bombeo “El Campesino” EB-02 – Planta y Cortes	A1	MC02
3	PTAR Chaquimayo – Distribución en Planta	A1	MC03
4	PTAR Chaquimayo – Isométrico Sistemas de Tuberías	A1	MC04
5	Sistema de Colección de Biogás	A1	MC05
6	Sistema de Colección de Gas Residual	A1	MC06

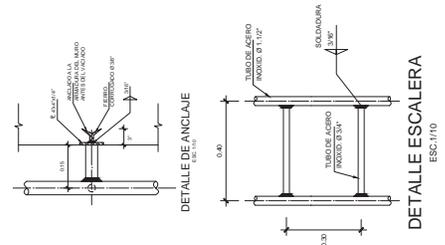


INSTALACIONES HIDRAULICAS - PLANTA  
ESC.102

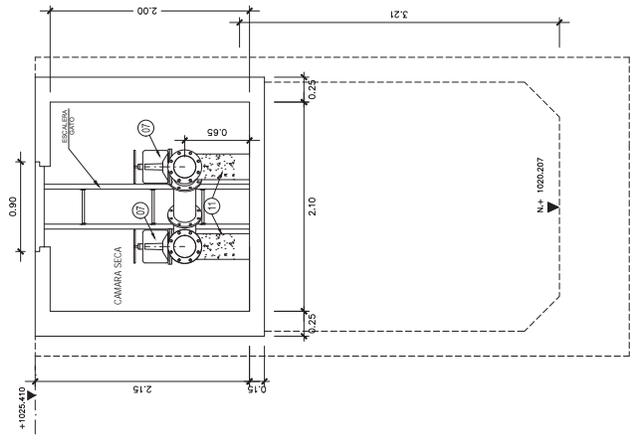


SECCION A-A  
ESC.103

INGRESO A CAMARA HUMEDA SECA  
ESCALERA GATO  
ESC.105



DETALLE ESCALERA  
ESC.110



SECCION C-C  
ESC.108

ITEM	ACCESORIO	CANTIDAD
01	PANEL DE BARRILETE DE AGUAS RESIDUALES DE 14.2x1.07x0.11 m.	UNDO
02	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
03	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
04	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
05	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
06	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
07	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
08	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
09	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
10	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
11	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
12	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
13	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
14	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
15	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
16	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
17	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
18	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
19	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
20	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
21	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
22	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
23	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
24	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
25	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
26	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
27	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
28	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
29	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
30	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
31	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
32	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
33	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
34	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
35	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
36	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
37	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
38	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
39	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
40	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
41	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
42	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
43	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
44	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
45	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
46	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
47	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
48	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
49	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
50	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
51	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
52	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
53	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
54	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
55	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
56	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
57	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
58	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
59	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
60	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
61	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
62	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
63	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
64	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
65	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
66	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
67	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
68	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
69	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
70	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
71	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
72	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
73	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
74	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
75	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
76	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
77	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
78	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
79	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
80	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
81	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
82	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
83	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
84	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
85	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
86	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
87	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
88	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
89	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
90	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
91	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
92	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
93	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
94	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
95	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
96	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
97	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
98	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
99	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M
100	VALVULA DE CIERRE DE 150 mm	M

NOTA: 1- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE 2- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO. 3- USAR SILO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

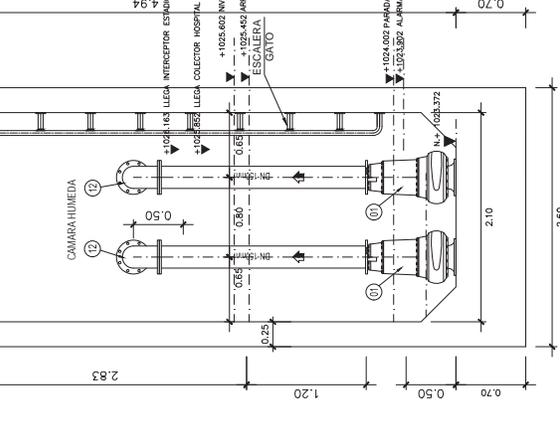
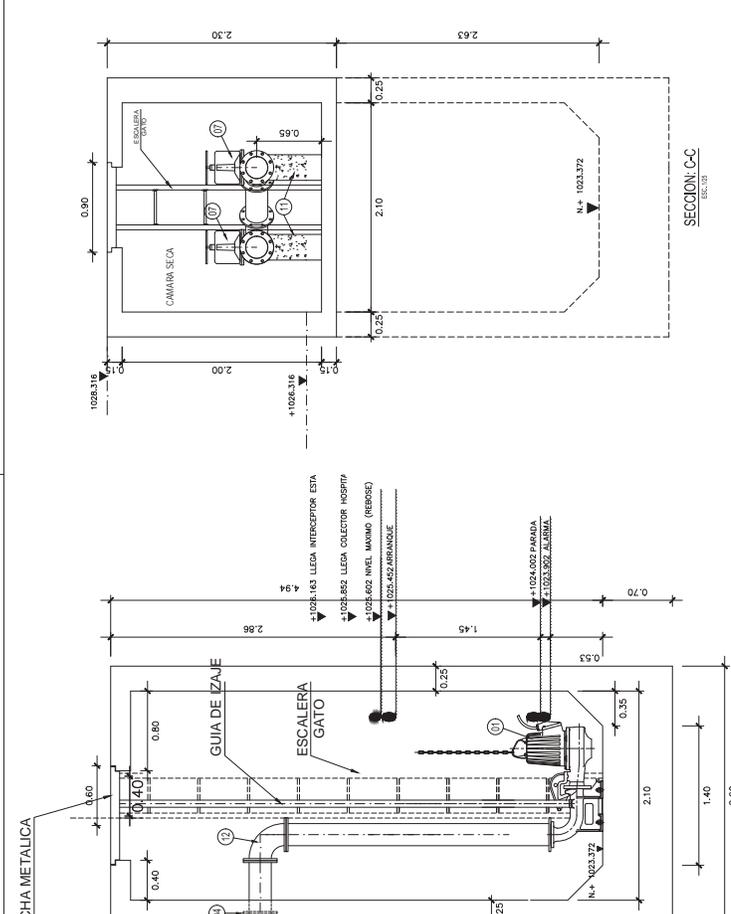
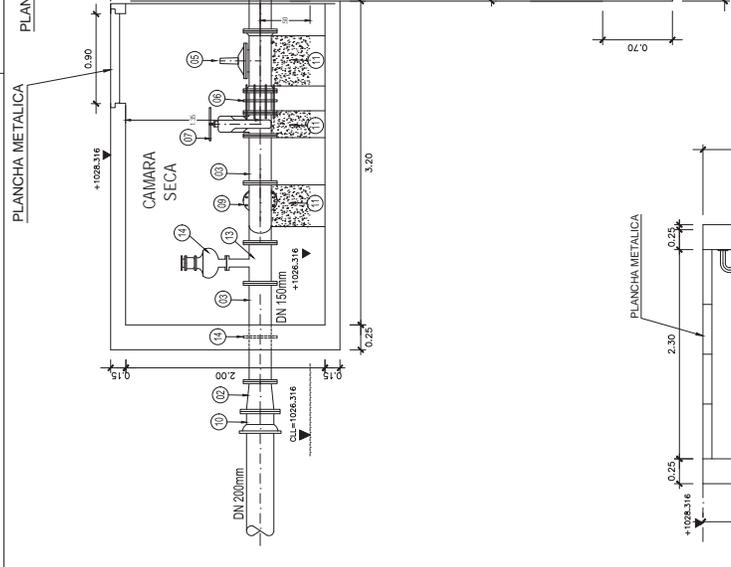
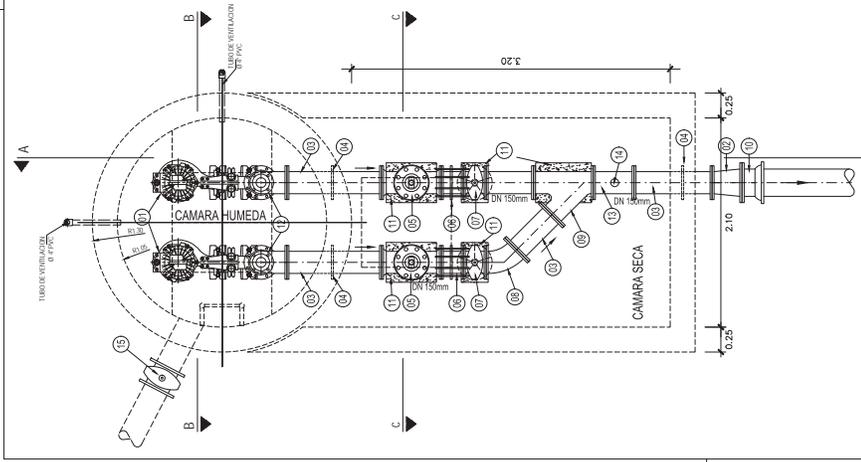
**UNISAAC**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

ANALISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECANICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GUILLAMBAMBA - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

**ESTACION DE BOMBEO EB-01 COCLA**  
**INSTALACIONES HIDRAULICAS**

TITULO:

ASESOR	ESCALA	FECHA	FORMATO	PLANO N°
MIGUEL ANGEL GARCIA ACEVEDO	A1	ENERO 2021	A1	MC01-EB01-HDR
MANUEL GONZALEZ GONZALEZ	INDICADOS			

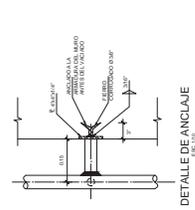


ITEM	NOMENCLATURA	CANTIDAD	CANTIDAD
01	BARBA HUMEDABLE EN FIBRA DE CARBÓN ACTIVADO	UNO	02
02	RECOLECTOR EN POLIETILENO 100mm	UNO	01
03	ESCALERA GATO	UNO	01
04	BARBA SECA EN POLIETILENO 100mm	UNO	02
05	VALVULA DE RETENCION EN POLIETILENO 100mm	UNO	02
06	BARBA HUMEDABLE EN FIBRA DE CARBÓN ACTIVADO	UNO	02
07	VALVULA DE RETENCION EN POLIETILENO 100mm	UNO	02
08	ESCALERA GATO	UNO	01
09	VALVULA DE RETENCION EN POLIETILENO 100mm	UNO	02
10	ESCALERA GATO	UNO	01
11	VALVULA DE RETENCION EN POLIETILENO 100mm	UNO	02
12	ESCALERA GATO	UNO	01
13	VALVULA DE RETENCION EN POLIETILENO 100mm	UNO	02
14	ESCALERA GATO	UNO	01
15	VALVULA DE RETENCION EN POLIETILENO 100mm	UNO	02

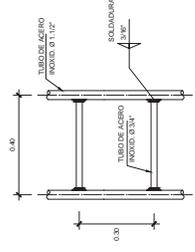
NOTA: 1- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE  
 2- LAS DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.  
 3- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

1:5	0	100	200	300	400	500mm
1:25	0	100	200	300	400	500mm
1:50	0	100	200	300	400	500mm
1:100	0	100	200	300	400	500mm
1:200	0	100	200	300	400	500mm
1:500	0	100	200	300	400	500mm
1:1000	0	100	200	300	400	500mm

INSTALACIONES HIDRAULICAS - PLANTA

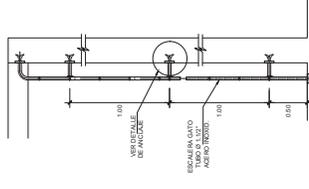


DETALLE DE ANCLAJE



DETALLE ESCALERA

INGRESO A CAMARA HUMEDA/SECA ESCALERA GATO



ESC.123



ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECÁNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GUILLAMBAMA - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

ESTACIÓN DE BOMBEO EB-02 INSTALACIONES HIDRAULICAS

TITULO:  
 ASesor: MSc. LUIS A. GARCIA ACEVEDO  
 MSc. LUIS A. GARCIA ACEVEDO  
 INDIcADOS: ENERO 2021  
 PLAN: M032-EB02-HDR  
 FORMADO: A1

COMPONENTES		
ITEM	DESCRIPCION	ESTADO
1	DESARENADOR	EXISTENTE
2	UASB Y LABER REACTOR ANADORO DE MANTO DE LODOS Y FLUIDO ASCENDENTE	EXISTENTE
3	LECHOS Y FILTRO BIOLÓGICO DE MANTO DE LODOS Y FLUIDO ASCENDENTE	PROYECTADO
4	CÁMARA DE DESORCIÓN	PROYECTADO
5	LECHO DE SECADOS	EXISTENTE
6	DESHIDRATADOR CENTRIFUGO	PROYECTADO
7	CÁMARA DE CONTACTO DE CUERPO	EXISTENTE
8	CASETA DE CLORACIÓN	EXISTENTE
9	BIOFILTRO DE GAS RESIDUAL	PROYECTADO
10	QUEMADOR DE BIÓGAS	PROYECTADO

LEYENDA			
DESCRIPCION	EXISTENTE	PROYECTADO	ANULAR
TUBERIA DE DESAGUE			
TUBERIA DE PROCESO			
TUBERIA DE DRENAJE			
TUBERIA DE AGUA			
TUBERIA DE CLORACION			
ESTRUCTURA			

NOTA :  
 1.- LAS OBRAS DE CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE LA OBRERA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE  
 2.- LA OBRERA DE CLORACION INDICADA ES LA OBRERA A-3  
 3.- LA EJECUCION DE LAS OBRAS SE SUCEDERAN A LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS VIGENTES

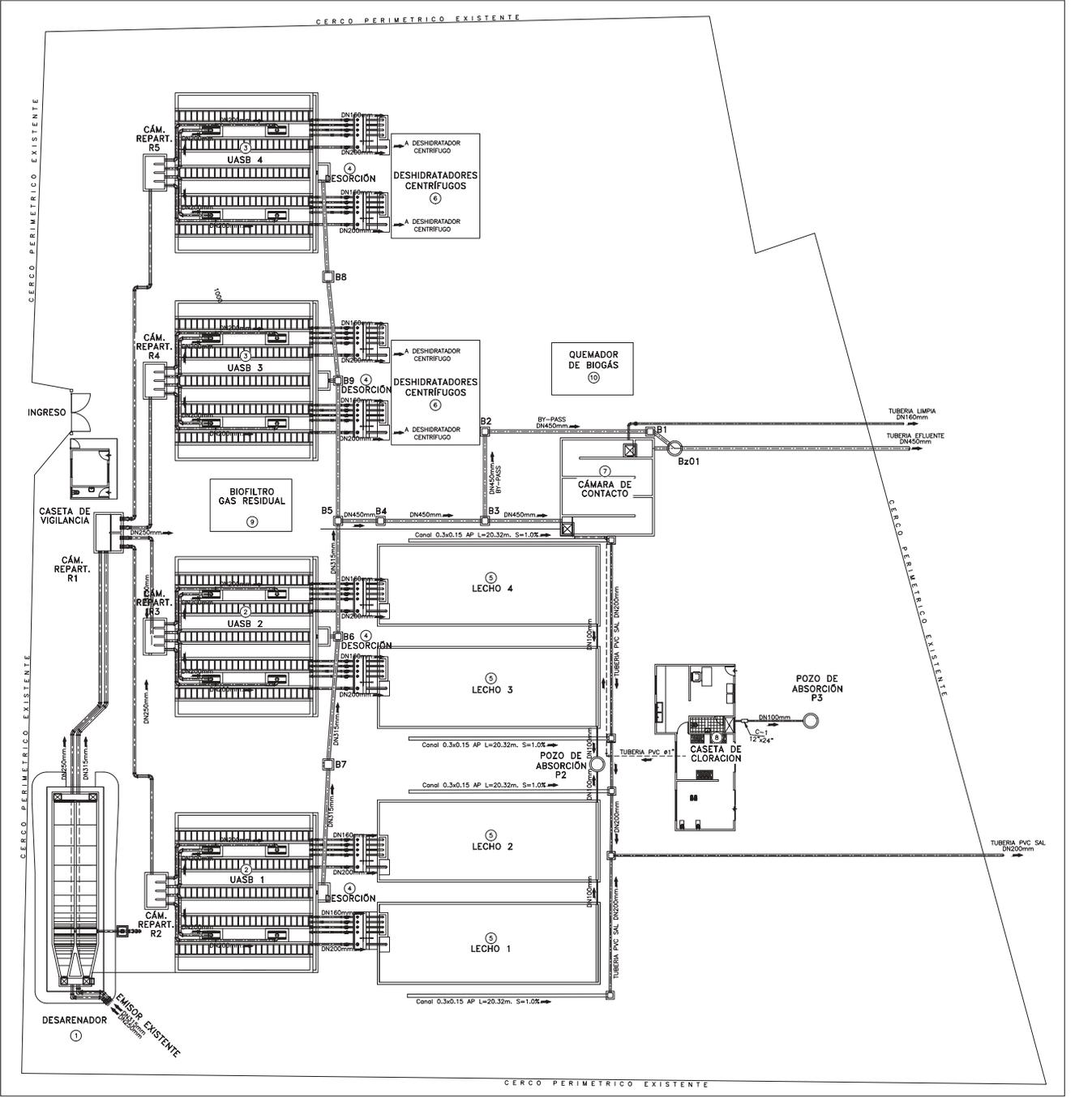


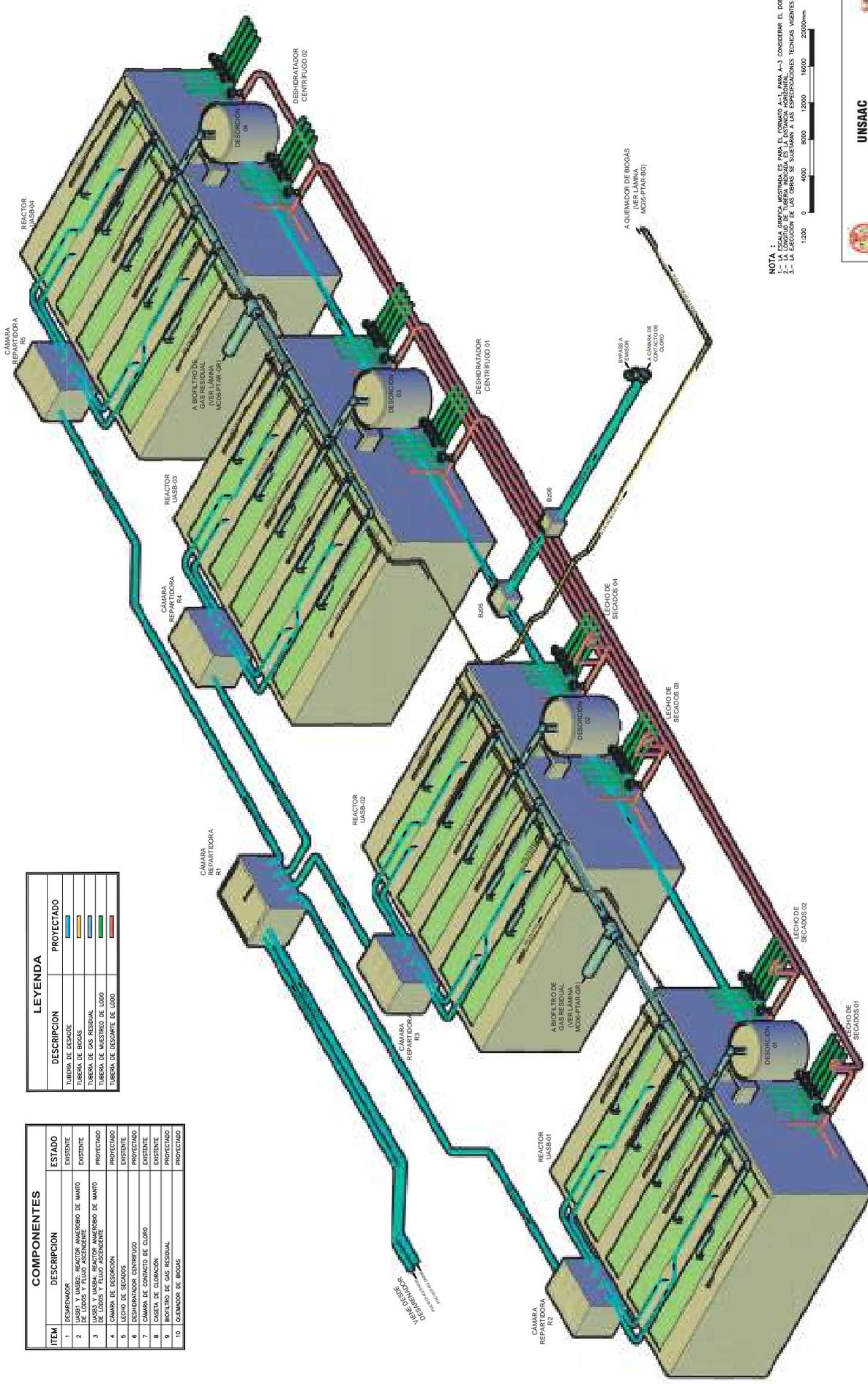

**UNSAAC**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECANICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

TITULO:  
**PTAR CHAQUIMAYO  
 INSTALACIONES HIDRAULICAS**

ASesor:	DR. EDGAR A. GARCERA KEVEDO	FECHA :	ENERO 2021	FORMATO :	A1	PLANO N°:	MO3-PTAR-HDR
ALUMNO:	MAN FERRER DIXITO JIMENEZ	ESCALA :	1/200				





NOTA :  
 1.- LA ESCALA PARA MOSTRAR EL PLAN ES COMO A-1, PARA A-2 CONSERVAR EL COBRE  
 2.- LA ESCALA DE TUBERIA SECUA ES LA ESCALA ADICIONAL.  
 3.- LA ESCALA DE LOS CABLES SE SUJETAN A LOS ESPECIFICACIONES TECNICOS MONTES  
 1:200 0 4000 8000 12000 16000 20000mm

**LEYENDA**

DESCRIPCION	PROYECTADO
TUBERIA DE ESCAPE	
TUBERIA DE BIOLAS	
TUBERIA DE GAS RESIDUAL	
TUBERIA DE MAESTRO DE LODO	
TUBERIA DE DESMISTE DE LODO	

**COMPONENTES**

ITEM	DESCRIPCION	ESTADO
1	DESURTIADOR	EXISTENTE
2	UASB Y UASB: REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE Lodos Y FLUIDO ASCENDENTE	EXISTENTE
3	BIOLITRO DE GAS RESIDUAL: REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE Lodos Y FLUIDO ASCENDENTE	PROYECTADO
4	CAMARA DE DESORCION	PROYECTADO
5	LECHO DE SECADOS	EXISTENTE
6	DESHIDRATADOR CENTRIFUGO	PROYECTADO
7	CAMARA DE CONTACTO DE CLORO	EXISTENTE
8	CAJETA DE CLORACION	EXISTENTE
9	BIOLITRO DE GAS RESIDUAL	PROYECTADO
10	QUEMADOR DE BIOLAS	PROYECTADO

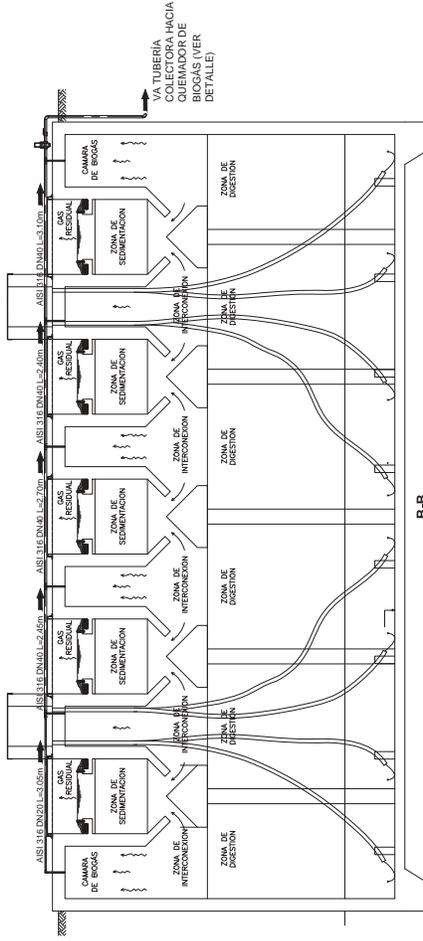
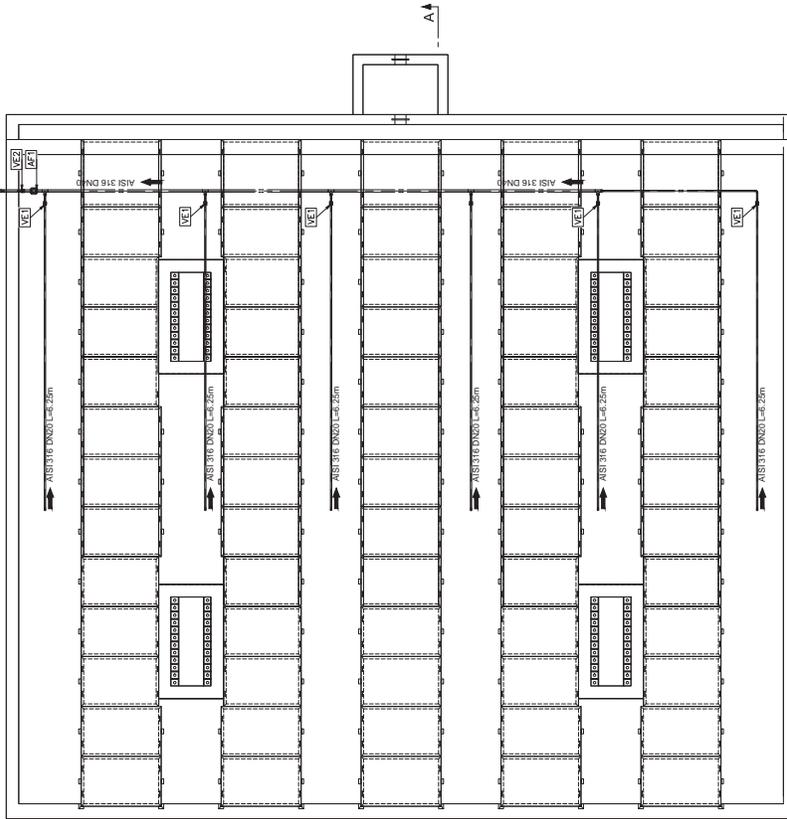
**UNSAAC**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

ANALISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECANICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

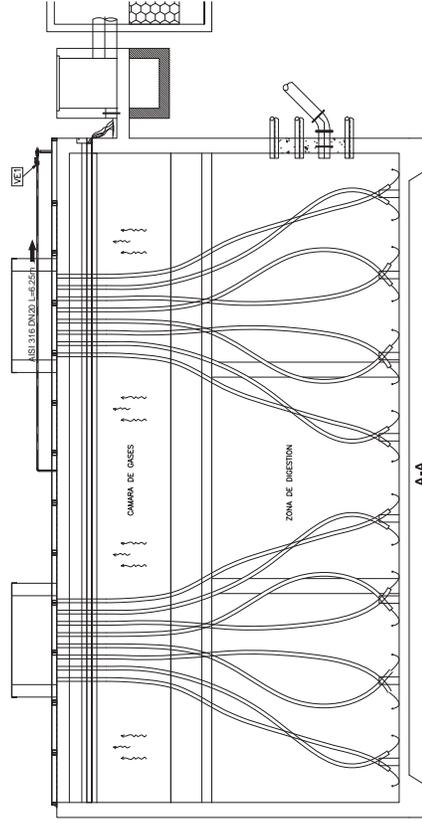
TITULO: **PTAR CHAQUIMAYO**  
 ISOMÉTRICO DE SISTEMAS DE TUBERÍAS

ESCALA : 1/150  
 FECHA : ENERO 2021  
 PLANO N°: M04-PTAR-HDR

VA TUBERÍA  
COLECTORA HACIA  
QUEMADOR DE BIOGÁS  
(VER DETALLE)



B-B  
1:50

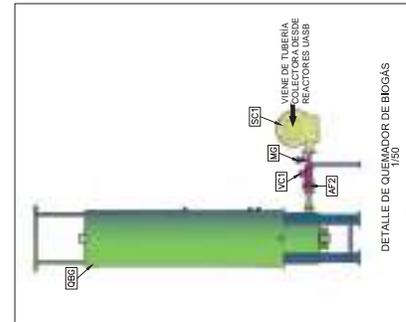


A-A  
1:50

NOTA :  
1.- LA ESCALA GRÁFICA MUESTRA, ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE  
2.- LA ESCALA GRÁFICA MUESTRA, ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE  
3.- LA ESCALA DE LOS DIBUJOS DE LAS PARTES ESPECIALES TÉCNICAS SIENDES



N°	LISTA DE COMPONENTES HIDRÁULICOS Y MECÁNICOS	Unid.	Cant.
VE1	VALVULA ESFERICA WOG ACERO INOXIDABLE DN20 PN12.5	unad	5.00
VE2	VALVULA ESFERICA WOG ACERO INOXIDABLE DN20 PN12.5	unad	5.00
AF1	VALVULA ARRESTAFUAMA EN LÍNEA DN20 RANGO 30mBar	unad	1.00
AF2	VALVULA ARRESTAFUAMA EN LÍNEA DN20 RANGO 30mBar	unad	1.00
VC1	VALVULA DE CORTE CON SOLENODE DN20 PN12.5	unad	1.00
VC2	VALVULA DE CORTE CON SOLENODE DN20 PN12.5	unad	1.00
MG	MANÓMETRO CON TRANSDUCOR DE PRESION RANGO 0-300mbar	unad	1.00
SC1	SELLI Soplador COMPRESOR CENTRIFUGO 22.54 m <sup>3</sup> /h @ 1095.6 Pa	unad	1.00



UNISAAC  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECÁNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA - LA CONVENCIÓN - CUSCO.

TÍTULO:  
**PTAR CHAQUIMAYO SISTEMA DE COLECCIÓN DE BIOGÁS**

ASesor :  
DR. EDGAR A. CALACON ACOSTA

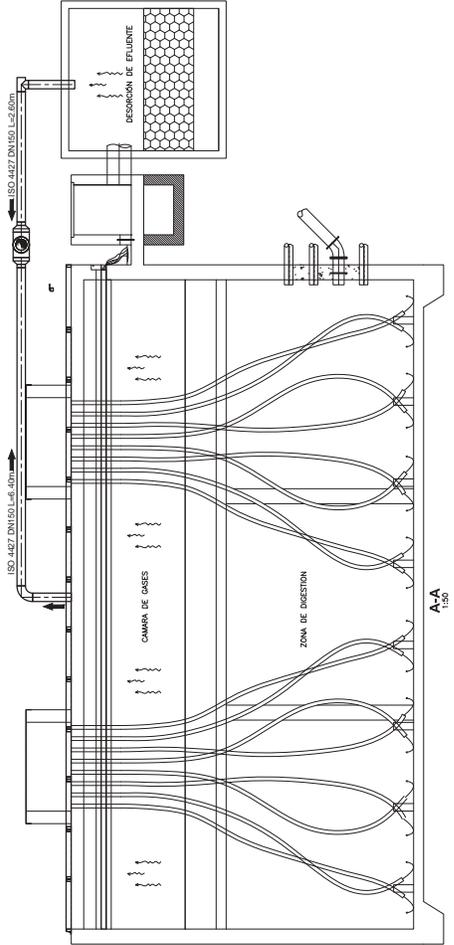
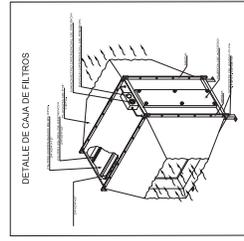
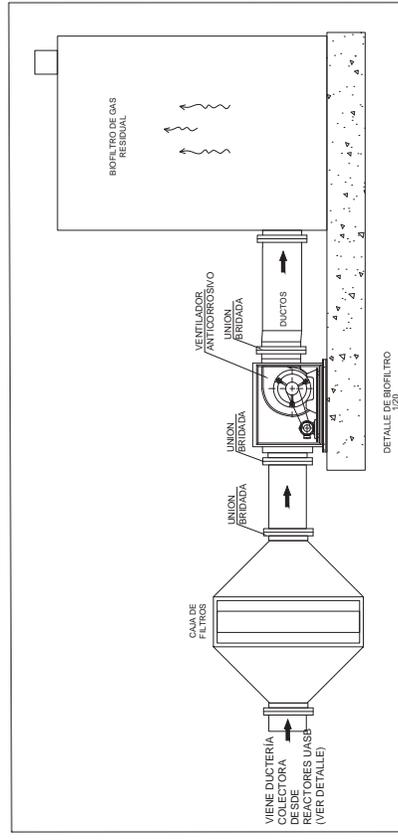
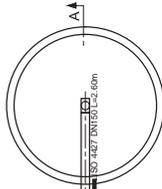
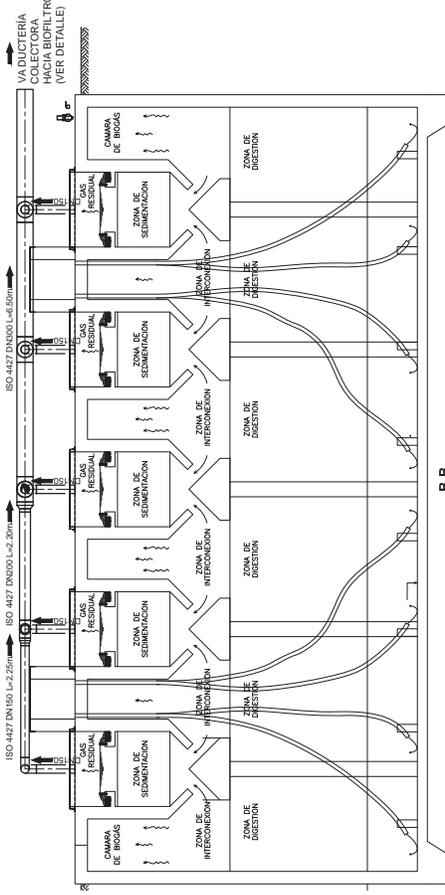
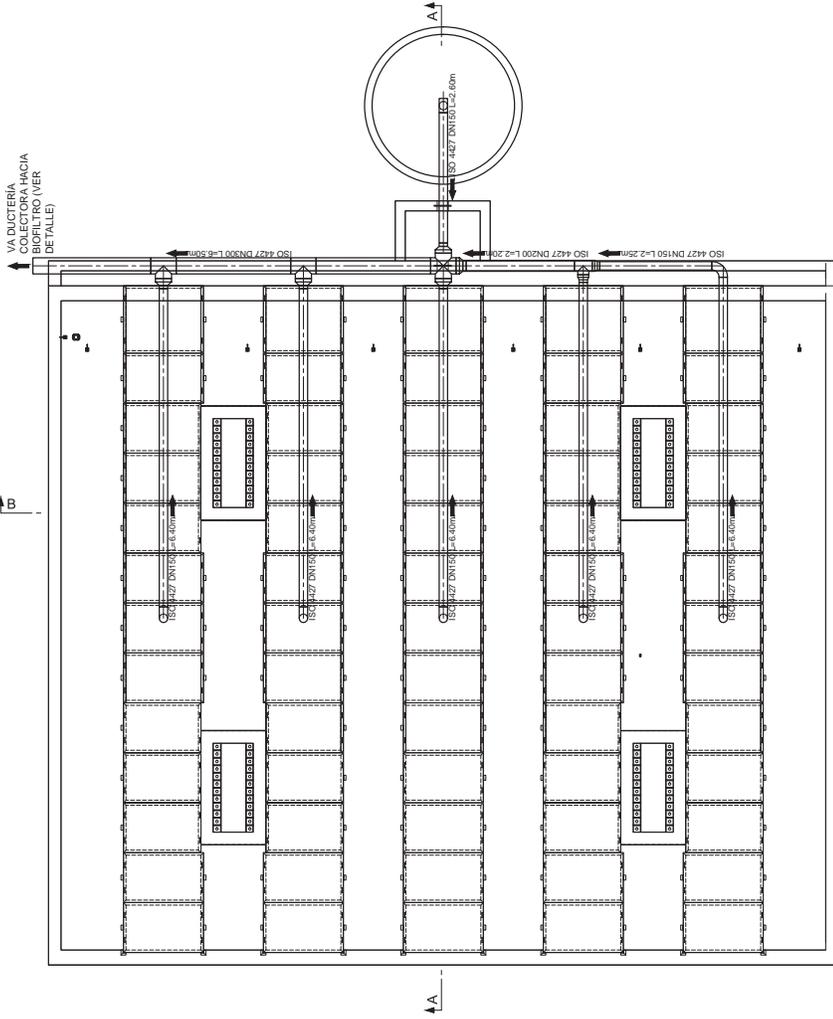
FECHA :  
ENERO 2021

ESCALA :  
1/50

FORMATO :  
A1

PLANO N°:  
MCS-PTAR-BG

VA DUCTERIA  
DE COLECTORA  
HACIA BIOFILTRO  
(VER  
DETALLE)



NOTA :  
1- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1 PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.  
2- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1 PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.  
3- LA ESCALA DE LAS BRIDAS SE ADECUAN A LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS VIENTES



UNSAAC		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA	
ANALISIS Y MEJORA DEL PROYECTO DE INSTALACIONES MECANICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE QUILLABAMBA - LA CONVENCIÓN - CUSCO.			
TITULO: SISTEMA DE COLECCION DE GAS RESIDUAL			
ASESOR	ESCALA :	FECHA :	FORMATO :
DR. EDUARDO A. CALANCA ACOSTA	1/50	ENERO 2021	A 1
ALUMNO	UNAN ROBERTO OPORTO JIMENEZ		MOG-P1AR-GR

Matriz de Consistencia

ANÁLISIS Y MEJORA DE LAS INSTALACIONES MECÁNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE QUILLABAMBA – LA CONVENCIÓN – CUSCO

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES						RECOLECCIÓN DE DATOS		Metodología
			Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad	Método	Técnica	
<p><b>GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿En qué medida se puede analizar y mejorar el proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba – La Convención – Cusco?</li> </ul> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De qué forma se puede evaluar los parámetros hidráulicos de operación de la Planta de Tratamiento requeridos para realizar un replanteo de las instalaciones mecánicas?</li> <li>¿Es posible verificar los parámetros hidráulicos y de bombeo de aguas residuales existentes en las estaciones de bombeo de aguas residuales existentes?</li> <li>¿De qué manera se puede evaluar las instalaciones de colección de biogás y gas residual en los reactores anaeróbicos?</li> <li>¿Cuáles son las Especificaciones Técnicas de los principales materiales y equipos de las Instalaciones Mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba?</li> <li>¿Cómo se puede llegar a determinar los costos del Expediente Técnico de replanteo de las instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba?</li> </ul>	<p><b>GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar el análisis y la mejora del proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba.</li> </ul> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los parámetros hidráulicos de la PTAR de Quillabamba, necesarios para el cálculo de las instalaciones mecánicas mediante una estimación de caudal de aguas residuales.</li> <li>Realizar los cálculos hidráulicos de bombeo y de sobrepresión por golpe de arte y seleccionar el equipamiento de protección de las estaciones de bombeo (COCLA y El Campesino)</li> <li>Calcular las redes de colección de biogás y gas residual procedentes del reactor anaerobio y seleccionar los equipos de manejo y disposición de gases.</li> <li>Establecer las Especificaciones Técnicas de los principales materiales y equipos de las Instalaciones Mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba.</li> <li>Elaborar las partidas, metrados y análisis de costos unitarios del Expediente Técnico de Replanteo de las instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba en base a la Norma Técnica de Metrados.</li> </ul>	<p><b>GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El análisis del proyecto de instalaciones mecánicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillabamba conlleva a su mejora y culminación.</li> </ul> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La estimación de caudal de aguas residuales permite determinar los parámetros hidráulicos para el cálculo de las instalaciones mecánicas.</li> <li>El desarrollo de los cálculos hidráulicos de bombeo y de golpe de arte establecen la selección del equipamiento de protección de las estaciones de bombeo de aguas residuales de COCLA y El Campesino.</li> <li>Los cálculos de redes de colección de biogás y gas residual del reactor anaerobio y UASB precisan la selección de equipamiento el manejo y disposición de gases.</li> <li>Es posible establecer las Especificaciones Técnicas de los principales materiales y equipos de las instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba, necesarias para su adquisición.</li> <li>Las partidas, metrados y análisis de costos unitarios del Expediente Técnico de Replanteo de las instalaciones mecánicas de la PTAR de Quillabamba pueden ser elaboradas en base a la actual Norma Técnica de Metrados.</li> </ul>	<p><b>De entrada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Caudal poblacional</li> <li>Altura geométrica</li> </ul> <p>Agua que ingresa al sistema de alcantarillado como producto de las actividades humanas domésticas, comerciales e industriales.</p> <p>Agua con altas concentraciones de residuos sólidos, arena, materia orgánica y microorganismos patógenos.</p> <p>Agua residual cruda</p>	<p>Definición conceptual</p> <p>Definición operacional</p>	<p>Dimensiones</p> <p>Indicador</p>	<p>Unidad</p>	<p>Método</p>	<p>Técnica</p>	<p>Instrumento</p>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo</p> <p><b>Diseño:</b> No experimental</p> <p>M → O<sub>1</sub> → O<sub>2</sub></p> <p>Donde: M, muestra O<sub>1</sub>, observación de la variable 1 O<sub>2</sub>, observación de la variable 2</p>	
<p><b>De salida</b></p>	<p>Agua depurada</p>	<p>Agua descontaminada que sale de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con niveles de contaminación permitidos para su vertimiento directo o reutilización.</p>	<p>Efluente proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con concentraciones de sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, DQO, y coliformes fecales que cumplen los Límites Máximos Permisibles de Calidad de Agua Residual.</p>	<p>Caudal de diseño.</p> <p>Caudal de biogás.</p> <p>Caudal de gas residual.</p>	<p>Caudal de agua residual</p> <p>Presión</p> <p>Potencia</p> <p>Calidad del efluente.</p>	<p>m<sup>3</sup>/día</p> <p>l/s</p> <p>mca</p> <p>psi</p> <p>bar</p> <p>°C</p> <p>kg/m<sup>3</sup></p> <p>mg/l</p>	<p>Estimación Numérica.</p>	<p>Ecuação de Hazen Williams</p> <p>Ecuação de Darcy - Weisbach</p> <p>Ecuação Renouard</p>	<p>Hoja de cálculo</p> <p>Hoja de cálculo</p> <p>Hoja de cálculo</p>	<p>Registro de datos</p> <p>medidor</p> <p>Hoja de cálculo</p>	<p>Unidad de análisis: Caudal o Gasto volumétrico</p> <p>Población de Estudio: Aguas residuales</p> <p>Tamaño de muestra: Aguas residuales de la PTAR Quillabamba</p> <p>Selección de Muestra: No probabilístico</p> <p>Recolección de muestra: Medición en campo y estimación en gabinete.</p>